R&D / 17CTAP-O097707-03

국토교통기술촉진연구사업최종보고서

사면 안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발

ECG(Eco Clean Cement Grout) 기술을 이용한

최종보고서

2018

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )

국토교통기술촉진연구사업 최종보고서

발 간 등 록 번 호
11-B552989-000062-01

R&D/17CTAP-C097707-03

ECG(Eco Clean Cement Grout) 기술을 이용한 사면 안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발 최종보고서

2018. 08. 03.

주관연구기관 / (재)한국건설생활환경시험연구원
공동연구기관 / (주)제이엔티아이엔씨
공동연구기관 / 국립강릉원주대학교 산학협력단

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원) 귀하

'ECG(Eco Clean Cement Grout)기술을 이용한 사면 안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발'(연구개발 기간 : 2015. 06. ~ 2018. 06.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2018 . 07 . 31 .

주관연구기관명 : (재)한국건설생활환경시험연구원 (윤갑석) (인)

공동연구기관명 : 강릉원주대학교 산학협력단 (하태권) (인)

공동연구기관명 : (주)제이엔티아이엔씨 (노재호) (인)

주관연구기관책임자: 최 윤 석

공동연구기관책임자: 노 재 호

공동연구기관책임자: 양 은 익

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>17CTAP-C097707-03</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2015.06.23. ~ 2018.06.22.</td><td>단계구분</td><td>3/3 (해당단계)/(총단계)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">사회이슈</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">대과제가 있을 경우 기재합니다(단위과제일 경우에는 아래에 기재합니다)</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">ECG(Eco Clean Cement Grout)기술을 이용한 사면 안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">최 윤 석</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 17 명
내부: 6 명
외부: 11 명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td>정부: 300.000 천원
기업: 100,000 천원
정부 외: 천원
계: 400,000 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 44 명
내부: 21 명
외부: 23 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부: 900.000 천원
기업: 300,000 천원
정부 외: 천원
계: 1,200,000 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">(재)한국건설생활환경시험연구원</td><td colspan="2">참여기업명
(주)제이엔티아이엔씨</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="4">(1) 친환경 ECG 녹생토 재료 개발
○ 급경사지 및 암반노출사면의 녹생토 부착성 강화를 위한 결합재 개발
○ 친환경 녹생토의 식생 향상을 위한 기능성 첨가제 개발
○ 친환경 ECG 녹생토의 중금속 용출 방지 기술 개발
(2) 친환경 ECG 녹생토의 적용성 검증
○ ECG 녹생토의 물리역학적 성능 및 내구성 검증
○ ECG 녹생토의 토양 재료 정수 특성 분석
○ ECG 녹생토의 식생 성능 및 환경 영향성 검증
○ 외부 환경 기반의 Mock-up test 수행을 통한 적용성 평가
(3) ECG 녹생토의 현장적용 및 실용화 기술
○ ECG 녹생의 최적 배합 설계 도출
○ ECG 녹생토의 구성재료별 시제품 제조 및 출시
○ 실제 급경사면의 ECG 녹생토 타설 및 시험 시공
○ 제품 특허 출시 및 시공 매뉴얼 정립</td><td colspan="2">보고서 면수: 138 페이지</td></tr>
</table>

연구의 목적 및 내용	○ 이 연구의 주요 목표는 ECG(Eco Clean Cement Grout)를 적용한 친환경 녹생토 재료 개발 및 시공법 개발이며, 목표 달성을 위한 세부 목표 및 주요 연구내용은 다음과 같음. ▢ 친환경 녹생토 재료 개발 - 국내외 관련 연구 및 개발 사례조사 - 계절별 최적 씨앗 조사 - 저알칼리형 경화재 개발 - 친환경 강도 촉진재 개발 - 녹생토 알칼리 저하 및 중금속 용출 방지 기술 확보 - 녹생토 최적 배합 설계 개발 ▢ 친환경 녹생토 적용성 검증 - 초기 개발 녹생토의 단기 물성 실험 - 초기 개발 녹생토의 장기 거동 실험 - 개발 녹생토의 식생성능 실험 및 검증 ▢ 친환경 녹생토 현장 적용 및 실용화 기술 개발 - 항구성 친환경 ECG 녹생토 최적 배합 개발 - 항구성 친환경 ECG 녹생토 시제품 제작 및 시공법 개발 - 항구성 친환경 ECG 녹생토 시험 시공 및 시공 매뉴얼 작성 - 최종 개발 제품의 특허 출원 및 사업화 추진
연구개발성과	○ 본 연구 개발을 통한 핵심성과는 “친환경 ECG 녹생토 제조 기술” 및 “친환경 ECG 녹생토의 성능 향상 기술”로써 성과달성에 따른 정량적 성과는 다음과 같음. - 국내외 학술지 게재 논문 : 국내 4건 - 국내외 학술회의 발표 논문 : 국외 1건, 국내 12건 - 특허 출원 및 등록 : 출원 4건, 등록 1건 - 현장 적용 효과(현장 적용 건수) : 2건 - 매뉴얼 개발(제품 배합설계 및 시공법 매뉴얼) : 1건 - 사업화(시제품 출시 건수) : 4건 - 연구성과 확산 노력(연구개발 제품 관련 홍보) : 5회 - 인력양성 : 2건
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 활용방안 - 중앙·지방정부의 자연생태복원기술 관련 기술개발 촉진 및 활성화에 활용 - 암반사면 녹화의 핵심기술·소재개발을 통한 수입대체 수익발생 - 핵심기술 연구성과의 자연생태복원 관련 규정의 제도화에 기술자료 제공 - 환경복원관련 산업의 자원순환형·에너지 절약형 모델로 활용 - 건설재료 업체와 복원기술관련 업체 등 이종 업계 간 연계 조성으로 상호 기술이전 및 새로운 기업화 추진 가능 ○ 기대효과 - 기술적 측면 · 국내 녹화용 소재기술 개발의 기초 Database 제공 · 자연복원·친환경 녹화를 위한 소재 기술, 시공기술, 응용 등의 기술혁신 유도를 통해 관련 산업의 기술 경쟁력 향상 · 기존 녹생토 공법의 공정 단순화와 타종 업계 간의 기술 교류 및 발전 도모 · 환경생태복원 신소재의 다양화를 통한 적용·응용기술의 향상 - 경제·산업적 측면 · 현재 국내 인공지반 녹화 등에 사용되는 토양관련 소재는 약 80% 이상 수입되고 있으므로 본 대체소재 기술개발을 통하여 외화를 크게 절감하고 토양소재의 기능을 다양화하여 품질의 우수성 확보에 의한 국내 내수제품의 경쟁력을 극대화 할 수 있음. · 환경복원관련 녹화 토양소재 제조기술의 선진화 토대 마련을 통해 친환경 건설산업육성 및 새로운 수요 시장 창출

핵심어 (5개 이내)	에코 클린 시멘트 그라우트	사면 안정	녹생토	친환경	항구성

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	○ Development of eco-friendly green slope soil materials - Case study of domestic and international research and development - Research for seasonally optimized seed - Development of a low alkaline settable material - Development of eco-strength promote materials - Prevention skill of heavy metals soil pollution and the alkaline degradation skill - Optimization for mixture of Green slope soil materials ○ Adaptability verification of eco-friendly green slope soil - Short-term experiment of the initial development of the green slope soil properties - Long-term experiment of the initial development of the green slope soil behavior - Experiment of vegetation verification ○ Development of eco-friendly green slope soil field application and commercialization skill - Development of optimum formulation of permanency eco-friendly green slope soil - Establishment prototype of permanent eco-friendly green slope soil - Development of permanent eco-friendly green slope soil construction method - Construction of permanent eco-friendly green slope soil test - Development of permanent eco-friendly green slope soil construction manual - Promotion of patent and commercialization of final development product
Results	In this research, by developing of bedrock vegetation materials using ECG technology, it is intended to finally developing of eco-friendly permanent rock slope stabilization vegetation using permanent eco-friendly mineral vegetation for shotcrete. Furthermore, it urges the stability of slope which is socially issued and making eco-friendly zone. In a first year, it is focused on technique for reducing alkalinity and developing strength of green slope soil material. Also, research scope will be set up through the examination of the properties and performance of green slope soil material, in a second year. Lastly, in a third year, through the site construction with developed green slope soil, establishment technique of stabilized permanent green slope soil will be finalized. ○ The summary of the annual research content and scope of this research is as follows. - 1st year (Development of eco-friendly green slope soil material) · Case study of domestic and international research and development · Research for seasonally optimized seed · Development of a low alkaline settable material · Development of eco-strength promote materials · Secure the green slope soil heavy metals and the alkaline degradation prevention technology · Development of Green slope soil optimum scheme - 2nd year (Eco-friendly green slope soil applicability verification) · Short-term experiment of the initial development of the green slope soil properties

	· Long-term experiment of the initial development of the green slope soil behavior · Experiment of vegetation verification - 3rd year (Development of eco-friendly green slope soil field application and commercialization technology) · Development of optimum formulation of permanency eco-friendly green slope soil · Establishment prototype of permanent eco-friendly green slope soil · Development of permanent eco-friendly green slope soil construction method · Construction of permanent eco-friendly green slope soil test · Development of permanent eco-friendly green slope soil construction manual · Promotion of patent and commercialization of final development product
Expected Contribution	○ The core achievements through this research are "Manufacturing technique of eco-friendly green slope soil materials" and "performance improvement of environment-friendly technologies noksaengto shotcrete". Quantitative performance accordance with the achievement is as follows. - Paper published in domestic and foreign academic journals: 4 cases - Papers published in domestic and foreign academic conferences : 6 cases - Patent application and registration: 2 cases - Field application effects (number of field applications): 2 cases - Manual development (product formulation design and manual of construction method): 1 case - Commercialization (number of prototypes release): 2 cases - Research diffusion efforts (Promoting research and development products): 3 times ○ Expected effect - Technical Aspect · Provision of basic database in developing the material technology for domestic greening · Enhancement of technical competitiveness of the relevant industry through leading the technical renovation such as natural restoration, material technology for greening natural restoration of rock slope, installation technology, application, etc. · Simplification of process, technical exchange between other industries, and growth through the development of linking system of existing green slope soil skill · Enhancement of applied technology through diversified new material for restoring environmental ecology. - Economic/Industrial Aspect · Viewing that more than 80% of the soil related materials used for greening of domestic artificial ground at moment are imported, through the development of this alternative material, great reduction of foreign currencies is expected and furthermore, diversification of soil material could lead to maximize competitiveness of domestic products for domestic market through superior quality being secured. · Cultivation of environmental-friendly construction industry and creation of new demand market through the preparation of manufacturing technology of soil material associated with environmental restoration- use greening.
Keywords	Eco Clean Cement Grout; Slope Stability; Green Slope Soil; Eco-Friendly; Permanency	

〈 Table of Contents 〉

1. Summary of research project ·····1
2. Status of domestic and overseas technology development ·····12
3. Research performance content and primary achievements ·····19
4. Achievement of goal and contribution to relevant field ·····123
5. Plan to utilize R&D achievements ·····126
6. Overseas science and technology information collected during the research process ·····131
7. Security rating of R&D achievements ·····133
8. Status of research facilities and equipment registered in the National Science and Technology Comprehensive Information System ·····133
9. Implementation of safety measures in laboratories during R&D tasks ····133
10. Representative research achievements of R&D tasks ·····137
11. The others ·····137
12. References ·····137

[Appendix] Patent trend and Construction Trend Analysis for Green Soil ··139
1. Patent Trends ·····140
2. Current Status ·····268

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ·····1
2. 국내외 기술 개발 현황 ·····12
3. 연구 수행 내용 및 성과 ·····19
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ·····123
5. 연구개발성과의 활용계획 ·····126
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ·····131
7. 연구개발성과의 보안등급 ·····133
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ·····133
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ·····133
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ·····137
11. 기타 사항 ·····137
12. 참고 문헌 ·····138

[부록] 사면 녹화용 녹생토 특허 동향 및 시공법 기술 동향 분석 ·····139
1. 특허동향 ·····140
2. 현황조사 ·····268

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

가. 연구 목적

○ 본 연구의 목적은 기존의 녹화 재료와 공법의 문제점을 해결함과 동시에 급경사지나 암반 노출사면의 안정적인 녹화를 위해 토양안정화 기술인 ECG(Eco Clean Cement Grout)기술을 이용하여 사면 안정용 항구성 친환경 녹생토 재료와 시공법을 개발하는 것임.

○ 개발 기술의 특성은 에코 클린 시멘트 그라우트 기술을 식생용 인공토양(식생기반재) 개발에 적용하여 암반 절개면 혹은 급경사지에 포설 시 부착력과 내구성을 증진하는 것임.

○ 기존의 일반 법면녹화토 대비 2배 이상의 사용수명을 확보하고자 함.

○ 개발 기술의 주요 특징 및 적용 분야를 <표 1.1> 과 같이 나타내었음.

<표 1.1> 개발 기술의 주요 특징

특징	개발 기술	- 기술명 : 에코 클린 그라우트 기술을 이용한 녹생토 및 시공법 - 급경사지 및 암반 노출 사면의 녹화 안정을 위한 식생기반재 및 뿜어붙이기 공법
	주요 성능	- 토양경도 : 18 ~ 23 ㎜ - 토양산도(pH) : 10 이하 - 중금속 용출 : 공장용지, 도로, 철도용지 및 잡종지('나' 지역) - 식생 피복율 : 80 이상
적용분야	○ 법면 녹화를 위한 식생기반용 인공토양 ○ 도로 급경사지 녹화용 고내구성 인공토양 ○ 암반 노출 사면 녹화를 위한 고부착력의 인공토양	

나. 기술의 구성 및 목표

(1) 기술 구성

○ ECG 기술을 이용한 사면 안정용 항구성 녹생토 재료 개발

- 식생기반재(인공토양)의 일종인 녹생토는 기본적으로 종자 발아와 식물 뿌리의 활착을 위한 적정 범위의 토양경도, 토양산도 등을 만족하여야 하며, 식물의 생육을 위한 수분과 영양분 제공이라는 특성이 부여되어야만 함.
- 일반 법면녹화토인 녹생토와 달리 급경사지 또는 암반 노출 사면의 안정적인 녹화를 위해 부착력을 증대시키고 식생에 적합한 광물계 친환경 재료를 개발 혼합하여 즉각적인 식생과 장기적인 녹화 상태 유지를 도모함.
- ECG 녹생토 혼합물은 실용화 측면에서 결합재, 첨가제, 식생기반재로 구분되며, 부착력 향상을 위한 결합재, 식생환경 조성을 위한 첨가제, 영양분을 제공하는 비료 성분의 친환경 식생기반재로 구성하였음.

○ ECG 기술을 이용한 사면 안정용 항구성 녹생토 시공법 개발

- 일반적으로 녹생토는 종비토뿜어붙이기공법(hydroseeding measures with seed-fertilizer-soil materials)으로 시공되며, 이 시공법은 주로 암반절개지비탈 및 채석장잔벽비탈의 전면적인 속성녹화를 목표로 시공하는 암반비탈녹화 공법으로 시공법이 매우 다양함.



[그림 1.1] ECG 녹생토의 기술 개요

- 해당 공법은 녹생토의 안정적인 부착을 위하여 부착망, 앵커바, 앵커핀, 고정 와이어로프 등의 부대 시설 설치가 필요함.
- 따라서 본 연구개발에서는 녹생토의 뿜어붙이기 공법을 바탕으로 추가적인 부대시설 없이 녹생토 재료의 자체적 부착력과 내구성을 증진시키기 위한 혼합물의 최적 배합을 제시하고 시공방법을 도출하였으며, 시험 시공을 통한 ECG 녹생토의 적용성을 검토하였음.

(2) 기술 목표

○ 식생기반재(인공토양)는 기본적으로 종자 발아와 식물 뿌리의 활착을 위한 적정 범위의 토양 경도, 토양산도, 토양 전도도 등을 만족하여야 하며, 식물의 생육을 위한 수분과 영양분 제공이라는 특성이 부여되어야 함. 또한, 시공 후 즉각적인 식생과 사면의 식생 피복 상태, 내후성과 내구성을 충족하여야 함.

○ 기술 목표

- 뿜어붙이기 시공 시, 급경사면 및 암반노출사면에 대한 부착성이 양호할 것
  · 일정 수준의 점착성 : 우천 시 식생 재료와 암반 사면의 슬라이딩 저항성 강화
  · 시공성 확보 : 시멘트 계열의 ECG 기술이 적용하기 위한 속경성 확보와 단기 경도 발현 속도 촉진
- 뿜어붙이기 시공 후, 즉각적인 식생과 피복이 가능할 것
  · pH가 저감 : 강알칼리의 시멘트 사용에 따른 식생 저하 방지 목적
  · 공극률 확보 : 식물의 뿌리 생장에 대한 방해요소 해결
  · 수분의 이동 경로 확보 : 식물 성장의 원활한 수분 공급을 위한 내부 거시 구조의 수분 확산 경로 확보하고 우수의 배수 및 동절기 동결 방지 효과
  · 친환경적 비료 성분 첨가 : 식생보강공법에 사용되는 일반적인 비료를 배제하고 자연친화적인 비료 성분 함유
  · 일정 수준 이하로 경도 유지 : 표면 경도 저감을 통한 식물의 발아 촉진
- 뿜어붙이기 시공 후, 사면에 항구적 부착이 가능할 것
  · 적절한 부착강도 : 식생 효과와 인공 토양의 슬라이딩 및 침식을 방지하기 위한 사면과의 최적 부착력 확보, 우천 시 슬라이딩 저항성 검토

· 내구성 및 내후성 양호 : 유지보수 기간 및 사용수명이 짧은 일반적인 녹화공법의 단점을 보완하기 위한 내구성 및 내후성 강화

다. 기술의 독창성 및 우수성

○ 국토 기반 시설의 개발로 절개면이 다수 생성되고 있으며, 지반의 지질학적 특성(토질의 종류 및 불연속면 상태 등) 및 기상 조건의 영향으로 크고 작은 사면붕괴가 빈번히 발생하고 있음. 이와 같은 사면붕괴를 사전에 방지하거나 이미 붕괴된 사면의 안정성을 향상시키고 자연복원을 위한 적절한 사면보강 및 녹화공법이 필요함.

○ 기존의 법면 녹화용 식생기반재와 녹화공법은 사면 보호기능이 취약하여, 내구성이 결여되어 4~5년 주기의 재시공이 불가피함. 따라서 사회주기적 비용이 높아 이를 해결하기 위한 경제적이며 지속적인 사면 녹화 및 안정화 공법 기술 개발이 요구되고 있음.

○ 본 기술은 알칼리성의 시멘트 기반인 Eco Clean Cement Grout를 식생 기반재로 개발한 차세대 건설융합기술로서 다음과 같은 차별성과 우수성을 지님.

- 구조적 측면

· 시멘트 계열의 토양안정화재료를 사용함으로써 일반 토양에 비해 부착력과 강도가 우수하고 점착력과 내부마찰각이 높음.

· 기존의 녹생토에 비해 급경사지나 암반노출사면에 안정적인 표토층 확보가 가능함.

· 급경사지나 암반출사면의 토양층 확보를 위한 부대시설이 불필요함.

- 내구성 및 내후성 측면

· 노출된 사면과 밀착된 보호층을 형성하여 장기 풍화 방지 및 안정적인 식생조건의 제공이 가능함.

· 흡수성폴리머 재료를 사용하여, 우수의 흡수와 배수가 원활함으로써 우수에 대한 저항성이 높음.

· 일반적인 인공토양 혹은 녹생토에 비해 동결융해 저항성이 우수하고, 건조수축율이 낮아 토양의 탈락 저항성이 높음.

- 녹화의 효율성 및 유지관리 측면

· 18~23㎜ 수준의 경도 조건을 지님으로써 종자의 발아와 식물 뿌리의 활착이 원활함.

· pH 조절제를 사용하여 강알칼리성 시멘트 재료로 인한 식물의 성장 장애 요인 해결

· 일반 녹생토에 비해 단기 식생 피복율이 우수하며, 재료의 자체적인 보습력과 함수 효과로 식생의 고사 확률이 적어 장기적인 녹화 효과를 확보할 수 있음.

- 경제성 및 시공성 측면

· 사면에 추가적인 부대시설의 설치가 없어 시공비가 저렴하며, 기존의 뿜어붙이기공법에 사용되는 살포기, 대형 콤프레샤, 아리바 등으로 시공 가능하여 시공 장비비가 추가로 발생하지 않음.

· 초기 식생 유도를 위한 관리 비용이 저렴하며, 피복속도가 빨라 조기 식생 정착에 유리함.

· 구조적 성능과 내구성이 우수하여 재시공 주기가 길며, 일반 녹생토 시공비 대비 경제성이 우수함.

- 친환경성

· 기존의 인공적인 비료성분을 포함한 식생기반재(녹생토)와 달리 자연친화적인 식생기반재를 사용하여 친환경성을 지님.

· 결합재의 ECG 재료로 중금속 용출을 억제하여 유해 물질의 외부 유출과 식생의 유해성을 차단

<표 1.2> 종래 기술과의 차별성

사업명	부처명	수행 기관	연구기간	내용 및 주요기술	본 기술의 차별성
목질 분쇄재를 이용한 리사이클 녹화공법 개발	농림 수산 식품부	강원 대학교	2006.04. ~ 2009.04.	임내에 방치되고 있는 폐잔재와 유목 등을 분쇄하여 녹화기반재로 활용하는 방안을 마련하기 위해 목질 분쇄재를 이용한 리사이클 녹화공법	암반과 부착강도를 가지며, 식생에 적합한 광물계 친환경 인공토양재료와 이를 사용한 암반사면식생공법에 대한 연구개발
테라토 공법을 이용한 고효율 인공지반 녹화기술 개발	중소 기업청	동신 대학교	2006.10. ~ 2007.04.	법면용 테라토를 기본으로 조경용 테라토를 개발하여 식물생장에 유해성을 가지는 미생물의 검출 여부와 식물생장에 미치는 영향을 규명하고 주 대표 성분의 적정 배합 비율을 규정하여, 옥상조경 식생기술을 개발	사면 안정을 위한 보호공법 중 주변 환경과 친화적 특성을 가지고 있는 사면식생공법은 경질무토양 암석지나 콘크리트 분야까지 그 적용범위를 확장하고 있는 추세임. 즉,하이드로시더(hydroseeder)를 이용하여 종자를 인공토양과 함께 살포하고 식생의 생육기반을 인공적으로 조성
Terrato 공법을 이용한 인공지반용 녹생토 개발	중소 기업청	동신 대학교	2007.01. ~ 2008.04.	테라토에 다양한 토양재료를 첨가하여 적정 배합비율을 규명하고 이를 이용한 비탈면 훼손복구를 위한 녹생토 및 인공지반용 경량토의 개발	환경 친화적인 부엽토를 식생기반재로 사용하고 결합재와 첨가재를 개발 혼합한 조성물로 구조성능과 내구성이 우월함.
돌기형 FRP 보강관과 표면침식 보호용 그물망을 이용한 사면보강 공법 개발	중소 기업청	강릉 영동 대학교	2006.08. ~ 2006.11.	사면에 적용이 용이하고 보강효과가 우수한 사면보강용 돌기형 FRP 보강관 개발 표면침식보호 및 낙석발생 방지용 그물망 개발 돌기형 FRP 보강관과 그물망으로 조합된 보강효과가 뛰어나고 경제적인 사면보강공법 개발	비탈면 녹화공법으로 사용되는 녹생토 공법과 사면보호용 콘크리트 뿜어치기(숏크리트)공법의 단점을 극복하고 장기적인 안정성과 환경복원을 동시에 도모코자 하는 공법

라. 기대 효과

(1) 기술적 측면

○ 사면의 구조적 안정성 및 내구성 확보

- 구조적 측면에서의 비탈면 안정성과 환경복원은 식생이 자유로우며 항구적인 부착 특성이 유지되어야 하는 상호배치적인 개념을 요청하고 있음.
- 기존의 암반 사면에 적용한 녹생토는 일반 토사와 비료 성분의 식생기반재를 혼합하여 뿜어치기하는 방식으로, 급경사지나 암반 노출사면에서의 부착성과 내구성이 결여되어 3~4년 후에는 탈착되거나 토사가 흘러내리고 식생이 멈추는 등의 문제점이 발생하고 있음.
- 또한, 기존의 녹생토는 건조수축에 따른 표면 탈락으로 조기 부착력이 저조하게 발현되며, 우천 시 강우 강도가 높을 경우 사면의 세굴 및 훼손되어 내구성 및 안정성이 열악함.
- 반면, ECG 녹생토는 암반 사면 시공으로 노출되는 사면과 밀착된 보호층 형성으로 장기 풍화방지 및 안정적인 식생조건의 제공이 이루어지므로 구조적이고 원천적인 사면 안정성을 기대할 수 있음.
- 개발 기술은 ECG는 항구성을 유지할 수 있는 기계적인 부착력과 식생이 원활할 수 있는 토양적 특성을 겸비함.

(2) 사회적 측면

○ 사회 이슈 해결 및 국가 정책 부합

- 경제성장은 인류 문명의 발전에 기여하였으며 생활의 편리함을 제공하였으나, 급격한 산업화와 도시화로 인하여 자연환경은 점차 악화되고 있음. 최근 들어, 국토 인프라 확충으로 인한 노출 사면 발생이 환경적인 삶의 질 저하 및 급경사지 안정성 문제로 동시 대두되고 있음.

- 환경복원 시장 규모는 총 11,233억원(2006년 기준) 중 도로 및 광산분야가 약 430억원을 차지하며, 급경사지 재해 예방 관련한 비탈면 보호 시장으로 확대될 것으로 예상됨. 따라서 노출 사면의 환경복원 측면과 구조적 안정성 유지 측면에서의 최적의 비탈면 녹화공법이 필요함.
- 본 기술개발의 목적인 자연친화적 사면 녹화 안정화 공법은 비탈사면의 안정성 유지 및 환경복원 극대화에 크게 이바지 할 것으로 기대됨.

○ 녹화재료의 친환경성 확보

- 종래의 사면 녹화용 식생기반재인 녹생토는 원재료로 돼지 분뇨 발효성분, 제지용 애쉬 등의 산업부산물을 재활용하고 있으나 내구성이 부족하여 4~5년마다 재시공을 필요하여 동일한 주기로 새로운 건설폐기물을 배출시키는 큰 단점을 지님.
- 또한 비료 성분과 원재료가 지니고 있는 유해 물질의 배출로 인해 환경영향성에 대한 추가적인 우려를 낳고 있음.
- 본 연구를 통해 개발된 ECG 녹생토는 시공 후에 자체적인 부착력과 강도를 발현시키는 친환경성의 광물계 재료가 혼합되었으며, 식생기반재는 비료성분이 아닌 천연 부엽토가 바탕이 되므로 환경친화성을 기대할 수 있음.
- 또한, 알칼리 및 중금속의 용출 없이 내구성이 우수한 친환경 원료를 혼합하여 조성물을 구성함으로써 주변 환경에 대한 오염을 최소화하는 동시에 항구적인 사용수명을 기대할 수 있어 사면의 훼손에 의해 발생하는 건설폐기물의 발생량을 절감하는 효과가 기대됨.

(3) 경제적/산업적 측면

○ 초기 시공 비용 및 유지 · 관리 · 보수 비용 저감

- 기존의 녹생토 녹화 공법은 사면과의 부착성을 보완하기 위한 코어네트 등 부수적인 재료비와 부대시설 시공비가 발생하고 초기 식생 활착을 위한 관리도 필요함.
- 반면, ECG 친환경 녹생토는 시공 초기부터 재료의 자체적인 부착성능을 발휘할 수 있으며 시공 후 즉각적인 식생을 유도할 수 있어 초기 시설비와 부수 재료비가 발생하지 않아 경제성이 높음.
- 또한, 친환경 녹생토는 기존의 녹생토와 비교하여 상대적으로 자체 공극율이 높아 동일 체적의 녹생토 시공에 필요한 재료를 약 30% 정도 절감할 수 있으며, 시공 시 리바운딩 양이 적어 재료 손실이 적음.
- 한편, 기존의 녹생토를 사용하는 재래식 사면녹화시공방법의 경우, 사면보호 기능의 시간적 한계로 암반 녹생토 재시공 불가피하며, 사회 주기적 비용(Life Cycle Cost)이 높음.
- 특히, 높은 강우강도로 인해 사면으로부터 씻겨 나가거나 쓸려나가는 등의 훼손과 붕괴에 대한 저항성이 강하여 최소 2배 이상의 수명을 보장할 수 있음. 이에 사면 식생 유지에 필요한 비용을 50% 이상 절감할 것으로 기대됨.
- 중국, 홍콩, 일본 등 급경사지로 인한 문제점이 대두되는 상황에서 ECG 녹생토 기술의 해외진출 가능성이 높이 평가됨.

2. 연구개발의 필요성

가. 사회적 · 정책적 필요성

○ 우리나라의 경우, 전 국토의 약 70%가 산악지형을 이루고 있어 도로, 택지개발, 공단 개발 등의 조성에 따른 위험한 토사 및 암반 절개사면의 발생이 필연적임. 또한, 절개사면의 붕괴에 의한 인명 및 재산피해가 날로 증가하고 있는 추세임.

○ 최근 들어 지구 환경변화에 따른 집중호우, 태풍 등 기상이변 현상이 급증함에 따라 급경사지의 붕괴 및 이에 따른 부작용은 더욱 더 커지고 있는 실정임. 2013년도 소방방재 통계연보에 따르면, 급경사지 붕괴 위험 지역의 정비 대상은 총 1,756개소에 해당하며, 사업비는 1조 5,190억원(국비 50%, 지방비 50%)에 달하는 것으로 보고됨.

<표 1.3> 급경사지 붕괴 위험지역 정비 대상

(단위: 억원)

합계		'13년까지		소계		'14년 추진		'15년 이후	
개소	사업비	개소	사업비	개소	사업비	개소	사업비	개소	사업비
1,756	15,190 (7,595)	156	625 (312)	1,600	14,565 (7,283)	47	379 (190)	1,553	14,186 (7,093)

* ( )는 국비 지원액 및 완료예정 지구수임. (출처: 13년도 소방방재통계연보)

국내 붕괴 사고



경부고속도로 영천구간 암반붕괴 (2013.07.05)



충북 괴산군 급경사지 붕괴위험지역 (2014.12.07)



산방산 암반 붕괴 (2014.07.15)



충북 영동 낙석사고 (2015.04.21)

국외 붕괴 사고



Gorge Road, 호주 (2013.07.21)



Reed Hollinshead, 미국 (2014.10.04)



Drumnadrochit, 영국 (2015.01.31)



Goris road, 미국 (2015.04.21)

[그림 1.2] 절개 사면 붕괴 사고 사례

○ 또한, 택지사면에서 발생되는 재해는 인명 및 재산의 피해에 직접적으로 직결되는 경우가 대부분일 뿐만 아니라, 도로사면(고속도로, 국도, 지방도 등), 철도사면에서 붕괴가 발생한 경우에는 이용자의 직접적인 피해가 없다 하더라도 교통통제로 인하여 물류이동에 막대한 지장을 초래함. 이러한 직·간접적인 피해를 배제하더라도 대국민 신뢰도 저하를 야기하는 등 사회적 측면에서 사면 붕괴 및 위험사면 관리는 대단히 중요하다고 할 수 있음.

○ 국내 관련법령에는 사방사업법, 자연재해대책법, 산지관리법 등 10여 개의 개별법이 제정되어 관리되고 있음에도 불구하고 매년 발생하는 사면붕괴를 미연에 방지하기 위한 구체적이고 적극적인 사전예방차원의 대책은 미흡한 실정임. 이에 매년 피해가 반복되는 사면붕괴의 근본적 방지 기술 및 대책 수립이 시급한 실정임.

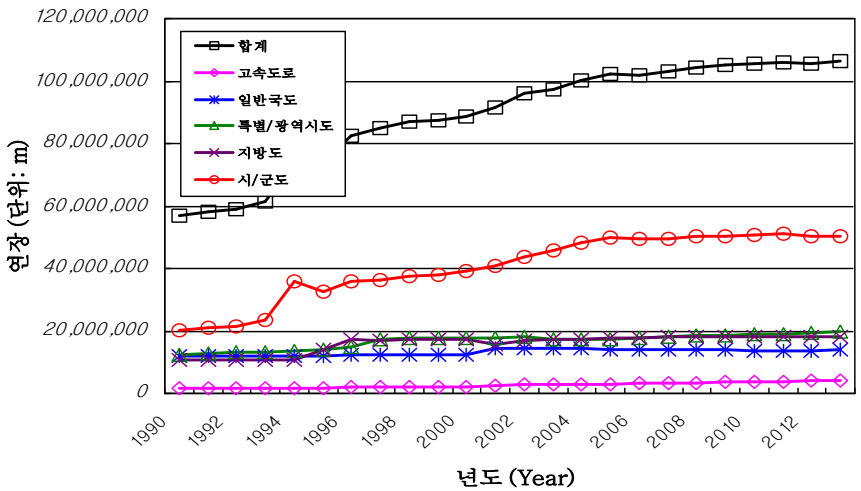
○ 위험사면 관리를 위하여 국내에는 여러 종류의 사면보호 공법의 시공이 실시되고 있음. 특히 기존의 사면식생공법은 사면보호 및 조경 사업의 일환으로 성장이 빠른 초목에 의한 급속한 피복으로 침식을 방지하여 사면 표면을 보호하는 공법으로 비교적 완경사 사면이나 흙사면에 많이 적용되어 왔음. 그러나 최근 공사의 대형화에 따른 급경사 절개면과 암반 노출사면은 상기 공법의 적용이 매우 어려운 상태로써 자연친화적인 새로운 사면 녹화 및 보호 공법이 절실히 요구됨.

나. 경제·산업적 측면

○ 사면을 절개할 경우 들어나는 암반 등은 주변 경관과의 부조화와 인근 주민들에게 미치는 심리적 압박감 등을 해결하기 위하여 국내 토목건설 시공현장에서는 자연친화적 공법의 적용이 시도되고 있으며, 무한한 시장성을 가지고 있음을 시사하고 있음.

○ 최근, 산업경제의 발전에 따라 대규모 국토개발, 국토정비사업 등이 활발하게 이루어지고 있으나, 국토가 협소하고 인구가 과밀한 우리나라에 있어서 이러한 대형 건설사업이 실시될 경우 고도의 인구밀집 지역인 충적 평야부에서 그 용지를 구하는 것이 어려워짐에 따라 산악 및 구릉지대의 개발이 점차로 증가할 전망임.

○ 또한, 일반국도의 경우 전체 12,650개의 절토사면이 분포하는 것으로 집계되며, 도로의 신설, 확장, 편입 등의 요인으로 해마다 개소 수가 증가할 것으로 판단됨. 고속도로의 경우 현재 3,000여개의 절토사면이 분포하는 것으로 집계되고 있으며 향후 2020년까지 국토의 7×9 격자망 형성 계획에 따라 고속도로 총 연장이 6,160㎞까지 확대될 경우 절토사면의 수는 지금보다 3배 증가한 9,000여개에 이를 것으로 분석됨.



[그림 1.3] 연도별 도로 증가 현황 (출처: 2014년도 국토교통 통계연보)

○ 한편, 사면의 보호와 녹화사업은 친환경 건설사업과도 밀접하게 연관되어 도로를 이용하는 주행자 및 이용객들에게 보다 친숙하고 환경친화적인 느낌과 경관을 제공함은 물론 주변 자연경관과의 자연스러운 조화로 녹화조성을 해결해야함.

○ 앞서 기술한 바와 같이, 국토 및 도시 개발에 있어 산악지형에 대한 활용이 꾸준히 증가됨에 따라 사면의 보호와 안정을 위한 여러 공법들이 개발되고 발전되어 왔음에도 불구하고 자연친화적이면서 구조적으로 안정한 재료와 저가의 시공법 개발이 부족하여 주기적인 재시공에 의한 경제적 손실과 자연 파괴가 날로 심화되고 있음. 이에 항구적이며 자연친화적인 사면보호 녹화공법의 개발로 근본적인 해결방안을 수립하여야 함.

다. 기술적 측면

○ 토목공사에 있어 절개사면의 안정을 위한 기본 대책은 크게 사면보호공법과 사면보강공법으로 분류할 수 있음.

- 사면보호공법: 안정적인 상태의 절개사면의 외부의 사면붕괴 요인 차단
- 사면보강공법: 불안정한 사면에 강제적 조치를 취하여 안정성 확보

○ 사면보호공법의 일종으로서의 식생이용공법은 사면표층부에 식물의 생육을 유발시켜 식물뿌리에 의한 구속력으로 흙의 결속을 증대시키고 표층수의 유입 억제로 흙의 침식, 건조 및 동상 등의 피해 경감하는 것이 목적이며 장·단점은 다음과 같음.

- 장점: 시공비가 저렴하고 미관이 좋으며 영구적인 시공효과 가능
- 단점: 심층부까지는 보강효과가 미치지 않고 식생에 적합한 지반 및 토양조건에서만 시공 가능하며, 특히 식물 뿌리의 활착이 어려운 암반에서는 식생공법을 성공적으로 시공하기에 무리가 있음.

○ 기존의 암반사면보호공법은 풍화토에 비료 성분과 함수율 증가 재료를 첨가하여 제조한 인공토양에 식물 씨앗을 첨가 후 암반에 살포하며 그 장·단점은 다음과 같음.

- 장점: 도로 절개면 녹화 및 사면보호 시공으로 경관이 좋고 환경적으로 친밀함. 산업폐기물을 재활용하며 암반에 대한 부착력과 보습력이 우수하고 기계화 인공토양 포설로 단기공사가 가능함.
- 단점: 급경사 암반사면의 경우는 인공토양의 수분 부족으로 식물 생장이 불량하고 암반사면의 요철 경사로 역비탈에서는 식물 생장이 곤란하며 흙사면에 시공되는 떼심기나 자연섬유메쉬 공법보다 공사비가 고가임. 특히, 인공토양 저부에서 발생하는 파괴에 저항력이 없음.

○ 따라서 암반사면보호공법에 필요한 성능으로 장기안정성의 유지와 미관의 유지, 배수 및 보습의 동시 추구, 친환경성 등이 요구되나 앞에서 전술한 대로 기존의 암반식생재료 및 공법은 항구적인 강도 발현 재료를 사용하지 않아 암반면과의 부착강도가 결여됨.

⇒ 인공토양 저부에서 발생하는 파괴에 저항력 미흡

⇒ 집중호우나 건습의 반복에 의해 인공토양재료의 유실 및 파손 발생

○ 이러한 문제의 해결을 위해 시멘트 사용으로 강도의 확보가 가능하나 일반 시멘트 계 재료는 강알칼리성으로 식생에 부적합하므로 암반과 부착강도를 가지며 식생에 적합한 광물계 친환경 인공토양재료 개발과 이를 사용한 암반사면 식생공법에 대한 연구개발이 필요함.

3. 연구개발 목표 및 내용

가. 연구개발 최종목표

○ 본 연구의 최종목표는 [그림 1.4]에 나타낸 바와 같이 급경사면 또는 암반노출사면에 안정적인 녹화를 위한 항구적 친환경 녹생토 재료와 시공법을 개발하는 것이며, 이를 위한 세부 목표는 다음과 같음.



[그림 1.4] 본 연구개발의 최종목표 및 비전

○ ECG 기술을 이용한 사면 안정용 항구성 녹생토 재료 개발

- 사면 안정을 위하여 암반과의 부착강도를 극대화하고 식생에 적합한 광물계 친환경 인공토양재료를 혼입한 ECG 녹생토 재료 개발
- 일정 수준의 토양 경도 및 를 확보, 친환경성을 강화하기 위한 기능성 첨가제의 활용과 즉각적인 식생효과 검증

○ ECG 기술을 이용한 사면 안정용 항구성 녹생토 시공법 개발

- 개발 재료의 최적 배합을 포함한 항구성 녹생토 재료의 뿜어붙이기 시공법 개발
- Mock-up test 및 현장 적용 시험 시공을 통한 시제품 출시 및 사업화

<표 1.4> 개발 기술의 성능 목표 범위

평가항목 (주요성능 Spec)	단위	세계최고수준 (보유국/ 보유기업)	연구개발 전 국내수준	개발 목표치			시 험 조 건	달성도 (%)
		성능수준	성능수준	1차 년도	2차 년도	3차 년도		
1. 압축강도	MPa	-	0.8~1.0	-	-	1.0 이상	KS L ISO 679 또는 KS F 2328	100
2. 경도	mm	-	-	-	18~ 23 이하	-	산중식 토양경도계	100
3. 함수율	%	-	-	-	30 이상	-	-	100
4. pH	pH	-	-	-	10 이하	-	KS M 0011 또는 KS M ISO 10390	100
5. 중금속 용출	-	-	-	-	-	-	KS I 3217	100
6. 씨앗 발아율	%	-	-	-	-	80 이상	KS I ISO 17126	100
7. 식생 성장율	%	-	-	-	-	30 이상	-	100

나. 연구개발 내용 및 범위

○ 본 연구개발의 내용과 범위를 정리하면 다음 <표 1.5>와 같음.

<표 1.5> 연구개발 범위 및 내용

연 차	연구개발 내용	연구개발 범위
친환경 녹생토 재료 개발 [1단계]	■ 국내 · 외 관련 연구 및 개발 사례 조사	- ECG 공법의 적용 사례 조사 - 녹생토 개발 및 응용사례 조사 - 녹생토 숏크리트 개발 및 관련 문헌 조사
	■ 계절별 최적 씨앗 조사	- 발아 및 식생 시험을 위한 암반 사면용 최적 씨앗 조사 및 선정
	■ 저알칼리형 경화재 개발	- 배합 조건 및 혼화재 사용별 알칼리도 측정 및 분석 - 물성 조건별 경화시간 시험 및 분석
	■ 친환경 강도 촉진재 개발	- 산업부산물의 중금속 함유량 조사 및 선정 연구 - 촉진재 적용 가능성 및 타당성 검토
	■ 녹생토 알칼리 저하 및 중금속 용출 방지 기술 확보	- 기초 실험 데이터 바탕의 모르타르 및 그라우트 검증 시험
	■ 녹생토 최적 배합설계 개발	- 시공성 및 경제성을 고려한 최적 배합 D/B구축
친환경 녹생토 적용성 검증 [2단계]	■ 초기개발 녹생토의 단기 물성 실험	- 배합 조건별 시험체 제작 - 배합 조건별 압축강도 시험 및 결과 분석 - 경도 시험 및 결과 분석 - 함수율 시험 및 결과 분석 - 알카리도 시험 및 분석 - 중금속 용출 시험 및 분석
	■ 초기개발 녹생토의 장기 거동 실험	- 건습 길이 변화 시험 및 결과 분석 - 급속 알칼리도 시험 및 결과 분석 - 중금속 용출 시험 결과 분석 - 내구성 및 내후성 검증 시험
	■ 식생 검증 실험	- 종자별 발아 속도 시험 - 식생 성장률 및 자생력 검증 시험
현장적용 및 실용화 기술 개발 [3단계]	■ 항구성 친환경 녹생토 최적 배합 개발	- 단기 물성 시험 결과에 따른 최적 배합설계 - 장기 거동 실험 결과에 따른 최적 배합설계
	■ 항구성 친환경 녹생토 시제품 제작	- 최적 배합설계별 시제품 제작 - 시제품 특허 출원
	■ 항구성 친환경 녹생토 시공법 개발	- Mock-up 실험을 통한 검증
	■ 항구성 친환경 녹생토 시험 시공	- 시험 시공 사이트 조사 - 시제품 시험 시공
	■ 항구성 친환경 녹생토 시공 매뉴얼 작성	- 시험 시공의 문제점 및 개선 방향 검토 - 최종 시공방법 매뉴얼 작성
	■ 최종 개발 제품의 특허 출원 및 사업화 추진	- 최종 성과물 활용 및 사업화 추진

○ 본 연구의 단계별 연구개발 흐름도는 [그림 1.6]과 같음.



[그림 1.6] 단계별 연구개발 흐름도

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 국내 · 외 기술 동향

가. 국내 기술 동향

○ 국내의 인공토양 소재기술은 해외의 선진복원기술에 대한 의존도가 높으며, 유 · 망실된 토양층 복원이나 자연의 힘에 의한 자연적 재생력을 활용하기 보다는 단기적인 안목으로 조기녹화에만 급급하고 있는 실정임. 특히, 녹화공법 적용기준이 미흡하여 외국공법을 무분별하게 적용하거나 적정녹화식물의 선정이 이루어지지 않고 있음.

○ 녹화공법의 이해 부족으로 Seed Spray만을 시공하거나, 약한 단립구조만을 형성하는 공법을 시공하여 침하에 의한 우수의 투수성 상실, 침식, 세굴 등의 문제가 발생하여 시공 후 조기에 훼손되는 경우가 빈번하며, 재시공하거나 다른 공법을 추가 시공하는 경우가 대부분임.

○ 90년대 들어 다양한 신기술과 신공법을 개발하고 있는 추세이나, 현재 국내기술이 적용되는 경우는 아직 미비하며, 수림화, 벽면, 옹벽, 도로 등의 다양한 녹화 복원을 위해서는 환경친화적인 인공토양소재 및 복원공법 등의 기술개발이 시급한 실정임.

○ 한편, 녹화대상의 상당부분을 차지하는 도로 비탈면은 과거 녹생토 공법이 주로 사용되었으나 최근 비용상승과 사용수명 등의 문제로 현장에서 발생되는 목칩, 자연표토 등을 고분자, 유기재료 등과 직접 현장 배합/가공하는 자연표토복원공법 등이 권장되거나, 장섬유를 혼합한 텍솔 공법,우수 침투성 확보를 위한 인공토양 개량공법 등이 취부공법으로 시공되고 있음.

○ 그러나, 암반사면과 같은 급경사 지역과 표토층이 부족한 곳에는 녹생토 공법의 적용에 무리가 있으며, 사면 안정을 위한 숏크리트 타설이 이루어지고 있음. 따라서 사면의 유실이 빈번한 사면의 녹화를 위한 신공법이 절실히 요구됨.



빗물에 의한 세굴 사례 | 표면 유실 사례

플라스틱 격자블록의 유실사례 | 콘크리트 격자블록의 유실 사례

[그림 2.1] 사면 유실 사례

나. 국외 기술 동향

○ 일본

- 사면 안정을 위하여 암반과의 부착강도를 극대화하고 식생에 적합한 광물계 친환경 인공토양재료를 혼입한 ECG 녹생토 자연토양을 위한 기술개발은 국토면적이 좁은 국가에서 많은 연구개발이 진행되어 현재 자연생태복원을 위한 기술로써 자주 활용되고 있음. 예로 일본의 자연표토기술 및 인고토양을 이용한 녹화기술 등이 대표적이며, 이러한 기술은 본디 자연토양이 갖고 있는 특성을 이용한 것으로 개발행위로 인해 자연토양이 훼손된 지역에 인공토양을 만들어 생물이 서식 가능하도록 하는 방법임.
- 특히, 일본에서는 인위적으로 훼손된 비탈면의 녹화기술과 더불어 건축물의 옥상녹화, 콘크리트 구조물의 녹화 등 도심지 녹화기술에 인공토양(녹생토)를 접목한 신공법을 개발하고 있음. 최근에는 새로운 개념으로 콘크리트나 시멘트에서 식물의 서식이 가능하도록 하는 친환경콘크리트 소재개발이 많이 시도되고 있으며, 식생이 가능한 인공섬 소재 개발도 진행되고 있음.
- 해당 기술은 매우 강력한 부착력을 갖는 신생기반재를 사면이 불안정한 비탈에 뿜어 붙이고 생태복원녹화를 유도하는 기술임. 또한, 건설 공사 시 수반되는 수목과 간벌재 등을 분쇄하여 재활용하는 기술로써 보조망을 치지 않고 불안정한 토사를 고정하여 집중호우에도 식생기반토양이 유실되지 않는 내침식성이 매우 강한 식생기반재를 비탈에 뿜어 붙이는 기술임.
- 일본에서의 비탈복원녹화기술은 단순히 자연 생태적인 접근뿐만 아니라 토질공학, 암반공학, 지반공학 등 다양한 공학적인 접근을 병행하고 있으며, 개발 전에 환경복원계획과 설계가 수립되어 있어 기본적으로 환경영향을 최소화할 수 있고, 시공 후에도 다양한 형태의 녹화사업을 단계별로 진행할 수 있도록 함. 순환형 사회와 녹화기술의 관련성이 밀접하게 발달하여 시민 참여형 녹화가 활성화 되고 있으며, 자원재활용(발생재의 재활용)이 일반화되고 있으며, 발생재의 퇴비화 연구뿐 아니라 발생재의 녹화토로의 활용이 발전하고 있는 추세임.



자연토양을 이용한 수림화 사례



인공토양을 이용한 수림화 사례



옥상녹화사례1



옥상녹화사례2



옥상녹화사례3



옥상녹화사례4



환경콘크리트의 사례



호안콘크리트의 생태복원녹화사례

[그림 2.2] 수림화 및 녹화 사례

○ 유럽

- 독일의 경우, 강, 소하천, 배수로를 자연적 하천모형으로 변형하는 근자연형하천 기술을 개발해 왔으며, 주변 공원과 연계하여 생태복원 인공지반을 구성함. 인공토를 활용한 도시공간의 녹화시스템 보급이 활성화 되어 있으며 그 외의 인공지반(주차장, 도로변 등)도 녹화를 추진하여 연간 700만m^2이상의 녹화면적이 확장되고 있음. 최근 녹화배수기술을 활용하여 우수처리를 하고 있으며 폐자재, 석탄재 등을 이용하여 경화시킨 경량 복원소재 및 실린더형 생태블럭을 개발/보급하고 있음.
- 스위스의 경우, 기본방침으로 하천주변에 소규모 하천처리장을 많이 건설하여 건천화를 방지하고, 생물학적 하천정비공법 기술 및 석재나 콘크리트 소재를 이용한 호안공법 기술이 개발되어 보급되고 있음.
- 프랑스의 경우, 국내에도 잘 알려진 폴리에스테르 수지를 이용한 연속 장섬유 보강공법인 텍솔(Texol) 녹화토공법 등이 활용되고 있음.

○ 미국

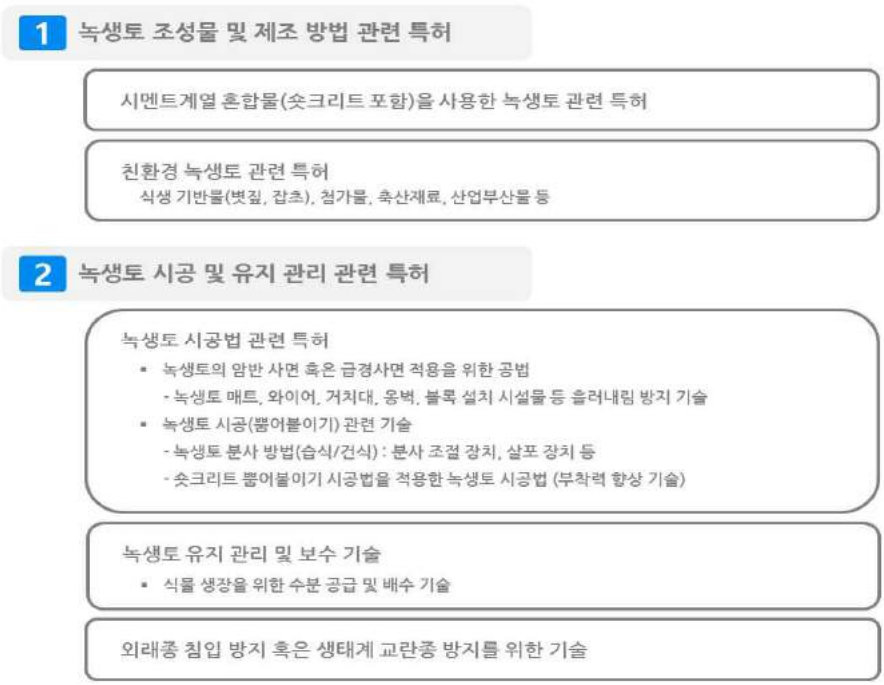
- 미국의 경우, 80년대 중반 생태 및 오염지역복원을 위한 Superfund program이 제정되면서 정부 주도의 목적 지향적이고 체계적인 기술개발이 본격화되어 왔음. 비탈면의 복원목표로 침식방지, 야생동물의 서식처 제공, 경관미의 향상을 설정하고 지역고유의 자생식물 위주의 녹화를 활발하게 시도하였음.
- 지역고유종을 녹화식물로 활용하기 위한 선발/육종실험을 지속적으로 진행하였으며, 조기녹화를 위해 외래종을 사용하기보다는 지역 고유의 식물 종자를 수집/활용하는 방안을 모색하고 있음.
- 침식방지를 위한 친환경적인 소재개발이 다양하게 이루어지고 있으며, 토양개량제로 Chelated Iron Soil Conditioner-Organic, Utelite E-Soil(Soil Conditioner)등을 개발하여 상품화하였음.

다. 국내 · 외 기술특허 조사 및 분석

(1) 조사 및 분석 범위

○ 사면 녹화용 녹생토 특허 동향 및 시공법 기술 동향 분석을 함에 있어서, 「녹생토 조성물 및 제조 방법 관련 기술」 「녹생토 시공 및 관리 기술」을 세부적인 대상으로 구분하여 조사 · 분석하였음.

○ 「녹생토 조성물 및 제조 방법 관련 기술」은 시멘트계열 혼합물(숏크리트 포함)을 사용한 녹생토와 식생 기반물(볏짚, 잡초), 첨가물, 축산재료, 산업부산물 등 친환경 녹생토 조성물 및 제조 방법을 범위로 함.



[그림 2.3] 특허 조사 범위 및 내용

○ 「녹생토 시공 및 관리 기술」은 녹생토의 암반 사면 혹은 급경사면 적용을 위한 공법(녹생토 매트, 와이어, 거치대, 옹벽, 블록 설치 시설물 등 흘러내림 방지 기술), 녹생토 시공(뿜어붙이기) 관련 기술(녹생토 분사 방법, 숏크리트 뿜어붙이기 시공법을 적용한 녹생토 시공법), 녹생토 유지관리 및 보수 기술(식물 생장을 위한 수분 공급 및 배수 관련 기술), 외래종 침입 방지 혹은 생태계 교란종 방지를 위한 기술을 포함하였음.

(2) 녹생토 조성물 분야 특허동향

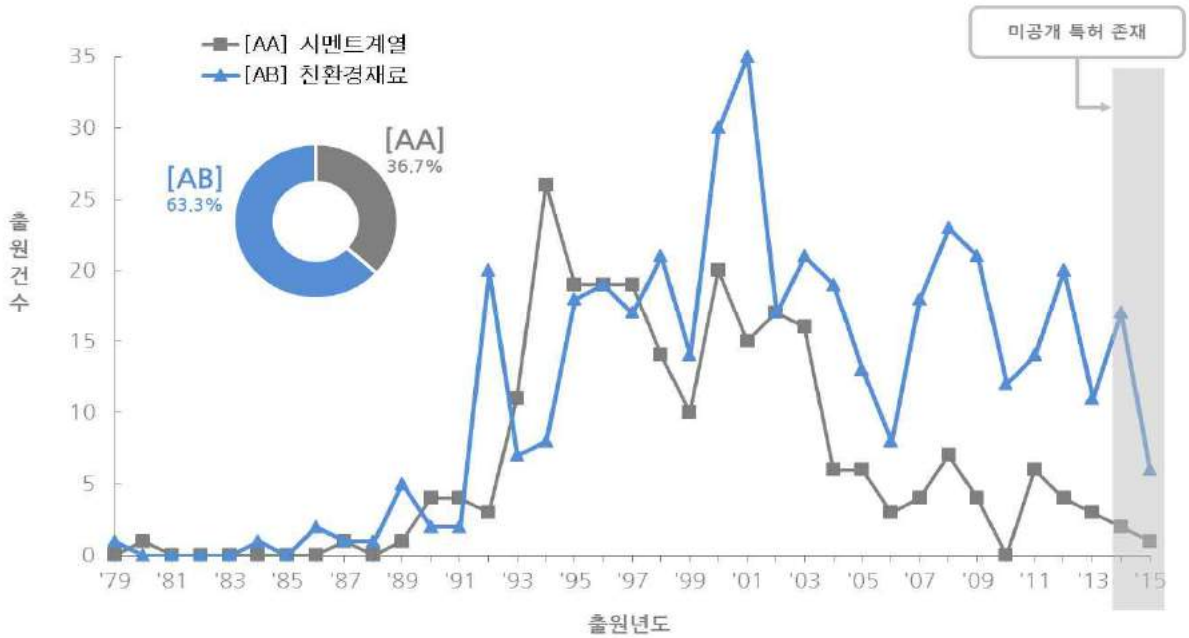
○ 아래의 [그림 2.4]는 [대분류 A] 녹생토 조성물 분야 관련 특허 중에서 [중분류 AA] 시멘트 계열 조성물 분야와 [중분류 AB] 친환경재료 조성물 분야 기술 분포의 연도별 동향을 나타낸 것임.

○ 전체적인 분포는 시멘트 계열 조성물 분야[중분류 AA]가 36.7%, 친환경재료 조성물 분야[중분류 AB]가 63.3%를 차지하여 친환경재료 조성물 분야가 시멘트 계열 조성물 분야에 비해 점유율이 약 2배가량 높게 나타났음. 따라서 시멘트 계열 조성물 분야에 관한 특허 보다 친환경재료 조성물 분야에 관한 특허가 비중이 높음을 확인할 수 있음.

○ 시멘트 계열 조성물 분야[중분류 AA]에 관한 특허 출원동향과 [중분류AB] 친환경재료 조성물 분야에 관한 특허 출원동향이 전체적으로 유사하게 나타났으나, 1993년부터 1997년까지는 시멘트 계열 조성물 분야의 특허 출원 점유율이 더 높았던 것에 비해, 1997년 이후부터는 친환경재료 조성물 분야의 특허출원 점유율이 더 높고 시멘트 계열 조성물 분야의 특허 출원건수와의 차이도 크게 벌어져 최근에는 시멘트 계열 조성물 분야보다 친환경재료 조성물 분야의 관심이 더 큰 것을 확인할 수 있음.

○ 특히, 시멘트 계열 조성물 분야의 경우 2004년 이후에는 매년 출원건수가 10건 미만으로 최근에는 출원건수가 많지 않음. 이는 점차 환경에 대한 관심이 높아지면서 녹생토 조성물 분야도 시멘트 계열보다 친환경재료 쪽으로 시장의 관심이 변화되고 있는 것으로 해석할 수 있음.

○ 따라서 시멘트 계열의 혼합물을 첨가한 녹생토 조성물은 환경오염물질의 방출 및 원활한 식생 환경 조성 등 친환경성을 겸비하여야 할 것으로 판단됨.



[그림 2.4] 연도별 녹생토 조성물 특허 출원동향 분석

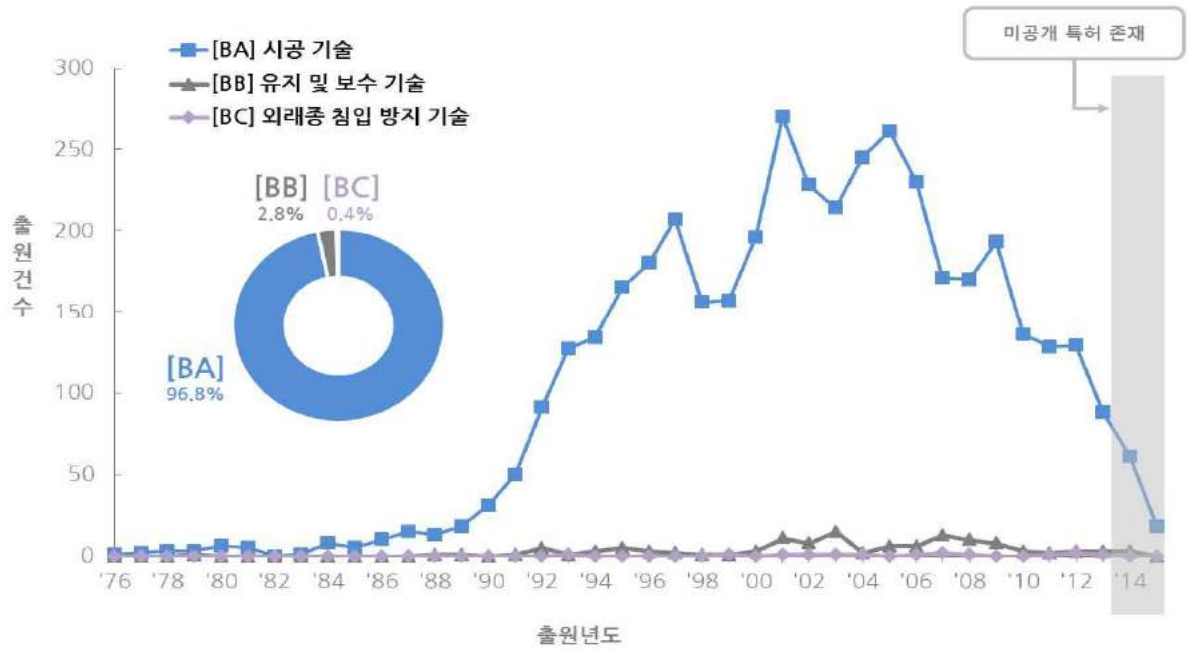
(3) 녹생토 시공 및 관리 분야 특허동향

○ 아래의 [그림 2.5]는 [대분류 B] 시공 및 관리 분야 관련 특허 중에서 [중분류 BA] 시공 기술, [중분류 BB] 유지 및 보수 기술, [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분포의 연도별 동향을 나타낸 것임.

○ 전체적인 분포는 [중분류 BA] 시공 기술 분야가 96.8%, [중분류 BA] 시공 기술 분야가 2.8%, [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분야가 0.4%를 차지하여 녹생토 시공 기술 분야가 다른 분야에 비해 점유율이 매우 높았으며, 따라서 시공 및 관리 분야에서 시공 기술 분야가 가장 비중이 높은 것으로 나타남.

○ [중분류 BA] 시공 기술 분야는 녹생토 조성물 및 시공법 전체 특허의 연도별 동향과 거의 비슷한 추이를 보이며, 전반적으로 1990년대 초반부터 2000년대 중반까지는 꾸준하게 증가하다가 2000년대 중반 이후로는 출원건수가 줄어들고 있는데, 이는 녹생토 조성물 및 시공법 전체의 특허 중 녹생토 시공 기술 분야가 차지하는 비중이 매우 높아서 결국 시공 기술 분야 특허의 연도별 동향이 녹생토 관련 특허 전체에 많은 영향을 주기 때문인 것으로 사료됨. 또한 녹생토 조성물 개발 보다는 녹생토 시공을 위한 부대 시설 및 시공법에 초점이 맞춰져 있는 것으로 판단할 수 있음.

○ 반면, [중분류 BB] 유지 및 보수 기술과 [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분야는 [중분류 BA] 시공 기술 분야에 비하여 매우 적은 출원건수를 보이고 있어 녹생토 전체 특허 출원의 연도별 동향에 미치는 영향은 매우 적은 것으로 해석됨.



[그림 2.5] 연도별 녹생토 시공 및 관리분야 특허 출원동향 분석

(4) 특허 종합 결론

○ 정량분석

- 한국, 일본, 유럽 및 미국 공개/등록특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술트리에 부합하는 유효특허를 추출하였고, 1974년(출원일 기준)부터 2016년 1월(검색일 기준)까지 출원공개 및 등록되어 공보가 발행된 유효특허 총 4,581건을 분석 대상으로 하였음.
- 전체 특허동향을 살펴보면, 1990년 이전까지는 출원건수가 미미하다가 1990년대 초반부터 2000년대 중반까지는 출원건수가 선형적으로 크게 증가하였으며, 2000년대 중반부터 최근까지는 하향세를 보이고 있는데, 이러한 출원동향 추이는 1990년부터 1998년까지 주요 시장국 중 일본의 출원건수 증가로 크게 증가하고, 이후 2000년부터 2005년까지 일본의 출원건수는 줄어들지만 한국의 출원건수가 크게 증가함에 따라 전체적으로 출원건수가 증가하였음. 2005년 이후에는 한국과 일본의 출원건수가 모두 줄어들면서 전체적인 출원건수가 하향선을 그리는 것으로 분석됨.

- 내외국인의 출원 비율을 보면, 전체적인 동향은 내국인 출원이 대부분이고 해외시장 진출은 많지 않은 것으로 판단됨.
- 기술발전도 분석을 살펴보면, 전체적으로 5구간인 2007년까지는 출원인 수와 출원건수가 함께 증가하는 추세에 있어서 녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 기술시장이 성장기에 있는 것으로 파악되었으나, 6구간인 2008년 이후부터는 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어드는 모습을 확인할 수 있는데, 이는 환경 산업시장의 특수한 성격이 반영된 결과로 해석되며, 많은 비중을 차지하고 있던 한국과 일본이 모두 환경 규제 강화 단계에 접어들면서 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어들었고 이러한 환경이 반영된 결과로 해석할 수 있음.
- 기술 분류별 분포를 보면, [대분류 A] 「녹생토 조성물」 기술이 13.6%, [대분류 B] 「시공 및 관리」 기술이 86.4%를 차지하여 시공 및 관리 기술의 점유율이 약 6배 이상 높았으며, 조성물 관련 기술만 단독으로 출원하는 경우는 많지 않고, 조성물 관련 기술의 경우 해당 조성물을 사용하는 시공법까지 함께 특허 출원하는 경우가 많음.
- 주요 출원인 분석을 살펴보면, 주요 출원인은 해외 출원이 많지 않았고 국내 출원이 대부분인 것으로 보아 관련 기술에 대한 해외시장 진출에 대한 의지는 높지 않은 것으로 파악되고, 녹생토 조성물 및 시공법 분야는 토목, 건설 분야이기 때문에 개인 출원보다는 주로 기업 출원이 대부분이었으며, 출원 분포도 대부분 시공법 분야인 [대분류 B]와 관련된 특허 출원이 많이 있음을 확인할 수 있었음.

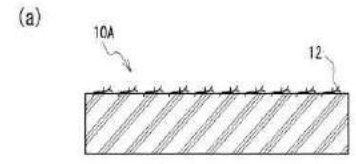
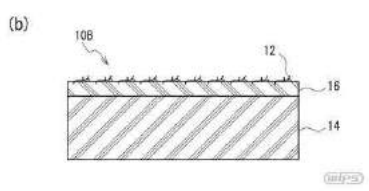
○ 정성분석

- 심층 분석을 위한 핵심기술은 전체 유효기술 중에서 본 보고서의 최종 목적인 ECG 기술을 응용한 친환경 녹생토 재료를 개발하고 친환경 항구성 암반사면 녹화 안정용 뿜어붙이기공법을 개발하고자 하는 취지를 바탕으로 1) 녹생토 조성물에 관한 기술 중 시멘트 계열 녹생토 조성물과 관련한 기술들, 2) 녹생토 시공 및 관리 기술 중 분사(뿜어붙이기) 공법과 관련한 기술들의 2가지 군에 대하여 선정하였음.
- 시멘트 계열 녹생토 분야에서는 유효특허 246건에 대하여 핵심특허 112건, 분사 공법 분야에서는 유효특허 543건에 대하여 핵심특허 351건을 선정하였으며, 선정된 핵심특허에 대하여 기술흐름도 분석, 주요 기술 소개, 핵심 출원인별 포트폴리오 분석을 통하여 세부 분야별 핵심 기술의 분포 동향과 관련 기술의 변화 추이를 파악할 수 있도록 하고, 이를 활용하여 향후 개발 기술의 특허전략 수립에 필요한 정보를 확보하고자 하였음.
- 시멘트 계열 녹생토 분야의 핵심특허에서는 다공성 시멘트 분야가 43건으로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 고로 슬래그 시멘트 분야가 29건, 플라이애쉬 시멘트 분야가 19건으로 그 뒤를 이었음.
- 핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면, 다공성 시멘트 분야와 고로 슬래그 시멘트 분야는 비교적 최근까지도 조성물의 주요 성분으로 활용되고 있으며, 식물의 생장을 필요로 하는 다양한 분야의 시멘트 구조 조성물의 주요 성분이 되고 있음.
- 뿜어붙이기(분사) 공법 분야의 핵심특허에서는 전체 공법 기술 중 다른 기술과 융합하지 않은 분사 기술만이 주된 공법인 기술이 전체 분사 공법 관련 핵심특허 351건 중 224건으로 64%를 차지하여 가장 큰 비중을 나타내고 있으며, 그 뒤를 이어서 망태 공법과 분사 공법의 융합 기술이 51건, 분사 장치와 관련된 기술이 50건으로 나타났음.
- 핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면 분사 공법 분야 및 기타 융합 분야는 1990년대 초반부터 최근까지 비교적 꾸준하게 관련 핵심특허가 분포하고 있으며, 시공법만의 특허보다는 다양한 조성물 관련 기술과 함께 출원되고 있음을 확인할 수 있음.
- 핵심 출원인별 포트폴리오 분석은 핵심특허에서 상위 출원건수를 보인 Nisshoku Corp., Toko Geotech Corp., Nittoc Constr. Co LTD를 대상으로 분석하였음.
- Nisshoku Corp.은 전체 유효 특허 출원에서도 가장 많은 출원을 하였으며, 핵심특허 출원인 중에서도 가장 많은 출원을 한 비중이 가장 높은 출원인으로, 핵심특허에서 출원 비중은 분사 공법 분야가 23건으로 70%를 차지하여 가장 많았으며, 그 뒤로 망태 공법과 분사 공법의 융합 공법이 7건으로 21%를 차지하였고, 매트 공법과 분사 공법의 융합 공법이 3건으로 9%를 차지하였음.
- Toko Geotech Corp.은 전체 유효 특허 출원에서도 두 번째로 많은 출원을 하였으며, 핵심특허 출원인 중에서도 많은 출원을 한 비중이 높은 출원인으로, 핵심특허에서 출원 비중은 분사 공법 분야가 13건으로 대부분인 93%를 차지하여 가장 많았으며, 그 뒤로 망태 공법과 분사 공법의 융합 공법이 1건으로 7%를 차지하였음
- Nittoc Constr. Co LTD는 전체 유효 특허 출원에서도 세 번째로 많은 출원을 하였으며, 핵심특허 출원인 중에서도 많은 출원을 한 비중이 높은 출원인으로, 핵심특허에서 출원 비중은 분사 공법 분야가 4건으로 67%를 차지하여 가장 많았으며, 그 뒤로 매트 공법과 분사 공법의 융합 공법이 1건으로 16%를 차지하였고, 분사 장치 분야가 1건으로 16%를 차지하였음
- 주요 출원인은 대부분 조성물 분야에는 핵심 특허 출원이 거의 없었고 시공법 분야에서도 조성물 관련 기술과 함께 출원한 것이 아닌, 시공법만의 기술 관련 특허 출원이었음.

<표 2.1> 국내 관련 특허 예시

발명의 명칭	고로슬래그를 이용한 식생콘크리트 조성물		
공개번호	KR 0416960 B1	**공 개 일**	2004-01-07
출 원 인	청진건설(주) [KR]		
패밀리 특허	국가 / 문헌번호 / 종류 / 일자 / 청구항 / 발명의 명칭 KR / 0416960 / B1 / 2004.01.17 / 2 / 고로슬래그를 이용한 식생콘크리트 조성물(A concrete composition for plant growing using slag) KR / 2002-0084398 / A / 2002.11.07 / 2 / 고로슬래그를 이용한 식생콘크리트 조성물(A concrete composition for plant growing using slag)		
기술요지	- 시멘트 구성 : 식생콘크리트 1㎥당 시멘트를 60kg~130kg, 분말도가 4000㎠/g 이상인 고로슬래그 130kg~200kg, 평균입경이 5㎜ 내지 25㎜인 굵은골재 1500㎏ 내지 1950㎏의 비율로 혼합되고, 결합제(시멘트+고로슬래그) 1중량부당 물 0.25～0.35 중량부로 구성 - 콘크리트의 구조물로써 사용될 수 있는 충분한 강도를 가지면서 다공성을 유지할 수 있고, 또 콘크리트 자체의 용해실험으로부터 알 수 있는 바와 같이 pH가 식물의 생장에 도움을 줄 수 있게 되므로 경사지용, 인공어초용, 호안블록용 등과 같은 식물의 생장을 필요로 하는 콘크리트로서 유용함.		
대표도면	대표도면 없음		
대표 청구항	시멘트와 골재와 물을 함유하는 식생콘크리트 조성물에 있어서, 식생콘크리트 1㎥당 시멘트를 60㎏～130㎏, 분말도가 4000㎠/g 이상인 고로슬래그 130㎏～200㎏, 평균입경이 5㎜ 내지 25㎜인 굵은골재 1500㎏ 내지 1950㎏의 비율로 혼합되고, 결합제(시멘트+고로슬래그) 1중량부당 물 0.25～0.35 중량부로 구성되는 것을 특징으로 하는 식생콘크리트 조성물		

<표 2.2> 국외 관련 특허 예시

발명의 명칭	녹화용 콘크리트 및 그 제조 방법		
공개번호	JP 2010-104271 A	**공 개 일**	2010-05-13
출 원 인	YAHAGI CONSTRUCTION CO LTD [JP]		
패밀리 특허	국가 / 문헌번호 / 종류 / 일자 / 청구항 / 발명의 명칭 JP / 2010-104271 / A / 2010.05.13 / 10 / 녹화용 콘크리트 및 그 제조 방법		
기술요지	- 수직면이나 사면의 녹화에 적합한 녹화용 콘크리트 기술을 제공함을 목적으로 함. - 본 발명의 녹화용 콘크리트는 이끼류를 포함한 생콘크리트가 경화되고 콘크리트 표면에 이끼류가 식생 되어서 이루어지는 것을 요지로 함. - 녹화용 콘크리트의 구성 : 이끼류를 포함하지 않는 콘크리트 기부와 상기 콘크리트 기부에 적층되어 있고, 이끼류를 포함한 생콘크리트가 경화되고 표면에 이끼류가 식생 되어서 이루어지는 녹화부를 가짐. - 수직면이나 사면 등에 설치한 경우에도 풍우 등에 의한 배양토나 비료 등의 유출을 방지하여 녹화 작용이 가능하고 효율적인 수행이 가능함.		
대표도면			
대표청구항	이끼류를 포함한 생콘크리트가 경화되고 콘크리트 표면에 이끼류가 식생 되어서 이루어지는 것을 특징으로 하는 녹화용 콘크리트		

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 친환경 녹생토 재료 개발

가. 국내 · 외 사면 녹화 재료 및 공법 조사

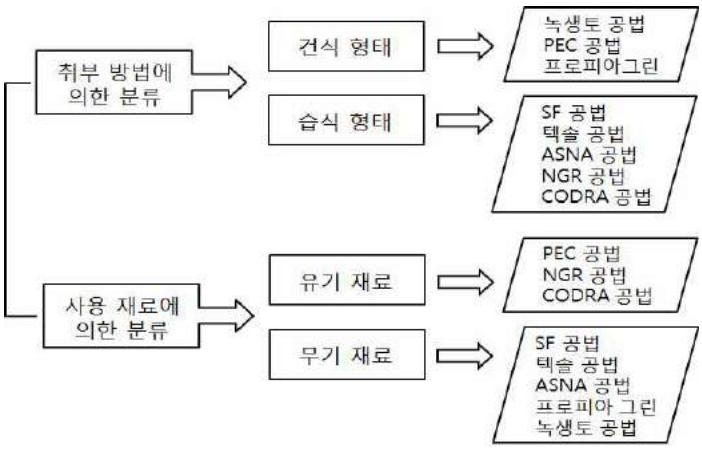
(1) 녹화의 개념 및 녹화공의 종류

○ 비탈면 녹화의 개념

- 비탈면의 토양과 표면침식을 방지하고 도로경관의 향상을 위해 시공하는 방법과 기술

○ 비탈면 생태복원의 개념

- 비탈면의 침식방지와 도로경관의 향상, 야생동물과 식물의 서식처 조성, 열섬현상 완화, 생물다양성 보전 및 저탄소 생태사회 조성을 위한 방법과 기술



[그림 3.1] 암반 비탈면 보호 · 녹화공의 분류

(2) 녹화공의 종류 및 특징

(가) 녹생토 공법(RS)공법

○ 개요

- 경암, 연암, 풍화암 및 건초척박지, 견고한 점토질과 사력 비탈면에 보비력, 응집력, 통기성이 강한 복합 유기질로 구성된 녹생토를 양잔디와 야생화, 향토 초목본류를 현장 여건에 맞게 혼합 살포함으로써 비탈면 유실 및 표면 낙석방지를 겸한 식생기반을 조성하여 녹화를 유도하는 공법임.
- 기존의 녹생토가 시공 후에 수분 증발과 함께 틈(crack)이 발생되고 모세관의 연계가 단절되어 식물생육에 지장을 초래하고 있어 응집력을 증진시키기 위한 새로운 R/S 녹생토를 개발하여 보습력 30~35%이상 증진시키고, 취부기계의 작업능률을 향상시켜 점토질과 사력 경사면에도 녹화시킬 수 있도록 개선한 공법임.

○ 특징

- 녹생토의 주재료는 산업폐기물이며, 기존의 녹생토 공법의 문제점인 보습력 및 응집력을 증진시키기 위하여 자연섬유인 볏짚을 잘게 썰어 혼합하거나 코코넛 껍질 분쇄물을 혼합하여 성능을 개선함으로서 갈라짐으로 인한 건조방지와 보습력, 응집력의 증진 효과가 있음. 기존 공법의 주재료인 연탄재의 대량 수급난으로 연소재, Fly ash, Bottom ash, 마사토 등으로 대체하여 재료의 질을 개선하고 식물환경에 더 좋은 영향을 미치도록 하였음.



[그림 3.2] 녹생토 공법

(나) PEC(Polymer-Ecology-Control) 공법

○ 개요

- PEC(Polymer-Ecology-Control) 사면녹화 공법은 친환경 생태 공학적 비탈면 녹화공법으로서 종래의 사면 녹화공법들이 화학적 소재를 사용하는데 반해, 천연소재와 환경에 무해한 친환경적 접착제 테라콘트롤(Terra-Control)로 구성된 식생기반재를 사용, 미생물의 증식을 촉진하여 식생정착에 적합한 조건을 제공함으로써 이상적 천이를 유도하여 절개 비탈면을 녹화는 공법임.

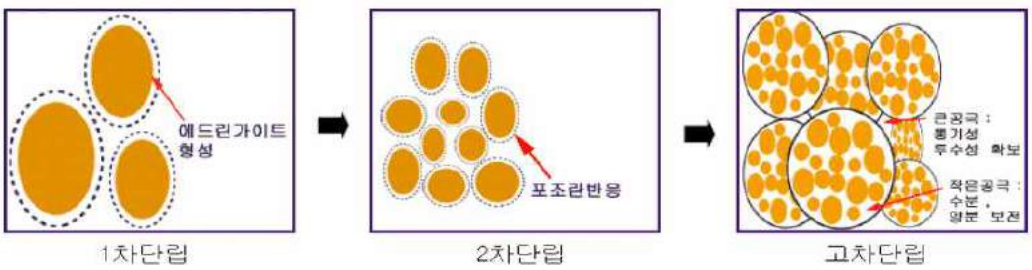
○ 특징

- PEC 공법은 기능적, 환경적으로 기존 공법과의 질적 차별화를 도모하고 인위적으로 훼손된 비탈면을 빠르고 안전하게 피복하여 침식 및 붕괴현상을 방지하고 자연환경과의 조화와 자연천이를 유도하여 본래의 자연생태계를 조속히 회복시키는데 그 목적을 두고 개발한 공법으로서 주요 특징은 친환경성, 간편한 시공성임. 그러나 녹생토보다 시공 단가가 높으며, 원래의 식생기반 토양이 있을 시 생육이 원활한 단점이 있음.

(다) 프로피아 그린(Propia Green)

○ 개요

- 유기질 부숙비료와 선별토양의 혼합배양토에 Propia Green(녹화토양 안정제)을 혼합하여 고화수화생성과 포졸란 반응을 일으켜 대상지의 녹화와 토양의 안정, 단립화, 침식방지를 꾀하는 공법으로 녹화용으로 이용됨. Propia Green을 녹화기반토양(싱싱토)인 혼합배양토에 첨가하여 보수성, 투수성의 효과 증대로 초화의 발아조건이 우수해지고, 취부용토는 탄력이 증대되고 밀착성이 향상됨. 시공 후 1~2시관 경과 후에는 강우에 의한 토양의 유실을 저감할 수 있으며, 시공 시 펄프제를 혼합하여 보습성을 보완하고 균열을 방지함.



[그림 3.3] 프로피아 그린 혼합에 의한 고차단립화 개념도

○ 특징

- 다양한 토질조건에 적용 가능하며, 암반면 취부 시에도 피막형성을 위해 화학적 유기첨가제나 철망을 사용하지 않으며, 초화류의 식생에 필요한 임의 두께(토사면: 2cm, 마사토: 3cm, 리핑암/풍화암: 5cm, 발파암: 7~10cm)시공이 가능하므로 공사비를 절감.

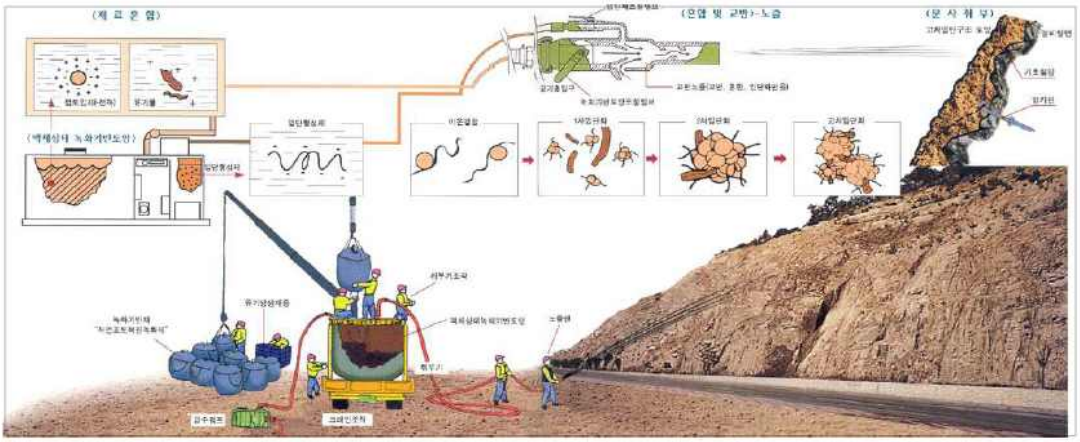
(라) SF공법(자연표토복원공법)

○ 개요

- 자연표토복원공법은 자연상태의 표토를 재현하는 시스템화 된 녹화공법으로 쉐손된 비탈면지역을 주변식생과 생태적, 경관적으로 조화된 자연으로 복구하는 환경친화적인 녹화공법임. 굴곡 및 균열이 있는 암반의 비탈면이나 경질토사, 강마사, 리핑암, 특수토양지 등 녹화가 곤란한 지역에 대하여 식물의 생육에 가장 접합한 입단구조를 지닌 자연표토를 재생하는 공법으로 내침식성이 있는 생육기반을 조성하여, 동식물이 지속적으로 건강하게 생육할 수 있게 하는 식생기반이기 때문에 다양한 자연식물군락의 복원을 가능하게 한 환경친화적인 생태복원기술임.

○ 특징

- 자연표토복원공법의 특징은 점성의 토양입자와 다기능성 초고분자, 유기재료, 식물섬유소 등을 특수하게 혼합하여, 재료간의 다양한 결합으로 서로 반응시킴으로써 강한 입단구조를 형성시켜 만든 녹화기반토양을 비탈면에 부착하여 토양의 환경을 식물이나 미생물의 생육에 적합한 상태로 유지시키는 안정된 식생기반을 조성함. 주재료는 자연토양(황토)으로 하고 보조재료로서 유기혼합퇴비, 피트모스, 식물성섬유를 사용하고 자생 초본 및 목본식물을 위주로 식생함. 그러나 이 공법은 자연 친화형 식물군락의 조성이 가능하고 토양이 고결화 되지 않지만 균열이 없고 매끈한 급경사 경암 비탈에는 적용이 곤란하고 작업온도가 5℃ 이상일 때에만 시공이 가능한 단점이 있음.



[그림 3.4] 자연표토복원공법(SF공법) 시공 순서도

(마) 텍솔공법(연속장섬유보강토)

○ 개요

- 1989년 프랑스 도로연구소에서 개발한 것으로 녹생토 공법과 유사한 토양개량제에 폴리에스터 연속장 섬유를 추가 혼합한 것으로 모래를 압축공기와 타설하면서 연속장섬유를 고압수로 뿌려 전단강도를 증가시키는 보강토 공법임.

○ 특징

- 주재료로 화산회토와 유기퇴비를 쓰고 보조재료는 비료양생재, 연속장섬유가 쓰이며, 사용종자로는 관, 교본식물을 위주로 함. 주요 경관지역 조기녹화와 낙성방지 효과가 있고 화학섬유의 혼합으로 균열억제가 용이하며 토사, 풍화암, 발파암 모두 적용 가능함. 또한 급경사지 시공이 용이하며 연속장 섬유로 생육 기반을 보다 안정적으로 시공이 가능함. 그러나 외래초종 사용으로 인해 주변 식생천이가 지연되고 시공단가가 고가여서 시공에 큰 제약이 따름.

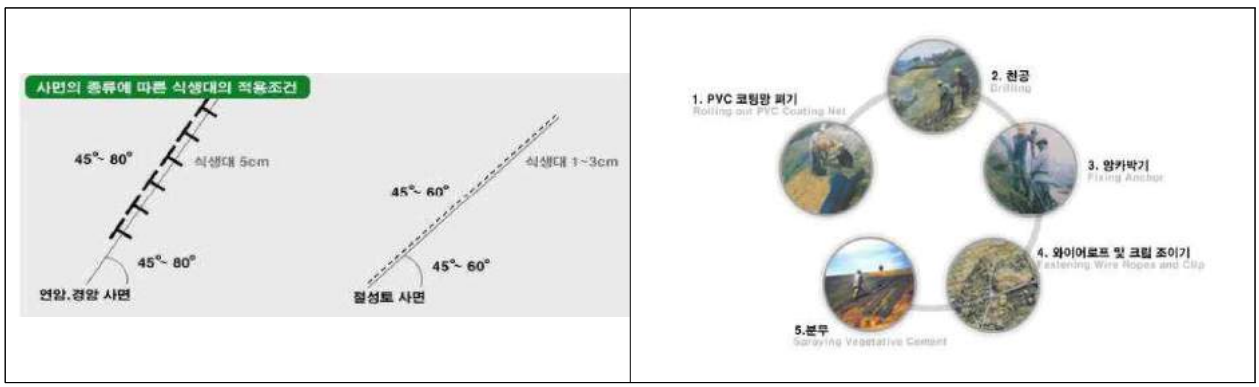
(바) ASNA(법면녹화배토습식공법)

○ 개요

- ASNA는 Artificial Soil Net Agglutination의 약칭으로 암반에 식생매트를 접착시켜 지속적인 식생대가 형성되도록 특수 개발된 인공토양(Artificial Soil)에 식물성 접착제를 첨가하여 부착력을 도모하고 기존 지반의 침식 붕괴에 장기간 견뎌낼 수 있도록 철망(Net)과 앵커로 지반을 안정시킴. 일반토양과 같은 기능을 부과하여 식물이 스스로 성장할 수 있도록 가공된 C.B.D.-1과 셀루로이스, 비료분, 침식방지제를 혼합하여 식물이 생육할 수 있도록 기반재를 조성하는 공법임. 요철, 균열이 심한 암절취면, 세굴이 발생하는 절토면에 시공하며, 토질과 시공시기에 따라 시공두께를 달리하여 적용하는 습식공법임.

○ 특징

- 일반적으로 적용경사면은 80°까지 가능하며 발파로 인한 경사면인 경우에는 60°에서 80°까지도 시공이 가능함. 종자의 발아는 3월초부터 10월말까지 이며 이외의 시기에는 씨앗의 휴면기 이므로 발아가 어려우며 11월에서 12월까지도 시공이 가능하나 발아는 다음해 3월말에서 4월이라야 가능함. 또한 아스나(ASNA)공법은 암 절리가 많은 곳은 락볼트로 0.3~1.5m까지 안정화시킴으로 동결 및 세굴을 방지하며 액상형태의 분무이기 때문에 균열부에 종자 침투 효과가 우수하지만 1회에 1cm 정도 두께까지 분무하므로 분무시간이 길어 시공속도가 늦고, 토양두께가 얇아 건조피해가 발생하는 단점이 있음.



[그림 3.5] 사면 종류에 따른 식생대 적용조건 및 아스나 공법의 시공순서

(사) NGR녹화공법

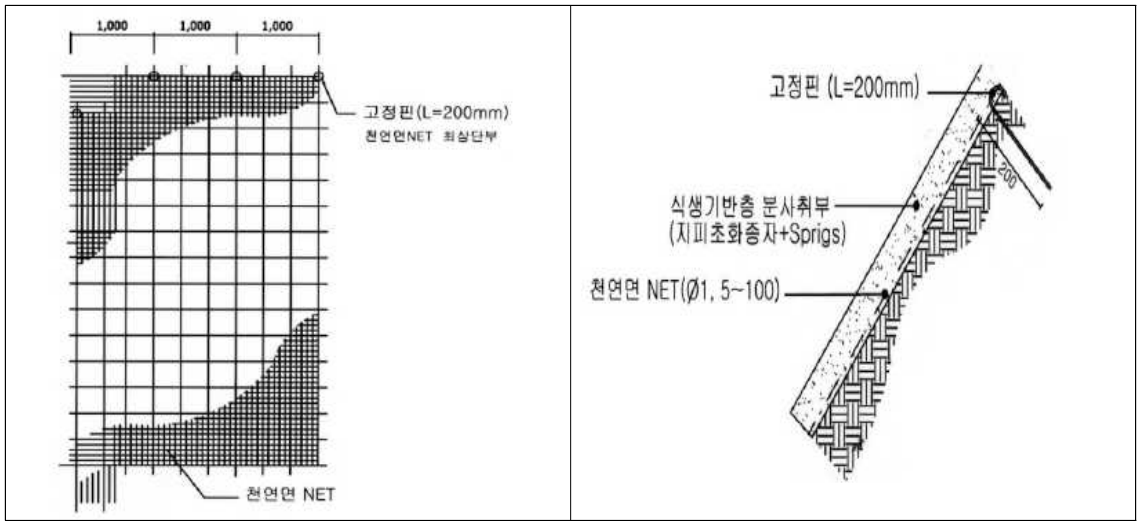
○ 개요

- NGR 공법(Native Groundcovers Restoration)은 자생식물을 이용하여 훼손된 환경을 단기간에 본래의 환경으로 복원하는 공법이며, 폐자재를 배제한 조성물 시공을 이용한 공법임. 다양한 식생형태(seed, sprigs, plug, pot, mat)를 이용하여 대상지에 첨단 식생조성기술을 활용하여 시공함으로써 식생의 조기정착기반을 확보하는 순수 국내 개발 녹화공법임.

○ 특징

- 일반 토사비탈면 및 균열이 발달한 암사면과 휴게소, 골프장, 콘도, 주택단지 등과 같은 경관을 요하는 지역에 적합한 공법임. 계절적으로 다양하고 아름다운 경관을 제공해 주며 자생식물 및 종자를 활용한 환경친화적 공법으로 다양한 유기물 재료의 혼합을 통해 조기 식생조성에 효과적임.
- 단점은 자생식물을 이용하여 시공하므로 공기에 제약을 받고, 시공단가가 높으며, 암반과 같은 무토양척박지의 경우 관수 및 차광망 등을 설치하여 지속적인 관리를 요함.
- 한국도로공사 도로교통연구원(1999)의 연구에 따르면 초기 녹화효과는 높으나 생육기반재가 얇고, 보조재료가 부족해 식물의 초기 생육이 다소 떨어지는 경향이 있으며, 여름철의 고온 건조 시에 하고현상이나 식물의 쇠퇴현상이 관찰되어 식물의 생육에 필요한 기반재가 필요한 것으로 나타남.

NGR공법 시공평면도 NGR공법 시공단면도



[그림 3.6] NRG 공법 표준도

(아) CODRA공법(원지반식생정착공법)

○ 개요

- CODRA공법은 특히 도로건설과 대규모 단지개발에 따른 절·성토사면에 대해서 인위적인 시설물이나 재료(망, 인공토양)의 도입을 억제하고 자연이 지닌 복원력을 이용하여 지반에 직접 식물을 정착시키는 방법임. 이 공법은 식물생육의 초기단계인 발아와 초기생장에 필요한 최소한의 생육보조재와 선구식물의 역할을 수행하는 종자, 이의 접착을 위한 고분자 수지 등을 이용하는 공법으로 자연천이의 초기단계를 빠르게 진행시킨다는 점과 척박한 훼손지의 환경을 다음 세대의 식물이 유입, 생장할 수 있는 생육환경을 조기에 조성함. 동일한 식물이라도 생장 환경에 따라 보다 나은 조건을 찾는 식물의 생리적 특성을 이용하고 선구식물 역할을 수행하는 식물을 통해 척박한 생육환경을 개선시키고 주변으로부터 식물 종의 활발한 유입을 유도하여 자연천이를 촉진시키는 공법임.

○ 특징

- 일체화된 기계화 시스템으로 공사비 절감 극대화와 고분자 수지와 '단기 생육보조재'가 이상적으로 결합되어 강우에 의한 취부 재료의 유실, 표면 세굴 등의 방지와 조기녹화가 가능하며 다양한 종자의 이용으로 자연스러운 경관 연출은 물론 자연천이를 유도하여 생태적으로 식물생태계 조기 형성되고 암반·마사·토사에 따라 생육보조재(CODRA)의 배합비/성분 등이 변화되어 대상지별 식물생육의 최적 조건을 형성함. 그러나 절리, 균열이 발달하지 않은 경암구간에 적용이 곤란하고 구배에 제한이 있음.

(자) 기타 공법

○ 종자뿜어붙이기공법

- 종자뿜어붙이기공법(Seed spray measures, Hydroseeding measures)은 비교적 토질조건의 제약을 적게 받으며 성·절토 비탈면 모두 적용이 가능하나 60°이상(1:0.6)의 급경사비탈면에서는 종자의 정착, 생육공간이 부족하여 적용 시 녹화효과가 불량함.
- 이 공법은 공사비가 저렴하고 기계화 시공으로 공기와 인력이 절감되고, 하자보수가 용이하며 다른 녹화공법과 병행하여 사용할 수 있을 뿐만 아니라 기계를 이용하여 시공하므로 대단위 면적을 빠른 시간 내에 시공할 수 있는 반면, 종자의 완전 발아, 활착 이전에 우수에 의한 세굴 및 유실에 대한 저항성이 거의 없으며, 씨드스프레이 살포작업 시 종자가 시공 비탈면 하단부로 많이 떨어지므로 시공 후 하단부에 집중적으로 잔디가 발아되며 상부로 갈수록 잔디의 생육밀도가 떨어지고 초기발아가 원활하지 못할 경우 2차 식생유도에 어려움이 따르며, 암반지역 적용 시 시공효과가 낮음.

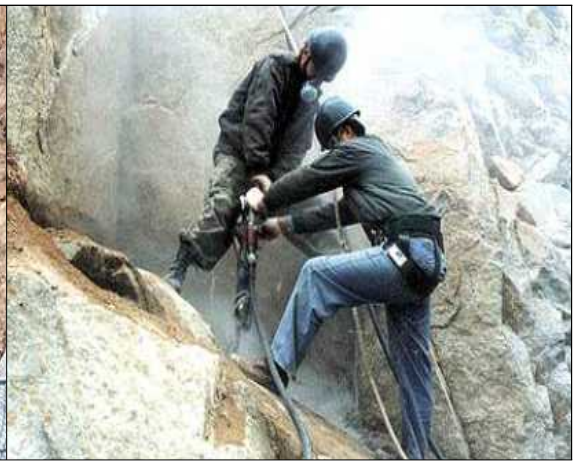
○ 암반사면부분녹화공법

- 암반사면부분녹화공법은 인위적이거나 자연적으로 훼손된 암반사면에 식물이 생육할 수 있는 식재 가능지역을 부분적으로 선택하여 생육기반을 조성한 후 배양토로 식재지를 뒷채움하고, 인위적으로 육묘된 강건묘를 식재하고 향토초류를 파종하여 시간이 경과하면서 주변 환경과 생태적, 경관적으로 조화될 수 있는 거점을 조성하여 주는 공법임. 초기 효과만을 위한 양잔디 및 싸리류 만을 파종하는 공법과는 달리 특수 양묘 된 소나무, 붉나무 등 강건묘를 식재하여 악조건에서도 신속히 활착하여 조기녹화를 도모할 수 있는 장점이 있음. 그러나 식재 가능 지역이 제한적이며, 암반사면의 부분녹화만 가능함.

1. 식재지 위치 표시



2. 식재지 굴착



3. 배양토 뒷채움



4. 강건묘 식재



[그림 3.7] 암반사면부분녹화공법 시공 사례

나. 녹화공법의 식생육 조건

(1) 비탈면 녹화공법의 식생육 조건

○ 일반사항

- 일반적으로 비탈면의 토양은 척박하기 때문에 녹화용 식생은 무엇보다도 척박지에서 견디는 수종이여야 하고, 조기녹화를 이룰 수 있어야 함. 비탈면 혹은 암반사면의 녹화용 식물재료로 사용되는 초본류는 목본류에 비해 조기 발아속도가 빠르며, 발아율이 높고, 종자를 쉽게 구할 수 있는 장점이 있음.
- 비탈면 녹화용으로 사용되는 외래도입초종들은 발아율이 매우 우수하고, 초기생장이 빨라 비탈면의 단기 급속녹화에는 용이하나 여름철의 혹서기에는 황변하여 매우 불량한 미관을 나타내는 문제점이 있음. 따라서 외래초종만으로 파종하는 것보다는 지역의 자생종자와 혼파하여 조기 수림화를 유도하는 것이 가장 바람직한 녹화 방법임.

- 또한, 환경친화적인 사면 녹화용으로 자생 초목본식물들을 사용하면 그 지역의 기후에 대한 적응력이 높아 유지관리가 용이하고, 비탈면 경관의 조속한 회복에 기여하여 비탈면 붕괴방지 효과면에서 외래도입 식물보다 탁월한 장점을 지님.

○ 고려사항

- 합목적성으로 경제, 차폐, 방진, 방풍, 방음, 방설, 방조, 방호, 녹음, 지피, 토양보전 등을 고려하여 녹화목적에 접합한 수종을 선택
- 환경적성으로 식재할 환경조건에 적합한 식물을 선정하는 것으로 환경적성이 높은 식물 중 생육이 양호하고, 병충해에 대한 내성도 강한 것을 선정
- 환경내성으로 일조부족, 건조, 토양 불량 등 식물의 생존에 장애가 되는 요소에 강한 식물 선정이 필요하며, 생육성으로 성장의 양부, 맹아력, 번식력을 고려해야 함.
- 시공성을 위해 이식이 용이한 식물과 곤란한 식물을 구분하여 활착이 양호한 것을 시공함.
- 관리의 손질이 적고, 전정이 용이한 것이나 도장지에 의한 수형의 변화가 잘 생기지 않는 것을 선정
- 공급성을 위해 생산량이 풍부하여 시장에서의 입수가 용이하고 산지로부터 반출이나 운송이 원활한 것을 선정함.

<표 3.1> 녹화유형에 따른 종자

표준 녹화형	**특징**	지형, 기후 등 지역적 조건에 관계없이 우리나라에서 일반적으로 적용 가능한 식생유형으로서 식물의 조기활착 및 장기천이를 목표로 함.	
	식생	목본종	참싸리, 낭아초, 비수리, 사방오리, 개쉬땅나무, 붉나무
		초본종	민들레, 벌노랑이, 패랭이꽃, 끈끈이대나물, 도라지, 구절초, 마타리, 쑥, 왕김의털, 큰김의털, 수크령, 억새, Perennial ryegrass, Kentucky bluegrass
		사면안정종	Tall fescue, Perennial ryegrass, Kentucky bluegrass
조기 녹화형	**특징**	조기녹화 및 사면조속안정을 위해 초기발아와 생육이 빠른 사면안정종 및 다양한 꽃으로 경관을 향상시키는 향토 및 외래 초종을 중심으로 한 녹화방식	
	식생	사면안정종	왕김의털, 큰김의털, 수크령, 억새, Perennial ryegrass, Kentucky bluegrass
		개화초종	코스모스, 금계국, 과꽃, 기생초, 끈끈이대나물, 수레국화
		향토초종	벌노랑이, 패랭이, 쑥, 신국, 쑥부쟁이, 안고초, 구절초
산림 천이형	**특징**	주변환경과 유사한 산림식생을 조성하기 위하여 초기단계의 산림미기후와 토양을 형성하고, 자연천이와 산림수종의 정착을 목표로 함.	
	식생	산림목본	붉나무, 자귀나무, 청단풍, 참싸리, 낭아초, 비수리, 사방오리, 개쉬땅나무, 해송
		산림초본	쑥, 도라지, 신국, 꽃향유, 들잔디, 돌마타리, 쑥부쟁이, 안고초, 참억새, 벌노랑이, 마타리, 패랭이, 왕김의털

(2) 녹화 공법의 종자 배합

○ 일반사항

- 녹화공법별 종자 배합은 도로 주변환경을 고려하고, 녹화지역, 복원 목표, 비탈면 토질(암질) 및 경사도에 따라 적합하게 설계함.
- 녹화지역별 종자배합설계는 초본위주형, 초본·관목혼합형, 목본군락형, 자연경관복원형 등의 복원목표에 부합되도록 설계함.

- 목본군락형, 자연경관복원형의 복원목표 달성을 위해 생태복원녹화공법들의 특성에 맞게 주변에서 채취한 표토활용, 종자파종 및 자생종의 묘목식재, 이식 등의 방법을 검토하고, 식생기반재 뿜어붙이기와 병용하는 방안과 자연천이를 촉진 및 유도하는 방안 등을 강구할 수 있음.
- 선정된 비탈면녹화공법에 적용할 종자배합은 <표 3.2>, <표 3.3>에 따라 설계함. 다만, 자연경관복원형은 복원목표를 달성하기 위해 불가피한 경우에는 녹화공법의 특성에 맞추어 종자배합설계를 다르게 적용할 수 있음.
- 종자배합 설계에 대한 구체적인 내용은 종자배합량 조견표에서 제시하고 있는 목본 및 초본, 야생화류, 외래초종(양잔디류)의 종자배합비율을 참조함.

<표 3.2> 자연경관복원형 적용지역 녹화공법 종자배합비율 조건표

복원목표	식생구분	종자배합비율(%)
초본 위주형	관목류	20～40
	초본, 야생화류	40～80
	외래초종(양잔디류)	0～10
	합 계	100
초본 · 관목 혼합형	관목류	30～50
	초본, 야생화류	45～70
	외래초종(양잔디류)	0～5
	합 계	100
목본 군락형	교목류, 아교목류, 관목류	40～70
	초본, 야생화류	30～70
	외래초종(양잔디류)	0
	합 계	100

※ 복원목표가 자연경관복원형인 경우 녹화식물은 그늘사초, 큰기름새, 대사초, 참억새, 새, 솔새, 개솔새, 쑥류(맑은대쑥, 쑥, 넓은잎외잎쑥, 뺑쑥), 양지꽃, 노루오줌, 구절초, 참취, 큰까치수영, 뚝갈 등의 초본류와 생강나무, 진달래, 철쭉, 개옻나무, 붉나무, 국수나무, 산초나무, 쥐똥나무, 개암나무, 호랑버들, 병꽃나무, 찔레나무, 산딸기, 복분자딸기, 노린재나무, 호랑버들, 소나무 등의 목본류가 비탈면 녹화용 자생종(재래초본, 재래목본)으로 사용될 수 있으며, 이들 외에도 부록에서 제시된 식물들을 추가로 사용할 수 있다.

※ 녹화용 식물은 현지에 서식하는 식물을 주로 활용하고, 중국산인 경우 산지를 확인하여 우리나라 기후 및 풍토와 유사한 지역인지를 확인한다.

※ 목본군락형의 경우 교목류와 아교목류는 비탈면 상부의 토심이 깊고 경사도가 완만하고 비탈면 안정에 영향이 없으며 시거에 지장이 없는 구간에 적용이 가능하며, 성장 후 키가 낮은 식물을 우선 적용할 수 있다.

<표 3.3> 기타 적용지역 녹화공법 종자배합비율 조건표

복원목표	식생구분	종자배합비율(%)
초본 위주형	관목류	10～40
	초본, 야생화류	40～80
	외래초종(양잔디류)	10～20
	합 계	100
초본 · 관목 혼합형	관목류	30～50
	초본, 야생화류	45～70
	외래초종(양잔디류)	5～15
	합 계	100
목본 군락형	교목류, 아교목류, 관목류	35～60
	초본, 야생화류	35～65
	외래초종(양잔디류)	3～10
	합 계	100

※ 해안생태계지역에서는 해안에 적합한 종자배합을 하고, 외래도입초종이 10%를 상회하지 않도록 한다.

※ 난지형초종인 weeping lovegrass 사용을 최대한 억제한다.

※ 싸리와 낭아초는 20% 이하의 비율로 배합하여 지나치게 우점하지 않도록 한다.

※ 목본군락형의 경우 교목류와 아교목류는 비탈면 상부의 토심이 깊고 경사도가 완만하고 비탈면 안정에 영향이 없으며 시거에 지장이 없는 구간에 적용이 가능하며, 성장 후 키가 낮은 식물을 우선 적용할 수 있다.

※ 기타 적용지역이란 자연경관복원형의 복원목표가 적용되지 않는 지역을 말한다.

○ 종자배합설계 시 고려사항

- 녹화공법별 종자 배합은 도로 주변환경을 고려하고, 녹화지역, 복원 목표, 비탈면 토질(암질) 및 경사도에 따라 적합하게 설계함.
- 재래종과 외래초종(양잔디류)의 배합 시에는 재래종의 비율을 높게 하고 외래초종(양잔디류)에 의하여 피압 당하지 않도록 하여야 하며, 외래초종(양잔디류)을 사용하는 경우에는 초장이 짧은 종을 사용함.

<표 3.4> 자연경관복원형 적용지역의 얇은 식생기반재 뿜어붙이기

(두께 5cm 미만)의 종자 배합량 조건표 예시 [단위: g/㎡]

복원목표	종자배합		종자량(종자배합비율)
초본위주형	관목	병꽃나무 등 관목류	9.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반재래초본류(도입야생화포함)	15.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	3.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	3.0
	합 계		30 (30:60:10)
초본 · 관목 혼합형	관목	붉나무, 병꽃나무 개쉬땅나무 등 관목류, 아교목류	10.5
	초본, 야생화	새류, 비수리, 숙류 등 초종	10.0
		구절초, 산국, 쑥부쟁이 등 지역고유 야생화류	8.0
	외래초종 (양잔디류)	Kentucky bluegrass 등	1.5
	합 계		30 (35:60:5)
목본군락형	관목	소나무, 참나무류, 호랑버들, 산초나무, 붉나무, 병꽃나무, 개쉬땅나무 등 관목류, 아교목류, 교목류	12.0
	초본, 야생화	새류, 비수리, 숙류, 까치수염 등 초종	10.0
		구절초, 산국, 감국, 쑥부쟁이, 양지꽃, 산마늘, 마타리, 뚝갈 등의 지역고유 야생화류	8.0
	외래초종 (양잔디류)	Kentucky bluegrass 등	0
	합 계		30 (40:60:0)

- 종자배합 시 한 종류의 발생기대본수는 총 발생기대본수의 40% 이상이 되지 않도록 함.
- 자연공원, 자연생태·경관보전지역, 문화재 보호구역, IC구간, 터널입출구 등 경관을 특별히 고려할 필요가 있는 지역에서는 환경영향평가서를 참고하여 지역 고유의 자생종 종자를 혼합하여 사용함.
- 시거장애방지 및 효율적인 유지관리를 위해 쌓기 비탈면 최상단 및 깎기 비탈면 최하단에 키가 큰 수목종자(싸리류, 낭아초 등)의 사용은 회피함.
- 주변 식물군락의 유형에 따라 초본·관목혼합형 및 목본군락형 녹화지역에 내음성이 강한 수종을 1종 이상 선정하여 파종할 수 있음.

<표 3.5> 자연경관복원형 적용지역의 두꺼운 식생기반 뿜어붙이기

(두께 5㎝ 미만)의 종자 배합량 조건표 예시 [단위: g/㎡]

복원목표	종자배합		종자량(종자배합비율)
초본위주형	관목	병꽃나무 등 관목류	21.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반재래초본류(도입야생화포함)	23.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	19.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	7.0
	합 계		70 (30:60:10)
초본 · 관목 혼합형	관목	붉나무, 병꽃나무 개쉬땅나무 등 관목류, 아교목류	24.5
	초본, 야생화	새류, 비수리, 숙류 등 초종	23.0
		구절초, 산국, 쑥부쟁이 등 지역고유 야생화류	19.0
	외래초종 (양잔디류)	Kentucky bluegrass 등	3.5
	합 계		70 (35:60:5)
목본군락형	관목	소나무, 참나무류, 호랑버들, 산초나무, 붉나무, 병꽃나무, 개쉬땅나무 등 관목류, 아교목류, 교목류	28.0
	초본, 야생화	새류, 비수리, 숙류, 까치수염 등 초종	23.0
		구절초, 산국, 감국, 쑥부쟁이, 양지꽃, 산마늘, 마타리, 뚝갈 등의 지역고유 야생화류	19.0
	외래초종 (양잔디류)	Kentucky bluegrass 등	0
	합 계		70 (40:60:0)

※ 자연경관복원을 위해 새류, 쑥류, 억새류, 도라지, 구절초, 쑥부쟁이 등의 재래초본과 붉나무, 소나무, 산초나무, 병꽃나무 등의 재래목본 등을 혼합하여 파종할 수 있다. 필요한 경우 재래 목본의 묘목식재와 지역고유종을 근주이식한 다음 식생기반재 뿜어붙이기 공법을 병행하는 방법, 혹은 지역의 표토를 재활용하는 방법 등을 고려할 수 있다.

※ 생태적으로 중요한 지역은 외래초본(양잔디류)이 우점하지 않도록 한다.

- 종자배합설계 시 비탈면의 방향과 고도, 주변생태계의 특성을 종합적으로 고려하여 종자배합설계를 다르게 적용할 수 있음. 특히, 비탈면의 방향과 해발고도 등을 고려할 때 수분의 고갈이나 온도, 제설, 일조량 등으로 식물의 원만한 생육이 어렵다고 판단되는 경우, 전문가 자문을 받아 종자배합을 다르게 적용할 수 있음.
- 해안생태계지역 · 내륙생태계지역의 일반적인 도로 비탈면에 적용하는 종자 뿜어붙이기(seed spray), 얇은 식생기반재 뿜어붙이기 및 두꺼운 식생기반재 뿜어붙이기에서의 종자배합은 <표 3.4> 부터 <표 3.7>의 예시를 참조하고, 종자 파종량은 <표 3.8>의 기준을 따름. 자연경관복원형에서는 <표 3.1>을 따르며, 지역의 자생종 및 고유종을 적극 활용하고, 생물종 다양성과 자연경관복원에 기여할 수 있도록 생태복원공법들을 적용하고, 녹화공법의 특성에 부합되도록 전문가의 자문을 통해 녹화식물을 배합 설계함.

<표 3.6> 기타 적용지역의 일반적인 도로비탈면 적용 종자 뿜어붙이기(seed spray) 및 얇은 식생기반재 뿜어붙이기

(두께 5㎝ 미만)의 종자 배합량 조건표 예시 [단위: g/㎡]

복원목표	종자배합		종자량(종자배합비율)
초본위주형	관목	병꽃나무 등 관목류	5.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반재래초본류(도입야생화포함)	14.0
		쑥류 및 기타	1.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	5.0
	합 계		25 (20:60:20)
초본 · 관목 혼합형	관목	병꽃나무 등 관목류 붉나무 등 아교목류	7.5
	초본, 야생화	억새 등 새류 비수리 등 일반초본류(야생화포함)	14.0
		쑥류 및 기타	1.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	2.5
	합 계		25 (30:60:10)
목본군락형	관목	자귀나무, 붉나무, 소나무(곰솔) 등 교목류, 아교목류 병꽃나무 등 관목류	10.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반초본류(야생화포함)	12.5
		쑥류 및 기타	1.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	1.3
	합 계		70 (40:60:0)

※ 경관적으로 중요한 지역에서는 금계국, 패랭이꽃, 끈끈이대나물, 붓꽃류(봄), 수레국화, 도라지(여름), 구절초, 산국, 벌노랑이, 쑥부쟁이류, 벌개미취 등(가을)을 혼합 파종할 수 있다.

<표 3.7> 기타 적용지역의 두꺼운 식생기반재 뿜어붙이기

(두께 5㎝ 이상)의 종자 배합량 조건표 예시 [단위: g/㎡]

복원목표	종자배합		종자량(종자배합비율)
초본위주형	관목	병꽃나무 등 관목류	12.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반재래초본류(도입야생화포함)	30.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	6.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	12.0
	합 계		60 (20:60:20)
초본 · 관목 혼합형	관목	병꽃나무 등 관목류 붉나무 등 아교목류	18.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 비수리 등 일반초본류(야생화포함)	30.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	6.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	6.0
	합 계		60 (30:60:10)
목본군락형	관목	자귀나무, 붉나무, 소나무(곰솔) 등 교목류, 아교목류 병꽃나무 등 관목류	24.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반초본류(야생화포함)	26.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	4.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	6.0
	합 계		60 (40:50:10)

<표 3.8> 식생기반재 뿜어붙이기 종자파종량 조건표

지역구분 / 종자층의 두께	국토핵심생태녹지축지역	해안생태계지역 내륙생태계지역
1～2㎝	20g/㎡ 이상	20g/㎡ 이상
3～4㎝	30g/㎡ 이상	25g/㎡ 이상
5～7㎝	70g/㎡ 이상	60g/㎡ 이상
7㎝ 이상	100g/㎡ 이상	90g/㎡ 이상

※ 경관적으로 중요한 지역에서는 금계국, 패랭이꽃, 끈끈이대나물, 붓꽃류(봄), 수레국화, 도라지(여름), 구절초, 산국, 벌노랑이, 쑥부쟁이류, 벌개미취 등(가을)을 혼합 파종할 수 있다.

※ 생태적으로 중요한 지역에서는 외래초종(양잔디류) 보다는 자생종(재래초본, 목본류)을 우선으로 배합한다.

다. 녹생토의 평가 방법 및 기준 조사

(1) 화학적 특성 평가 및 기준

○ 종자, 식생기반재 등 녹화 재료에 대해서는 소요 품질을 반드시 검사하여 양호한 재료만을 사용하여야 하며, 현장에서 시험이 어려운 경우에는 공인시험기관에 의뢰하여 품질을 검사하여야 함.

○ 시험시공에 사용한 식생기반재는 감독자의 입회하에 시료를 채취하여 공인시험기관에 의뢰하여 성분을 분석한 후 제품의 성분분석 결과서를 감독자에게 제출해야함. 분석결과 <표 3.9>에 부합되지 않는 경우나 중금속 등 기타 오염물질에 의한 오염이 의심되는 경우에는 <표 3.10>에 의거한 추가 조사를 실시함.

<표 3.9> 비탈면녹화용 식생기반재의 화학적 특성 평가항목과 기준

평가항목		평가기준
항 목	단 위	
토양산도	-	6.0~8.0
전기전도도(EC)	dS/m	1.0 미만
염기치환용량(CEC)	Cmol/kg	6 이상
전질소량(T-N)	%	0.06 이상
염분농도	%	0.5 미만
유기물함량	%	3.0 이상

<표 3.10> 중금속 등 기타 오염물질에 대한 식생기반재의 적용 기준

물 질	별도관리지역, '가' 지역(㎎/㎏)	'나' 지역(㎎/㎏)
카드뮴	1.5 이하	12 이하
구리	50 이하	200 이하
비소	6 이하	20 이하
수은	4 이하	16 이하
납	100 이하	400 이하
6가 크롬	4 이하	12 이하
아연	300 이하	800 이하
니켈	40 이하	160 이하

※ 별도관리지역, '가'지역 : 상수원보호구역, 습지, 백두대간보호지역 등

※ '나'지역 : 지적법에 의한 지목이 공장용지, 도로, 철도용지 및 잡종지인 지역

(2) 물리적 특성 평가 및 기준

○ 토양에 다른 물체를 관입할 때 토양이 나타내는 역학적 저항을 관입저항(penetration resistance)이라 하며, 토양조사 항목의 하나임. 관입저항은 현지에서의 토양강도(soil strength), 즉 토양경도(soil hardness) 또는 치밀도를 나타내는 것임.

○ 토양경도는 주로 원추 끝부분 주변에서 생기는 변형에 대한 토양의 저항과 원추표면에서 생기는 토양-금속간의 마찰에 의한 것으로 원추의 지름과 정각, 관입속도에 영향을 받게 됨.

○ 토양 경도는 경도계의 일종인 산중식 토양경도계(Yamanaka penetrometer)의 측정치를 기준으로 하며, 총 10곳의 위치에서 측정하여 산술평균하여 계산함.

○ 식생기반재의 토양경도는 양호(11~23mm), 보통(23~27mm), 불량(11mm미만, 27mm초과)으로 분류하고 토양습도는 양호(0.5~5%), 보통(5%~8%), 불량(0.5%미만, 8%초과)로 분류함. (간이측정기를 이용 현장측정 가능)

<표 3.11> 토양경도별 식물생육상태

토양경도	식물생육상태	평가
18㎜ 이하	식물의 생육은 양호하지만 비탈면이 무너질 위험성이 있는지 확인이 요구됨.(고압으로 뿌리는 녹화공법을 적용하는 경우 식생기반재의 침식방지 효과에 대한 확인이 필요하고, 침식방지효과가 인정된 경우에는 식물의 근계생장에 적합한 것으로 판정할 수 있다.	식물에 의해 녹화가 되었을 때 평가(본 항목은 녹화공사 후 6개월이내에만 적용하고, 녹화공사후 6개월이 경과되고, 녹화식물의 생육이 이루어진 다음에는, 본 항목은 적용하지 않는다. 녹화공사가 완만하게 이루어지면 6개월 후 토양경도 18㎜ 이하는 식물의 근계성장에 적당하다.)
18㎜ ~ 23㎜	식물의 근계생장에 적당	식생기반재의 토양경도를 측정하고, 식생기반재를 뿜어붙이기 하지 않는 공법에서는 기반상태를 평가한다.
23㎜ ~ 27㎜	식물의 생육은 양호하지만 생육활성이 그다지 좋지 않음.	
27㎜ ~ 30㎜	흙이 너무 단단해서 식물의 생육이 곤란함.	
30㎜ 이상	식물의 근계의 침입이 곤란함.	

(3) 시공 평가 및 기준

○ 녹화공법의 평가 일정은 파종시기에 따라 다르며, <표 3.12>과 같음.

<표 3.12> 녹화공법 평가 일정

파종시기	3~5월 파종	6~8월 파종	9~11월 파종
평가시기	여름 전과 여름 후에 1차 및 2차 평가 11월 전에 최종평가	여름 후 9월경 1차 평가 이듬해 4~5월 2차 평가 이듬해 8~9월 최종평가	11월 중 1차 평가 이듬해 여름 직전 2차 평가 이듬해 9~10월 최종평가

○ 녹화공법 평가는 <표 3.13>에 따라 항목별로 주기적 조사, 계절별 조사, 평가 일정에 맞추어 평가를 실시하며, 식생생육은 <표 3.14>에 따라 판정함.

○ 식생기반재 뿜어붙이기의 식생기반재 두께는 측정용 기구를 이용하여 최소 10회 이상 측정하여 산술 평균한 값으로 사용하며, 시험시공 후 식생기반재 샘플을 채취하여 식생기반재의 토양산도, 전기전도도, 염기치환용량, 전질소량, 염분농도, 유기물함량 등 토양 이화학성 및 중금속 함량분석 등을 공인된 시험기관에 의뢰하여 분석하여야 함.

<표 3.13> 녹화공법 평가표

<table>
<tr><th>구분</th><th>평가</th><th colspan="3">항 목</th><th>배점
(%)</th><th colspan="5">배 점 기 준</th></tr>
<tr><td>재료</td><td>정량적</td><td colspan="3">토양 및 종자 품질</td><td>-</td><td colspan="5">합격기준 미달 시 불합격 처리</td></tr>
<tr><td rowspan="15">품
질</td><td rowspan="13">정
량
적</td><td rowspan="6">식
물
생
육</td><td rowspan="2">식생
피복율
(전체)</td><td>초본위주형
초본 · 관목혼합형</td><td rowspan="2">15</td><td>80% 이상
(15)</td><td>60～79%
(10)</td><td>60% 미만
(5)</td></tr>
<tr><td>목본군락형
자연경관 복원형</td><td>70% 이상
(15)</td><td>50～69%
(10)</td><td>50% 미만
(5)</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">식생피복율
(한지형초본 등 외래도입초종)</td><td rowspan="2">(0～-5)</td><td colspan="3">피복율에서 외래도입초본의 점유율</td></tr>
<tr><td>30% 미만
(0)</td><td>30～59%
(-3)</td><td>60% 이상
(-5)</td></tr>
<tr><td colspan="2">식생생육량
(한지형초종 제외)</td><td>5</td><td>양호(5)</td><td>보통(3)</td><td>불량(1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">병충해</td><td>5</td><td>양호(5)</td><td>보통(3)</td><td>불량(1)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">출
현
종
수</td><td colspan="2" rowspan="2">목본성립본수</td><td rowspan="2">10</td><td colspan="3">식생생육판정기준표 복원목표의 달성도</td></tr>
<tr><td>80% 이상
(10)</td><td>60～79%
(7)</td><td>60% 미만
(3)</td></tr>
<tr><td colspan="2">초본 및 목본의 출현종수</td><td>15</td><td>80% 이상
(15)</td><td>60～79%
(10)</td><td>60% 미만
(5)</td></tr>
<tr><td colspan="2">생태계교란 및 위해종 침입</td><td>(0～-5)</td><td>하(0)</td><td>중(-3)</td><td>상(-5)</td></tr>
<tr><td colspan="3">식생기반재 물리적 특성</td><td>10</td><td>양호(10)</td><td>보통(7)</td><td>불량(3)</td></tr>
<tr><td colspan="3">탈락 및 붕괴지점</td><td>5</td><td>양호(5)</td><td>보통(3)</td><td>불량(1)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">정성적</td><td colspan="3">녹화 지속성 및 식생침입 가능성</td><td>5</td><td>양호(5)</td><td>보통(3)</td><td>불량(1)</td></tr>
<tr><td colspan="3">주변 환경과의 유사도</td><td>(0～-5)</td><td>양호(0)</td><td>보통(-3)</td><td>불량(-5)</td></tr>
<tr><td colspan="3">소 계</td><td colspan="4">70%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">경
제
성</td><td>정량적</td><td colspan="3">시공단가</td><td>30</td><td>130%
미만
(30)</td><td>130～1
60%
(24)</td><td>161～1
90%
(18)</td><td>191～2
20%
(12)</td><td>220%
초과
(6)</td></tr>
<tr><td colspan="3">소 계</td><td colspan="5">30%</td></tr>
<tr><td colspan="4">합 계</td><td colspan="5">100%</td></tr>
</table>

<표 3.14> 비탈면 복원목표별 식생생육판정 기준표

복원목표 \ 평가		목본 성립본수	출현종수	
			초본	목본
초본 위주형	합격	2본/m^2 이상	5종/m^2 이상	2종/m^2 이상
	판정보류	피복율이 50~70%이면서 1m^2당 10본 발아가 있으면서 생육이 늦은 경우 1~2개월 동안 상태를 지켜보고 재평가한다.		
	불합격	피복율이 50%이하 이면서 식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공한다.		
초본 관목 혼합형	합격	3본/m^2 이상	4종/m^2 이상	3종/m^2 이상
	판정보류	피복율이 50~70%이면서 1m^2당 관목의 발아가 늦은 경우 2~3개월 동안 상태를 지켜보고 재평가한다.		
	불합격	피복율이 50%이하 이면서 식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공한다.		
목본 군락형	합격	5본/m^2 이상	3종/m^2 이상	4종/m^2 이상
	판정보류	피복율이 70~80%이고 교목이 1~2본/m^2인 경우 익년 봄까지 상태를 봄. 드문드문 발아가 보이지만, 비탈면 전체가 나지로 보일 경우 2~3개월 동안 상태를 지켜본 후 판정한다(부적기 시공의 경우).		
	불합격	식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공 함.		
		초본 피복율이 80~90%이면서 목본이 피압 당하고 있을 경우 예초 후 대책강구		
자연경관 복원형	합격	7본/m^2	5종/m^2 이상	5종/m^2 이상
	판정보류	피복율이 70~80%이고 교목이 3~4본/m^2인 경우 익년 봄까지 상태를 봄. 드문드문 발아가 보이지만, 비탈면 전체가 나지로 보일 경우 2~3개월 동안 상태를 지켜본 후 판정한다(부적기 시공의 경우).		
	불합격	식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공 함.		
		초본 피복율이 80%이면서 목본이 피압 당하고 있을 경우 예초 후 대책강구		

○ 식생 생육조사는 식생조사구(방형구)내에서 목본 및 초본의 출현종, 각 식물별 생육 개체수, 식생 생육량, 우점종, 식생피복율, 병충해유무(하고현상 포함) 등을 조사 분석하며, 식생 생육조사구는 평균적인 생육을 보이는 곳에 임의로 선정하고 흔적을 남기지 않는 것으로 함.

○ 식생기반재의 토양경도, 토양산도, 토양습도 등을 측정하고, 식생기반재의 탈락 및 붕괴 유·무와 병충해 피해를 관찰함. 식생피복율 조사 시 한지형초종 등 외래초종(양잔디류)의 점유율이 높으면 감점하며, 생태계 교란종 및 위해종에 의한 피해가 심하면 상대 비교하여 감점함.

○ 조사 시 설치한 방형구는 사진촬영하고, 시험시공지 전경사진에 그 위치를 표시하여 모니터링 보고서에 수록하며, 조사가 끝난 다음에는 방형구 설치 흔적을 제거함.

○ 식생피복율은 발파암 구간 중 단단한 암(절리, 풍화상태가 미약한 암)인 경우 도로 노면상 최하단부에 덩굴식물식재공법으로 면적을 산출하고, 그 외 지역에서는 녹화공법으로 면적을 산출하여 계산함.

<표 3.15> 비탈면 복원목표별 식생생육판정 기준표

구분	평가	항 목		평가기준	평가기준 및 방법	평가빈도
재료	정량적	재료품질		절대평가	식생기반재 샘플을 1~2kg 채취하여 토양의 이화학성을 분석 후 기준항목 합격여부 판단함.	1회
품질	정량적	식물생육	식생피복율(전체)	절대평가	시공후 공법별 식생피복율을 1×1m방형구를 설치하여 3회 반복 조사 후 평균함.	주기조사
			식생피복율(한지형초종)	절대평가	격자틀(20×20cm) 또는 1×1m 방형구를 설치하여 한치형잔디(외래종)만의 피복율을 3회 반복 조사하여 평균함. 피복율에서 외래도입초종만의 점유율을 평가함.	계절별 1회
			식생생육량(한지형 초종제외)	상대평가	한치형 초종을 제외한 식생을 채취하여 생물중량(생체중)을 전자저울 등을 이용하여 실측함.	계절별 1회
			병충해	상대평가	생육판정시기까지 계절별로 병충해, 여름철 하고 현상 등을 조사함.	계절별 1회
		출현종수	목본성립본수	절대평가	1m×1m 방형구를 설치하고 목본의 성립본수를 10회 조사하여 본수/m2로 평균하여 <표 3.13>의 합격 목표치에 따른 달성도를 측정. 목본의 수고가 1~6m인 경우에는 방형구를 2m×2m로 확대함.	계절별 1회
			초본 및 목본의 출현종수	절대평가	1m×1m 방형구를 설치하여 초본 및 목본의 출현 종수를 조사하여 종수/m2로 환산 평균하여 <표 3.13>의 합격 목표치에 따른 달성도를 측정함. 이때 초본 및 목본 출현 종수 비율을 각각 평가한 후 이를 평균으로 환산함. 목본의 수고가 1~6m인 경우에는 방형구를 2m×2m로 확대함.	계절별 1회
			위해종 침입 및 시험지의 교란정도	상대평가	위해종인 돼지풀, 단풍잎돼지풀 등과 교란종인 환삼덩굴, 칡 등에 의한 교란정도를 측정함.	수시평가
		식생기반재 물리적 특성		절대평가	식생시반재의 토양경도는 양호(11~23mm), 보통(23~27mm), 불량(11mm미만, 27mm초과)분류하고 토양습도는 양호(0.5~5%), 보통(5%~8%), 불량(0.5%미만, 8%초과)로 분류한다. (간이 측정기기를 이용 현장 측정 가능)	1회 이상 조사
		탈락 및 붕괴지점		상대평가	시험시공면적당 탈락 및 붕괴 지점 수를 조사함.	계절별 1회
	정성적	녹화 지속성 및 식생침입 가능성		상대평가	3~5년 정도 지난 기존 시공지에서의 녹화 지속성 및 천이여부 평가함.	1회 이상
		주변 환경과의 유사도		상대평가	주변 환경과의 생태적 경관 조화성을 평가함.	수시평가
경제성	정량적	시공단가		상대평가	시험시공 참여업체의 최저가를 기준으로 상대 평가한다.	최종평가시

라. ECG 녹생토 원료 개발 및 특성 분석

(1) 개요

○ 급경사지 비탈면 및 암반노출사면에서 안정적인 부착력을 가지는 동시에 원활한 식생의 활착을 위하여 원료 물질 개발과 물성 분석 연구를 수행함.

○ ECG 녹생토의 구성은 [그림 3.8]에 나타낸 것과 같이 부착력을 향상시키고 흙의 결합력을 강화하기 위한 결합재를 개발하기 위하여 다양한 종류의 시멘트 기반 재료를 선정하여 최적 재료를 도출하였음.

○ 또한, 식물 생육을 돕고자 분말증점제, 고흡수성수지, 친환경 보습제, pH 저감제 등의 기능성 첨가제를 개발하였음.

○ 식생 기반재는 자연친화적인 부엽토와 비료성분을 함유한 계분재료를 검토하여 최적의 식생기반재를 도출하고자 하였음.



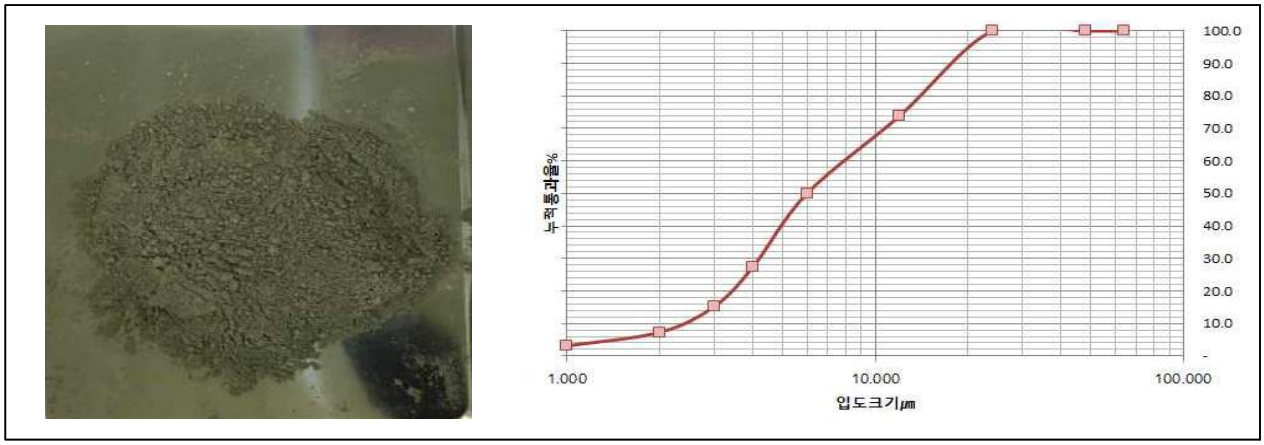
[그림 3.8] ECG 녹생토의 구성

(2) 각 구성물질의 성분 분석

(가) 결합재

○ 마이크로계 시멘트

- 마이크로계 시멘트는 시중에 판매하고 있는 마이크로 시멘트와 슬래그 시멘트를 혼합하여 제조하였으며, 혼합비율은 사전실험을 통하여 최적비율을 산정하였음.
- 마이크로시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트와 마찬가지로 무기물질로 구성되어 있으며, 독성과 냄새가 없는 무공해 주입재로 화학성분은 보통시멘트와 차이가 뚜렷함. 즉, 초미립자인 마이크로시멘트는 초기에 수화활성이 지나치게 되면 작업성 확보가 어렵기 때문에 초기수화 속도를 조절할 수 있도록 성분이 조정된 시멘트로서 입도가 보통시멘트보다 훨씬 작음. 따라서 마이크로시멘트는 보통시멘트에 비해서 토립자 사이 또는 암반균열 사이로 침투되는 비율이 높을 것으로 판단하였음.
- 마이크로 시멘트는 분말도 8,000㎠/g이상, 평균입자크기 5㎛로서 침투성이 우수하고, 고강도 발현 및 내구성이 우수하며, 지하수 토질에 무해한 무기계 주입재로서 댐, 저수지 등의 그라우팅, 터널 파쇄대의 차수 및 보강 그라우팅 및 기타 연약지반의 보강 및 차수 그라우팅 재료로 각광을 받고 있음.



[그림 3.8] 마이크로시멘트 및 입도분포곡선

<표 3.16> 마이크로시멘트 입도분포 결과 (누적통과율, 단위 %)

입경크기 (㎛) / 시멘트	1	2	3	4	6	12	24	48	64	평균 입경
마이크로 시멘트	3.1	7.3	15.2	27.3	50	73.9	100	100	100	3.5

<표 3.17> 마이크로시멘트의 화학성분

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3
27.5	11.2	1.7	51.3	4.8	0.44	0.17	2.1

<표 3.18> 마이크로시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm^3)	Blaine (cm^2/g)	응결시간			Flow	압축강도(MPa)				
		W/C (%)	초결	종결	mm	W/C (%)	1일	3일	7일	18일
3.03	8,420	30.5	260	9:30	108.5	43.5	17.7	31.5	50.9	65.5

- 따라서 본 연구개발에서는 마이크로시멘트의 장점을 활용하여 녹생토 결합재의 재료로 사용하였으며, [그림 3.8]은 마이크로시멘트와 그 입도분포곡선을 나타낸 것이며, <표 3.16>부터 <표3.18>에는 마이크로시멘트의 화학적 성분과 물리적 성질을 나타내었음.

○ 슬래그시멘트

- 슬래그 시멘트의 주원료인 고로슬래그 시멘트는 포틀랜드시멘트 클링커에 제철소의 용광로에서 선철을 제조할 때 부산물로 얻어지는 슬래그를 섞어서 적당량의 석고를 혼입/미분쇄한 것으로 고로슬래그 시멘트에 이용되는 고로슬래그는 수재이며, 그 화학성분으로 염기도가 크며, 유리질량이 높을수록 잠재수경성이 우수함.
- 슬래그가 많이 함유됨에 따라 조기강도 및 수화발열량이 적은 반면, 장기강도는 유리하며, 매스콘크리트 제조에 많이 사용됨. 또한 고로슬래그 시멘트 경화체는 유리석회 및 C_3A의 수화물이 적기 때문에 내화학적 저항성이 크고 건조수축은 약간 크나 내열성과 수밀성이 우수함.
- 본 연구에서는 슬래그 시멘트의 결합재 적용성을 평가하기 위해서 국내 S사 제품의 2종 고로슬래그 시멘트를 사용하였으며, 이를 대상으로 물리·화학적 특성평가를 실시한 결과 값은 <표 3.19>부터 <표 3.21>과 같음. 또한, 국내 고로슬래그 시멘트 기준인 <표 3.21> (KS L 5210)의 규정을 모두 만족하였음.

<표 3.19> 고로슬래그 시멘트의 물리적 특성 시험 결과

밀도 (g/cm^3)	분말도 (cm^2/g)	응결시간		압축강도(MPa)		
		초결 (min)	종결 (h:m)	3일	7일	28일
3.05	4,230	280	6:50	24.4	38.4	66.8

<표 3.20> 고로슬래그 시멘트의 화학적 특성 시험 결과

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	Ig.loss	Total
24.70	8.52	1.80	54.11	4.88	0.64	0.22	3.112	1.22	100.0

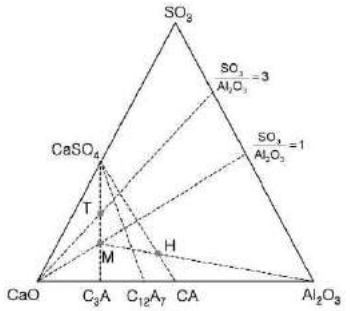
<표 3.21> 고로슬래그 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질 기준(KS L 5210)

항목			1종	2종	3종
분말도	비표면적 (cm^2/g)		3,000 이상	3,000 이상	3,000 이상
안정도	오토클레이브 팽창도(%)		0.2 이하	0.2 이하	0.2 이하
	르샤틀리에(mm)		10 이하	10 이하	10 이하
응결시간	비카 시험	초결(분)	45	60	60
		종결(시간)	7	10	10
압축강도 (MPa)	3일		12.5 이상	10.0 이상	7.5 이상
	7일		22.5 이상	17.5 이상	15.0 이상
	28일		42.5 이상	42.5 이상	40.0 이상
화학성분	삼산화항(SO_3)(%)		3.5 이하	4.0 이하	4.5 이하
	산화마그네슘MgO		5.0 이하	6.0 이하	6.0 이하
	강열감량(%)		3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하

○ 아윈계 시멘트

- 본 연구/개발에서 사용한 아윈계 시멘트는 CSA, 석고 및 플라이애시를 적정 비율로 혼합하여 사용하였으며, CSA는 폐기물을 이용한 칼슘알루미네이트계 클링커로 석면폐기물, 생활폐기물 소각재, 정수 슬러지, 석고, 형석 및 탄화규소를 적절한 비율로 혼합시킨 다음 혼합물을 소성하여 제조함으로써 친환경적이고 원가가 저렴한 칼슘알루미네이트계 클링커임. [그림 3.9]는 아윈계시멘트와 CSA의 수화 팽창과정을 나타낸 것임.





[그림 3.9] 아윈계 시멘트 및 CSA 수화팽창과정

<표 3.22> 석고의 화학성분 (%)

C	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	MgO	CaO	SO_3
6.00	0.11	0.001	0.0001	0.0001	38.50	55.10

<표 3.23> 석고의 물리적 성질

Density (g/cm^3)	Color	Compressive (MPa)		Seting time (min)	
		Wet	Drt	White	Final
2.33	White	7	12	11	34

<표 3.24> 플라이애시의 물리적 성질

시험항목		시험결과
SiO_2 (%)		52.0
수분 (%)		0.10
강열감량 (%)		1.2
밀도 (g/cm^3)		2.21
분말도	분말도(블레인) (cm^2/g)	3,281
	45㎛체 잔분(망체방법) (%)	2.9
플로값비 (%)		99
활성도지수(28일)		100

- 또한 <표 3.22>와 <표 3.23>는 팽창형 경화재인 석고의 화학성분과 물리적 성질을 나타낸 것이며, <표 3.24>는 플라이애시의 물리·화학적 특성을 나타낸 것임.

○ 석고계 시멘트

- 알파형 반수석고는 상온에서 경화속도가 매우 빨라서 종래의 촉매 제조방법보다 지지체 제조시간을 크게 단축할 수 있으며, 자체적으로 바인더 역할을 수행하기 때문에 폴리 메틸실리콘수지와 같은 무기 복합 결합재가 필요 없고, 자체 비표면적이 높기 때문에 활성금속군의 코팅량 조절이 용이함.



[그림 3.10] 석고계 시멘트

<표 3.25> 반수석고의 화학적 성분

화학성분	(%)
Na_2O	0.026
Al_2O_3	0.020
SiO_2	0.083
P_2O_5	0.028
SO_3	50.5
K_2O	0.160
CaO	49.2
SrO	0.060
ZrO_2	0.004

- 이에 본 연구에서 반수석고의 결합재로써의 적용성을 평가하였으며, 사용한 반수석고의 화학적 성분은 <표 3.25>와 같음.

(나) 첨가제

○ 분말증점제

- 분말증점제로는 몬모릴로나이트계 벤토나이트(Sodium Bentonite)를 사용하였으며, 물리적 특성상 물과 반응하며 본래 체적보다 13~16배 정도 팽창하며 무게의 5배까지 물을 흡수함. 이 특성으로 인해 벤토나이트는 차수재로도 사용되며, 토사와 섞어 층을 만들면 물의 투수계수가 극히 미소하여 폐수처리장이나 쓰레기 매립장에 사용하여 주변 토지나 지하수 오염을 방지할 수 있음. 벤토나이트의 물리적 특성 및 화학적 특성은 <표 3.26> 와 <표 3.26>과 같음.

<표 3.26> 반수석고의 화학적 성분

비중	pH	몬모릴 나이트 함량(%)	팽윤도 (ml/2g)	액성한계(%)
2.30	10.12	72.9	14.5	330

<표 3.26> 반수석고의 화학적 성분 (%)

Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2
1.9	2.25	13.3	46.8	0.284	0.124	0.522	2.93	2.3
MnO	Fe_2O_3	CuO	ZnO	SrO	Y_2O_3	ZrO_2	Cl	-
0.239	28.8	0.065	0.05	0.069	0.017	0.063	0.314	-

○ 고흡수성폴리머

- 고흡수성 폴리머(Super Absorbent Polymer, SAP)란 자체 무게의 5백 내지 1천 배 정도의 수분을 흡수할 수 있는 기능을 가진 합성 고분자 물질을 칭함. 본 연구에서는 셀루로우스계열 중합체와 벤토나이트계열 고분자화합물인 고흡수성 폴리머를 사용하여 녹생토의 수분 흡수율을 증가시키고자 하였음.



(a) 셀룰로우스계열 중합체 (b) 벤토나이트계열 고분자 화합물

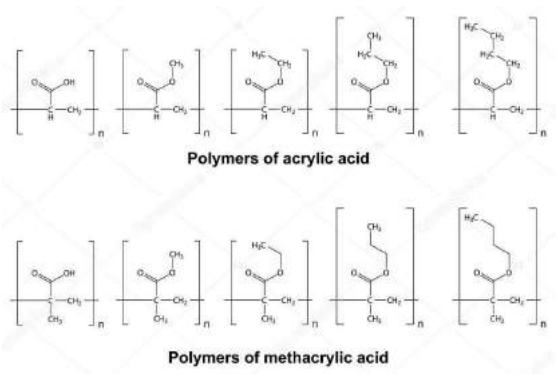
[그림 3.11] 고흡수성폴리머

<표 3.27> 고흡수성 폴리머의 화학적 성분 (%)

Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO
4.8	1.2	11.4	55.6	0.31	0.49	2.91	4.57
TiO_2	Cr_2O_3	MnO	Fe_2O_3	NiO	SrO	ZrO_2	Cl
1.32	0.234	0.343	16.4	0.101	0.147	0.048	0.175

○ 친환경보습제(ECG)

- 분말 친환경보습제는 그라우트 공법에 주로 사용되는 폴리카본산계 고분자 액상 가소제인 ECG(Eco Clean Grout)를 사용하였음. ECG는 결합재 중의 알칼리성분(주로 수산화칼슘)과 혼합되면 점성이 증가하여 가소성을 보이는 특징을 가짐.
- 폴리카본산계 고분자 액상 가소제로 상온에서 물과 같은 상태이며, 알칼리 환경하에서 Long Chain의 가교서 Dispersion 형성함. 또한 가소성 및 수중 불분리성도 부여하며 시멘트의 중금속을 흡착하여 외부 유출 방지 및 pH 증가율을 방지하는 특징이 있음. 따라서 본 연구에서는 결합재와 반응하여 겔화된 ECG는 중금속 흡착 및 보습제로서의 역할을 기대할 수 있음. 다음 <표 3.28>는 친환경 보습제의 환경 무해성을 나타낸 것임.



[그림 3.12] ECG의 분자구조식

<표 3.28> ECG의 구성성분 및 중금속 용출 결과

(a) ECG의 구성성분

화학물질명	CAS번호	구성비(%)
Arylates copolyer	None	40%
Water	7732-18-5	60%

(b) ECG의 중금속 용출 결과

pH 증가율	+1.72
탁도	15
Cr^{6+}	불검출
Cd	불검출
Hg	불검출
Pb	불검출

○ pH조절제

- 시멘트 계열의 결합재 및 성능향상을 위한 결합재는 강알칼리성으로 식물의 생육에 지장을 줄 수 있음. 이에 본 연구에서는 황산알루미늄[$Al_2(SO_4)_3$]과 인산암모늄[$(NH_4)_2HPO_4$] 이용하여 개발 녹생토의 pH를 적정 수준으로 조절하고자 하였음. 다음의 <표 3.29>와 <표 3.30>은 황산알루미늄과 인산암모늄의 물리 · 화학적 특성을 나타낸 것임.



[그림 3.13] pH 조절제

<표 3.29> pH조절제의 환경유해성

외관	무취, 백색의 결정
냄새	없음
pH	7.6~8.4 (25℃/1%)
녹는점/어는점	155℃/-
인화성	비가연성
용해도	(1) 57.5% at 10℃ (2) 알코올, 아세톤, 암모니아에 용해
비중	1.619
분자량	132.06
분자식	$(NH_4)_2HPO_4$

<표 3.30> 황산알루미늄 특성

Al_2O_3	$Al_2(SO_4)_3$	H_2O	외관	냄새	pH	용해도	녹는점	비중	분자량
17%	57%	43	흰색	무취	3.0이상	31%	770℃	1.32	345.15

○ 부숙유기질토(부엽토)

- 본 연구에서 사용한 식생기반재의 재료로 국내산 천연부엽토와 바크퇴비를 혼합하여 제조된 토양개량제를 사용하였음. 천연 부엽토와 바크퇴비는 수목 초화류의 생육과정 기간 동안 충분한 유기물과 양분을 공급해주며, 혼입된 점토 성분은 보수력, 보비력을 향상시켜 불량환경에 대한 적응력을 강화시킬 수 있음.
- 또한, 식재지 토양의 pH, 양분 보유력 및 완충력을 개선할 뿐만 아니라, 토양 구조와 보수력 및 배수성을 개선하여 풍부한 유기물과 필수양분을 식물에 공급함으로써 식물의 활착과 생장을 증대시킴. 따라서 본 연구에서는 국내 S사에서 생산되는 법면 녹화토를 사용재료로 활용하였으며, 다음 [그림 3.14]는 부엽토 주요원료 구성 성분, <표 3.31>와 <표 3.32>는 사용한 부엽토의 주요 성분과 물리적 특성을 나타낸 것임.



(a) 천연 부엽토 (b) 바크퇴비 (c) 코코피트 (d) 질석

[그림 3.14] 부엽토의 주요 원료 구성

<표 3.31> 부엽토의 주요성분 구성표 (%)

천연부엽토	바크퇴비	코코피트	질석
70	10	15	5

<표 3.32> 부엽토의 물리적 특성

함수율	pH	유기물 함량
65%	7.3	16.5



[그림 3.15] 부엽토의 제조 과정

(3) 결합재 및 첨가제 혼합 조건별 특성 평가

(가) 결합재의 배합설계 실험

○ 실험 목적 및 방법

- 부엽토와 함께 사용할 결합재, 경화재, 녹생토 성능 향상제, pH 조절제를 사용하여 각 재료들들 첨가하였을 때 압축강도 및 pH 결과를 확인하고자 모르타르 실험을 수행하였음. 다음의 <표 3.33>은 각 결합재 및 첨가제의 변수를 나타낸 것임.
- 녹생토 개발을 위한 결합재의 최적배합 도출을 위하여 모르타르 실험을 통한 특성 분석을 실시하였으며, <표 3.34>에 나타낸 것과 20가지 배합조건을 가정하여 혼입비율을 달리하였음. 강도 실험은 KS L ISO 679 [시멘트의 강도 시험방법]에 의거하여 W/C 50%로 실험을 진행하였음. [그림 3.16]은 실험 전경을 나타낸 것임.

<표 3.33> 결합재 및 첨가제 변수

구분	결합재			촉진제	첨가제				
	결합재 (1)	결합재 (2)	결합재 (3)	경화재	분말 증점제	고흡수성 폴리머-1	고흡수성 폴리머-2	친환경 보습제	pH 조절제
종류	-마이크로 시멘트 -슬래그	CSA석고	반수석고	팽창형 경화재	몬모릴로 나이트계열 증점제	셀룰로우스 계열 중합체	벤토나이트 계열 고분자	ECG	황산 염계

<표 3.34> 결합재 혼합 조성비 변수

No.	결합재 종류 및 혼합비			
	결합재(1)	결합재(2)	결합재(3)	합계
A1	90	10	-	100
A2	80	20	-	100
A3	75	15	10	100
A4	80	10	10	100
A5	90	10	-	100
A6	75	10	15	100
A7	65	10	25	100
A8	55	10	35	100
A9	55	40	5	100
A10	55	35	10	100
A11	35	10	55	100
A12	45	25	30	100
A13	50	40	10	100
A14	50	35	15	100
A15	50	45	5	100
A16	35	50	15	100
A17	35	40	25	100
A18	30	40	30	100
A19	30	40	30	100
A20	25	40	35	100



(a) 결합재 믹싱	(b) 믹싱된 결합재	(c) 결합재 성형	(d) 시험체 제작 완료

[그림 3.16] 결합재 믹싱 및 시험체 제작 전경

○ 실험결과

- 다음의 [그림 3.17]는 각 실험조건별로 압축강도 결과를 나타낸 것임. 결합재의 구성 비율에 따라 제작된 큐브 몰드의 압축강도를 측정한 결과, 결합재(1)의 강도가 높게 나타났으며, 결합재(3)의 혼합비가 높은 A11 배합에서 가장 높은 압축강도 특성을 나타냄. 따라서 녹생토의 결합재로서 석고계 시멘트의 성능이 상대적으로 우수한 것으로 판단됨.



[그림 3.17] 결합재 조건별 압축강도

(나) 첨가제(성능향상제)의 배합설계 실험

○ 실험 목적 및 방법

- 종자의 발아율을 높이고 식생의 원활한 생육을 위해서는 녹생토(식생기반재)의 함수율이 높아야 함. 따라서 본 연구에서는 고흡수성폴리머와 친환경보습제를 개발하여 성능향상제로 첨가하였음. 앞서 실험한 결합재 첨가에 따른 압축강도측정 결과에서 가장 우수한 강도 특성을 나타낸 결합재 A11 배합을 기준으로 하여 녹생토 성능 향상을 위한 첨가제를 적정 비율에 따라 17가지 배합조건을 가정하여 모르타르 압축강도 실험을 수행하였음. 다음의 <표 3.35>은 녹생토 성능 향상제 배합조건을 나타낸 것임.

○ 실험결과

- [그림 3.18]은 각 실험조건별로 녹화 성능향상제의 혼입 비율에 따른 압축강도 특성을 나타낸 것임. 성능향상제를 배제하고 결합재와 경화재만을 사용한 B1배합의 강도가 가장 높게 측정되었으며, 성능향상제의 혼입 비율이 적을수록 강도가 높아지는 경향을 나타냄. 녹생토의 부착력 향상을 위한 강도 증진이 필요하나 식생을 위해서는 높은 강도 조건이 오히려 악영향을 미칠 수 있음. 따라서 본 연구에서는 부착력을 위한 적정 강도와 식생을 위한 내부 함수율을 고려하여 B10 배합조건을 녹화성능향상제의 적정 첨가 비율로 판단하였음.

<표 3.35> 결합재 혼합 조성비 변수

No.	결합재 A11	경화재	분말증점제	고흡수성 폴리머(1)	고흡수성 폴리머(2)	친환경보습제	합계
B1	90	10	-	-	-	-	100
B2	90	5	5	-	-	-	100
B3	85	5	-	-	5	5	100
B4	85	5	-	5	5		100
B5	70	10	5	5	5	5	100
B6	70	10	10	-	5	5	100
B7	60	10	10	5	10	5	100
B8	60	15	10	5	5	5	100
B9	50	20	10	10	10	-	100
B10	50	20	10	-	10	10	100
B11	50	10	5	10	10	15	100
B12	40	20	10	5	10	15	100
B13	40	20	5	10	15	10	100
B14	30	30	5	5	15	15	100
B15	30	40	10	5	5	10	100
B16	20	35	5	10	10	20	100
B17	20	30	20	10	10	10	100



[그림 3.18] 성능향상제 조건별 강도 특성

(다) pH 조절제에 따른 특성

○ 실험 목적 및 방법

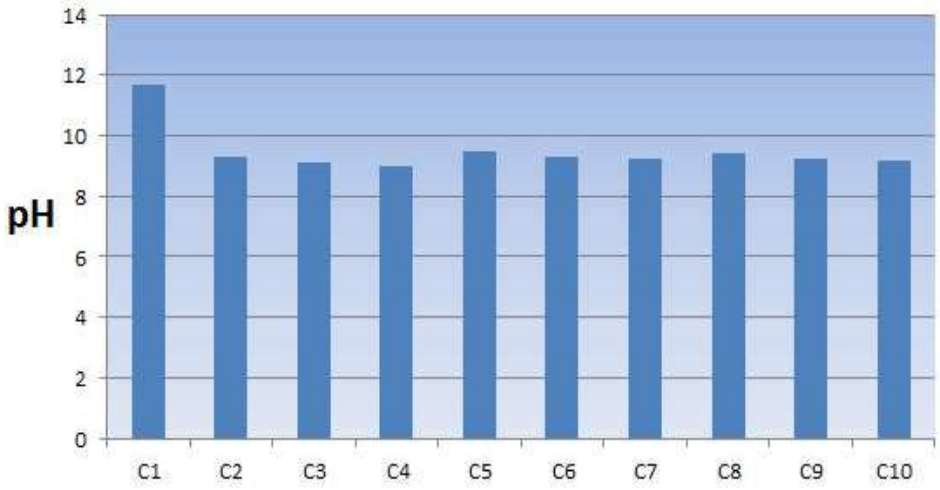
- 본 연구에서는 녹생토 재료의 저알칼리성을 확립하기 위해 pH조절제를 사용하였으며, 결합재와 성능향상제의 배합조건에서 우수한 성질을 나타낸 B10의 배합조건에 대해 pH조절제를 첨가하지 않은 배합과 황산, 인산, 황산과 인산 혼합조건의 배합조건을 가지고 혼입율을 조정하여 pH값을 측정하였음. pH조절제의 종류 및 첨가량 혼입비율은 다음의 <표 3.36>의 조건에 따라 12가지 배합조건을 가정하여 실시하였음.

<표 3.36> 결합재 혼합 조성비 변수

No.	결합재 B10	황산알루미늄			인산			황산+인산			합계
C1	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
C2	97	3	-	-	-	-	-	-	-	-	100
C3	94	-	6	-	-	-	-	-	-	-	100
C4	91	-	-	9	-	-	-	-	-	-	100
C5	97	-	-	-	3	-	-	-	-	-	100
C6	94	-	-	-	-	6	-	-	-	-	100
C7	91	-	-	-	-	-	9	-	-	-	100
C8	97	-	-	-	-	-	-	3	-	-	100
C9	94	-	-	-	-	-	-	-	6	-	100
C10	91	-	-	-	-	-	-	-	-	9	100

○ 실험결과

- pH조절제의 혼합조건에 따른 pH측정결과, 미첨가한 C1에서는 10이상의 강알칼리성을 보였으며, 황산+인산의 혼입과 인산의 혼합비율에 따른 pH는 8.4이상의 알칼리성이 나타냄. 반면 황산알루미늄의 배합조건에서 8.1이하의 저알칼리성을 나타내어, 본 연구의 목표에 적합한 배합을 선정하였음.



[그림 3.19] pH조절제의 혼합에 따른 산도 측정 결과

(라) 중금속 함유량 분석

○ 분석 목적 및 기준

- 녹생토는 식생 및 자연환경과 밀접한 관계가 있으며, 첨가재로 쓰인 재료들은 대부분 산업부산물이기 때문에 중금속의 유출 가능성이 있음. 따라서 본 연구개발에서는 첨가재료에 대한 중금속의 함유량을 분석하였으며, <표 3.37>에 나타낸 토양오염공정 시험기준(환경부 고시 제2015-261호, 2016.01.11.)에 의거하여 검사를 실시하였음.

○ 중금속 용출 분석 결과

- 본 연구에서 사용한 재료들의 중금속 용출 분석 결과는 <표 3.38>에 나타내었으며, '나' 지역(공장용지, 도로, 철도용지 및 잡종지)에 대한 기준은 모두 만족시키는 결과를 나타냄.
- 한편, '가' 지역(상수원보호구역, 습지, 백두대간 보호지역)은 환경보호를 필요로 하는 청정지역에 대한 기준으로 녹생토가 타설되는 지역과는 연계성이 극히 저조함. 따라서 본 연구개발에 사용된 결합재 및 성능향상제는 토양 오염공정 시험기준 환경부고시에 모두 만족하게 되므로 녹생토 첨가제들의 용출에 대한 안정성을 가지고 있다고 판단할 수 있음.

<표 3.37> 중금속 함유량 분석(하기 표 기준 만족)

물 질	'가'지역(별도관리)	'나'지역
카드뮴(mg/kg)	1.5 이하	12 이하
구리(mg/kg)	50 이하	200 이하
비소(mg/kg)	6 이하	20 이하
수은(mg/kg)	4 이하	16 이하
납(mg/kg)	100 이하	400 이하
6가크롬(mg/kg)	4 이하	12 이하
아연(mg/kg)	300 이하	800 이하
니켈(mg/kg)	40 이하	160 이하

*'가'지역: 상수원보호구역,습지, 백두대간 보호지역
*'나'지역: 공장용지, 도로, 철도용지 및 잡종지

<표 3.38> 중금속 함유량 분석(하기 표 기준 만족)

기준	결합재 (1)	결합재 (2)	결합재 (3)	경화재	분말 증점제	고흡수성 폴리머(1)	고흡수성 폴리머(2)	친환경 보습제 (ECG)	pH 조절제	결과
카드뮴 (Cd)	0.64	-	-	-	-	-	-	-	-	만족
구리 (Cu)	93.5	10.1	4.4	4.5	79.1	9.2	47.3	-	2.4	만족
비소 (As)	6.91	3.4	-	1.33	0.82	-	0.25	-	-	만족
수은 (Hg)	-	-	-	-	-	-	0.08	-	0.11	만족
납(Pb)	27.7	8.5	-	3.5	3.3	-	2.3	-	-	만족
6가크롬 (Cr^{6+})	2.8	3.6	-	1.4	-	-	-	-	-	만족
아연 (Zn)	381.4	11.8	3.4	7.5	69.3	2.8	38.3	-	2.4	만족
니켈 (Ni)	9.4	5.5	0.4	2.5	28	10	59.5	-	0.6	만족

마. ECG 녹생토의 물리적 기초 성능 검증

(1) 개요

○ 일반사항

- 일반적인 토사면의 안정해석시 Mohr-Coulomb의 파괴규준에 있어서 점착력과 내부마찰각은 전단강도를 결정하는 가장 주요한 매개 변수이며, 유효 응력변수는 강도 정수에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있음. 또한 유효응력변수는 흙의 역학적 거동을 표현하는 응력상태에 영향을 미치는 요소를 의미하며 흙의 물리적 특성에 있어 서로 독립성을 지님.
- 유효응력은 포화토의 거동을 표현할 수 있는 응력상태 변수로 볼 수 있으며, 흙의 물리적 특성에 독립적이므로 모래나 실트, 점토 등의 체적변형과 전단강도 특성을 나타냄. 즉, 일반적으로 토양의 특성을 평가하기 위해서는 흙의 유효응력, 즉 내부마찰각과 점착력에 대한 평가가 필요함.
- 따라서, 본 연구에서는 물성의 실험 및 분석을 도출된 원료 물질을 친환경 녹생토를 적용하여 인공토양으로써의 물리적 성능인 토양경도와 재료정수를 검증하였음.

○ 성능 검증 방법 및 기준

- 식물뿌리가 토양 속에서 생장하려면 적정 수준의 토양경도를 지녀야하며, 이와 같이 외부 관입물체에 대해서 저항하는 토양의 힘을 견밀도, 강도 또는 저항이라 함(이후 편의를 위해 강도로 약칭함).
- 관입시키는 원뿔의 각도, 단면적 및 기록 장치에 따라 여러 가지 강도 측정기가 있으나 현장에서 적용하기 어렵고, 휴대가 불편하기 때문에 상대적으로 적용성이 우수하고, 휴대성이 좋으며 산림용으로 주로 사용되는 산중식 경도계 중 Yamanaka식 경도계(이후 산중식 경도계로 약칭함,[그림 3.20])를 이용하여 강도를 추정하였음.
- 산중식 경도계는 원추의 앞 끝이 받는 저항을 용수철이 오므라드는 길이(㎜)의 눈금을 읽어 경도를 나타냄. 또한, 반경 0.7㎝, 높이 4㎝인 금속 원추에 4㎝수축에 8㎏의 힘을 필요로 하는 용수철이 연결되어 있으며, 토양에 직각으로 누른 후 관입이 정지 되었을 때 원뿔이 후진한 길이(㎜)를 재고, 그때 용수철의 수축에 해당하는 무게를 토양에 접한 원뿔의 단면적(㎟)으로 나누어 강도(N/㎟)를 환산할 수 있으며, 원추의 관입 정도(㎜)인 경도를 측정함.
- 상기 기술한 방법으로 측정된 경도는 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침의 부록 1. 공사 특별 시방서에서 제시되어 있는 [표 3.39]의 토양 경도와 식물의 생육상태에 따라 평가하였음.
- 측정된 경도를 이용하여 녹생토 평가 기준 및 측정법에 관련된 토양 및 식물체 분석법 (국립농업과학원, 2000년)을 참고하여 산중식 경도계로 측정된 경도를 이용한 강도 추정을 권장하고 있으며, 이때 사용되는 추정식은 다음의 식(1)과 같음.

$$R = \frac{10\omega}{0.795 \times (40-\omega)^2}$$ (여기서, R : 강도, ω : 경도) …… 식(1)



(b) 산중식 경도계 사진

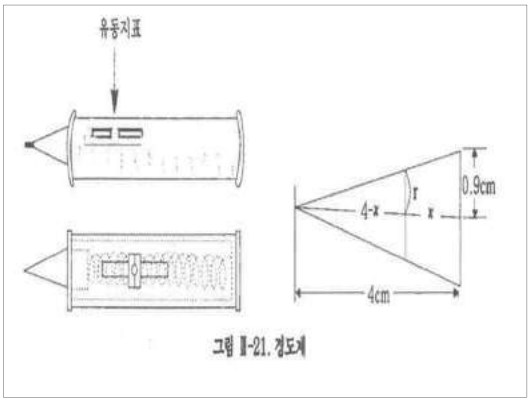


그림 Ⅱ-21. 경도계

(a) 산중식 경도계 구조

[그림 3.20] 고흡수성폴리머

<표 3.39> 녹생토 평가 기준

토양경도	식물 생육상태	평가
18㎜ 이하	식물의 생육은 양호하지만 비탈면이 무너질 위험성이 있는지 확인이 요구됨	식물에 의해 녹화가 되었을 때 평가
18-23㎜	식물의 근계생장에 적당	
23-27㎜	식물의 생육은 양호하지만 생육 활성이 그다지 좋지 않음	- 식생기반재 토양경도 측정 - 식생기반재를 뿜어붙이기 하지 않는 공법에서는 기반 생태를 평가
27-30㎜	흙이 너무 단단해서 식물의 생육이 곤란함	
30㎜ 이상	식물의 근계의 침입이 곤란함	

- 녹생토의 평가 기준에 의하면 토양경도의 경우 18 ~ 23㎜가 식물 근계생장을 위한 적정 범위이며, 식(1)을 이용하여 강도 추정값으로 환산하면 0.46 ~ 1.0 MPa 의 강도범위임. 본 연구 개발에서는 상기 방법을 적용하여 원료 물질의 분석을 통해 도출된 최적 녹생토 배합 조건으로 샘플을 제작하고 각 샘플의 경도 및 강도 관계를 분석하였음.
- 한편, 녹생토의 사면 안정성을 파악하기 위하여, 흙의 직접전단강도시험을 통해 ECG 녹생토의 재료정수인 점착력과 내부 마찰각을 분석하였음.

(2) 실험 조건 및 실험 방법

○ 실험 조건

- ECG 녹생토의 물리적 성능을 검증하기 위해 사용한 배합조건은 <표 3.40>과 같으며, 혼입한 원료 물질의 배합 비율은 <표 3.42>에 나타내었음. 또한 제시한 녹생토의 배합설계에 대하여 식생기반재의 종류를 달리하였으며, 다짐횟수와 측정재령을 변수로 경도, 강도, 점착력, 내부마찰각을 분석하였음. 실험 변수는 <표 3.41>과 같음.

<표 3.40> ECG 녹생토 배합설계

구분	Unit weight (kg/m^3)			
	퇴비	첨가재	물	씨앗
배합설계	1600	160	160	1

<표 3.41> 실험 변수

구분	변수
퇴비 종류	계분, 부엽토
측정 항목	경도, 강도, 점착력, 내부마찰각
다짐 횟수	5, 10, 15
측정 재령	재령 14일, 재령 28일

<표 3.42> 원료 물질 배합 설계표

구분	Unit weight (kg/m^3)								
	결합재 1	결합재 2	결합재 3	경화재	분말 증점재	고흡수성 폴리머(1)	고흡수성 폴리머(2)	친환경 보습재	pH 조절제
No. 1	51	-	-	33	5	-	1	10	-
No. 2	-	51	-			-	1		-
No. 3	-	-	51			-	1		-
No. 4	48	-	-			-	1		3
No. 5	48	-	-			1	-		3

○ 실험 방법

- 실험을 위한 샘플 제작은 다음의 [그림 3.21]에 나타낸 바와 같이, 시료를 개량한 후 모르타르 시험체 제작용 믹서기에 일괄 투입하여 각 원료 물질이 균질하게 혼합될 수 있도록 3분 동안 믹싱을 실시함.
- 혼합된 시료는 플라스틱 용기에 채워 넣은 후, 다짐 횟수를 5회, 10회, 15회로 달리하여 샘플을 제작하였으며, 각 변수별로 제작한 샘플을 현장 적용이 용이하고 녹생토 부착력 평가에 척도가 되는 산중식 경도계를 이용하여 경도를 측정함.



(a) 원재료 투입 (b) 혼합과정 (c) 다짐 과정 (d) 샘플 제작

[그림 3.21] 결합재 믹싱 및 시험체 제작 전경

- 아래의 [그림 3.22]는 ECG 녹생토의 재료 정수를 분석하고자 수행한 흙의 직접전단시험을 나타낸 것임. 직접전단시험은 KS F 2343에 근거하여 수행하였으며, 직접 전단시험은 상하부로 분리된 전단상자에 공시체를 거치한 후 구속 응력을 가한 상태로 수평력을 가하여 상·하단부의 분리 면을 따라 강제로 파괴시켜 토양의 재료 정수를 결정하였음.
- 전단 상자의 크기는 상·하부에 거치되는 다공석판의 크기 10㎜를 제외한 지름 50㎜, 높이 20㎜이며, 직접 전단시험을 실시하기 전에 최대 건조단위중량을 고려하여 단위중량 1.45t/㎥으로 시료를 준비하였음. 녹생토 시료에 균열이 발생되면 전단강도 정수 산정에 영향을 미치게 때문에 시료 제작 시 1층 다짐으로 다짐봉을 이용해 각각 5회식 동일하게 다짐에너지를 가하여 제작하였음.
- 전단속도는 1㎜/min 의 동일한 조건을 적용하였으며, 구속응력은 0.005MPa, 0.011MPa, 0.017MPa의 총 3단계로 나누어 실험하였음.



(a) 산중식경도계 (b) 경도 측정

(c) 전단시험기 (d) 전단상자

(e) 시료 (f) 직접전단시험

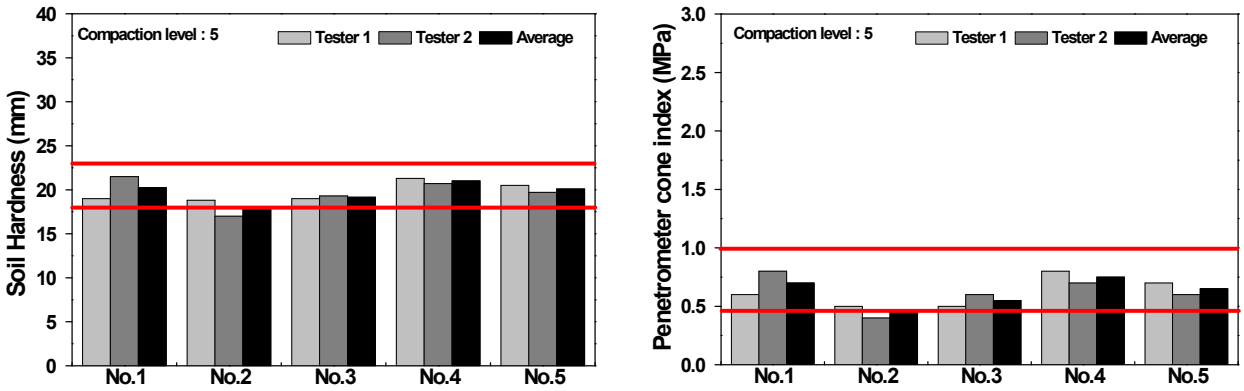
[그림 3.22] 결합재 믹싱 및 시험체 제작 전경

(3) 실험 결과 및 분석

(가) 계분 식생기반재를 사용한 ECG 녹생토

○ 경도 및 강도 특성

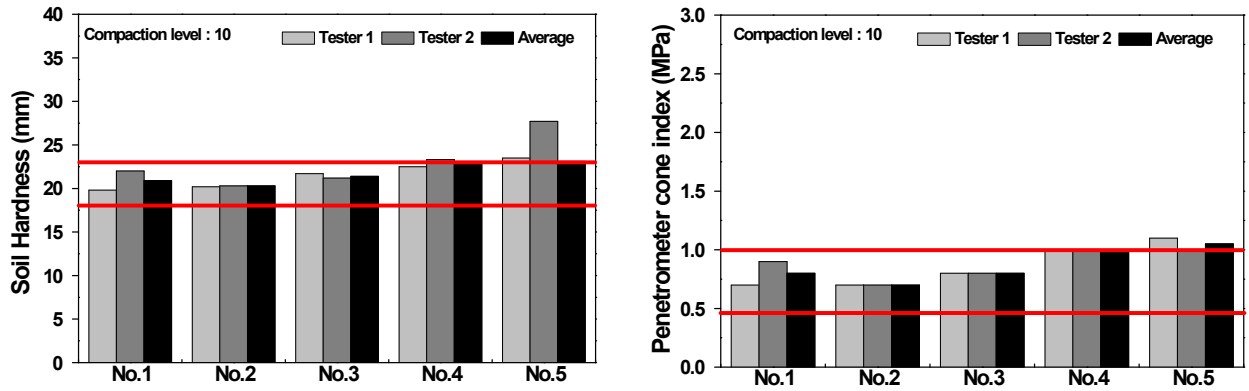
- [그림 3.23]에는 5회 다짐한 계분 녹생토의 경도 측정결과와 환산식으로 강도를 추정한 결과를 나타낸 것임. 실험 결과, 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침에 제시되어 있는 "식물의 근계생장에 적당" 한 토양경도 범위 18~23㎜를 모두 만족하는 결과를 나타냈으며, No. 4의 조건의 배합이 가장 높은 경도 값을 나타냄.
- [그림 3.23] (b)는 경도 측정 결과를 토양 및 식물체 분석법에서 제안한 강도 계산식을 이용하여 추정한 토양의 강도 결과임. 실험 결과를 살펴보면, 배합조건에 관계없이 강도는 0.46 MPa 이상, 1.0 MPa 이하를 조건을 만족하여 식물 생육에 적합한 결과를 나타냄.



(a) 경도 측정 결과 (b) 강도 추정 결과

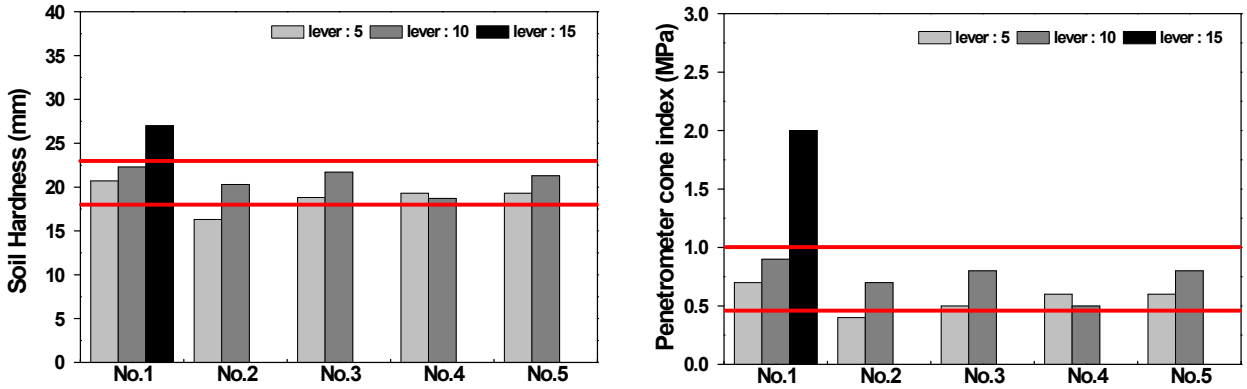
[그림 3.23] 5회 다짐 후 경도 및 강도추정 결과

- [그림 3.24] (a)에는 위와 동일한 배합조건에 대하여 녹생토의 다짐을 10회 실시한 시료의 토양 경도 측정 결과임. 실험 결과, 배합조건 No.1,No.2, No3, No.4의 시료는 "식물의 근계생장에 적당" 한 토양경도인 18~23㎜의 수준을 만족하였으나, No.5 에는 토양경도가 23~27㎜ 영역으로 나타나 "식물의 생육은 양호하지만 생육 활성이 그다지 좋지 않음" 상태인 것으로 나타남.
- [그림 3.24] (b)는 측정된 경도를 환산하여 토양 강도를 추정한 결과임. 모든 배합 조건의 시료가 토양 강도 권장 기준에서 최소 강도 기준 값인 0.46 MPa 이상의 강도 값을 나타냈으며, No.5 배합의 시료는 최대 강도 기준인 1.0 MPa를 상회하는 결과치를 나타내어 식생에 부적합 것으로 판단함.
- 이상의 실험 결과를 종합하면, 일부 배합설계에서 식생 기준을 벗어난 경도값을 나타냈으나 대부분의 설계 조건이 적합한 것으로 판단할 수 있으며, 예상한 것과 같이 다짐횟수가 증가함에 따라 토양경도는 증가함을 알 수 있음. 따라서 뿜어 붙이기 시공 시 녹생토의 토출압을 조절하거나 재료의 함수율을 조정하여 초기 경도를 식생에 적합하게 유도할 필요가 있음.



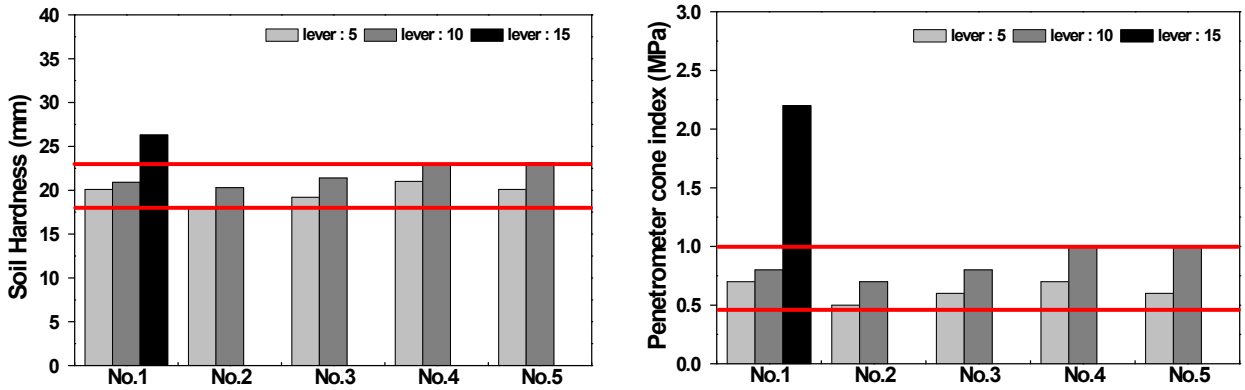
(a) 경도 측정 결과 (b) 강도 추정 결과

[그림 3.24] 10회 다짐 후 경도 및 강도추정 결과



(a) 경도 측정 결과 (b) 강도 추정 결과

[그림 3.25] 재령 14일 후 경도 및 강도추정 결과



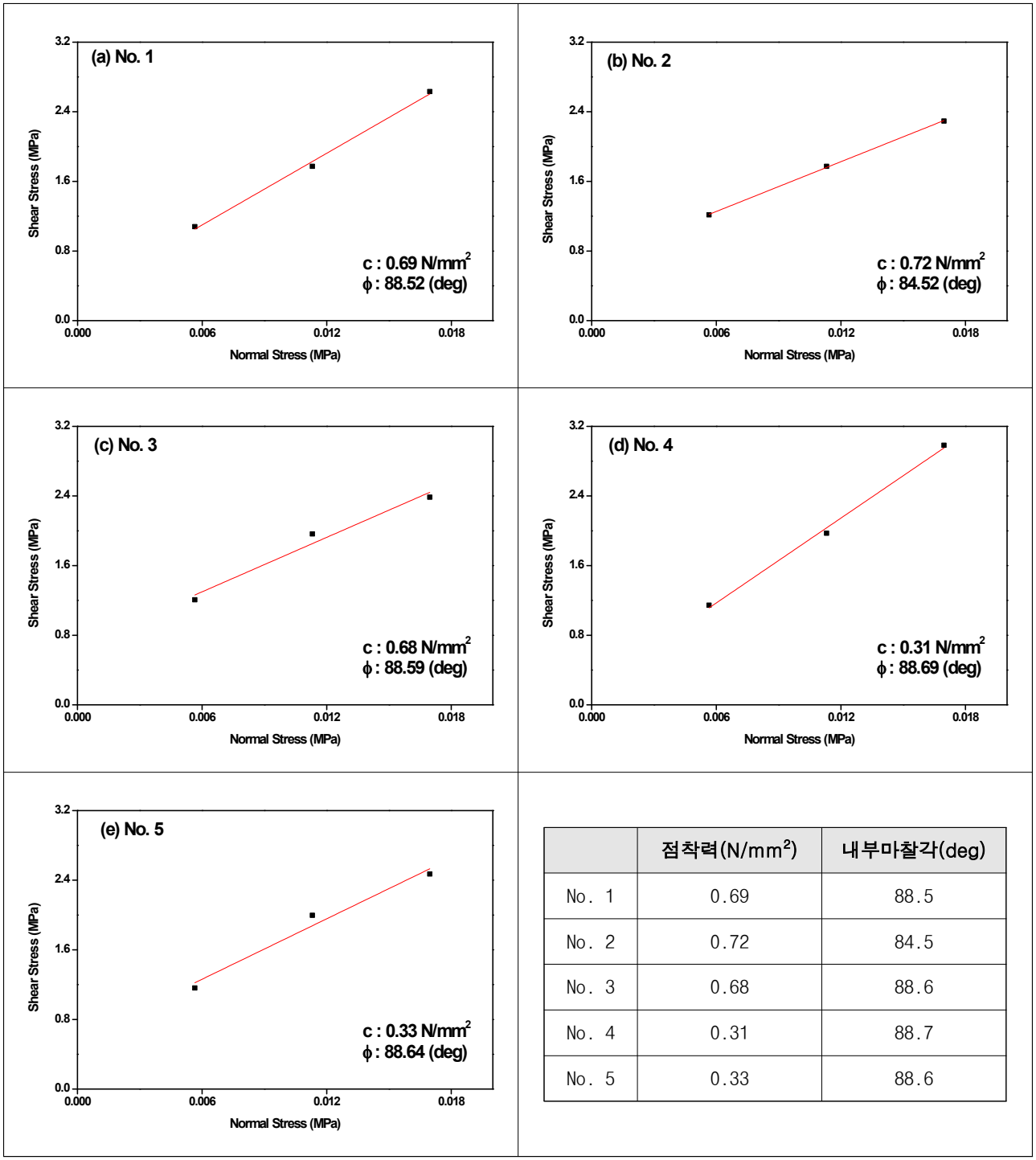
(a) 경도 측정 결과 (b) 강도 추정 결과

[그림 3.26] 재령 28일 후 경도 및 강도추정 결과

- [그림 3.25]와 [그림 3.26]은 식생기반재로 계분을 혼합한 ECG 녹생토의 경과 시간에 따른 경도 변화를 나타낸 것임. [그림 3.25]의 14일 경과 후 측정한 경도 및 강도추정 결과로서 모든 배합 설계 조건이 적정한 경도 수준을 만족하는 것을 확인하였음. 다만, 15회 다짐에서는 과압밀로 인해 내부 수분이 빠져나감으로써 급격히 경도가 상승하는 현상을 나타냄.
- 한편, [그림 3.25]와 [그림 3.26]의 재령에 따른 경도 변화를 살펴보면, 10회 이하의 다짐조건에서는 경도 및 강도 상승 현상이 크게 나타나지 않아 물리적 영향이 적으면 녹생토의 내부 수분 상태가 적정히 유지되는 것으로 판단할 수 있음.

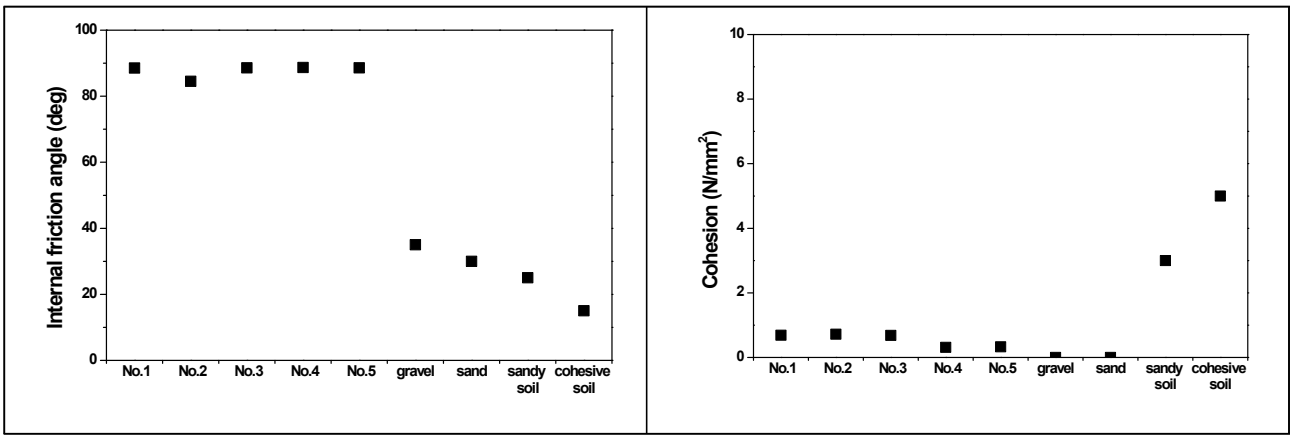
○ 토양 재료정수 특성

- 직접전단 시험 결과를 토대로 연직응력 및 전단응력-수평변위 곡선을 작성하고 최대 전단응력의 강도가 산정하였음. Mohr-Coulomb의 파괴 규준에 의거하여 전단강도를 산정하여 [그림 3.27]에 나타냈으며, 점착력과 내부마찰각도 함께 나타냄.
- 실험 결과를 살펴보면, 모든 배합에서 구속압력이 증가할수록 전단 강도가 증가하는 토양의 일반적인 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있음. 또한, No.4 배합의 경우가 0.017 MPa의 구속응력이 작용 할 때의 전단강도가 2.98 MPa로 가장 높게 나타났으며, 이는 토양 강도 측정 결과와도 일치함.
- 그러나, No.4의 점착력은 다른 배합에 비해 우수하지 않았지만, 내부마찰각의 크기가 다른 배합보다 크기 때문에 내부 마찰각의 증가는 강도 증가를 수반하며, 이는 기존 연구사례와 동일한 결과를 보임.
- 모든 배합에서 현장 녹생토 배합에서 얻어진 점착력(0.24N/㎟) 및 내부마찰각(39.2°)보다 모두 증가한 것을 확인할 수 있었으며, 점착력 증가와 내부마찰각 증가는 녹생토의 전단강도 증가에 기여하여 기존 사면과의 부착력 증진을 기대할 수 있음.
- 특히, 배합 No.1 ~ No.3의 경우를 살펴보면, 다른 배합에 비해 점착력이 우수한 것으로 나타났으며, 이는 결합재의 혼입율이 No.4, No.5의 경우보다 많기 때문이며 결합재는 시멘트계 재료이기 때문에 점착력 증진에 크게 기여한 것으로 판단됨.



	점착력(N/mm²)	내부마찰각(deg)
No. 1	0.69	88.5
No. 2	0.72	84.5
No. 3	0.68	88.6
No. 4	0.31	88.7
No. 5	0.33	88.6

[그림 3.27] 계분 녹생토의 점착력 및 내부마찰각 측정 결과



(a) 내부마찰각 비교 결과 (b) 점착력 비교 결과

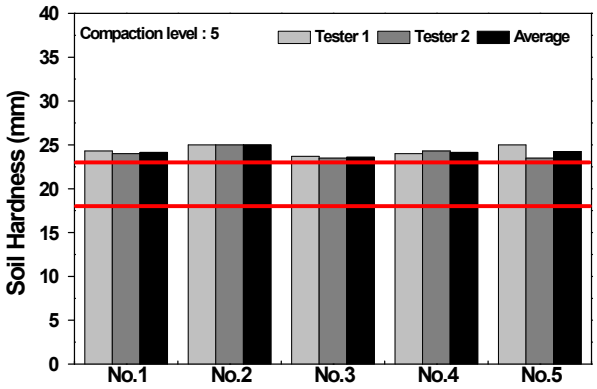
[그림 3.28] 일반 성토와 ECG 녹생토의 토양정수 비교 결과 (식생기반재:계분)

- [그림 3.28]은 ECG 녹생토의 토양정수 특성과 일반 성토의 토양 정수 특성을 상대 비교하여 나타낸 결과임. ECG 녹생토는 일반 성토에 비해 내부 마찰각이 큰 것을 확인할 수 있어 상대적으로 일반적인 흙보다 사면에 안정적일 것으로 기대됨.
- 한편, 흙 입자 사이의 응력은 점착력으로 표현할 수 있으며, ECG 녹생토와 일반 성토의 점착력을 비교하여 결과에서 녹생토의 점착력은 점성이 강한 토양 보다는 작지만 자갈 및 모래보다는 큰 것을 확인할 수 있음.
- 이는 녹생토에 포함된 식생의 발아를 위해서 흙 입자간의 응력인 점착력이 적정한 수준을 만족해야하며 탈락 방지를 위한 내부마찰각의 증가를 고려할 때, ECG 녹생토의 토질 특성이 일반적인 토양보다는 유리한 것으로 판단할 수 있음.

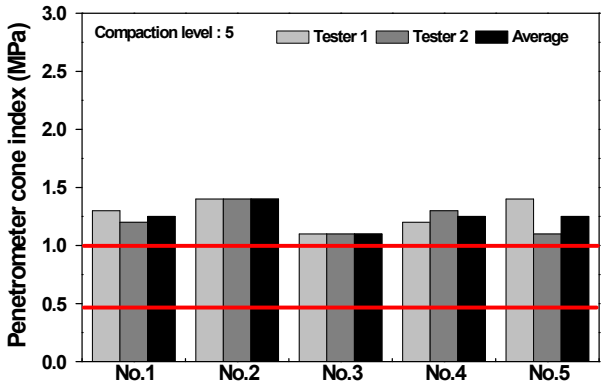
(나) 계분 식생기반재를 사용한 ECG 녹생토

○ 경도 및 강도 특성

- [그림 3.29]는 식생기반재로서 부엽토를 사용한 ECG 녹생토의 5회 다짐 후의 토양 경도와 환산 강도를 나타낸 것임.
- 결과를 살펴보면, 결합재 종류에 상관없이 모든 배합에서 23 ㎜ 경도 수준을 상회하는 값을 나타냄. 특히, 마이크로 시멘트와 아원계 시멘트를 혼합한 경우의 토양경도가 다소 높게 나타났으며, 석고계 시멘트를 사용한 경우가 상대적으로 식생 환경에 가장 적합한 경도 수준을 보임.
- 또한, 계분 식생기반재를 사용한 배합에 비해 부엽토 식생기반재를 사용한 배합의 토양 경도 수준이 높은 결과를 나타냈는데 이는 상대적으로 내부 수분이 높은 부엽토를 사용하면서 경화 촉진제와의 반응이 빨리 일어남에 따른 결과로 사료됨.
- 한편, [그림 3.30]은 다짐횟수를 10회로 증가시킨 각 배합 시료의 경도 및 강도를 분석한 결과임. 다짐 횟수가 증가함에 따라 경도 및 강도 값은 상승하는 결과를 나타냈으며, 계분을 사용한 녹생토의 경도 보다도 높은 결과를 보임.

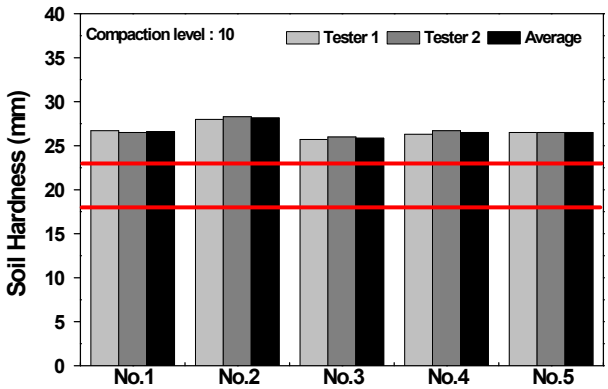


(a) 경도 측정 결과

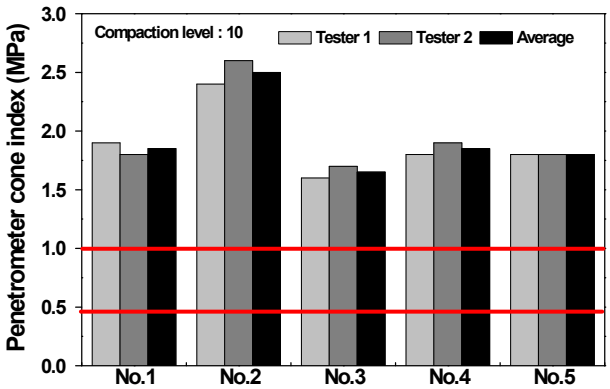


(b) 강도 추정 결과

[그림 3.29] 5회 다짐 후 경도 및 강도추정 결과



(a) 경도 측정 결과

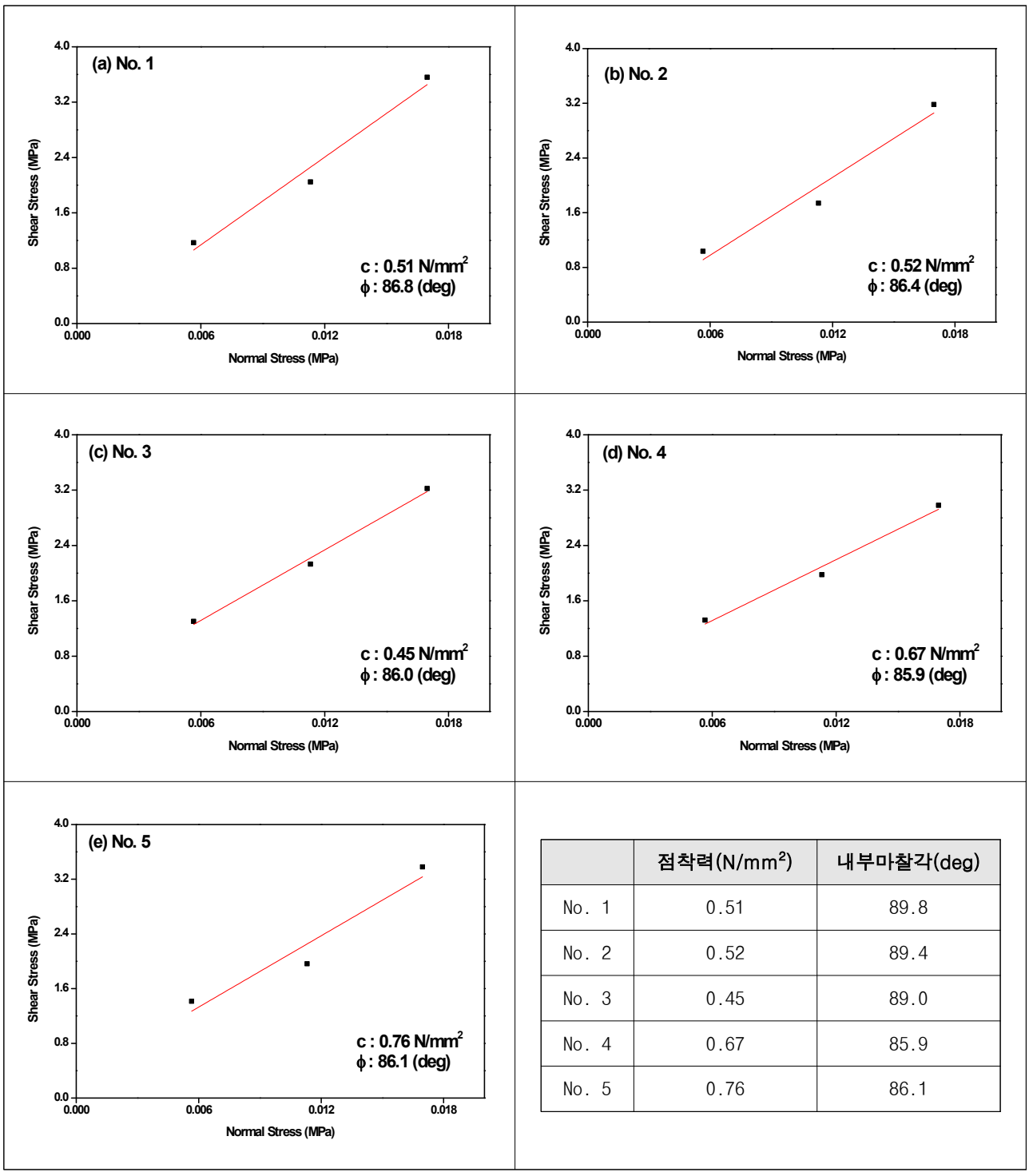


(b) 강도 추정 결과

[그림 3.30] 10회 다짐 후 경도 및 강도추정 결과

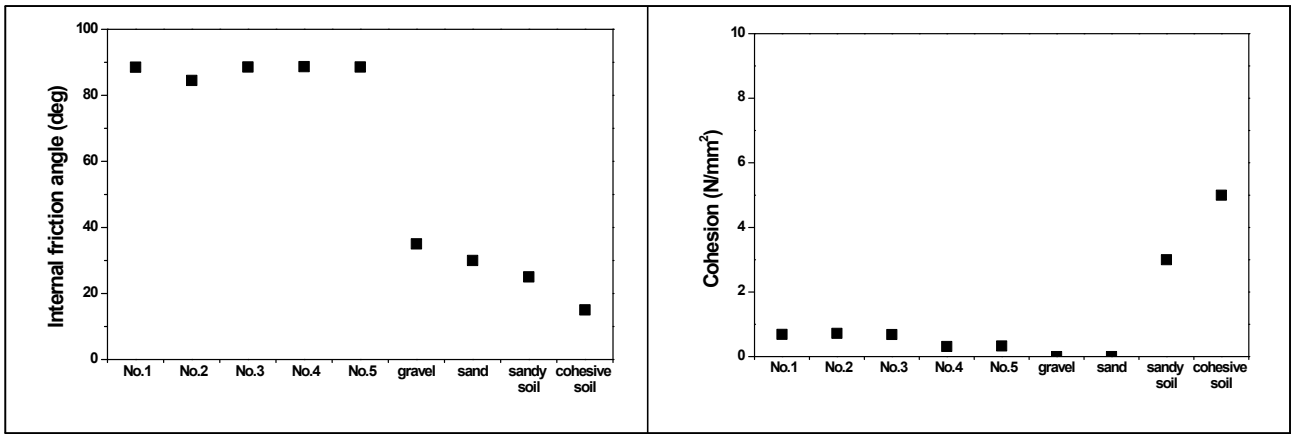
○ 토양 재료정수 특성

- [그림 3.31]는 부엽토를 사용한 녹생토의 전단실험 결과를 나타낸 것임. 직접전단시험 결과, 모든 배합에서 구속력이 증가할수록 전단 강도가 증가하는 토양의 일반적인 특성이 잘 나타나고 있음. 또한 No.4번과 No.5 배합의 점착력이 가장 높게 나타나 석고계 시멘트와 마이크로시멘트를 결합재로 사용했을 때가 사면안정에 좀 더 유리할 것으로 판단됨.
- 한편, [그림 3.32]은 일반 성토와 부엽토 녹생토의 점착력 및 내부마찰각을 비교하여 나타낸 것임. EOG 녹생토는 일반 성토에 비해 내부마찰각이 크기 때문에 전단강도 증진에 효과적일 것으로 판단됨.



	점착력(N/mm²)	내부마찰각(deg)
No. 1	0.51	89.8
No. 2	0.52	89.4
No. 3	0.45	89.0
No. 4	0.67	85.9
No. 5	0.76	86.1

[그림 3.31] 부엽토 녹생토의 점착력 및 내부마찰각 측정 결과



(a) 내부마찰각 비교 결과 (b) 점착력 비교 결과

[그림 3.32] 일반 성토와 ECG 녹생토의 토양정수 비교 결과 (식생기반재:부엽토)

(다) 소결 (식생기반재 종류에 따른 녹생토 비교 결과)

○ 계분과 부엽토를 사용한 녹생토의 경도 및 강도 실험 결과를 전체적으로 정리하면 다음과 같음.

- 부엽토를 사용한 경우, 계분보다 높은 수분을 함유하고 있어 시멘트계 결합재를 사용한 배합에 대해서 강도 증진에 효과적임.
- 또한, 비료 성분의 계분 식생기반재는 제조 시 심한 악취로 인해, 시공 시 주변 민원 등이 우려됨.
- 적정 경도 수준을 만족하며 토양 물리적 특성이 적합한 결합재로는 No.3의 석고계 시멘트가 유리할 것으로 판단됨.
- No.2 배합은 부엽토를 사용하여 녹생토를 제작할 경우, 타설압에 의한 영향이 타배합보다 많으므로, 타설압에 관한 영향을 고려해야 할 것으로 사료됨.
- 동일한 배합과 동일한 다짐 조건에서 부엽토를 적용한 경우가 경도 및 강도가 우수한 것으로 나타났으므로, 토양의 경도 및 강도 증진을 목표로 하는 녹생토에는 부엽토를 적용하는 것이 효과적인 것으로 판단됨.

○ 계분과 부엽토를 사용한 녹생토의 토양 재료 정수 실험 결과를 전체적으로 정리하면 다음과 같음.

- Coulomb과 Lumb에 의하면 일반적인 흙의 강도에 영향을 미치는 요소로서 입경, 간극비, 포화도를 제시하고 있음. 전단 강도를 이루는 영향요소 중 점착력은 포화도에 많은 영향을 받고, 완전히 포화에 이르면 점착력의 크기는 거의 0에 가까워지게 됨. 즉, 토양의 포함된 수분량의 증가는 점착력 감소를 야기하게 되며, 이때, 흙은 순수한 마찰 재료로 거동함. 반대로, 불포화될 때에는 높은 점착력의 크기를 나타냄.
- 상대적으로 낮은 수분량을 포함하는 계분을 사용한 경우, 점착력은 우수하지만 내부마찰각은 감소하는 것으로 나타났으나, 동일한 구속압력이 가해질 때의 전단강도는 부엽토를 사용한 경우가 더욱 우수한 것으로 나타남.
- 결합재를 상대적으로 많이 사용하는 경우(No.1~ No.3)에는 Lumb의 이론과 같이 수분량 증가에 의해 점착력이 감소하는 것으로 나타났으나, 결합재의 수화반응으로 인해 수화가 진행되면서 내부마찰각이 상승하여 전단강도 개선에는 효과적인 것으로 판단됨.
- 따라서, 녹생토에 사용되는 비료로 부엽토를 사용하게 되면 동일한 배합조건에서 더욱 우수한 경도 및 토양 강도를 비롯한 녹생토 타설 초기에 발생할 수 있는 탈락 및 표면 박리에 대한 저항성 확보가 우수할 것으로 사료됨.
- 또한, 사면안정 및 항구성 녹생토 개발을 위한 추가적인 검토에 있어서는 No.3 배합의 경우를 기준으로 하여 진행하는 것이 바람직 할 것으로 판단됨.

마. ECG 녹생토와 일반 녹생토의 물리적 특성 및 토양 산도 비교

(1) 실험 방법 및 목적

- 본 연구를 통해 개발하고자 하는 녹생토와 주로 시공되고 기존 녹생토의 성능을 비교 검증하고자 다음의 [그림 3.33]에 나타낸 것과 같이 현장 시료를 채취하여 동일한 재령의 토양 경도, 강도, 토양재료 정수를 평가하였으며, 개발 녹생토와의 pH값을 비교·분석함.



(a) 시료 채취용 몰드　　(b 일반 녹생토 현장 시료 채취

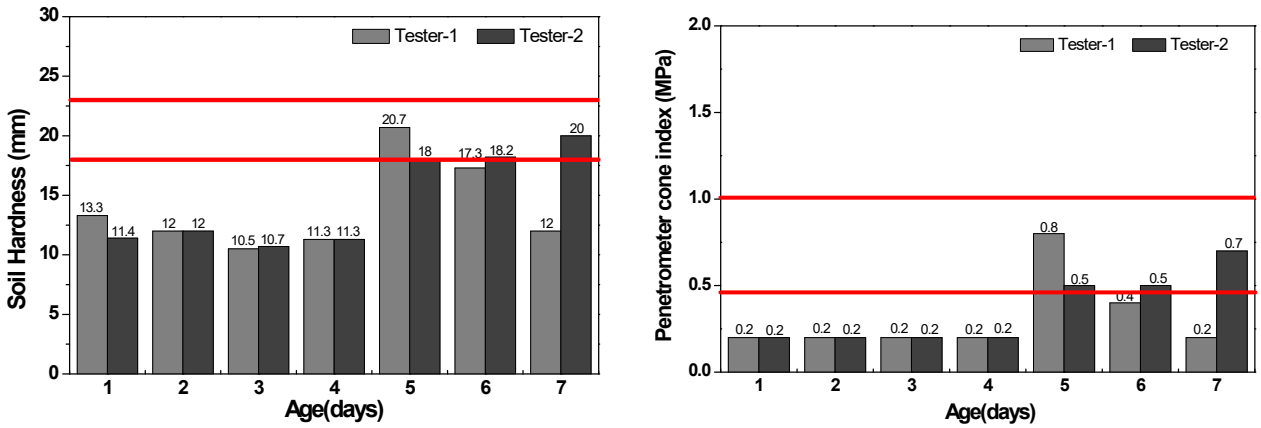


(c) 시료 채취 사진　　(d) 항온항습실 거치 사진

[그림 3.33] 일반 녹생토 시료 채취 과정

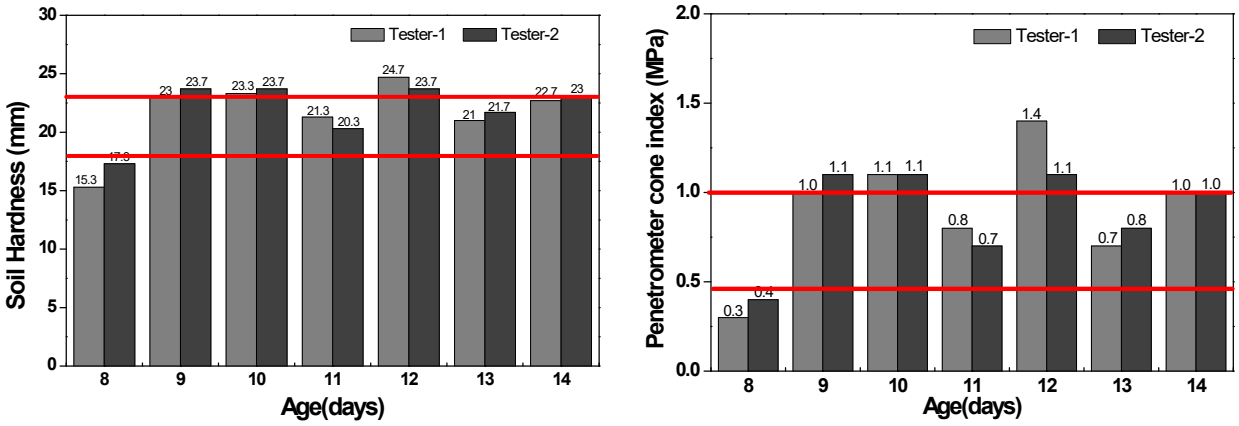
(2) 기존 일반 녹생토의 토양 경도 및 강도 특성

- [그림 3.34]에는 시간 경과에 따른 기존 녹생토의 경도 변화를 나타낸 것이며, 최적의 식생 발아를 위한 기준이 되는 18~23㎜ 영역을 함께 표시하였음. 실험 결과를 살펴보면, 녹생토의 경도가 재령에 비례하여 증가하지는 않으나, 재령 5일 경과 후에는 토양경도 18㎜ 이상을 확보할 수 있음.
- [그림 3.34]의 (b)는 [그림 3.34] (a)에서 얻어진 경도를 식(1)을 이용하여 강도로 추정하여 나타낸 결과임. 경도 변화 결과와 마찬가지로 재령 5일을 전후하여 강도가 발현되는 것을 확인하였음. 또한, 식생 발아 기준이 되는 경도 범위를 강도 범위로 환산하면 0.46~1.0MPa 이므로, 재령 5일 경과 후 목표 강도 범위에 도달하였음.



(a) 경도 변화　　(b) 강도 변화

[그림 3.34] 재령 7일까지의 경도 및 강도 변화



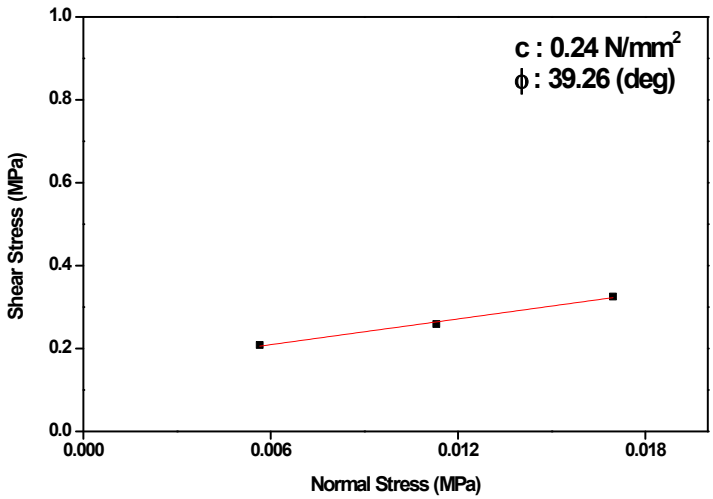
(a) 경도 변화 (b) 강도 변화

[그림 3.35] 재령 14일까지의 경도 및 강도 변화

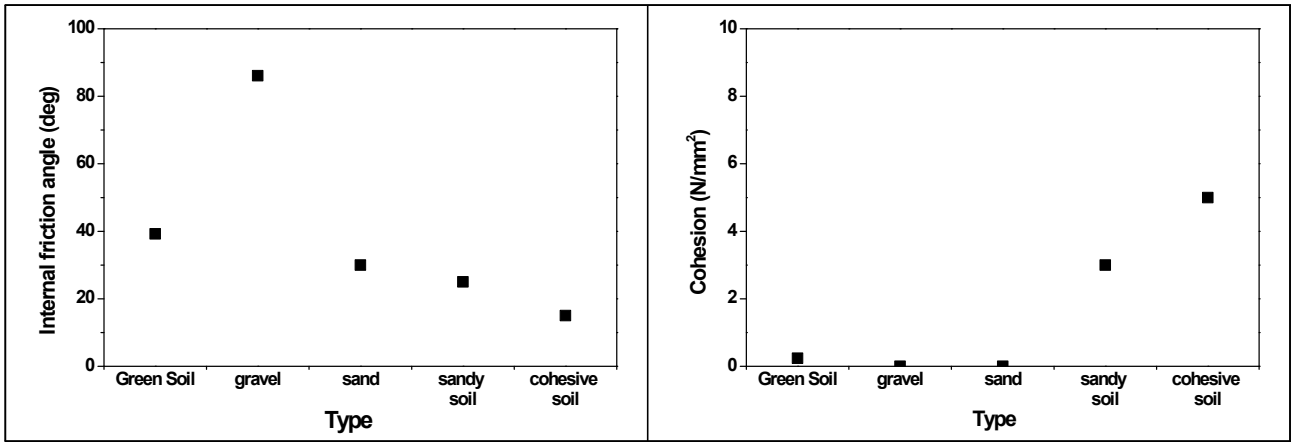
- [그림 3.35] (a)에는 재령 8일부터 재령 14일까지의 경도 변화를 나타내었음. 실험 결과를 살펴보면 재령 8일 이후에 경도는 대부분 23㎜ 이상 넘어서고 있으며, 재령 12일 이후에는 경도 변화가 크지 않은 것으로 나타남. 즉, ECG 녹생토는 시간 경과에 따라 동일하게 강도가 증진하는 것은 아니며, 일정 수준의 고화 이후에는 추가적인 고화현상은 발생하지 않는 것으로 판단됨.
- [그림 3.35]의 (b)는 재령 8일부터 재령 14일까지의 강도 변화를 나타낸 것임. 실험 결과를 살펴보면, 경도 결과와 마찬가지로 식생이 발아하는 재령 12일에는 1.0MPa의 강도 수준을 벗어나는 것으로 보이며, 다소 높은 강도를 확보하더라도 식생의 발아가 가능한 점으로 보아, 기존 사면과 부착력 증진을 위해 녹생토의 강도 증진에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단됨.

(3) 기존 일반 녹생토의 토양 경도 및 강도 특성

- [그림 3.36]에는 법면녹화에 사용되는 뿜어붙이기용 일반 녹생토(기존 녹생토)의 점착력과 내부마찰각 측정 결과를 나타낸 것임. 기존 일반 녹생토의 직접전단실험 결과, ECG 녹생토와 마찬가지로 구속압력이 증가할수록 전단 강도가 증가하는 토양의 일반적인 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있음. Mohr-Coulomb의 파괴규준에 의거하여 평가한 결과, 점착력과 내부마찰각은 각각 0.24MPa, 39.2° 로 나타남.
- 기존의 일반 녹생토와 일반 성토와의 특성을 비교한 결과를 [그림 3.37]에 나타냄. 자갈을 제외하고 모두 내부마찰각 40° 이하로 나타나는 것을 확인할 수 있었음. 또한, 일반 점토에 비해서는 내부 마찰각이 크게 나타났으며, 점착력은 일반 모래와 점성토에 비해 다소 낮은 결과를 나타냄.



[그림 3.36] 일반 녹생토의 점착력 및 내부마찰각 측정 결과



(a) 내부마찰각 비교 결과 (b) 점착력 비교 결과

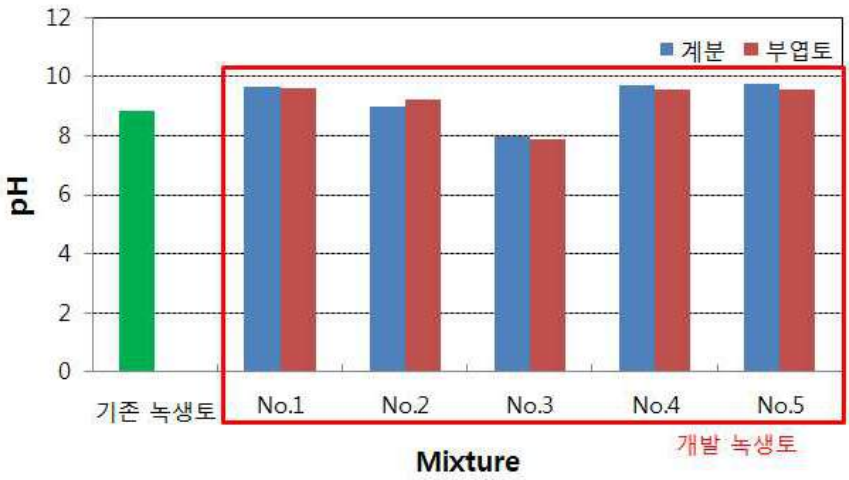
[그림 3.37] 기존의 일반 녹생토와 성토와의 재료정수 특성 비교

(4) 토양 산도 비교

- ECG 녹생토의 결합재는 시멘트 계열의 원료 물질을 사용하므로 식물의 생육을 위한 pH 조절제를 사용하였음. 따라서 식물 생육이 원활한 기존 녹생토와의 pH값을 비교하여 개발하고자 하는 녹생토의 식생 가능성을 확인하였음. 아래 [그림 3.38]은 pH미터를 이용하여 인공토양 알칼리도(pH)를 측정한 결과이며, 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침(국토해양부 2009.06)에 따라 측정하였음.
- pH(알칼리도)의 측정결과, 석고계 시멘트를 사용한 배합(No.3)의 pH 값이 가장 낮게 측정되었으며, 퇴비의 종류에 따른 pH 측정치는 큰 차이를 보이지 않았음. 또한 No.4 배합의 pH값은 7.86으로 기존 녹생토의 pH 값보다 낮은 수치를 나타내 시멘트 계열의 결합재를 사용하여도 식물의 생육을 유도할 수 있음.



[그림 3.38] 토양산도(pH) 측정 모습



[그림 3.39] 기존 녹생토와 ECG 녹생토의 토양산도 비교

2. 친환경 녹생토 적용성 검증

가. 친환경 녹생토의 물리 · 화학적 성능 평가

(1) 친환경 ECG 녹생토의 물리적 성능

○ 물리적 성능 기준 및 평가 방법

- 녹생토의 물리적 특성 평가를 위해, 기초 실험을 통해 선정한 최적 배합(No. 3)설계를 바탕으로, ECG 녹생토의 재령에 따른 경도 및 강도를 측정하고 식생 기준에 부합하는지를 평가하였음.
- 토양경도는 산중식 토양경도계의 측정치로 하였으며, <표 3.43>의 토양경도에 따른 식물생육상태 판정표를 바탕으로 양호(11~23㎜), 보통(23~27㎜), 불량(11㎜미만, 27㎜초과)으로 판정하였음. 토양습도는 양호(0.5~5%), 보통(5%~8%), 불량(0.5% 미만, 8% 초과)로 분류됨. 토양경도계의 경도지수와 강도와의 대조표(표준형)는 <표 3.44> 에 나타내었음.

<표 3.43> 토양경도에 따른 식물생육상태

토양경도 (mm)	식물생육상태	평가
18㎜ 이하	식물의 생육은 양호하지만 비탈면이 무너질 위험성이 있는지 확인이 요구됨. (고압으로 뿌리는 녹화공법을 적용하는 경우 식생기반재의 침식방지 효과에 대한 확인이 필요하고, 침식방지 효과가 인정된 경우에는 식물의 근계생장에 적합한 것으로 판정할 수 있다.)	식물에 의해 녹화가 되었을 때 평가 (본 항목은 녹화공사 후 6개월 이내에만 적용)
18 ~ 23㎜	식물의 근계생장에 적당	식생기반재의 토양경도를 측정하고, 식생기반재를 뿜어붙이기 하지 않는 공법에서 기반상태를 평가한다.
23 ~ 27㎜	식물의 생육은 양호하지만 생육활성이 그다지 좋지 않음.	
27 ~ 30㎜	흙이 너무 단단해서 식물의 생육이 곤란함.	
30㎜ 이상	식물의 근계의 침입이 곤란함.	

○ 토양 경도 및 강도 평가 방법

- 식물뿌리가 토양 속에서 생장하려면 적정 수준의 토양경도를 지녀야 하며, 이와 같이 외부 관입 물체에 대해서 저항하는 토양의 힘을 경도로써, 평가하고자 함. 관입시키는 원뿔의 각도 단면적 및 기록 장치에 따라 여러 가지 강도 측정기가 있으나 현장에서 적용하기 어렵고, 휴대가 불편하기 때문에 상대적으로 적용성이 우수하고, 휴대성이 좋으며 산림용으로 주로 사용되는 산중식 경도계 중 야마나카식 경도계([그림 3.40], <표 3.45>)를 이용하여 경도를 측정함.

<표 3.45> 산중식경도계 사양



[그림 3.40] 산중식 경도계

구분	야마나카식 표준형
경도 지수 눈금	0~40㎜
한 눈금	1㎜
지지력 눈금	0 ~ ∞ (kg/cm^2)
스프링 강도	8kg (40㎜)
정 사이즈	∅18 × 40㎜
크기 및 중량	23 × 5 × 5cm / 650g

<표 3.44> 토양경도계의 경도지수와 강도와의 대조표(표준형)

지수	이론치	근사값	지수	이론치	근사값	지수	이론치	근사값
mm	kg/cm²	kg/cm²	mm	kg/cm²	kg/cm²	mm	kg/cm²	kg/cm²
1.0	0.08	0.1	16.0	3.49	3.5	29.0	30.14	30
2.0	0.17	0.2	16.5	3.16	3.8	29.5	33.63	34
3.0	0.28	0.3	17.0	4.04	4.0	30.0	37.73	38
4.0	0.39	0.4	17.5	4.35	4.3	30.5	42.50	43
5.0	0.51	0.5	18.0	4.68	4.7	31.0	48.13	48
2.5	0.58	0.6	18.5	5.03	5.0	31.5	54.83	55
6.0	0.65	0.7	19.0	5.42	5.4	32.0	62.88	63
6.5	0.73	0.8	19.5	5.84	5.8	32.5	72.66	73
7.0	0.81	0.9	20.0	6.29	6.3	33.0	84.70	85
7.5	0.90	1.0	20.5	6.78	6.8	33.5	99.70	100
8.0	0.93	1.1	21.0	7.32	7.3	34.0	118.75	120
8.5	1.08	1.2	21.5	7.90	7.9	34.5	143.45	140
9.0	1.18	1.3	22.0	8.54	8.5	35.0	176.05	180
9.5	1.28	1.4	22.5	9.24	9.2	35.5	220.49	220
10.0	1.40	1.5	23.0	10.00	10.0	36.0	282.95	280
10.5	1.52	1.6	23.5	10.86	11.0	36.5	347.70	350
11.0	1.64	1.7	24.0	11.79	12	37.0	516.97	500
11.5	1.78	1.8	24.5	12.82	13	37.5	754.53	800
12.0	1.93	1.9	25.0	13.97	14	38.0	1194.67	1,200
12.5	2.08	2.0	25.5	15.25	15	39.0	4904.42	5,000
13.0	2.24	2.2	26.0	16.68	17	40.0	∞	∞
13.5	2.42	2.4	26.5	18.53	18			
14.0	2.62	2.6	27.0	20.09	20			
14.5	2.80	2.8	27.5	22.12	22			
15.0	3.02	3.0	28.0	24.45	24			
15.5	3.25	3.2	28.5	27.09	27			

- 녹생토 평가 기준 및 측정법에 관련된 토양 및 식물체 분석법(국립농업과학원, 2000년)에서는 산중식 경도계로 측정된 경도를 이용한 강도 추정을 권장하고 있으며, 측정된 경도값을 식(1)에 대입하여 강도를 환산 추정하였음.
- 도로비탈면 녹화공사에 사용되는 인공토양의 식물 생육상태 평가 기준에는 18~23㎜의 토양경도가 식물의 근계생장을 위한 적정 범위로 보고 있음. 이를 강도 추정식으로 환산하였을 때, 0.46~1.0 MPa 값에 해당됨.
- 본 연구에서는 녹생토의 현장시험 모사를 위해 경도 및 강도를 평가를 다짐방법과 분사방식으로 나누어 평가하였음.

○ 실험 조건 및 시험체 제작

- 기초 물성 실험을 통해 선정한 석고계 시멘트 결합재와 부엽토 식생기반재 배합인 No.3 조건에 따라 시험체를 제작한 후 강도를 측정하였음.

<표 3.46> 실험 조건 및 변수

구분	조건	
퇴비종류	부엽토	
측정	경도, 강도	
시험체 제작	충격 다짐	40회, 50회, 55회
	압력 분사	0.5bar, 1bar, 2bar
재령	경도	1~28일
	강도	1일, 7일, 14일, 28일

<표 3.47> ECG 녹생토의 배합 설계표

ECG 녹생토 혼합비율 (kg/m³)			성능향상제 혼합비율 (kg/m³)					
부엽토	첨가제	물	결합재	경화재	분말 증점제	고흡수성 폴리머	친환경 보습제	pH조절제
1,600	160	160	46	35	5	1	10	3

- 시험체 제작은 아스팔트 마샬용 시험에 사용되는 마샬용(∅100㎜×h100㎜) 몰드를 사용하였으며, 다짐방법으로는 흙다짐 방법에 사용되는 다짐봉을 활용하여, 다짐횟수를 달리하면서 시험체를 제작하였음. 분사식으로는 에어콤프레샤에 중량식 분사건을 사용하고, 압축공기의 압력을 달리하여 압력에 의한 시험체를 제작함. 시험체의 양생은 습도 60% 조건의 항온·항습실에서 일정기간 양생을 실시함.
- 녹생토의 혼합은 [그림 3.41]에 나타난 바와 같이 모르타르 믹서를 사용하여 부엽토, 첨가제, 물을 투입하고 3분간 믹싱한 후 마샬용 몰드에 시료를 투입하고 다짐을 실시하여 공시체를 제작하여 경도 및 압축강도를 측정하였음.



(a) 재료 개량



(b) 혼합



(c) 몰드



(d) 다짐방식



(e) 분사방식



(f) 채움



(g) 탈형 전

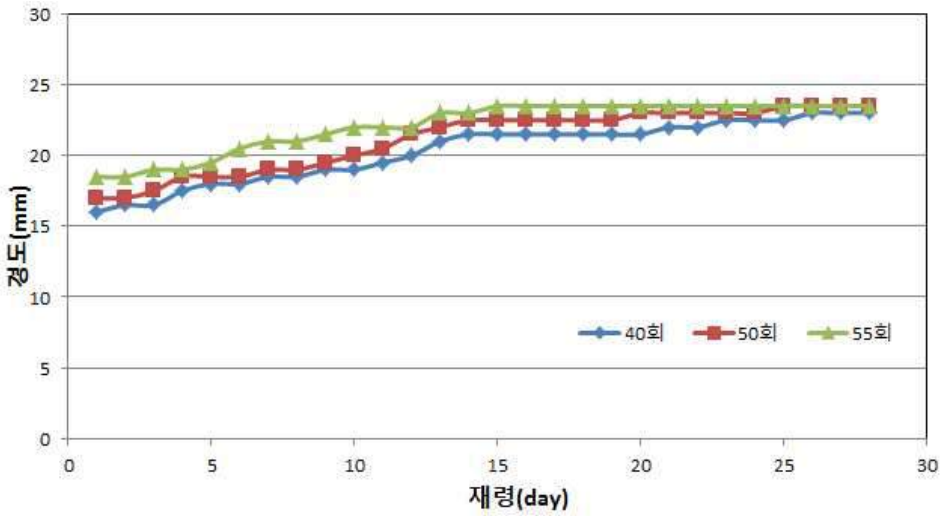


(h) 탈형 후

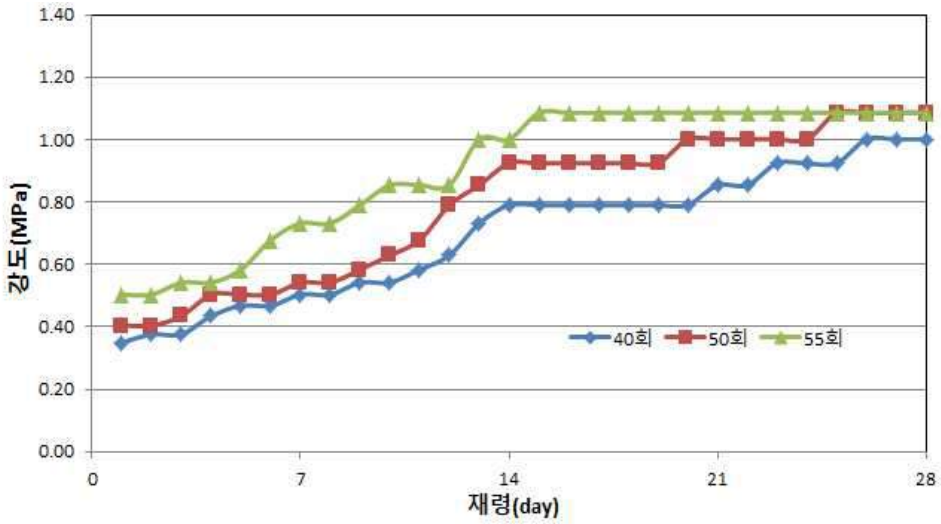
[그림 3.41] 시험체 제작 과정

○ 실험결과

- [그림 3.42]와 [그림 3.43]은 시험체 제작방법에 따른 경도 및 강도 시험결과를 나타낸 것임.
- 충격 다짐방법에 따른 결과를 분석해보면, 다짐횟수 및 재령의 증가에 따라 경도가 증가되는 경향을 나타내었음. 도로비탈면 녹화공사 설계 및 시공지침에서 제시하는 식물의 근계성장에 적당한 토양경도인 18~23㎜ 범위에 적합한 다짐방법은 보통의 재령 14일을 기준으로 하였을 때, 본 연구의 범위에서는 40~50회 다짐이 적절할 것으로 판단됨. 55회 이상 다짐시 경도 범위를 벗어나는 것으로 확인됨.
- 경도 값에 대한 강도 환산 값으로 확인하였을 때, 실측된 강도 값과 유사한 경향을 나타내어 실험은 적절한 것으로 판단됨.
- 분사 압력에 따른 결과 역시 다짐방법과 유사한 경향을 나타냄. 공기압축기의 압력을 기준으로 0.5, 1.0, 2.0bar의 압력으로 분사한 결과, 14일 재령으로 최소 1.0bar 이상의 압력을 가했을 때, 기준범위의 경도값을 측정할 수 있었음. 0.5bar의 압력으로 분사했을 경우, 초기재령에서는 경도 측정이 불가하였으며, 2.0bar 의 압력에서는 재령이 증가함에 따라 경도가 기준을 초과하는 것으로 나타났음.
- 압력분사 방식의 경우, 경도를 강도로 환산했을 때, 실제 강도가 약간 낮은 결과를 나타내었음.

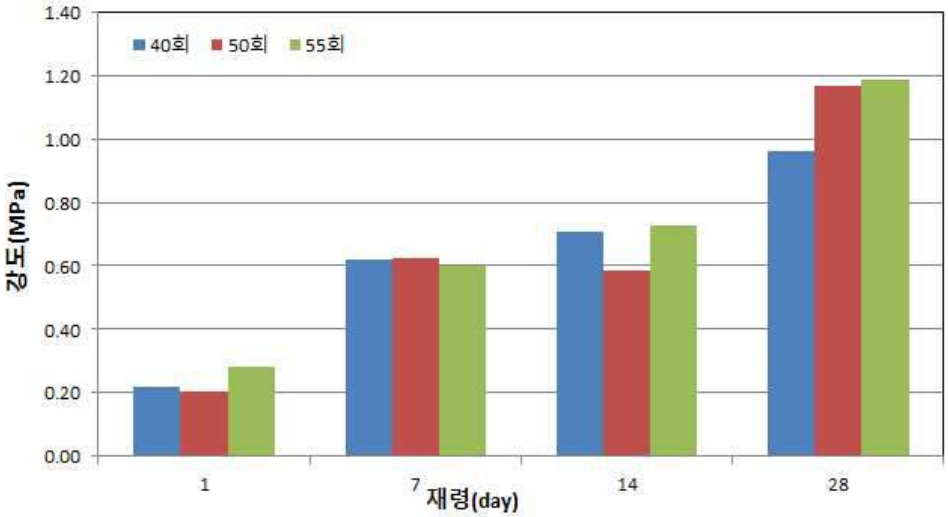


(a) 산중식 경도 측정값



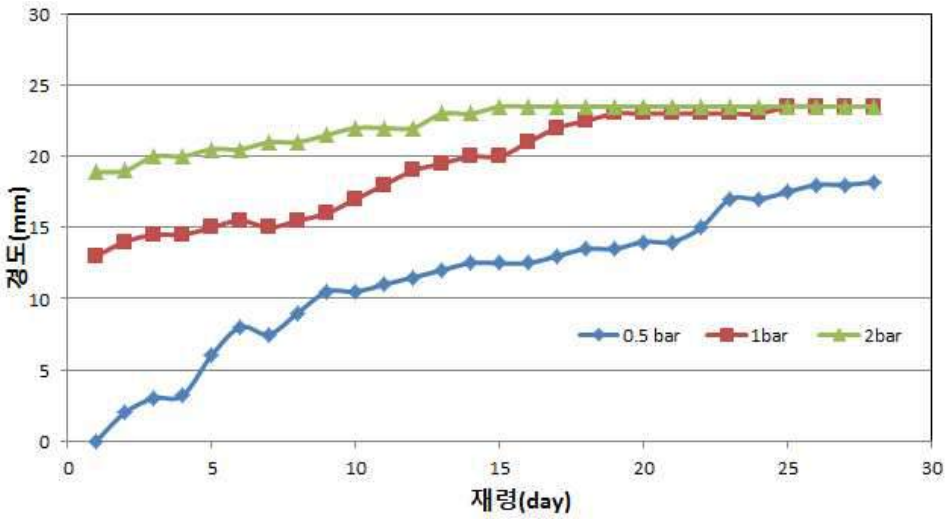
(b) 경도값에 따른 강도 환산값

[그림 3.42] 충격다짐 방법에 의한 시험결과 (계속)

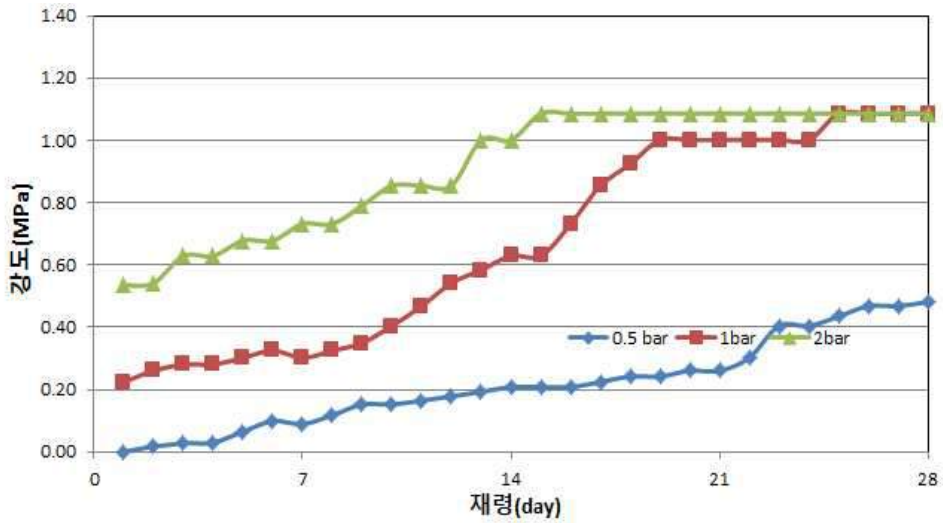


(c) 압축강도 측정값

[그림 3.42] 충격다짐 방법에 의한 시험결과

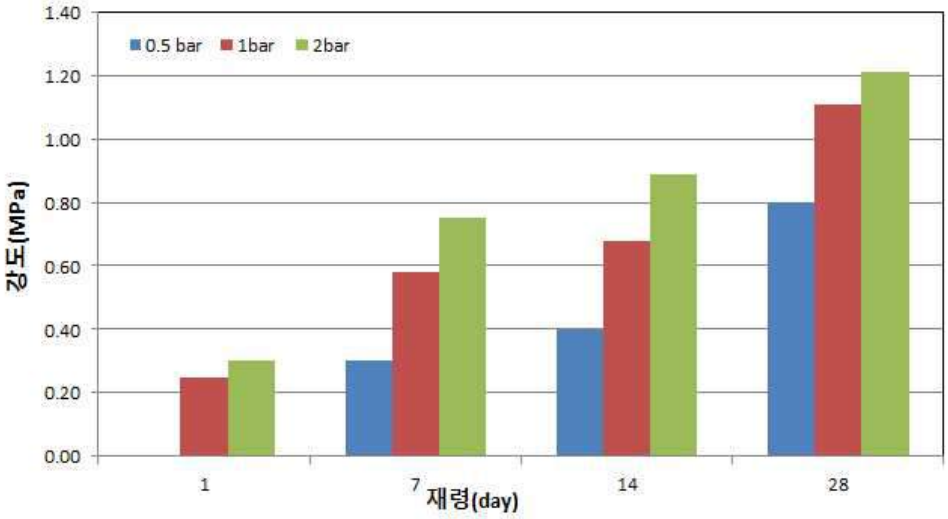


(a) 산중식 경도 측정값



(b) 경도값에 따른 강도 환산값

[그림 3.43] 압력분사 방법에 의한 시험결과 (계속)



(c) 압축강도 측정값

[그림 3.43] 압력분사 방법에 의한 시험결과

(2) 친환경 ECG 녹생토의 화학적 성능

(가) 화학적 성능 기준 및 평가항목

- 토양, 식생기반재 등 녹화 재료에 대해서는 토양시험기준에서 제시하는 화학적 성능기준을 만족하여야 함. 비탈면녹화용 식생기반재의 경우 화학적 특성 항목기준은 다음의 <표 3.48>과 같음.
- 본 연구에서는 화학적 특성 평가기준 중에서, 토양산도, 전기전도도 및 함수율을 측정하여, 개발된 친환경 ECG 녹생토의 적적성을 평가하였음.
- 기초물성 실험에서는 개발 녹생토의 화학적 특성을 파악하기 위해 자체 실험을 수행하였으며, 아래의 화학적 성능 시험은 No.1~No.5의 배합 조건의 결합재, 성능향상제(첨가제)를 공인시험인증기관에 의뢰하여 화학적 성능의 만족여부를 검토한 결과임.

(나) 시험 방법 및 변수

○ 토양 산도

- 토양에는 많은 물질이 있으며 이들 물질은 직간접적으로 수소 이온을 해리하고 있으며 토양용액에 해리된 수소 이온의 활동도는 몰 농도로 나타내면 매우 적은 수이므로 -log 변환인 p 변환을 하여 농도를 측정함. pH는 용액에 해리된 수소 이온 활동도의 역수의 대수임. 토양의 pH는 직접 측정하는 것이 좋으나, 여러 가지 불편한 점이 많기 때문에 말린 토양을 실험실에서 분석하는 것을 표준으로 함. 이때 토양에 대한 물의 비율이 많아질수록 pH는 높아지는 경향이며 일반적으로 물과 토양의 비율은 1:5를 사용하여 토양 산도 측정함.

<표 3.48> 비탈면녹화용 식생기반재의 화학적 특성 평가항목과 기준

평가항목		평가기준
항 목	단 위	
토양산도	-	6.0~8.0
전기전도도(EC)	dS/m	1.0 미만
염기치환용량(CEC)	Cmol/kg	6 이상
전질소량(T-N)	%	0.06 이상
염분농도	%	0.5 미만
유기물함량	%	3.0 이상

- pH 측정은 일종의 전위차 측정이며 pH meter는 정확하게 고안된 voltmeter의 일종이며 pH 측정장치에 있어서 특수한 부분은 voltmeter 부분이 아니고 수소 이온 농도 차이를 기전력(electromotive forces) 차이로 감지하는 전극 기능을 갖는 부분임.
- 이 실험에서는 [토양오염공정시험기준 : 2015]에서 명시한 시험방법에 따라 녹생토 시료의 산도를 측정함과 동시에 공인시험기관(한국화학융합시험연구원)에 의뢰하여 ECG 녹생토 시료의 산도를 측정하였음.

○ 토양 전도도

- 토양 용액에 염류가 많으면 많을수록 전기가 잘 통하는 것으로 보고됨. 전기전도도는 전기를 잘 통하는 정도인 전기비전도도를 사용하여 토양의 염류집적 정도를 판단하는 방법이며, EC meter는 두 전극 사이의 전류의 흐름을 저항으로 측정한 후 전기전도도로 환산하는 기기임. 백금과 같은 비활성 전극판 2장을 평행하게 넣고 전극 사이에 전압 E(V)를 걸때 흐른 전류의 세기 I(A)는 용액의 저항 R(Ω)에 반비례하며 이때 전극의 실효면적을 A, 전극사이에 거리를 l로 나타내면 저항은 다음 식(2)를 이용하여 계산할 수 있음.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$ (여기서, ρ 는 비례상수로서 비저항이라고 함.) …… 식(2)

- 전기비전도도의 의미는 전극간의 거리와 면적이 고려된 전기전도도이며, 일반적으로 토양에서 전기전도도라 부르는 값은 정확하게 하면 전기비전도도를 말하며 전기비전도도는 전기가 흐르는 면의 접촉면적, 측정하는 전극간의 거리, 온도 등에 따라서도 달라짐.
- 전기가 흐르는 면의 면적과 두 전극의 거리를 일정하게 해서 측정한 값을 쓰게 되는데 접촉면의 면적을 1 cm^2, 두 전극간의 거리를 1cm로 해서 측정한 전기비전도도(Specific conductance)와 같은 값이 나오도록 측정된 저항값을 환산하여 μS cm^{-1}, mS cm^{-1} 단위로 나타냄.
- 전기비전도도의 단위는 일정한 거리(m)에 대한 전기가 흐르는 정도(S)를 국제기준인 dS m-1으로 사용하며 용액의 전기는 온도가 높을수록 잘 흐르므로 표준온도(25℃)의 전기전도도로 환산해야 함. 최근 사용되는 기기들은 자동으로 온도가 보정된 측정값을 나타내고 있으나 표준액의 온도와 시료액의 온도를 가급적 실온으로 같게 하여 보정하고 측정함.
- 본 실험에서는 시험조건에 따라 ECG 녹생토를 제조한 후 한국화학융합시험연구원에 의뢰하여 [KS I ISO 11265 : 2005]에 따라 비전도도를 측정하였음.

○ 토양 함수율

- 친환경 녹생토의 수분공급 및 사면부착을 위한 점착력 확보를 위해 토양의 함수율은 중요한 평가 기준임. 본 연구에서는 제조된 시편의 재령에 따른 함수상태를 측정하여 ECG 녹생토의 화학적 기능성을 평가하였음. 함수율 측정은 다음 식(3)에 의해 계산함.

$$\text{함수율} = \frac{\text{자연상태 시료무게} - \text{건조후 시료무게}}{\text{건조후 시료무게}} \times 100$$ …… 식(3)

○ 시험 방법 및 변수

- 아래의 <표 3.49>와 같이 기초물성 실험과 동일한 녹생토 배합설계를 적용하였으며, 토양 산도 및 전도도 측정 전경을 [그림 3.44]과 같으며 함수율 시험은 [그림 3.45]에 나타내었음.

<표 3.49> ECG 녹생토의 배합 구성표 (단위: %)

구 분	No.1	No.2	No3	No.4	No.5
결합재(1)	51			48	48
결합재(2)		51			
결합재(3)			46		
경화재	33	33	35	33	33
분말증점재	5	5	5	5	5
고흡수성폴리머(1)					1
고흡수성폴리머(2)	1	1	1	1	
친환경보습제	10	10	10	10	10
pH조절제			3	3	3
합계	100	100	100	100	100



건조로



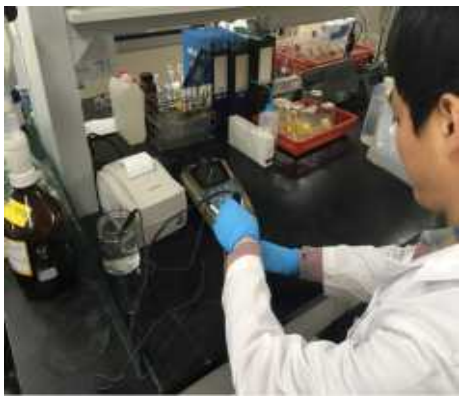
건조 전

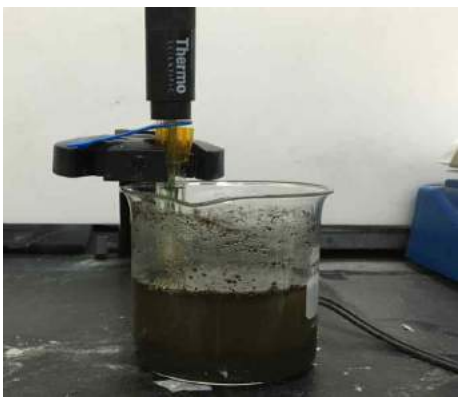


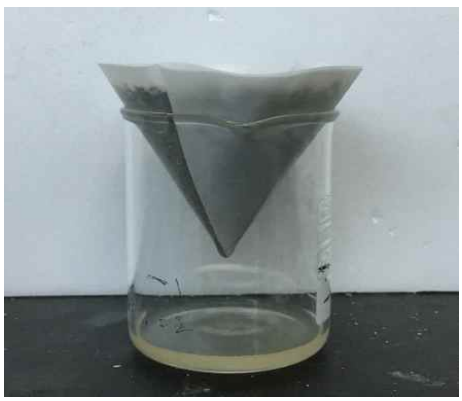
건조 후

[그림 3.44] 토양 함수율 실험













[그림 3.45] 토양 산도 및 전도도 측정

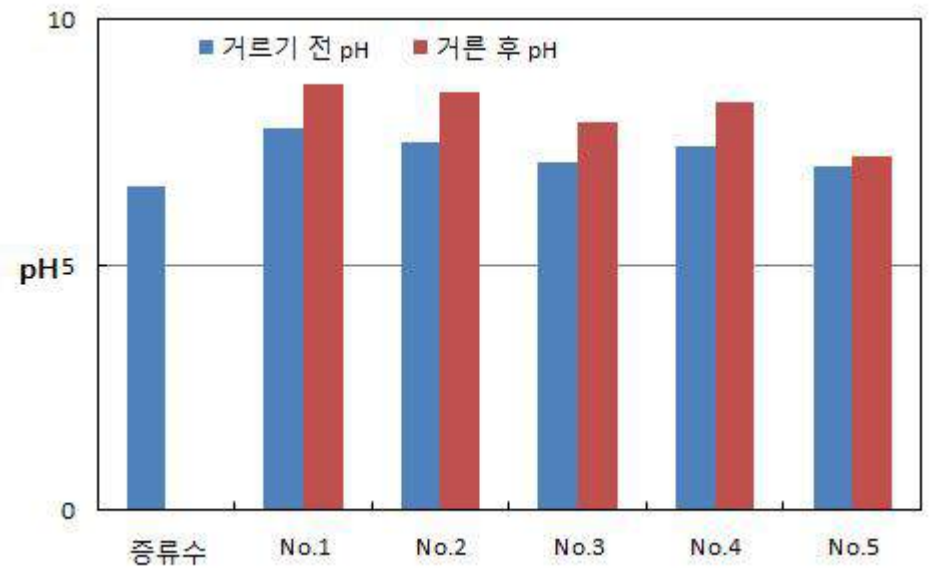
(다) 시험 결과

○ 토양 산도 결과 (자체실험)

- 일반적으로 토양의 산성 또는 알칼리성의 정도를 pH로 표시하는데 pH 조건에 따라 토양 중의 식물뿌리, 미생물의 생리상태가 변화함. 비탈면녹화용 식생기반재의 화학적 특성 평가항목과 기준을 살펴보면, 녹화용 식생기반재인 인공토양의 토양산도는 6.0~8.0을 기준으로 하고 있음.
- 각 배합 조건별 토양 산도 측정 결과를 다음의 <표 3.50>과 [그림 3.46]에 나타내었음. 거름종이에 거르기 전의 토양 산도는 모든 배합 조건에서 기준치 6.0~8.0을 만족하였으나 거른 후의 토양 산도 측정 결과에서는 No.1과 No.2 이 다소 pH 값이 높게 측정됨. 또한, 거르기 전 시료의 산도는 증류수와 비교하여 약 0.4~1.2 정도 높은 값을 나타내었으며 거른 후의 산도는 약 0.6~2.1정도 높은 값을 나타냄
- pH조절제를 사용한 배합에서 낮은 알칼리성을 내었으며, 결합재 종류변경 시 산도영향이 가장 큰 것으로 판단됨.

<표 3.50> 배합조건별 ECG 녹생토의 산도 측정값 (자체실험)

구분		pH	
		거르기 전	거른 후
증류수		6.6	
녹생토	No.1	7.8	8.7
	No.2	7.5	8.5
	No.3	7.1	7.9
	No.4	7.4	8.3
	No.5	7.0	7.2



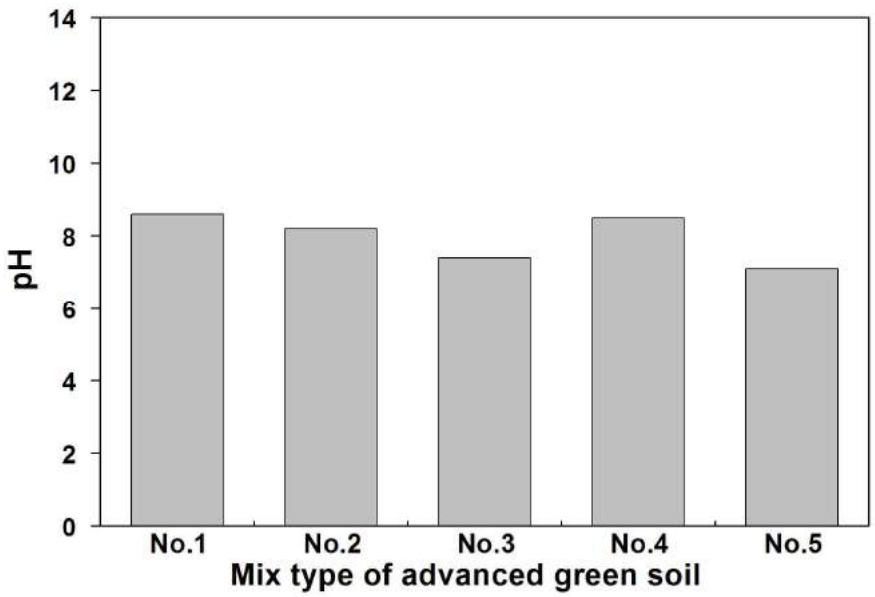
[그림 3.46] 배합조건별 ECG 녹생토 토양산도 측정 그래프

○ 토양 산도 결과 (공인시험기관 의뢰 측정 결과)

- 동일한 ECG 녹생토 배합조건으로 공인시험기관(화학융합시험연구원)에 의뢰하여 측정한 토양 산도 결과를 다음 <표 3.51> 과 [그림 3.47]에 나타내었음.
- 토양의 산도는 증류수와 비교하여 약 0.8~2.0 정도 높은 값을 나타내어 중성에서 약알칼리성의 성질을 나타내는 것을 확인하였으며 자체적으로 실험한 결과와 유사한 경향을 나타내었음.

<표 3.50> 배합조건별 ECG 녹생토의 산도 측정값 (공인시험기관 의뢰)

구분		pH
ECG 녹생토	No.1	8.6
	No.2	8.2
	No.3	7.4
	No.4	8.5
	No.5	7.1



[그림 3.46] 배합조건별 ECG 녹생토 토양산도 측정 그래프 (공인시험기관)

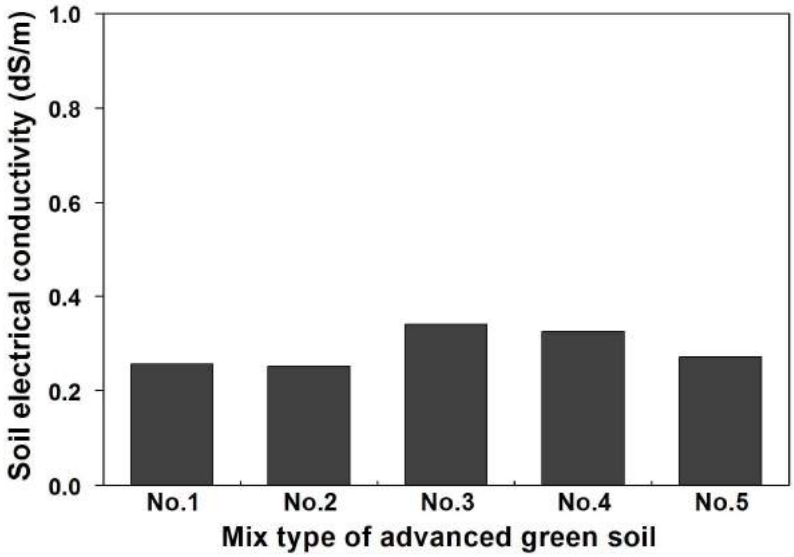
- [그림 3.46]은 시멘트 기반 재료를 혼합한 녹생토의 산도를 측정한 결과임. 결과를 살펴보면, No.1, No.2, No.4 배합의 녹생토는 pH 8을 상회하는 것으로 나타남. 이는 녹생토의 부착력을 강화하기 위해 혼합한 결합재의 종류가 시멘트 계열로써 알칼리성을 보이기 때문인 것으로 판단됨.
- 반면, 반수석고를 사용한 No.3 배합과 마이크로 시멘트를 혼합한 No.5 배합은 상대적으로 낮은 pH 결과를 나타냈으며, 적정 범위인 pH 6에서 8사이의 수치를 보임. 이러한 결과는 알칼리성을 저감하기 위해 사용한 pH 조절제의 영향으로 판단할 수 있음.
- 또한, 알칼리토양은 농경지토양으로서 가장 불량한 토양 중의 하나로 석고(황산칼슘)를 이용하여 개량하는데, 황산칼슘은 토양의 교환성 칼슘을 높이고 ESP(exchangeable sodium percentage)를 낮추어 토양의 화학성을 개량할 수 있음.
- 따라서 pH 저감제로 알칼리성의 시멘트 영향을 조절할 수는 있으나, 반수석고를 결합재로 사용하는 것이 추가적인 개량 효과를 얻는데 유리할 것으로 사료됨.

○ 토양 전도도 측정 결과

- 토양용액 중에 용존되어 있는 양분은 대부분 이온(ion) 형태이며, 이 중 Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, NO^{3-}, HCO_3^{-}, CO_3 등의 염류는 식물의 생육에 영향을 미치게 됨. 즉, 토양의 염류 축적으로 인해 삼투압이 증가되고 물의 흡수와 양분의 흡수를 방해하게 되어, 생육장해를 일으킴
- 또한 이러한 수용액의 이온은 전기의 흐름을 원활하게 하기 때문에 토양 내부에 물과 함께 녹아 있는 이온 상태의 염류가 많을수록 전기전도도는 높아지게 되며, 비탈면녹화용 식생기반재의 화학적 특성 평가 기준에는 전기전도도(EC)값을 1.0dS/m 이하로 제시하고 있음.
- <표 3.51>과 [그림 3.47]은 각 배합에서의 전기전도도 값을 나타낸 것임. 토양전도도 측정 결과 결합재 종류와 첨가제에 상관없이 모든 배합 조건에서 1.0dS/m 이하의 전기전도도 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었음.

<표 3.51> ECG 녹생토 종류별 비전도도

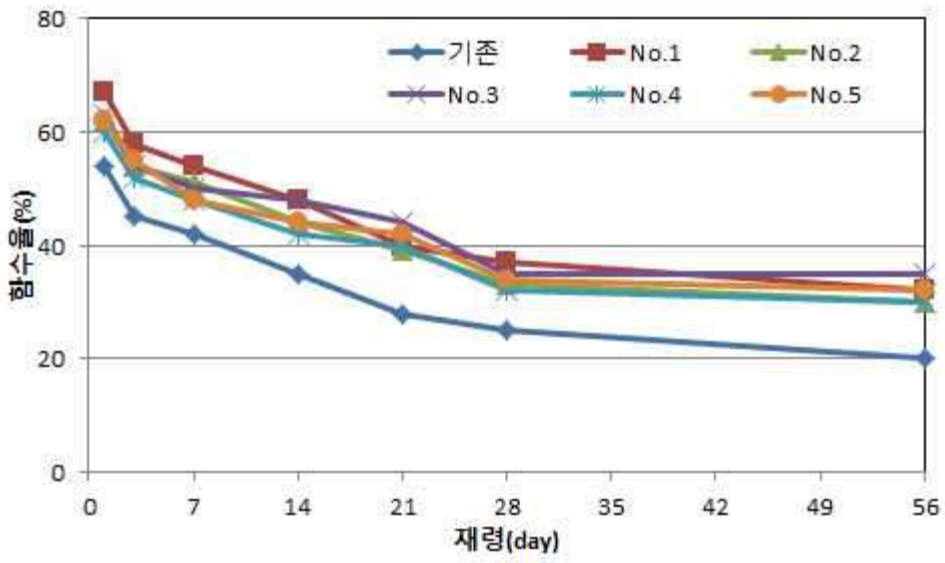
구 분		비전도도 (dS/m)
ECG 녹생토	No.1	0.257
	No.2	0.252
	No.3	0.340
	No.4	0.325
	No.5	0.271



[그림 3.47] ECG 녹생토 종류별 비전도도 그래프

○ 토양 함수율

- 토양수분은 수분포텐셜 및 존재하는 상태에 따라 중력수, 모세관수, 흡습수, 결합수로 나눌 수 있으며, 이중 흡습수는 건조한 토양을 공기 중에 두면 공기 중의 습도와 평형을 이룰 때까지 수분을 흡수하게 됨. 즉, 흡수된 수분은 토양입자 주변에 몇 개의 물분자층으로 흡착되어 존재하며 이를 흡습수라고 함.
- 일반적으로 토양수분함량(soil water content)은 토양을 105에서 항량으로 될 때까지 건조시킬 때 손실되는 수분으로서 건조토양의 단위 무게당 수분의 무게(중량수분함량) 또는 토양 단위용적당 수분의 용적(용적수분함량)으로 표시할 수 있음.
- [그림 3.48]에는 기존의 일반 녹생토와 본 연구를 통해 개발한 친환경 ECG 녹생토 재령 경과에 따른 함수율 변화를 나타낸 것임.



[그림 3.48] ECG 녹생토 종류별 함수율 변화

- 재령 증가에 따라 함수율은 저하되는 것으로 나타났으며, 재령 28일 이후에는 감소경향이 둔화되는 것으로 나타났음. 기존의 일반 녹생토 재료에 대한 평가 결과 가장 낮은 함수율을 나타냈으며 재령 28일 이후에는 함수율 30%이하로 저하되는 것으로 나타남.
- 본 연구에서 개발한 친환경 ECG 녹생토의 경우, 첨가제로 친환경 보습제가 혼합되어 재령 증가에도 본 연구에서 목표로 하는 함수율 30%이상을 만족하는 것으로 측정되었음.

나. 친환경 녹생토의 시공성 및 내구성 평가

(1) 친환경 ECG 녹생토의 부착성능

(가) 실험계획

- 본 연구에서는 개발된 친환경 녹생토의 사면(암반 등) 부착성능을 평가하기 위하여 현장조건 모사 시험을 진행하였음.
- 콘크리트와 달리 녹생토의 경우 부착성능 평가가 불가하기 때문에, 리바운드량 및 부착 후 경도 측정으로 부착성능을 가늠하였음.
- 시험배합은 녹생토 배합조건에, 첨가제로는 최적배합으로 선정된 No.3 배합을 적용하였으며, 부착성능에 가장 영향을 크게 미치는 배합수를 조정하여 최적 배합도출 시험을 진행함.
- 시험체 제작은 공기압축기를 사용하여 1bar의 압력을 일정하게 분사 할 수 있는 중력식 모르타르건을 사용하였으며, 약 50cm 거리에서 콘크리트 벽면에 분사하여 부착성능을 평가함.
- 사면(암반)의 경사도는 [그림 3.49]와 같이 45°, 60°, 90° 조건으로 변화시켜 평가하였음.

(나) 사전 실험 진행 및 결과

- 친환경 녹생토 기본 배합을 기준으로 혼합수의 비율을 10~30%로 변화시켜 부착 성능을 검증함.
- 부착판의 경사도는 45°를 유지하고, 부착 및 리바운드량을 관찰하였음.
- 혼합수 비율에 따른 시험결과는 <표 3.52> 및 <표 3.53>에 제시함.



[그림 3.49] 부착 실험 전경

<표 3.52> 부착성능 예비실험(1차) 결과

배합 순서	혼합수 비율	부착성능 육안관찰 결과	비고
No.a	10%	부착 안 됨. 리바운드량 많음	
No.b	15%	부착 안 됨. 리바운드량 많음	
No.c	20%	부착은 되나 부착 정도가 약함	
No.d	30%	녹생토 자체의 함수량이 많아져 뭉침현상발생. 분사불가	
No.e	25%	녹생토 자체의 함수량이 많아져 뭉침현상발생. 분사불가	
No.f	21%	부착은 되나 걸치는 느낌이 있음	
No.g	22%	부착 정도 양호하며 떨어지는 부분도 적음	V

<표 3.53> 부착성능 예비실험(2차) 결과

배합순서	혼합수 비율	부착성능 육안관찰 결과	비고
No.가	22%	▪ 부착은 되나, 바운딩 되는 량이 많음. ▪ 초기 부착성이 부족하나 부착이 되면 재료들 간의 부착은 잘 이루어짐. ▪ 부착이 되고 나서 탈락되는 부분은 없음.	▪ 분사성 양호 ▪ 부착성 부족
No.나	23%	▪ 바운딩 되는 경우가 있었지만 No.가보다 부착율은 더 양호함. ▪ 부착 되고 탈락되는 것은 없었음.	▪ 분사성 양호 ▪ 부착성 양호 ▪ [그림 3.50]
No.다	24%	▪ 실험용 분사기로 분사가 원활하지 않음. ▪ 재료 혼합하였을 때 뭉침이 심함. ▪ 분사가 되는 경우에도 분사구에서 막히는 현상이 많음. ▪ 분사가 되면 부착성능은 No.2보다 우수할 것으로 예상됨.	▪ 분사성 불량 ▪ 부착성 매우 우수



[그림 3.50] “NO.나” 부착시험 결과 (경사45°, 압력 1bar, 두께 40㎜ 이상)

(다) 친환경 ECG 녹생토 부착성능 평가

- 사전실험에서 도출된 수정배합을 토대로 사면조건에 따른 부착성능 평가를 실시함.
- 콘크리트와 달리 친환경 ECG 녹생토는 완전히 결합되는 하나의 재료가 아니기 때문에, 직접적인 부착성능평가가 불가하여, 분사 시 리바운드량 정도로 재료 손실과 재령에 따른 경도를 평가하여 부착성능을 가늠하였음.
- 시험조건은 다음의 <표 3.54>와 같음.

<표 3.54> ECG 녹생토 부착실험 조건

구분	조건	
배합조건	혼합수량: 23%, 첨가제: No.3	
시험체 제작	부착면 경사	45°, 60°, 90°
	부착두께	500mm (高점)
측정값	리바운드율	분사시점 측정
	경도	1일, 7일, 14일, 28일



(a) 경사각 45°



(b) 경사각 60°



(c) 경사각 70°

[그림 3.51] 사면 경사도 조건별 친환경 ECG 녹생토 분사 전경

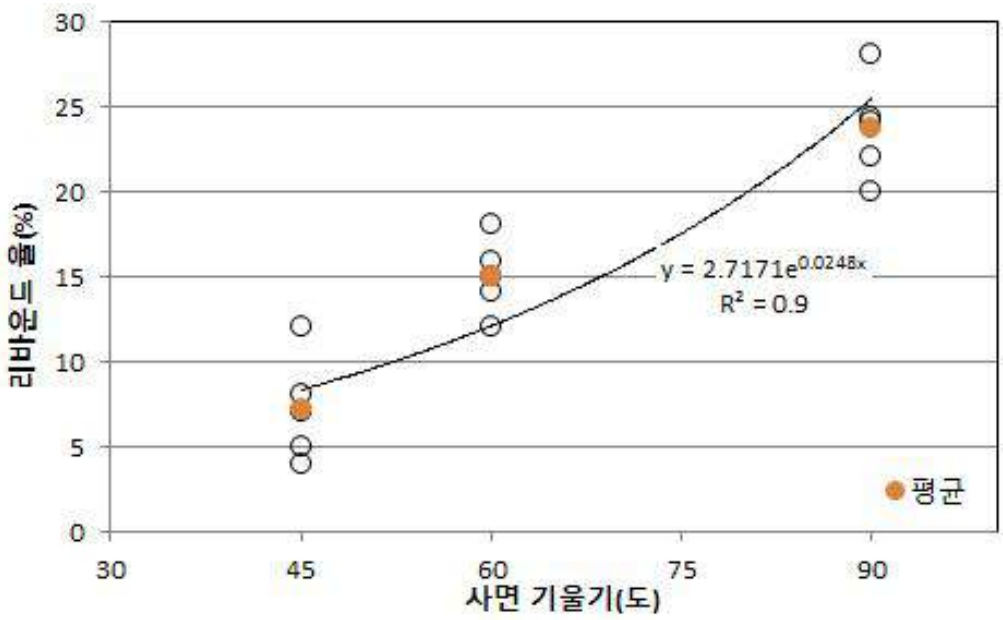
(라) 실험 결과

○ 리바운드율

- 친환경 ECG 녹생토의 수정배합으로 진행한 사면부착 실험전경을 [그림 3.52]에 나타내었음.
- ECG 녹생토의 부착정도를 평가하기 위해, 동일량, 동일압력으로 사면기울기에 따라 분사한 경우의 리바운드량을 측정한 결과는 [그림 3.53]과 같음.
- 사면의 경사도가 커질수록 리바운드량이 증가하는 경향을 나타냈으나, 수직경사인 90° 에서도 평균 리바운드량이 23.7%정도로 75%이상 부착이 가능한 것으로 나타나 부착성능은 우수한 것으로 판단됨.



[그림 3.52] 사면 경사도 조건별 리바운드량 실험 전경



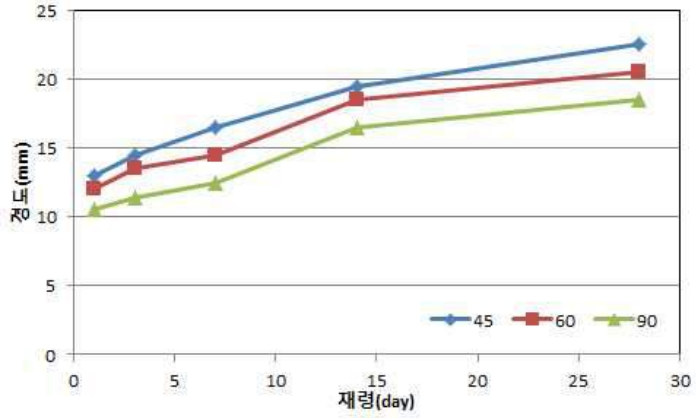
[그림 3.53] 친환경 ECG 녹생토의 경사도 조건별 리바운드량

○ 재령별 경도

- 친환경 ECG 녹생토의 경사도 조건별 부착 시험 뒤 재령에 따른 경도 변화를 측정한 결과는 [그림 3.55]와 같음.
- 사면 기울기 45° 및 60° 에서는 재령 14일 이후, 식생기반재의 경도 조건인 18~23㎜를 만족하는 것으로 나타남.
- 사면 기울기 90° 에서도 재령 28일 이후에 경도 조건을 만족하는 것으로 확인됨.
- 따라서 급경사지나 경사도가 높은 사면에 시공 후 일정 시간이 경과한 후에도 적정한 경도를 확보하는 것으로 판단됨.



[그림 3.54] 경도측정 전경



[그림 3.55] 재령 및 경사도 조건별 ECG 녹생토 경도 변화

(2) 친환경 ECG 녹생토의 유동성 평가

○ 실험 목적

- 식생기반재 뿜어붙이기 공법으로 ECG 녹생토를 운반, 사면에 부착하기 위해서는 콤프레샤를 이용하여 재료를 운반하고 사면에 분사하여 뿜어붙이기함. 특히, 강한 공기압을 가하여 암반사면 사이에 매우 작은 틈새에 시공되어야 하고 암반사면과 확실하게 밀착하여 추후 식생 발아 시 충분한 양분을 공급할 수 있어야 함.
- 뿜어붙이기 공법은 녹화공법 중 사용되는 일반 기계에 비해 작은 타설펌프를 사용할 수 있는 점과 물-결합재의 비율에 크게 영향을 받지 않는 장점이 있으나, 뿜어붙이기 방법에 의해 도포되는 녹생토의 품질이 작업원의 능력과 숙련도에 의해 영향을 받는 점과 특히 시공 환경이 열악하고 타설 시 토출압에 의한 리바운드 때문에 한 번에 두껍게 시공이 어려운 단점이 있음.
- 따라서 본 연구개발에서는 ECG 녹생토의 현장 적용을 위하여 타설펌프를 이용하여 개발 녹생토의 유동성을 점검하였음.

○ 실험 방법 및 결과

- 타설펌프를 이용하여 시공되는 녹생토는 순간적인 공기압에 의해 일정수준 이상의 부착력을 확보해야 하므로 타설펌프의 토출속도에 영향을 받음.
- 본 개발에서는 순간적인 부착력 증진을 도모하기 위하여 사용수량을 부엽토 질량의 50%~100% 까지 10%씩 증가시켜 타설펌프를 이용하여 시공성능 평가를 진행하여 그 결과를 <표 3.54>에 나타냄.
- 실험결과를 살펴보면, 부엽토의 함수율이 50%의 경우에는 타설펌프의 토출속도에 관계 없이 부엽토가 토출되지 않는 것으로 나타나, 부엽토의 함수율이 50%인 경우에는 시공이 불가능한 것으로 판단됨. 또한, 함수율이 증가함에 따라 부엽토가 토출되기 시작하는 토출속도가 낮아도 토출이 가능한 것으로 나타나, 시공성 향상을 위해서는 함수율 증진이 수반되어야 할 것으로 판단됨.
- 한편, 함수율이 증가함에도 불구하고 토출속도가 낮은 경우에는 부엽토가 아닌 혼합수만 토출되는 것으로 나타나, 함수율을 무한대로 증가시킬 수 없는 경우에는 토출속도를 증가시켜 개발 녹생토를 타설하는 것이 적절한 것으로 판단됨.





[그림 3.56] ECG 녹생토의 유동성 실험 전경

<표 3.54> 타설펌프의 시공성능

구분	토출속도(RPM)					
함수율(%)	30	36	42	48	54	60
50	토출불가	토출불가	토출불가	토출불가	토출불가	토출불가
60	토출불가	혼합수 토출	혼합수 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출
70	혼합수 토출	혼합수 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출
80	혼합수 토출	혼합수 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출
90	혼합수 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출
100	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출	부엽토 토출

(3) 친환경 ECG 녹생토의 내구성 평가

(가) 강우환경 모사실험

1) 실험 개요

- 최근 국내에서는 이상기후에 의한 여름철 장마, 태풍 등 집중호우 발생이 빈번해지면서 이에 따른 자연재해의 발생빈도가 증가하고 있으며, 특히 지난 2006년 집중호우 기간에 전국적으로 토사유실, 사면에 타설된 녹화토의 부착성능 저하로 인한 인명과 재산상의 피해를 발생시킴.
- 우기에 발생하는 녹화토의 부착성능 저하는 대부분 강우의 침투로 인해 발생하며, 사면의 얕은 깊이, 즉 토사구간에서 발생하는 경향이 있으며, 이는 사면 내 지하수위면 위에 존재하는 모관흡수력이 강우가 침투함에 따라 증가하는 (-)간극수압에 의해 감소하여 흙의 전단강도 저하를 야기함.
- 현재 국내의 사면 설계는 통상적으로 강우 발생 시, 지하수위를 사면의 만수위 조건으로 가정한 안정해석을 통해 이루어지고 있으나, 실제 강우에 의한 사면붕괴를 모사하지 못하거나 설계결과에 따른 과다보강으로 인한 시공비 낭비가 불가피한 현실임.
- 따라서 본 연구에서는 강우환경모사를 통하여 개발 녹생토의 사면 부착성능 검토를 수행하였음.

2) 강우환경 모사 설정

○ 강우량 관측소 선정

- 강우분석에 필요한 강우량 관측소는 위치, 관측년 수 등을 종합적으로 고려하여 선정하여야 하지만, 본 연구개발에서는 공동연구기관 근처에 위치하면서 강우량 관측 자료를 보유하고 있는 기상청 관할의 강릉 관측소를 선정하였음. 산악지형이 많아 사면안정 시공 등 녹생토 시공이 빈번할 것으로 예상되는 강원도 영동 지역의 지리적 이점을 고려하여 강릉 관측소의 강우량 자료를 기준으로 강우환경 모사실험을 수행하였음.

○ 강우량 자료의 수집 및 적용

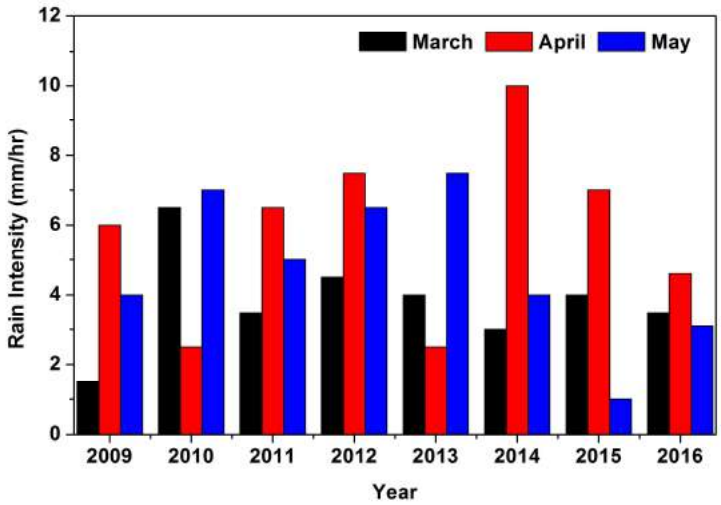
- 강우량 산정에는 일반적으로 최소 관측년 수 30년 이상을 권장하고 있지만, 본 연구에서는 2009년 신설된 강원지방기상청 강릉 관측소의 2009~2016년 자료를 이용하여 실험을 진행하였음.
- 과거에는 설계 강우의 지속기간을 대표 지속기간 하나로 결정하였으며, 이로 인해 수집 대상 강우량자료가 아주 간단하였지만, 최근에는 임계지속기간(Critical duration)의 개념이 도입되면서 최대한 많은 지속기간의 강우량 자료를 수집하여야 함.

<표 3.55> 강우량 관측소 개요

관측소	관측종별	위치			해발고 (EL. m)	관측개시	관 할 관서명
		지명	경도	위도			
북강릉	AWS	강릉시 사천면 방동리	128°51'19''	37°48'16''	78.9	2008.7	기상청

* AWS : Automatic Weather System, 자동기상관측

- 강우모사 실험에 필요한 강우량 자료는 1시간이나 1일 등의 고정시간 강수량이 아니라, 임의시간에 대한 강우량 자료이며, 자기기록에서 임의시간 강우량 자료를 직접 수집해야 하는 단점이 있음. 따라서 이의 대안으로 시간당 강우량 (강우강도) 자료를 이용하여 강우모사 실험을 실시함.
- 또한, 일반적으로 사면안정 식생용 숏크리트의 타설이 식생발아 시점인 3~5월에 집중되어 실시되므로, 본 연구개발에서는 [그림 3.57]에 나타낸 바와 같이 2009~2016년까지 각각 3~5월에 관측된 강우강도 값을 토대로 강우환경 모사실험을 위한 강우강도를 설정하였음.
- 측정된 강우강도 자료를 살펴보면, 대체적으로 3월, 5월에 비하여 4월의 시간당 강우량이 높은 것으로 나타났으며, 특히 2014년 4월에는 최대 10㎜/hr의 강우량이 발생한 것으로 나타남.
- 따라서 본 연구개발에서는 10㎜/hr 의 강우강도를 적용하여 강우환경 모사실험을 수행하였음.



[그림 3.57] 연도별 강우강도 (3,4,5월)

3) 실험 방법 및 변수

○ 배합조건 및 실험변수

- 친환경 EOG 녹생토 기본 배합을 기준으로 부엽토 내 함수율을 55, 60, 65%로 변화시켜 실험을 수행하였음.
- 사면(암반)의 경사도에 따른 안정성을 평가하기 위하여 각도를 45°, 60°, 70° 의 조건으로 변화시켜 실험을 수행하였음.
- 시간 당 강우량(㎜/hr)을 강우 분사장치의 유량계(ℓ/min) 단위로 변환하여 실험을 수행하였음.

<표 3.56> 녹생토 배합표

구분			함수율 55%	함수율 60%	함수율 65%
퇴비	부엽토		1,600	1,600	1,600
물	물		475	617.5	760
첨가재	결합재		73.6	73.6	73.6
	경화재	1	16	16	16
		2	16	16	16
		3	24	24	24
	분말증점재		8	8	8
	고흡수성폴리머		1.6	1.6	1.6
	친환경보습제		16	16	16
	pH조절제		4.8	4.8	4.8
	소계		160	160	160
Seed	톨훼스큐		0.45	0.45	0.45
	페레니얼라이그라스		0.3	0.3	0.3
	크리핑레드훼스큐		0.25	0.25	0.25
	소계		1	1	1

○ 강우환경 모사실험 방법

- 본 연구에서는 ECG 녹생토의 사면(암반 등) 안정 성능을 평가하기 위하여 강우환경 모사실험을 수행하였음.
- ECG 녹생토를 각 배합 조건으로 타설팬에 타설을 실시함. 식생기반재의 경도 조건인 18~23㎜ 까지 양생한 후 물 분사장치를 이용하여 강우환경 모사실험을 수행하였음.



[그림 3.58] 강우환경 모사실험 전경

4) 실험 결과

- 친환경 녹생토 배합의 함수율을 수정하여 진행한 사면 안정 실험결과는 아래의 <표 3.57>과 같음.
- 강릉지역 4월 최대 강우량(10㎜/hr)을 기준으로 강우환경 모사실험을 실시한 결과, 강우의 사면 내 침투로 인한 사면 붕괴 및 손상은 나타나지 않았음.
- 식생기반재의 경도 조건인 23㎜ 까지 양생이 된 녹생토는 강우로 인한 사면(암반)의 안정성은 확보되는 것으로 판단됨.

<표 3.57> 강우환경 모사실험 결과

구분		경과시간 (hr)				
함수율(%)	각도(°)	1	2	3	4	5
55	45	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음
	60	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음
	70	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음
60	45	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음
	60	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음
	70	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음
65	45	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음
	60	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음
	70	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음	변화없음

(나) ECG 녹생토의 건조수축 및 체적변화 검증

1) 실험 목적

- 시멘트계열의 결합재는 수화반응이 진행되면서 외부환경에 노출되면 수준의 차이는 있으나 필연적으로 체적변화를 일으킴. 과도한 체적변화는 균열 발생을 유도하며 대표적인 체적변화로는 건조수축이 있음. 건조수축은 수화물에 존재하는 수분이 증발하면서 발생하는 고유 현상임.
- 일반적으로 시멘트 수화물 속에서 자유로이 이동할 수 있는 수량이 적을수록, 수화반응이 완료된 시멘트 수화물 속의 공극이 적을수록 팽창과 수축은 적게 발생하며, 시멘트 재료 특성상 수화작용에 필요한 수량보다 많은 물을 사용하기 때문에 수화반응이 완료되고 남은 물은 자유수로 존재하게되며, 시멘트수화물이 외기에 노출될 경우 증발함. 즉, 사용수량이 증가할수록 건조수축은 함께 증가함.
- 또한, 사면안정에 사용되는 개발 녹생토에 포함된 결합재가 부엽토에 존재하는 수분과 만나 수화반응을 진행함에 있어 발생할 수 있는 건조수축은 개발 녹생토의 체적변화를 야기하므로 반드시 평가해야함. 이는 단순히 결합재 사용에 의해 발생하는 수축과 동시에, 일반적인 토양 특성인 건조에 의해 발생하는 수축이 함께 발생하므로 반드시 건조수축을 검토하여 사면안정성을 확보해야함.
- 일반적으로, 토양에서 발생하는 수축은 팽창형 광물을 많이 가진 토양일수록 강한 수축을 하며, 침투압이나 극성에 의해 흡착수가 탈수되는 과정에는 수분의 감소에 따른 수축이 발생하며, 이를 정상수축이라고 함. 또한, 수분이 감소하면 다시 수분의 감소만큼 수축이 일어나는 과정을 잔류수축이라고 하며, 이는 탈수에 따라 점토나 부식의 배향이 방해되어 나타나는 것으로 알려져 있음.
- 그러나, 대부분에 토양에서 발생하는 건조수축 현상에 대한 이론적 검토는 진행된 바 있으나, 토양 자체의 건조수축 특성을 평가하는 기구 및 방법은 미흡한 상황임. 이는 토양의 구성물 자체의 입자구조에 의해 발생하는 수축과 건조에 의해 발생하는 수축을 함께 고려하기 어렵기 때문에 적절한 실험 방법의 모색이 요구되는 상황임.

2) 실험 변수 및 실험 방법

○ 배합조건 및 실험변수

- 건조수축은 개발 녹생토에 포함된 함수량에 영향을 많이 받을 것으로 예상되므로, 실험 변수로는 부엽토 자체의 함수율을 55, 60, 65%까지 3수준으로 결정하였고, 이를 타설펌프를 이용하여 시험체를 제작하였음. [그림 3.59]와 같이 100×100×400㎜ 몰드에 개발 녹생토를 타설하여 시험체를 제작하였으며, 타설 직후 충분한 수화반응을 유도하기 위해 봉함양생을 실시하였음.



[그림 3.59] 건조수축 시험체 제작 전경

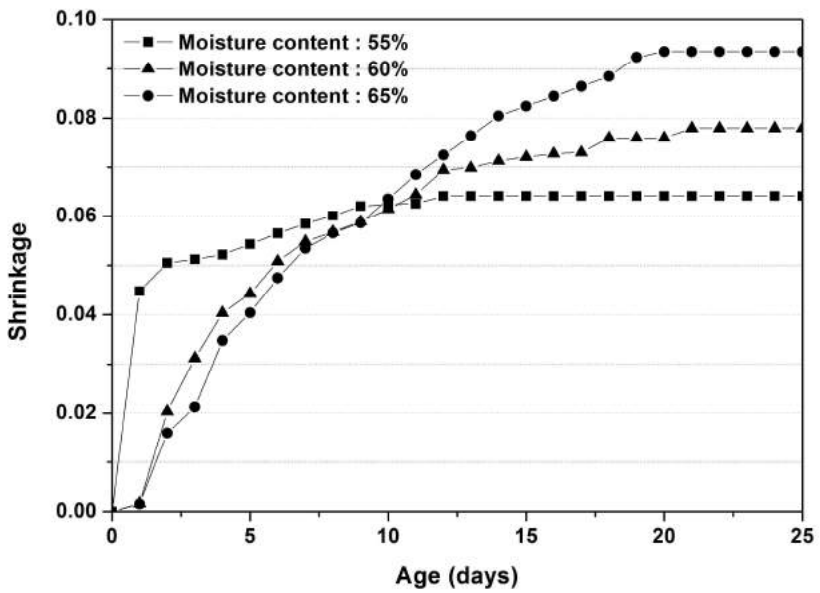
- 이후, 토양경도가 8㎜내외가 발생하여 시험체의 형상을 유지할 수 있는 시점에 시험체를 탈형한 후, 100×100×200㎜ 크기로 시험체 중앙부분을 채취하여 건조수축 측정을 진행하였음.

○ 건조수축 변화 측정 방법

- 시멘트계 수화물에서 발생하는 건조수축을 측정하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있음. 일반적으로 가장 많이 쓰이는 방법은 양단 플랜지형 매립 게이지를 타설 초기부터 매립하여 건조수축을 자동적으로 측정하는 방법임. 또 다른 건조수축 측정 방법은 표면에 두 지점에 접지 게이지를 부착한 후, 다이얼게이지를 이용하여 건조수축을 측정하는 방법임.
- 그러나 매립게이지와 접지 게이지를 통해 측정된 건조수축 측정값의 차이가 발생하며, 이는 시멘트 수화물의 수분 증발로 인해 공극수압 감소로 인해 시멘트수화물 내부의 수분이 이동하게 되면서 비선형 수분 프로파일을 구성함. 그러나 시험체의 단면은 평면을 유지하므로 표면에는 인장응력이 내부에는 압축응력이 발생하므로 건조수축량이 증가할수록 이러한 응력 발생이 증가함.
- 한편, 시멘트수화물 내부의 매립게이지는 시멘트수화물과 동일한 재료가 아니며, 겉보기 탄성계수 역시 시멘트 수화물보다 작기 때문에 응력집중에 의한 변형률 증가를 예상할 수 있으므로, 이로 인해 매립게이지와 접지게이지의 측정값의 차이가 발생하는 것으로 나타남.
- 또한, 이러한 시멘트 수화물 내외부의 변형률 차이는 시간이 흐름에 따라 시멘트수화물 내부 습도 프로파일이 완만해지기 때문에 그 차이가 감소하게 됨.
- 그러나, 시멘트수화물을 구성하고 있는 개발 녹생토의 특성상, 토양자체의 수축을 평가할 수 있는 방법으로 토양의 수축을 평가하는 것이 바람직하나, 현재 토양 자체의 수축을 측정할 수 있는 기구나 실험법은 미비한 상황임.
- 특히, 토양 수축은 토양 전체에서 발생할 수 있는 수축의 최종 값만 측정할 수 있는 한계가 있으며, 이는 수축으로 인해 균열이 진전될 가능성에 대해서는 배제한 측정방법임.
- 이에 따라 본 연구개발에서는 매립 게이지 혹은 접지 게이지를 이용하여 개발 녹생토의 건조수축을 평가하고자 하였으나, 매립게이지 및 접지 게이지를 사용하기 위해서는 개발 녹생토의 응력 수준이 5MPa 이상을 상회해야 적용할 수 있는 단점으로 인해 적용이 불가한 것으로 나타남.
- 따라서 본 연구개발에서는 개발 녹생토의 건조수축은 버니어캘리퍼스를 이용하여 길이변화를 측정하여 건조수축을 평가하였음.

3) 실험 결과

- [그림 18]에는 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정한 개발 녹생토의 건조수축 측정값을 노출 시기 증가에 따라 나타내었음. 실험결과를 살펴보면, 부엽토의 함수율이 상대적으로 낮은 경우에는 건조수축 개시 초기에 수축량이 높은 것으로 나타났으나, 개발 녹생토의 외기 노출 시기가 증가 및 부엽토의 함수율 증가에 따라 건조수축량이 증가하는 것으로 나타남.
- 부엽토의 함수율이 증가할수록 건조수축량의 임계값에 도달하는 시기가 지연되었으며, 그 차이가 함수율 증가에 비례적으로 나타나지는 않았으며, 일반적인 시멘트수화물의 건조수축 종료시점이 180일을 전후하여 나타나는 반면에, 개발 녹생토에서는 최종 건조수축이 30일 내외에 종료되는 것으로 나타남.



[그림 3.60] 건조수축 측정 결과

- 또한, 일반적으로 6개월간 건조수축을 측정하여 최종적인 시멘트수화물에서 발생하는 건조수축은 약 600με전후로 나타나고 있음에 반하여, 개발 녹생토에서는 그 수축량의 1000배이상 나타남. 이는 단순히 시멘트수화물에서 발생하는 수축이 아니라 개발 녹생토에 포함된 부엽토에서 존재하는 수분 증발에 기인한 현상인 것으로 판단되며, 특히, 시멘트 수화반응에서 요구되는 수량보다 더 많은 양의 수량 사용으로 인해 잉여수가 증발하면서 발생한 것으로 예상됨.
- 따라서, 실험 결과에서 알 수 있듯이, 배합 설계 있어 적정함수율을 55% 이하로 하여 최적 배합을 도출하는 것이 건조수축에 바람직한 것으로 판단됨.

(다) ECG 녹생토의 함수상태에 따른 물리적 특성 검토

1) 실험 목적

- 본 연구개발에서는 ECG 녹생토의 함수상태에 따른 건조수축 변화를 검토하였음. 이와 더불어 ECG 녹생토의 함수상태에 따라서 물리적 특성에 미치는 영향을 검토하기 위해 동일한 배합조건 및 함수상태에서의 물리적 특성 변화를 아래와 같이 재검토 하였음.

2) 실험 조건 및 시험체 제작

- 기초물성 실험 결과를 바탕으로 결정된 ECG 녹생토의 적정 배합설계 <표 3.58>에 대하여 시공성 및 내구성 향상을 위해서는 식생기반재(부엽토)의 함수율 조절이 필요하므로 부엽토의 함수율을 건조수축 평가 때와 동일하게 각각 55%, 60%, 65%로 변경하여 배합을 실시하였음.
- 개발 녹생토의 제작은 [그림 3.61]에 나타낸 바와 같이, 시료를 개량한 후 콘크리트 시험체 제작용 믹서기에 일괄 투입하여 시험체가 균질하게 혼합될 수 있도록 3분 동안 재료혼합을 실시하였음.
- 혼합된 시료는 타설펌프를 이용하여 100×100×400㎜의 크기를 갖는 아크릴 몰드에 채워 넣은 후, 현장적용성이 용이하고 녹생토 부착력 평가에 척도가 되는 산중식 경도계를 이용하여 경도 측정을 수행함.
- 한편, 개발 녹생토의 토양강도뿐만 아니라, 사면안정에 영향을 주는 전단강도를 평가하기 위해서는 직접전단시험을 통해 점착력과 내부마찰각을 측정해야 함. 따라서 이에 따라 다음과 같은 기준에 의거하여 직접전단 시험을 실시하였음.
- 전단속도는 1㎜/min 의 동일한 조건을 적용하였으며, 구속응력은 0.005MPa, 0.011MPa, 0.017MPa의 총 3단계로 나누어 실험을 수행하였음.
- 전단 상자의 크기는 상·하부에 거치되는 다공석판의 크기 10㎜를 제외한 지름 50㎜, 높이 20㎜임. 공시체의 균열이 발생되면 전단강도 정수 산정에 영향을 미치는 것을 고려하여 1층 다짐으로 다짐봉을 이용해 각각 5회씩 동일하게 다짐에너지를 가하여 제작하였음.

<표 3.58> ECG 녹생토의 함수율 배합표

구분			함수율 55%	함수율 60%	함수율 65%
퇴비	부엽토		1,600	1,600	1,600
물	물		475	617.5	760
첨가재	결합재		73.6	73.6	73.6
	경화재	1	16	16	16
		2	16	16	16
		3	24	24	24
	분말증점재		8	8	8
	고흡수성폴리머		1.6	1.6	1.6
	친환경보습제		16	16	16
	pH조절제		4.8	4.8	4.8
	소계		160	160	160
Seed	톨훼스큐		0.45	0.45	0.45
	페레니얼라이그라스		0.3	0.3	0.3
	크리핑레드훼스큐		0.25	0.25	0.25
	소계		1	1	1



(a) ECG 녹생토 재료 투입



(b) 혼합 과정



(c) 포설 과정



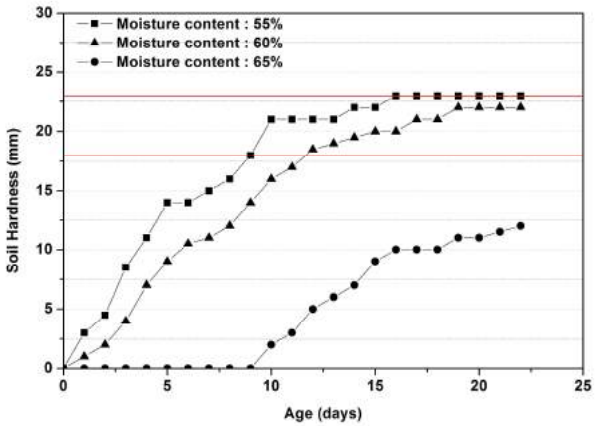
(d) 경도 측정

[그림 3.61] 함수상태 상태에 따른 물리실험

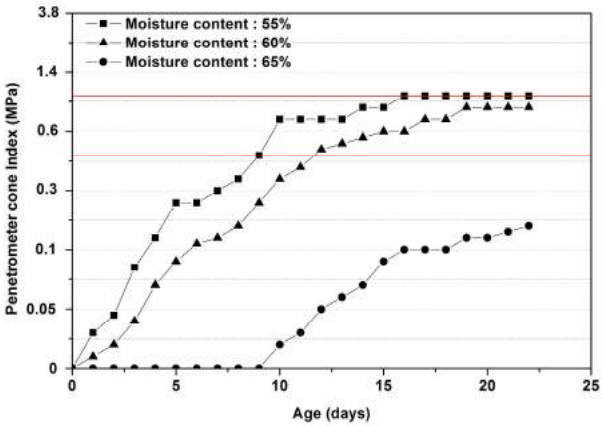
3) 실험 결과

○ 함수율에 따른 경도 및 강도 특성

- [그림 3.62]에는 부엽토의 함수율 변화에 따른 개발 녹생토의 경도 측정결과와 경도를 이용하여 강도를 추정한 결과를 나타내었음. 실험 결과를 살펴보면, 개발 녹생토에 사용되는 부엽토의 함수율이 65%인 경우를 제외하고는 타설 후 1일 이후부터는 경도(및 강도) 발현이 시작되는 것으로 나타남. 또한, 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침에 따라 평가하면, "식물의 근계 생장에 적당" 한 토양 경도인 18~23㎜의 영역을 모두 만족하는 것으로 나타남.
- 반면, 부엽토의 함수율이 증가함에 따라 경도 발현속도가 지연되는 것으로 나타났으며, 특히 부엽토의 함수율이 65%인 경우에는 타설 25일이 경과하여도 토양 경도의 수준이 미흡한 것으로 나타남. 이는 경도 발현에 영향을 주는 결합재가 다량의 물을 포함하여 수화반응을 진행되더라도 결합재의 한정된 양으로 인해 더 이상의 수화반응으로 인한 강도증진은 나타나지 않는 것으로 판단됨. 따라서 시공성을 확보하기 위해 증가시킨 부엽토의 함수량의 적정수준을 다시 검토해야 할 것으로 사료됨.



(a) 경도



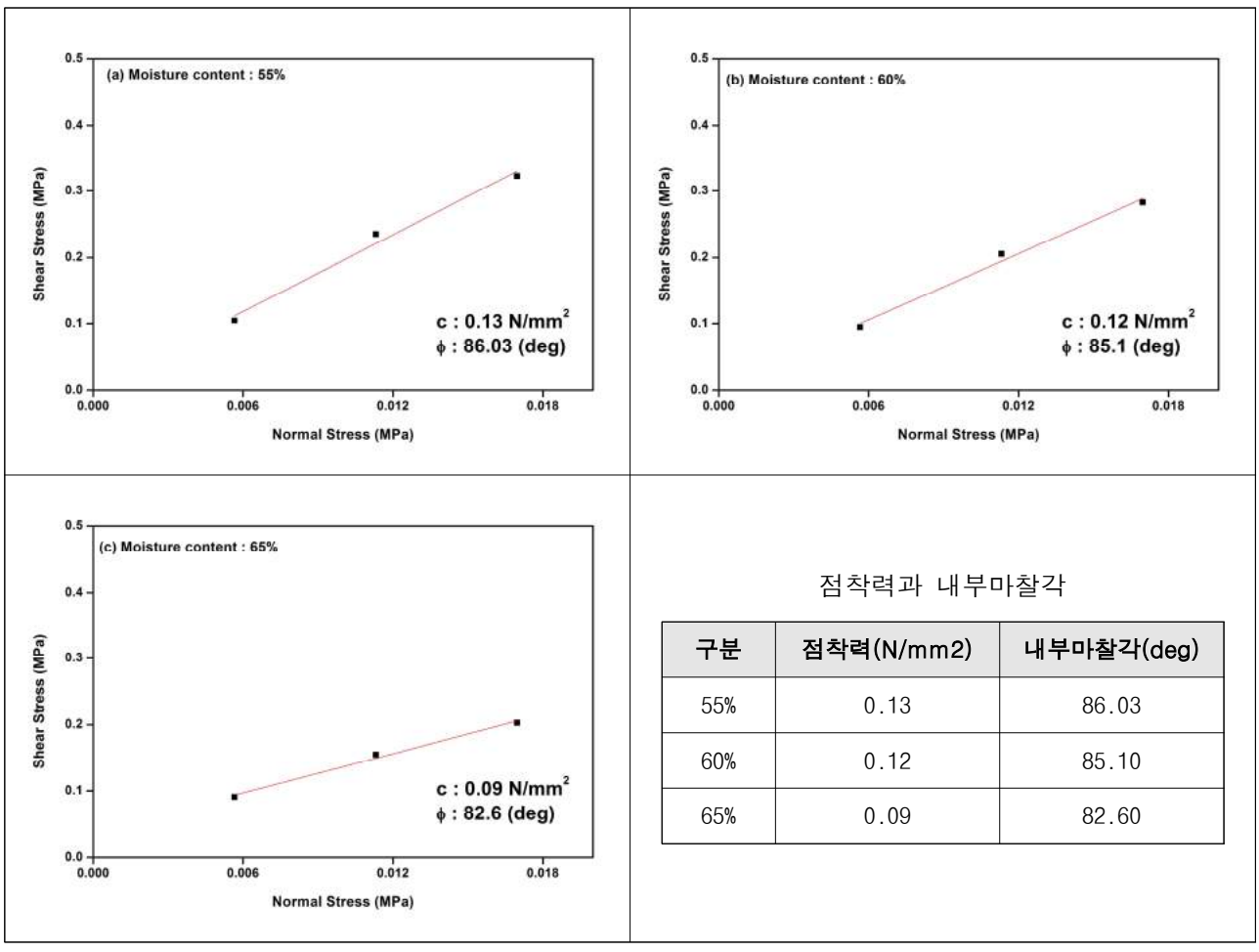
(b) 강도

[그림 3.62] 함수율에 따른 토양경도 및 강도 추정 결과

- 또한, 경도측정결과를 토대로 토양 및 식물체 분석법에서 제안한 강도 계산식을 이용하여 추정한 토양의 강도 결과를 [그림 3.62]의 (b)에 나타내었음. 실험결과를 살펴보면, 부엽토의 함수율 65%인 경우를 제외하고 0.46~1.0 MPa 이하인 강도가 나타나, 식생의 생육에 적합할 것으로 판단함.

○ 함수율에 따른 토양 재료정수 특성

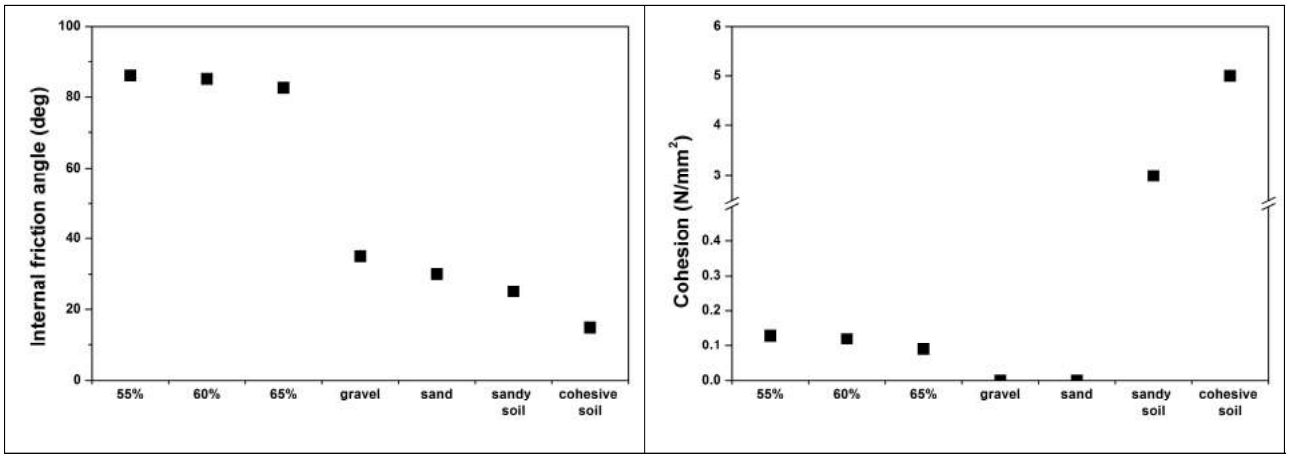
- 직접전단 시험 결과를 통해 연직응력 및 전단응력-수평변위 곡선을 작성하여 최대 전단응력의 강도가 얻어진 결과를 토대로 Mohr-Coulomb의 파괴 규준에 의거하여 전단강도, 내부마찰각, 점착력을 [그림 3.63]과 같이 산정하였음.
- 실험결과를 살펴보면, 모든 배합에서 구속압력이 증가할수록 전단강도가 증가하는 토양의 일반적인 특성이 나타나는 것을 확인하였음. 또한, 부엽토의 함수율이 증가함에 따라 개발 녹생토 전체의 함수율이 증가하게 되면, 점착력이 감소하고 내부마찰각이 감소하는 것으로 나타남. 이러한 결과를 토양경도(강도)측정 결과와 비교하면, 내부마찰각 및 점착력의 감소는 토양 강도 감소를 수반하므로, 이는 일반적인 토양 특성이 잘 나타나는 것으로 판단됨.
- 따라서 시공성능 향상을 위해 증가시킨 함수율은 점착력 및 내부마찰각, 토양경도의 저하를 유발할 수 있으므로, 본 개발 녹생토에 적용하는 혼합물질의 사용량을 증가시켜 감소하는 강도 저하를 방지할 수 있는 대책 마련이 필요한 것으로 사료됨.
- 한편, 토양 입자사이에 발생하는 응력은 점착력이므로, [그림 3.64]에서는 개발 녹생토와 일반 성토의 내부마찰각 및 점착력을 각각 비교, 평가한 결과를 나타내었음. 비교 결과를 살펴보면, 개발 녹생토의 점착력은 점성이 강한 토양보다는 작지만 자갈 및 모래보다는 크게 측정됨.
- 이는 개발 녹생토에 포함된 식생의 발아를 위해서 토양입자간의 응력인 점착력이 적정한 수준을 만족해야하며 탈락 방지를 위한 내부마찰각의 증가를 고려할 때, 개발 녹생토의 토질 특성이 일반 토양의 강도수준보다는 높은 것으로 판단할 수 있음.



점착력과 내부마찰각

구분	점착력(N/mm2)	내부마찰각(deg)
55%	0.13	86.03
60%	0.12	85.10
65%	0.09	82.60

[그림 3.63] 점착력 및 내부마찰각 측정 결과



(a) 내부마찰각 (b) 점착력

[그림 3.64] 일반 성토와의 비교 결과

다. 친환경 녹생토의 식생 적용성 검토

(1) 친환경 ECG 녹생토의 단기 식생 검토

(가) 개요

○ 일반사항

- 기초물성 실험을 바탕으로 한 친환경 ECG 녹생토의 식생 적용성을 검토하였으며, 친환경 녹생토의 식생 적용성은 [표 3.59]와 같이 내부 함수율과 종자 혼입율을 달리한 여러 배합변수를 설정하여 수행하였음.
- 부착성능이 강화된 개발 녹생토가 식물의 근계 생장에 적당한 토양 경도를 확보할 수 있는 시간 동안 혼합된 종자의 발아를 촉진 시킬 수 있는 인공토양의 내부 함수율이 중요하므로 내부 함수율을 변화시킨 배합 조건을 설정하였음.
- 친환경 녹생토의 식생 적용성 평가 실험은 각 변수별로 실험체를 제작하여 외부환경에 노출시킨 경우와 식물 생육을 촉진시킬 수 있도록 실험 장비를 개발하고 실내 촉진 실험을 통해 개발 녹생토의 식생 적용성을 검토하였음.

○ 실험 종자 선정

- 비탈면 녹화공사에 주로 이용되는 식물들은 외래초종(양잔디류)과 재래초종, 재래목본, 야생화류 등이 있으며, 이들 중 외래초종(양잔디류)은 생육적온이 15~25℃인 한지형초종(cool-season turfgrass)과 생육적온이 25~35℃인 난지형초종(warm-season turfgrass)으로 구분됨.
- 식생 적용성을 검토하기 위한 기초 실험에서는 외래초종(양잔디류) 중에서 사면녹화에 가장 많이 사용되는 것은 톨훼스큐(tall fescue)를 주로 사용하였음. 톨훼스큐(tall fescue)는 우리나라의 환경에서 양호한 생육을 하는 내구성과 내건조성이 강한 잔디로써 비교적 피복율은 낮은 편이지만 어느 종류의 토양에서도 잘 견디며, 특히 내열성과 내건조성이 한지형초종 중 가장 강함. 그러나 엽 폭이 너무 넓어서(5~10㎜) 거친 느낌을 주어 경관미가 낮다는 단점이 있으나 여러 종류의 개선된 품종이 현재 개발되어 유통되고 있음.
- 톨훼스큐(tall fescue) 보다 초기생육속도가 빠른 페러니얼라이그라스(perennial ryegrass)도 사면녹화공사에 많이 사용되어 일정 비율로 사용함. 그러나 여름철에 하고 현상이 심하여 황변하고, 파종당년에 상당수가 도태되는 경우가 많아서 의도적으로 1차 식생용으로 이용되고 있음.
- 크리핑레드훼스큐(creeping redfescue)는 세엽이어서 부드러운 질감을 나타내며, 조성 초기에는 위핑러브 그라스와 유사하게 보임. 초기조성속도도 어느 정도 빠르며, 초장이 길면서 많은 분얼을 하는 톨훼스큐와 페레니얼라이그라스와 비교해 볼 때 시각적인 면에서 덜 거부감을 줄 수 있으며, 현재 북사면에서는 주 녹화용 초종으로 이용되고 있음.

(나) 실험계획

○ 실험 변수

- 아래의 <표 3.59>에 나타낸 것과 같이 실험 변수는 크게 기존 녹생토(1차년도) 배합비(기본배합조건)에 함수율을 달리한 A,B,C 그룹과 종자 혼입율을 달리한 D,E,F 그룹으로 구성함.

<표 3.59> ECG 녹생토의 식생 검토용 변수별 배합 설계표

표기	함수율 (%)	퇴비 (kg/m³)	배합수 (kg/m³)	각 재료의 혼합양 (kg/m³)								Seed (kg/m³)		
		부엽토	일반 상수	결합재-3	경화재			분말 증점재	고흡수성 폴리머-2	친환경 보습제	pH 조절제	톨 훼스큐	페러니얼 라이 그라스	크리핑 레드 훼스큐
					1	2	3							
A-1	55	1600	475	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.45	0.30	0.25
A-2	55	1600	475	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.45	0.30	0.25
A-3	55	1600	475	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.45	0.30	0.25
B-1	60	1600	618	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.45	0.30	0.25
B-2	60	1600	618	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.45	0.30	0.25
B-3	60	1600	618	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.45	0.30	0.25
C-1	65	1600	760	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.45	0.30	0.25
C-2	65	1600	760	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.45	0.30	0.25
C-3	65	1600	760	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.45	0.30	0.25
D-1	55	1600	475	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.90	0.60	0.50
D-2	55	1600	475	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.90	0.60	0.50
D-3	55	1600	475	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.90	0.60	0.50
E-1	60	1600	618	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.90	0.60	0.50
E-2	60	1600	618	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.90	0.60	0.50
E-3	60	1600	618	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.90	0.60	0.50
F-1	65	1600	760	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.90	0.60	0.50
F-2	65	1600	760	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.90	0.60	0.50
F-3	65	1600	760	73.6	16	16	24	8	1.6	16	4.8	0.90	0.60	0.50

○ 실험체 제작

- 총 36개의 실험체를 제작하였으며, 측면 방수, 하부 배수가 가능하도록 제작한 아크릴 몰드로 사용하여 가로 200㎜ × 세로 200㎜ × 높이 200㎜ 크기의 실외 실험용 실험체를 제작함. 식생 촉진 실험 장비를 이용한 실내 실험은 가로 100㎜ × 세로 100㎜ × 높이 100㎜ 크기로 제작하여 실험을 수행함.
- 실험체 제작 과정은 아래의 [그림 3.65]에 나타낸 것과 같이 각 재료들을 먼저 혼합한 후 뿜어 붙이기 장비를 이용하여 몰드에 타설하였으며, 다짐 작업에 의한 경도 변화를 우려하여 추가적인 다짐작업을 배제하였음.



(a) 퇴비 (b) 첨가재 (c) 종자

(d) 녹생토 타설 (e) A,B,C 그룹 실험체 (f) D,E,F 그룹 실험체

[그림 3.65] 식생 적용성 실험체 제작 전경

○ 실험 조건

- 실외에 폭로할 경우, 식물의 생육에 필요한 외기 조건이 일정하지 않아, 개발 녹생토의 식생 적용성을 평가하는데 어려움이 있음. 이에 식물 생육 촉진 실험 장비를 개발하여, 실외 실험과 함께 촉진 실험을 병행함.
- 일반적으로 식물이 받는 전체적인 광선의 양은 조도와 시간의 곱으로 나타냄. 이에 식물 생육 촉진 장비의 구성은 일조량을 부여할 수 있도록 20,000lux까지 조도 조절이 가능하며, 일조시간을 자동 타이머로 조절 할 수 있도록 구성하였음. 또한 계획된 시간에 정량의 식재수가 자동 살포/공급되도록 제작하였음.
- <표 3.60>는 식물 분류별 필요한 조도를 나타낸 것으로 식물별로 차이는 있으나 광포화점 이상에서는 식물의 성장이 정지하거나 일정 시간 노출되면 식물이 고사할 수 있음. 또한, 조명을 이용하여 집중적으로 조명할 경우에는 엽록소가 손상될 가능성이 크기 때문에 조명은 최소한 하루에 4시간 이상이어야 하고 자생지의 낮 길이를 감안하여 하루 12시간 조명하는 것이 바람직함. (12,000lux를 1시간 동안 집중적으로 조명할 경우, 엽록소 손상이 예상됨.)

<표 3.60> 식물 분류별 필요조도 (lux)

종류	구분	성장기	개화기	발아기	광포화점※2
양성식물	1년생 초화류	3,000 이상	10,000	20,000	60,000 ~ 80,000
반양성식물※1	난초류, 무늬종 양성식물	2,000 ~ 3,000	5,000	10,000	30,000
음성식물	관엽식물류	500 ~ 2,000	3,000	5,000	10,000

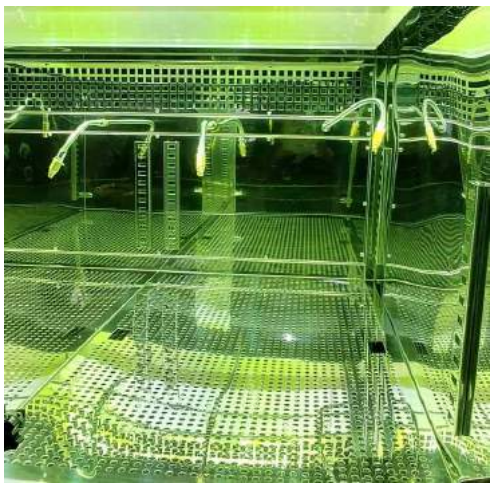
※1 반양성식물: 봄에서 가을까지 반음지에서 생장하는 식물
※2 광포화점: 식물이 생장하는데 최고로 필요한 빛의 밝기



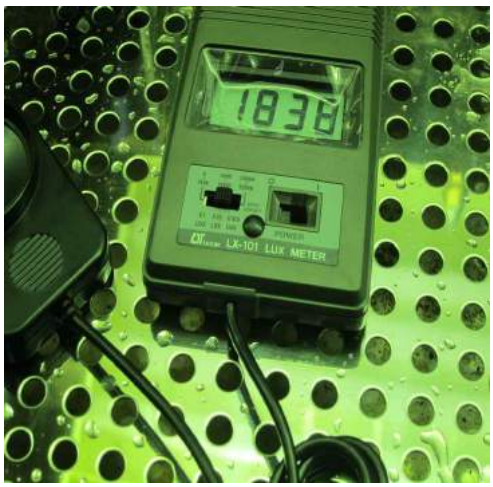
(a) 외부 전경



(b) 내부 전경



(c) 식재수 공급 장치



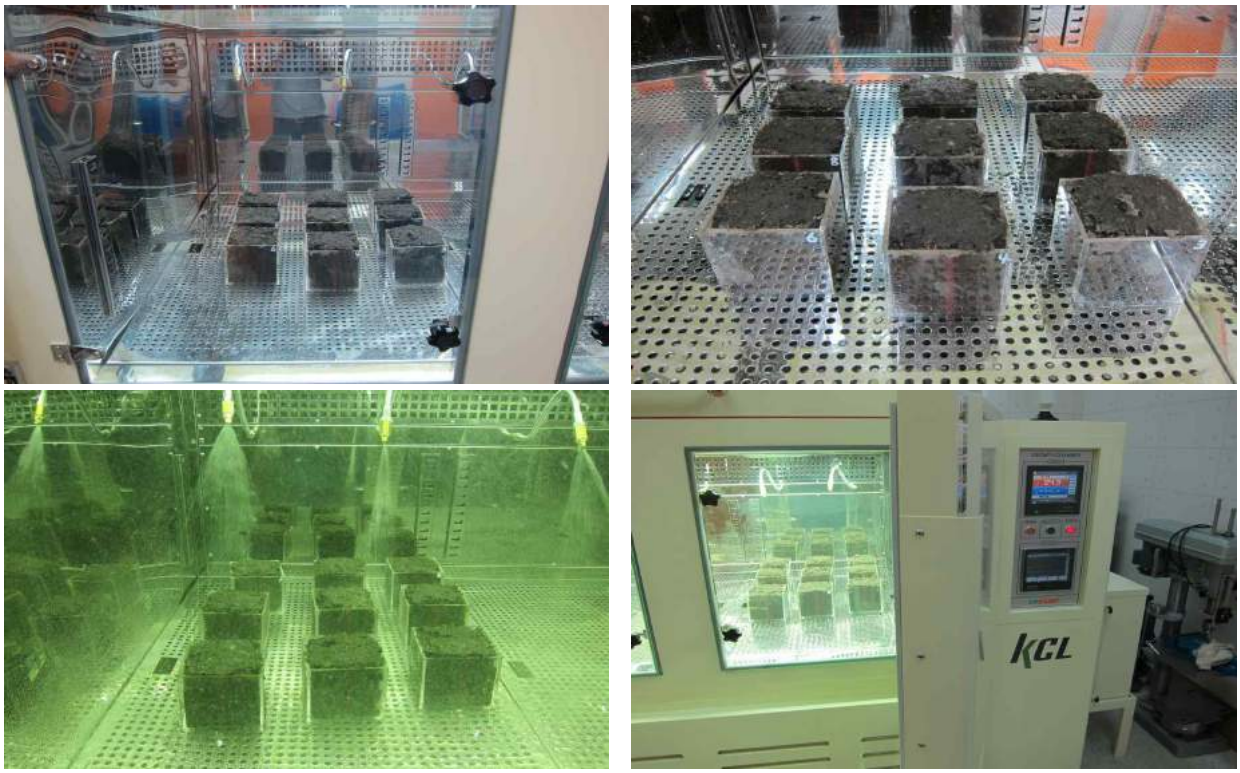
(d) 조도 측정

[그림 3.66] 식생 생육 촉진 실험 장비 전경

- 우리나라는 여름철 하고현상(summer depression)이 발생하며, 북방형 계통의 초본식물들이 열 또는 아열 지역에서와 같이 생육이 저하되는 현상이 있음. 일반적으로 적정한 법면 녹화에 있어 생육 최적 온도는 15.5~24.0℃에 해당하나 파종 시기에 따라 발아 및 피복 속도가 상이함.
- 따라서 본 연구개발에서는 최적의 기상 조건을 반영하여 인공적인 일조량과 일조시간, 정량의 주기적 식재수 공급, 최적의 생육 온습도 유지를 통해 식생 적용성 평가을 위한 기초 실험을 수행함.

(다) 실험방법

- [그림 3.67]에 나타낸 것과 같이 개발 녹생토의 식생 적용성에 대한 기초 실험은 종자의 발아에 영향을 미치는 내부 함수율을 달리한 실험체와 종자 혼입양을 조절한 실험체를 제작하여 생육 촉진 실험 장비에 거치하고 계획된 기간에 종자의 발아수를 관찰 기록하였음.
- 일조시간은 주간과 야간으로 구분하여, 1일 기준 12시간 동안 2,000lux의 광량을 유지하고, 12시간은 광량 공급을 차단하였음. 주간 환경을 모사한 12시간 동안에는 3시간 주기별로 4회에 걸쳐 식재수를 정량 공급하였으며, 온습도 조건은 24℃, 70%로 유지하였음. 24시간을 1사이클 주기로 하여, 7일, 14일, 30일, 60일, 90일에 종자의 발아 상태를 측정함.
- 법면 녹화토에 대한 식물 생육 판정 방법은 방구형(1㎡)내에서 피복도 측정용 격자틀(20㎝×20㎝)을 이용하여 3회 이상 측정 후 산술평균하여 전체 피복도로 환산하거나 현장에서 육안으로 실측하여 계산함. 따라서 [그림 3.68]과 같이 가로 20㎝× 세로 20㎝의 격자틀에 초기개발 녹생토를 타설하여, 실외 실험을 수행하였음.



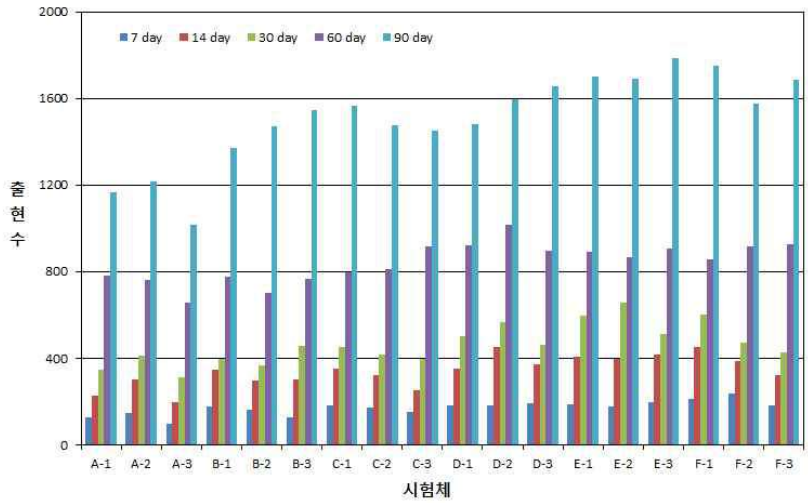
[그림 3.67] 식생 생육 촉진 실험 전경



[그림 3.68] 식생 생육 실외 실험 전경

(라) 실험 결과

- [그림 3.69]는 식물 생육 촉진 실험을 통한 혼입 종자의 개체 발아 변화를 나타낸 것임. 먼저, A,B,C 그룹(내부함수율 변수)에서는 함수율이 높아질수록 개체의 발아수도 다소 증가하는 것으로 보임. 녹생토의 경도 확보를 위해 7일까지 식재수를 공급하지 않고 녹생토 자체의 식재수로 발아를 촉진함으로써 개체 발아에 속도 차이를 보이는 것으로 판단됨. 그러나 B와 C그룹에서는 큰 발아 증가율을 나타내지 않았음. 또한 일부 실험체에서는 오히려 개체수가 역전되는 현상을 나타내기도 함. 이는 각 종자별, 개체별로 생육 정도와 내성 차이가 영향을 미친 결과로 판단됨.
- 종자의 혼입양과 함수율을 증가시킨 D,E,F 그룹에서는 발아 개체수가 증가하는 것을 볼 수 있으나, 큰 상승 효과는 없는 것으로 나타남. 이는 시험체의 크기가 모두 동일하고, 노출 표면적이 작아 종자가 발아하는데 한계를 나타낸 것으로 판단됨. 또한 실험자의 육안 관찰과 수작업으로 개체수를 파악하는 과정에서 개체수가 증가함에 따라 카운팅의 오류가 발생한 것으로 사료됨.
- 한편, [그림 3.70]에 나타낸 것과 같이 외부 환경에 거치한 시료에서는 왕성한 식생성을 보이는 것을 확인하였음.



[그림 3.69] 식생 촉진 실험 결과 개체 발아 변화



[그림 3.70] 식생 성능 검증 시험체 (외부 거치)

(2) 친환경 ECG 녹생토의 장기 식생 검토

○ 실험 목적

- 기초물성 실험을 통해 도출한 ECG 녹생토의 배합 조건으로 식생 가능성을 확인하였으나, 장기적인 식물의 생육정도와 녹생토의 내부 변화를 관찰하고자 6개월 간 ECG 녹생토의 챔버 식생 실험을 수행하였음.
- 일반 녹생토와 ECG 녹생토를 현장 타설 채취하여 동일 조건의 챔버 조건으로 장기간의 상대적인 생육 정도를 파악하였음.

○ 실험 방법

- ECG 녹생토의 최적 배합으로 실제 타설 장비를 이용한 Mock-up 실험에서 가로 500㎜ × 세로 900㎜ × 높이 200㎜ 의 모판에 50㎜ 이하의 두께로 일반 녹생토와 개발 녹생토를 채취하였음.
- 온도 조건은 한지형 잔디의 생장 조건에 적합하도록 야간 온도를 15.5℃로 유지하고 주간 온도 24℃로 설정함. 또한 1일 기준 12시간 동안 2,000lux의 광량을 유지하고, 12시간은 광량 공급을 차단하였음.



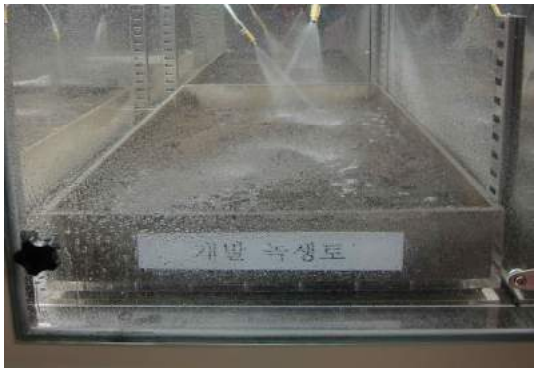
(a) 토양 경도 측정



(b) 내부 거치



(c) 광원 노출

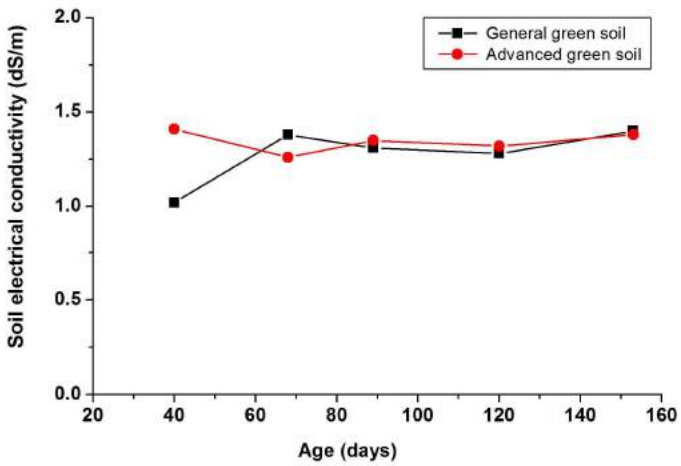


(d) 식재수 공급

[그림 3.71] 장기 식생 성능 실험 (생육촉진챔버)

○ 실험 결과

- 다음의 [그림 3.72]은 생육촉진실험장비를 이용해 일반 녹생토와 ECG 녹생토의 식생성을 검토하고 토양전도도 변화를 측정하여 재령에 따라 나타낸 것임.
- 실험 결과, 초기의 토양전도도 수치는 ECG녹생토가 다소 높게 측정되었으나 식물의 생육이 진행 될수록 일반 녹생토와 유사한 수준의 토양전도도 값을 나타냄.
- 또한, 비료성분이 다량 포함된 일반 녹생토의 경우, 초기에는 1.0dS/m 이하의 전기전도도 값을 보였으나, 이후 토양전도도 값이 증가하는 결과를 보임.
- 한편, [그림 3.73]는 일반 녹생토와 ECG 녹생토의 식물 생장 정도를 사진으로 기록한 것임. 초기에는 일반 녹생토의 식물 생장성이 높으나 시간이 경과할수록 ECG 녹생토의 식물 생장과 피폭정도가 원활한 것을 확인할 수 있었음. 이는 일반 녹생토의 초기 전도도 값이 높은 결과와도 일치하는 것으로 판단됨.



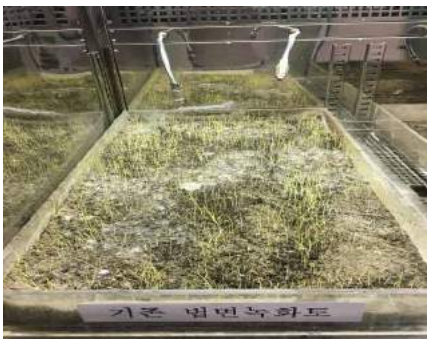
[그림 3.72] ECG 녹생토와 일반 녹생토의 토양전도도 변화



일반 녹생토 (17.09.13)



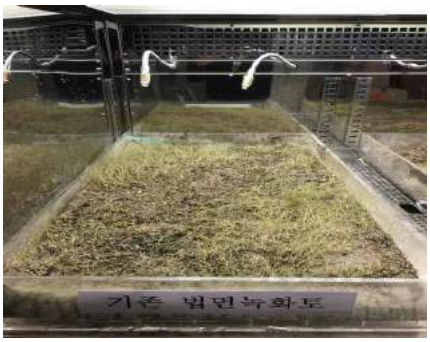
ECG 녹생토 (17.09.13)



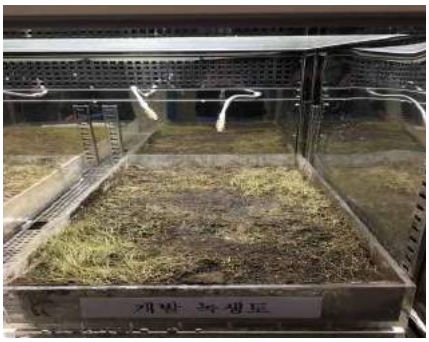
일반 녹생토 (17.10.23)



ECG 녹생토 (17.10.23)



일반 녹생토 (17.11.20)



ECG 녹생토 (17.11.20)



일반 녹생토 (18.01.30)



ECG 녹생토 (18.01.30)


일반 녹생토 (18.02.13)


ECG 녹생토 (18.02.13)

[그림 3.73] ECG 녹생토와 일반 녹생토의 장기식생시험 (생육촉진챔버)

3. 친환경 녹생토의 최적 설계 및 현장 적용

가. 친환경 ECG 녹생토의 최적 배합 설계

(1) 친환경 ECG 녹생토의 혼합수량 결정

(가) 실험 목적

- 기초 물성 실험 및 내구성, 식생 영향성 실험을 토대로 최적 재료 선정과 혼합율을 검토하고 식생기반재의 함수상태를 고려하여 최적 배합수량을 결정하였음.
- 일반 녹생토의 경우, 배합설계에서는 배합수량을 퇴비의 10%로 정하고 있음. 그러나 개발 녹생토의 경우 식생기반재와 종류가 상이하고 결합재와 첨가재가 혼합되므로 이에 대한 요구 배합수량과 시공성이 달라질 수 있음.
- 따라서 본 연구에서 개발한 ECG 녹생토의 현장 적용을 위해 최적의 배합 설계를 도출하고 해당 배합으로 Mock-up 시험 및 현장 시험 전 기초 물성, 내구성능 등을 점검하였음.

(나) 실험 방법

○ 타설 방법 및 시험체 제작

- 녹생토의 뿜어붙이기공법을 고려하여 최적배합을 적용한 시험체는 분사식으로 제작하였음.
- 개발 녹생토의 타설은 1bar의 압력을 일정하게 분사할 수 있는 컴프레셔와 모르타르 건을 사용하였으며, 실험에 사용된 장비는 [그림 3.74] 과 같다.



[그림 3.74] 최적 배합의 ECG 녹생토 제작

○ 간이 부착성능 실험을 통한 배합수량 결정 (1차)

- 녹생토 타설 장비를 이용하여 배합수량을 변경한 녹생토의 시공성과 부착력을 선 검토하였음. 배합수량은 기존 배합설계 중 최적 배합인 No.3을 기준으로 10%를 포함하여 12.5, 15, 17.5, 20%로 평가하였음.
- 배합수량의 결정은 녹생토의 부착성능과 시공성(타설의 용이성)를 기준으로 하였음.
- 개발 녹생토의 타설 각도는 60° 로 하였음.
- 배합수량에 따른 간이 부착성능 실험 결과는 <표 3.61> 와 같음.

<표 3.61> 간이 부착성능 실험 결과 (1차)

타설 순서	배합수 비율	간이 부착성능 검토 결과	비고
1	10%	부착 안 됨. 리바운드량 많음	
2	20%	녹생토 타설 불가, 함수량이 많아 뭉침.	
3	15%	부착상태양호. 리바운드량 적은편임.	적합
4	12.5%	부착 가능하나 리바운드량 많음	
5	17.5%	녹생토 타설 불가, 함수량이 많아 뭉침.	

<표 3.62> 간이 부착성능 실험 결과 (2차)

타설 순서	배합수 비율	간이 부착성능 검토 결과	리바운드량 (%)	비고
1	13%	부착 가능하나 리바운드량 많음.	25.2	
2	14%	부착상태양호. 리바운드량 적은편임.	19.4	
3	15%	부착상태양호. 리바운드량 적은편임.	14.8	적합
4	16%	리바운드량 적은편이나 다소 뭉침 현상 발생하여 시공성이 불규칙함.	-	
5	17%	녹생토 타설 불가, 함수량이 많아 뭉침.	-	

○ 간이 부착성능 실험을 통한 배합수량 결정 (2차)

- 간이 부착성능 실험 결과(1차)를 통한 배합수량은 15%로 결정되었으며, 리바운드량 추가 검토를 통해 최적의 배합수량을 결정하였음.
- 2차 실험의 배합수량은 1차 실험에서 결정된 15%를 포함하여 13, 14, 16, 17%로 평가하였음.
- 배합수량별 리바운드량 실험 결과를 <표 3.62>에 나타내었음.

(다) 실험 결과

- 아래의 <표 3.63>의 시공성을 고려한 배합수를 검토하여 최적으로 도출한 ECG 녹생토 표준 배합표를 나타낸 것임.
- 배합수의 양은 기존의 일반 녹생토의 10%와 달리 결합재, 첨가재, 식생기반재의 종류 등을 고려하여 15%의 배합수로 최종 결정하였으며, 현장의 기상 조건과 식생기반재의 함수상태에 따라 기준 15±5% 까지 변경 가능하도록 하였음.

<표 3.63> 현장 적용성을 고려한 ECG 녹생토의 최적 배합 설계표

Water	Fertilizer (Leaf mold)	Binder	Additives					Unit Weight
			Hardener	Powder Thickener	Super Absorbent Polymer	Moisturizer	pH Adjusting Agent	
240	1,600	73.6	56	8	1.6	16	4.8	Kg/m^3

(2) ECG 녹생토의 최적 설계에 따른 토양 경도 점검

○ 실험 내용 및 방법

- ECG 녹생토는 급경사면 또는 암반 노출사면의 녹화의 목적이므로 종자를 혼합하여 타설해야함. 또한 식물근이 녹생토 내부에서 원활히 성장하려면 적정 수준의 토양 경도를 확보해야 하므로, 최적배합에 대한 토양경도를 점검하였음.
- 측정된 경도는 도로 비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침의 토양경도별 식물생육생태 기준에 따라 식물의 생육조건에 적합성 여부를 검토하였음.
- 최적 설계 배합의 ECG 녹생토 타설은 컴프레서와 모르타르 건을 사용하였으며, 측정용 시험체 크기는 (L)100× (W)200×(H)30 ㎜로 하였음.
- 외기 온도 및 습도에 대한 영향을 최소화하기 위해 온도 20℃, 습도 60% 인 항온 항습 조건에서 양생시키며 재령 120일까지 결과를 도출하였음.
- 본 연구에서 도출한 ECG 녹생토의 현장 표준 배합은 아래의 <표 3.64>와 같음.

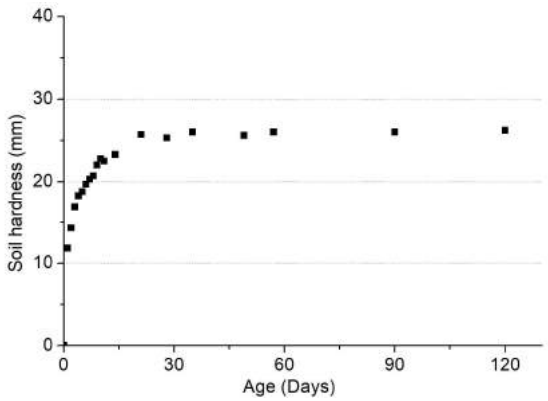
<표 3.64> ECG 녹생토 현장 표준 배합

(단위: kg/m^3)

물	식생기반재 (부엽토)	결합재 및 첨가제 비율					
		결합재	경화제	분말 증점제	고흡수성 폴리머	친환경 보습제	pH 조절제
240	1,600	73.6	56	8	1.6	16	4.8



[그림 3.75] 산중식 경도계 및 시험체



[그림 3.76] 현장 표준 배합의 경도 변화

○ 실험 결과

- ECG 녹생토의 현장 표준배합으로 제작한 시험체의 재령 경과에 따른 토양 경도 변화를 [그림 3.76]에 나타내었음.
- 토양 경도는 재령 30일까지 상승하는 경향을 나타냈으나, 그 이후로는 경도 26㎜ 수준으로 수렴하는 경향을 나타냄.
- 도로 비탈면 녹화 공사의 설계 및 시공 지침 기준에 따르면 식물에 가장 좋은 생육조건의 경도는 18~23㎜ 수준이며, 본 연구에서는 이보다 높은 26㎜ 수준으로 나타났으나, 식생의 활착에는 큰 무리가 없을 것으로 판단됨.
- 본 연구에서는 외부 영향을 최소화하기 위해 항온 항습 조건에서 시험체를 양생시킨 것이 경도를 증가시킨 것으로 판단되며, 녹생토는 불투수성 재료가 아니므로 야외 환경 노출시 온도 및 습도의 변화 및 우천 환경에 따라 경도가 감소할 수 있음.
- 따라서, 실제 시공 조건에서는 도로 비탈면 녹화 공사의 설계 및 시공 지침의 경도를 만족시킬 수 있을 것으로 판단됨.

(3) ECG 녹생토의 최적 설계에 따른 토양 재료정수 점검

○ 실험 내용 및 방법

- 최적 배합 설계 비탕의 ECG 녹생토의 토양 재료 정수 측정을 위해 직접 전단 시험을 실시함. 직접 전단 시험은 KS F 2343에 의거하여 수행하였으며, ECG 녹생토와 일반 녹생토의 점착력 및 내부 마찰각을 측정하여 상대 비교하였음.
- ECG 녹생토는 <표 3.64>의 표준 배합에 의해 제작하였으며, 일본 녹생토 시공현장에서 직접 채취하여 실험하였음.

○ 실험 결과

- 직접 전단 시험을 통해 연직 응력 및 전단응력-수평 변위 곡선을 작성하여 최대 전단응력의 강도가 얻어진 결과를 토대로 Mohr-Coulomb의 파괴 규준에 의거하여 전단강도를 산정하였으며, 그 결과를 <표 3.65> 에 나타내었음.
- 최적 배합인 표준 배합의 ECG 녹생토와 일반 녹생토의 토양 정수를 비교 측정한 결과, 개발 녹생토의 점착력과 내부 마찰각이 현장 녹화토에 비해 높게 측정됨.
- 이러한 결과는 ECG 녹생토를 현장에 적용하여도 시공성에는 문제가 없음을 의미함과 동시에 일반 녹생토와 달리 급경사지나 암반 사면에서 우월한 부착력을 발휘할 것으로 기대됨.
- 한편, 본 연구를 통해 개발한 ECG 녹생토와 일반적인 토양과의 차이점을 알아보기 위해 내부 마찰각과 점착력을 각각 비교하였음.



[그림 3.77] 직접전단 시험기

<표 3.65> 직접 전단 시험 결과

구 분	점착력 (C)	내부 마찰각 (Ø)
현장 녹생토	0.331 MPa	88.02
개발 녹생토	0.397 MPa	88.96

(4) ECG 녹생토의 최적 설계에 따른 내구성(건조수축성) 점검

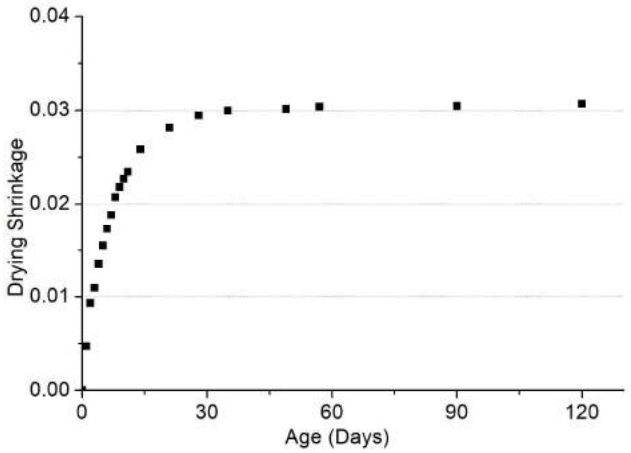
○ 실험 내용 및 방법

- 일반적으로 시멘트 계열의 결합제는 수화반응이 진행되면서 필연적으로 체적변화를 일으키며, 수화반응 완료 후 남은 자유수의 증발로 인해 건조수축을 일으킴.
- 따라서 최적 배합을 기준으로 ECG 녹생토의 수축 특성을 알아보기 위하여, 건조 수축을 측정하였음.
- 개발 녹생토는 콘크리트에 비해 강도가 크지 않기 때문에 일반적으로 사용되는 콘크리트의 건조수축 측정 방법을 적용할 수 없음.
- 따라서, 본 연구에서는 버니어캘리퍼스를 이용하여 건조수축을 측정하였으며, 시험체는 (L)200 x (W)100 x (T)30 ㎜의 크기로 제작되었음. 또한, 마찰에 의한 구속을 최소화하기 위해 폴리에틸렌 비닐을 바닥에 사용하였음.
- 측정은 타설 직후부터 시작하였으며, 온도 20℃, 습도 60%인 항온 항습 조건에서 양생시키며 재령 120일까지 측정하였음.
- 건조수축 결과 값은 다음의 식에 의해 계산되었으며, 시험체 3개의 평균 값을 사용하였음.

$\delta = \frac{\Delta l}{l}$, 여기서, δ는 건조수축 변화율, l은 시험체 타설 후 최초 길이, Δl은 시험체의 수축 후 길이를 나타냄. 건조수축 측정 전경을 [그림 3.78]에 나타내었음.



[그림 3.78] 건조수축 측정 전경



[그림 3.79] 건조수축 측정 결과

○ 실험 결과

- 표준 현장 배합의 ECG 녹생토에 대한 건조수축 측정 결과, 초기 재령에 급격한 수축률을 보이다가, 재령 30일 이후부터는 변형률 0.03에 수렴하는 경향을 나타냄.
- 녹생토는 특성상 내부에 수분을 함유하고 있어야 하고, 식물의 발아 및 생장에 필요한 수분을 공급해 줄 수 있어야 함. 따라서 수분 소모 및 증발에 의한 건조수축이 개발 녹생토에 균열 및 손상을 줄 것으로 예상 되었음.
- 그러나 실험 결과 약 3% 정도의 적을 수축률을 나타냈으며, 실제 타설 조건에서의 마찰 영향을 고려해도 건조수축으로 인한 큰 손상은 없을 것으로 판단됨.
- 또한, 개발 녹생토에 사용된 부엽토는 유기물 및 퇴비 등으로 구성되어있어, 미립한 분자가 아닌 덩어리 상태로 존재하고 있음. 이러한 구조로 인해 녹생토 내부 조직이 치밀하지 못하게 되며 많고 큰 공극을 유발하게 되어 녹생토의 건조수축에 영향을 주었을 것이라 판단됨.
- 결론적으로 ECG 녹생토의 건조수축 결과는 내구성에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단됨.
- 일반적인 토양은 특성상 강우, 강설 및 습도변화 등 수분의 공급에 의해 수축과 팽창의 반복적인 거동을 나타냄. 그러나 본 연구에서 실시한 건조수축 실험은 온도 20℃, 습도 60%인 항온 항습 조건에서 수행되었음.
- 따라서, 수분의 공급이 이루어지지 못하는 조건이고, 실제 현장에서의 조건보다는 건조수축에 가혹한 환경에서 이루어진 측정이므로, 건조수축량이 과대 측정되었을 가능성이 있을 것으로 판단됨.

(5) ECG 녹생토의 최적 설계에 따른 강우강도 점검

○ 실험 내용 및 방법

- 녹생토 타설 후 강우로 인한 사면의 붕괴 여부를 관찰하고자 강우강도 모사 실험을 실시하였음. 녹생토를 인공 사면에 타설하고, 인공 강우 환경 모사 실험을 실시하여 강우에 대한 ECG 녹생토의 사면 부착력을 평가하였음.
- 급경사지나 암반 사면에서의 조건을 모사하기 위하여 녹생토 타설 및 양생은 거치 각도 45°, 60°, 70°에서 각각 실시하였으며, 시험체의 크기는 (W)300 x (L)800 ㎜, 두께는 각각 30 ㎜와 20 ㎜ 로 하였음.
- 강우 환경 모사 실험은 제작된 인공 강우 장비를 이용하여 수행하였으며, 시험체 간의 상대 비교를 위해 일정 유량 (5.0ℓ/min)을 한 시간 동안 적용한 후 녹생토 사면의 붕괴 여부를 관찰하고 부착력을 평가하였음.
- 여기서 살포된 유량은 강원도 영동 지역의 기상청 강우강도 자료를 바탕으로 산정하였으며, 최근 8년간의 자료 중 시간당 최대 강우량을 사용하여 유량을 결정하였음.
- 실험은 타설 후 재령 2일에 실시하였으며, 이 때 녹생토 시험체의 산중식 경도계에 의한 토양경도는 12.5 ㎜이다.
- 강우강도 모사 실험을 위한 ECG 녹생토의 시험체 제작은 [그림 3.80]와 같으며, 강우강도 모사실험 전경은 [그림 3.81]에 나타내었음.



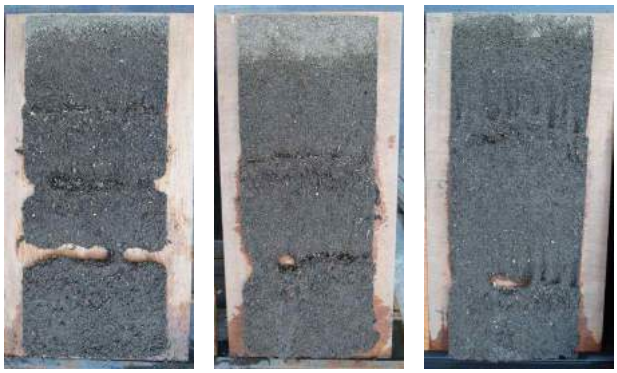
[그림 3.80] 강우강도 시험체 제작



[그림 3.81] 강우강도 모사 실험

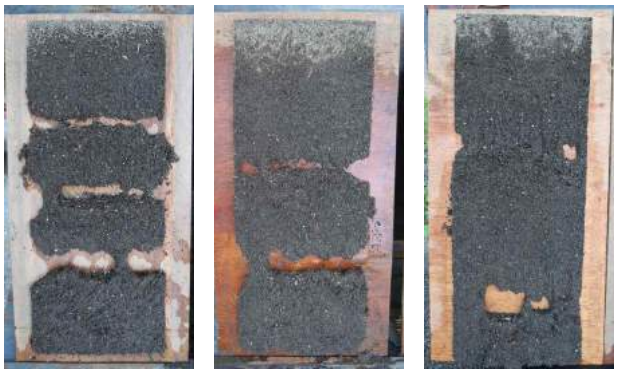
○ 실험 결과

- 강우강도 모사 실험을 실시하여 ECG 녹생토 타설 2일 후의 사면 부착력을 관찰한 결과, 모든 조건에서 사면 흘러내림 현상이 발생하지 않았으며, 일부 사면에서만 패임이 관찰됨.
- 사면이 급경사일수록 강우에 의한 손상은 감소하는 것으로 나타났음. 이는 수직 낙하하는 강우의 입사각에 대한 영향으로 각도가 커질수록 강우의 녹생토에 대한 접촉면적이 감소하므로 상대적으로 적은 손상을 주는 것으로 판단됨.
- 결과적으로 개발 타설 극초기에도 녹생토는 45° 이상의 사면에 대한 부착력을 충분히 확보하고 있는 것으로 판단됨.



45° 60° 70°

[그림 3.82] 강우강도 실험 결과 (T=30mm)



45° 60° 70°

[그림 3.83] 강우강도 실험 결과 (T=20mm)

나. ECG 녹생토의 현장 적용성 검증 및 시제품 제작

(1) 친환경 ECG 녹생토의 Mock-up 실험

(가) 실험 목적

- 친환경 ECG 녹생토를 개발하기 위해 시멘트 계열의 결합재를 개발하여 토양안정성을 확보하였으며, 식생을 위한 기능향상제(첨가제)를 첨가하여 개발 녹생토의 식생 적용성을 검토하였음.
- 따라서 친환경 ECG 녹생토의 최적 배합 설계가 완료됨에 따라 실제 뿜어붙이기 시공장비로 경사도 70도의 경사면에 직접 타설하여 장기적인 부착상태와 식생육 상태를 관찰 조사하고자 하였음.

(나) 실험 방법 및 내용

- 일반적으로 법면 녹화토의 생육 판정을 위해서는 시험 시공을 3~5월에 실시하고, 그해 가을에 최종 판정하거나, 여름철(6~8월), 가을철(9~11월) 시공시에는 이듬해 가을에 최종 판정하는 것이 녹화식물의 생육과 식생기반재의 지속성을 판단하는데 효과적임.

- 따라서 본 연구개발에서는 9월에 타설하여 이듬해 2월까지 계절 변화에 따른 식생 영향성을 검토하였으며, 시공 시 일반 녹생토와 ECG 녹생토를 동시 타설하여 상대적인 내구성과 식생육 성능을 검증하였음.
- [그림 3.84]에 나타낸 것과 같이 뿜어붙이기 공법에 사용되는 하이드로시더(hydroseeder)를 이용하여 70도의 경사면에 일반 녹생토와 개발 녹생토를 각각 30~50mm의 두께로 시공하여 식물의 생장 상태를 관찰·조사함.
- 타설 후 7일 경과 후의 시료를 채취하여 화상이미지 분석과 X-선 회절 방법으로 기초 실험을 수행하였음.
- [그림 3.85]와 같이 타설 후에는 주기적으로 토양전도도, 내부함수율, 내부 온도 등을 기록하여 D/B를 구축하고 외부 환경의 영향을 조사·분석하였음.



[그림 3.84] Mock-up 실험 전경



[그림 3.85] 토양 전도도, 내부 습도, 내부 온도 측정 전경

(다) ECG 녹생토 및 일반 녹생토의 재료 구성

- ECG 녹생토 및 일반 녹생토의 구성물 및 각 구성물의 비율은 <표 3.66>에 나타내었음.
- <표 3.67>은 ECG 녹생토의 결합재 및 첨가제의 화학조성물을 표로 나타낸 것임.
- ECG 녹생토는 <표 3.63>의 표준 현장배합 조건으로 시공하였으며, 일반 녹생토는 아래의 <표 3.66>을 바탕으로 하여 실제 녹생토 뿜어붙이기 공법의 배합 조건을 적용하였음.

<표 3.66> ECG 녹생토 및 일반 녹생토의 구성물 및 비율

General green soil		Advanced green soil (ECG green soil)	
Composition	Content(%)	Composition	Content(%)
Organic compost	30	Natural humus	70
Sewage sludge	20	Bark compost	10
Paper sludge	25	Vermiculite	15
Granite weathered soil	10	CoCo peat	5
Organic fetilizer	5	-	-
Peat	10	-	-

<표 3.67> ECG 녹생토의 결합재 및 첨가제의 화학물 조성표

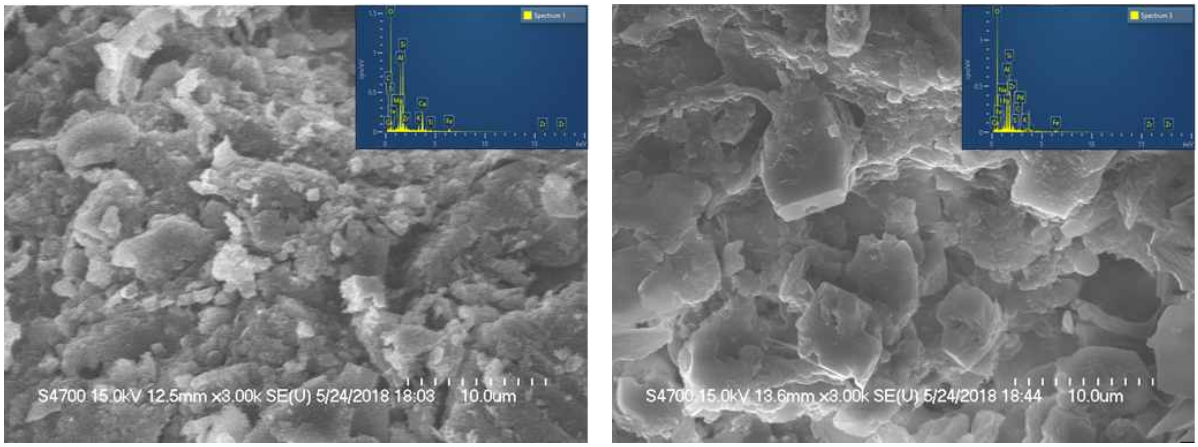
Type		Cl	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	MnO	CaO	SO_3	K_2O	Na_2O	P_2O_5	SrO	TiO_2	ZrO_2
Bider	Gypsum cement	-	0.080	0.020	0.020	-	-	49.2	50.5	0.16	0.16	0.028	0.060	-	0.004
Additive	Power Thicker	0.314	46.8	13.3	28.8	2.25	0.239	2.93	0.124	0.522	1.90	0.284	-	2.30	-
	SAP	0.175	55.6	11.4	16.4	1.20	0.343	4.57	0.490	2.91	4.80	0.310	-	1.32	-

※ SAP=Super absorbent polymer

(라) 실험 결과

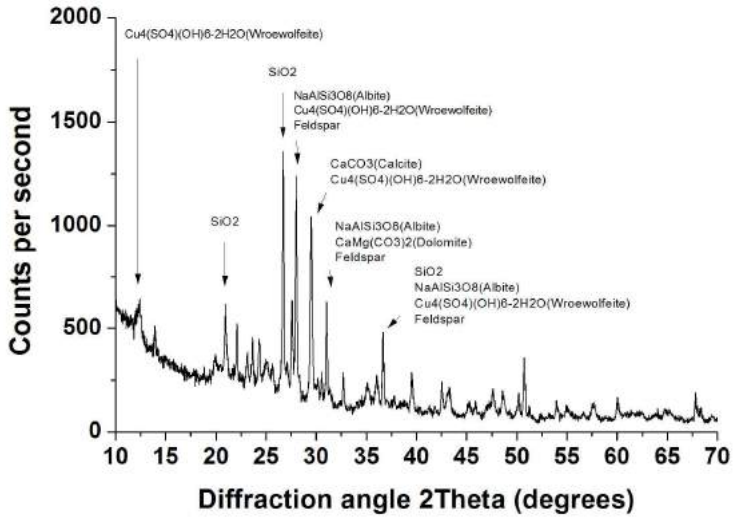
○ SEM 및 XRD 분석 결과

- 시멘트 기반의 개발 녹생토와 일반 녹생토의 입상 및 조성 변화를 조사하기 위하여 각 녹생토의 분말 샘플을 대상으로 전자주사현미경(SEM) 이미지 분석과 MiniFlex 600(Rigaku)을 이용하여 XRD분석을 수행함.
- [그림 3.86]에는 타설 후 채취한 ECG 녹생토와 일반 녹생토의 화상 이미지 분석 사진을 나타낸 것임.
- 주사전자현미경 이미지를 살펴보면, 일반 녹생토에 비해 결합재가 혼합된 ECG 녹생토의 결정 구조는 단단한 것을 시각적으로 확인할 수 있음.
- [그림 3.87]은 일반 녹생토와 ECG 녹생토의 X-선 회절 분석결과를 나타낸 것임. 석고계 시멘트가 결합재로 혼합된 ECG 녹생토는 석고 성분의 결정 피크치가 높게 나타났으며, 실리카의 피크치도 높게 나타나 시공 후에도 혼합된 재료의 기능이 잘 발휘될 수 있다고 판단됨.

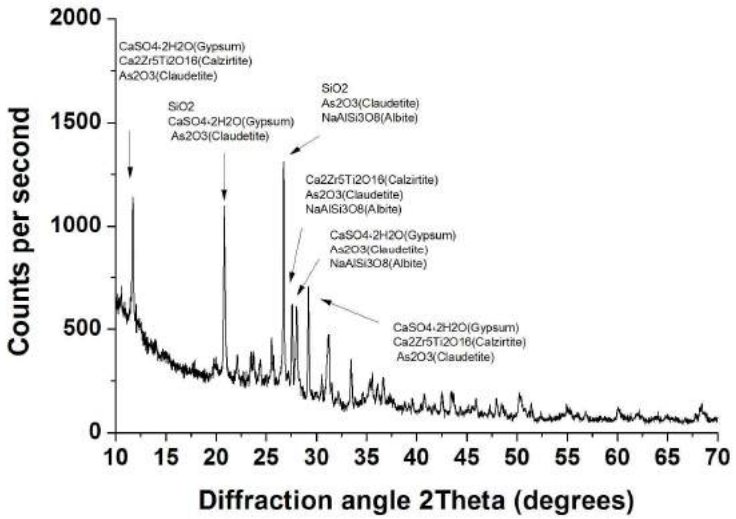


(a) 일반 녹생토 (b) ECG 녹생토

[그림 3.86] 일반 녹생토와 ECG 녹생토의 SEM 이미지 (300배)



(a) 일반 녹생토

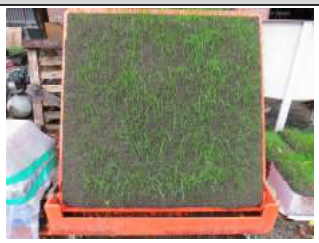
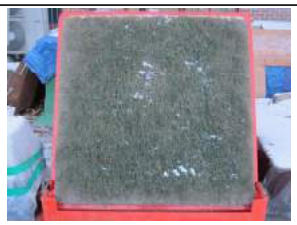


(b) ECG 녹생토

[그림 3.87] 일반 녹생토와 ECG 녹생토의 XRD 그래프

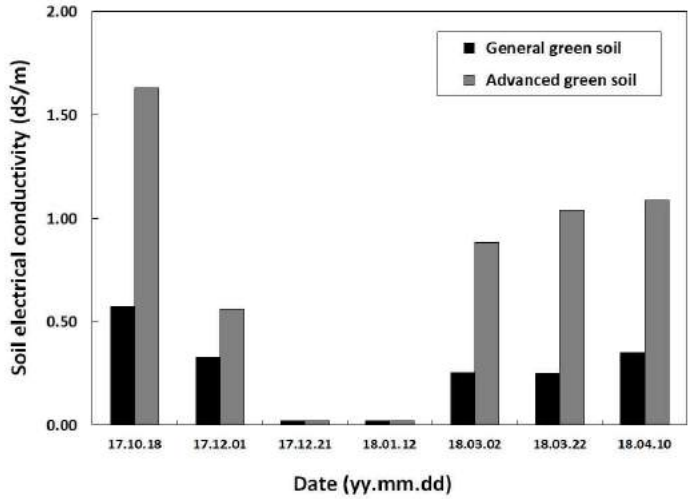
○ 토양 특성 결과

- 다음의 [그림 3.88]에는 일반 녹생토와 ECG 녹생토의 Mock-up 실험의 식생 변화를 사진 촬영으로 기록한 것임.
- [그림 3.88]의 좌측은 일반 녹생토의 변화를 우측은 ECG 녹생토의 변화를 관찰 기록한 것이며, ECG 녹생토(1×1m)는 피복 정도를 파악하기 위해 가로 1m, 세로 1m의 Mock-up 시험대의 식생 변화를 기록한 것임.

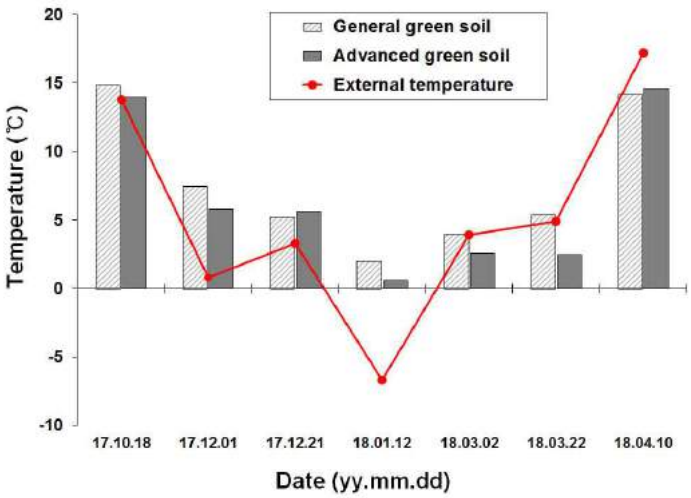
일반 녹생토(좌)	ECG 녹생토(우)	ECG 녹생토 (1m×1m)
 14일 경과 (17.09.27)		 29일 경과 (17.10.11)
 35일 경과 (17.10.18)		 36일 경과 (17.10.18)
 79일 경과 (17.12.01)		 80일 경과 (17.12.01)
 166일 경과 (18.02.26)		 133일 경과 (18.01.23)
 190일 경과후 (18.03.22)		 191일 경과후 (18.03.22)
 239일 경과 (18.05.10)		 239일 경과 (18.05.10)

[그림 3.88] ECG 녹생토와 일반 녹생토의 식생 관찰 사진

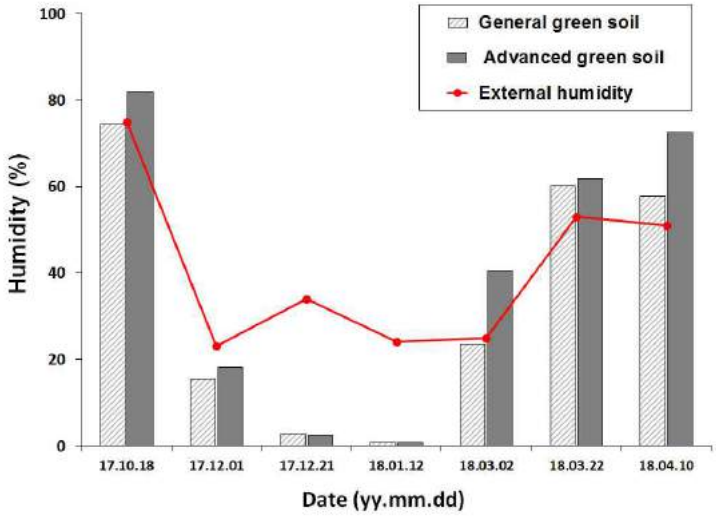
- 일반 녹생토의 경우 타설 14일 경과후 부착면에서 흘러내려 식생이 진행되었으며, ECG 녹생토의 경우에는 239일 경과 후에도 사면에 안정적으로 부착되어 식물의 성장과 활착이 원활이 이루어지는 것을 확인할 수 있었음.
- 뿐만 아니라, 가을철(9월)에 타설 한 이후 동절기를 거치며 식물의 생장이 늦춰졌으나 3월 이후부터는 식생 복원이 이루어지는 것을 확인하였음.
- 한편, 다음의 [그림 3.89]에는 Mock-up 실험의 통해 기록한 일반 녹생토와 ECG 녹생토의 토양전도도 변화를 기록한 것임. 사진에서도 확인할 수 있는 것과 같이 타설 초기에는 일반 녹생토의 종자 발아 상태가 빨리 진행되며 토양 전도도 또한 낮은 값을 나타냄. 그러나 일정 시간이 경과한 후에는 ECG 녹생토의 식물 생장 속도가 빨라지는 효과를 나타내었음.
- 일반 녹생토에 비해 ECG 녹생토의 토양전도도 값이 다소 높게 나타난 것은 내부의 기능성 첨가제의 영향으로 판단할 수 있으며, 기후나 계절의 영향으로 토양전도도 값의 변화를 보이는 것으로 사료됨.
- [그림 3.90]은 외기 온도에 따른 녹생토의 내부 온도 변화를 기록하여 나타낸 것임. 외기 온도가 높아지거나 낮아지는 변화에 따라 녹생토 내부의 온도도 유사한 변화를 나타내는 것을 알 수 있으며, 5℃ 이하의 저온에서는 ECG 녹생토 내부의 온도가 높은 것으로 나타남.
- [그림 3.91]은 외부의 상대습도 변화와 일반 녹생토 및 ECG 녹생토의 내부 습도 변화를 기록한 것임. 일반 녹생토에 비해 보습제와 고흡수성 폴리머가 혼합된 ECG 녹생토의 내부 습도가 높게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이는 건조한 기후 조건에서도 식생 환경을 유지하는데 유리한 역할을 할 것으로 기대할 수 있음.



[그림 3.89] ECG 녹생토와 일반 녹생토의 토양전도도 변화



[그림 3.90] ECG 녹생토와 일반 녹생토의 온도 변화



[그림 3.91] ECG 녹생토와 일반 녹생토의 내부 습도 변화

(2) ECG 녹생토의 시제품 제작

○ 시제품 범위

- 녹생토 재료의 물성시험과 성능인증을 통하여 시제품 개발의 범위를 선정하였으며, Mock-up 실험을 통해 최종 검증을 거친 후 시제품 출시 및 사업화를 진행하였음.

○ 일반 사항

- 공동연구기관(기업)의 공장 생산시설을 활용하여 친환경 ECG 녹생토 시제품을 제작 및 출시하였음.
- ECG 녹생토의 물성시험과 성능인증을 통하여, No.3, No.4, No.5 배합을 선정하였으며, 각 제품명을 No.3를 JA-T100, No.4를 JA-T200, No.5를 JA-T300으로 칭하였음.
- No.3 배합은 반수석고 시멘트 성분의 결합재이며, No.4와 No.5의 배합은 마이크로계와 슬래그계 시멘트 성분의 결합재를 주재료로 하고 있음.
- 결합재, 경화재 분말 증점제, 고흡수성 폴리머, pH 조절제는 분말형 첨가제로 사용하였으며, 친환경 보습제는 폴리카본산계 고분자 액상 가소제인 ECG(Eco Clean Grout)를 첨가제 혼합비율에 따라 액상형 첨가제로 사용하였음.
- 각 친환경 녹생토 시제품의 첨가제 혼합비율을 <표 3.68>에 나타내었음.

<표 3.68> ECG 녹생토 시제품별 구성비율

	혼합비율 (%)								
구분	결합재 Type-1	결합재 Type-2	결합재 Type-3	경화재	분말 증점제	고흡수성 폴리머(1)	고흡수성 폴리머(2)	친환경 보습제	pH조절제
JA-T100	-	-	46	35	5	-	1	10	3
JA-T200	48	-	-	33	5	-	1	10	3
JA-T300	48	-	-	33	5	1	-	10	3
ECG-1000	친환경 보습제								



[그림 3.92] 시제품 생산 공정

○ 시제품 보고서

- 각 시제품에 관한 요약 정보 및 보고서는 다음과 같음.

ECG-1000 시제품 보고서

항 목	내 용
(1) 시제품명	ECG-1000(녹생토용)
(2) 출시/제작일	2017년 12월 20일
(3) 생산장소	(주)제이엔티아이엔씨 김제공장
(4) 이용분야	친환경 녹생토용 첨가제(보습제)
(5) 시제품 제작업체명	(주)제이엔티아이엔씨
(6) 소유기관명	(주)제이엔티아이엔씨
(7) 시제품 주요내용	사면녹화용 녹생토 첨가제(보습제)
(8) 시제품 관련사진	
(9) 증빙자료 첨부	

JA-T100 시제품 보고서

항 목	내 용
(1) 시제품명	JA-T100
(2) 출시/제작일	2017년 12월 20일
(3) 생산장소	(주)제이엔티아이엔씨 김제공장
(4) 이용분야	친환경 녹생토용 첨가제
(5) 시제품 제작업체명	(주)제이엔티아이엔씨
(6) 소유기관명	(주)제이엔티아이엔씨
(7) 시제품 주요내용	사면녹화용 ECG 녹생토 첨가제(Type1)
(8) 시제품 관련사진	
(9) 증빙자료 첨부	

JA-T200 시제품 보고서

항 목	내 용
(1) 시제품명	JA-T200
(2) 출시/제작일	2017년 12월 20일
(3) 생산장소	(주)제이엔티아이엔씨 김제공장
(4) 이용분야	친환경 녹생토용 첨가제
(5) 시제품 제작업체명	(주)제이엔티아이엔씨
(6) 소유기관명	(주)제이엔티아이엔씨
(7) 시제품 주요내용	사면녹화용 녹생토 첨가제(Type2)
(8) 시제품 관련사진	
(9) 증빙자료 첨부	

JA-T300 시제품 보고서

항 목	내 용
(1) 시제품명	JA-T300
(2) 출시/제작일	2017년 12월 20일
(3) 생산장소	(주)제이엔티아이엔씨 김제공장
(4) 이용분야	친환경 녹생토용 첨가제
(5) 시제품 제작업체명	(주)제이엔티아이엔씨
(6) 소유기관명	(주)제이엔티아이엔씨
(7) 시제품 주요내용	사면녹화용 녹생토 첨가제(Type3)
(8) 시제품 관련사진	
(9) 증빙자료 첨부	

다. ECG 녹생토의 시험 시공 및 시방서(안)

(1) 친환경 ECG 녹생토의 시험 시공

(가) 시험 시공 개요

- 시험 시공은 2회에 걸쳐 실시하였으며, 연구개발을 통해 최종 도출된 현장 표준 배합의 ECG 녹생토와 일반 녹생토를 구간을 나누어 시공하였음.
- ECG 녹생토의 결합재 및 첨가제는 시제품 출시 제품을 사용하였으며, 식생기반재는 국내산 천연부엽토로 하였음.
- ECG 녹생토의 현장 표준 배합으로 각 재료의 사전 배합을 실시한 후 뿜어붙이기 방법에 의해 시공함.

(나) 시험 시공 방법

○ 타설 방법

- 녹생토 재료와 종자를 사전 혼합 후 이송장비(대형콤프레샤)를 이용하여 압송하고 토출부에서 공기압에 의해 자재를 비탈면에 직접 타설하는 뿜어붙이기 공법으로 시공함.
- 사면의 구간을 나누어 ECG 녹생토와 일반 녹생토를 구분하여 타설한 후 타설 주변에는 시드스프레이 공법으로 타설하여 각 공법과 재료의 시공 후 식생성을 비교하였음.
- 정수는 식물의 생육에 유해한 화학약품, 중금속 등에 오염되지 않고 불순물에 없는 자연수를 사용하였음.

○ 현장 조건

- 시험 시공의 현장 조건은 아래의 표와 같으며, 1차 타설 시에는 부대 시설의 설치를 배제하고 직접 타설하였으며, 2차 타설 시에는 일반 녹생토 공법과 동일하게 코어네트를 설치한 후 타설하였음.

<표 3.69> 시험 시공 조건

구분	현장 조건
장소	강원도 평창군 대관령면
일시	1차 2018. 4. 12 2차 2018. 4. 30
기온	1차 최고 16℃ (평균 9.3℃) 2차 최고 22.8℃ (평균14.4℃)
사면 경사각	60° 이상
특이사항	1차 타설 : 사면에 직접 타설, 2차 타설 : 코어네트 설치

(다) 시험 시공

○ 1차 시험 시공



타설 비탈면 현장 답사



타설 비탈면 현장 답사



비탈면 정리



사면 정리 후 전경



ECG 녹생토 재료 준비



발전기 및 크레인



재료 운반 및 투입



재료 혼합 준비 과정



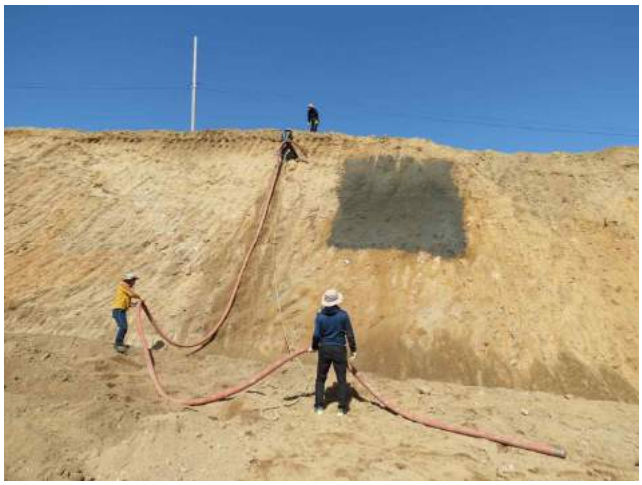
녹생토 타설 장비



1차 타설 전경



녹생토 이송 펌프 연결



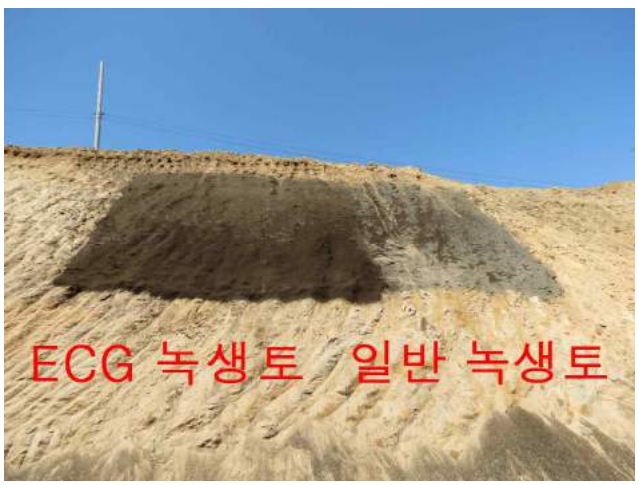
일반 녹생토 타설



ECG 녹생토 타설



ECG 녹생토 타설 후



녹생토 타설 완료 후



주변 시드스프레이 후 전경

○ 2차 시험 시공



씨드스프레이 장비



아리바 장비



대형 콤프레샤 및 기중기



녹생토 재료 투입



2차 시험 타설 사면



핀 고정



네트 정리



코어 네트 설치 후 전경



주변 사면 시드스프레이 작업



2차 타설 전경



ECG 녹생토 타설



구획 정리



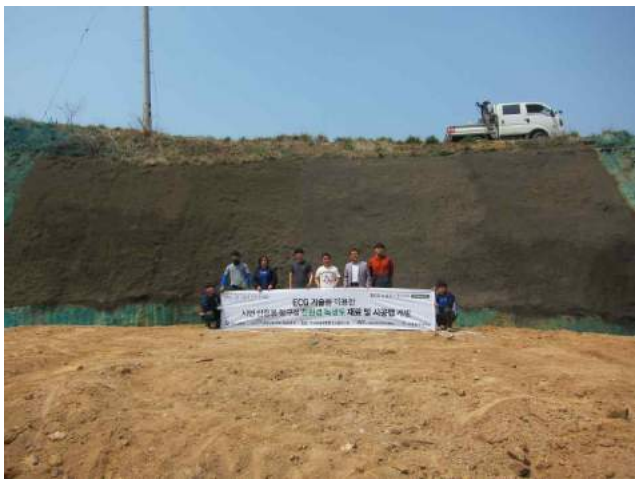
ECG 녹생토 타설 후



일반 녹생토 타설 전경



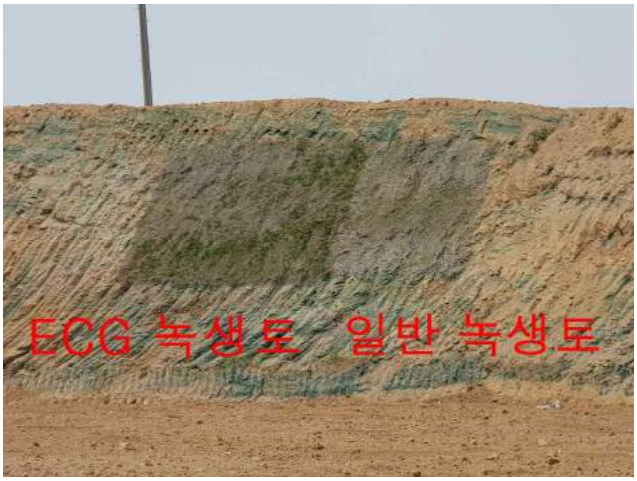
2차 시험 시공 전경



2차 시험 시공 완료

○ 시공 후 식생 현황

- 일반 녹생토는 패임 현상이 발생하였으며, 일정 기간이 경과한 후에도 10%이하의 피복율을 보임.
- 반면, ECG 녹생토는 사면에서의 탈락된 부분이 없이 전체적으로 100%의 식생 피복 상태를 보임.
- 주변의 씨드스프레이 공법으로 정리된 구획에는 식생이 전혀 조성되지 않은 것을 확인함.



34일 경과후 (2018.05.15)


34일 경과후 (2018.05.15)



86일 경과후 (2018.07.06)


86일 경과후 (2018.07.06)

(2) 친환경 ECG 녹생토의 시방서(안)

○ 재료의 물성 실험과 성능 검증을 거쳐 도출된 결과와 Mock-up 실험 및 현장 시험 시공으로 정리된 결과를 토대로 다음과 같이 ECG 녹생토의 시공방법에 대한 시방서(안)를 작성하였음.

제 1 장 친환경 녹생토 개요

1.1 친환경 녹생토 시방서

본 시방서는 사회간접자본(Social Overhead Capital) 확충 및 경제발전계획에 의한 도로 확·포장공사 및 신도시 건설 등 인위적으로 발생되는 비탈면의 자연경관 및 생태계를 복원하고, SOC에 대한 안전성과 쾌적함을 제공하며, 항구적인 성능 및 주변 생태계의 심미성을 훼손하지 않는 친환경적인 암반사면 안정용 식생공법에 대한 표준(안)을 규정한다.

1.2 적용범위

1) 본 시방서는 친환경 ECG 녹생토를 시공함에 있어서 적용하여야 할 녹생토의 재료 및 성능과 표준 시공법을 제시한다.
2) 본 시방서에 기재되어 있지 않은 내용은 해당 공사의 시방서 및 설계도서에 따르며, 특별히 기재되지 않은 사항은 조경공사 표준시방서를 준용한다.

1.3 적용방법

1) 시방서 간의 상호모순이 있거나, 분명하지 않은 부분이 있을 경우, 감독관(또는 감리원)이 다음과 같은 순위에 따라 해석 · 조정한다.
   ① 계약문서
   가. 계약서
   나. 설계도서(공사시방서, 설계도면, 현장설명서), 유의서, 공사계약일반조건, 공사계약특수조건, 산출내역서
   ② 표준시방서 및 전문시방서
2) 본 시방서의 총칙과 총칙 이외의 시방내용은 간에 상호모순이 있을 경우에는 총칙 이외의 시방에서 명시한 내용을 우선 적용한다.

1.4 적용상의 주의

1) 본 시방서의 적용은 시방서에서 의도하는 뜻을 정확하게 파악하여 원활한 공사가 되도록 활용되어야 한다.
2) 감독자(또는 감리원)는 대한민국 관련 법규의 규정과 안전을 우선하여 준수하여야 하며, 현장의 자연조건과 시공조건 등을 고려하여 시공을 수행하여야 한다.

1.5 친환경 녹생토 재료

1) 암반사면 안정성 확보를 위하여 친환경 인공토양재료를 사용하여 식생 발아 및 성장에 적합한 환경을 제공하여야 한다.
2) 암반과의 부착강도를 확보하여 항구적인 성능을 발현하여야 한다.

- 식생기반재

구 분	혼합종자구분		식물명
녹생토	t=5	야생화	블루그라스, 페러니얼라이스라스, 켄터키, 크리핑레드훼스큐, 톨훼스큐류
		한지형잔디	
	t=7	야생화/관목류	블루그라스, 라이스라스, 오챠드그라스, 크리핑레드훼스큐, 톨훼스큐류
		한지형잔디	
	t=10	야생화/관목류	블루그라스, 라이스라스, 캔터키, 크리핑레드훼스큐, 톨훼스큐류
		한지형잔디	

- 토양첨가제 및 성능개선제

혼화재	배합비	특성과 효과
성능개선제	15~20%	본 성능개선재는 다량의 미생물과 6종류의 미량원소, 4가지의 효소로 보수력과 보비력이 높고 점력으로 인해 토양의 결속력을 개선함
토양첨가제	0.1~0.5%	장기간 습도조절 효과가 매우 뛰어나며 초기 식생 정착 유도를 담당 가뭄시 식생의 수분 공급을 통해 성장속도 지연 방지와 균열 및 크랙을 예방하는 효과
J - fiber	20%	토양의 습도조절효과 및 미생물의 배양 등의 역할을 수행
토양안정제	20%	주재를 비롯한 다양한 재료들에 점성을 가해 재료 분리를 막고, 우수에 의한 침식/균열 방지
천연비료	20%	식생의 초기 생장에 필요한 3대 영양소 및 미량원소를 공급
식생 인공토양	15~20%	천연부엽토를 바탕으로 제작하여 미생물이 풍부하며, 시공 이후 생태계에 부담을 주지 않는 친환경적인 인공토양으로, 식생의 생장 및 보호
합계	100%	

제 2 장 지반조사

2.1 일반사항

지반 조사는 시공단계에서 파괴를 유발시킬 수 있는 잠재적 요인을 찾거나 시공 중 비탈면 파괴가 발생한 경우에 실시한다. 보완조사는 표면보호공법 등의 시공 이전에 비탈면 표면을 조사하여 설계를 보완하며, 모든 지반조사 결과는 향후 비탈면 유지관리를 위한 자료로서 보관하여야 한다.

2.2 보완조사

1) 시공 전 조사는 설계단계에서 용지문제, 법적인 문제, 지형여건상 문제로 실시하지 못한 구간이나 경제적 이유로 최소 수량만 실시한 대규모 비탈면에 대해 시공 중 접근로를 개설하고 상세조사를 실시하여 실제 비탈면을 재설계 및 검토한다.
2) 시공 후 조사는 비탈면 녹화 등 표면보호공의 시공 이전에 노출되어 있는 비탈면 표면에 대한 암질상태와 절리분포기록으로부터 비탈면의 안정성을 재검토하는 것으로서 주로 비탈면 지표지질조사에 중점을 두며, 필요한 경우에 추가적인 시추조사 및 현장시험(공내시험) 및 물리탐사, 흙과 암석에 대한 물리, 역학시험을 통해 안정성 해석에 필요한 검토를 실시하여 설계를 보완한다.
3) (1), (2)항에 의한 보완조사가 발주자의 사유에 의해 발생한 경우에는 이에 대한 비용을 계산하여야 한다.

2.3 시공 중 지반조사

1) 시공 중 지반조사는 비탈면의 검토를 위해 시추조사, 물리탐사, 공내시험, 현장시험, 흙 및 암석에 대한 물리, 역학시험을 수행하며 필요 시 산성배수 발생여부 등을 조사하여, 지반분야 특급기술자의 의견을 종합하여 감독자(또는 감리원)가 결과를 판단한다.
2) 시공단계에서의 지반조사는 비탈면 지표지질조사, 시추조사, 물리탐사 및 비탈면 안정해석을 실시할 수 있으며, 감독자(또는 감리원)은 지반분야 특급기술자의 의견에 따라 적절한 조사방법에 의해 지반을 조사하여, 시공단계에서 발생한 문제에 대한 안정화 조치를 실시한다.

3) 비탈면 지표지질조사

① 지형, 지반조사, 대상비탈면의 공학적인 특성, 지반의 물성파악, 지하수상황, 식생상태, 과거 붕괴 여부 및 약한 암질로 이루어진 지역인지를 파악하기 위하여 실시한다.

② 비탈면규모가 10m 이상 비탈면에 대해서는 반드시 지표지질조사를 실시하고, 10m 미만 비탈면 중에서 붕괴요인을 지닌 지질구조로 이루어진 비탈면 및 지질구조상 문제가 발생할 가능성이 있는 비탈면에 대해서는 선택적으로 실시하여야 한다.

③ 지반조사 결과 단층 및 파쇄대 등 잠재불연속면의 발달로 경사 및 보강 보호공법의 적용이 불가능해진 경우 불안정 비탈면에 대한 조사결과, 안정성 분석, 대책공법, 검토서 등을 작성하여 감독자 (또는 감리원)의 승인을 얻은 후 변경할 수 있다. 획득한 자료는 비탈면 현황도에 반영하여야 한다.

4) 시추조사

① 일반적으로 시공초기에는 대상 비탈면의 지층 분포와 구조적 연약대의 분포범위를 확인하기 위해 실시하며, 이를 통해 지질의 상태, 지반상태 및 지하수상황을 면밀히 파악하여야 한다.

② 깎기비탈면 높이 20m 미만이면 비탈면 구간에 최소 1개소를 실시하되 연장이 긴 경우, 200m 간격으로 추가하며 시추는 대표적인 비탈면 단면에 대해 비탈면 경계부 위치에서 부지계획면 아래 2m 이상 실시한다.

③ 깎기비탈면 높이 20m 이상이면 비탈면 구간에 최소 2개소를 실시하되 연장이 긴 경우, 200m 간격으로 추가하며 대표적인 비탈면 단면에 대해 비탈면 경계부와 비탈면 중간부에서 부지계획면 아래 2m 이상 시추한다. 비탈면 중간부 시추는 경암 노출시 경암 2m 이상 시추한다.

④ 쌓기비탈면은 쌓기구간 내 대표단면 또는 구조물 위치에서 최소 1 회 실시하며 쌓기 연장 250 ± 50 m 마다 1회의 시추 추가한다. 시추는 지지층의 종류를 판단할 수 있는 깊이까지 실시하며 시추 규격은 일반적으로 NX로 실시한다.

⑤ 불안정한 요인을 갖는 지형, 지질에 해당하는 경우에는 추가적으로 실시할 수 있다.

5) 물리탐사

① 물리탐사는 지반의 물리특성을 조사하여 지층의 연속적인 물리적특성과 이상구간 등을 파악하기 위하여 실시한다.

② 비탈면의 지층분포 특성 및 지질이상대 조사를 위해 실시하는 물리탐사 방법은 탄성파탐사, 전기탐사 등이 있다. 비탈면 내진설계의 필요시에는 지반 동적특성을 평가하기 위하여 크로스홀시험, 다운홀 시험이나 MASW, SASW 탐사 등을 수행한다.

③ 깎기비탈면에서의 물리탐사는 깎기높이 20m 이상, 연장 200m 이상 구간에서 실시하며, 대상비탈면의 종·횡단면의 상태를 확인하기 위한 측선을 설정한다. 또한 규모와 무관하게 불안정 요인을 갖는 지형, 지질에 해당하는 경우에도 실시한다.

④ 쌓기비탈면에서는 일반적으로 실시하지 않으나 원지반의 지하공동, 연약지반 분포, 지질구조선의 분포 등을 파악하기 위하여 필요한 경우에 실시한다.

6) 시공 중 비탈면 안정해석

① 조사방법은 기본적으로 깎기면 현황도 작성(face mapping)을 실시하고, 위험요인이 있는 경우에는 지형조건, 비탈면규모, 지질상태, 토질 및 암반에 따라 본 조사의 방법을 조합하여 실시한다.

② 조사빈도는 일반 깎기비탈면(연직높이 20m 미만)은 깎기가 완료되는 시점 전에 1회 이상 실시하고, 대규모 깎기비탈면(연직높이 20m 이상)은 중간정도 높이(약 20m 내외)까지 깎았을 때 1회, 깎기가 완료되는 시점까지 1회 이상을 실시한다.

③ 비탈면 안정해석은 비탈면 지표지질조사에서 명시한 동일한 자격을 가진 기술자가 실시하여야 한다.

④ 토층 및 풍화암층의 비탈면 안정성 검토는 수치해석, 한계평형해석을 이용하여 안정해석을 하여야 하며 한계평형해석을 이용하여 안정해석을 수행할 경우, 강우를 고려한 침투해석, 불포화 흐름 해석 등을 연계하여 수행할 수 있다.

⑤ 붕괴요인을 가진 비탈면은 감독자(또는 감리원)의 승인을 받아 적절한 경사완화, 보강공법 등을 적용하여야 한다.

제 3 장 친환경 녹생토 시공

3.1 시공 일반사항

1) 풍화침식으로 지반면과 유리되어 흘러내리거나, 소단분에 퇴적된 토사와 얕게 박히거나 걸친 돌 등을 제거한다.
2) 기초공사를 필요로 하는 비탈면은 지표면을 잘 정리하여 초보호재료의 부착을 용이하게 한다.
3) 비탈면 상 · 하단부는 주변 자연경관과의 조화와 동결 및 침식의 방지를 위하여 예각을 피해 자연스러운 형태로 마무리한다.
4) 시공된 면이 우수로 인한 침식, 붕괴 등 손실을 가져올 우려가 있는 경우에는 비닐 등으로 덮어서 보호한다.

3.2 안전관리 사항

1) 사용되는 장비의 접지압에 충분히 견딜 수 있도록 미리 원지반의 정비를 하여야 한다. 원지반이 연약할 경우에는 안전성을 위한 특별한 대책이 강구되어야 한다.
2) 작업 전 안전교육을 실시하고, 안전에 이상이 없도록 조치를 취한 후, 작업에 임하여야 한다.
3) 안전한 시공을 위해 절개면 상. 하부 동시 작업은 시행하지 않으며, 작업원의 안전에 필요한 적당한 작업공간을 확보하여야 한다.
4) 구조물의 안전에 중요한 영향을 미치는 시험종목에 대하여는 감독자(또는 감리원) 입회하에 품질시험 및 검사를 시행하여야 한다.

3.3 시공 전 검토사항

1) 비탈면의 토질, 토양, 경사 등이 복원녹화의 목표로 설정된 녹생토 생육에 적합하지 못하면 식물의 생육환경을 개선시키거나 생육기반의 안정이 선행되어야 한다.
2) 표면수 또는 용수에 의하여 비탈면이 세굴되거나 붕괴될 우려가 있는 곳은 비탈어깨배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝 배수구, 암거, 유공관 등의 배수시설을 계획하여야 한다.
3) 종자, 비료 등은 건조하고 서늘한 곳에 보관하여야 하며, 비탈면 보조자재와 보호철물류 및 기타 식생자재는 통풍이 잘되고 비나 눈을 피할 수 있는 곳에 자재별로 구분하여 보관하여야 한다.

3.3 시공단계

1) 면정리 및 고르기

① 풍화침식으로 지반면과 유리되어 흘러내리거나, 소단부에 퇴적된 토사와 얕게 박히거나 걸친 돌 등을 제거하고, 주변 자연환경과 조화되는 녹화를 위하여 매끈하게 정리하지 않고 굴곡 있는 암반을 조성한다.

② 기초공사를 필요로 하는 비탈면은 지표면을 잘 정리하여 깍기, 발파 등에 의한 뜬돌 등을 제거하여 기초보호재료의 부착을 용이하 게 한다.

③ 비탈면 상·하단부는 주변 자연경관과의 조화와 동결 및 침식의 방지를 위하여 예각을 피해 자연스러운 형태로 마무리한다.

④ 시공된 면이 우수로 인한 침식, 붕괴 등 손실을 가져올 우려가 있는 경우에는 비닐 등으로 덮어서 보호한다.

2) 비탈면 배수공사

① 표면수 또는 용수에 의하여 비탈면이 세굴되어 유출되거나 붕괴의 우려가 있는 곳에서는 비탈어깨배수구, 소단배수구, 종배수구, 비탈끝배수구, 암거 유공관, 배수판 등의 배수시설을 설치한다.

② 소단부는 암반비탈면이라도 생육기반재가 침식되지 않도록 횡단기울기를 두거나 배수구를 설치한다.

③ 습한 상태의 비탈면은 생육기반이 항상 흡수 포화되어 병충해 발생이 우려되고, 식물생육이 곤란하므로 종·횡단배수구 및 배수매트, 배수망, 배수판 등을 설치하여 집수처리 한다.

④ 용수의 처리를 위해 지표면에 배수공을 설치하여야 하며, 녹생토 공사를 위해 생육기반과 분리된 배수층을 조성하여야 한다.

⑤ 배수시설의 설치는 토목공사 표준일반시방서 해당 항목 및 공사시방서에 따른다.

3) 앵커핀 및 착지핀 설치를 위한 홀 천공 작업

① 비탈면에 생육기반재의 안정된 부착을 도모하기 위해 말뚝, 철근 등의 앵커핀을 3~4개/㎡ 정도로 비탈면에 연직방향으로 충분히 깊이 박아야 한다.

② 비탈면에 암반이 있을 경우 암반의 절리방향 및 경사를 조사한 후 앵커심 각도를 조정하여 설치하여야 한다.

4) 부착망 설치 작업

① 훼손된 비탈면의 생태적, 경관적 복원 및 보전을 위하여 지속적으로 식물생육이 건강하게 이루어질 수 있는 안정적인 생육환경을 조성하여야 한다.

② 침식방지망을 사용하여 비탈면의 지표면침식방지와 종자유실방지를 통해, 발아촉진과 활착이 되도록 시공할 수 한다.

③ 종자뿜어붙이기를 시공한 뒤에 시공비탈면 위에서 아래로 굴려 비탈면 모양대로 자연스럽게 펼치도록 하고, 방지망이 팽팽해지지 않도록 주의하여 지표면과 완전히 밀착되도록 한다. 또한, 방지망은 15±5 ㎝ 정도 겹치게 설치하며, 횡으로 고정 줄을 설치하고, 1㎡당 1개 이상의 고정핀을 박아서 고정한다.

④ 비탈면에 불안정한 암괴나 돌 등이 낙석이 되어도 비탈면과 망사이로 미끄러지도록 하거나, 뜬 돌을 눌러주어 식물의 생육기반이 보전되도록 시공한다.

⑤ 고정핀과 종 · 횡의 고정줄은 충분히 설치하고 고정한다.

5) 녹생토 취부작업

① 비탈면에 일정한 품질로 제조된 생육기반재에 종자를 섞어 조기에 경관적인 녹화와 생태적 복원 및 보전을 도모하도록 시공한다.

② 비탈면이 특히 건조하거나 이물질이 붙어 있을 때에는 살수를 시행한 후 시공한다.

③ 암반비탈면을 시공할 때에는 전면피복녹화를 지양하고 균열과 요철에 따른 자연스런 부분녹화를 시행하여 주변식생과 조화를 이룰 수 있도록 한다.

④ 암반의 균열간격이 클수록 시공두께를 두껍게 조절한다.

⑤ 암반의 돌출부 및 수직, 역경사비탈면은 녹화시공을 지양하고 움푹 파인 곳을 집중적으로 시공한다.

⑥ 면정리가 완료된 상태에서 부착망은 낙석을 방지하고, 녹생토의 부착을 용이하도록 설치하되 앵커핀, 철망, 철선, 착지핀 등을 이용하여 결속 작업을 견고하게 하여야 한다.

⑦ 시공 후 검사는 500㎡당 1개소 이상의 측정구를 설치하여 조사하며, 측정이 곤란할 경우에는 시공투입량으로 대신할 수 있다.

⑧ 생육판정은 피복률과 성립본수로 하되 피복률은 경사도 및 종자배합에 따라 조정하여야 하며, 55° 이상은 60% 이상, 45~55° 는 80% 이상, 45° 미만은 100%로 하고, 목본류를 배합할 때에는 각 기준의 70%를 적용한다. 또한, 성립본수는 초본류만 배합할때에는 300본/㎡ 이상으로 하며, 목본류를 배합할 때에는 초본류와 목본류의 합계가 200본/㎡ 이상으로 한다.

⑨ 생육판정시기는 시공 후 180일 후를 기준으로 하는 것을 원칙으로 하되 목본종 위주로 녹화한 경우 잠재발아를 고려하여 기준의 80% 를 적용하여 판단한다.

⑩ 녹생토의 요구성능 및 시험조건은 다음 표와 같다.

구분	단위	목표	시험조건
압축강도	MPa	1.0 이상	KS L ISO 679 또는 KS F 2328
경도	mm	18 ~ 23	산중식 토양경도계
함수율	%	30 이상	-
pH	pH	10 이하	KS M 0011 또는 KS M ISO 10390
중금속 용출	-	별도관리지역(가) 기준 만족	KS I 3217
씨앗 발아율	%	80 이상	KS I ISO 17126
식생 성장율	%	30 이상	-

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

○ 본 연구개발의 연차별 개발 내용 및 수행진도는 다음의 <표 4.1>과 같음.

<표 4.1> 연차별 개발 내용 및 진도율

개발 내용 \ 구분			연구개발기간 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	진도(%)
1차년도	ECG 기술을 이용한 사면 안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발	국내외 관련 연구 및 개발 사례 조사	■												100
		계절별 최적 씨앗 조사		■	■										100
		알칼리 저하 및 중금속 용출 방지 기술					■	■	■	■	■	■	■	■	100
	ECG 기술을 이용한 친환경 녹생토 재료 개발	저알칼리형 경화재 개발	■	■	■	■	■								100
		친환경 강도 촉진제 개발					■	■	■	■	■	■			100
		원료 물질의 최적 혼합 비율 도출									■	■	■	■	100
	친환경 광물계 식생용 숏크리트의 성능 향상 연구	원료 물질 배합 D/B 구축	■	■	■	■	■								100
		물리적 성능 및 토양 재료 정수 분석					■	■	■	■	■				100
		기초 배합 내구성능 검증 실험							■	■	■	■	■	■	100
2차년도	ECG 기술을 이용한 사면 안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발	종자 발아율 검증 실험	■	■	■	■	■	■							100
		식생 촉진 실험 및 생장율 검증				■	■	■	■	■	■				100
		외부 환경 노출 식생 실험					■	■	■	■	■	■	■	■	100
	ECG 기술을 이용한 친환경 녹생토 재료 개발	녹생토의 물리적 성능 평가	■	■	■	■									100
		녹생토의 화학적 성능 평가				■	■	■	■	■	■				100
		녹생토의 최적배합 도출							■	■	■	■	■	■	100
	친환경 광물계 식생용 숏크리트의 성능 향상 연구	녹생토의 경도 및 토양정수 평가	■	■	■	■	■	■							100
		녹생토의 장기 성능 평가					■	■	■	■	■				100
		녹생토의 식생 영향성 평가		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	100
3차년도	ECG 기술을 이용한 사면 안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발	ECG 녹생토의 환경 영향성 검증	■	■	■	■									100
		Mock-up 실험 및 장기 식생 검증		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	100
		ECG 녹생토의 시공 매뉴얼									■	■	■	■	100
	ECG 기술을 이용한 친환경 녹생토 재료 개발	ECG 녹생토 시제품 제작	■	■	■	■	■	■							100
		현장적용 시험시공							■	■	■	■			100
		ECG 녹생토 사업화 및 제품 홍보											■	■	100
	친환경 광물계 식생용 숏크리트의 성능 향상 연구	ECG 녹생토의 역학성능 및 내구성 검증	■	■	■	■									100
		친환경 ECG 녹생토의 식생률 검토		■	■	■	■	■	■	■	■	■			100
		ECG 녹생토 현장 표준 배합 도출							■	■	■	■	■	■	100

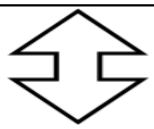
2. 관련 분야 기여도

가. 연구개발과제의 차별성

○ 사면 녹화를 위한 녹생토 재료 및 뿜어붙이기 시공법과 관련한 연구는 테라토를 기본으로 하는 법면 녹화용 인공토양 제조 기술과 폐목재를 이용한 인공토 기술 및 슬러지 소성발포 인공토양활용 기술 등이 대부분이며, 인공토양 제조 기술 외에는 급경사나 암반사면의 녹화를 위한 텍솔공법 등 부대시설 개발이 주를 이루고 있음. 특히, 이들 중 본 기술과 유사하다고 할 수 있는 녹생토 뿜어붙이기 공법은 비료성분의 인공토를 공기압출식으로 사면에 뿜어붙이는 기술로 사면 보호기능이 취약하며 내구성이 결여되는 등 사용수명이 대략 4~5년에 그치고 있음.

<표 4.2> 기존 녹화용 식생기반재와 녹화공법의 차별성 분석 결과

선행과제명	연 구 목 표	연 구 내 용
목질 분쇄재를 이용한 리사이클 녹화공법 개발(2008)	□ 임내에 방치되고 있는 폐잔재와 유목 등을 분쇄하여 녹화기반재로 활용하는 방안을 마련하기 위해 목질 분쇄재를 이용한 리사이클 녹화공법	- 녹화용 분쇄재 공법 개발 및 효과 분석 - 녹화용 분쇄재 공법 및 개량형 공법 시공 방안 마련 - 녹화용 분쇄재 공법 현지 적용방안 개발 - 표준 규격 및 표준매뉴얼(안) 작성
테라토 공법을 이용한 고효율 인공지반 녹화기술 개발 (2008)	□ 법면용 테라토를 기본으로 조경용 테라토를 개발하여 식물생장에 유해성을 가지는 미생물의 검출여부와 식물생장에 미치는 영향을 규명하고 주 대표 성분의 적정 배합 비율을 규정하여, 옥상조경 식생기술을 개발	- 테라콘트롤, 녹생토, 혈분, 액비의 적정배합 비율 규명 - 테라토를 이용한 인공지반 옥상전원 식생기술 개발 - 테라콘트롤 및 미세황토 등을 포함한 시험생육판 식생관찰 실험 - 고효율 인공토양 개발 및 실용화 연구
섬유질에 의한 고형화 기술 및 녹화용 식생기반재(2012)	□ 녹화용 그린소재로 입증된 NI 쏘일을 친환경 섬유를 이용하여 고형화기술을 개발을 통해 농업현장 및 옥상녹화에 적용	- NI 쏘일의 고형기술 - NI 쏘일 본래의 보수성 및 투수성 유지 - 3차원 망상구조를 형성하여 식물생장에 필요한 공기 확보
돌기형 FRP 보강관과 표면침식 보호용 그물망을 이용한 사면보강 공법 개발(2006)	□ 사면에 적용이 용이하고 보강효과가 우수한 사면보강용 돌기형 FRP 보강관 개발 □ 표면침식보호 및 낙석발생 방지용 그물방 개발 □ 돌기형 FRP 보강관과 그물망으로 조합된 보강효과가 뛰어나고 경제적인 사면보강 공법 개발	- 돌기형 FRP 보강관 제작 - 표면 침식 보호용 그물망 제작 - 녹생토 공법에 추가를 위한 그물망의 침식 보호방법 개발



기존 연구개발과의 차별성 요약

연구 목표	연 구 내 용	차 별 성
ECG(Eco Clean Cement Grout)기술을 이용한 사면안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발 (경도 18~22m /자체 식물 생장 환경)	□ 인공토양의 급경사지 및 암반노출사면 부착기술 □ 시멘트기반 토양안정제의 식생 활성화 기술 □ 식생기반재 및 토양안정제의 융복합 기술 □ 인공토양 및 식생기반재의 식물생육촉진 실험법 개발 □ ECG 녹생토의 표준 배합 설계 개발 및 뿜어붙이 공법(안) 개발 □ ECG 녹생토의 물리 역학적 특성 평가 □ Mock-up 실험 및 시험시공을 통한 성능 평가 및 장기 식생 영향성 검증	□ 부착력 및 적정 토양경도 수준 확보 □ 점착력 및 내부마찰각 확보 □ 식생에 적합한 토양산도 확보, 내보습성 확보 □ 시공성 및 경제성 확보  □ 국내외적으로 신규성 아이디어 및 신기술 □ 산지형 국가의 비탈면 녹화 최적 기술 □ 융복합적인 신제품 개발 (토양안정 기술 포함 녹화기술)

○ 급경사지나 암반 노출사면에 인공토를 부착시키기 위해 앵커, 네트 등 부대시설이 필수적으로 동반되는 시공법과 달리 본 기술은 재료 자체의 부착성으로 표토층이 극히 부족한 사면이나 경사도가 큰 사면에 직접적으로 부착할 수 있는 기술로 경제성이 우월함.

○ 또한 토양 안정제, 흙의 결합재, 성능향상제 등의 화학재료를 포함하고 있음에도 불구하고 중금속 용출이 없으며, 시멘트 기반의 인공토양인 개발 녹생토의 pH 가 낮아 식생이 가능할 뿐만 아니라 일반 법면 녹화토에 비해 그 성능이 월등함.

○ 따라서 본 연구를 통해 개발한 친환경 ECG 녹생토는 급경사 혹은 암반 노출 사면을 안정화하는 토양안정 기술과 환경 친화적 사면 녹화를 이룩할 수 있는 융·복합적인 건설재료와 공법으로 우리나라와 같은 산지형 국토의 환경 복원적 건설을 선도할 수 있는 기술로 판단됨.

○ 조사 결과 본 기술과 중복성이 있는 선행연구는 없었으며, 기존 녹화토 및 인공토양 관련 연구에 대한 차별성은 <표 4.2>와 같이 나타낼 수 있음.

나. 연구개발과제의 기여도

○ 기술 융합을 통한 기존 기술의 한계극복

- 식생기반재 혹은 인공토양과 관련한 기존의 재료와 공법은 인공토와 천연토의 혼합 또는 펄라이트 등의 초경량 재료를 이용하여 토양층을 제공하고 있음. 그러나 이러한 인공토양은 건축물의 옥상녹화에 주로 사용되고 있으며 부착력, 내구성이 결여됨. 또한 기존의 법면녹화에 사용되는 일반 녹생토와 뿜어붙이기 공법은 급경사지나 표토층이 없는 암반노출사면에 직접적으로 부착할 수 없는 재료와 공법임. 따라서 본 연구 개발의 ECG 녹생토는 토양안정제와 식생 성능 향상을 위한 기능성첨가제가 혼합된 융복합 기술임.
- 한편, ECG 녹생토의 뿜어붙이기 공법은 기존의 식생기반재 뿜어붙이기 공법과 큰 차이가 없으며, 이는 시공성을 용이하게 하기 위함으로 시공 장비의 기계적 성능 보다는 재료의 성능 개선을 꾀한 결과임.
- 또한, 식생기반재의 뿜어붙이기 공법은 경사도가 작고 표토층이 확보된 사면에 주로 사용되어 왔으나, 내구성이 결여되어 사용수명이 극히 짧은 문제점을 지니고 있음. 반면, ECG 녹생토의 토양안정효과와 식생효과는 사면녹화의 장기적 수명을 확보하고 시공 단가와 복구 비용을 절감할 수 있는 큰 장점을 지님.

○ 기술의 국산화를 통한 수입 기술 대체 효과 및 사면 녹화 기술의 국제 경쟁력 확보

- 우리나라는 산지형 국토로 국가 기반 시설 건설 및 전국 도로망 확충, 택지 조성 등에 있어 사면의 발생이 불가피함. 특히 최근 국민 생활 수준의 향상으로 생활 공간의 조경과 자연친화적 건설 여건을 강조하고 있으므로 본 기술은 환경친화적 건설 복구 기술로 경쟁력이 우수하다고 판단됨.
- 한편, 대부분의 암반 노출 사면은 자연 녹화나 인공적 녹화공법을 적용하기 어렵기 때문에 암반사면의 안정을 위해 숏크리트 공법을 적용하고 있음. 숏크리트 공법은 시멘트 재료의 뿜어붙이기 공법으로 강알칼리의 시멘트 재료에서 식물이 생장은 기대하기 어려움. 따라서 본 기술은 동일한 시멘트 기반의 토양안정제를 적용하였음에도 충분한 식생 환경을 조성하기 때문에 이와 같은 숏크리트로 보강된 암반사면의 녹화에 기여할 수 있음.
- 앞서 기술한 암반사면 안정화공법의 대표적 기술로는 프랑스 국립도로 및 교량연구소에서 도로비탈면녹화 공법으로 개발된 텍솔 공법이 있음. 이 공법은 흙벽돌을 만들 때 짚을 넣어 강도를 증진시키는 방법과 유사하며, 모래를 압축공기로 타설하면서 동시에 폴리에스터 화학섬유를 고압수로 뿌린 후 다지는 공법임. 텍솔 1m^3 당 2~4kg의 연속장섬유가 소요되며, 길이로 100~250Km 정도가 소요되어 경제성이 부족함. 또한 암사면의 보호 바람 혹은 우수의 침식 방지, 비탈의 세굴방지 효과가 있으나, 재료 자체의 화학적 부착성을 기대할 수 없으며, 식생효과에 있어서도 그 기대효과가 높지 않음.
- 따라서 순수 국내기술인 결합재 및 첨가제를 비롯한 ECG 녹생토 기술로 해외 기술을 대체하고 나아가 해외로의 기술수출을 기대할 수 있을 것으로 판단됨.

1. 국내 · 외 시장분석 및 산업 동향

○ 국내 · 외 시장규모

- 국내 이상기후의 발생 빈도가 증가함에 따라 여름철 장마로 인한 연약지반 산사태 붕괴로 인명피해 및 자연재해로 사회적 비용이 증가하고 있으며, 단기간의 사면보호가 아닌 항구적인 사면안정공법이 요구되고 있는 실정임.
- 또한, 사면의 녹화공법들의 많은 특허 연구 기술을 가지고 있지만 그 수명은 4~5년의 짧은 수명을 가지고 있어 그 후, 다시 시공이 필요하여 경제적인 손실을 초래하고 있음. 따라서, 본 연구과제의 성과물인 ECG(Eco clean Cement Grout)기술을 이용한 사면안정용 항구성 친환경 녹생토 재료 및 시공법 개발의 시장규모는 향후 급격히 성장할 것으로 판단됨.

<표 4.3> 국내·외 관련 기술 시장규모

구 분	현재의 시장규모 (2015년)	예상 시장규모 (2023년)
세계 시장규모	42,000 억원	57,120 억원
국내 시장규모	3,000 억원	4,350 억원
산출 근거	- 매일경제, “국내 환경 복원 사업 시장규모”(2001.03) - 국토교통부, 이달의 건설신기술 지정“옹벽 및 호안녹화 조성기술” - News 1: 포스코 건설, 방근/방수 복합공법 신기술 개발 : 인공지반용 일체형 방근/방수 복합공법 - 대전국토청, 관내 공사현장 유지/보수 점검을 위한 교육 실시(사면 녹화 공법) - 녹생토 시장은 전체 시설물유지관리 시장의 5%로 가정 - 세계 시장은 연간 4% 증가하는 것으로 추정	

○ 사업화 및 시장 진출 방안



[그림 4.1] 개발 기술 사업화 및 해외시장 진출 전략

2. 연구성과물의 활용방안

○ 제품화 이후 양산계획

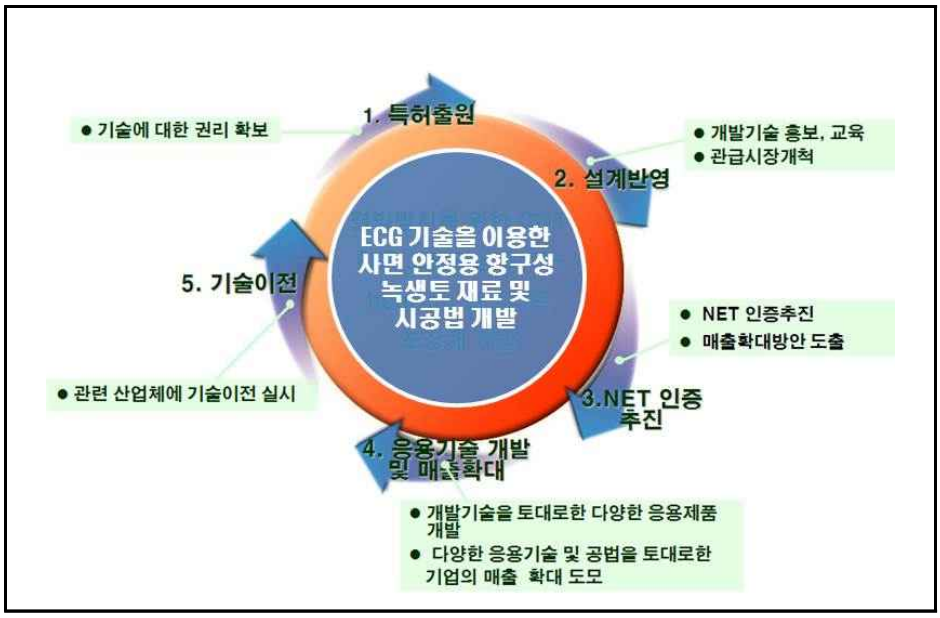
- 개발된 비탈면 녹화 공법의 재료특성은 기존의 녹생토 공법의 재료를 활용하며 전국에 산재된 관련 공장을 활용함.
- ECG 관련 배합재료는 참여기업의 현 생산시설을 활용하여 생산·공급할 예정임.
- 환경복원 기술 시장, 급경사지 재해예방 시장, 일반국도 및 고속국도의 비탈면 보호기술로서의 가치를 인식시키고, 관련 시방서·설계기준 및 유지관리 지침에 반영될 수 있도록 연구결과를 활용할 계획임.
- 일반 녹생토로 적용되고 있는 해외 비탈면 녹화시장의 진출을 도모하여 장기적인 사면안정을 유도함과 동시에 국내기술의 해외 점유도를 제고할 계획임.
- 시장규모 확대와 관련된 생산 설비는 국내 및 국외 관련 생산시설과 제휴하여 안정적인 재료 공급 및 기술이전을 도모할 계획임.

○ 판로확보 및 마케팅 계획

- 비탈면 녹화 전문업체를 중심으로 초기 판로를 개척할 예정임.
- 주관 및 참여기업은 토목설계, 생산, 기술개발이 주업인 기업으로 단계적으로 설계 및 시공 관련 업체에 접촉할 수 있는 기반을 구축할 수 있을 것으로 예상됨.

○ 마케팅 계획

- 판매전략은 과제 종료 후 3단계로 나누어 실시할 계획임.
- 1단계에서는 학술지 및 기술정보, 시공사례, 각종 전시회 등을 통하여 본 공법의 우수성을 홍보하고, 2단계에서는 이를 토대로 사면녹화 설계시 또는 기존 업체를 대상으로 판매처를 확보, 판매망 구축 전략을 실행할 것임.
- 3단계에서는 다수의 거래처를 확보하여, 생산라인 구축을 통해 기업의 장기적 성장을 모색할 예정임.
- 판매처 현황은 한국도로공사 자료 및 법면녹화배토 습식 공법의 신기술 보고서를 토대로 추산하였으며, 본 공법의 주요적용 대상인 암반사면의 경우 총 금액의 60%정도를 차지함.



[그림 4.2] 연구성과물 활용방안

3. 기대효과 및 파급효과

○ 사면의 구조적 안정성 및 내구성 확보

- 비탈면 안정성과 환경복원은 식생이 자유로우며 항구적인 강도특성이 유지되어야 하는 상호배치적인 개념을 요청하고 있음.
- 기존의 암반 사면용 녹생토는 일반 토사와 비료 성분의 보습 재료를 혼합한 식생용 재료를 일반 뿜어치기 장비를 이용하여 시공함으로, 암벽면과의 부착성과 내구성이 결여되어 3~4년 후에는 암반으로부터 탈착되어 흘러내리고 식생이 멈추는 등의 문제점이 발생.
- 또한 기존의 암반 사면용 녹생토를 사용한 식생의 경우, 건조수축에 따른 표면 탈락으로 장기 부착 능력이 저조하게 발현되며, 우천시 강우 강도가 높을 경우 사면의 세굴 및 훼손에 대한 내구성 및 안정성이 열악함.
- 본 연구에서 개발하고자 하는 항구성 친환경 녹생토는 암반 사면 시공으로 노출되는 암반면과 밀착된 사면 보호층 형성으로 장기 풍화방지 및 안정적인 식생 조건의 제공이 이루어지므로 구조적이고 원천적인 사면 안정성 확보가 가능함.
- 개발기술은 ECG는 항구성을 유지할 수 있는 기계적인 강도와 식생이 원활할 수 있는 토양적 특성을 겸비함.

○ 사회 이슈 해결 및 국가 정책 부합

- 경제성장은 인류 문명의 발전에 기여하였으며 생활의 편리함을 제공하였으나, 급격한 산업화와 도시화로 인하여 자연환경은 점차 악화
- 노출 사면의 환경적인 삶의 질 저하 및 급경사지 안정성 문제 동시에 대두
- 환경복원 측면과 안정성 유지 측면에서의 최적의 비탈면 녹화공법이 필요
- 환경복원 시장 규모는 총 11,233억원(2006년 기준) 중 도로 및 광산분야에 430억 정도 차지하며, 급경사지 재해예방 관련 비탈면 보호 시장은 확대될 것으로 예상
- 본 기술 개발의 목적인 자연친화적 사면 안정화 공법은 사면의 안정성 유지 및 환경 복원 극대화에 크게 이바지 할 것으로 기대됨.

○ 개발 재료의 친환경성 확보

- 기존의 암반 사면용 녹생토는 원재료로 돼지 분뇨 발효성분, 제지용 애쉬 등의 산업부산물을 재활용하고 있으나 내구성이 부족하여 4~5년마다 재시공을 필요로 하므로 동일한 주기로 새로운 쓰레기를 배출시키는 큰 단점을 지님.
- 본 연구에서 개발하고자 하는 항구성 친환경 녹생토는 시공 후에 재료 자체적으로 강도를 발현시키는 광물계 재료가 첨가되며, 주원료로는 산업부산물을 재활용할 계획임. 또한 알칼리 및 중금속의 용출 없이 내구성이 우수한 친환경 재료를 주원료로 이용하므로 주변 환경에 대한 오염을 최소화하는 동시에 항구성의 측면에서 사면의 훼손에 의해 발생하는 건설 산업쓰레기의 발생량을 장기적으로 50% 이상 절감 가능함.

○ 초기 시공 비용 및 유지 · 보수 비용 저감

- 기존의 암반 사면용 녹생토를 사용하는 재래식 암반 사면 녹생토 시공의 경우, 사면보호 기능의 시간적 한계로 암반 녹생토 재시공 불가피함. 따라서 사회 주기적 비용(Life Cycle Cost)이 높음.

- 반면, 본 연구에서 개발하고자 하는 항구성 친환경 녹생토를 사용하는 경우, 암반 사면과의 부착성 발휘가 가능해지며, 압축강도를 확보하여 심한 우천시에도 사면이 씻겨 나가거나 쓸려나가는 식생 기반재료 사면의 훼손과 붕괴에 대한 저항성이 강하여 최소 2배 이상의 수명을 보장할 수 있음. 이에 사면 식생 유지에 필요한 비용을 50% 이상 절감 가능함.
- 또한 친환경 녹생토는 기존의 녹생토와 비교하여 자체 공극율이 높아 기존의 녹생토와 비교하여 동일 체적의 녹생토 시공에 필요한 재료를 약 30% 정도 절감할 수 있어 시공에 소요되는 재료비 절감이 가능함.

4. 연구결과의 기업 활용방안

○ 기업개요 및 주요 생산품

- 공동연구기관인 (주)제이엔티아이엔씨는 건설화학 및 정밀화학분야가 융합된 유기·무기계 복합기술개발 하여 산업제품 및 생활용품의 제조 및 판매를 하고 있음.
- 주요 생산품목은 폴리카본산계고분자, 콘크리트용 공기연행제, 시멘트강도증진용 화학첨가제등 정밀화학 제품과 초속경시멘트, 친환경그라우트, 조기고강도 숏크리트, 교면포장용고성능콘크리트 등 무기화학 제품 등의 토목, 건축분야의 산업용품을 제조, 판매하고 있어 본 기술개발 성과물인 녹생토의 생산이 가능함.

○ 연구인력 및 관련 시설 인프라

- (주)제이엔티아이엔씨는 총 근로자 44명 중 다양한 분야의 약 20명의 전문 연구 인력을 확보하고 있으며, 각 연구원은, 토목, 자원, 건축, 화공, 화학 등의 다양한 분야의 전문 인력으로 구성되어 있어 본 기술개발의 성공적인 수행을 위한 연구인력을 확보하고 있음.
- 보유한 생산시설은 전북 김제지역의 정밀화학공장과 경북 포항지역의 특수시멘트 제조공장을 보유하여 유기화학제품 및 건설화학제품의 기술개발 및 다양한 종류의 제품생산이 가능하여, 본 기술개발의 필수 요소인 녹생토 제조를 위한 시설인프라를 구축하고 있음.

○ 기업현황 자료

<표 4.4> 기업현황 자료

항 목	내 용	비 고
설립년도	2006	
업종	제조, 도매, 서비스	
상시근로자수	44	2013년 결산기준
매출총액(백만원)	12,400	
수출액(백만원)	1020	
R&D투자액(백만원)	796	
주요매출품목	폴리카본산계고분자, 나노소재	

○ 기업 보유 장비 현황

<표 4.5> 기업의 보유 장비 현황

장 비 명	규 격	수 량	금 액	비 고
원료 탱크 (C.G)	10m^3	11	-	김제공장
원료 탱크(Storage)	7m^3	5	-	김제공장
원료 탱크(SMC)	5*5*2m	1	-	김제공장
스팀보일러	1ton, 2ton	2	-	김제공장
Dir Pump	2inch	3	-	김제공장
냉각 펌프	1.8kg/cm^2	10	-	김제공장
냉각 타워	180RT	1	-	김제공장
Filter Housing	530Φ X 1200	6	-	김제공장
지게차	2.98ton	1	-	김제공장
저울	200ton	1	-	김제공장
분 쇄 시 설 #1	75 HP	1	-	포항공장
분 쇄 시 설 #2	30 HP	1	-	포항공장
분 쇄 시 설 #3	150 HP	1	-	포항공장
이송시설(B/E)#1,2,3,4	5 HP	4	-	포항공장
저 장 시 설 #1,2	70 m^3	2	-	포항공장
이송시설(B/E)	7.5 HP	1	-	포항공장
이송시설(S/C)	3 HP	1	-	포항공장
선 별 시 설	10 HP	1	-	포항공장
원료투입호퍼	8 m^3	1	-	포항공장
포 장 시 설	1 TON/Hr.	1	-	포항공장

○ 참여기업의 사업화 연계방안 및 추진전략

<표 4.6> 참여기업의 연계방안

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연계방안								
			기업 활용	장비 활용	교육 연계	기술 상담	정보 제공	기술 지도	기술 이전	공동 연구	창업 지원
1	㈜제이엔티 아이엔씨	신사업분야 확장	√	√	√	√	√	√	√	√	-
합계											

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. 국내 · 외 관련 기술 특허

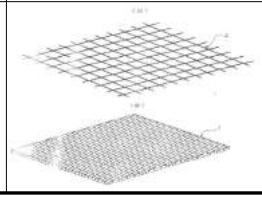
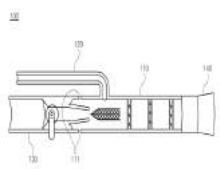
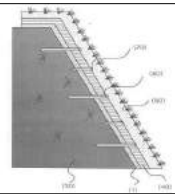
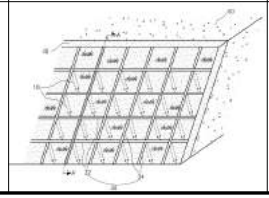
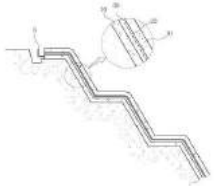
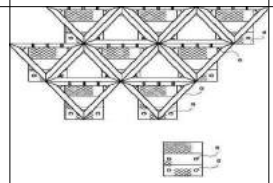
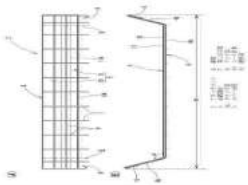
○ 녹생토 공법과 관련된 국내외 기술 및 특허 동향을 분석한 결과, 대부분의 시공법은 낮은 경사면에는 적용이 가능하나 급경사인 경우에는 시공에 무리가 있음. 또한 사용주기가 짧으며, 식생의 성공적인 요건만을 부여하여 구조적 안정을 원천적으로 이루지 못하고 있는 실정임.

○ 특히, 원지반과의 안정적인 부착력을 확보하지 못하고 잦은 우천시에 열악하며, 인공토양의 원활한 수분 공급이 이루어지지 못하여 성공적인 식생이 불분명함.

○ 이에 본 연구 개발에서는 기존 기술들의 단점을 보완하기 위해 식생의 조건인 수분 공급과 저알칼리성을 확보하고, 기존 기술들에서 확보하지 못한 원지반과의 부착력을 강화하였음.

○ 국내·외 관련 기술 및 특허 동향은 다음의 <표 4.7>과 같이 정리하였음.

<표 4.7> 국내외 유사 특허 기술 분석표

구 분	국내·외 유사 특허기술						
기술명	지오그리드와 식생매트를 이용한 사면녹화안정공법	녹생토를 개량한 습식 식생기반 조성물 및 이를 이용한 녹화공법	고화부직포를 이용한 경사면 녹생토 부착방법	녹생토에 수분공급이 가능한 사면의 녹화구조	녹화공법 및 그 구조	벽면 녹화공법 및 벽면 녹화범위	생태계 배려형 녹화 공법 및 녹화 구조물
등록(출원) 번호	10-2004-0060002	10-2012-0144679	10-2003-0044725	10-2010-0000437	10-2003-0080016	13366302	26124928
등록(출원)일	2004. 07. 23	2012. 12. 12	2003. 07. 02	2010. 01. 05	2003. 11. 13	2001. 11. 30	2014. 06. 28
국적	대한민국	대한민국	대한민국	대한민국	대한민국	일본	일본
출원인	박성언	황규철	최문규	이특근	최영근	YOSHIMURA MOTOO	NISSHOKU CORP
기술개요	식생매트와 지오그리드가 사면과 일체로 포설하여 일체로 시공되어 토립자를 구속 , 토사유실 및 활동파괴 방지	사면의 상부에 단립구조의 고형형태를 갖는 녹화 안정층을 형성할 수 있게 됨을 특징으로 하는 녹화공법	녹생토의 탈루 및 고사 방지. 녹생토 생존률 및 활착력을 증가시켜 경사면의 조기녹화를 이루어 낼 수 있도록 하는 기술 제공	사면에 포설된 녹생토의 건조를 방지하고 녹생토에 지속적으로 수분공급이 가능한 사면의 녹화구조를 제공	식물의 생식에 필요한 보습력을 주고자 볏집 거적 매트를 설치하여 친환경적인 녹화공법 제공	벽면을 녹생공법으로 하고 축소할 수 있는 환경 방법 제공	생태계 고려 타입 녹생 방법과 환경성 구조를 제공
장점	저렴한 공사비로 단기간에 시공이 가능하며 내구성 우수, 친환경적이며 안전한 녹화공법	지속적인 식물생장을 가능하게 하여 녹화를 통한 사면 안정화	원지반과의 접착력, 인장강도 및 압축강도가 크고 빗물의 침투수 영향이 적음.	녹생토의 건조를 방지 수분함유량 유지할 수 있어 씨앗의 발아 성장 유지	식물환경에 좋은 영향을 주고 공사비 절감	벽면 녹화공법을 적용함으로서 미관 유지	조기에 시공이 가능하고 다양한 장소에 공법 적용할 수 있음.
단점	연약 지반에서는 시공에 어려움이 있음.	식물 뿌리의 활착이 어려운 암반에서는 성공적인 식생공법에 무리가 있음.	심층부까지 보강효과가 미치지 않음.	절토나 성토에 적합한 녹화구조로서 암반사면에는 무리가 있음.	공법의 수명이 단기간이므로 재시공이 요구됨.	초기 설치 비용이 크고 부재안으로 조립하는 시간이 길어짐.	잦은 지진으로 인한 시공수명이 짧아 경제적 비용이 커짐.
개요도							

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		O
결정 사유	본 연구개발사업은 [국토교통부소관 연구개발사업 운영규정] 제7장 연구개발사업의 보완 및 정보관리, 제47조의 4 (보완등급 분류기준)에 명시된 보안등급 분류에 따라 일반과제로 구분됨.	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

○ 해당사항 없음.

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

○ (재)한국건설생활환경시험연구원

o 기술적 위험 요소 분석, 안전 관리 대책

o 안전관리 : 연구실의 기능 및 안전을 유지관리하기 위하여 연구실에 관한 안전점검을 실시

- 일상점검 : 육안으로 실시하는 점검으로 연구개발 활동을 시작하기 전에 연구활동자가 매일 1회 실시
- 정기점검 : 안전점검기기를 이용하여 실시하는 세부적인 점검으로서 연구실별 안전환경관리자가 주관하여 매년 1회 이상 실시
- 특별안전점검 : 폭발 및 화재사고 등 안전에 치명적인 위험을 야기할 가능성이 있을 것으로 예상되는 경우에 실시하는 점검으로서 연구주체의 장이 필요하다고 인정하는 경우에 실시

종류 / 내용		일상점검	정기점검	특별안전점검
점검대상		연구원 내 과학기술분야 연구활동을 위하여 설치된 연구실	-연구원 내 과학기술분야 연구활동을 위하여 설치된 연구실 -연구 중단으로 1년이상 방치된 후 연구를 재개하려는 연구실	-일상·정기점검의 결과 안전에 취약한 연구실 -폭발·화재사고 등 연구활동 종사자의 안전에 치명적인 위험을 야기할 가능성이 있다고 판단되는 연구실 (연구주체의 장이 필요하다고 인정하는 연구실)
점검 내용		연구개발 활동에 사용되는 기계·기구·전기·가수·약품·병원체 등의 이상유무 및 보호장비의 관리실태 점검	당해 연구실 내의 모든 인적·물적인 면에서의 물리화학적·기능적 결함 여부 점검	폭발사고·화재사고 등 연구활동 종사자의 안전에 치명적인 위험을 야기할 가능성이 있는 인적·물적 연구 자원의 세부적인 특별점검
점검 방법		외부육안검사 및 점검 장비를 사용한 점검		
점검 시기		1회/일	1회 이상 / 년	연구주체의 장이 필요하다고 인정하는 경우
점검 주체	자격 요건	연구 활동 종사자	시행령 제 7조 제2항의 자격에 해당하는 자 -연구실 안전환경관리자(법 제6조의 2에 정한 자격조건) -국가자격법령에 따른 안전관련 기사자격 소지자 (산업안전· 건설안전·산업위생· 소방설비· 가스· 인간공학기사) -전기사업법 제 73조에 따른 전기안전관리자 -소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률 제 20조에 따른 방화관리자 -국가기술자격 법령에 따른 안전관련 기술사 (기계· 화공· 전기· 건설· 산업위생관리· 소방· 가스· 인간공학)	
	해당자	연구실 안전담당자	연구실 안전환경관리자 해당 자격증 소지자	연구실 안전환경관리자 해당 자격증 소지자

결과의 기록/보관	일상안전 점검을 위하여 연구실 특성에 적합한 안전수칙 및 체크리스트를 개발하여 적용하며 그 결과를 기록하고 지적사항에 대한 조치 결과를 익일 안전점검 시 반드시 확인하여 기록하여야 한다.	정기 점검 후 아래 내용이 포함된 결과보고서 작성 보관 - 점검일시· 점검자· 점검개요 - 점검범위 및 대상 - 점검장비 및 방법 - 점검결과 평가 - 안전조치 사항 - 결론 및 건의사항	정기 점검 후 아래 내용이 포함된 결과보고서 작성 보관 - 점검일시· 점검자· 점검개요 - 점검범위 및 대상 - 점검장비 및 방법 - 점검결과 평가 - 안전조치 사항 - 결론 및 건의사항
비 고	점검결과 사고 및 위험가능성이 있는 사항 발견시 연구 활동 중단 등의 긴급조치 후 즉시 당해 연구실 책임자 및 연구실 안전환경관리자에게 보고하여야 한다.	위험요인 발견 시 즉각 제거하기 위한 안전조치를 취하도록 당해 연구실 책임자에게 문서로 통보하고 개선 결과를 연구실 책임자 입회하에 재검사하여 확인한다.	특별 점검 결과 및 이에 따른 안전조치 이행 여부를 연구주체의 장에게 보고

o 교육훈련 : 연구실 안전사고 예방을 위해 연구활동 종사자는 안전교육을 이수해야 됨

- 정기 교육·훈련 : 연구활동 종사자/ 반기별 6시간 이상
- 신규채용 등에 따른 교육·훈련 : 신규 연구활동 종사자/ 8시간 이상, 대학생·대학원생/ 2시간 이상
- 특별 안전교육·훈련 : 연구주체의 장이 필요하다고 인정하는 연구활동 종사자/ 2시간 이상

o 비상 시 대응 및 안전사고처리

- 화재나 폭발 등 생명에 위협을 주거나 심각한 상해를 입힐 정도의 상황일 경우에는 다음의 절차를 따른다.
  ⓐ 사고 즉시 주변에 상황전파 및 인근병원 응급실 또는 119에 연락
  ⓑ 인근직원의 협조를 얻어 조기진압 및 응급조치
  ⓒ 진압불가 시 해당 연구실이나 건물에서 긴급히 대피한 후 조치
- 화학물질 전도 등과 같은 경미한 상해를 입힐 정도의 상황
  ⓐ 부상자가 있을 경우 인근병원 응급실로 후송 및 응급조치
  ⓑ 현장에 즉각적인 유해위험성이 없는 경우에는 적절한 보호구를 착용하고 전도된 화학물질을 제거
  ⓒ 화학물질 제거 시에는 주위의 모든 발화원인을 제거하고 물질안전 보건자료를 참고하여 조치

o 보험가입 및 건강검진

- 연구활동 종사자에 대한 보험은 관련법 시행령 제15조에 의거 산업재해보상보험법에 따라 가입
- 연구활동 종사자는 산업안전보건법에 따른 특수건강진단기관에서 1년에 1회 이상 실시하여야 함.

○ (주)제이엔티아이엔씨

1) 인력전문성 제고

- 안전(관리감독자 교육) : 대한산업안전협회(년 2회)
- 안전(소방감독자 교육) : 소방협회(년 1회)

2) 점검사항

구 분	점 검 분 야	중점 점검 사항	비 고
자 체	○담당자별 점검	○ 유틸리티 장비 ○ 분석 장비	일일
	○안전관리팀 합동	○ 고압가스 사용 및 관리상태	매월, 안전점검의 날 관련
	○야간 및 휴일	○ 시설운영상태 ○ 24시간 가동장비 운영상태	일일
	○비상대응 훈련	○ 안전시설 시험동작 및 대피훈련	년 2회
외부전문기관	○안전검사 ○정기 및 자율검사 ○수시검사	○ 호이스트, 압력용기 안전검사 ○ 고압가스저장시설 안전관리상태 ○ 위험물옥내저장소 안전관리상태	2년1회 년 5회 년 2회

3) 관련수칙

수 칙 명	주 요 내 용	비 고
○ 안전보건관리요령 ○ 전기관리 수칙 ○ 고압가스 취급 수칙 ○ 환경 관리 수칙	- 안전관리 총괄, 고압가스, 전기, 안전관리 세부사항 - 전기시설물 취급 및 구매설치 - 전기시설물 설치 등에 관한 규제 - 보관 및 운반, 사용 및 조작 - 누설 및 경보, 작업 - 안전관리자 임무, 조치 및 의무 - 취급, 통제구역, 비상재해 - 오염물질 배출 및 방지 준수사항 - 장비도입 및 폐기시 준수사항	

o 연구실 안전점검 정기적 실시

연구실의 기능 및 안전을 유지 관리하기 위하여 안전점검지침에 따라 연구실에 관한 안전점검을 정기적으로 실시함.

o 참여 연구원의 안전관련 교육훈련 시행

산업안전보건법 제31조 (안전보건교육) 및 연구실 안전환경조성에 관한 법률 제 18조에 의거, 전 직원에 대한 안전보건교육을 매달 실시함. 교육 방법은 모든 직원에 대한 자체교육(2시간)을 실시하고, 안전보건교육 일지를 작성하여 관리함.

o 연구 내용 및 결과물 안전 확보

정기적으로 인원 및 시설 보안 항목, 문서보안 항목 그리고 정보보안 항목의 보안점검을 실시하여 연구내용 및 결과물의 안전을 확보하고 있음. 참여 연구원들을 대상으로 연구 결과의 안전한 관리를 위한 안전교육 실시

o 연구실 안전 확보 계획

참여 연구원들이 안전관련 각종 법규, 규정 및 지침을 준수하도록 하며, 요구되는 안전교육 및 훈련 실시
실험에 관련된 위험 정보를 숙지하고 적절한 개인 보호 장비 착용 실험실에 노출된 위험을 안전관리책임자에게 보고
연구실의 잠재되어 있는 위험성 발견 및 위험물질과 각종 실험장비 등 사용에 따른 안전수칙이 잘 이행될 수 있도록 지도점검 및 교육

○ 강릉원주대학교

1) 연구실 안전 점검 체계 및 실시



※ 위험등급별로 환경안전점검을 단계별로 체계화하여 관리

※ 관리위험등급의 지정

- A등급 : 가연성가스, 인화성 시약, 유해화학물질, 다량의 폐액배출, 독극물, 생물 및 동물, 방사성 동위원소, 위험성이 높은 기계장비가 설치된 실험실
- B 등급 : 일반시약, 소규모 인화성 시약, 불연성가스, 소량의 폐수발생실험실
- C 등급 : 이화학실험을 수행하지 않는 전기, 설계, 컴퓨터 관련 실험실

o 일상점검

- 실험·실습에 사용되는 기계·기구·전기·약품·병원체등의 보관상태 및 보호장비의 관리실태 등을 육안으로 실시하는 점검으로서 실험·실습 시작 전 매일 1회 실시
- 점검자: 실험·실습실(연구실) 책임자 및 조교 또는 연구원

o 정기점검

- 실험·실습에 사용되는 기계·기구·전기·약품·병원체등의 보관상태 및 보호장비의 관리 실태 등을 안전점검기기를 이용하여 실시하는 세부적인 점검으로서 매년 1회 이상 실시

o 특별안전점검

- 폭발사고·화재사고 등 연구활동종사자의 안전에 치명적인 위험을 야기할 가능성이 있을 것으로 예상되는 경우에 하는 점검으로 총장이 필요하다고 인정하는 경우에 실시
- 점검반 : 소방서, 가스·전기 안전공사 및 관련 전문가를 참여시켜 실시

o 정밀안전진단

- 연구실 안전 환경조성에 관한 법률 시행령 제9조에 해당되는 실험실(유해화학물질 및 유해인자취급실험실, 독성가스취급실험실)에 대하여 2년마다 1회이상 정기적으로 실시.
- 점검반 : 외부 전문기관에 위탁실시

o 실험실 정밀안전진단 실시

- 대상 : 연구 개발 활동에 유해화학물질 관리법 제2조 7호에 따른 유해화학물질을 취급하는 연구실, 산업안전보건법 제39조에 따른 유해인자를 취급하는 연구실, 과학기술부령이 정하는 독성가스를 취급하는 연구실
- 실시 : 2년마다 1회 실시

2) 교육 훈련

o 개요 : 실험실의 안전을 확보하고 종사자의 건강을 보호하여 실험 및 연구 활동에 기여하고, 또한 연구실 안전환경조성에 관한 법률에 의거하여 실험실의 환경 안전교육이 의무화됨에 따라 이공계열 대학원생 및 관련자 전원은 환경안전교육을 의무적으로 수강

3) 교육 대상

o 교수, 대학원생, 실험조교, 전문직원, 소속연구원, 실험참여 학부생 및 업체직원 등

4) 단계별 교육 이수과정

o 1단계 : 공통이수과목(등록실험실전체)

o 2단계 : 특수실험실

5) 교육구분

o 정기교육 : 방학기간 중 2회 출석 수업 실시

o 비정기 임시교육 :

- 대상 : 새로운 실험과정의 신설시, 연구소의 신설시, 교육 미 이수자 (신입 대학원생, 전담직원, 연구원, 업체직원, 유해물질 취급자 등)
- 방법 : 사이버 교육 환경안전교육 등(홈페이지 개설 동영상교육), 자료/유인물, 외부 온라인상, 외부강사, 전문교육기관의뢰 등
- 특별교육 : 해당기관에서 자체 또는 외부의 전문기관에 의뢰하여 위탁교육 실시

6)보험 가입 현황

보 험 명	보 상 내 용	대 상	주관부서
재산종합보험 (종합패키지보험)	재산종합위험담보 : 2조 5천 6백억원 (신체배상책임보험 특별약관포함)	피보험자	설비안전팀
	대인대물일괄 : 20억원-사고당	전체	설비안전팀
	제3자 치료비 보상 : 1천만원/인당, 8천만원/사고당	제3자 보상	설비안전팀
	학생교내외치료비 : 1천5백만원/인당, 8천만원/사고당	학생	설비안전팀
학생단체 상해보험	상해사망, 후유장해 : 2억원, 의사상자 상해위험 : 1억원 상해, 후유정도에 따른 보상 : 약관보상 연구활동종사자보험 포함(특별약관)	학부생, 대학원생	학생복지처
교직원 단체안심 보험	사망, 후유장해, 질병 : 1억원/인 의료비지원 암치료비 : 1천만원/인당, 입원의료비지원 : 3천만원/인당 상해의료실비 : 2백만원/인당	교직원	인사팀

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분(논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부(단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항(SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	녹생토 발아 및 생육 평가장치와 이를 이용한 평가방법	KCL	연구책임자	대한민국	-	2017.08.28	단독	등록
2	특허	연약토양의 안정화 및 강도 증진을 위한 친환경 조성물	JNTinc	공동연구책임자	대한민국	-	2015.10.14	단독	출원
3	특허	사면 안정화를 위한 친환경혼합물	JNTinc	공동연구책임자	대한민국	-	2016.06.13	단독	출원
4	특허	암반사면 안정화를 위한 친환경 혼합물	JNTinc	공동연구책임자	대한민국	-	2017.05.17	단독	출원
5	논문	Marine-Organism Adhesion Characteristics of Porous Concrete Produced with Recycled Aggregate and Specially Treated Granular Fertilizer	JNTinc	연구원	Contemporary Engineering Sciences / 인도네시아	-	2015.01.04	단독	-
6	논문	A Study on the Optimum Material Mix Design for Vegetation Shotcrete Using Mineral Additive	강릉원주대학교	공동연구책임자	Key Engineering Materials / 스위스	-	2017.07.10	단독	
7	논문	사면 보호를 위한 녹생토 재료 특성 검증	JNTinc	연구원	아시아태평양융합연구교류논문지	-	2017.06.15	단독	
8	논문	시멘트계 재료를 사용한 녹생토의 내구성 및 사면 안정성 평가	강릉원주대학교	공동연구책임자	한국산학기술학회논문지	-	2018.05.31	단독	-

제11장. 기타사항

○ 해당사항 없음.

제12장. 참고문헌

1. Das, Braja, M., Khaled, (2012), Principles of geotechnical engineering, Eight Edition, Cengage Learning, pp.429-437.
2. Jin Liu, Bin Shi, Hongtao Jiang, He Huang, Gonghui Wang, Toshitaka Kamai (2010), Research on the stabilization treatment of clay slope topsoil by organic polymer soil stabilizer, Engineering Geology 117, pp.114-120.
3. J. L. Fox, S. P. Bhattarai, Y. Gyasi-Agyei (2011), Evaluation of Different Seed Mixtures for Grass Establishment to Mitigate Soil Erosion on Steep Slopes of Railway Batters, Journal of Irrigation and Drainage Engineering 137, pp.624-631.
4. Lixia Yang, Yang Yang, Zhang Chen, Chunxiao Guo, Shaocai Li (2013), Influence of super Absorbent polymer on soil water retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes eco-engineering, Ecological Engineering 62, pp.27-32.
5. S. Lee, J. Hwang, I, Park (2012), Application of data-driven evidential belief functions to landslide susceptibility mapping in Jinbu, Korea, Catena 100, pp.15-30.
6. Zhang Chen, Ruixin Wang, Pengyuan Han, Hailong Sun, Laifeng Sun, Chengjun Li, Lixia Yang (2017), Soil water repellency of the artificial soil and natural soil in rocky slopes as affected by the drought stress and polyacrylamide, Science of the Total Environment 619-620, pp.401-409.
7. 건설교통부 제정, (2006), 건설공사 비탈면 유지관리 지침, 한국시설안전기술공단.
8. 건설교통부 제정, (2006), 건설공사 비탈면 표준시방서, 한국시설안전기술공단.
9. 건설교통부 제정, (2006), 건설공사 비탈면 설계기준, 한국시설안전기술공단.
10. 김영수, 김대만, (2009), 낙동강 모래와 건설재료간의 직접전단시험에 의한 마찰각 특성, 한국지반공학논문집 제25권 4호, pp.105-112.
11. 김일순, 최윤석, 양은익, (2018), 시멘트 계 재료를 사용한 녹생토의 내구성 및 사면 안정성 평가, 한국산학기술학회논문집 제19권 5호. pp.45-53.
12. 길승호, (2016), 식생기반재 뿜어붙이기의 비탈면 녹화이후 침식 안정성 평가 방법, 한국환경복원녹화기술학회논문집 제19권 6호, pp.63-76.
13. 성시융, 신은철, (2015), 접착성 식생기반재의 침식저항능력 평가, 한국지반신소재학회논문집 제14권 2호, pp.71-79.
13. 안보소, (2014), 비탈면 녹화공법의 계획과 관리, 원기술.
14. 오세욱, 전진철, 김동근, 이현호, 권영철, (2015), 토양안정재를 혼합한 녹생토의 전단강도 및 침식저항특성, 한국지반환경공학회논문집 제16권 12호, pp.45~52.
15. 우보명, (2011), 훼손지환경녹화공학, 서울대학교출판부, pp.60, 66-70.
16. 이병재, 허형석, 노재호, 장영일, (2017) 사면 보호를 위한 녹생토 재료 특성 검증, 예술인문사회융합멀티미디어논문지, 제7권 6호, pp.681-692.
18. 이병태, 박종민, (2006), 임도 비탈면 녹화식물의 종자피복 및 복토처리가 발아와 생장에 미치는 영향, 한국환경생태학회논문집 제20권 4호, pp.436-447.
19. KS I ISO 11265, (2005), 토양의 질-비전도도의 측정 방법, 한국표준협회.
20. KS F 2343, (2017), 압밀 배수 조건 아래서 흙의 직접 전단 시험 방법, 한국표준협회.

부 록

(사면 녹화용 녹생토 특허 동향 및
시공법 기술 동향 분석)

[부록]



사면 녹화용 녹생토 특허 동향
및 시공법 기술 동향 분석

제1편 특허동향

제1장 분석의 배경 및 목적

제2장 전체 특허동향

제3장 [대분류 A] 녹생토 조성물 분야 특허동향

제4장 [대분류 B] 시공 및 관리 분야 특허동향

제5장 심층 분석

제6장 결론 및 시사점

KCL 한국건설생활환경시험연구원

목차

제1장 분석의 배경 및 범위 ····· 145

1. 분석의 배경 및 목적 ····· 145

(1) 분석의 배경 ····· 145

(2) 분석의 목적 ····· 145

2. 분석의 범위 ····· 147

3. 특허검색 및 유효데이터 추출 ····· 148

(1) 분석대상 특허 검색 DB 및 검색문헌 범위 ····· 148

(2) 분석대상 기술 및 검색식 도출 ····· 149

(3) 핵심 키워드 및 검색식의 도출 ····· 151

(4) 분석대상 기술 관련 국제특허분류 ····· 153

(5) 기술분류별 검색건수 및 유효건수 ····· 156

4. 특허분석방법 ····· 160

(1) 기술 대분류별 분석방법 ····· 160

(2) 기술 중분류별 분석방법 ····· 160

제2장 전체 특허동향 ····· 163

1. 주요시장국 연도별 특허동향 ····· 163

2. 주요시장국 내외국인 특허 출원현황 ····· 167

3. 기술발전도 분석 ····· 170

4. 대분류 출원동향 분석 ····· 172

5. [대분류 A] 녹생토 조성물 관련 특허동향 ····· 174

6. [대분류 B] 녹생토 시공법 관련 특허동향 ····· 176

7. 주요 출원인 분석 ····· 178

제3장 [대분류 A] 녹생토 조성물 분야 특허동향 182

1. [대분류 A] 중분류 특허동향 ····· 182

(1) [대분류 A] 중분류 출원동향 ····· 182

(2) [대분류 A] 시장별 중분류 점유율 현황 ····· 184

2. [중분류 AA] 시멘트계열 조성물 분야 특허동향 ····· 185

(1) [중분류 AA] 국가별 출원동향 ····· 185

(2) [중분류 AA] 주요 시장국 내외국인 출원현황 ····· 187

(3) [중분류 AA] 기술발전도 분석 ····· 189

(4) [중분류 AA] 주요 출원인 분석 ····· 191

3. [중분류 AB] 시멘트계열 조성물 분야 특허동향 ····· 192

(1) [중분류 AB] 국가별 출원동향 ····· 192

(2) [중분류 AB] 주요 시장국 내외국인 출원현황 ····· 194

(3) [중분류 AB] 기술발전도 분석 ····· 196

(4) [중분류 AB] 주요 출원인 분석 ····· 198

제4장 [대분류 B] 시공 및 관리 분야 특허동향 ·· 199

1. [대분류 B] 중분류 특허동향 ····· 199

(1) [대분류 B] 중분류 출원동향 ····· 199

(2) [대분류 B] 시장별 중분류 점유율 현황 ····· 201

2. [중분류 BA] 시공 기술 분야 특허동향 ····· 202

(1) [중분류 BA] 국가별 출원동향 ····· 202

(2) [중분류 BA] 주요 시장국 내외국인 출원현황 ····· 204

(3) [중분류 BA] 기술발전도 분석 ····· 206
(4) [중분류 BA] 주요 출원인 분석 ····· 208
3. [중분류 BB] 유지 및 보수 기술 분야 특허동향 ····· 209
(1) [중분류 BB] 국가별 출원동향 ····· 209
(2) [중분류 BB] 주요 시장국 내외국인 출원현황 ····· 211
(3) [중분류 BB] 기술발전도 분석 ····· 213
(4) [중분류 BB] 주요 출원인 분석 ····· 215
4. [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분야 특허동향 ····· 216
(1) [중분류 BC] 국가별 출원동향 ····· 216
(2) [중분류 BC] 주요 시장국 내외국인 출원현황 ····· 217
(3) [중분류 BC] 기술발전도 분석 ····· 218
(4) [중분류 BC] 주요 출원인 분석 ····· 219

제5장 심층 분석 ····· 220

1. 심층 분석 대상 핵심기술 선정 ····· 220
(1) 핵심기술 선정 기준 ····· 220
(2) 핵심기술 선정 결과 ····· 221
(3) 심층 분석을 위한 심층 분류 도출 ····· 222
2. 핵심기술에 대한 심층 분석 방향 ····· 224
(1) 기술 흐름도 분석 ····· 224
(2) 주요 기술 소개 ····· 224
(3) 핵심 출원인별 포트폴리오 분석 ····· 224
3. 시멘트 계열 녹생토 분야 핵심특허 ····· 225
(1) 고로 슬래그 시멘트 분야 핵심특허 ····· 226
(2) 플라이애쉬 시멘트 분야 핵심특허 ····· 228

(3) 포틀랜드 포졸란 시멘트 분야 핵심특허 ····· 231
(4) 다공성 시멘트 분야 핵심특허 ····· 234
(5) 고분자 혼합 분야 핵심특허 ····· 237
(6) 친환경 식생기반물 혼합 분야 핵심특허 ····· 239
4. 분사(뿜어붙이기) 공법 분야 핵심특허 ····· 242
(1) 분사 공법 분야 핵심특허 ····· 243
(2) 매트+분사 융합 분야 핵심특허 ····· 247
(3) 블록(옹벽)+분사 융합 분야 핵심특허 ····· 250
(4) 망태+분사 융합 분야 핵심특허 ····· 253
(5) 분사 장치 분야 핵심특허 ····· 256
5. 핵심 출원인별 포트폴리오 분석 ····· 261
(1) 핵심 출원인 1 : Nisshoku Corp. ····· 261
(2) 핵심 출원인 2 : Toko Geotech Corp. ····· 263
(3) 핵심 출원인 3 : Nittoc Constr. Co LTD ····· 264

제6장 결론 및 시사점 ····· 265

1. 특허 동향 분석 (정량 분석) ····· 265
2. 심층 분석 (정성 분석) ····· 266
3. 시사점 ····· 267

제1장 분석의 배경 및 범위

1. 분석의 배경 및 목적

(1) 분석의 배경

제1편 특허동향 보고서는, ECG(Eco Clean Cement Grout; 향후 ECG로 약칭함) 기술을 응용한 암반용 식생 재료를 개발하여 암반 절개면에 포설시 물리적 강도를 나타내는 항구적인 친환경 광물계 식생용 숏크리트를 개발하고 친환경적이며 항구성을 갖는 암반사면 혹은 급경사지 안정용 식생 공법을 최종적으로 개발하고자 함에 있어서 국내외의 녹생토 특허와 관련 시공법에 대한 필요한 특허정보 데이터를 조사하고, 이를 토대로 분석한 결과를 내용으로 함

(2) 분석의 목적

선진국에서는 1980년대부터 환경과 관련된 법률을 제정함으로써 환경 사업이 토목 사업의 큰 부분을 차지하고 있으며, 우리나라도 이에 대한 관심과 투자가 크게 증가하고 있는 추세이며, 특히 사면보호 및 사면안정 공법 중 주변 환경과 자연친화적 특성을 가지고 있는 사면식생공법은 경질 무토양 암석지나 콘크리트면까지 그 적용범위를 확대하고 있음

즉, 하이드로시더(hydroseeder)를 이용하여 종자를 인공토양(녹생토)과 함께 살포하여 식생의 생육기반을 인공적으로 조성하는 것을 의미하며, 대부분의 흙사면은 식물이 자랄 수 있도록 식생기반토양을 충분히 제공하지만 암반절개면에서는 종자가 식생 가능하도록 물과 양분을 공급해 줄 수 있는 토양이 극히 부족하기 때문에 식물의 성장에 커다란 제약을 받음

이러한 문제점을 해결하기 위한 최근의 암반사면의 식생공법은 강망(wire mesh) 등을 암반에 부착·설치하고 5~1cm 정도로 식생에 용이한 인공토양을 제조하여 뿜칠하기와 파종을 동시에 시공하는 방법이 개발되어 사용되고 있음

그러나 암반식생공법은 사면에 보호공법으로서의 역할만을 하기 때문에 인공토양 아래에서 사면 파괴가 일어날 때에는 저항력을 발휘하지 못하는 한계가 있고 불안정할 때에는 보강공법이 선결되어야 함

반면, 사면보강의 목적으로 시멘트 몰탈 및 그라우트 등에 의한 숏크리트 보강을 시공할 경우, 시멘트 숏크리트로부터 용출되는 강알칼리로 인하여 바로 식생용 녹생토를 보강용 숏크리트 위에 시공할 수 없으며, 또한 최소 2~3년 이후에 시멘트 알칼리 용출이 충분히

일어나 보강용 숏크리트로부터 용출되는 알칼리량이 저감되었을 때 식생용 녹생토의 시공이 적합하다는 단점이 크게 작용함

특히, 우리나라의 지형 지질 조건은 국토의 67%가 산악지형이며 많은 지역이 토충의 깊이가 얕은 암반지역을 형성하기 때문에 도로의 신설 및 확충 또는 인공사면조성 때 발생하는 절개면의 상당수가 암반층이거나 깊이 3~4m의 토층 아래에 암반층을 형성하는 곳이 대부분이므로 암반으로 드러난 지역에 적합한 사면 안정성을 유지하고 식물의 성장 기반을 조성하여 경관을 좋게 하는 암반식생 안정공법의 개발이 시급함

한편, 시멘트 재료 제조분야에 지반의 차수 및 보강용 지반주입공법용 재료로 활발히 사용되고 있는 에코 클린 시멘트 그라우트(ECG)는 물시멘트비 100%의 밀크 상태에서 수중에서 굳지 않은 fresh 상태로 투입하여도 탁도를 발생시키지 않고 중금속 용출을 억제하여 실제 시공에서도 지하수나 하천, 해수의 오염과 어류 등의 폐사를 방지하는 효과가 있어 식생이 원활한 사면 보호환경을 보장할 수 있는 점을 시사하고 있음

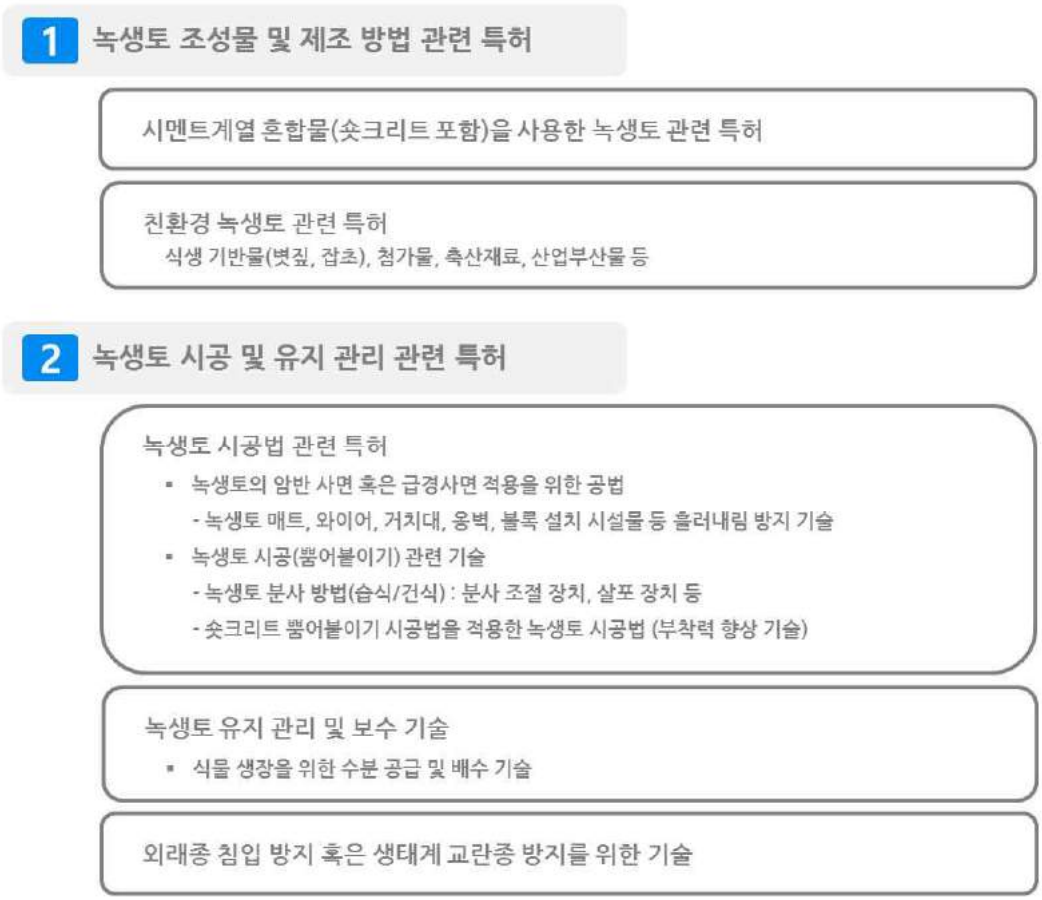
이에 본 보고서는 사면 녹화용 녹생토 특허 동향 및 시공법 기술 동향 분석을 목적으로 하였으며, 시멘트계열 혼합물(숏크리트 포함)을 사용한 녹생토 또는 식생 기반물(볏짚, 잡초), 친환경 녹생토 조성물, 첨가물, 축산재료, 산업 부산물 등 녹생토 주재료와 관련된 「녹생토 조성물 및 제조 방법 관련 기술」과 녹생토의 암반 사면 혹은 급경사면 적용을 위한 각종 시공법과 녹생토 유지 관리 및 보수와 관련된 「녹생토 시공 및 관리 기술」에 대한 선행기술의 내용 파악, 핵심특허 권리 분석, 본 기술에 대한 특허 아이디어 도출 방안을 제시하고자 함

2. 분석의 범위

사면 녹화용 녹생토 특허 동향 및 시공법 기술 동향 분석을 함에 있어서, **「녹생토 조성물 및 제조 방법 관련 기술」**과 **「녹생토 시공 및 관리 기술」**을 세부적인 대상으로 함

「녹생토 조성물 및 제조 방법 관련 기술」은 시멘트계열 혼합물(숏크리트 포함)을 사용한 녹생토와 식생 기반물(볏짚, 잡초), 첨가물, 축산재료, 산업부산물 등 친환경 녹생토 조성물 및 제조 방법을 범위로 함

「녹생토 시공 및 관리 기술」은 녹생토의 암반 사면 혹은 급경사면 적용을 위한 공법(녹생토 매트, 와이어, 거치대, 옹벽, 블록 설치 시설물 등 흘러내림 방지 기술), 녹생토 시공(뿜어붙이기) 관련 기술(녹생토 분사 방법, 숏크리트 뿜어붙이기 시공법을 적용한 녹생토 시공법), 녹생토 유지 관리 및 보수 기술(식물 생장을 위한 수분 공급 및 배수 관련 기술), 외래종 침입 방지 혹은 생태계 교란종 방지를 위한 기술을 포함함



< 그림 1-1 > 특허 분석의 범위

3. 특허검색 및 유효데이터 추출

한국, 일본, 유럽 및 미국 공개/등록특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술트리에 부합하는 유효특허를 추출하였고, **1974년(출원일 기준)[1]부터 2016년 1월(검색일 기준)까지** 출원공개 및 등록되어 공보가 발행된 **유효특허 총 4,581건**을 분석대상으로 하였음

특허 검색을 위한 특허정보 DB로는 **WIPS 특허검색 서비스**를 사용하였음

(1) 분석대상 특허 검색 DB 및 검색문헌 범위[2]

< 표 1-1 > 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	분석구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국	WIPS ON	1974년 ~ 현재 (2016년 1월)	특허공개 및 등록 전체문서
	일본	WIPS ON		특허공개 및 등록 전체문서
	미국	WIPS ON		특허공개 및 등록 전체문서
	유럽	WIPS ON		EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

1) 출원일 기준으로 조사 및 분석을 실시하였으며, 녹생토의 조성물 및 시공법에 대한 연구개발 시점 등을 종합적으로 고려하여 1970년대 출원건부터 유효 데이터로 취급하였음

2) 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음. 따라서, 검색일을 기준으로 하여 2014년도 및 2015년 출원 데이터는 미공개 출원건을 포함하므로 그 정량적 의미가 유효하지 않음

(2) 분석대상 기술 및 검색식 도출

◇ 기술 분류 체계

본 보고서에서는 연구개발 과제 성격, 지원기관의 제공자료, 관련 문헌들을 종합하여 기술 분류 체계를 수립하였으며, 그 내용은 아래의 표와 같음

< 표 1-2 > 기술 분류 및 분류별 기술정의

대분류	중분류	분류별 기술 정의
녹생토 조성물 (A)	시멘트계열 녹생토 (AA)	**시멘트계열 혼합물**(숏크리트 포함)을 사용한 녹생토
	친환경재료 녹생토 (AB)	식생 기반물(볏짚, 잡초), 친환경 녹생토 조성물, 축산재료, 산업부산물 등 **녹생토 주 재료**
시공 및 관리 (B)	시공 기술 (BA)	■ 녹생토의 **암반 사면** 혹은 **급경사면 적용**을 위한 공법 – 흘러내림 방지기술 : 녹생토 매트, 블록 설치 시설물, 돌망태(gabion) 등 ■ 녹생토 **시공(뿜어붙이기)** 관련 기술 – 녹생토 분사 방법(습식/건식) : 분사 조절 장치, 살포장치 등 – 숏크리트 뿜어붙이기 시공법을 적용한 녹생토 시공법 (부착력 향상 기술)
	유지 및 보수 기술 (BB)	■ 녹생토 **유지 관리** 및 **보수** 기술 – 식물 생장을 위한 수분 공급 및 배수 기술 – 숏크리트 공법을 이용한 사면 보강 기술
	외래종 침입 방지 기술 (BC)	**외래종 침입 방지** 혹은 생태계 교란종 방지를 위한 기술

사면 녹화용 녹생토 특허 동향 및 시공법 기술 동향의 분류를 함에 있어서 먼저 크게 두 가지 분류로 나누어, 녹생토 조성물 및 제조 기술에 관한 **[대분류 A] 「녹생토 조성물」** 분야와 녹생토 시공법, 유지 보수 기술, 외래종 침입 방지 기술에 관한 **[대분류 B] 「시공 및 관리」** 분야로 분류함

[대분류 A] 「녹생토 조성물」 분야는 조성물의 구성 성분에 따라 크게 두 가지로 나누어, 숏크리트를 포함한 시멘트 계열 혼합물을 사용하는 **[중분류 AA] 「시멘트계열 녹생토」** 분야와 식생 기반물(볏짚, 잡초), 첨가물, 축산재료, 산업부산물 등을 주 재료로 사용하는 **[중분류 AB] 「친환경재료 녹생토」** 분야로 분류함

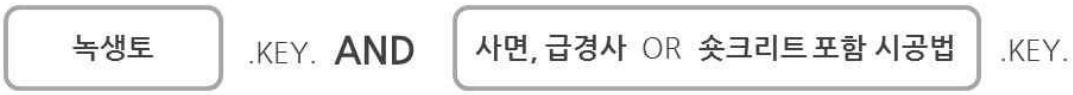
[대분류 B] 「시공 및 관리」 분야는 목적에 따라 크게 세 가지로 나누어, 녹생토의 암반 사면 혹은 급경사면 적용을 위한 공법과 뿜어붙이기 공법을 포함하는 **[중분류 BA] 「시공 기술」** 분야, 녹생토 유지 관리 및 보수 기술로써 식물 생장을 위한 수분 공급 및 배수 관련 기술인 **[중분류 BB] 「유지 및 보수 기술」** 분야, 외래종 침입 방지 혹은 생태계 교란종 방지를 위한 **[중분류 BC] 「외래종 침입 방지 기술」** 분야로 분류함

(3) 핵심 키워드 및 검색식의 도출

사면 녹화용 녹생토 및 시공법과 관련한 환경 분석을 바탕으로 하여, 특허분석을 위한 기술 분류별 1차 키워드를 도출하였으며, 추가적으로 기술자문위원들과의 기술미팅을 거쳐 검색식 기본 구조와 2차 키워드를 도출하고 보완작업을 실시함

< 표 1-3 > 기술 분류별 키워드 도출

대분류	중분류	분류별 관련 키워드
녹생토 조성물 (A)	시멘트계열 녹생토 (AA)	녹생토 조성물, 에코 클린 시멘트 그라우트, Eco Clean Cement Grout, ECG, 시멘트, 숏크리트, Shotcrete
	친환경재료 녹생토 (AB)	녹생토 조성물, 에코 클린 시멘트 그라우트, Eco Clean Cement Grout, ECG, 친환경, 녹색토양재, 산업부산물
시공 및 관리 (B)	시공 기술 (BA)	녹생토 시공법, 식생공법, 암반식생, 법면 녹화, 사면보강 대책공법, 사면 녹화, 비탈면 녹화, 토사 절취면 피복공, 분사, 뿜어붙이기, 식생 매트, 식생 망태, 텍솔, 식생 줄떼
	유지 및 보수 기술 (BB)	녹생토 시공법, 식생공법, 암반식생, 법면 녹화, 사면보강 대책공법, 사면 녹화, 비탈면 녹화, 수분 공급, 배수, 유지, 보수
	외래종 침입 방지 기술 (BC)	녹생토 시공법, 식생공법, 암반식생, 법면 녹화, 사면보강 대책공법, 사면 녹화, 비탈면 녹화, 외래종, 생태계 교란



< 그림 1-2 > 특허 검색식 기본 구조

< 표 1-4 > 기술 분류별 특허 검색식

대분류	중분류	검색식
녹생토 조성물 (A)	시멘트계열 녹생토 (AA)	(녹생* 녹화* greening* 식물* 식생* soil* plant* vegetat* cultivat* grow* revegetat* afforest* 초목* seed* (seed* adj spray*) gns ECG (eco* near clean*) ecologic*).KEY. AND (암반식생* 암반사면* 사면* slop* 슬라이딩* sliding* 기울* (암반* adj 식생*) 사면보강* (reinforc* near slope*) (control* near slope*) (사면* adj 보강*) 사면안정* (사면* adj 안정*) (restor* near slope*) (protect* near slope*) bank* 법면* 시멘트* 시맨트* 씨멘트* 씨맨트* cement* 콘크리트* concret* 숏크리트* shotcret* stabilis* 그라우트* 그라우팅* grout* gabion* 뿜어붙이기* 텍솔* taxol* MSE* stabiliz* 줄떼* sod* (strip* near sod*) (soil* near nail*) 외래종* exotic* (생태계* adj 교란*)).KEY.
	친환경재료 녹생토 (AB)	
시공 및 관리 (B)	시공 기술 (BA)	
	유지 및 보수 기술 (BB)	
	외래종 침입 방지 기술 (BC)	

(4) 분석대상 기술 관련 국제특허분류

특허공보에는 기술파악 및 특허정보의 검색 및 가공을 용이하게 하기 위하여 국제특허분류(International Patent Classification, IPC)를 포함하는데, 본 분석과제와 관련하는 국제특허분류는 아래의 표에 정리하였음

< 표 1-5 > 분석 관련 국제특허분류

Section	분류	상세 설명
A 생활필수품 농업	A01G	원예; 채소, 화훼, 벼, 과수, 포도, 호프 또는 해초의 재배; 임업; 관수
	A01C	식부; 파종; 시비
	A01N	인간, 동물 또는 식물의 본체, 또는 그것들의 부분 보존; 살생물제(Biocides), 예, 살균제, 살충제 및 제초제로서; 유해생물 기피제 또는 유인제; 식물생장조절제
	A01P	화합물 또는 조성물의 살생물, 유해 생물 기피, 유해 생물 유인 또는 식물 생장 조절 활성
	A41G	조화; 가발; 마스크(가면); 깃털
B 처리조작; 운수	B01F	조화; 가발; 마스크(가면); 깃털
	B05B	무화장치; 분무장치; 노즐
	B05D	액체 또는 타유동성 물질을 표면에 작용시키기 위한 공정일반
	B09B	고체 폐기물의 처리
	B09C	오염된 토양의 재생
	B23P	금속의 다른 가공; 복합 작업; 만능 공작 기계
	B28B	점토 또는 다른 세라믹 조성물, 슬래그 또는 시멘트 함유 혼합물, 예. 플래스터의 성형

	B29C	플라스틱의 성형 또는 접합; 소성 상태에 있는 물질의 성형, 일반; 성형품의 후처리, 예. 수선
	B32B	적층체, 즉 평평하거나 평평하지 않은 형상
	B44C	장식 효과의 창작; 모자이크; 목판 세공; 도배
C 화학; 야금	C04B	석회; 마그네시아; 슬래그; 시멘트; 그 조성물, 예. 모르타르, 콘크리트 또는 유사한 건축재료; 인조석; 세라믹; 내화물; 천연석의 처리
	C05D	서브클래스 C05B(인산비료), C05C(질소비료)에 분류되지 않는 무기질 비료; 이산화탄소를 생성하는 비료
	C05F	서브클래스 C05B(인산비료), C05C(질소비료)에 분류되지 않는 유기질 비료, 예. 폐기물 또는 쓰레기로부터 되는 비료
	C05G	각각이 C05 중의 상이한 서브클래스에 포함되는 비료의 혼합물; 하나 또는 그 이상의 비료와 특히 비료 활성을 갖지 않는 물질과의 혼합물, 예. 살충제, 토양 조절제, 습윤제와의 혼합물; 형태에 특징이 있는 비료
	C07D	이종원자 고리 화합물
	C07F	탄소, 수소, 할로겐, 산소, 질소, 황, 셀레늄 또는 텔루르 이외의 원소를 함유하는 비환식, 탄소 고리 또는 이종원자 고리 화합물
	C08J	마무리; 일반적 혼합 방법; 서브클래스 C08B, C08C, C08F, C08G 또는 C08H에 포함 되지 않는 후 처리
	C09K	그 밖에 분류되지 않는 응용되는 물질 ; 그 밖에 분류되지 않는 물질의 응용

	C12M	효소학 또는 미생물학을 위한 장치
	C12N	미생물 또는 효소; 그 조성물; 미생물의 보존, 유지, 증식; 돌연변이 또는 유전자공학; 배지
E 고정구조물	E01C	도로, 경기장 또는 그와 유사한 것의 건설 또는 그 표면의 시공; 건설 및 보수용 기계 또는 보조 공구
	E01F	도로의 부대설비(附帶設備)의 설치 또는 플랫폼, 헬리콥터의 착륙대(着陸臺), 표시(標示), 방설책(防雪柵) 또는 이와 유사한 것의 건설과 같은 부대작업(附帶作業)
	E02B	수공(水工)
	E02D	기초(基礎); 굴착(掘鑿); 축제(築堤); 지하 또는 수중 구조물
	E03F	하수(下水); 오수(汚水) 구덩이
	E04B	건축구조일반; 벽, 예. 칸막이벽; 지붕; 바닥; 천정(天井); 건축물의 절연(絶緣) 또는 기타 보호(保護)
	E04D	지붕 잇기; 천창(天窓); 물받이 홈통; 지붕 공사용 공구
	E04G	비계(飛階); 거푸집; 거푸집 널; 건축용 기구 또는 기타 건축용 보조구 또는 그것들의 사용; 현장에 있어서의 건축 재료의 취급; 현존하는 건축물의 보수, 해체 또는 기타 작업
	E21D	수직갱(垂直坑); 터널; 갱도(坑道); 대형 지하실

(5) 기술분류별 검색건수 및 유효건수

검색식에 의하여 검색된 특허(RawDATA)를 대상으로 하여, 아래 < 표 1-7 >의 유효특허 추출기준으로 노이즈 제거 및 분석대상 특허를 선별한 결과(유효데이터)는 아래 < 표 1-8 >과 같음

< 표 1-6 > 유효특허 추출기준

대분류	중분류	노이즈 제거 및 유효특허 추출기준
녹생토 조성물 (A)	시멘트계열 녹생토 (AA)	■ 사면의 안정화를 목적으로 하는 녹생토 조성물과 관련된 특허를 유효특허로 선정하였으며, 이에는 조성물의 제조 방법과 관련된 특허도 포함하였음 ■ 조성물의 구성을 기준으로 시멘트계열을 사용하는 경우에는 중분류 AA로 분류하였고, 그 외의 친환경 재료를 사용하는 경우에는 중분류 AB로 분류하였음 ■ 사면의 안정화를 목적으로 명시하지 않은 경우에도 조성물 및 제조 방법에 관한 특허의 경우에는 그 내용이 사면 안정화에 적용될 수 있는 유사한 특허인 경우 유효특허로 선정함 ■ 포장용 아스팔트, 주차장 등의 평지에 적용하는 것으로 용도를 한정한 콘크리트 조성물에 관한 특허의 경우 유효특허에서 제외함 ■ 토양안정제로써 입자들을 결합시켜 토양의 침식을 막는 것으로 사면 보강 효과는 있으나 녹화를 목적으로 함이 아닌 조성물 및 그 시공법 관련 특허는 유효 특허에서 제외함
	친환경재료 녹생토 (AB)	
시공 및 관리 (B)	시공 기술 (BA)	■ 급경사면 또는 암반 사면의 흘러내림 방지를 목적으로 하는 녹생토 시공법과 관련한 특허를 유효특허로 선정함 ■ 녹생토의 유지 보수를 목적으로 하는 배수 관련 시공법 및 외래종 침입 방지를 목적으로 하는 보호 공법과 관련한 특허를 유효특허로 선정함 ■ 건물의 옥상 또는 지붕 녹화용으로 용도를 한정한 특허의 경우 유효 특허에서 제외함

	유지 및 보수 기술 (BB)	■ 포장용 아스팔트, 주차장 등의 평지에 적용하는 것으로 용도를 한정한 식생 블록, 친환경 포장 방법 등 특허의 경우 유효 특허에서 제외함 ■ 하천 바닥에 적용하는 것으로 용도를 한정한 식생 블록 특허의 경우 유효 특허에서 제외함 ■ 하천 바닥 또는 하천 내부에서 서식하는 수중 동식물(수서생물)의 정착, 번식용으로 용도를 한정한 식생 블록 특허의 경우 유효 특허에서 제외함 ■ 하천 법면, 하안 등에 적용하는 것으로 용도를 한정한 식생 블록, 기타 녹화 관련 특허는 유효 특허에 포함하였으나, 하천의 법면 또는 바닥에서 수질 정화를 목적으로 용도를 한정한 식생 블록, 시트 또는 공법 관련 특허의 경우 유효 특허에서 제외함 ■ 암반 사면 혹은 급경사면 적용을 위한 공법으로 흘러내림 등의 방지를 위한 특허 중 녹화, 식생과 관련된 특허는 유효 특허에 포함시켰으나 이에 대한 언급이 없고 비탈면의 고정으로 용도를 한정한 특허의 경우 유효 특허에서 제외함
	외래종 침입 방지 기술 (BC)	

< 표 1-7 > 검색건수 및 유효건수

대상 국가	검색식 검색건수 (RawDATA)	유효건수 (유효DATA)
한국 (KIPO)	6,848건	2,020건
미국 (USPTO)	14,193건	222건
일본 (JPO)	3,398건	2,208건
유럽 (EPO)	5,425건	131건
합 계	29,864건	4,581건

< 표 1-8 > 기술 분류별 유효 건수

대분류	중분류	대상 국가				합 계[3]
		한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	
녹생토 조성물 (A)	시멘트계열 (AA)	43건	6건	191건	6건	246건
	친환경재료 (AB)	180건	19건	218건	7건	424건
시공 관리 (B)	시공 기술 (BA)	1,986건	202건	1,979건	122건	4,289건
	유지 및 보수 (BB)	68건	5건	47건	1건	121건
	외래종 침입 방지 (BC)	2건	0건	12건	0건	14건
합 계		2,279건	232건	2,447건	136건	5,094건

< 표 1-9 > [중분류 BA] 세부 기술 분류별 유효 건수

중분류	소분류	대상 국가				합 계[4]
		한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	
시공 기술 (BA)	식생 매트 공법 (BAA)	229건	18건	253건	16건	516건
	옹벽, 블록 설치 공법 (BAB)	1,025건	65건	521건	50건	1,661건
	식생 망태 공법 (BAC)	141건	20건	149건	16건	326건
	분사(뿜어붙이기) 공법 (BAD)	137건	11건	395건	0건	543건
	기타 시공법 (BAE)	454건	88건	661건	40건	1,243건
합 계		1,986건	202건	1,979건	122건	4,289건

3) 다수의 기술이 포함되어 있는 경우, 각각의 기술에 대하여 중복 분류 하였음

< 표 1-10 > 상위 빈도 관련 국제특허분류

IPC	분 류	상세설명	출원건수
E02D-017/20	E 고정구조물	기초(基礎); 굴착(掘鑿); 축제(築堤); 지하 또는 수중 구조물	1,757
E02D-029/02	E 고정구조물	기초(基礎); 굴착(掘鑿); 축제(築堤); 지하 또는 수중 구조물	615
E02B-003/14	E 고정구조물	수공(水工)	582
A01G-001/00	A 생활필수품 농업	원예; 채소, 화훼, 벼, 과수, 포도, 호프 또는 해초의 재배; 임업; 관수	554
E02B-003/12	E 고정구조물	수공(水工)	224

4) 다수의 기술이 포함되어 있는 경우, 각각의 기술에 대하여 중복 분류 하였음

4. 특허분석방법

(1) 기술 대분류별 분석방법

< 대분류 출원 동향 및 주요 시장국 연도별 출원 동향 분석 >

대분류 전체 출원에 대하여 연도별 출원 동향을 파악함과 아울러, 각각의 연도별 출원에 대하여 대분류 출원이 차지하는 비율을 파악함

또한 주요 시장국 연도별 출원 동향을 분석하여 각 국가별 출원 동향을 비교함

이를 통하여 대분류내의 세부 기술 분류 기술의 출원 동향을 파악하고 동시에 각 국가의 연도별 출원 동향을 파악함

< 시장별 대분류 점유율 현황 >

대분류 전체 출원에 대하여 각 국가별로 어느 분야의 중분류 출원이 활발하게 이루어졌는지를 파악함과 아울러, 각각의 중분류에 대하여 어느 국가의 출원이 출원수에 있어서 강점을 가지고 있는지를 파악함

(2) 기술 중분류별 분석방법

< 국가별 출원 동향 및 주요 시장국 연도별 출원 동향 분석 >

중분류 전체 출원에 대하여 연도별 출원 동향을 파악함과 아울러, 조사대상 국가 중 어느 국가의 출원이 전체 출원 동향을 주도하였는지를 파악함

해당 중분류에서 각국의 출원 동향은 기술의 발전 및 성장의 정도를 나타내는 척도가 됨

< 주요 시장국 내외국인 출원 현황 및 연도별 내외국인 출원 동향 분석 >

중분류 전체 출원에 대하여 국가내의 내국인 및 외국인의 출원 비율을 파악함. 외국인의 해외 기술시장 진출이 활발하다는 것은 시장의 성장 및 해당 외국인 출원인의 기술 사업화 의지를 나타내는 척도가 됨

출원인국적을 내국인과 외국인으로 구분하여 분석하면, 해당 출원국가에서 자국 기술력이 우세한지, 외국 기술에 대한 의존도가 높은 지를 파악할 수 있으며, 또한 내외국인의 출원건수 변화 추이를 연도별로 살펴보면 특정 시장에서의 외국 기술 유입 상황을 파악할 수 있음

< 기술발전도 분석 >

1974년부터 2013년까지의 유효 데이터 기간을 구간으로 구분하여 구간 분석을 실시함

구간 내의 출원인의 수 및 출원 건수를 파악하여 기술의 성장 및 쇠퇴 정도를 파악함



구간간의 출원인의 수 및 출원 건수의 증가[성장단계]는 연구개발 투자의 활성화 및 시장에서의 경쟁의 증가를 의미함

한편, 구간간의 출원인 수의 감소 및 출원 건수의 증가 또는 정체[성숙단계]는 지속적인 연구개발 활동 및 일부 출원인의 경쟁 도태를 의미함

해당 중분류 분야에서의 기술발전도 분석을 통하여, 전체 및 각 국가별 기술 성장 정도를 파악함

연도별 구체적인 구간구분 현황은 아래의 표와 같음

< 표 1-11 > 구간 구분 현황

구간	기간 (년도)
1 구간	1974년 ~ 1983년
2 구간	1984년 ~ 1989년
3 구간	1990년 ~ 1995년
4 구간	1996년 ~ 2001년
5 구간	2002년 ~ 2007년
6 구간	2008년 ~ 2013년

< 주요 출원인 분석 >

중분류 전체 출원에 대하여 어떤 출원인이 가장 많은 출원을 보이고 있는지를 파악함과 아울러, 해당 출원인의 자국 및 해외출원 비율을 파악함

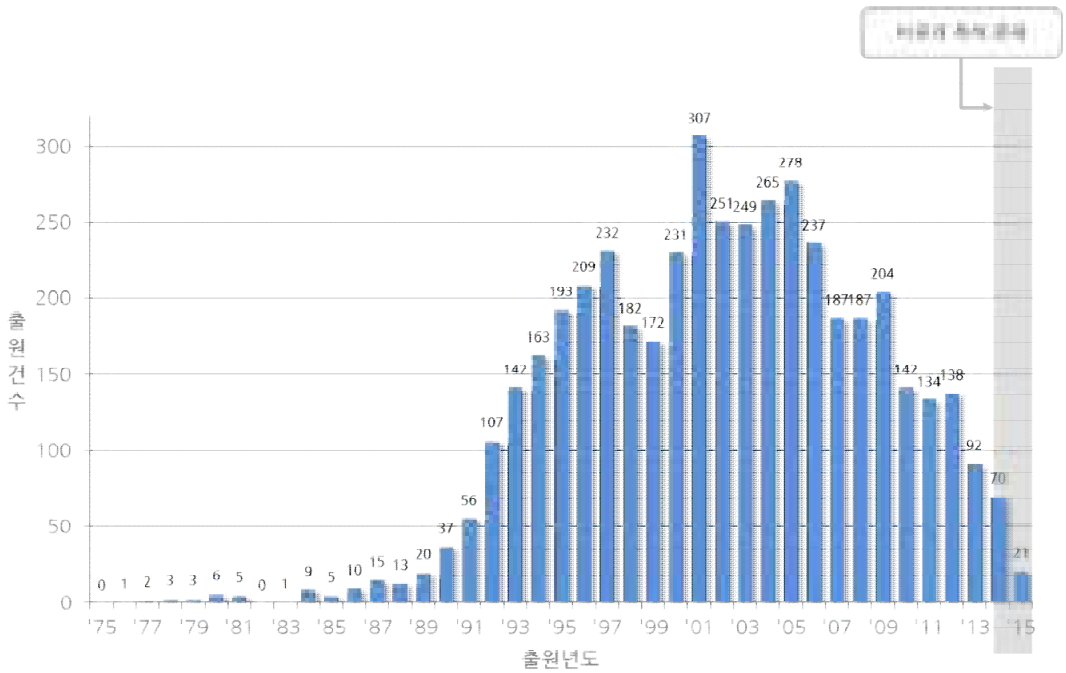
주요 출원인의 파악은 시장을 선도하는 출원인의 선진 기술 파악을 용이하게 하며, 해외 기술 사업화 여부를 파악할 수 있음

제2장 전체 특허동향

1. 주요시장국 연도별 특허동향

본 분석에서는 한국, 미국, 일본 및 유럽 특허청의 출원건을 기준으로 연도별 추이를 살펴봄으로써, 개국에서의 특허출원 경향을 알아보고자 함

< 그림 2-1 >은 한국, 미국, 일본 및 유럽의 출원건 전체에 대한 연도별 출원 동향을 나타낸 것임



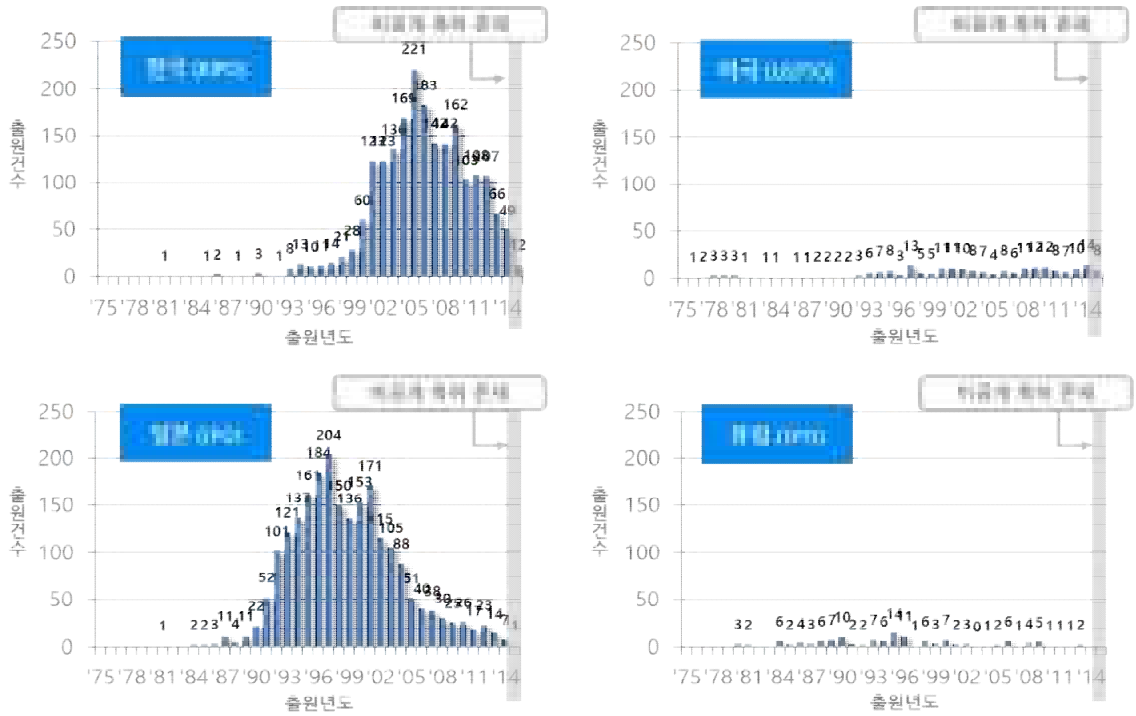
< 그림 2-1 > 전체 연도별 특허 동향

< 그림 2-1 >을 참조하면, 1990년 이전까지는 출원건수가 미미하다가 **1990년대 초반부터 2000년대 중반까지는 출원건수가 선형적으로 크게 증가**하였으며, **2000년대 중반부터 최근까지는 하향세**를 보이고 있음

주요 시장국 연도별 출원동향을 나타낸 < 그림 2-2 >를 참조하면, **일본**의 경우 1990년부터 1995년까지 크게 출원건수가 많아지다가 1996년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있음

한국의 경우에는 일본보다 약 10년 정도 늦은 2000년부터 2005년까지 크게 출원건수가 많아지다가 2005년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있음

미국과 **유럽**의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임



< 그림 2-2 > 주요 시장국 연도별 출원 동향

전체 연도별 특허동향을 보여주는 < 그림 2-1 >의 출원동향 추이는 1990년부터 1998년까지 주요 시장국 중 일본의 출원건수 증가로 크게 증가하고, 이후 2000년부터 2005년까지 일본의 출원건수는 줄어들지만 한국의 출원건수가 크게 증가함에 따라 전체적으로 출원건수가 증가하지만, 2005년 이후에는 한국과 일본의 출원건수가 모두 줄어들면서 전체적인 출원건수가 하향선을 그리는 것으로 분석됨

녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 **환경산업시장**은 일반적으로 < 표 2-1 >과 같은 **네 단계의 발전과정**을 거치게 됨

이러한 환경시장 발전단계에 따르면 인도, 중국, 동부유럽 및 중남미 지역은 환경 기초시설 투자가 대폭 이루어지면서 시장 성장률이 매우 높을 것으로 예측 되지만 **북미, 일본과 같은 보다 성숙한 시장**은 **환경 기초시설에 대한 투자가 대부분 완료됨에 따라 시장 성장률이 낮아질 것**이나, 자원 생산성 제고분야는 비교적 성장이 활발할 것으로 예측됨

영국 정부기관인 JEMU(Joint Environmental Markets Units)가 발표한 자료에 의하면[5] 환경산업시장 규모는 연평균 7% 정도의 매우 빠른 속도로 성장하여 1992년도에

5) KONETIC, 최근 환경산업 전망 및 환경기술개발 동향, 2008. 4호, 2007.

3,000억 달러 이었던 시장규모가 1996년에는 4,300억 달러, 2000년도에는 5,150억 달러로 급속히 확대되었으며, 2010년까지 연평균 2.9%정도 증가되어, 2010년의 환경산업시장 규모는 6,880억 달러에 이를 전망이지만 **북미, 서유럽, 일본 등 선진국 시장은 전세계 시장의 80%정도를 차지함에도 불구하고 신장세는 점차 둔화되어 2.5% 수준이 될 것**으로 예상하고 있으며, 이는 **선진국 시장은 환경시초시설에 대한 투자가 이미 거의 완료된 성숙단계이기 때문**인 것으로 분석함.

< 표 2-1 > 환경산업시장 발전단계[6)]

시장 단계	시장 상황
초기시장 단계	■ 시장의 발전 초기 단계에서는 투자는 매우 제한적으로 이루어지는 데 그침으로써, 환경 기초시설에 대한 대규모 투자가 아직 이루어지지 못하고 정부는 시급한 환경문제 해결에 주력
환경 기초시설 발전 단계	■ 경제 발전과 공업화 진전에 따라 환경 기초시설에 대한 대규모 투자가 이루어지며, 시장은 빠른 속도로 성장하기 시작
환경 규제 강화 단계	■ 경제가 발전하고 기본적인 환경 기초시설이 구축됨에 따라 정부는 환경규제 강화에 주력하기 시작하며, 이는 산업계의 환경관리와 오염조절을 위한 투자를 촉진 ■ 환경 시장의 성장률은 여전히 매우 높지만 전 단계보다는 낮아짐
자원 생산성 및 시장에 기초한 규제 단계	■ 환경 개선과 자원의 생산성 제고를 위한 재정적, 경제적 유인책이 도입되고(예: 쓰레기 매립세, 청정기술을 위한 세제 개혁), 환경 시장은 빠른 성장세를 지속 ■ 청정생산공정, 재활용, 재생가능 에너지와 같은 생태효율적인 활동의 발전이 이루어지고, 환경문제에 대한 소비자들의 인식 증대에 따라 기업의 환경책임 의식이 단순히 규제를 준수하는 것 이상으로 발전

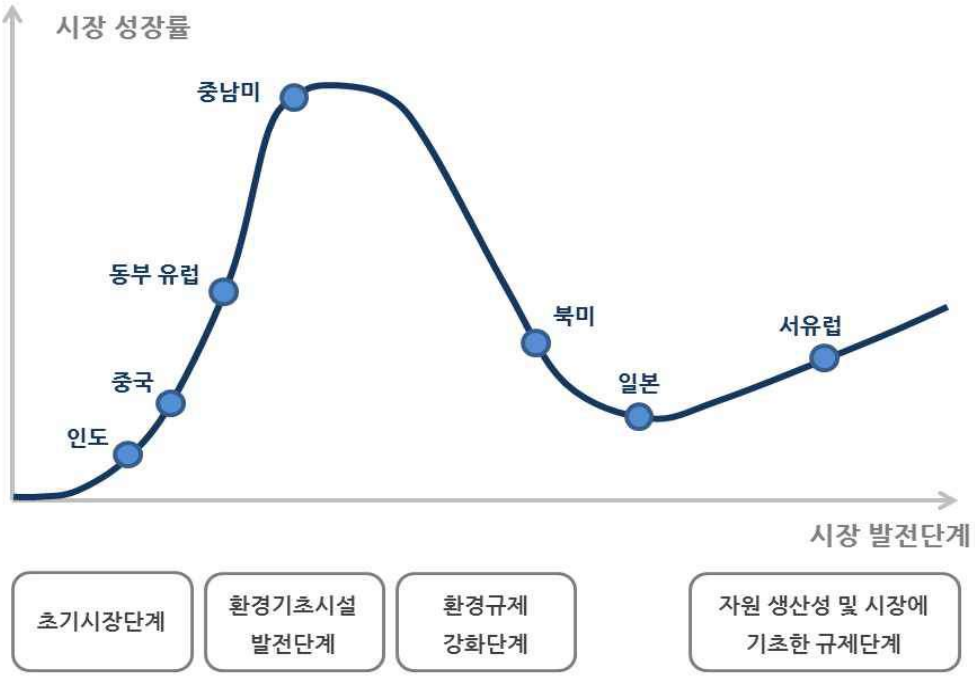
녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 특허 동향에서도 이를 확인할 수 있는데, **일본**의 경우 환경 산업시장의 추이와 마찬가지로 1990년대부터 급격한 성장을 이루었으나 **2000년대에 들어오면서 이미 관련 투자가 완료되어 성숙한 단계에 이르렀기 때문에** 점차 특허 출원수가 줄어들고 있음을 확인할 수 있으며, 따라서 **일본의 녹생토 관련 기술의 단계는 이미 2000년대 중반부터 환경 규제 강화 단계에 들어섰음**을 알 수 있음

한국의 경우는 **일본보다 약 10년 정도 늦게** 관련 특허 출원건수가 증가하다가 비교적 최근인 2000년대 후반에 들어서면서 출원건수가 줄어들기 시작하는 것으로 보아 **한국도 마찬가지로 최근에는 일본의 경우와 같이 점차 환경 규제 강화 단계에 들어서기 시작**하

6) 한기주, "세계 환경산업 시장 전망", 산업경제분석, 2006.

고 있음을 확인할 수 있음

< 그림 2-3 >의 세계 지역별 환경시장 단계에서도 일본은 이미 환경 규제 강화 단계를 지나 시장 성장률이 최저점임을 알 수 있으며, **한국의 경우는 중남미와 일본의 사이에 위치할 것으로 예상**됨



< 그림 2-3 > 세계 지역별 환경 시장 발전 단계[7)]

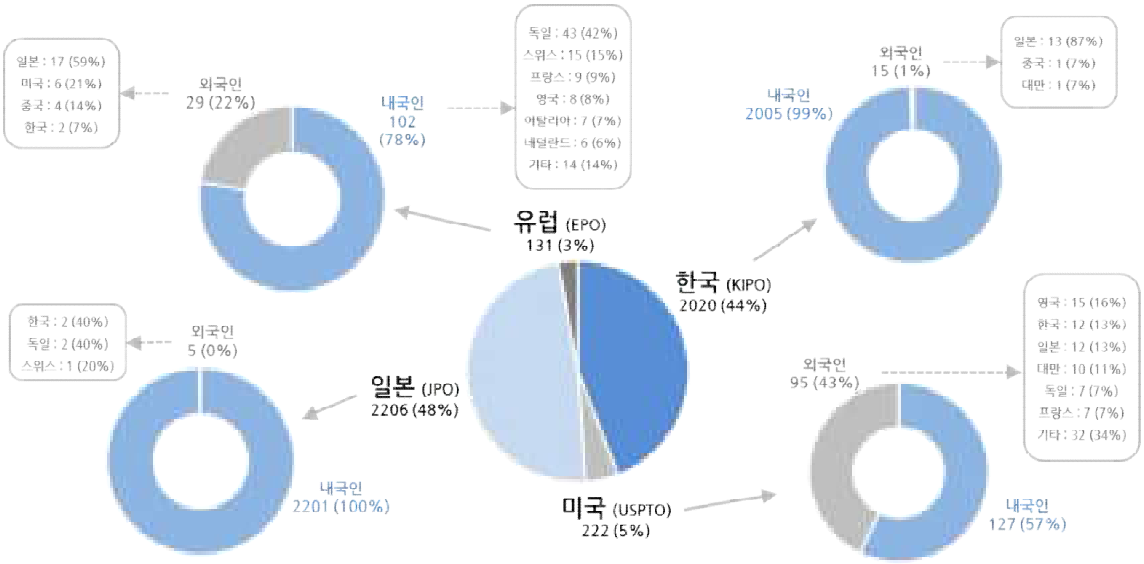
따라서 녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 전체 특허동향은 1990년대 초반에는 일본이 초기 시장 단계와 발전 단계를 거치면서 출원건수가 크게 증가하였고, 2000년대에는 한국이 초기 시장 단계와 발전 단계를 거치면서 다시 한번 출원건수가 크게 증가하다가, **2000년대 후반에 들어서면서 최근까지는 환경 규제 강화 단계에 접어들면서 전체적인 특허 출원건수가 줄어들고 있다**고 분석됨

하지만 출원건수가 줄어들고 있다고 하여 시장의 규모가 축소되거나 관련 연구가 줄어들고 있는 것으로 분석해서는 안되므로 유의하여야 하고, 오히려 **시장이 성숙 단계**에 접어들면서 이미 많은 특허가 선점되고 있는 상황이므로 이후에는 특허 관점에서는 더욱 전략적인 접근이 필요함

7) 한기주, "세계 환경산업 시장 전망", 산업경제분석, 2006

2. 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

아래의 < 그림 2-4 >는 주요시장국 내외국인의 특허출원 비중과 외국인의 국적을 분석한 결과를 수치화하여 나타낸 것임



< 그림 2-4 > 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

특허출원국가는 특허가 출원된 특허정이 소재하고 있는 국가를 말하는 것으로, 특정 시장에서 권리활동을 나타내는 지표임

출원인 국적은 어느 시장에 출원했든지 간에 출원된 특허 기술을 보유하고 있는 자의 국적으로, 기술 보유국을 의미함

출원인국적을 내국인과 외국인으로 구분하여 분석하면, 해당 출원국가에서 자국 기술력이 우세한지, 외국 기술에 대한 의존도가 높은 지를 파악할 수 있음. 또한 내외국인의 출원건수 변화 추이를 연도별로 살펴보면 특정 시장에서의 외국 기술 유입 상황을 파악할 수 있음

일본 특허청(JPO)으로 출원된 특허가 48%, 한국(KIPO) 44%, 미국(USPTO) 5%, 유럽(EPO) 3%로 나타나 관련 기술에 대한 시장이 **일본과 한국으로 집중**되고 있음

내외국인의 출원 비율을 보면, 일본과 한국의 경우에는 **대부분 내국인 출원**으로 구성되어 있으며(일본은 전체 출원 2206건 중 내국인 출원이 2201건이며, 한국은 전체 출원 2020건 중 내국인 출원이 2005건임), 미국과 유럽의 경우에도 각각 내국인 출원 비율

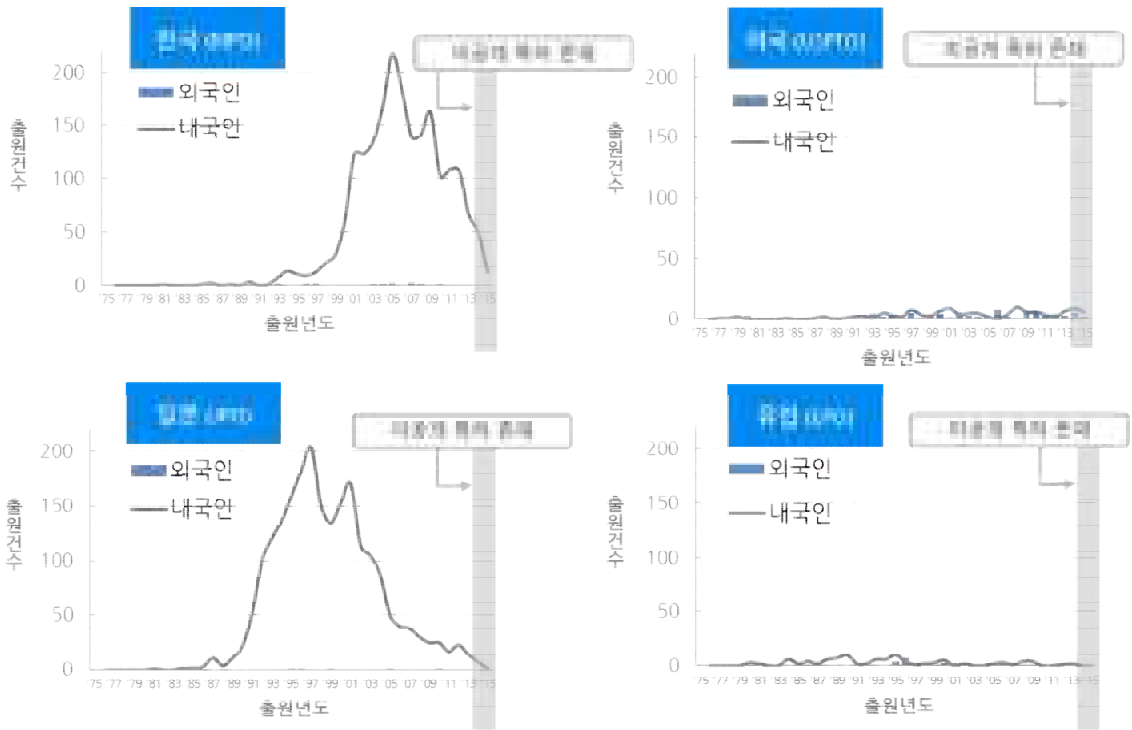
이 57%, 78%이므로 전체적으로 자국출원 중심으로 구성됨을 확인할 수 있으며, 따라서 전체적인 동향은 **내국인 출원이 대부분**이고 **해외시장 진출은 많지 않은 것**으로 판단됨

미국의 외국인 출원의 경우 영국이 16%를 차지하여 가장 많았으며, 한국과 일본이 13%로 그 뒤를 이었음

유럽의 내국인 출원은 독일이 42%를 차지하여 가장 많았으며, 외국인 출원은 일본이 59%를 차지하여 가장 많았음

전체적으로 일본과 한국 국적의 출원인이 많았으며, 대부분 자국 출원 중심으로 분포하고 있음을 확인할 수 있음

아래 < 그림 2-5 >는 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 내외국인 특허출원현황을 파악하기 위하여 내국인의 출원건수와 외국인의 출원건수를 시장별로 나누어 연도별로 도시한 것임



< 그림 2-5 > 연도별 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

전체적으로 외국인 출원건수가 많지 않으므로 내국인 출원건수의 추이는 < 그림 2-2 > 주요시장국 연도별 출원 동향과 매우 흡사함

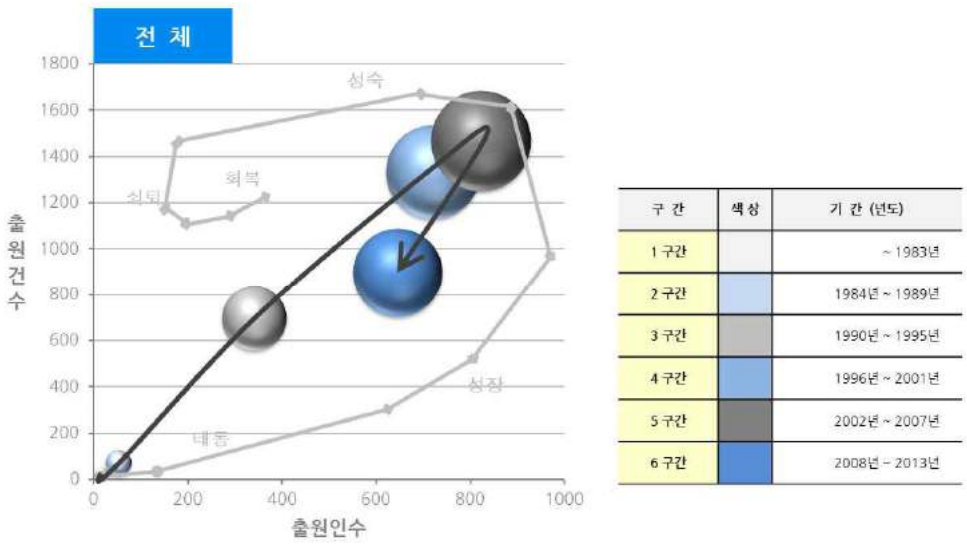
내국인 출원의 추이는 일본의 경우 1990년부터 1995년까지 크게 출원건수가 많아지다가 1996년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있으며, **일본은 외국인 출원이 거의 없음**

한국의 내국인 출원건수를 살펴보면, 일본보다 약 10년 정도 늦은 2000년부터 2005년까지 크게 출원건수가 많아지다가 2005년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있으며, **한국도 일본과 마찬가지로 외국인 출원건수가 거의 없음**

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임

3. 기술발전도 분석

아래의 < 그림 2-6 >은 녹생토 조성물 및 시공법 관련 전체 특허 기술 시장의 성장단계를 파악하기 위하여 출원건수가 미미한 1974년부터 1983년까지를 한 구간으로 묶고, 1985년부터 2013년까지를 6년 단위의 구간으로 나누어 출원건수와 출원인 수의 변화를 나타낸 것임



구 간	색 상	기 간 (년도)
1 구간		~ 1983년
2 구간		1984년 ~ 1989년
3 구간		1990년 ~ 1995년
4 구간		1996년 ~ 2001년
5 구간		2002년 ~ 2007년
6 구간		2008년 ~ 2013년

< 그림 2-6 > 전체 출원 국가의 기술시장 성장단계

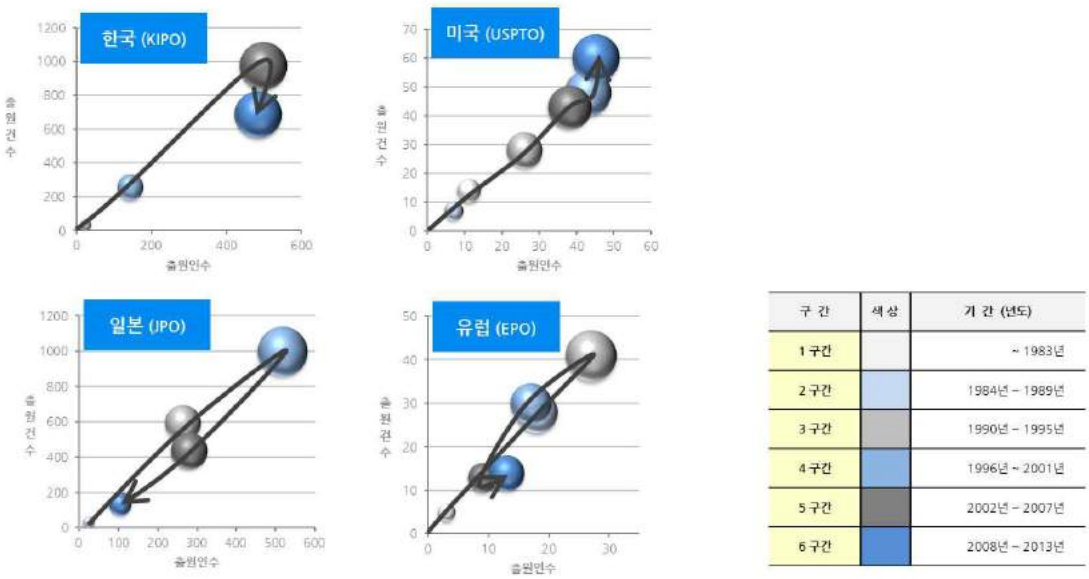
< 그림 2-6 >을 참조하면, 전체적으로 **5구간인 2007년까지는 출원인 수와 출원건수가 함께 증가하는 추세**에 있어서 녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 기술시장이 **성장기**에 있는 것으로 파악되었으나, **6구간인 2008년 이후부터는 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어드는 모습**을 확인할 수 있음

일반적으로는 성장기에 있는 기술이 성숙기를 거치면서 출원건수는 늘어나지만 출원인 수는 줄어드는 과정을 거치는데, 녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 기술은 그러한 과정을 거치지 않고 출원건수도 급격하게 줄어드는 모습을 보임

이는 환경 산업시장의 특수한 성격이 반영된 결과로 해석되며, 많은 비중을 차지하고 있던 **한국과 일본이 모두 환경 규제 강화 단계에 접어들면서** 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어들었고 이러한 환경이 반영된 결과로 해석됨

아래의 < 그림 2-7 >은 한국, 미국, 일본 및 유럽 각 국가에서의 기술시장의 성장단계를 파악하기 위하여 < 그림 2-6 >과 동일한 방법으로 구간을 나눠 출원건수와 출원인 수의

변화를 나타낸 것임



< 그림 2-7 > 주요시장국 기술시장 성장단계

한국시장은 전체 출원 국가의 기술시장 성장단계와 매우 유사한 추이를 보임. **5구간인 2000년대 초반까지 급격하게 출원인 수와 출원건수가 증가**하다가 **6구간인 2008년 이후에는 출원인 수와 출원건수가 모두 줄어들기 시작**하여 이러한 추이가 반영된 결과로 보임

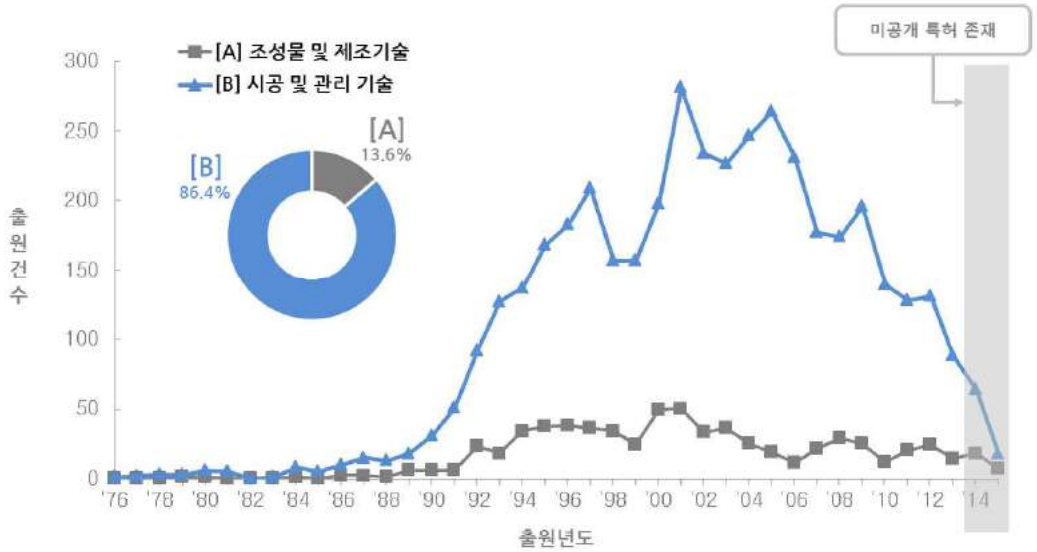
일본시장은 한국시장보다 앞선 **3구간과 4구간인 1990년대 초반부터 후반까지 출원인 수와 출원건수가 함께 급격하게 늘어나다가, 5구간부터 출원인 수와 출원건수가 줄어들기 시작**하면서 **6구간인 2008년 이후에는 출원인 수와 출원건수가 모두 급격하게 줄어드는 것**을 확인할 수 있음

일본시장의 추이가 한국시장의 추이보다 10년 정도 먼저 나타나는 것을 볼 때, **한국시장의 추이도 앞으로 일본시장과 같이 출원인 수와 출원건수가 급격하게 줄어들 것으로 예상**되지만, 출원인 수와 출원건수가 줄어들고 있다고 하여 시장의 규모가 급격하게 축소되거나 관련 연구가 줄어들고 있는 것으로 분석하기 보다는, 오히려 **시장이 성숙 단계**에 접어들면서 이미 많은 특허가 선점되고 있는 상황이므로 이후에는 특허 관점에서는 더욱 전략적인 접근이 필요하고 관련 연구 기획 시 주도면밀하게 분석하여야 할 것임

미국와 유럽시장의 경우는 출원인 수와 출원건수가 상대적으로 매우 적어 유의미한 결과를 분석하기 쉽지 않지만, 미국과 유럽의 경우 출원인 수와 출원건수는 적지만 꾸준하게 증가하는 추세임.

4. 대분류 출원동향 분석

아래의 < 그림 2-8 >은 녹생토 조성물 및 시공법 관련 전체 특허 중에서 [대분류 A] 「녹생토 조성물」 기술과 [대분류 B] 「시공 및 관리」 기술 분포의 연도별 동향을 나타낸 것임



< 그림 2-8 > 연도별 대분류 출원동향 분석

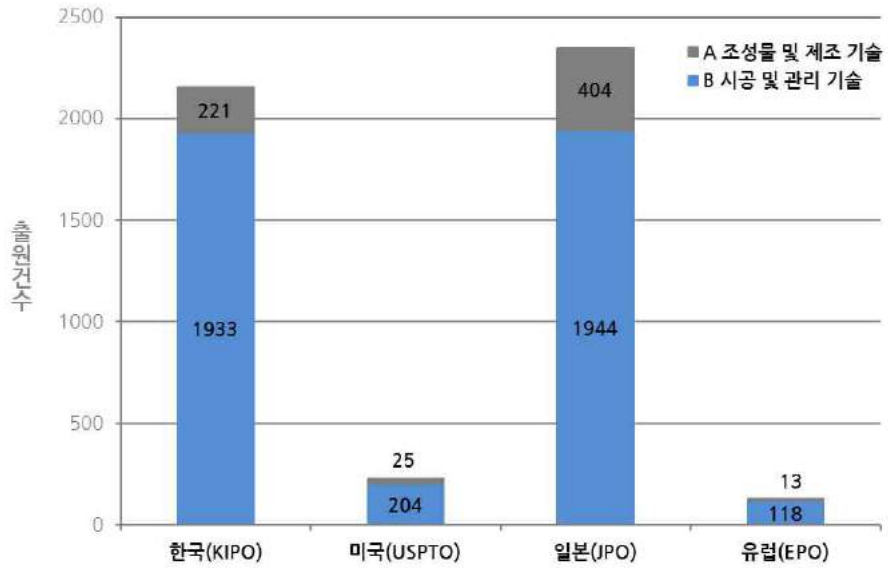
전체적인 분포는 **[대분류 A] 「녹생토 조성물」 기술이 13.6%, [대분류 B] 「시공 및 관리」 기술이 86.4%**를 차지하여 시공 및 관리 기술의 점유율이 **약 6배 이상 높았으며,** 따라서 조성물 및 제조기술에 관한 특허보다는 시공 및 관리 기술에 관한 특허가 비중이 매우 높음을 확인할 수 있음.

조성물 기술 관련 특허의 전체적인 연도별 추이와 시공 및 관리 기술 관련 특허의 전체적인 연도별 추이가 비슷한 양상으로 전체적으로 **1990년대 초반부터 2000년대 중반까지는 꾸준하게 증가**하다가 **2000년대 중반 이후로는 출원건수가 줄어들고 있음**

[대분류 A] 「녹생토 조성물」 기술과 [대분류 B] 「시공 및 관리」 기술 분포의 연도별 동향이 비슷한 양상을 보이는 것은 **조성물 관련 기술만 단독으로 출원하는 경우는 많지 않고**, 조성물 관련 기술의 경우 해당 조성물을 사용하는 **시공법까지 함께 특허 출원하는 경우가 많기 때문**인 것으로 해석됨

녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 특허에서 **조성물 관련 특허의 경우 대부분 해당 조성물을 사용하는 시공법을 함께 특허로 출원하는 경향**이 매우 높음

아래 < 그림 2-9 >는 한국, 미국, 일본 및 유럽의 시장별 대분류 점유율 현황을 나타낸 것임



< 그림 2-9 > 시장별 대분류 점유율 현황

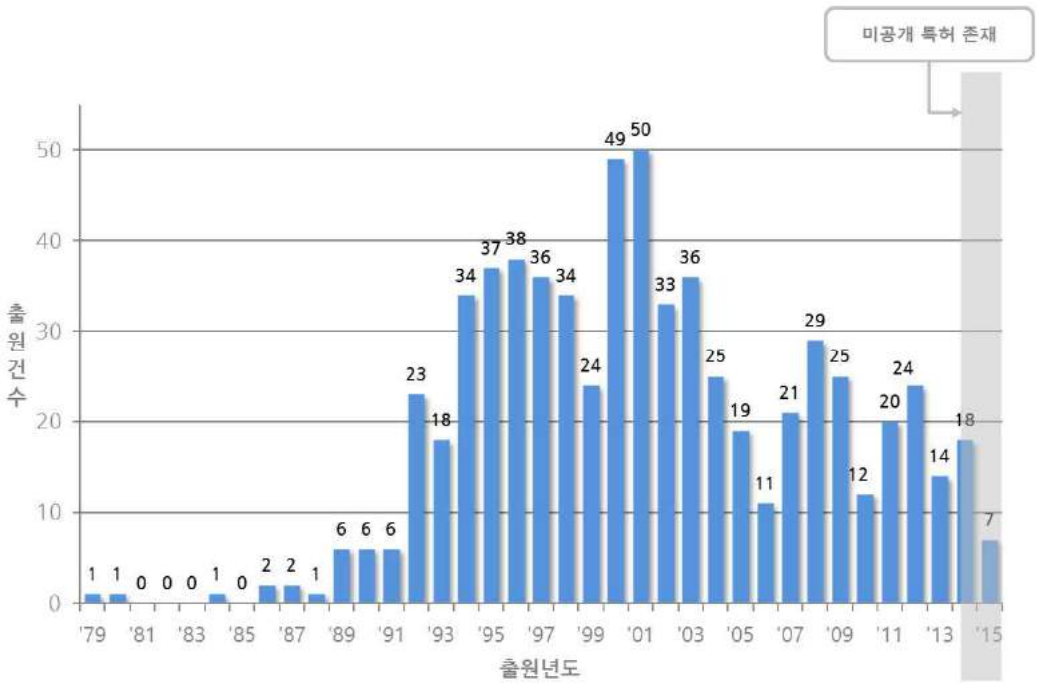
[대분류 A] 「녹생토 조성물」 기술의 경우, **일본이 404건으로 가장 많은 출원건수**를 보이고 있으며, 한국이 221건으로 두 번째로 많은 출원건수를 보이고 있으며, 미국과 유럽은 각각 25건, 13건으로 일본과 한국에 비해 상대적으로 매우 적은 출원건수를 나타내고 있음

[대분류 B] 「시공 및 관리」 기술의 경우, **일본이 1944건으로 가장 많은 출원건수**를 보이고 있으며, 한국이 1933건으로 두 번째로 많은 출원건수를 보이고 있으며, 미국과 유럽은 각각 204건, 118건으로 조성물 관련 기술과 같이 일본과 한국에 비해 상대적으로 적은 출원건수를 보이고 있음

전체적인 출원건수로 볼 때, **시공 및 관리 기술의 경우는 일본과 한국이 큰 차이가 없으나 조성물 관련 기술의 경우는 약 2배가량 일본이 한국보다 출원건수가 많으며,** 이를 통하여 일본시장이 조성물 관련 기술에서 가장 높은 비중을 차지하고 있음을 확인할 수 있음

5. [대분류 A] 녹생토 조성물 관련 특허동향

아래의 < 그림 2-10 >은 [대분류 A] 녹생토 조성물 관련 기술의 한국, 미국, 일본 및 유럽의 출원건 전체에 대한 연도별 특허 출원동향을 나타낸 것임



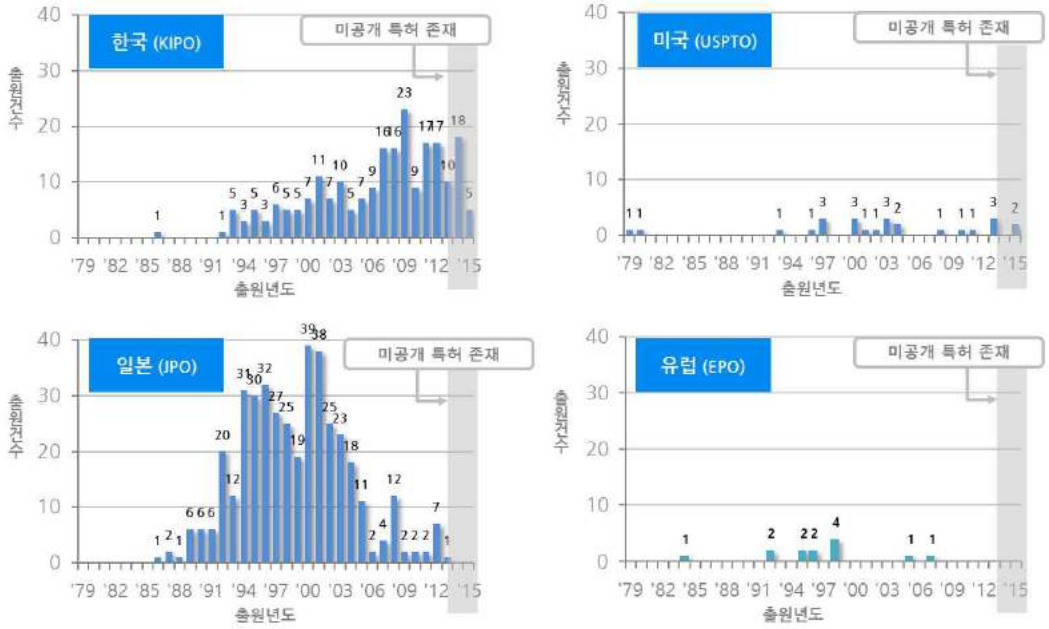
< 그림 2-10 > [대분류 A] 전체 연도별 특허동향

< 그림 2-10 >을 참조하면, 1990년까지는 출원건수가 미미하다가 **1990년대 초반부터 2000년대 중반까지는 출원건수가 선형적으로 크게 증가**하였으며, **2000년대 중반부터 최근까지는 하향세**를 보이고 있음

주요 시장국 연도별 출원동향을 나타낸 < 그림 2-11 >을 참조하면, **일본**의 경우 **1990년부터 2000년까지 크게 출원건수가 많아지다가 2000년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것**을 볼 수 있음

한국의 경우에는 **1990년대 초반부터 최근까지 비교적 출원건수가 꾸준하게 늘어나고 있음**

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임



< 그림 2-11 > [대분류 A] 주요시장국 연도별 출원동향

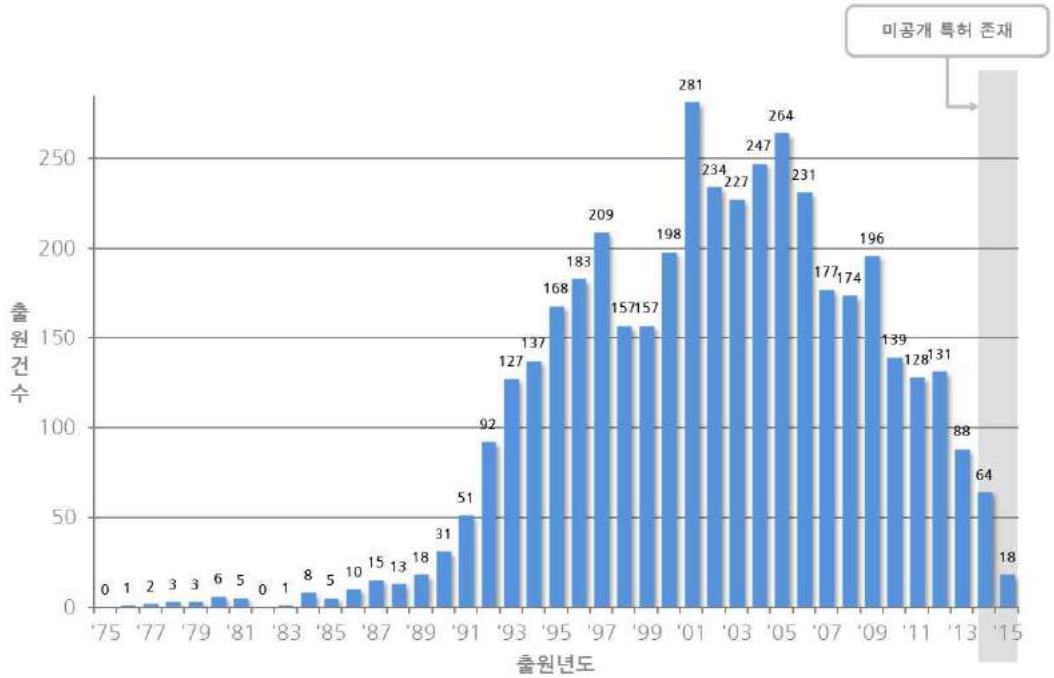
전체 연도별 특허동향을 보여주는 < 그림 2-10 >의 출원동향 추이는 1990년부터 2000년까지 주요 시장국 중 일본의 출원건수 증가로 꾸준하게 증가하고 이후로는 한국의 경우에는 계속적으로 출원건수가 증가하지만 일본의 출원건수가 급격하게 줄어들면서 전체적인 출원건수가 줄어들고 있음

[대분류 A] 「녹생토 조성물」 기술의 경우, 일본과 한국이 차지하는 비중이 매우 크고, 특히 일본의 경우 한국보다 약 2배가량 비중이 높기 때문에 전체적인 출원건수는 **일본의 영향을 많이 받는 것**으로 보임

한국의 경우 2014년도와 2015년도의 특허 출원건수는 미공개 특허가 존재하기 때문에 2014년 이후로 출원건수가 줄어든다고 해석할 수 없으며 **지속적으로 출원건수가 증가하거나 비슷한 추이가 예상**된다고 볼 수 있음

6. [대분류 B] 녹생토 시공법 관련 특허동향

아래의 < 그림 2-12 >는 [대분류 B] 시공 및 관리 관련 기술의 한국, 미국, 일본 및 유럽의 출원건 전체에 대한 연도별 특허 출원동향을 나타낸 것임



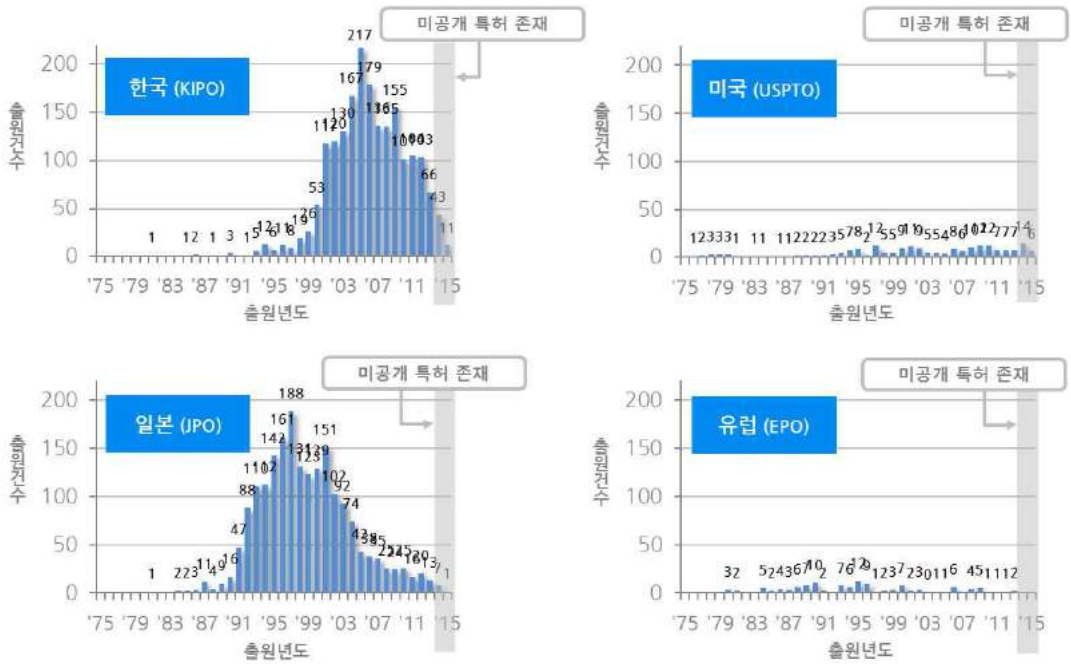
< 그림 2-12 > [대분류 B] 전체 연도별 특허동향

< 그림 2-12 >를 참조하면, 1990년까지는 출원건수가 미미하다가 **1990년대 초반부터 2000년대 중반까지는 출원건수가 선형적으로 크게 증가**하였으며, **2000년대 중반부터 최근까지는 하향세**를 보이고 있음

주요 시장국 연도별 출원동향을 나타낸 < 그림 2-13 >을 참조하면, **일본**의 경우 **1990년부터 1995년까지 크게 출원건수가 많아지다가 1996년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것**을 볼 수 있음

한국의 경우에는 일본보다 약 10년 정도 늦은 **2000년부터 2005년까지 크게 출원건수가 많아지다가 2005년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것**을 볼 수 있음

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임



< 그림 2-13 > [대분류 B] 주요 시장국 연도별 출원동향

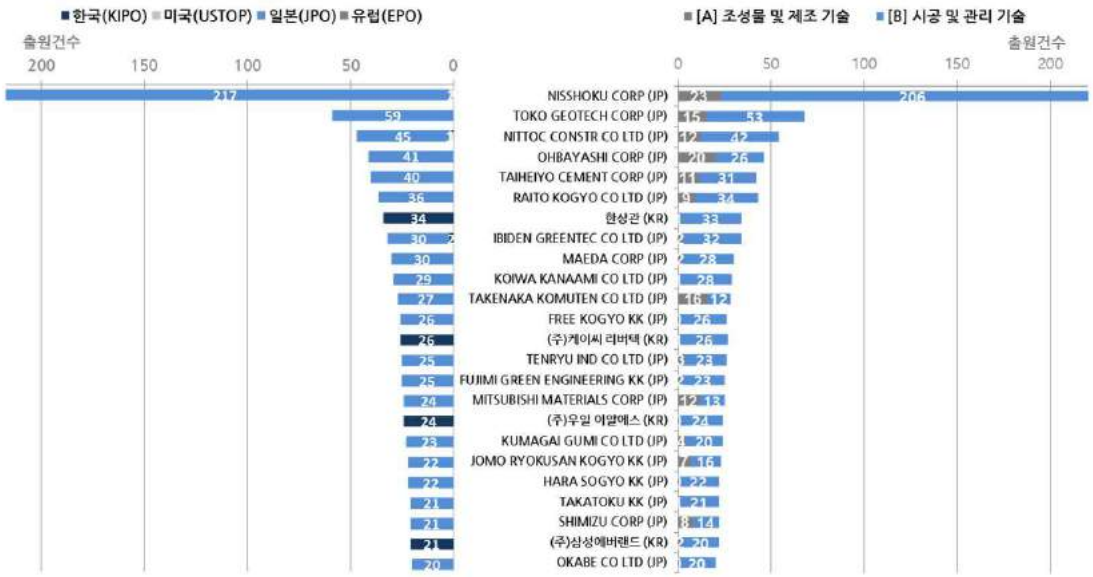
전체 연도별 특허동향을 보여주는 < 그림 2-12 >의 출원동향 추이는 1990년부터 1998년까지 주요 시장국 중 일본의 출원건수 증가로 크게 증가하고, 이후 2000년부터 2005년까지 일본의 출원건수는 줄어들지만 한국의 출원건수가 크게 증가함에 따라 전체적으로 출원건수가 증가하지만, 2005년 이후에는 한국과 일본의 출원건수가 모두 줄어들면서 전체적인 출원건수가 하향선을 그리는 것으로 분석됨

전체적으로 **[대분류 B] 「시공 및 관리」** 기술의 경우, [대분류 A] 「녹생토 조성물」 기술보다 **약 6배 이상** 출원건수가 많기 때문에 녹생토 조성물 및 시공법 전체의 연도별 출원동향과 매우 흡사한 추이를 보이고 있음

따라서 [대분류 B] 「시공 및 관리」 기술의 경우 녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 전체 특허동향과 마찬가지로 **1990년대 초반에는 일본이 초기 시장 단계와 발전 단계를 거치면서 출원건수가 크게 증가**하였고, **2000년대에는 한국이 초기 시장 단계와 발전 단계를 거치면서 다시 출원건수가 크게 증가**하다가, **2000년대 후반에 들어서면서 최근까지는 환경 규제 강화 단계에 접어들면서 전체적인 특허 출원건수가 줄어들고** 있다고 분석됨

7. 주요 출원인 분석

아래의 < 그림 2-14 >는 녹생토 조성물 및 시공법 관련 전체 특허 출원건에 대하여 주요 출원인을 분석하였음. 한국, 미국, 일본 및 유럽에 대한 주요 출원인의 분포와 함께 [대분류 A] 「녹생토 조성물」 기술과 [대분류 B] 「시공 및 관리」 기술의 분류별 분포도 함께 나타내었음



< 그림 2-14 > 분류별 주요 출원인 분석

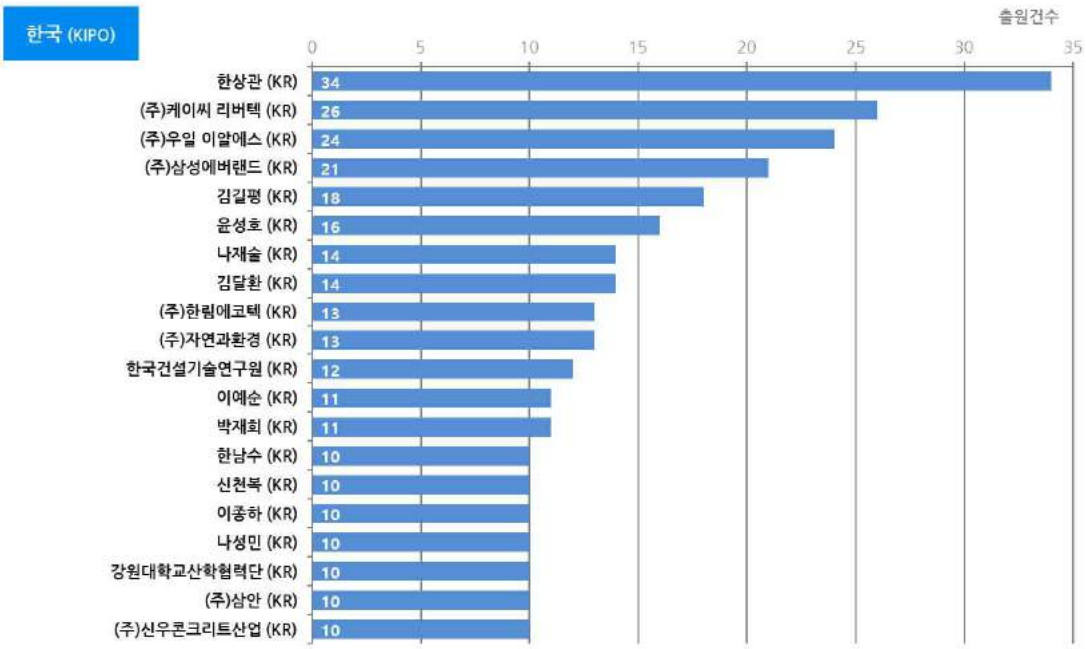
주요 출원인은 해외 출원이 많지 않았고 **국내 출원이 대부분**인 것으로 보아 관련 기술에 대한 **해외시장 진출에 대한 의지는 높지 않은 것**으로 파악됨

주요 출원인의 **대부분이 일본 국적**이었으며, 식품과 농업 관련 기업인 Nisshoku corp.(일본), 법면 보호 공사 및 지반 개량 공사 분야를 중점적으로 사업하고 있는 건설회사인 Toko Geotech corp.(일본), 법면 보호 공사 분야를 주로 사업하고 있는 건설회사인 Nittoc constr. corp.(일본), 도시개발과 엔지니어링을 기반으로 건설 서비스업을 하고 있는 Ohbayashi corp.(일본), 시멘트, 건설회사로써 환경사업을 중점적으로 사업을 하고 있는 Taiheiyo Cement corp.(일본) 등 관련 **기업**이 상위를 차지하였음

일본 외에 주요 출원인으로는 하단배출식 수문제조 분야의 벤처회사인 (주)명성테크(한국 – 대표인 한상관의 이름으로 출원함), (주)케이씨 리버텍(한국), (주)우일 이알에스(한국), (주)삼성에버랜드(한국)로 모두 국적이 한국이었으며 일본과 마찬가지로 모두 **기업**인 것으로 나타남

녹생토 조성물 및 시공법 분야는 토목, 건설 분야이기 때문에 개인 출원보다는 주로 **기**

업 출원이 대부분이었으며, 출원 분포도 **대부분 시공법 분야인 [대분류 B]와 관련된 특허 출원이 많이 있음**을 확인할 수 있었음



< 그림 2-15 > 주요 시장국 주요 출원인 분석 (한국 KIPO)

한국의 주요 출원인을 분석한 <그림 2-15 >를 참조하면, 한국 특허청(KIPO)의 주요 출원인도 **모두 국적이 한국**인 것으로 보아 대부분 **국내 출원**이며 **해외시장에서의 유입은 거의 없음**을 알 수 있음

34건으로 가장 많은 출원을 한 (주)명성테크(한국 – 대표인 한상관의 이름으로 출원함)는 하단배출식 수문을 제조하는 벤처기업으로, 800여개의 특허 및 실용신안권을 등록, 출원 중이며 동탄산업훈장, 대한민국 발명대왕상 등을 수상한 경력이 있는 법면 보호 공사 분야에서 많은 기술을 확보하고 있는 기업임

주요 출원인의 대부분이 **기업**이며, 개인 이름으로 출원한 경우에도 개인 사업자 혹은 벤처기업인 경우가 대부분이며, 이는 토목, 건설 분야인 녹생토 조성물 및 시공법 기술 분야의 특성 때문인 것으로 해석됨

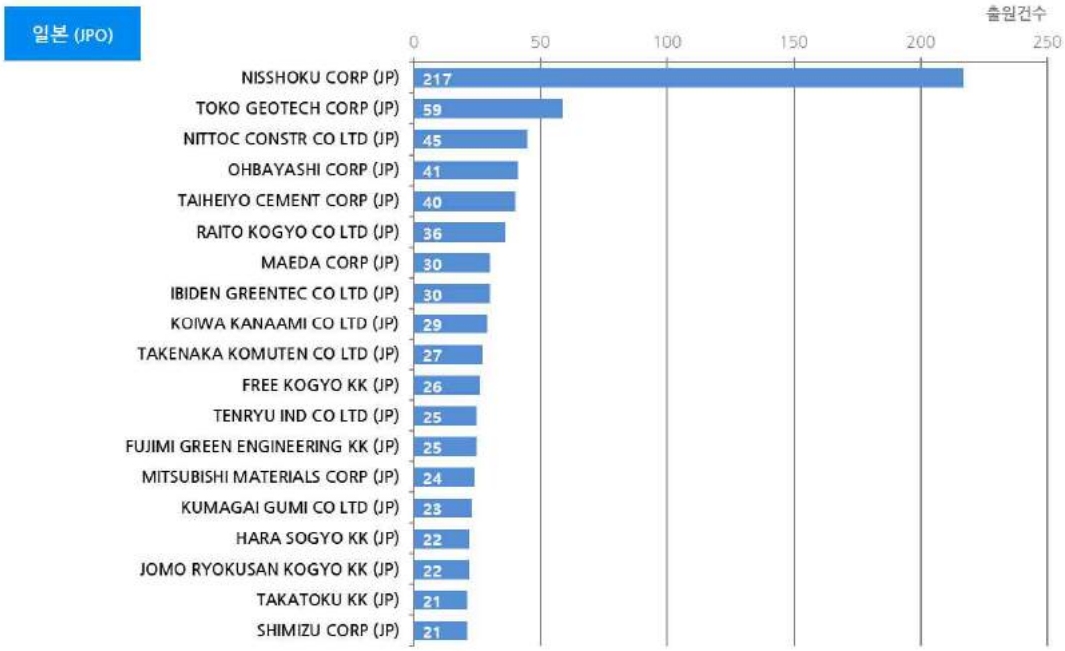
기업 외에는 한국건설기술연구원(한국), 강원대학교 산학협력단(한국) 등이 주요 출원인으로 상위 분포하였음

미국의 주요 출원인을 분석한 < 그림 2-16 >을 참조하면, 미국 특허청(USPTO)의 주요 출원인도 대부분 **기업**인 것을 알 수 있으며, 국적은 자국 출원인 미국이 가장 많았지만, 영국, 독일, 이스라엘, 한국 등도 분포함



< 그림 2-16 > 주요 시장국 주요 출원인 분석 (미국 USPTO)

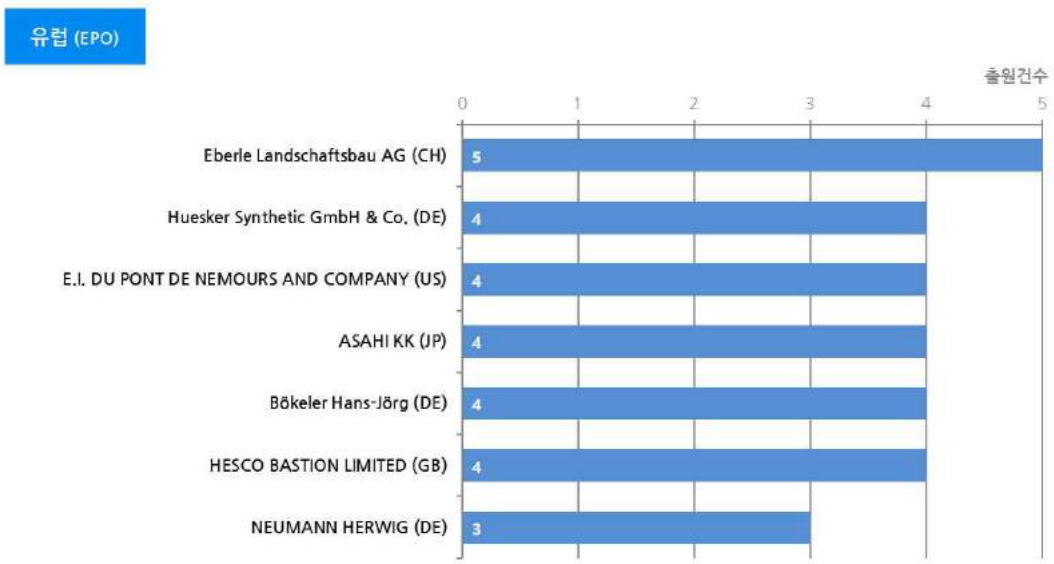
12건으로 가장 많은 출원을 한 Hesco Bastion Limited(영국)는 동망태(Garbion) 형태의 옹벽을 제조하여 해변과 습지의 홍수 방지 등을 위한 건설 분야의 사업을 시작으로 최근에는 영역을 넓혀 미군, 이라크군 등과 합동하여 다양한 형태의 옹벽을 제작하고 있음



< 그림 2-17 > 주요 시장국 주요 출원인 분석 (일본 JPO)

일본의 주요 출원인을 분석한 < 그림 2-17 >을 참조하면, 일본 특허청(JPO)의 주요 출원인 또한 마찬가지로 **대부분 기업**이며, **토목, 건설 분야**의 회사인 것을 알 수 있음.

녹생토 조성물 및 시공법 분야의 **대부분 주요 출원인이 일본 국적**이고 또한 **대부분이 자국 출원**이므로 일본 특허청의 주요 출원인은 전체 주요 출원인 구성과 거의 비슷함



< 그림 2-18 > 주요 시장국 주요 출원인 분석 (유럽 EPO)

유럽의 주요 출원인을 분석한 < 그림 2-18 >을 참조하면, 유럽 특허청(EPO)의 주요 출원인 또한 마찬가지로 **대부분 기업**이며, **토목, 건설 분야**의 회사임

5건으로 가장 많은 출원을 한 Eberle Landschaftsbau AG(스위스)는 스위스 국적이지만, 그 외에는 독일 국적의 주요 출원인이 가장 많았음

주요 시장국의 주요 출원인을 전체적으로 살펴보면, 녹생토 조성물 및 시공법 분야의 특성상 **토목, 건설 회사**가 대부분을 차지하고 있었으며, **자국 출원이 대부분**으로 **해외 시장 진출의 의지가 높지 않음**을 알 수 있음

제3장 [대분류 A] 녹생토 조성물 분야 특허동향

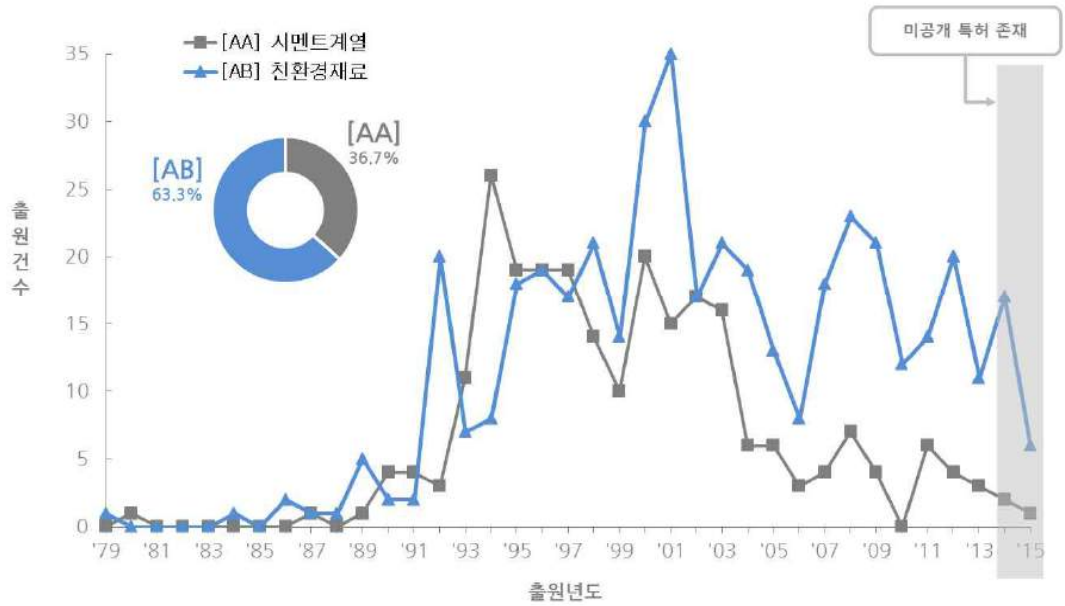
[대분류 A] 녹생토 조성물 분야는 [중분류 AA] 시멘트계열 조성물 분야, [중분류 AB] 친환경재료 조성물 분야로 구분하여 특허동향 분석을 실시함

먼저, [대분류 A] 녹생토 조성물 분야에 대한 동향을 분석하고, 각각의 소분류별 상세한 분석을 실시함

1. [대분류 A] 중분류 특허동향

(1) [대분류 A] 중분류 출원동향

아래의 < 그림 3-1 >은 [대분류 A] 녹생토 조성물 분야 관련 특허 중에서 [중분류 AA] 시멘트계열 조성물 분야와 [중분류 AB] 친환경재료 조성물 분야 기술 분포의 연도별 동향을 나타낸 것임



< 그림 3-1 > [대분류 A] 연도별 중분류 출원동향 분석

전체적인 분포는 **[중분류 AA] 시멘트계열 조성물 분야가 36.7%, [중분류 AB] 친환경재료 조성물 분야가 63.3%**를 차지하여 친환경재료 조성물 분야가 시멘트계열 조성물 분야에 비해 점유율이 **약 2배가량 높았으며,** 따라서 시멘트계열 조성물 분야에 관한 특허 보다 친환경재료 조성물 분야에 관한 특허가 비중이 높음을 확인할 수 있음

[중분류 AA] 시멘트계열 조성물 분야에 관한 특허 출원동향과 [중분류AB] 친환경재료

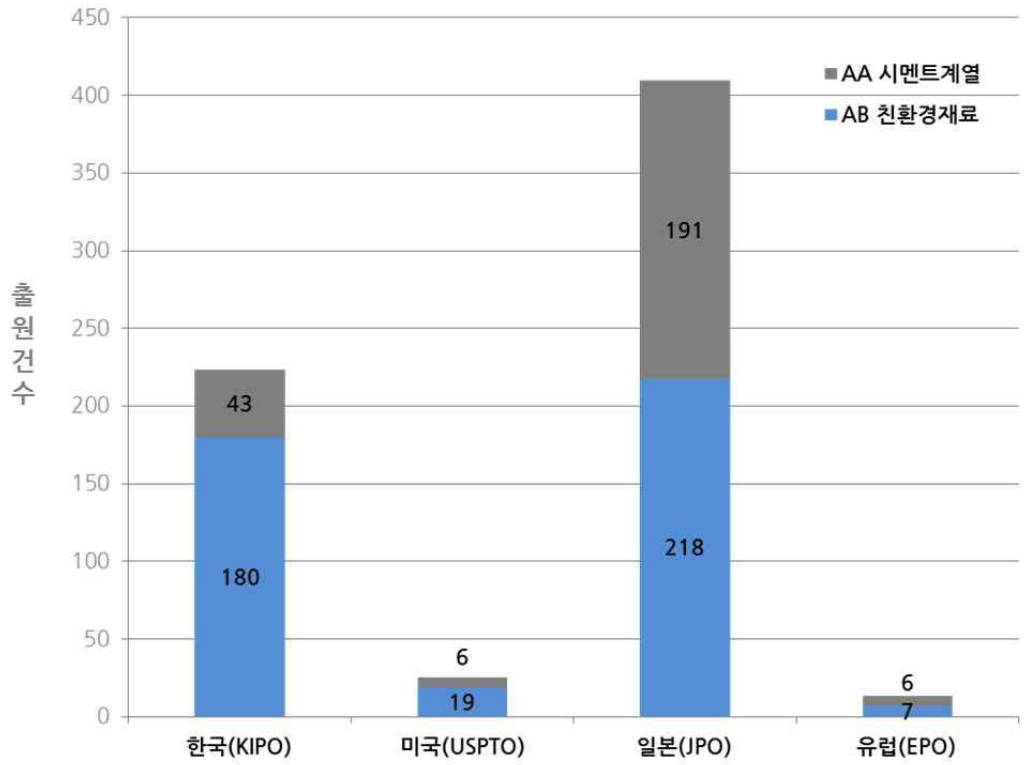
조성물 분야에 관한 특허 출원동향이 전체적으로 비슷하긴 하지만, 1993년부터 1997년까지는 시멘트계열 조성물 분야의 특허 출원 점유율이 더 높았던 것에 비해, 1997년 이후부터는 친환경재료 조성물 분야의 특허출원 점유율이 더 높고 시멘트계열 조성물 분야의 특허 출원건수와의 차이도 크게 벌어져 **최근에는 시멘트계열 조성물 분야보다 친환경재료 조성물 분야의 관심이 더 큰 것**을 확인할 수 있음

특히 시멘트계열 조성물 분야의 경우 2004년 이후에는 매년 출원건수가 10건 미만으로 최근에는 출원건수가 많지 않음

이는 점차 환경에 대한 관심이 높아지면서 녹생토 조성물 분야도 **시멘트계열보다 친환경재료 쪽으로 시장의 관심이 변화**되고 있기 때문인 것으로 해석됨

(2) [대분류 A] 시장별 중분류 점유율 현황

아래의 < 그림 3-2 >는 [대분류 A] 녹생토 조성물 분야에 관한 특허 출원 중에서 한국, 미국, 일본 및 유럽의 시장별 중분류 점유율 현황을 나타낸 것임



< 그림 3-2 > [대분류 A] 시장별 중분류 점유율 현황

[중분류 AA] 시멘트계열 조성물 분류의 경우, **일본이 191건으로 가장 많은 출원건수**를 보이고 있으며, **한국이 43건**으로 두 번째로 많은 출원건수를 보이고 있으며, 미국과 유럽은 각각 6건, 6건으로 일본과 한국에 비해 상대적으로 매우 적은 출원건수를 나타내고 있음

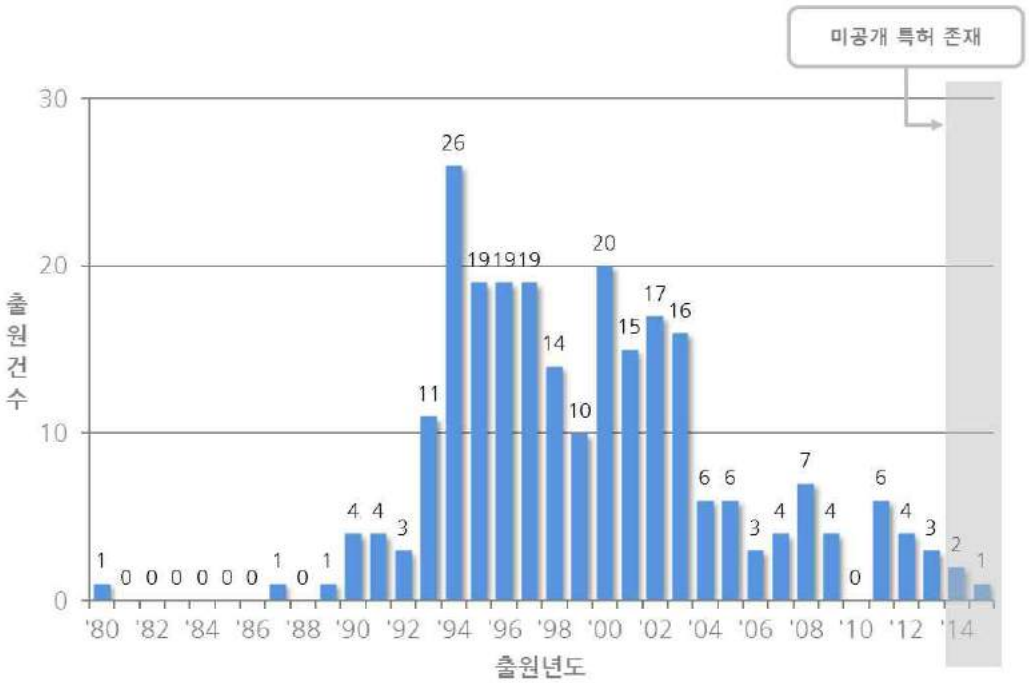
[중분류 AB] 친환경재료 조성물 분류의 경우, **일본이 218건으로 가장 많은 출원건수**를 보이고 있으며, **한국이 180건**으로 두 번째로 많은 출원건수를 보이고 있으며, 미국과 유럽은 각각 19건, 7건으로 시멘트계열 조성물 분류와 같이 일본과 한국에 비해 상대적으로 적은 출원건수를 보이고 있음

전체적인 출원건수로 볼 때, 친환경재료 조성물 분류의 경우는 일본과 한국이 큰 차이가 없으나, **시멘트계열 조성물 분류의 경우는 일본이 한국보다 약 4배 이상 출원건수가 많음**

2. [중분류 AA] 시멘트계열 조성물 분야 특허동향

(1) [중분류 AA] 국가별 출원동향

아래의 < 그림 3-3 >은 [중분류 AA] 시멘트계열 조성물 관련 기술의 한국, 미국, 일본 및 유럽의 출원건 전체에 대한 연도별 특허 출원동향을 나타낸 것임



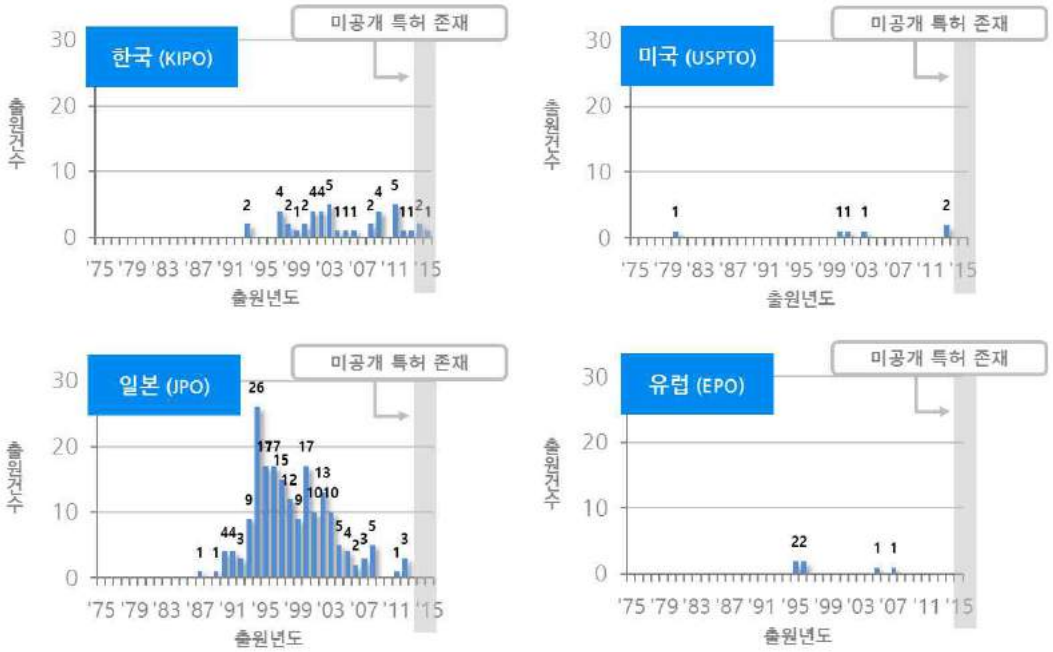
< 그림 3-3 > [중분류 AA] 전체 연도별 특허동향

< 그림 3-3 >을 참조하면, 1992년까지는 출원건수가 미미하다가 **1993년부터 2003년까지 출원건수가 크게 증가**하였으며, **2004년 이후부터 최근까지는 하향세**를 보이고 있음

주요 시장국 연도별 출원동향을 나타낸 < 그림 3-4 >를 참조하면, **일본**의 경우 **1990년부터 1990년대 초반까지 크게 출원건수가 많아지다가 1990년대 중반 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것**을 볼 수 있음

한국의 경우에는 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 많지 않고, 1990년대 중후반 이외에는 매년 출원건수가 10건 미만으로 매우 적은 편임

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임



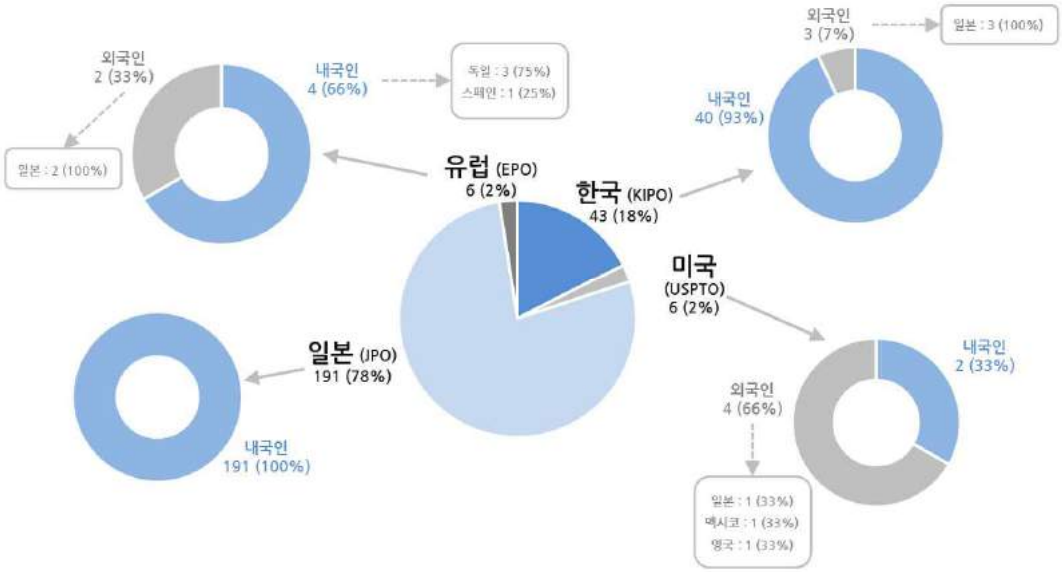
< 그림 3-4 > [중분류 AA] 주요시장국 연도별 출원동향

[중분류 AA] 시멘트계열 조성물 분야의 관련 특허 출원건수는 **일본이 차지하는 비중이 매우 높기 때문**에 전체 연도별 출원건수는 일본의 연도별 출원건수의 영향을 많이 받는 것으로 보임

따라서 시멘트계열 조성물 및 제조방법과 관련된 연구를 위해서는 해당 분야의 일본 출원 특허의 동향을 분석하는 것이 가장 필요한 과제임

(2) [중분류 AA] 주요 시장국 내외국인 출원현황

아래의 < 그림 3-5 >는 [중분류 AA] 시멘트계열 조성물 분야의 관련 특허 출원건 중 주요시장국 내외국인의 특허출원 비중과 외국인의 국적을 분석한 결과를 수치화하여 나타낸 것임



< 그림 3-5 > [중분류 AA] 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

일본 특허청(JPO)으로 출원된 특허가 78%, 한국(KIPO) 18%, 미국(USPTO) 2%, 유럽(EPO) 2%로 나타나 관련 기술에 대한 시장이 일본과 한국으로 집중되고 있으며, 그 중에서 특히 **일본에 많이 집중**되고 있음을 확인할 수 있음

내외국인의 출원 비율을 보면, 일본과 한국의 경우에는 **대부분 내국인 출원**으로 구성되어 있으며(일본은 전체 출원 191건 중 내국인 출원이 191건이며, 한국은 전체 출원 43건 중 내국인 출원이 40건임), 미국과 유럽의 경우에도 각각 내국인 출원 비율이 33%, 66%이므로 전체적으로 자국출원 중심으로 구성됨을 확인할 수 있으며, 따라서 전체적인 동향은 내국인 출원이 대부분이고 **해외시장 진출은 많지 않은 것**으로 판단됨

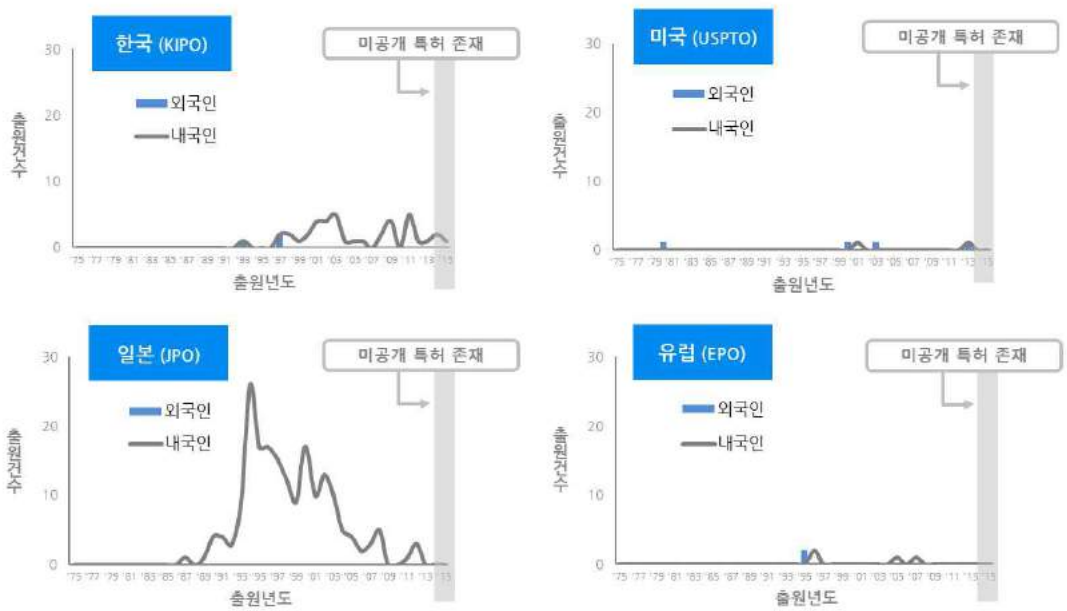
미국의 외국인 출원의 경우 총 3건이 있었는데, 각각 일본, 멕시코, 영국이 1건씩 분포하였음

유럽의 내국인 출원은 독일이 75%(총 4건 중 3건)를 차지하여 가장 많았으며, 외국인 출원은 모두 일본이었음

전체적으로 **일본과 한국 국적의 출원인이 많았으며**, 그 중 특히 일본의 분포가 매우 높

았고, **대부분 자국 출원 중심**으로 분포하고 있음을 확인할 수 있음

아래 < 그림 3-6 >는 [중분류 AA] 시멘트계열 조성물 분야의 관련 특허 출원건 중 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 내외국인 특허출원현황을 파악하기 위하여 내국인의 출원건수와 외국인의 출원건수를 시장별로 나누어 연도별로 도시한 것임



< 그림 3-6 > [중분류 AA] 연도별 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

전체적으로 **외국인 출원건수가 많지 않으므로** 내국인 출원건수의 추이는 < 그림 3-4 > 주요시장국 연도별 출원 동향과 매우 흡사함

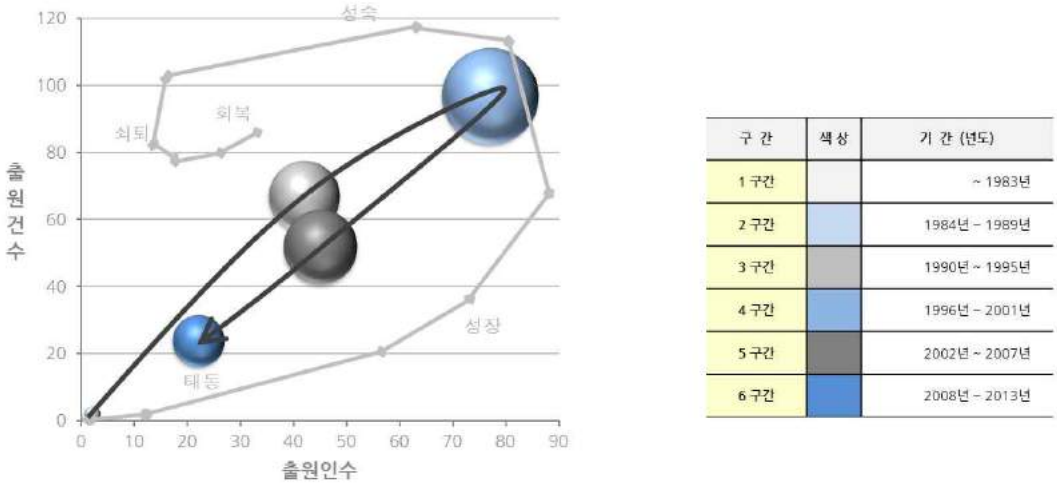
내국인 출원의 추이는 **일본**의 경우 **1990년부터 1990년도 초반까지 크게 출원건수가 많아지다가 1990년도 중반 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것**을 볼 수 있으며, 일본은 **외국인 출원이 없음**

한국의 내국인 출원건수를 살펴보면, 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 많지 않고, 1990년대 중후반 이외에는 매년 출원건수가 10건 미만으로 매우 적은 편임

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임

(3) [중분류 AA] 기술발전도 분석

아래의 < 그림 3-7 >은 [중분류 AA] 시멘트계열 조성물 관련 특허 기술 시장의 성장단계를 파악하기 위하여 출원건수가 미미한 1974년부터 1983년까지를 한 구간으로 묶고, 1985년부터 2013년까지를 6년 단위의 구간으로 나누어 출원건수와 출원인 수의 변화를 나타낸 것임



구 간	색 상	기 간 (년도)
1 구간		~ 1983년
2 구간		1984년 ~ 1989년
3 구간		1990년 ~ 1995년
4 구간		1996년 ~ 2001년
5 구간		2002년 ~ 2007년
6 구간		2008년 ~ 2013년

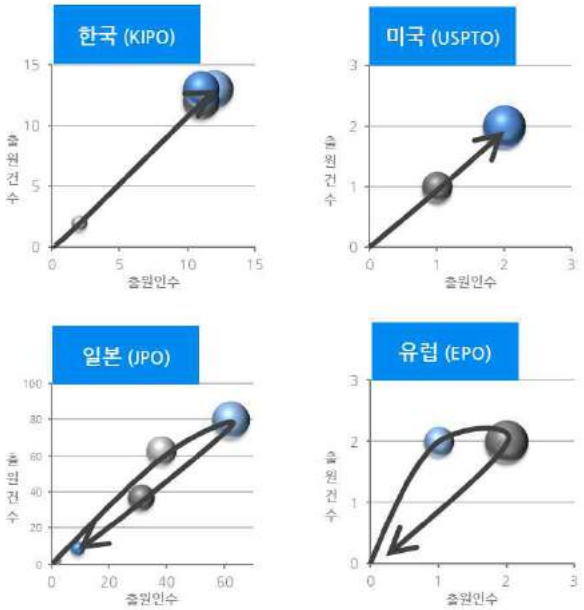
< 그림 3-7 > [중분류 AA] 전체 출원 국가의 기술시장 성장단계

< 그림 3-7 >을 참조하면, 전체적으로 **4구간인 2001년까지는 출원인 수와 출원건수가 함께 증가하는 추세**에 있어서 시멘트계열 조성물과 관련된 기술시장이 **성장기**에 있는 것으로 파악되었으나, **5구간인 2002년 이후부터는 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어드는 모습**을 확인할 수 있음

일반적으로는 성장기에 있는 기술이 성숙기를 거치면서 출원건수는 늘어나지만 출원인 수는 줄어드는 과정을 거치는데, 시멘트계열 조성물과 관련된 기술은 그러한 과정을 거치지 않고 출원건수도 급격하게 줄어드는 모습을 보임

이는 환경 산업시장의 특수한 성격이 반영된 결과로 해석되며, 시멘트계열 조성물과 관련된 특허 출원건수에서 많은 비중을 차지하고 있던 **일본이 환경 규제 강화 단계에 접어들면서** 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어들었고 이러한 환경이 반영된 결과로 해석됨

아래의 < 그림 3-8 >은 [중분류 AA] 시멘트계열 조성물 관련 특허의 한국, 미국, 일본 및 유럽 각 국가에서의 기술시장의 성장단계를 파악하기 위하여 < 그림 3-7 >과 동일한 방법으로 구간을 나눠 출원건수와 출원인 수의 변화를 나타낸 것임



구 간	색 상	기 간 (년도)
1 구간		~ 1983년
2 구간		1984년 ~ 1989년
3 구간		1990년 ~ 1995년
4 구간		1996년 ~ 2001년
5 구간		2002년 ~ 2007년
6 구간		2008년 ~ 2013년

< 그림 3-8 > [중분류 AA] 주요시장국 기술시장 성장단계

가장 큰 비중을 차지하는 **일본시장**은 전체 출원 국가의 기술시장 성장단계와 매우 유사한 추이를 보이며, **4구간인 2001년까지는 출원인 수와 출원건수가 함께 증가하는 추세**에 있어서 시멘트계열 조성물과 관련된 기술시장이 **성장기**에 있는 것으로 파악되었으나, **5구간인 2002년 이후부터는 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어들기 시작**하여 이러한 추이가 반영된 결과로 보임

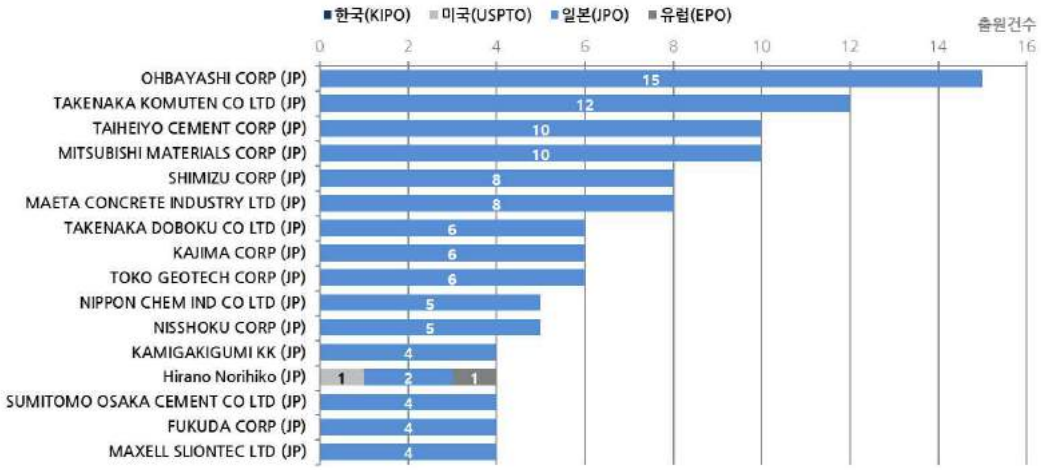
한국시장은 출원건수가 일본에 비교적 많지는 않으나 전체적인 기술시장 성장단계는 **성장기**의 추세인 것으로 보이지만, 아직 관련 특허 출원건수가 적고 일본시장의 추이가 한국시장의 추이보다 10년 정도 먼저 나타나는 것을 볼 때, 한국시장의 추이도 **앞으로 일본시장과 같이 출원인 수와 출원건수가 급격하게 줄어들 것으로 예상**됨.

하지만 출원인 수와 출원건수가 줄어들고 있다고 하여 시장의 규모가 급격하게 축소되거나 관련 연구가 줄어들고 있는 것으로 분석하기 보다는, 오히려 시장이 성숙 단계에 접어들면서 이미 많은 특허가 선점되고 있는 상황이므로 이후에는 특허 관점에서는 더욱 전략적인 접근이 필요하고 관련 연구 기획 시 주도면밀하게 분석하여야 할 것임

미국와 유럽시장의 경우는 출원인 수와 출원건수가 상대적으로 매우 적어 유의미한 결과를 분석하기 쉽지 않지만, 미국의 경우 출원인 수와 출원건수는 적지만 꾸준하게 증가함

(4) [중분류 AA] 주요 출원인 분석

아래의 < 그림 3-9 >는 [중분류 AA] 시멘트계열 조성물 관련 전체 특허 출원건에 대하여 주요 출원인을 분석하였음



< 그림 3-9 > [중분류 AA] 주요 시장국 주요 출원인 분석

주요 출원인은 해외 출원이 많지 않았고 **국내 출원이 대부분**인 것으로 보아 관련 기술에 대한 **해외시장 진출에 대한 의지는 높지 않은 것**으로 파악됨

주요 출원인은 **모두 일본 국적**이었으며, 녹생토 조성물 및 시공법 관련 전체 특허 출원에 대한 주요 출원인으로도 상위 분포하였던 도시개발과 엔지니어링을 기반으로 건설 서비스업을 하고 있는 Ohbayashi corp.(일본), 시멘트, 건설회사로써 환경사업을 중점적으로 사업을 하고 있는 Taiheiyo Cement corp.(일본), 법면 보호 공사 및 지반 개량 공사 분야를 중점적으로 사업하고 있는 건설회사인 Toko Geotech corp.(일본) 등이 여전히 강세를 보였음

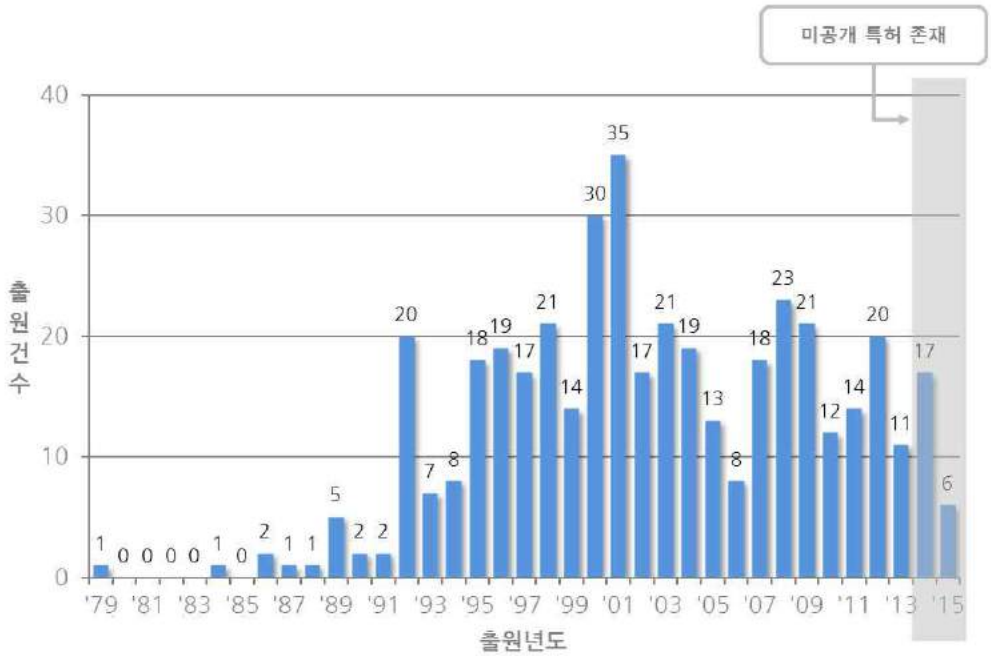
주요 출원인의 대부분이 **기업**이며, 개인 이름으로 출원한 경우에도 개인 사업자 혹은 벤처기업인 경우가 대부분이며, 이는 토목, 건설 분야인 녹생토 조성물 및 시공법 기술 분야의 특성 때문인 것으로 해석됨

시멘트계열 조성물 분야의 특허 관련 주요 시장국의 주요 출원인을 전체적으로 살펴보면, 녹생토 조성물 및 시공법 분야의 특성상 **토목, 건설 회사가 대부분**을 차지하고 있었으며, **자국 출원이 대부분**으로 **해외 시장 진출의 의지가 높지 않음**을 알 수 있음

3. [중분류 AB] 친환경재료 조성물 분야 특허동향

(1) [중분류 AB] 국가별 출원동향

아래의 < 그림 3-10 >은 [중분류 AB] 친환경재료 조성물 관련 기술의 한국, 미국, 일본 및 유럽의 출원건 전체에 대한 연도별 특허 출원동향을 나타낸 것임



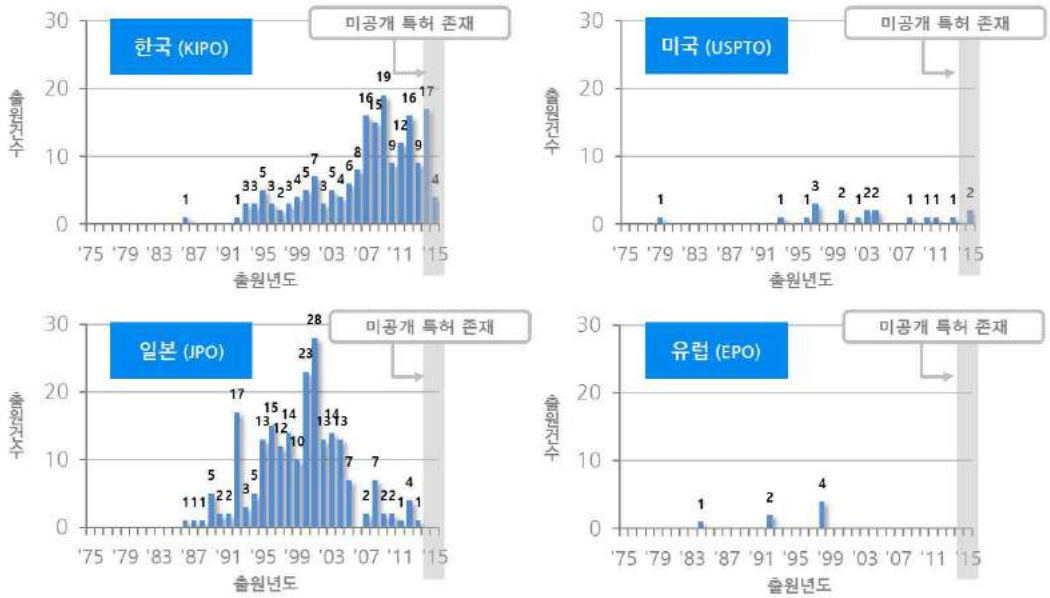
< 그림 3-10 > [중분류 AB] 전체 연도별 특허동향

< 그림 3-10 >을 참조하면, 1991년까지는 출원건수가 미미하다가 **1992부터 2009년까지 출원건수가 크게 증가**하였으며, **2010년 이후부터 최근까지는 하향세**를 보이고 있음

주요 시장국 연도별 출원동향을 나타낸 < 그림 3-11 >를 참조하면, **일본**의 경우 **1990년부터 2000년대 초반까지 크게 출원건수가 많아지다가 2000년대 중반 이후부터 최근까지 급격하게 출원건수가 줄어들고 있는 것**을 볼 수 있음

한국의 경우에는 일본보다 약 10년 정도 늦은 **2000년부터 최근까지 크게 출원건수가 늘어나고 있는 것**을 볼 수 있음

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임



< 그림 3-11 > [중분류 AB] 주요시장국 연도별 출원동향

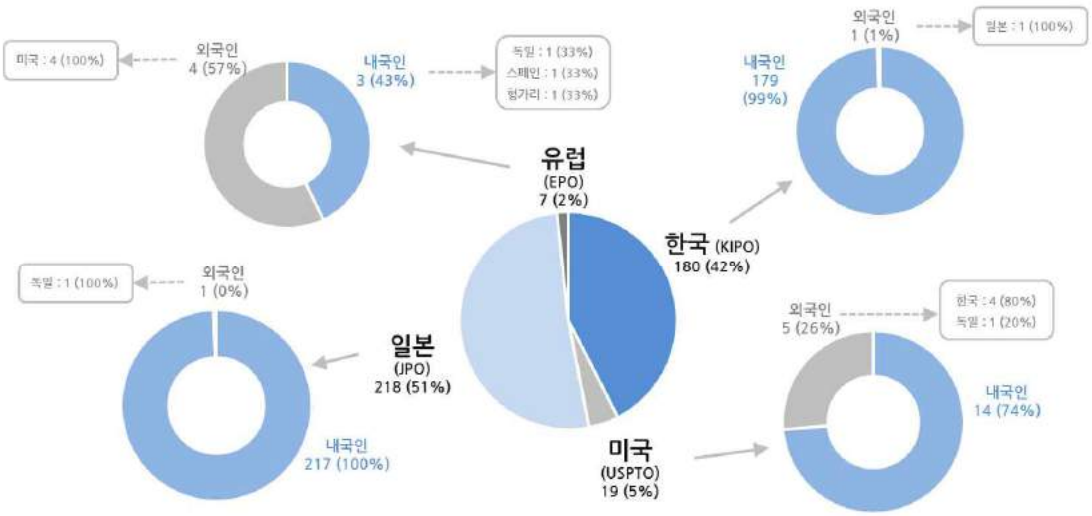
전체 연도별 특허동향을 보여주는 < 그림 3-10 >의 출원동향 추이는 1990년부터 2000년대 초반까지 주요 시장국 중 일본의 출원건수 증가로 크게 증가하고, 이후 2010년부터 최근까지 일본의 출원건수는 줄어들지만 한국의 출원건수가 크게 증가함에 따라 전체적으로 출원건수가 약간의 하향선을 그리는 것으로 분석됨

[중분류 AB] 친환경재료 조성물 분야의 관련 특허 출원건수는 **2000년대 중반까지는 일본이 차지하는 비중이 매우 높았으나, 2000년대 중반 이후부터는** 한국의 출원건수가 올라감에 따라 최근에는 **한국이 차지하는 비중이 매우 높은 것**으로 보임

일본시장의 추이가 한국시장의 추이보다 10년 정도 먼저 나타나는 것을 볼 때, 한국시장의 추이도 앞으로 일본시장과 같이 출원인 수와 출원건수가 급격하게 줄어들 것으로 예상됨. 하지만 출원인 수와 출원건수가 줄어들고 있다고 하여 시장의 규모가 급격하게 축소되거나 관련 연구가 줄어들고 있는 것으로 분석하기 보다는, 오히려 **시장이 성숙 단계**에 접어들면서 이미 많은 특허가 선점되고 있는 상황이므로 이후에는 특허 관점에서는 더욱 전략적인 접근이 필요하고 관련 연구 기획 시 주도면밀하게 분석하여야 할 것임

(2) [중분류 AB] 주요 시장국 내외국인 출원현황

아래의 < 그림 3-12 >는 [중분류 AB] 친환경재료 조성물 분야의 관련 특허 출원건 중 주요시장국 내외국인의 특허출원 비중과 외국인의 국적을 분석한 결과를 수치화하여 나타낸 것임



< 그림 3-12 > [중분류 AB] 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

일본 특허청(JPO)으로 출원된 특허가 51%, 한국(KIPO) 42%, 미국(USPTO) 5%, 유럽(EPO) 2%로 나타나 관련 기술에 대한 시장이 **일본과 한국으로 집중**되고 있음

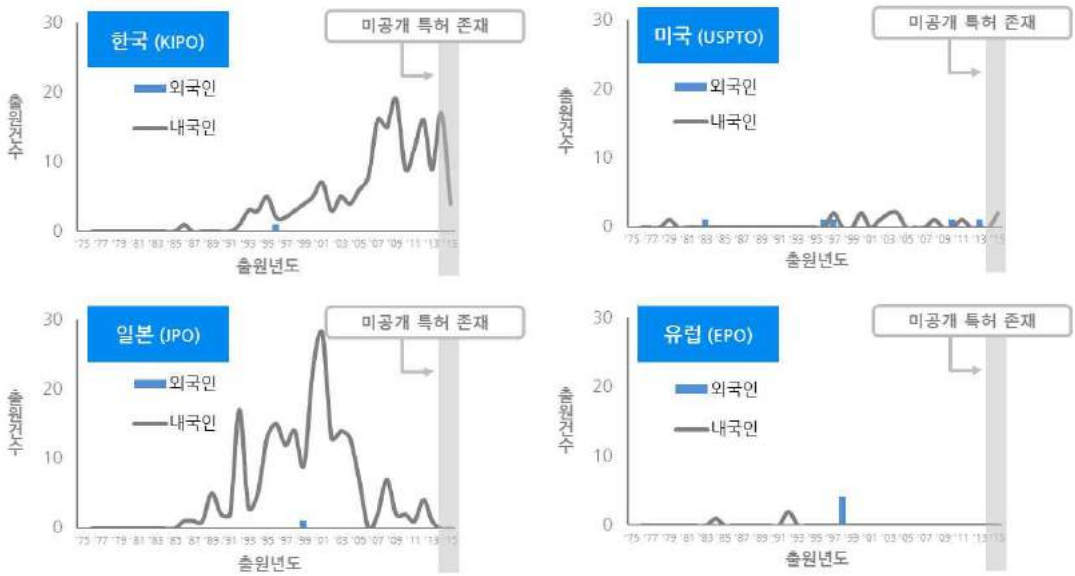
내외국인의 출원 비율을 보면, 일본과 한국의 경우에는 **대부분 내국인 출원**으로 구성되어 있으며(일본은 전체 출원 218건 중 내국인 출원이 217건이며, 한국은 전체 출원 180건 중 내국인 출원이 179건임), 미국과 유럽의 경우에도 각각 내국인 출원 비율이 74%, 43%이므로 전체적으로 **자국출원 중심**으로 구성됨을 확인할 수 있으므로, 따라서 전체적인 동향은 내국인 출원이 대부분이고 **해외시장 진출은 많지 않은 것**으로 판단됨

미국의 외국인 출원의 경우 한국이 80%를 차지하여 가장 많았으며, 독일이 20%를 차지하여 그 뒤를 이었음

유럽의 내국인 출원은 총 3건으로, 독일, 스페인, 헝가리에서 각각 1건씩 분포하였음

전체적으로 일본과 한국 국적의 출원인이 많았으며, 대부분 자국 출원 중심으로 분포하고 있음을 확인할 수 있음

아래 < 그림 3-13 >는 [중분류 AB] 친환경재료 조성물 분야의 관련 특허 출원건 중 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 내외국인 특허출원현황을 파악하기 위하여 내국인의 출원건수와 외국인의 출원건수를 시장별로 나누어 연도별로 도시한 것임



< 그림 3-13 > [중분류 AB] 연도별 주요시장국 내외국인 특허출원 현황

전체적으로 외국인 출원건수가 많지 않으므로 내국인 출원건수의 추이는 < 그림 3-11 > 주요시장국 연도별 출원 동향과 매우 흡사함

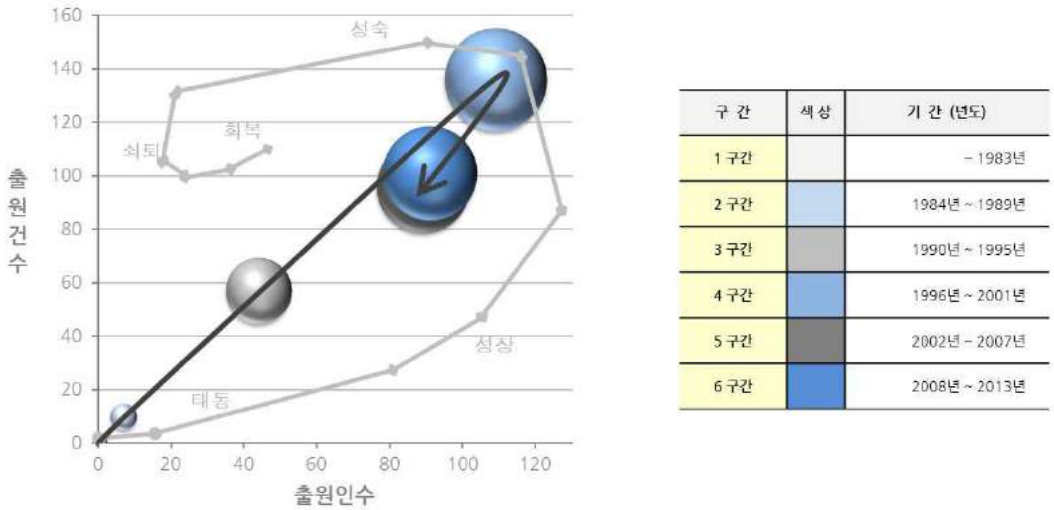
내국인 출원의 추이는 **일본**의 경우 1990년부터 2000년대 초반까지 크게 출원건수가 많아지다가 2000년대 중반 이후부터 최근까지 급격하게 출원건수가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있으며, 일본은 **외국인 출원이 거의 없음**

한국의 경우에는 일본보다 약 10년 정도 늦은 2000년부터 최근까지 크게 출원건수가 늘어나고 있는 것을 볼 수 있으며, 한국도 일본과 마찬가지로 **외국인 출원이 거의 없음**

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임

(3) [중분류 AB] 기술발전도 분석

아래의 < 그림 3-14 >는 [중분류 AB] 친환경재료 조성물 관련 특허 기술 시장의 성장 단계를 파악하기 위하여 출원건수가 미미한 1974년부터 1983년까지를 한 구간으로 묶고, 1985년부터 2013년까지를 6년 단위의 구간으로 나누어 출원건수와 출원인 수의 변화를 나타낸 것임



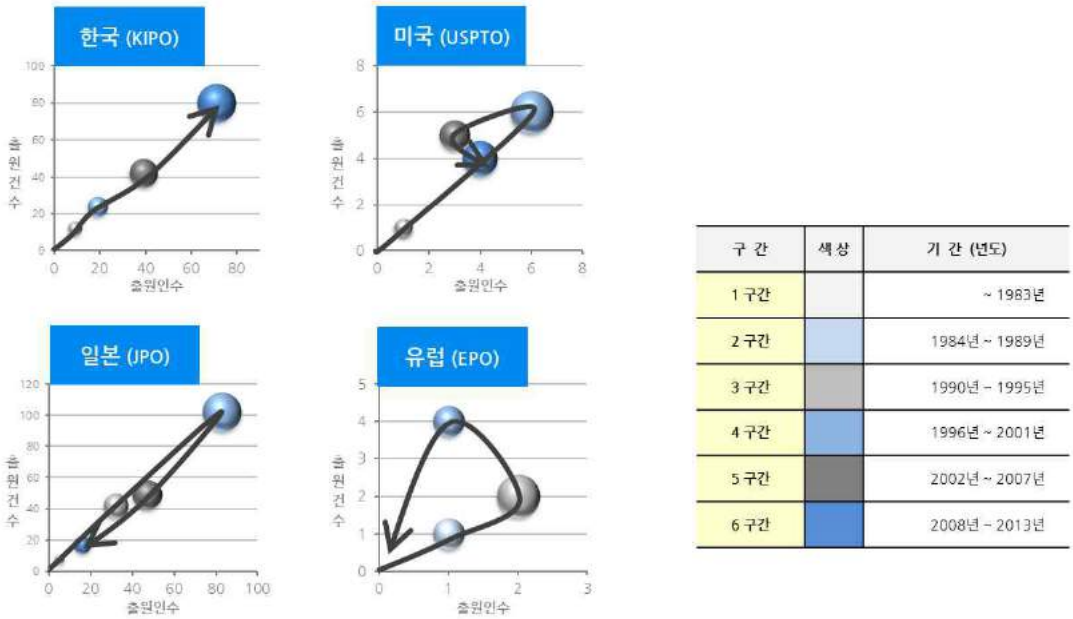
< 그림 3-14 > [중분류 AB] 전체 출원 국가의 기술시장 성장단계

< 그림 3-14 >을 참조하면, 전체적으로 **4구간인 2001년까지는 출원인 수와 출원건수가 함께 증가하는 추세**에 있어서 친환경재료 조성물과 관련된 기술시장이 **성장기**에 있는 것으로 파악되었으나, **5구간인 2002년 이후부터는 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어드는 모습**을 확인할 수 있음

일반적으로는 성장기에 있는 기술이 성숙기를 거치면서 출원건수는 늘어나지만 출원인 수는 줄어드는 과정을 거치는데, 친환경재료 조성물과 관련된 기술은 그러한 과정을 거치지 않고 출원건수도 줄어드는 모습을 보임

이는 환경 산업시장의 특수한 성격이 반영된 결과로 해석되며, 많은 비중을 차지하고 있던 **일본이 환경 규제 강화 단계에 접어들면서** 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어들었고 이러한 환경이 반영된 결과로 해석됨

아래의 < 그림 3-15 >은 한국, 미국, 일본 및 유럽 각 국가에서의 기술시장의 성장단계를 파악하기 위하여 < 그림 3-14 >과 동일한 방법으로 구간을 나눠 출원건수와 출원인수의 변화를 나타낸 것임



구 간	색 상	기 간 (년도)
1 구간		~ 1983년
2 구간		1984년 ~ 1989년
3 구간		1990년 ~ 1995년
4 구간		1996년 ~ 2001년
5 구간		2002년 ~ 2007년
6 구간		2008년 ~ 2013년

< 그림 3-15 > [중분류 AB] 주요시장국 기술시장 성장단계

가장 큰 비중을 차지하는 **일본시장**은 전체 출원 국가의 기술시장 성장단계와 매우 유사한 추이를 보이며, **4구간인 2001년까지는 출원인 수와 출원건수가 함께 증가하는 추세**에 있어서 친환경재료 조성물과 관련된 기술시장이 **성장기**에 있는 것으로 파악되었으나, **5구간인 2002년 이후부터는 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어들기 시작**하여 이러한 추이가 반영된 결과로 보임

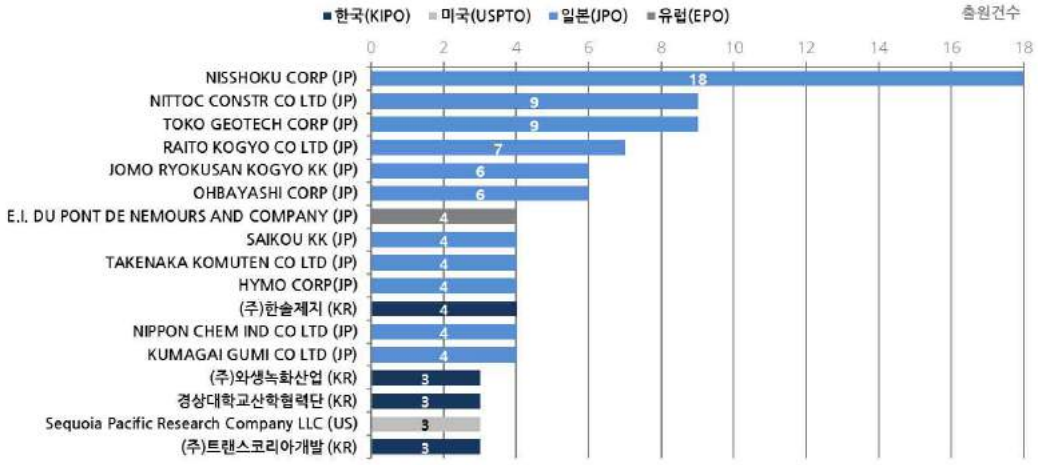
한국시장은 출원건수가 일본에 비교적 많지는 않으나 전체적인 기술시장 성장단계는 **성장기의 추세**인 것으로 보이지만, 아직 관련 특허 출원건수가 적고 일본시장의 추이가 한국시장의 추이보다 10년 정도 먼저 나타나는 것을 볼 때, 한국시장의 추이도 **앞으로 일본시장과 같이 출원인 수와 출원건수가 급격하게 줄어들 것으로 예상**됨.

하지만 출원인 수와 출원건수가 줄어들고 있다고 하여 시장의 규모가 급격하게 축소되거나 관련 연구가 줄어들고 있는 것으로 분석하기 보다는, 오히려 **시장이 성숙 단계**에 접어들면서 이미 많은 특허가 선점되고 있는 상황이므로 이후에는 특허 관점에서는 더욱 전략적인 접근이 필요하고 관련 연구 기획 시 주도면밀하게 분석하여야 할 것임

미국와 유럽시장의 경우는 출원인 수와 출원건수가 상대적으로 매우 적어 유의미한 결과를 분석하기 쉽지 않음

(4) [중분류 AB] 주요 출원인 분석

아래의 < 그림 3-16 >은 [중분류 AB] 친환경재료 조성물 관련 전체 특허 출원건에 대하여 주요 출원인을 분석하였음



< 그림 3-16 > [중분류 AB] 주요 시장국 주요 출원인 분석

주요 출원인은 해외 출원이 많지 않았고 **국내 출원이 대부분**인 것으로 보아 관련 기술에 대한 **해외시장 진출에 대한 의지는 높지 않은 것**으로 파악됨

주요 출원인은 **대부분 일본 국적**이었으며, 식품과 농업 관련 기업인 Nisshoku corp.(일본), 법면 보호 공사 및 지반 개량 공사 분야를 중점적으로 사업하고 있는 건설회사인 Toko Geotech corp.(일본), 법면 보호 공사 분야를 주로 사업하고 있는 건설회사인 Nittoc constr. corp.(일본), 도시개발과 엔지니어링을 기반으로 건설 서비스업을 하고 있는 Ohbayashi corp.(일본), 시멘트, 건설회사로써 환경사업을 중점적으로 사업을 하고 있는 Taiheiyo Cement corp.(일본) 등 관련 기업이 상위를 차지하였음

일본 외에 주요 출원인으로는 (주)한솔제지(한국), (주)와생녹화산업(한국), Sequoia Pacific Research Company LLC(미국), (주)트랜스코리아개발(한국) 등이 있었으며, 일본과 마찬가지로 대부분 **기업**인 것으로 나타남

기업 외에는 경상대학교 산학협력단(한국) 등이 주요 출원인으로 상위 분포하였음

친환경재료 조성물 분야의 특허 관련 주요 시장국의 주요 출원인을 전체적으로 살펴보면, 녹생토 조성물 및 시공법 분야의 특성상 **토목, 건설 회사**가 대부분을 차지하고 있었으며, **자국 출원이 대부분**으로 **해외 시장 진출의 의지가 높지 않음**을 알 수 있음

제4장 [대분류 B] 시공 및 관리 분야 특허동향

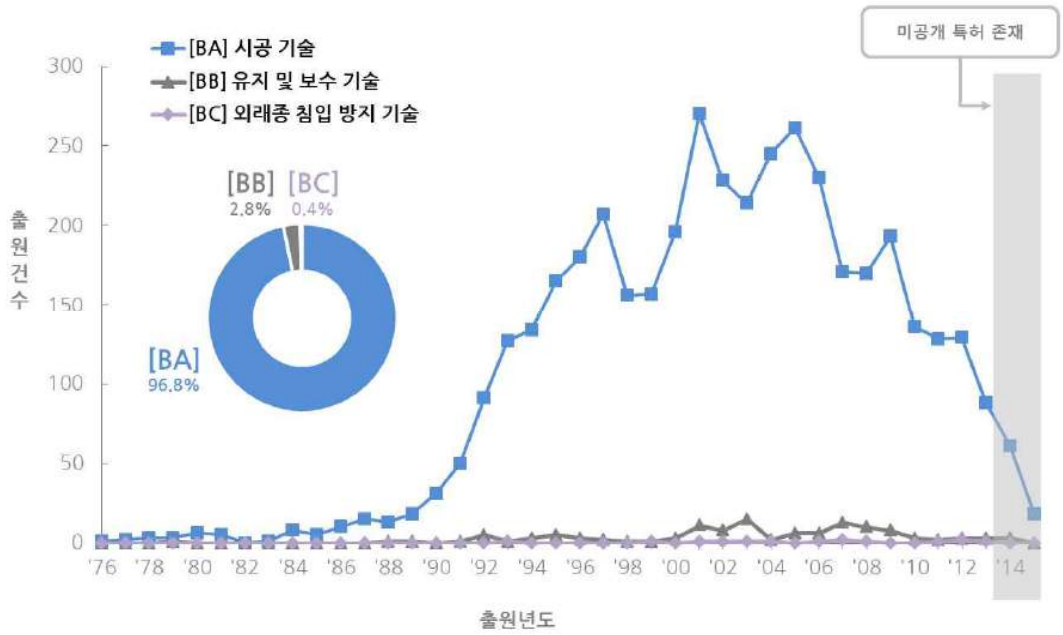
[대분류 B] 시공 및 관리 분야는 [중분류 BA] 시공 기술 분야, [중분류 BB] 유지 및 보수 기술 분야, [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분야로 구분하여 특허동향 분석을 실시함

먼저, [대분류 B] 시공 및 관리 분야에 대한 동향을 분석하고, 각각의 소분류별 상세한 분석을 실시함

1. [대분류 B] 중분류 특허동향

(1) [대분류 B] 중분류 출원동향

아래의 < 그림 4-1 >은 [대분류 B] 시공 및 관리 분야 관련 특허 중에서 [중분류 BA] 시공 기술, [중분류 BB] 유지 및 보수 기술, [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분포의 연도별 동향을 나타낸 것임



< 그림 4-1 > [대분류 B] 연도별 중분류 출원동향 분석

전체적인 분포는 **[중분류 BA] 시공 기술 분야가 96.8%, [중분류 BA] 시공 기술 분야가 2.8%, [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분야가 0.4%**를 차지하여 시공 기술 분야가 다른 분야에 비해 점유율이 매우 높았으며, 따라서 시공 및 관리 분야에서 **시공 기술 분야가 가장 비중이 높음**을 확인할 수 있음

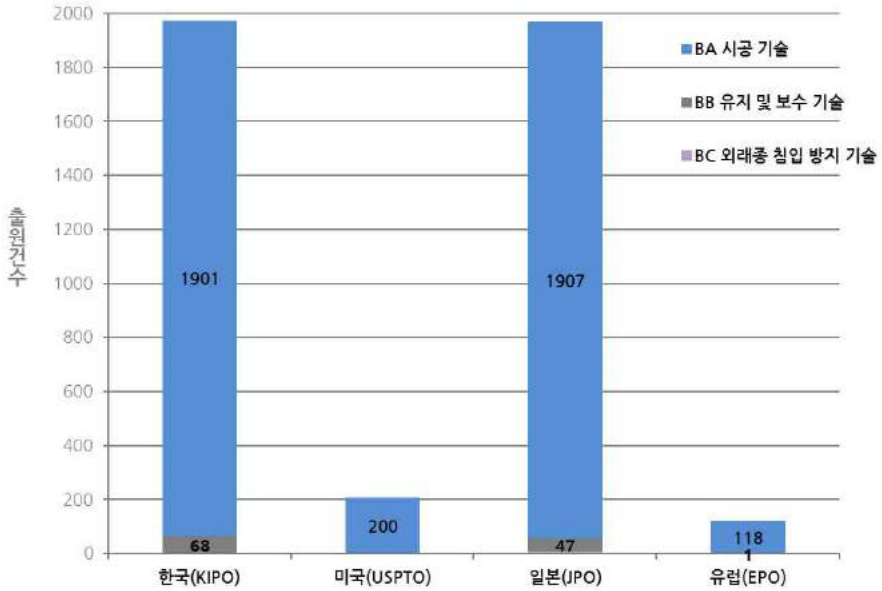
[중분류 BA] 시공 기술 분야는 녹생토 조성물 및 시공법 전체 특허의 연도별 동향과 거의 비슷한 추이를 보이며, 전체적으로 **1990년대 초반부터 2000년대 중반까지는 꾸준하게 증가하다가 2000년대 중반 이후로는 출원건수가 줄어들고** 있는데, 이는 녹생토 조성물 및 시공법 전체의 특허 중 시공 기술 분야가 차지하는 비중이 매우 높아서 결국 시공 기술 분야 특허의 연도별 동향이 녹생토 관련 특허 전체에 많은 영향을 주기 때문인 것으로 보임

이에 반하여 **[중분류 BB] 유지 및 보수 기술**과 **[중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술** 분야는 [중분류 BA] 시공 기술 분야에 비하여 매우 적은 출원건수를 보이고 있어 녹생토 전체 특허 출원의 연도별 동향에 미치는 영향은 매우 적은 것으로 해석됨

따라서 [중분류 BA] 시공 기술 분야의 출원동향을 제대로 분석하기 위해서는 **시공 분야를 더 자세히 세부적으로 분석하여야**만 하며, 이를 위하여 시공법의 다양한 종류별로 특허 출원동향을 살펴보고 내용을 세부적으로 분석하는 것이 필요함

(2) [대분류 B] 시장별 중분류 점유율 현황

아래의 < 그림 4-2 >는 [대분류 B] 시공 및 관리 분야에 관한 특허 출원 중에서 한국, 미국, 일본 및 유럽의 시장별 중분류 점유율 현황을 나타낸 것임



< 그림 4-2 > [대분류 B] 시장별 중분류 점유율 현황

[중분류 BA] 시공 기술 분류의 경우, **일본이 1907건으로 가장 많은 출원건수**를 보이고 있으며, **한국이 1901건으로 두 번째로 많은 출원건수**를 보이고 있으나 **큰 차이는 없음**

미국과 유럽은 각각 200건, 118건으로 일본과 한국에 비해 상대적으로 적은 출원건수를 나타내고 있으며, 일본과 한국의 비중이 매우 높음

[중분류 BB] 유지 및 보수 기술 분류의 경우, **한국이 68건으로 가장 많은 출원건수**를 보이고 있으며, 일본이 47건으로 두 번째로 많은 출원건수를 보이고 있음

미국과 유럽은 각각 5건, 1건으로 시공 기술 분류와 같이 일본과 한국에 비해 상대적으로 적은 출원건수를 보이고 있음

[중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분류의 경우, **일본이 12건으로 가장 많은 출원건수**를 보이고 있으며, 한국이 2건으로 두 번째로 많은 출원건수를 보이고 있음

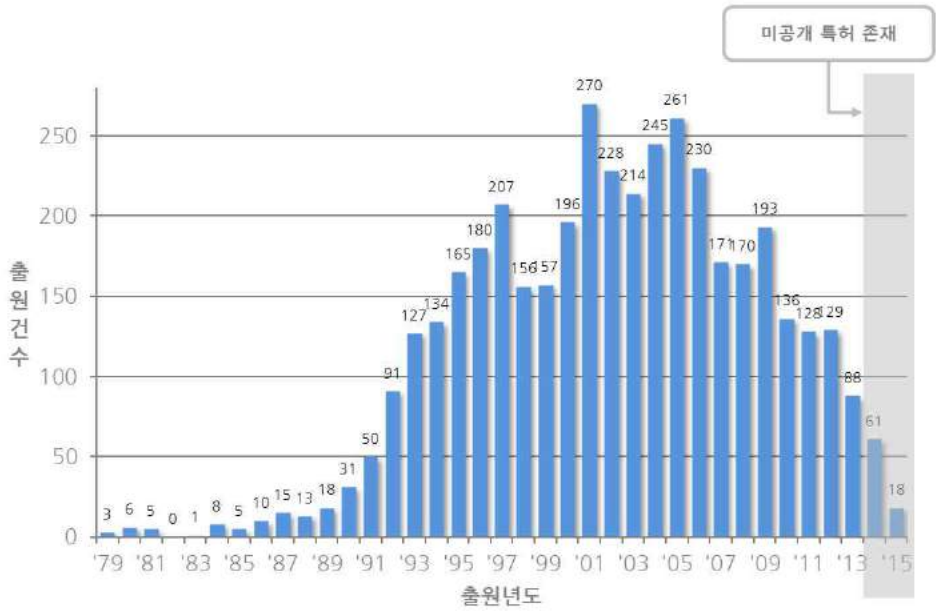
미국과 유럽은 해당 분류 관련 특허 출원이 없음

전체적인 출원건수로 볼 때, 시공 및 관리 분류의 경우 대체적으로 **일본과 한국이 매우 큰 비중을 차지**하고 있으며, **일본과 한국 사이에는 차이가 거의 없음**

2. [중분류 BA] 시공 기술 분야 특허동향

(1) [중분류 BA] 국가별 출원동향

아래의 < 그림 4-3 >은 [중분류 BA] 시공 기술 관련 분야의 한국, 미국, 일본 및 유럽의 출원건 전체에 대한 연도별 특허 출원동향을 나타낸 것임



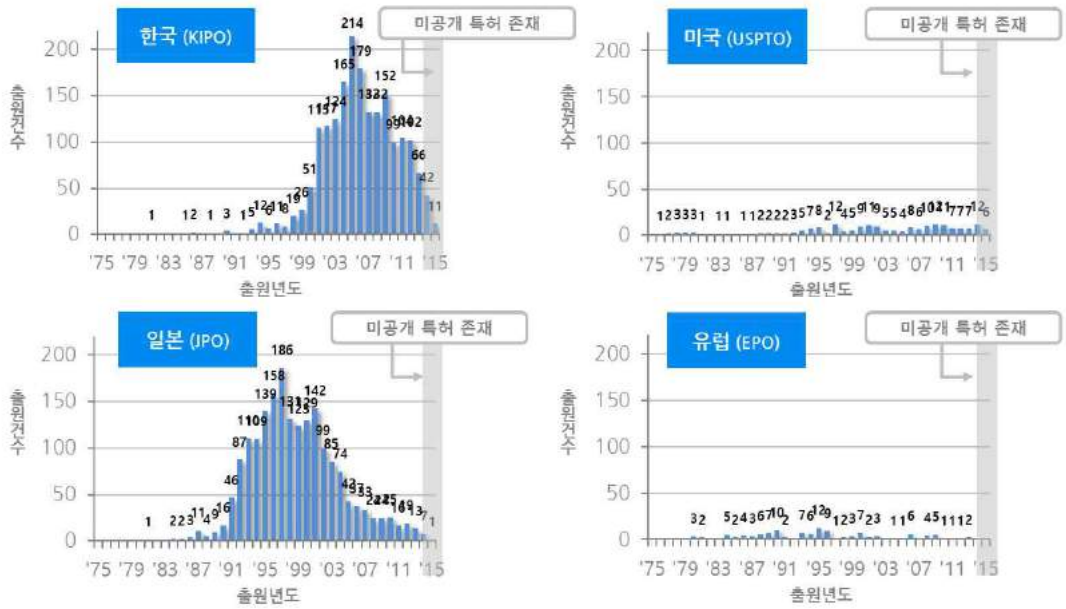
< 그림 4-3 > [중분류 BA] 전체 연도별 특허동향

< 그림 4-3 >을 참조하면, 1990년까지는 출원건수가 미미하다가 **1990년대 초반부터 2000년대 중반까지는 출원건수가 선형적으로 크게 증가**하였으며, **2000년대 중반부터 최근까지는 하향세**를 보이고 있음

주요 시장국 연도별 출원동향을 나타낸 < 그림 4-4 >를 참조하면, **일본**의 경우 **1990년부터 1995년까지 크게 출원건수가 많아지다가 1996년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것**을 볼 수 있음

한국의 경우에는 일본보다 약 10년 정도 늦은 **2000년부터 2005년까지 크게 출원건수가 많아지다가 2005년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것**을 볼 수 있음

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임



< 그림 4-4 > [중분류 BA] 주요 시장국 연도별 출원동향

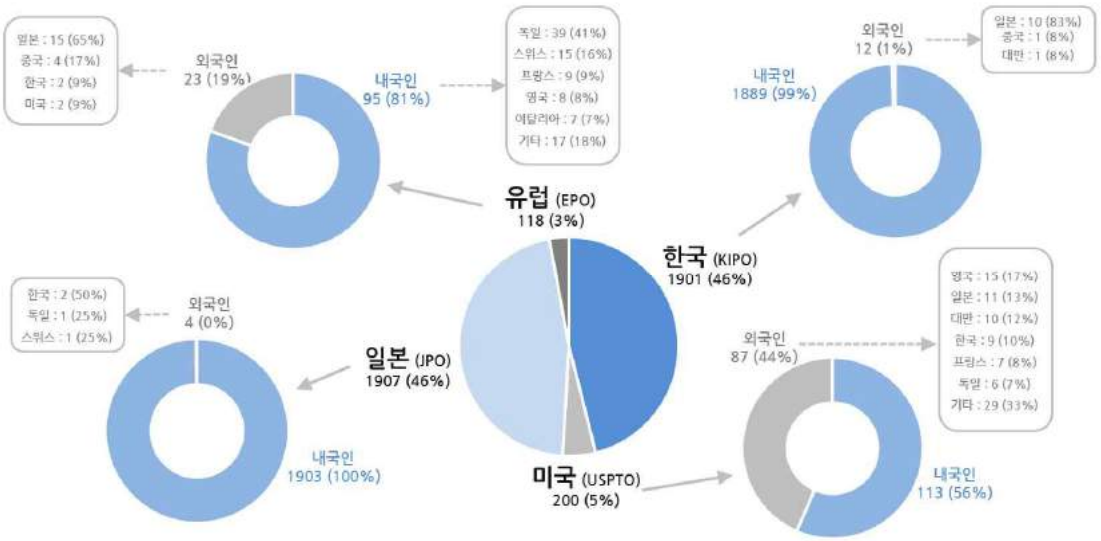
전체 연도별 특허동향을 보여주는 < 그림 4-3 >의 출원동향 추이는 1990년부터 1998년까지 주요 시장국 중 일본의 출원건수 증가로 크게 증가하고, 이후 2000년부터 2005년까지 일본의 출원건수는 줄어들지만 한국의 출원건수가 크게 증가함에 따라 전체적으로 출원건수가 증가하지만, 2005년 이후에는 한국과 일본의 출원건수가 모두 줄어들면서 전체적인 출원건수가 하향선을 그리는 것으로 분석됨

전체적으로 **[중분류 BA] 시공 기술**의 경우, [중분류 BB] 유지 및 보수 기술, [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술보다 **출원건수의 비중이 매우 높기 때문에** [대분류 B] 시공 및 관리 기술 분야 전체의 연도별 출원동향과 매우 흡사한 추이를 보이고 있음

따라서 [중분류 BA] 시공 기술의 경우 [대분류 B] 시공 및 관리 기술 분야 전체 특허동향과 마찬가지로 **1990년대 초반에는 일본이 초기 시장 단계와 발전 단계를 거치면서 출원건수가 크게 증가**하였고, **2000년대에는 한국이 초기 시장 단계와 발전 단계를 거치면서 다시 출원건수가 크게 증가**하다가, **2000년대 후반에 들어서면서 최근까지는 환경 규제 강화 단계에 접어들면서 전체적인 특허 출원건수가 줄어들고** 있다고 분석됨

(2) [중분류 BA] 주요 시장국 내외국인 출원현황

아래의 < 그림 4-5 >는 [중분류 BA] 시공 기술 분야의 관련 특허 출원건 중 주요시장국 내외국인의 특허출원 비중과 외국인의 국적을 분석한 결과를 수치화하여 나타낸 것임



< 그림 4-5 > [중분류 BA] 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

일본 특허청(JPO)으로 출원된 특허가 46%, 한국(KIPO) 46%, 미국(USPTO) 5%, 유럽(EPO) 3%로 나타나 관련 기술에 대한 시장이 **일본과 한국으로 집중**되고 있음

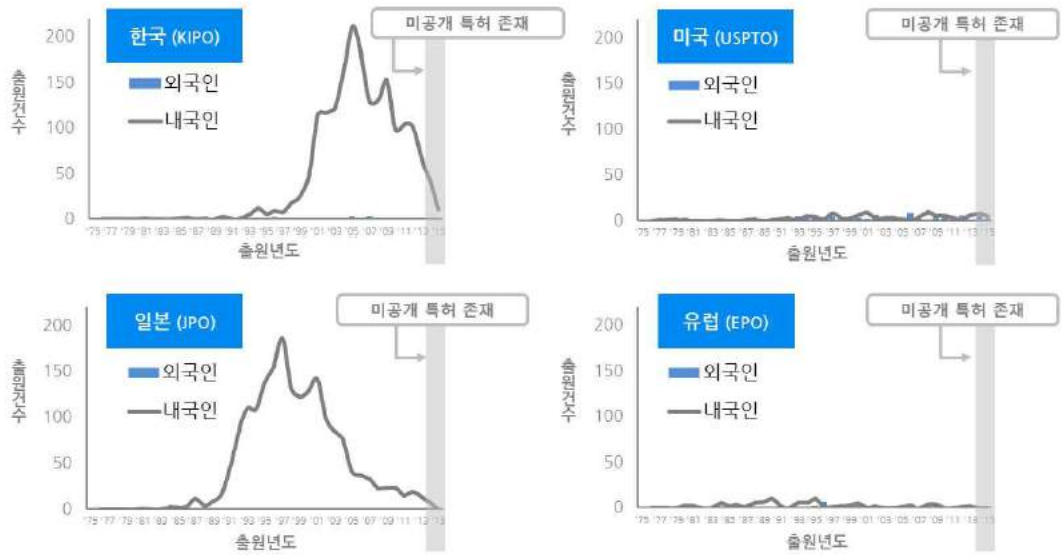
내외국인의 출원 비율을 보면, 일본과 한국의 경우에는 **대부분 내국인 출원**으로 구성되어 있으며(일본은 전체 출원 1907건 중 내국인 출원이 1903건이며, 한국은 전체 출원 1901건 중 내국인 출원이 1889건임), 미국과 유럽의 경우에도 각각 내국인 출원 비율이 56%, 81%이므로 전체적으로 자국출원 중심으로 구성됨을 확인할 수 있으므로, 따라서 전체적인 동향은 **내국인 출원이 대부분**이고 **해외시장 진출은 많지 않은 것**으로 판단됨

미국의 외국인 출원의 경우 영국이 17%를 차지하여 가장 많았으며, 일본이 13%, 대만이 12%, 한국이 10%로 그 뒤를 이었음

유럽의 내국인 출원은 독일이 41%를 차지하여 가장 많았으며, 외국인 출원은 일본이 65%를 차지하여 가장 많았음

전체적으로 **일본과 한국 국적**의 출원인이 많았으며, **대부분 자국 출원 중심**으로 분포하고 있음을 확인할 수 있음

아래 < 그림 4-6 >은 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 내외국인 특허출원현황을 파악하기 위하여 내국인의 출원건수와 외국인의 출원건수를 시장별로 나누어 연도별로 도시한 것임



< 그림 4-6 > [중분류 BA] 연도별 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

전체적으로 외국인 출원건수가 많지 않으므로 내국인 출원건수의 추이는 < 그림 4-4 > 주요시장국 연도별 출원 동향과 매우 흡사함

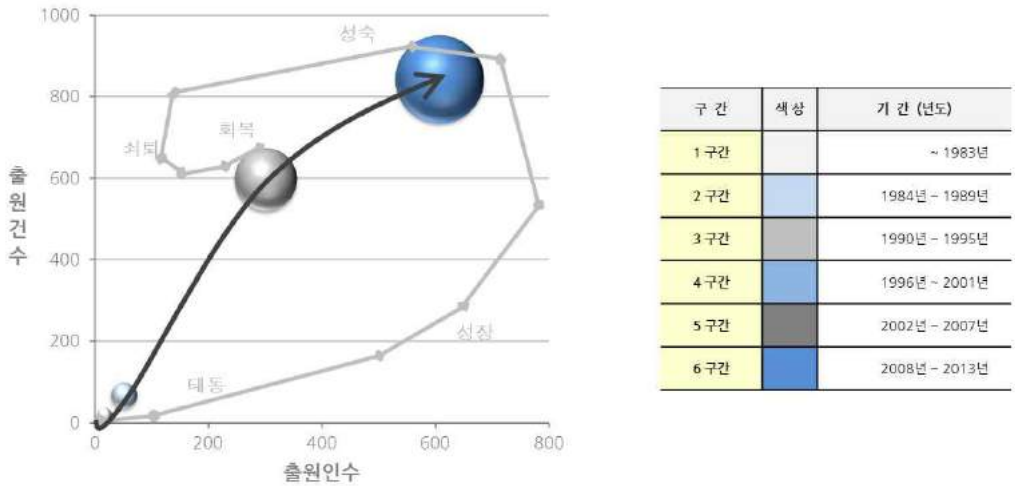
내국인 출원의 추이는 **일본**의 경우 1990년부터 1995년까지 크게 출원건수가 많아지다가 1996년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있으며, 일본은 **외국인 출원이 거의 없음**

한국의 내국인 출원건수를 살펴보면, 일본보다 약 10년 정도 늦은 2000년부터 2005년까지 크게 출원건수가 많아지다가 2005년 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있으며, 한국도 일본과 마찬가지로 **외국인 출원건수가 거의 없음**

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임

(3) [중분류 BA] 기술발전도 분석

아래의 < 그림 4-7 >은 [중분류 BA] 시공 기술 관련 특허 기술 시장의 성장단계를 파악하기 위하여 출원건수가 미미한 1974년부터 1983년까지를 한 구간으로 묶고, 1985년부터 2013년까지를 6년 단위의 구간으로 나누어 출원건수와 출원인 수의 변화를 나타낸 것임



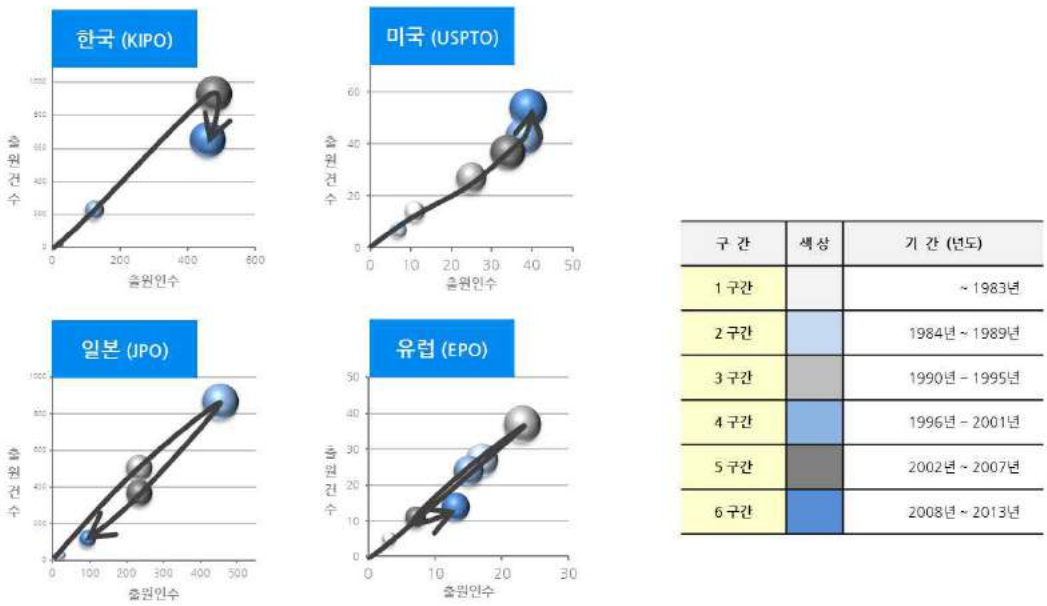
< 그림 4-7 > [중분류 BA] 전체 출원 국가의 기술시장 성장단계

< 그림 4-7 >을 참조하면, 전체적으로 **6구간인 2013년까지 출원인 수와 출원건수가 함께 증가하는 추세**에 있어서 시공 기술과 관련된 기술시장이 **성장기**에 있는 것으로 파악되고 있음

일반적으로는 녹생토 조성물 및 시공법 관련 전체 특허의 동향을 보면 대략적으로 4구간인 2001년까지는 성장기에 있다가 5구간인 2002년부터 출원인 수와 출원건수가 줄어드는 모습을 보이는데 반하여, **시공 기술 분야는 아직도 계속 성장기에 있는 것이 큰 특징**임

이는 시공 기술 분야의 연도별 특허 출원현황을 참고해 보았을 때, 특히 한국의 출원인 수와 출원건수가 지속적으로 늘어난 것이 주된 원인일 것으로 예상되며 보다 자세한 분석은 주요시장국 기술시장 성장단계를 살펴봐야할 것으로 보임

아래의 < 그림 4-8 >은 [중분류 BA] 시공 기술 관련 특허의 한국, 미국, 일본 및 유럽 각 국가에서의 기술시장의 성장단계를 파악하기 위하여 < 그림 4-7 >과 동일한 방법으로 구간을 나눠 출원건수와 출원인 수의 변화를 나타낸 것임



구 간	색 상	기 간 (년도)
1 구간		~ 1983년
2 구간		1984년 ~ 1989년
3 구간		1990년 ~ 1995년
4 구간		1996년 ~ 2001년
5 구간		2002년 ~ 2007년
6 구간		2008년 ~ 2013년

< 그림 4-8 > [중분류 BA] 주요시장국 기술시장 성장단계

한국시장은 **5구간인 2000년대 초반까지 급격하게 출원인 수와 출원건수가 증가하다가 6구간인 2008년 이후에는 출원인 수와 출원건수가 조금 줄어들기 시작**함

일본시장은 한국시장보다 앞선 **3구간과 4구간인 1990년대 초반부터 후반까지 출원인 수와 출원건수가 함께 급격하게 늘어나다가, 5구간부터 출원인 수와 출원건수가 줄어들기 시작**하면서 **6구간인 2008년 이후에는 출원인 수와 출원건수가 모두 급격하게 줄어드는 것**을 확인할 수 있음

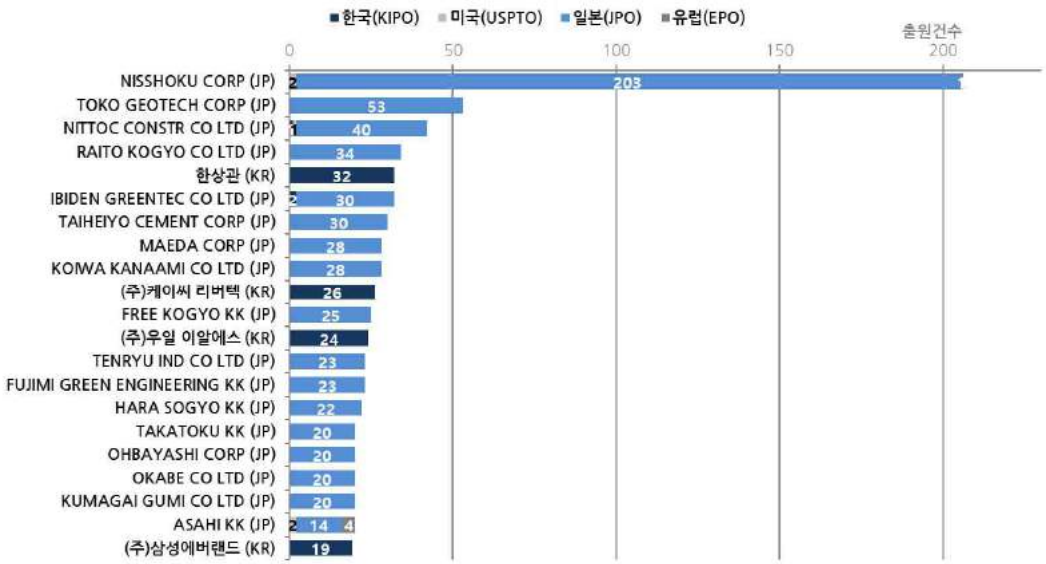
일본시장의 추이가 한국시장의 추이보다 10년 정도 먼저 나타나는 것을 볼 때, 한국시장의 추이도 앞으로 일본시장과 같이 **출원인 수와 출원건수가 급격하게 줄어들 것으로 예상**됨

하지만 출원인 수와 출원건수가 줄어들고 있다고 하여 시장의 규모가 급격하게 축소되거나 관련 연구가 줄어들고 있는 것으로 분석하기 보다는, 오히려 **시장이 성숙 단계**에 접어들면서 이미 많은 특허가 선점되고 있는 상황이므로 이후에는 특허 관점에서는 더욱 전략적인 접근이 필요하고 관련 연구 기획 시 주도면밀하게 분석하여야 할 것임

미국와 유럽시장의 경우는 출원인 수와 출원건수가 상대적으로 매우 적어 유의미한 결과를 분석하기 쉽지 않지만, 미국의 경우 출원인 수와 출원건수는 적지만 꾸준하게 증가하는 추세임

(4) [중분류 BA] 주요 출원인 분석

아래의 < 그림 4-9 >는 [중분류 BA] 시공 기술 관련 전체 특허 출원건에 대하여 주요 출원인을 분석하였음



< 그림 4-9 > [중분류 BA] 주요 시장국 주요 출원인 분석

주요 출원인은 해외 출원이 많지 않았고 **국내 출원이 대부분**인 것으로 보아 관련 기술에 대한 **해외시장 진출에 대한 의지는 높지 않은 것**으로 파악됨

주요 출원인은 **대부분 일본 국적**이었으며, 식품과 농업 관련 기업인 Nisshoku corp.(일본), 법면 보호 공사 및 지반 개량 공사 분야를 중점적으로 사업하고 있는 건설회사인 Toko Geotech corp.(일본), 법면 보호 공사 분야를 주로 사업하고 있는 건설회사인 Nittoc constr. corp.(일본), 시멘트, 건설회사로써 환경사업을 중점적으로 사업을 하고 있는 Taiheiyo Cement corp.(일본) 등 관련 기업이 상위를 차지하였음

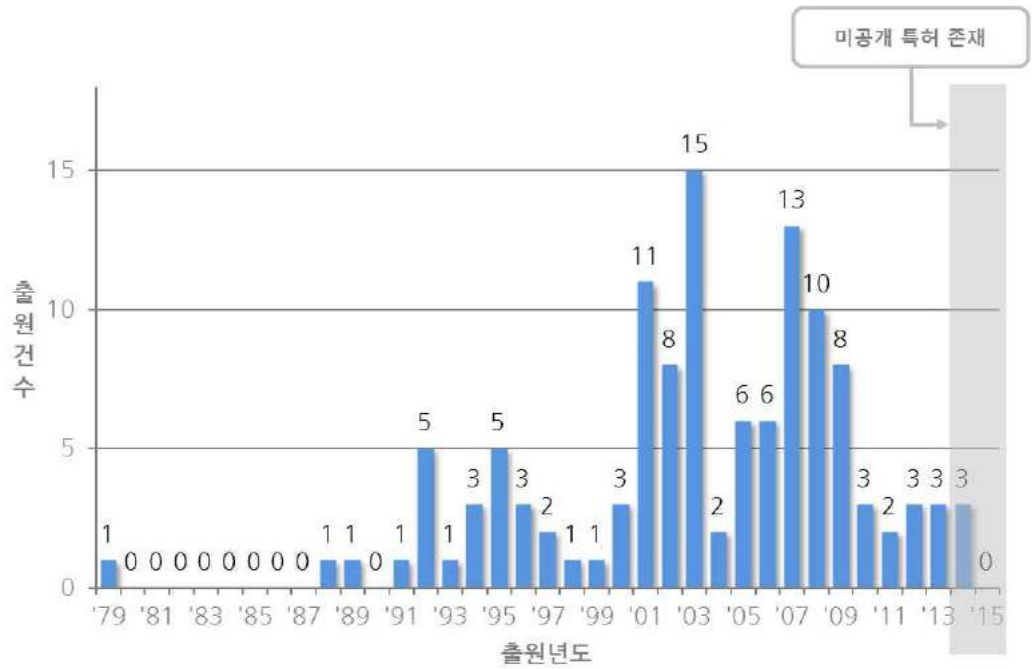
일본 외에 주요 출원인으로는 하단배출식 수문제조 분야의 벤처회사인 (주)명성테크(한국 – 대표인 한상관의 이름으로 출원함), (주)케이씨 리버텍(한국), (주)우일 이알에스(한국), (주)삼성에버랜드(한국)로 모두 국적이 한국이었으며 일본과 마찬가지로 모두 **기업**인 것으로 나타남

시공 기술 분야의 특허 관련 주요 시장국의 주요 출원인을 전체적으로 살펴보면, 녹생토 조성물 및 시공법 분야의 특성상 **토목, 건설 회사**가 대부분을 차지하고 있었으며, **자국 출원이 대부분**으로 **해외 시장 진출의 의지가 높지 않음**을 알 수 있음

3. [중분류 BB] 유지 및 보수 기술 분야 특허동향

(1) [중분류 BB] 국가별 출원동향

아래의 < 그림 4-10 >은 [중분류 BB] 유지 및 보수 기술 관련 분야의 한국, 미국, 일본 및 유럽의 출원건 전체에 대한 연도별 특허 출원동향을 나타낸 것임



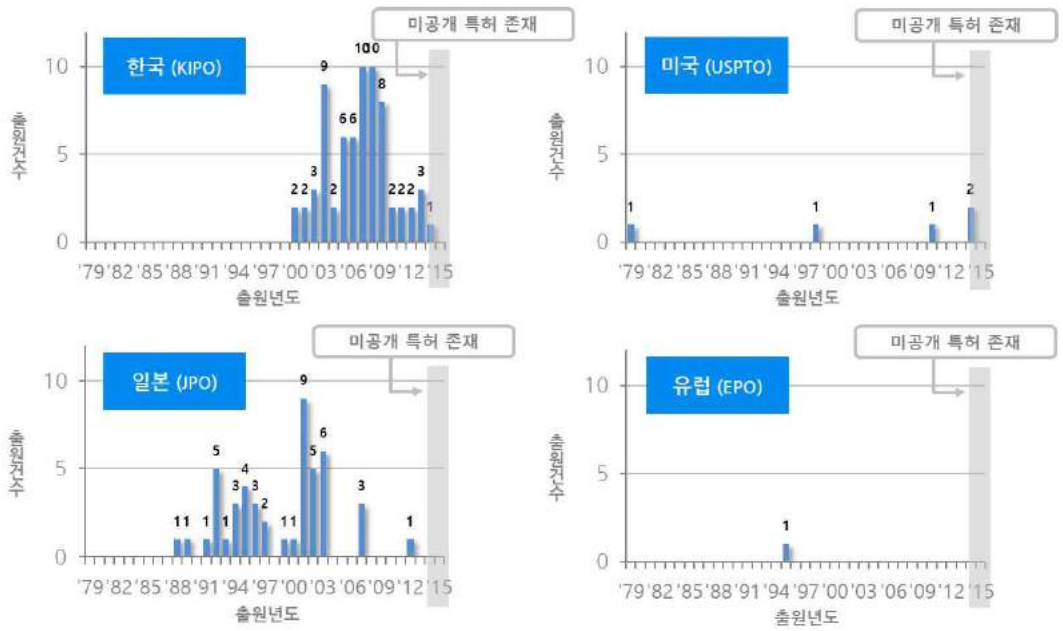
< 그림 4-10 > [중분류 BB] 전체 연도별 특허동향

< 그림 4-10 >을 참조하면, 1991년까지는 출원건수가 미미하다가 **1992년부터 2003년까지 출원건수가 증가**하였으며, **2004년 이후부터 최근까지는 하향세**를 보이고 있음

주요 시장국 연도별 출원동향을 나타낸 < 그림 4-11 >을 참조하면, **일본**의 경우 **1990년부터 2000년대 초반까지 크게 출원건수가 많아지다가 2000년대 중반 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것**을 볼 수 있음

한국의 경우 **2000년부터 2000년대 후반까지 크게 출원건수가 많아지다가 2000년대 후반 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것**을 볼 수 있음

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임



< 그림 4-11 > [중분류 BB] 주요시장국 연도별 출원동향

전체 연도별 특허동향을 보여주는 < 그림 4-10 >의 출원동향 추이는 1990년부터 2000년대 초반까지 주요 시장국 중 일본의 출원건수 증가로 크게 증가하고, 이후 2000년대 초반부터 최근까지 일본의 출원건수는 줄어들지만 한국의 출원건수가 크게 증가함에 따라 전체적으로 출원건수 증가하지만, 2000년대 후반부터는 한국의 출원건수도 감소하여 전체적으로 약간의 하향선을 그리는 것으로 분석됨

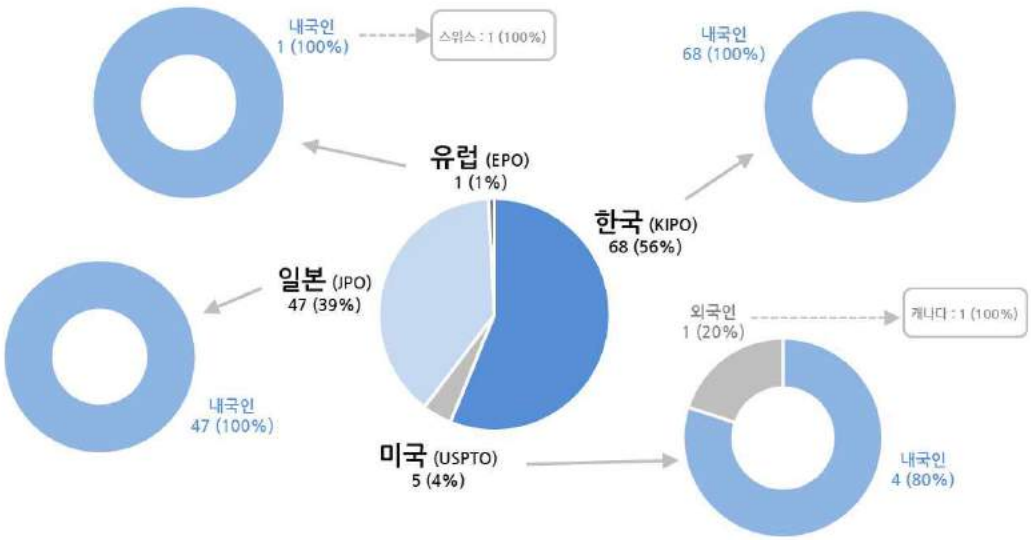
[중분류 BB] 유지 및 관리 기술 분야의 관련 특허 출원건수는 **2000년대 초반까지는 일본이 차지하는 비중이 매우 높았으나, 2000년대 중반 이후부터는** 한국의 출원건수가 올라감에 따라 최근에는 **한국이 차지하는 비중이 매우 높은 것**으로 보임

일본시장의 추이가 한국시장의 추이보다 10년 정도 먼저 나타나는 것을 볼 때, 한국시장의 추이도 앞으로 일본시장과 같이 **출원인 수와 출원건수가 급격하게 줄어들 것으로 예상**됨

하지만 출원인 수와 출원건수가 줄어들고 있다고 하여 시장의 규모가 급격하게 축소되거나 관련 연구가 줄어들고 있는 것으로 분석하기 보다는, 오히려 **시장이 성숙 단계**에 접어들면서 이미 많은 특허가 선점되고 있는 상황이므로 이후에는 특허 관점에서는 더욱 전략적인 접근이 필요하고 관련 연구 기획 시 주도면밀하게 분석하여야 할 것임

(2) [중분류 BB] 주요 시장국 내외국인 출원현황

아래의 < 그림 4-12 >는 [중분류 BB] 유지 및 보수 기술 분야의 관련 특허 출원건 중 주요시장국 내외국인의 특허출원 비중과 외국인의 국적을 분석한 결과를 수치화하여 나타낸 것임



< 그림 4-12 > [중분류 BB] 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

한국 특허청(KIPO)으로 출원된 특허가 56%, 일본(JPO) 39%, 미국(USPTO) 4%, 유럽(EPO) 1%로 나타나 관련 기술에 대한 시장이 **일본과 한국으로 집중**되고 있으며, **특히 한국의 비중이 매우 높음**

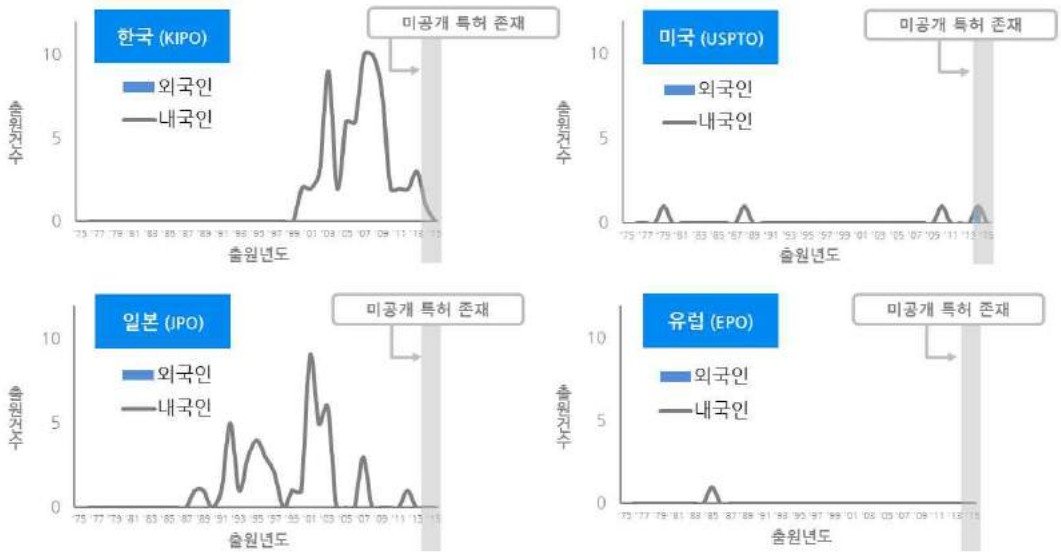
내외국인의 출원 비율을 보면, 한국과 일본의 경우에는 **모두 내국인 출원**으로 구성되어 있으며(한국과 일본 모두 100% 내국인 출원), 미국과 유럽의 경우에도 각각 내국인 출원 비율이 80%, 100%이므로 전체적으로 **자국출원 중심**으로 구성됨을 확인할 수 있으며, 따라서 전체적인 동향은 내국인 출원이 대부분이고 **해외시장 진출은 많지 않은 것**으로 판단됨

미국의 외국인 출원의 경우 캐나다가 100%(1건)를 차지하였음

유럽의 내국인 출원은 스위스에서 100%(1건) 분포하였음

전체적으로 **한국과 일본 국적**의 출원인이 많았으며, 대부분 **자국 출원 중심**으로 분포하고 있음을 확인할 수 있음

아래 < 그림 4-13 >는 [중분류 BB] 유지 및 관리 기술 분야의 관련 특허 출원건 중 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 내외국인 특허출원현황을 파악하기 위하여 내국인의 출원건수와 외국인의 출원건수를 시장별로 나누어 연도별로 도시한 것임



< 그림 4-13 > 연도별 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

전체적으로 외국인 출원건수가 많지 않으므로 내국인 출원건수의 추이는 < 그림 4-11 > 주요시장국 연도별 출원 동향과 매우 흡사함

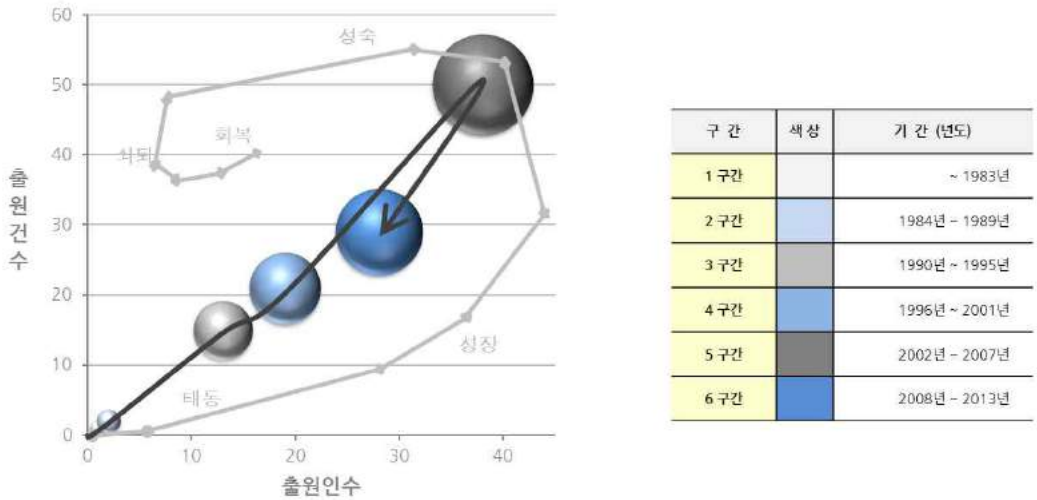
내국인 출원의 추이는 **일본**의 경우 1990년부터 2000년대 초반까지 크게 출원건수가 많아지다가 2000년대 중반 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있음

한국의 경우 2000년부터 2000년대 후반까지 크게 출원건수가 많아지다가 2000년대 후반 이후부터 최근까지 계속해서 출원건수가 줄어들고 있는 것을 볼 수 있음

미국과 유럽의 경우에는 한국과 일본에 비해 전체적으로 출원건수가 적어 의미 있는 추이를 확인하기 쉽지 않지만 마찬가지로 최근에는 비교적 출원건수가 적은 편임

(3) [중분류 BB] 기술발전도 분석

아래의 < 그림 3-14 >는 [중분류 BB] 유지 및 관리 기술 관련 특허 기술 시장의 성장 단계를 파악하기 위하여 출원건수가 미미한 1974년부터 1983년까지를 한 구간으로 묶고, 1985년부터 2013년까지를 6년 단위의 구간으로 나누어 출원건수와 출원인 수의 변화를 나타낸 것임



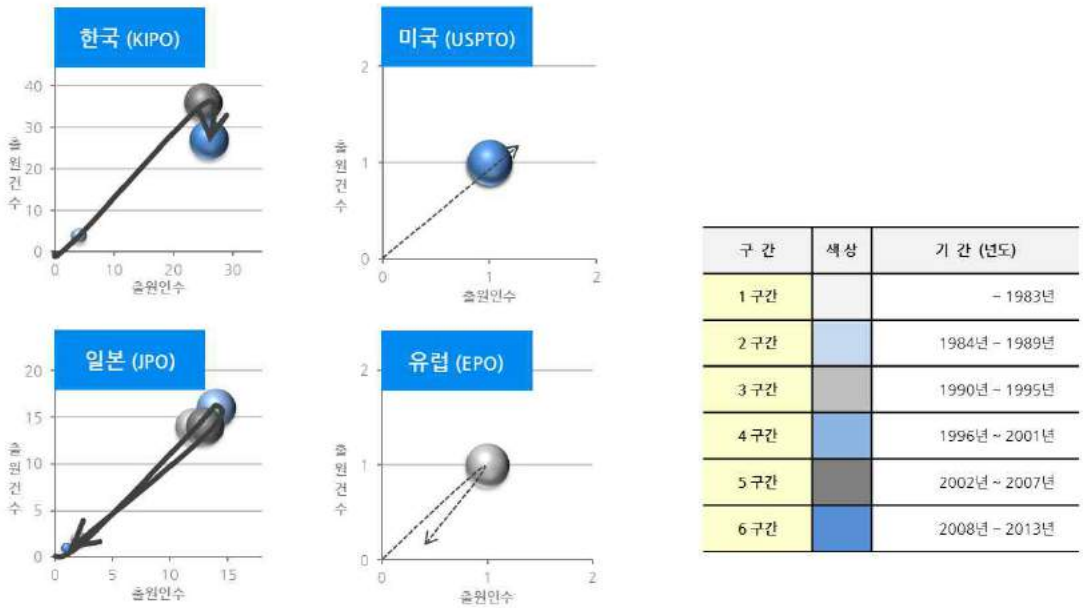
< 그림 4-14 > [중분류 BB] 전체 출원 국가의 기술시장 성장단계

< 그림 4-14 >을 참조하면, 전체적으로 **5구간인 2007년까지는 출원인 수와 출원건수가 함께 증가하는 추세**에 있어서 유지 및 관리 기술과 관련된 기술시장이 성장기에 있는 것으로 파악되었으나, **6구간인 2008년 이후부터는 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어드는 모습**을 확인할 수 있음

일반적으로는 성장기에 있는 기술이 성숙기를 거치면서 출원건수는 늘어나지만 출원인 수는 줄어드는 과정을 거치는데, 유지 및 관리 기술과 관련된 기술은 그러한 과정을 거치지 않고 출원건수도 줄어드는 모습을 보임

이는 환경 산업시장의 특수한 성격이 반영된 결과로 해석되며, 많은 비중을 차지하고 있던 **일본이 환경 규제 강화 단계에 접어들면서** 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어들었고 이러한 환경이 반영된 결과로 해석됨

아래의 < 그림 4-15 >은 한국, 미국, 일본 및 유럽 각 국가에서의 기술시장의 성장단계를 파악하기 위하여 < 그림 4-14 >과 동일한 방법으로 구간을 나눠 출원건수와 출원인수의 변화를 나타낸 것임



구 간	색상	기 간 (년도)
1 구간		~ 1983년
2 구간		1984년 ~ 1989년
3 구간		1990년 ~ 1995년
4 구간		1996년 ~ 2001년
5 구간		2002년 ~ 2007년
6 구간		2008년 ~ 2013년

< 그림 4-15 > [중분류 BB] 주요시장국 기술시장 성장단계

한국시장은 해당 기술의 전체 출원 국가의 기술시장 성장단계와 매우 유사한 추이를 보임. **5구간인 2000년대 초반부터 급격하게 출원인 수와 출원건수가 증가하다가 6구간인 2008년 이후에는 출원인 수와 출원건수가 모두 줄어들기 시작**함

일본시장은 한국시장보다 앞선 **3구간과 4구간인 1990년대 초반부터 후반까지 출원인 수와 출원건수가 함께 급격하게 늘어나다가, 5구간부터 출원인 수와 출원건수가 줄어들기 시작**하면서 **6구간인 2008년 이후에는 출원인 수와 출원건수가 모두 급격하게 줄어드는 것**을 확인할 수 있음

일본시장의 추이가 한국시장의 추이보다 10년 정도 먼저 나타나는 것을 볼 때, 한국시장의 추이도 앞으로 일본시장과 같이 **출원인 수와 출원건수가 급격하게 줄어들 것으로 예상**됨

하지만 출원인 수와 출원건수가 줄어들고 있다고 하여 시장의 규모가 급격하게 축소되거나 관련 연구가 줄어들고 있는 것으로 분석하기 보다는, 오히려 **시장이 성숙 단계**에 접어들면서 이미 많은 특허가 선점되고 있는 상황이므로 이후에는 특허 관점에서는 더욱 전략적인 접근이 필요하고 관련 연구 기획 시 주도면밀하게 분석하여야 할 것임

미국와 유럽시장의 경우는 출원인 수와 출원건수가 상대적으로 매우 적어 유의미한 결과를 분석하기 쉽지 않음

(4) [중분류 BB] 주요 출원인 분석

아래의 < 그림 4-16 >은 [중분류 BB] 유지 및 관리 기술 관련 전체 특허 출원건에 대하여 주요 출원인을 분석하였음



< 그림 4-16 > [중분류 BB] 주요 시장국 주요 출원인 분석

주요 출원인은 해외 출원이 많지 않았고 **국내 출원이 대부분**인 것으로 보아 관련 기술에 대한 **해외시장 진출에 대한 의지는 높지 않은 것**으로 파악됨

주요 출원인은 **모두 한국 또는 일본 국적**이었으며, 녹생토 조성물 및 시공법 관련 전체 특허 출원에 대한 주요 출원인으로도 상위 분포하였던 도시개발과 엔지니어링을 기반으로 건설 서비스업을 하고 있는 Ohbayashi corp.(일본), 경사면 보강 압성토 옹벽공법과 생태복원 리지공법을 개발한 (주)동보사면(한국 – 대표인 윤성호 이름으로 출원함)이 각각 5건으로 가장 많은 출원건수를 보였음

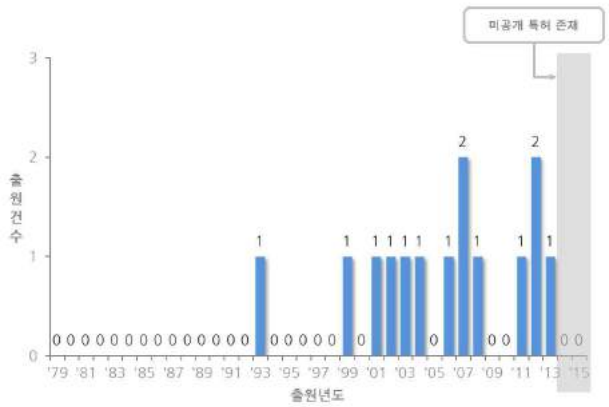
주요 출원인의 대부분이 **기업**이며, 개인 이름으로 출원한 경우에도 개인 사업자 혹은 벤처기업인 경우가 대부분이며, 이는 토목, 건설 분야인 녹생토 조성물 및 시공법 기술 분야의 특성 때문인 것으로 해석됨

유지 및 관리 기술 분야의 특허 관련 주요 시장국의 주요 출원인을 전체적으로 살펴보면, 녹생토 조성물 및 시공법 분야의 특성상 **토목, 건설 회사**가 대부분을 차지하고 있었으며, **자국 출원이 대부분**으로 **해외 시장 진출의 의지가 높지 않음**을 알 수 있음

4. [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분야 특허동향

(1) [중분류 BC] 국가별 출원동향

아래의 < 그림 4-17 >은 [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 관련 분야의 한국, 미국, 일본 및 유럽의 출원건 전체에 대한 연도별 특허 출원동향을 나타낸 것임

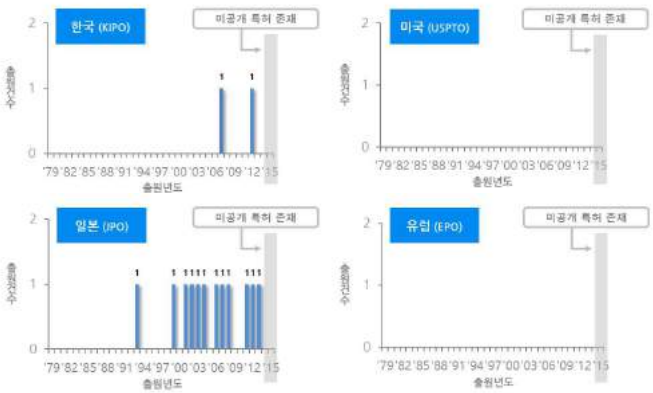


< 그림 4-17 > [중분류 BC] 전체 연도별 특허동향

< 그림 4-17 >을 참조하면, 전체적으로 출원건수가 매년 3건 미만으로 매우 적음

주요 시장국 연도별 출원동향을 나타낸 < 그림 4-18 >를 참조하면, 대부분 일본에서의 출원이며, 매년 1건 이하로 출원건수가 적음

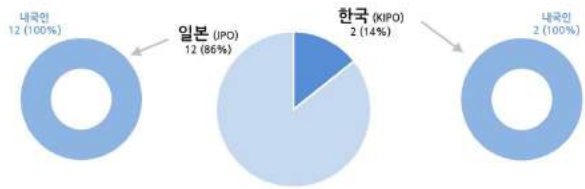
한국의 경우에는 일본보다 더 적은 총 2건의 출원건수가 있으며, 미국과 유럽은 관련 특허가 없음



< 그림 4-18 > [중분류 BC] 주요시장국 연도별 출원동향

(2) [중분류 BC] 주요 시장국 내외국인 출원현황

아래의 < 그림 4-19 >는 [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분야의 관련 특허 출원건 중 주요시장국 내외국인의 특허출원 비중과 외국인의 국적을 분석한 결과를 수치화하여 나타낸 것임

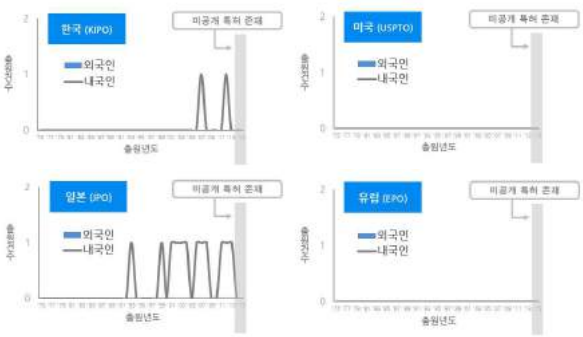


< 그림 4-19 > [중분류 BC] 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

일본 특허청(JPO)으로 출원된 특허가 86%, 한국(KIPO) 14%이며, 미국(USPTO)과 유럽(EPO)은 해당 기술 관련 특허 출원이 없어 관련 기술에 대한 시장이 **일본과 한국으로 집중**되고 있음

내외국인의 출원 비율을 보면, 일본과 한국의 경우에는 **모두 내국인 출원**으로 구성되어 있어(일본과 한국 모두 100% 내국인 출원) 전체적으로 **자국출원 중심**으로 구성됨을 확인할 수 있으며, 따라서 전체적인 동향은 **모두 내국인 출원**이고 **해외시장 진출은 많지 않은 것**으로 판단됨

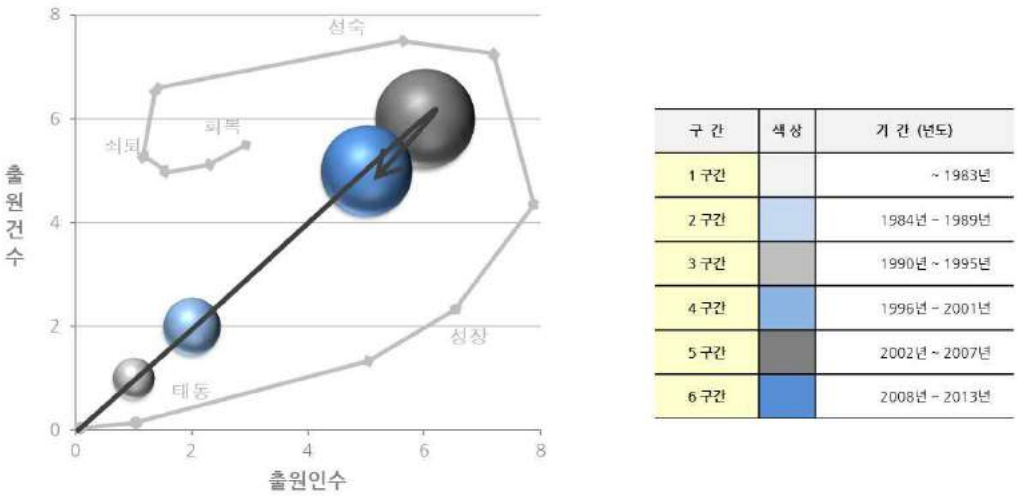
아래 < 그림 4-20 >은 [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 분야의 관련 특허 출원건 중 한국, 미국, 일본 및 유럽에서의 내외국인 특허출원현황을 파악하기 위하여 내국인의 출원건수와 외국인의 출원건수를 시장별로 나누어 연도별로 도시한 것이며, 전체적으로 자국 출원 중심으로 분포하고 있음을 확인할 수 있음



< 그림 4-20> [중분류 BC] 연도별 주요시장국 내외국인 특허 출원현황

(3) [중분류 BC] 기술발전도 분석

아래의 < 그림 4-21 >은 [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 관련 특허 기술 시장의 성장단계를 파악하기 위하여 출원건수가 미미한 1974년부터 1983년까지를 한 구간으로 묶고, 1985년부터 2013년까지를 6년 단위의 구간으로 나누어 출원건수와 출원인 수의 변화를 나타낸 것임



구 간	색 상	기 간 (년도)
1 구간		~ 1983년
2 구간		1984년 ~ 1989년
3 구간		1990년 ~ 1995년
4 구간		1996년 ~ 2001년
5 구간		2002년 ~ 2007년
6 구간		2008년 ~ 2013년

< 그림 4-21 > [중분류 BC] 전체 출원 국가의 기술시장 성장단계

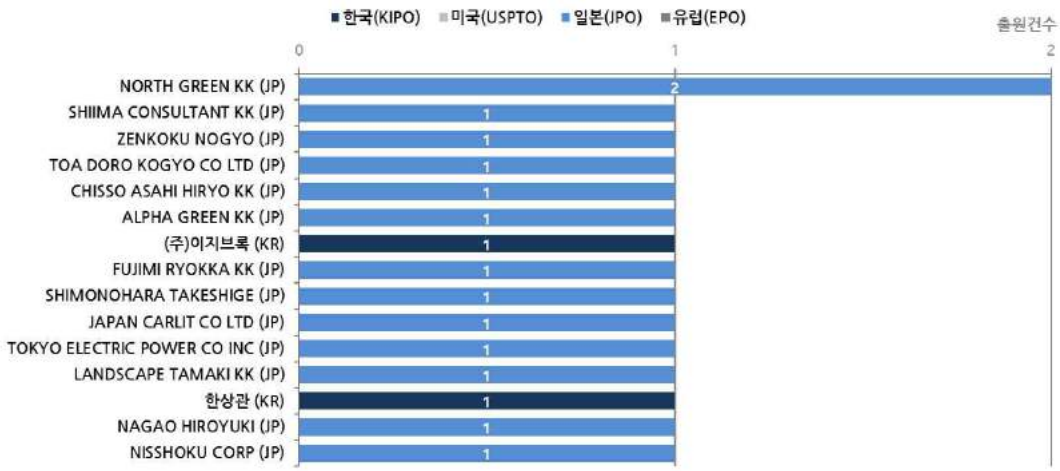
< 그림 4-21 >을 참조하면, 전체적으로 **5구간인 2007년까지는 출원인 수와 출원건수가 함께 증가하는 추세**에 있어서 외래종 침입 방지 기술과 관련된 기술시장이 **성장기**에 있는 것으로 파악되었으나, **6구간인 2008년 이후부터는 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어드는 모습**을 확인할 수 있음

일반적으로는 성장기에 있는 기술이 성숙기를 거치면서 출원건수는 늘어나지만 출원인 수는 줄어드는 과정을 거치는데, 외래종 침입 방지 기술과 관련된 기술은 그러한 과정을 거치지 않고 출원건수도 줄어드는 모습을 보임

이는 환경 산업시장의 특수한 성격이 반영된 결과로 해석되며, 많은 비중을 차지하고 있던 **일본이 환경 규제 강화 단계에 접어들면서** 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어들었고 이러한 환경이 반영된 결과로 해석됨

(4) [중분류 BC] 주요 출원인 분석

아래의 < 그림 4-22 >은 [중분류 BC] 외래종 침입 방지 기술 관련 전체 특허 출원건에 대하여 주요 출원인을 분석하였음



< 그림 4-22 > [중분류 BC] 주요 시장국 주요 출원인 분석

주요 출원인은 해외 출원이 많지 않았고 **국내 출원이 대부분**인 것으로 보아 관련 기술에 대한 **해외시장 진출에 대한 의지는 높지 않은 것**으로 파악됨

주요 출원인은 **대부분 일본 국적**이었으며, 환경 산업 관련 기업인 North Green KK(일본)이 2건으로 가장 많은 출원을 하였고, 그 외의 일본 출원인도 대부분 **토목, 건설 관련 기업**임

일본 외에 주요 출원인으로는 (주)명성테크(한국 – 대표인 한상관의 이름으로 출원함), (주)이지브록(한국)이 있었으며, 일본과 마찬가지로 대부분 **기업**인 것으로 나타남

외래종 침입 방지 기술 분야의 특허 관련 주요 시장국의 주요 출원인을 전체적으로 살펴보면, 녹생토 조성물 및 시공법 분야의 특성상 **토목, 건설 회사**가 대부분을 차지하고 있었으며, **자국 출원이 대부분**으로 **해외 시장 진출의 의지가 높지 않음**을 알 수 있음

제5장 심층 분석

1. 심층 분석 대상 핵심기술 선정

(1) 핵심기술 선정 기준

심층 분석을 위한 핵심기술은 전체 유효기술 중에서 본 보고서의 최종 목적인 ECG 기술을 응용한 친환경 식생용 숏크리트를 개발하고 친환경 항구성 암반사면 안정용 식생공법을 개발하고자 하는 취지를 바탕으로 1) 녹생토 조성물에 관한 기술 중 **시멘트 계열 녹생토 조성물**과 관련한 기술들, 2) 녹생토 시공 및 관리 기술 중 **분사(뿜어붙이기) 공법**과 관련한 기술들의 2가지 군에 대하여 선정함

시멘트 계열 녹생토 분야(기술분류 AA)는 녹생토 조성물 관련 기술 중 개발 대상 기술과 관련이 높은 주성분이 숏크리트를 포함한 시멘트 계열인 기술들로 한정하여, 조성물의 주성분이 포틀랜드 시멘트의 클링커에 포졸란이나 급랭된 고로 슬래그 등을 조합하고 적당량의 석고를 가해 만든 혼합 시멘트 및 고분자 화합물 또는 친환경 식생기반물을 혼합한 시멘트인 기술들을 포함함

분사 공법 분야(기술분류 BAD)는 녹생토 시공 및 관리 기술 중 개발 대상 기술과 관련이 높은 주된 시공법이 분사(뿜어붙이기) 공법인 기술들로 한정하여, 분사(뿜어붙이기) 공법을 주된 공법으로 하면서 매트 공법, 블록(옹벽) 공법, 망태(gabion) 공법을 융합한 기술들 및 분사 공법 시공 시 사용하는 분사 장치와 관련된 기술들을 포함함

<표 5-1> 핵심기술 선정기준

기술분야	구체적 산정기준
시멘트 계열 녹생토	■▪녹생토 조성물 관련 기술 중 개발 대상 기술과 관련이 높은 주성분이 숏크리트를 포함한 시멘트 계열인 기술들로 한정함 ■▪조성물의 주성분이 포틀랜드 시멘트의 클링커에 포졸란이나 급랭된 고로 슬래그 등을 조합하고 적당량의 석고를 가해 만든 혼합 시멘트 및 고분자 화합물 또는 친환경 식생기반물을 혼합한 시멘트인 기술들을 포함함
분사(뿜어붙이기) 공법	■▪녹생토 시공 및 관리 기술 중 개발 대상 기술과 관련이 높은 주된 시공법이 분사(뿜어붙이기) 공법인 기술들로 한정함 ■▪분사(뿜어붙이기) 공법을 주된 공법으로 하면서 매트 공법, 블록(옹벽) 공법, 망태(gabion) 공법을 융합한 기술들 및 분사 공법 시공 시 사용하는 분사 장치와 관련된 기술들을 포함함

(2) 핵심기술 선정 결과

<표 5-1>에 제시된 기준에 따라 **시멘트 계열 녹생토 분야(기술분류 AA)**에서는 유효특허 246건에 대하여 **핵심특허 112건**, **분사 공법 분야(기술분류 BAD)**에서는 유효특허 543건에 대하여 **핵심특허 351건**을 선정하였음

<표 5-2> 시멘트 계열 녹생토 분야의 핵심기술 선정 결과

대상 국가	유효건수	핵심특허건수
한국 (KIPO)	43 건	36 건
미국 (USPTO)	6 건	1 건
일본 (JPO)	191 건	73 건
유럽 (EPO)	6 건	2 건
합 계	246 건	112 건

<표 5-3> 분사 공법 분야의 핵심기술 선정 결과

대상 국가	유효건수	핵심특허건수
한국 (KIPO)	137건	82건
미국 (USPTO)	11건	10건
일본 (JPO)	395건	259건
유럽 (EPO)	0건	0건
합 계	543건	351건

(3) 심층 분석을 위한 심층 분류 도출

시멘트 계열 녹생토의 핵심특허를 분석하여 아래의 <표 5-4>에 제시된 바와 같이 심층 분류를 도출함

조성물의 주된 성분을 기준으로, 1) 포틀랜드 시멘트에 급랭시킨 고로 또는 고로 슬래그와 적량의 석고를 가하여 혼합 분쇄한 **고로 슬래그 시멘트**를 주성분으로 하는 녹생토 조성물, 2) 포클랜드 시멘트에 **플라이애쉬**를 혼화재로 사용한 시멘트를 주성분으로 하는 녹생토 조성물, 3) 포틀랜드 시멘트 클링커에 포졸란을 혼합 후 석고를 가해 만든 **포틀랜드 포졸란 시멘트**를 주성분으로 하는 녹생토 조성물, 4) 투수성을 가지는 **다공질 구조체의 시멘트**를 주성분으로 하는 녹생토 조성물, 5) **고분자 화합물**이 포함된 시멘트를 주성분으로 하는 녹생토 조성물, 6) **친환경 식생기반물**(볏짚, 잡초 등)이 포함된 시멘트를 주성분으로 하는 녹생토 조성물로 구분하여 분석함

<표 5-4> 시멘트 계열 녹생토 분야의 심층 분류

기술분류	심층분류	분류별 기술 정의
시멘트 계열 녹생토 (AA)	고로 슬래그 시멘트	포틀랜드 시멘트에 급랭시킨 고로 또는 고로 슬래그와 적량의 석고를 가하여 혼합 분쇄한 고로 슬래그 시멘트를 주성분으로 하는 녹생토 조성물
	플라이애쉬 시멘트	포틀랜드 시멘트에 플라이애쉬를 혼화재로 사용한 시멘트를 주성분으로 하는 녹생토 조성물로, 바텀 애쉬 등 산업부산물을 활용한 시멘트를 포함함
	포틀랜드 포졸란 시멘트	포틀랜드 시멘트 클링커에 포졸란을 혼합 후 석고를 가해 만든 포틀랜드 포졸란 시멘트를 주성분으로 하는 녹생토 조성물로, 실리카질 환화재를 포함함
	다공성 시멘트	투수성을 가지는 다공질 구조체의 시멘트를 주성분으로 하는 녹생토 조성물
	고분자 혼합	고분자 화합물이 포함된 시멘트를 주성분으로 하는 녹생토 조성물
	친환경 식생기반물 혼합	친환경 식생기반물(볏짚, 잡초 등)이 포함된 시멘트를 주성분으로 하는 녹생토 조성물

분사(뿜어붙이기) 공법의 핵심특허를 분석하여 아래의 <표 5-5>에 제시된 바와 같이 심층분류를 도출함

주된 시공법을 기준으로, 1) 녹생토 시공법 관련 기술 중 주된 시공법이 **분사(뿜어붙이기) 공법**인 시공 기술, 2) 녹생토 시공법 관련 기술 중 주된 시공법이 **매트 공법**과 그 위에 분사(뿜어붙이기) 공법이 융합된 공법인 시공 기술, 3) 녹생토 시공법 관련 기술 중 주된 시공법이 **블록(옹벽) 공법**과 그 위에 분사(뿜어붙이기) 공법이 융합된 공법인 시공 기술, 4) 녹생토 시공법 관련 기술 중 주된 시공법이 **망태(gabion) 공법**과 그 위에 분사(뿜어붙이기) 공법이 융합된 공법인 시공 기술, 5) 녹생토 시공법 관련 기술 중 분사(뿜어붙이기) 공법 시공 시 사용하는 **분사 장치**와 관련된 기술로 구분하여 분석함

<표 5-5> 분사 공법 분야의 심층 분류

기술 분류	심층 분류	분류별 기술 정의
분사 공법 (BAD)	분사	녹생토 시공법 관련 기술 중 주된 시공법이 분사(뿜어붙이기) 공법인 시공 기술
	매트+분사 융합	녹생토 시공법 관련 기술 중 주된 시공법이 매트 공법과 그 위에 분사(뿜어붙이기) 공법이 융합된 공법인 시공 기술
	블록(옹벽)+분사 융합	녹생토 시공법 관련 기술 중 주된 시공법이 블록(옹벽) 공법과 그 위에 분사(뿜어붙이기) 공법이 융합된 공법인 시공 기술
	망태+분사 융합	녹생토 시공법 관련 기술 중 주된 시공법이 망태(gabion) 공법과 그 위에 분사(뿜어붙이기) 공법이 융합된 공법인 시공 기술
	분사 장치	녹생토 시공법 관련 기술 중 분사(뿜어붙이기) 공법 시공 시 사용하는 분사 장치와 관련된 기술

2. 핵심기술에 대한 심층 분석 방향

(1) 기술 흐름도 분석

핵심기술들에 대하여 연도별 기술흐름을 분석하고 관련 분야별 통계 분석을 수행하여 세부 분야별 핵심 기술의 분포 동향과 관련 기술의 변화 추이를 파악할 수 있도록 함

(2) 주요 기술 소개

관련 분야의 대표적인 기술에 대한 서지 정보와 기술 내용을 제공하여 주요한 기술을 파악하여 향후 연구개발 방향 수립에 도움을 주고자 함

(3) 핵심 출원인별 포트폴리오 분석

주요 출원인의 출원 및 등록 특허에 대하여 분야별 중점 기술을 파악하고 관련 분야의 대표적인 기술에 대한 시간별 기술 흐름도를 분석하여 주요 출원인별 전체적인 포트폴리오를 파악하고 이를 활용하여 향후 개발기술의 특허전력 수립에 필요한 정보를 제공하고자 함

3. 시멘트 계열 녹생토 분야 핵심특허

본 분석에서는 시멘트 계열 녹생토 분야의 핵심특허를 세부 심층 분류별로 도출하고 각각의 심층 분류별 핵심특허의 기술 흐름도를 분석하고 주요 기술을 소개하고자 함

아래의 <표 5-6>는 시멘트 계열 녹생토 분야 핵심특허를 세부 심층 분류별로 도출한 결과를 나타낸 것임

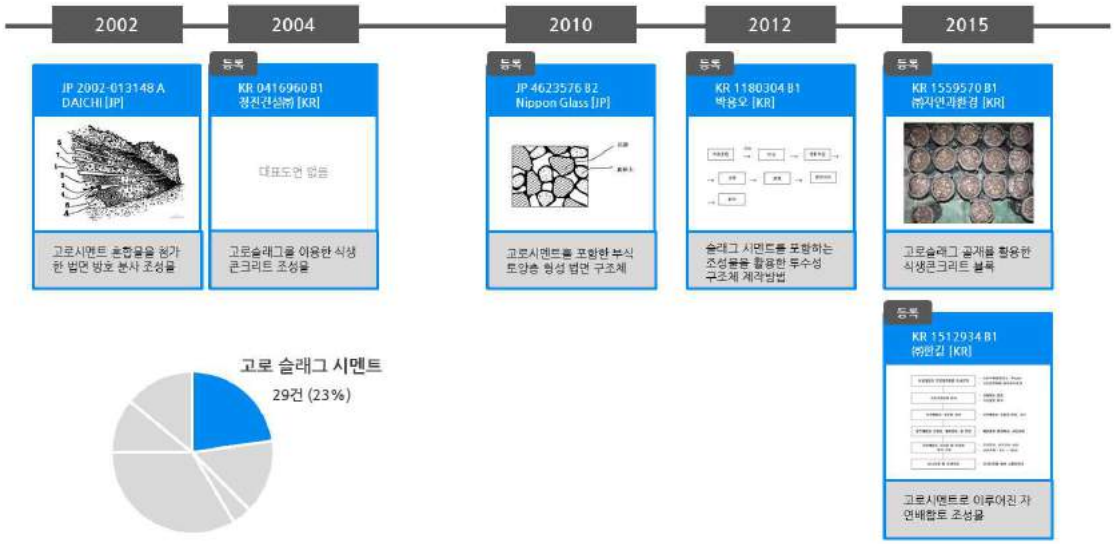
<표 5-6> 시멘트 계열 녹생토 분야의 핵심특허 도출 결과

기술분류	심층분류	대상 국가				합 계[8]
		한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	
시멘트 계열 녹생토 (AA)	고로 슬래그 시멘트	14 건	0 건	15 건	0 건	**29 건**
	플라이애쉬 시멘트	11 건	0 건	8 건	0 건	**19 건**
	포틀랜드 포졸란 시멘트	2 건	0 건	3 건	0 건	**5 건**
	다공성 시멘트	12 건	1 건	28 건	2 건	**43 건**
	고분자 혼합	2 건	0 건	12 건	0 건	**14 건**
	친환경 식생기반물 혼합	6 건	0 건	12 건	0 건	**18 건**
합 계		**47 건**	**1 건**	**78 건**	**2 건**	**128 건**

8) 다수의 기술이 포함되어 있는 경우, 각각의 기술에 대하여 중복 분류 하였음

(1) 고로 슬래그 시멘트 분야 핵심특허

<그림 5-1>은 고로 슬래그 시멘트 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-1> 고로 슬래그 시멘트 분야 기술 흐름도 분석

고로 슬래그 시멘트 분야는 시멘트 계열 녹생토 전체 핵심특허 128건 중 29건으로 23%를 차지하여 다공성 시멘트 분야 다음으로 **두 번째로 많은 비중**을 차지함

고로 슬래그 시멘트는 충분한 강도를 가지면서 다공성을 유지할 수 있는 장점이 있어 호안 블록, 법면 방호물, 식생 콘크리트 조성물, 토양층 형성 법면 구조체 등 다양한 형태와 분야에서 적용되어 사용되고 있음

핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면, 비교적 최근까지도 조성물의 주요 성분으로 활용되고 있으며, 식물의 생장을 필요로 하는 다양한 분야의 시멘트 구조 조성물의 주요 성분이 되고 있음

다음은 고로 슬래그 시멘트 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

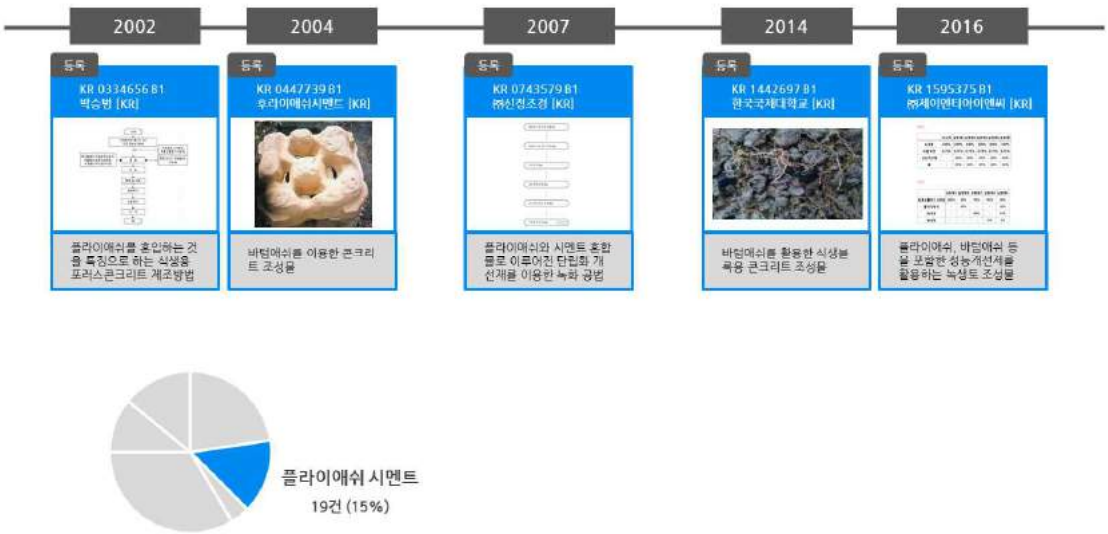
■ 핵심특허 (고로 슬래그 시멘트 분야)

식생콘크리트 1m^{3}당 시멘트를 60kg~130kg, 분말도가 4000㎠/g 이상인 **고로슬래그** 130kg~200kg, 평균입경이 5㎜ 내지 25㎜인 굵은골재 1500kg 내지 1950kg의 비율로 혼합되고, **결합제(시멘트+고로슬래그)** 1중량부당 물 0.25~0.35중량부로 구성되는 녹생토 조성물임

발명의 명칭	고로슬래그를 이용한 식생콘크리트 조성물		
공개번호	KR 0416960 B1	**공 개 일**	2004-01-07
출 원 인	청진건설(주) [KR]		
패밀리 특허	국가 / 문헌번호 / 종류 / 일자 / 청구항 / 발명의 명칭 KR 0416960 B1 2004.01.17 2 고로슬래그를 이용한 식생콘크리트 조성물(A concrete composition for plant growing using slag) KR 2002-0084398 A 2002.11.07 2 고로슬래그를 이용한 식생콘크리트 조성물(A concrete composition for plant growing using slag)		
기술요지	■ **시멘트 구성** : 식생콘크리트 1m^{3}당 시멘트를 60kg~130kg, 분말도가 4000㎠/g 이상인 **고로슬래그** 130kg~200kg, 평균입경이 5㎜ 내지 25㎜인 굵은골재 1500kg 내지 1950kg의 비율로 혼합되고, **결합제(시멘트+고로슬래그)** 1중량부당 물 0.25~0.35중량부로 구성 ■ 콘크리트의 구조물로서 사용될 수 있는 **충분한 강도**를 가지면서 **다공성을 유지**할 수 있고, 또 콘크리트 자체의 용해실험으로 부터 알 수 있는 바와 같이 pH가 식물의 생장에 도움을 줄 수 있게 되므로 경사지용, 인공어초용, 호안블록용 등과 같은 식물의 생장을 필요로 하는 콘크리트로서 유용함		
대표도면	대표도면 없음		
대표청구항	시멘트와 골재와 물을 함유하는 식생콘크리트 조성물에 있어서, 식생콘크리트 1㎥당 시멘트를 60kg~130kg, 분말도가 4000㎠/g 이상인 고로슬래그 130kg~200kg, 평균입경이 5㎜ 내지 25㎜인 굵은골재 1500kg 내지 1950kg의 비율로 혼합되고, 결합제(시멘트+고로슬래그) 1중량부당 물 0.25~0.35중량부로 구성되는 것을 특징으로 하는 식생콘크리트 조성물		

(2) 플라이애쉬 시멘트 분야 핵심특허

<그림 5-2>는 플라이애쉬 시멘트 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-2> 플라이애쉬 시멘트 분야 기술 흐름도 분석

플라이애쉬 시멘트 분야는 시멘트 계열 녹생토 전체 핵심특허 128건 중 19건으로 15%를 차지하고 있음

산업부산물인 플라이애쉬 혹은 바텀애쉬 등을 활용하여 자원의 재활용 및 환경오염의 방지 효과가 있으며 역학적 특성 및 내구성이 우수하여 식물을 배양할 수 있는 환경 친화적인 녹생토 조성물 제조가 가능한 장점이 있음

핵심특허의 연도별 분포를 보면 주로 2000년대 초반에 많이 분포되어 있는 것이 특징이지만, 비교적 최근까지도 조성물의 주요 성분으로 활용되고 있음

다음은 플라이애쉬 시멘트 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

■ 핵심특허 (플라이애쉬 시멘트 분야)

고로 슬래그 미분말, **플라이애쉬, 바텀애쉬**를 포함하는 석탄회와 페이퍼 애쉬, 천연 포졸란 미분말, 메타카올린, 실리카흄 중 어느 하나 또는 적어도 2개를 혼합한 것을 포졸란 혼합재 구성으로 하는 식생 및 녹화에 사용되는 녹생토 조성물임

<table>
<tr><td>발명의 명칭</td><td colspan="3">녹생토</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>KR 1595375 B1</td><td>등 록 일</td><td>2016-02-19</td></tr>
<tr><td>출 원 인</td><td colspan="3">(주)제이엔티아이엔씨 [KR]</td></tr>
<tr><td>패밀리 특허</td><td colspan="3">
<table>
<tr><th>국가</th><th>문헌번호</th><th>종류</th><th>일자</th><th>청구항</th><th>발명의 명칭</th></tr>
<tr><td>KR</td><td>1595375</td><td>B1</td><td>2016.02.12</td><td>7</td><td>녹생토(Composition of seed spray soil)</td></tr>
<tr><td>KR</td><td>2015-0131419</td><td>A</td><td>2015.11.25</td><td>9</td><td>녹생토(Composition of seed spray soil)</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>기술요지</td><td colspan="3">
■ 절토 구간의 경사면에 일정한 두께로 뿌려지며, 식물의 씨앗을 포함하고 있어 경사면의 식생 및 녹화에 사용되는 인조 토양인 녹생토 조성물에 관한 것임
■ 본 녹생토 조성물은 녹화가 필요한 사면에 뿜칠 시공되는 것으로서, 슬러지와 씨앗을 포함하는 녹생토 및 시멘트와 포졸란 혼합재를 포함하는 성능개선제를 포함하여 이루어진 것에 특징이 있음
■ 시멘트 구성 : 포틀랜드 시멘트, 다성분계 혼합시멘트, 수경성 시멘트 중 어느 하나 또는 적어도 2개를 혼합한 시멘트
■ 포졸란 혼합재 구성 : 고로 슬래그 미분말, 플라이애쉬, 바텀애쉬를 포함하는 석탄회와 페이퍼 애쉬, 천연 포졸란 미분말, 메타카올린, 실리카흄 중 어느 하나 또는 적어도 2개를 혼합한 것
■ 녹생토에 요구되는 3가지 조건인 부착성, 기계적 강도 및 식생조건을 모두 만족함
■ 점착성과 속경성에 기반하여 시공이 용이하며, 기계적 강도와 내구성이 증대되어 유지관리에 어려움이 없으며, 식생 조건이 구비되어 사면 녹화에 기여할 수 있음
</td></tr>
</table>

대표도면

도면1

	비교예	실험예1	실험예2	실험예3	실험예4	실험예5
녹생토	100%	100%	100%	100%	100%	100%
식생 씨앗	0.75%	0.75%	0.75%	0.75%	0.75%	0.75%
성능개선재	-	10%	10%	10%	10%	10%
물	-	10%	10%	10%	10%	10%

도면2

	실험예1	실험예2	실험예3	실험예4	실험예5
보통포틀랜드시멘트	100%	50%	70%	95%	50%
플라이애쉬	-	50%	-	-	30%
속경재	-	-	30%	-	15%
보습재	-	-	-	5%	3%

대표청구항

녹화가 필요한 사면에 뿜칠 시공되는 것으로서,

슬러지와 씨앗을 포함하는 녹생토; 및

시멘트와, 시멘트의 강도를 향상시키는 포졸란 혼합재를 포함하는 성능개선제;를 포함하며,

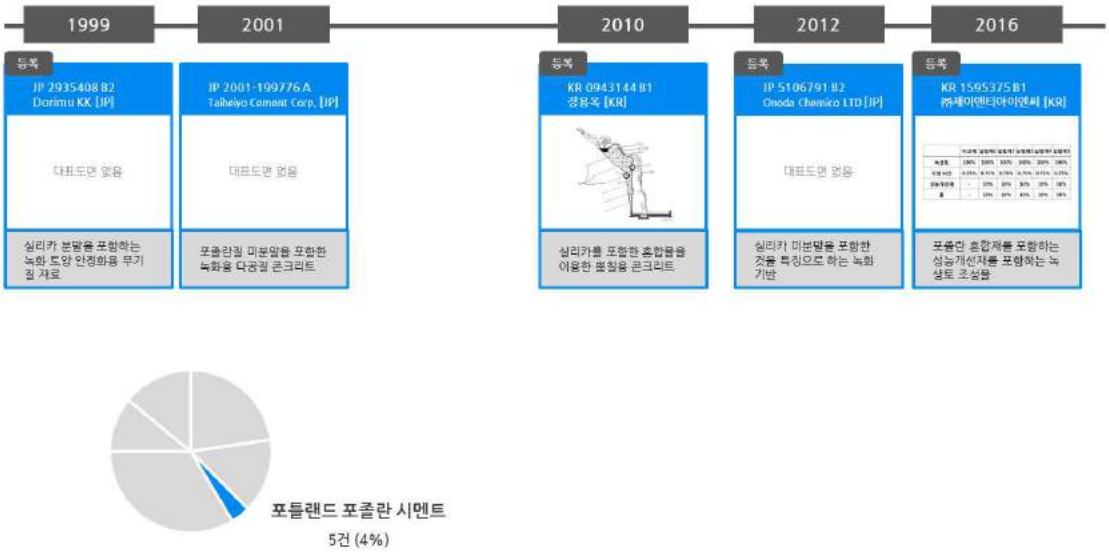
상기 성능개선제에서 상기 시멘트는 10~80 중량%의 비율로 혼합되며,

상기 녹생토 내 식물의 식생 환경을 조성하도록, 상기 성능개선제는 공기 연행성을 가지는 계면활성제와, 기포를 발생시키는 발포제 및 상기 녹생토 내 수분의 이동을 촉진하기 위한 코코넛 섬유를 비롯한 목질계 섬유를 모두 포함하며,

상기 성능개선제는 녹생토의 점착성을 증대시키기 위한 증점제를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 녹생토 조성물.

(3) 포틀랜드 포졸란 시멘트 분야 핵심특허

<그림 5-3>은 포틀랜드 포졸란 시멘트 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-3> 포틀랜드 포졸란 시멘트 분야 기술 흐름도 분석

포틀랜드 포졸란 시멘트 분야는 시멘트 계열 녹생토 전체 핵심특허 128건 중 5건으로 4%를 차지하여 **가장 적은 비중**을 차지함

핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면, 2000년대 초반까지 분포하다가 비교적 최근에 다시 녹화 기반재로 활용되고 있음

다음은 포틀랜드 포졸란 시멘트 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

■ 핵심특허 (포틀랜드 포졸란 시멘트 분야)

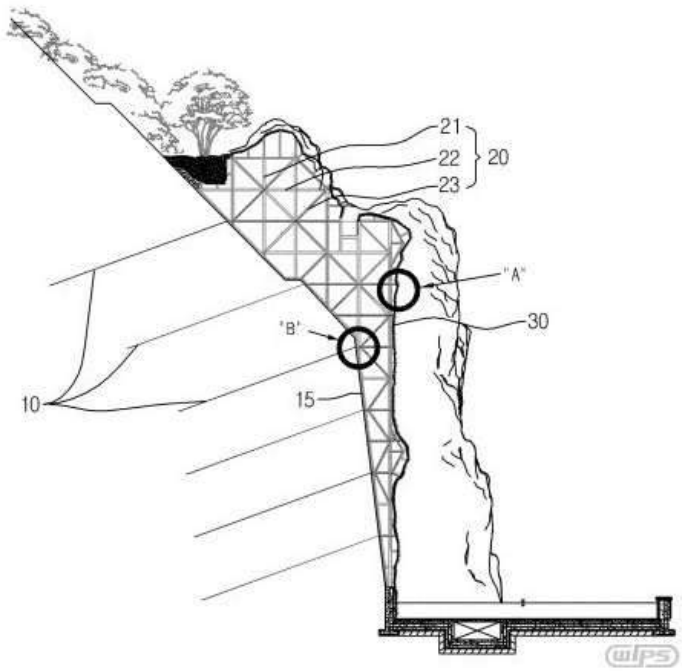
포틀랜드 포졸란 시멘트로 **실리카를 함유**한 혼합물을 활용한 뿜칠용 콘크리트 제조 방법에 관한 것으로, **실리카가 함유된** 1차 건배합 혼합물과 2차 혼합물을 혼합하여 제조하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 뿜칠용 콘크리트와 인공경량토를 이용한 인조바위 시공방법임

<table>
<tr><td>발명의 명칭</td><td colspan="3">뿜칠용 콘크리트와 인공경량토를 이용한 인조바위의 시공방법</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>KR 0943144 B1</td><td>등 록 일</td><td>2010-02-10</td></tr>
<tr><td>출 원 인</td><td colspan="3">장용옥 [KR]</td></tr>
<tr><td>패밀리 특허</td><td colspan="3">
<table>
<tr><th>국가</th><th>문헌번호</th><th>종류</th><th>일자</th><th>청구항</th><th>발명의 명칭</th></tr>
<tr><td>KR</td><td>0943144</td><td>B1</td><td>2010.02.10</td><td>1</td><td>뿜칠용 콘크리트와 인공경량토를 이용한 인조바위의 시공방법(Construction method of artificial stone using spray type-concrete and artificial lightweight soil)</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>기술요지</td><td colspan="3">
■ 인조바위의 시공 시 인조바위가 견고하게 고정되도록 하는 뿜칠용 콘크리트와 빗물 등에 의하여 흙이 흘러 내리는 것을 억제하는 인공경량토를 이용한 인조바위 시공방법에 관한 것

■ 뿜칠용 콘크리트를 사용함으로써 인조바위가 절개지 사면에 견고하게 고정됨과 동시에 절개지의 사면 붕괴를 줄이고, 빗물 등에 의하여 흙이 흘러내리는 것을 억제하는 인공경량토를 사용함으로써 인조바위와 절개지 사이에 수목 등을 식재할 수 있어 주변 환경 또는 경관과 조화를 이루는 인조바위를 시공하는 방법을 제공함

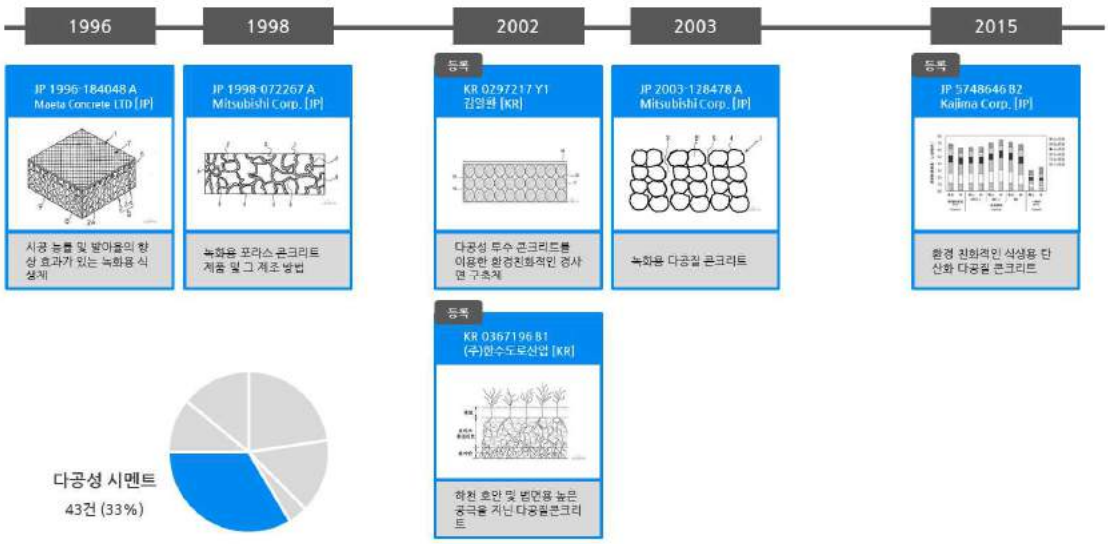
■ 뿜칠용 콘크리트 제조 단계 : 1) 잔골재 55~65중량%와 시멘트 30~40중량%를 배합하는 1차 건배합 단계; 2) 상기 1차 건배합된 혼합물에 메타카오린 1.2~2중량%, 셀룰로이즈 0.03~0.05중량%, 감수제 0.06~0.1중량%, 실리카흄 0.3~0.5중량% 및 규사 1.41~2.35중량%를 배합하는 2차 건배합 단계; 3) 상기 2차 건배합된 총 혼합물 100중량부에 대하여 물 15~20중량부를 넣어 3~5분 동안 혼합하는 단계

■ 인공경량토 구성 : 부엽토 24~26중량%, 흙 69~72중량%, 시멘트 3.9~5중량% 및 토질경화제 0.1~0.2중량%을 혼합하여 제조
</td></tr>
</table>

대표도면	
대표청구항	절개지 사면을 경사지게 굴착하는 단계; 상기 절개지 사면을 천공하는 단계; 상기 천공에 쏘일 네일을 견고하게 고정하는 그라우팅 단계; 상기 절개지 사면으로부터 떨어진 위치에 미리 제작된 인조바위 패널을 순차적으로 적층시켜 고정하는 단계; 상기 쏘일 네일과 인조바위 패널 사이에 트러스트 구조체를 고정하는 단계; 상기 인조바위 패널의 내측면에 뿜칠용 콘크리트를 뿜칠하는 단계; 및 상기 절개지 사면과 뿜칠용 콘크리트 사이에 식물의 식재가 가능한 인공경량토를 성토하는 단계를 포함하는 뿜칠용 콘크리트와 인공경량토를 이용한 인조바위 시공방법에 있어서, 상기 뿜칠용 콘크리트는 잔골재 55~65중량%와 시멘트 30~40중량%를 배합하는 1차 건배합 단계; 상기 1차 건배합된 혼합물에 메타카오린 1.2~2중량%, 셀룰로이즈 0.03~0.05중량%, 감수제 0.06~0.1중량%, 실리카흄 0.3~0.5중량% 및 규사 1.41~2.35중량%를 배합하는 2차 건배합 단계; 및 상기 2차 건배합된 총 혼합물 100중량부에 대하여 물 15~20중량부를 넣어 3~5분 동안 혼합하는 단계를 포함하여 제조되는 것을 특징으로 하는 뿜칠용 콘크리트와 인공경량토를 이용한 인조바위 시공방법.

(4) 다공성 시멘트 분야 핵심특허

<그림 5-4>은 다공성 시멘트 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-4> 다공성 시멘트 분야 기술 흐름도 분석

다공성 시멘트 분야는 시멘트 계열 녹생토 전체 핵심특허 128건 중 43건으로 33%를 차지하여 **가장 많은 비중**을 차지함

고로 슬래그 시멘트는 충분한 강도를 가지면서 다공성을 유지할 수 있는 장점이 있어 호안 블록, 법면 방호물, 식생 콘크리트 조성물, 토양층 형성 법면 구조체 등 다양한 형태와 분야에서 적용되어 사용되고 있음

핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면, 비교적 최근까지도 조성물의 주요 성분으로 활용되고 있으며, 식물의 생장을 필요로 하는 다양한 분야의 시멘트 구조 조성물의 주요 성분이 되고 있음

다음은 다공성 시멘트 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

■ 핵심특허 (다공성 시멘트 분야)

구조 부재에 적용할 수 있는 18 N/mm2이상의 강도 레벨을 가지며, 양호한 식생 성능을 가지고, 또한 시멘트 성분의 용출이 억제되어 환경 친화적인 성질을 구비하는 **식생용 다공질 콘크리트**임

발명의 명칭	식생용 탄산화 다공질 콘크리트		
등록번호	JP 5748646 B2	**등 록 일**	2015-05-22
출 원 인	KAJIMA CORP [JP]		

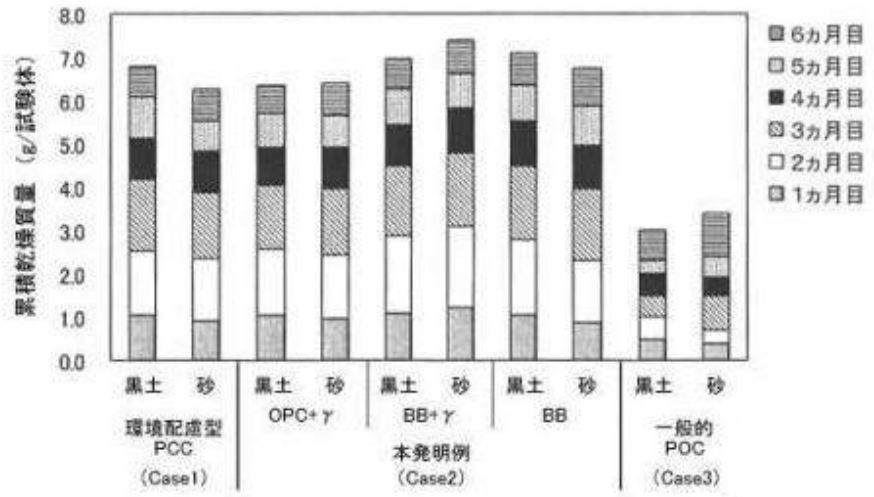
패밀리 특허

국가	문헌번호	종류	일자	청구항	발명의 명칭
JP	5748646	B2	2015.05.22	2	식생용 탄산화 다공질 콘크리트
JP	2013-129579	A	2013.07.04	2	식생용 탄산화 다공질 콘크리트

기술요지

- 구조 부재에 적용할 수 있는 **18 N/mm^{2}이상**의 강도 레벨을 가지며, 양호한 **식생 성능**을 가지고, 또한 시멘트 성분의 용출이 억제되어 **환경 친화적**인 성질을 구비하는 **식생용 다공질 콘크리트**임
- **γ비라이트**를 함유하고 γ비라이트의 배합 비율이 **5~90질량%**이며 조골재 최대 치수가 **30~50 mm**인 콘크리트 혼합물을 경화시켜 **공극율 10~20%**의 경화체로 한 후, 이것을 탄산화 양생해서 이루어지는 **압축 강도 18 N/mm^2 이상**을 가지는 **식생용 탄산화 다공질 콘크리트**임

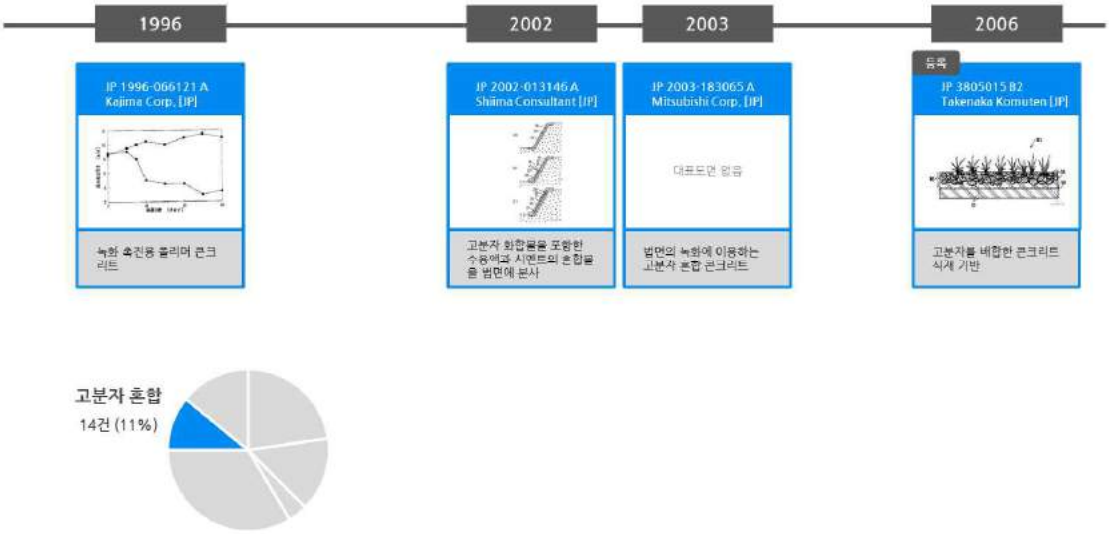
대표도면



대표청구항	γ비라이트를 함유하고 분체 성분에 차지하는γ비라이트의 배합 비율이5~90질량%이며 조골재 최대 치수가 30~50 mm인 콘크리트 혼련물을 경화시켜 공극율10~20%의 경화체로 한 후, 이것을 탄산화 양생해서 이루어지는, 압축 강도 18 N/mm2 이상을 가지는 식생용 탄산화 다공질 콘크리트.

(5) 고분자 혼합 분야 핵심특허

<그림 5-5>은 고분자 혼합 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-5> 고분자 혼합 분야 기술 흐름도 분석

고분자 혼합 분야는 시멘트 계열 녹생토 전체 핵심특허 128건 중 14건으로 11%를 차지하고 있음

시멘트와 고분자의 혼합물을 이용하는 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 불가피한 공극을 고분자 화합물로 채워 큰 강도나 내수성을 얻는 목적으로 이용되며 부착된 미세 고분자는 식물의 생육에 필요한 수분과 영양분을 포함하면서 동시에 시멘트를 지지하여 강도를 높이는 목적으로 사용됨

핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면, 대부분 1990년대에 집중되어 있고, 최근 특허를 중심으로 분석해 보아도 대부분 2000년대 초반에 집중되어 있음을 알 수 있음

다음은 고분자 혼합 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

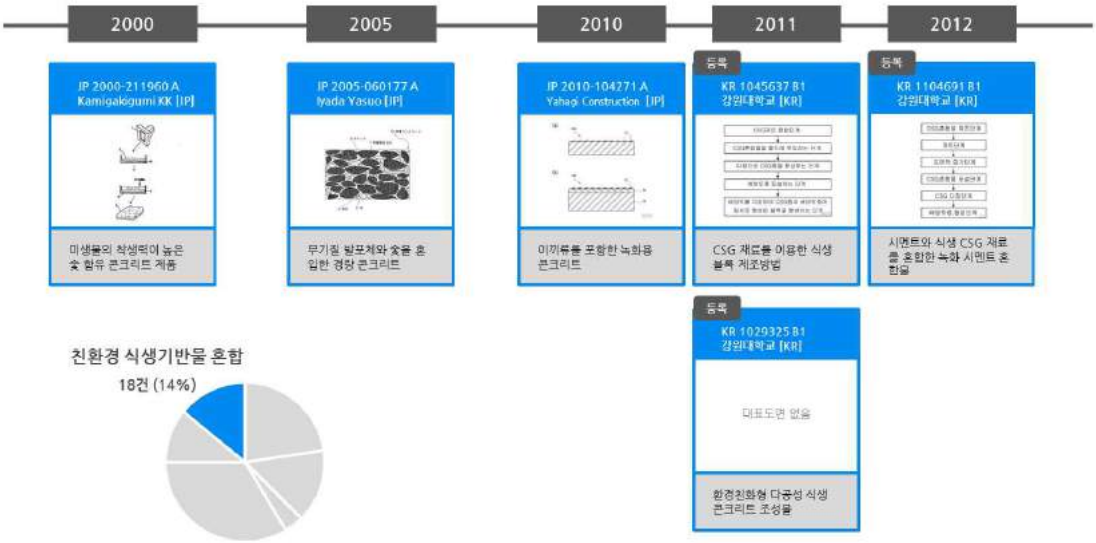
■ 핵심특허 (고분자 혼합 분야)

보수제, 인공 경량토양 이외에 녹화에 있어서 이용되는 다양한 구성 성분(예: 모래, 제올라이트, 산성 백토 등)을 포함할 수 있는 **고분자 혼합** 녹화용 콘크리트임

발명의 명칭	녹화용 콘크리트		
공개번호	JP 2003-183065 A	**공 개 일**	2003-07-03
출 원 인	MITSUBISHI RAYON CO LTD [JP]		
패밀리 특허	국가 / 문헌번호 / 종류 / 일자 / 청구항 / 발명의 명칭 JP / 2003-183065 / A / 2003.07.03 / 3 / 녹화용 콘크리트 * 일스 미보유 문헌 1 건 (출원 공개되지 않았거나, 일스의 보유 데이터 범위에 포함되지 않는 문헌) JP 2001-311657 (2001.10.09)		
기술요지	■ 노면, 법면의 녹화에 이용하는 녹화용 콘크리트 제조 기술을 제공함을 목적으로 함 ■ 녹화용 콘크리트의 구성 : 1) A성분 : (메타) 아크릴아미드 50~90 질량부; 2) B성분 : (메타) 아크릴산의 5~50 몰%이 중화에 의해 알칼리 금속염으로 전환된 (메타) 아크릴산의 알칼리 금속염을 포함한 (메타) 아크릴산 및 그 알칼리 금속염의 혼합물 10~50 질량부; 3) C성분 : 가교성 모노머 0.01~5 질량부를 포함한 모노머 혼합물의 가교 공중합체로 구성 ■ 본 발명의 녹화용 콘크리트에는 보수제, 인공 경량토양 이외에 녹화에 있어서 이용되는 다양한 구성 성분을 포함할 수 있음 (예: 모래, 제올라이트, 산성 백토 등) ■ 본 발명의 녹화용 콘크리트는 식물 생장 저해가 매우 작고 보수 효과가 우수한 보수제와 인공 경량토양을 함유하고 있으므로, 보수성이 우수하고, 경량이며 건조물의 옥상, 벽면 혹은 법면 등의 녹화에 적합하게 사용됨		
대표도면	대표도면 없음.		
대표청구항	A성분:(메타) 아크릴아미드50~90질량부, B성분:(메타) 아크릴산의5~50몰%이 중화에 의해 알칼리 금속염으로 전환된(메타) 아크릴산의 알칼리 금속염을 포함한, (메타) 아크릴산 및 그 알칼리 금속염의 혼합물10~50질량부 및(C) 성분:가교성 모노머 0.01~5 질량부를 포함한 모노머 혼합물의 가교 공중합체로 구성되는 보수제를 함유하는 녹화용 콘크리트.		

(6) 친환경 식생기반물 혼합 분야 핵심특허

<그림 5-6>은 친환경 식생기반물 혼합 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-6> 친환경 식생기반물 혼합 분야 기술 흐름도 분석

친환경 식생기반물 혼합 분야는 시멘트 계열 녹생토 전체 핵심특허 128건 중 18건으로 14%를 차지하고 있음

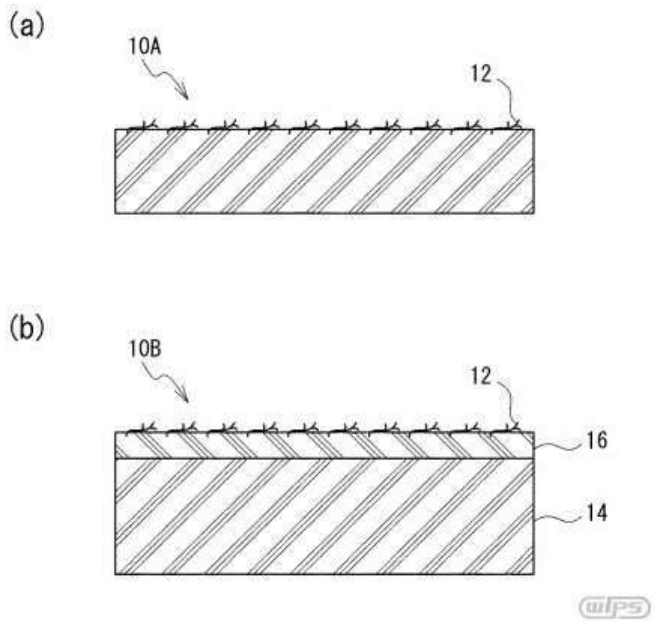
핵심특허의 연도별 분포를 보면 주로 2000년대 초반에는 무기질과 숯을 주성분으로 구성하는 식생 콘크리트가 주를 이루었으나, 2000년대 후반 이후부터 최근까지는 이끼류 또는 토사와 시멘트의 혼합물인 CSG(Cemented sand and gravel)를 주성분으로 구성하면서 친환경 식생기반물을 첨가하는 친환경 녹화 콘크리트가 주를 이루고 있음

2011년과 2012년에는 주요 출원인으로 강원대학교 산학협력단(KR)이 활발하게 특허 출원 및 등록을 진행하고 있음

다음은 친환경 식생기반물 혼합 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

■ 핵심특허 (친환경 식생기반물 혼합 분야)

이끼류를 포함한 생콘크리트가 경화되고 콘크리트 표면에 **이끼류**가 식생 되어서 이루어지는 것을 특징으로 하는 녹화용 콘크리트임

발명의 명칭	녹화용 콘크리트 및 그 제조 방법		
공개번호	JP 2010-104271 A	**공 개 일**	2010-05-13
출 원 인	YAHAGI CONSTRUCTION CO LTD [JP]		
패밀리 특허	국가 / 문헌번호 / 종류 / 일자 / 청구항 / 발명의 명칭 JP / 2010-104271 / A / 2010.05.13 / 10 / 녹화용 콘크리트 및 그 제조 방법		
기술요지	■ 수직면이나 사면의 녹화에 적합한 녹화용 콘크리트 기술을 제공함을 목적으로 함 ■ 본 발명의 녹화용 콘크리트는 **이끼류를 포함**한 생콘크리트가 경화되고 콘크리트 표면에 **이끼류**가 식생 되어서 이루어지는 것을 요지로 함 ■ 녹화용 콘크리트의 구성 : 이끼류를 포함하지 않는 콘크리트 기부와 상기 콘크리트 기부에 적층되어 있고, **이끼류를 포함**한 생콘크리트가 경화되고 표면에 **이끼류**가 식생 되어서 이루어지는 녹화부를 가짐 ■ 수직면이나 사면 등에 설치한 경우에도 풍우 등에 의한 배양토나 비료 등의 유출을 방지하여 녹화 작용이 가능하고 효율적인 수행이 가능함		
대표도면			

대표청구항	이끼류를 포함한 생콘크리트가 경화되고 콘크리트 표면에 이끼류가 식생 되어서 이루어지는 것을 특징으로 하는 녹화용 콘크리트.

4. 분사(뿜어붙이기) 공법 분야 핵심특허

본 분석에서는 분사(뿜어붙이기) 공법 분야의 핵심특허를 세부 심층 분류별로 도출하고 각각의 심층 분류별 핵심특허의 기술 흐름도를 분석하고 주요 기술을 소개하고자 함

아래의 <표 5-7>는 분사(뿜어붙이기) 공법 분야 핵심특허를 세부 심층 분류별로 도출한 결과를 나타낸 것임

<표 5-7> 분사 공법 분야의 핵심특허 도출 결과

기술분류	심층분류	대상 국가				합 계[9]
		한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	
분사 공법 (BAD)	분사	44 건	1 건	179 건	0 건	224 건
	매트+분사 융합	5 건	0 건	14 건	0 건	19 건
	블록(옹벽)+분사 융합	3 건	0 건	4 건	0 건	7 건
	망태+분사 융합	18 건	0 건	33 건	0 건	51 건
	분사 장치	12 건	9 건	29 건	0 건	50 건
합 계		82 건	10 건	259 건	0 건	351 건

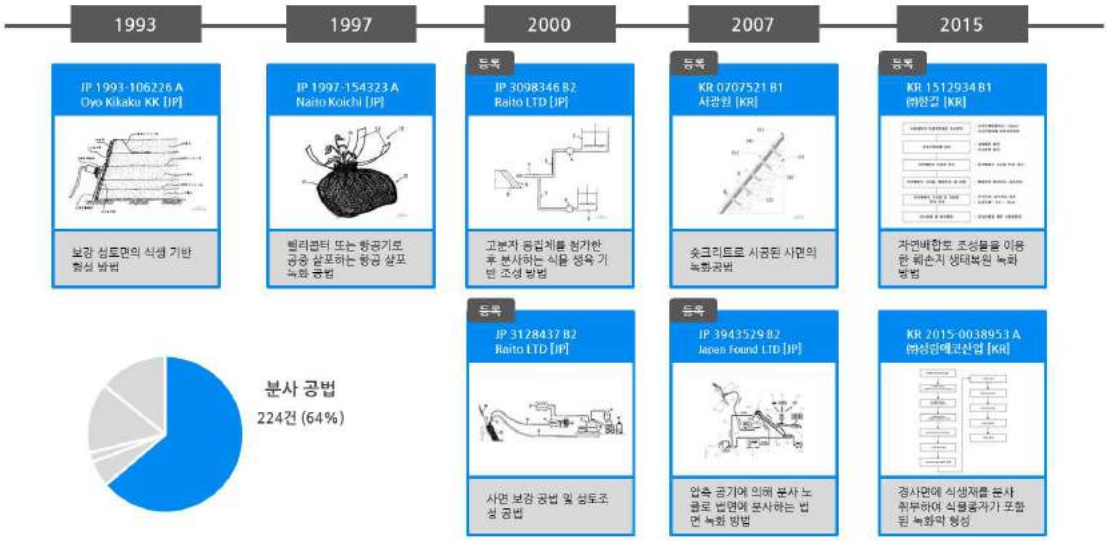
전체 분사 공법 기술 중 다른 기술과 융합하지 않은 분사 기술만이 주된 공법인 기술이 전체 분사 공법 관련 핵심특허 351건 중 224건으로 64%를 차지하여 가장 큰 비중을 나타내고 있으며, 그 뒤를 이어서 망태 공법과 분사 공법의 융합 기술이 51건, 분사 장치와 관련된 기술이 50건으로 그 뒤를 이었음

매트 공법과 분사 공법의 융합 기술, 블록(옹벽) 공법과 분사 공법의 융합기술은 상대적으로 적은 분포를 보이고 있음

9) 다수의 기술이 포함되어 있는 경우, 각각의 기술에 대하여 중복 분류 하였음

(1) 분사 공법 분야 핵심특허

<그림 5-7>은 분사 공법 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-7> 분사 공법 분야 기술 흐름도 분석

분사 공법 분야는 전체 분사 공법 기술 중 다른 기술과 융합하지 않은 분사 기술만이 주된 공법인 기술로, 전체 분사 공법 관련 핵심특허 351건 중 224건으로 64%를 차지하여 **가장 큰 비중**을 나타내고 있음

핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면 1990년대 초반부터 최근까지 비교적 꾸준하게 관련 핵심특허가 분포하고 있으며, **분사 공법만의 특허보다는 다양한 조성물 관련 기술과 함께 출원되고 있음**을 확인할 수 있음

다음은 분사 공법 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

■ 핵심특허 1 (분사 공법 분야)

숏크리트로 시공된 사면의 녹화공법에 관한 기술로, 이미 시공된 숏크리트를 제거하지 않고 숏크리트로 피복된 사면에 일정한 간격으로 구멍을 형성한 후, 수분공급 매개체로서 수분 보유력이 우수한 코이어로프(coir rope)를 하나 또는 다수개씩 구멍 속으로 삽입하여 설치한 후, 숏크리트로 피복된 사면 상에 **식생기반재를 취부시키는 단계**로 이루어진 사면의 녹화공법임

발명의 명칭	숏크리트로 시공된 사면의 녹화공법		
등록번호	KR 0707521 B1	**등 록 일**	2007-04-06
출 원 인	서광원 [KR]		

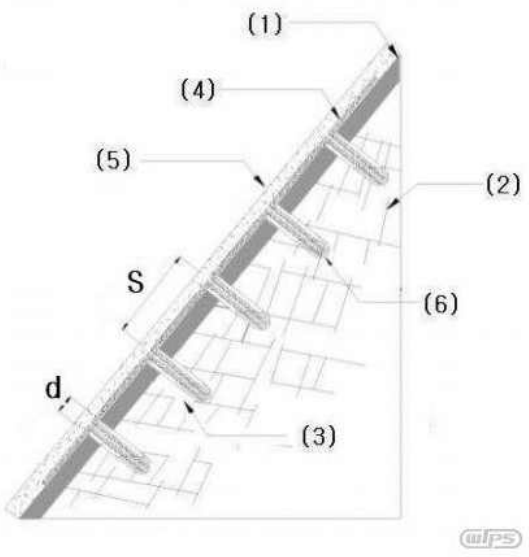
패밀리 특허

국가	문헌번호	종류	일자	청구항	발명의 명칭
KR	0707521	B1	2007.04.06	6	숏크리트로 시공된 사면의 녹화공법(THE METHOD OF VEGETATION ON THE SHOTCRETE FACED SLOPE)

기술요지

- 숏크리트(shotcrete) 공법으로 시공된 경사면에 있어서 이미 시공된 숏크리트를 제거하지 않고 숏크리트로 피복된 사면에 일정한 간격으로 구멍을 형성한 후, 수분공급 매개체로서 수분 보유력이 우수한 코이어로프(coir rope)를 하나 또는 다수개씩 구멍 속으로 삽입하여 설치한 후, 숏크리트로 피복된 사면 상에 **식생기반재를 취부시키는 단계**로 이루어진 사면의 녹화공법임
- 숏크리트로 시공된 사면에 대해 숏크리트의 제거 없이도 **저렴하고 사면안정성이 우수**하며 성공적인 녹화공을 달성하도록 하는 현저한 효과가 있음

대표도면

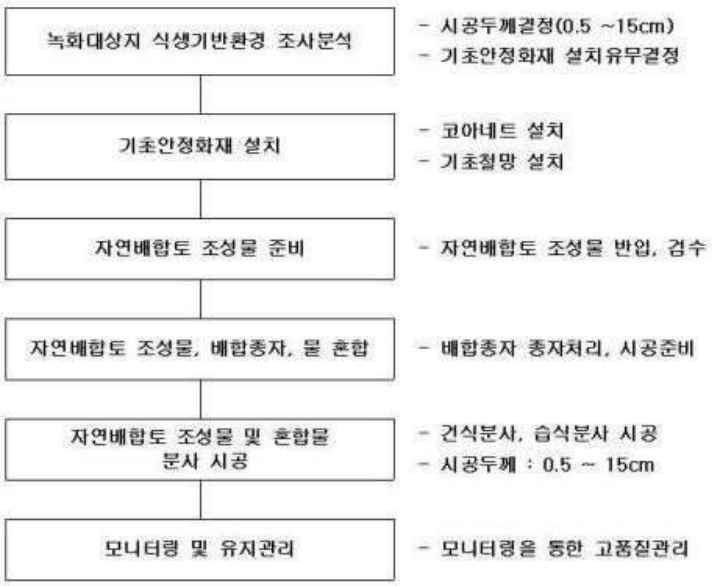


대표청구항	숏크리트로 시공된 경사면을 상기 숏크리트의 제거 없이 녹화하는 사면의 녹화공법에 있어서, 숏크리트로 피복된 사면에 일정한 간격으로 구멍(hole)들을 형성하고, 상기 형성된 구멍(hole)들 속으로 하나 또는 다수개의 코이어로프(coir rope)를 삽입하여 설치한 후, 숏크리트로 피복된 사면 상에 식생기반재를 취부시키는 단계로 이루어지는 것을 특징으로 하는 숏크리트로 피복된 사면의 녹화공법

■ 핵심특허 2 (분사 공법 분야)

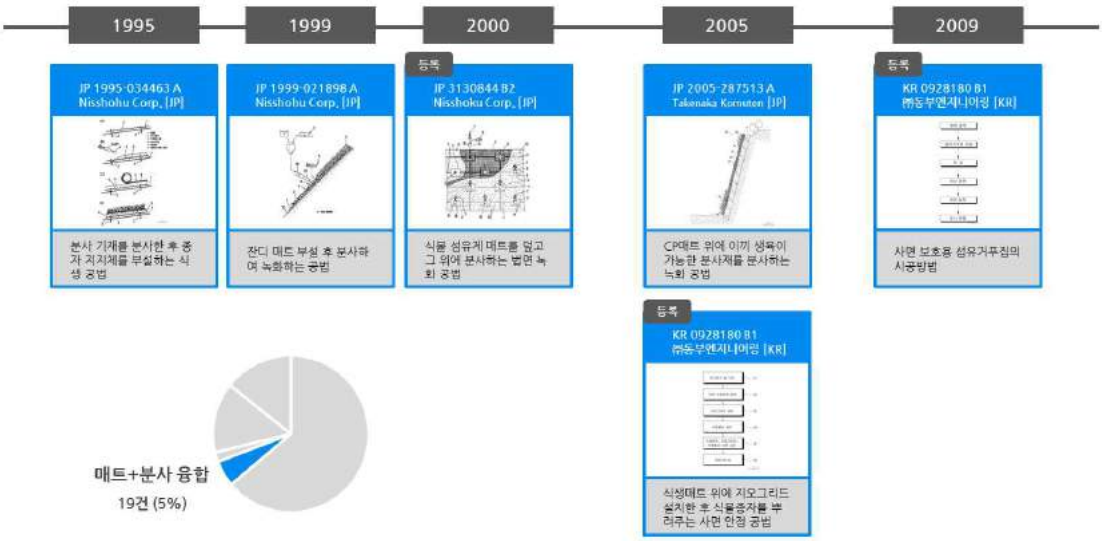
훼손지역의 절토 비탈면 및 성토비탈면, 암지역, 인공지반, 특수 비탈면 등과 같은 식생기반이 열악한 지역에 훼손지 생태 복원 녹화용 자연배합토 조성물을 **습식분사 및 건식분사로 모두 시공 가능**한 녹화방법에 관한 것임

발명의 명칭	자연배합토 조성물을 이용한 훼손지 생태복원 녹화방법		
등록번호	KR 1512934 B1	**등 록 일**	2015-04-10
출 원 인	주식회사 한길 [KR]		
패밀리 특허	국가 / 문헌번호 / 종류 / 일자 / 청구항 / 발명의 명칭 KR / 1512934 / B1 / 2015.04.10 / 6 / 자연배합토 조성물을 이용한 훼손지 생태복원 녹화방법(GREENING METHOD FOR RESTORATION OF ECOLOGICAL SYSTEM OF DAMAGED LAND USING NATURAL MIXED SOIL COMPOSITION)		
기술요지	■ 훼손지역의 절토 비탈면 및 성토비탈면, 암지역, 인공지반, 특수 비탈면 등과 같은 식생기반이 열악한 지역에 훼손지 생태 복원 녹화용 자연배합토 조성물을 **습식분사 및 건식분사로 모두 시공 가능**한 녹화방법에 관한 것임 ■ **분사 공법 과정** : 1) 유기토, 양생토, 토양 지표면 침식 안정제, 및 필요에 따라 토양입단 활착제를 포함하는 자연배합토 조성물을 준비하는 단계; 2) 상기 자연배합토 조성물에 배합종자, 및 필요에 따라 물을 혼합하는 단계; 3) 상기 자연배합토 조성물, 배합종자, 및 필요에 따라 물의 혼합물을 대상지에 살포하는 단계 ■ **건식분사 및 습식분사 비탈면 부착 시공이 모두 가능**하고 분사방법을 조절하여 녹화 대상지역의 식생기반환경조건에 최적의 자유로운 시공두께 조절(0.5cm~15cm)이 가능하여 **시공성 및 경제성이 우수**함		

대표도면	
대표청구항	(1) 식양토 10~70 중량%, 마사토 10~30중량%, 토룡토 5~25중량%, 및 발효토 15~35 중량%로 이루어진 유기토; 왕겨숯 또는 참숯 0~20중량%, 코코피트 10~40중량%, 토탄 5~30중량%,볏짚 0~20중량%, 파쇄목 10~30%, 천연한방유기퇴비 3~30중량%, 및 복합비료 1~5중량%로 이루어진 양생토; 및 고로시멘트 20~85중량%, 벤토나이트 10~70중량%, 무수석고(CaSO4) 2~5중량%, 및 규조토 3~15중량%로 이루어진 토양 지표면 침식 안정제; 를 포함하는 자연배합토 조성물을 준비하는 단계; (2) 상기 자연배합토 조성물에 배합종자를 혼합하는 단계; 및, (3) 상기 자연배합토 조성물과 배합종자의 혼합물을 대상지에 살포하는 단계; 를 포함하는 자연배합토 조성물을 이용한 훼손지 생태복원 녹화방법.

(2) 매트+분사 융합 분야 핵심특허

<그림 5-8>은 매트 공법과 분사 공법의 융합 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-8> 매트+분사 융합 분야 기술 흐름도 분석

매트 공법과 분사 공법의 융합 분야는 분사 공법 전체 핵심특허 351건 중 19건으로 5%를 차지하여 비교적 적은 분포를 보이고 있음

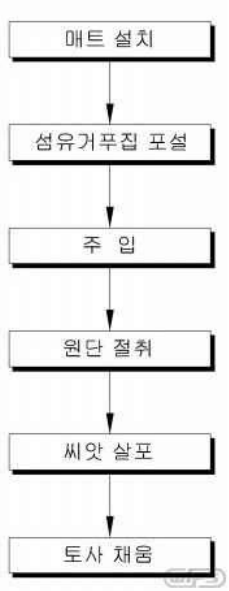
핵심특허의 연도별 분포를 보면 1990년도 중반부터 2000년도 중반까지 많이 분포되어 있는 것이 특징이며, 최근에는 비교적 특허가 적은 편임

다음은 매트 공법과 분사 공법의 융합 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

■ 핵심특허 (매트+분사 융합 분야)

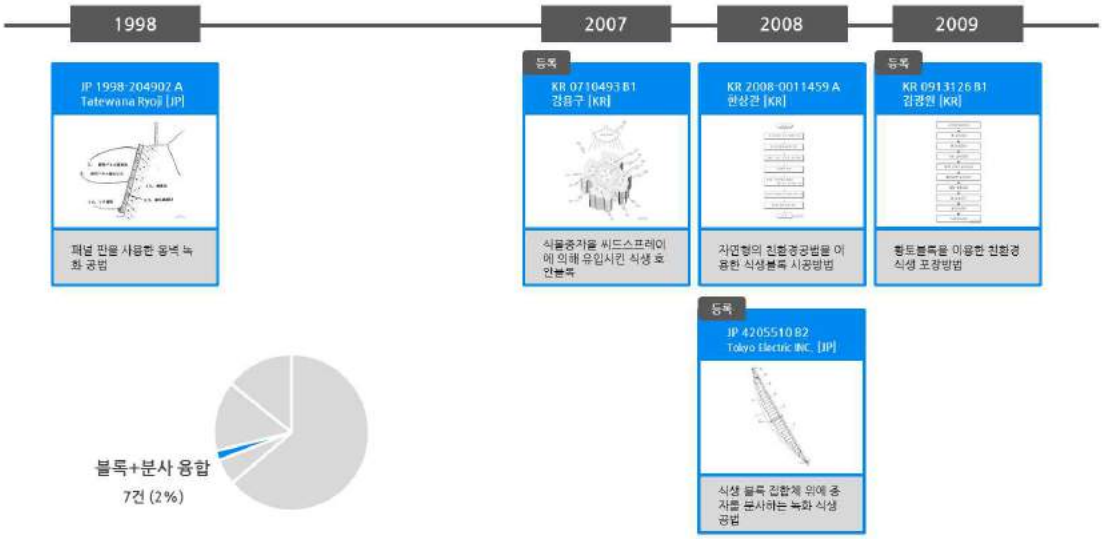
식생매트의 입체망 형상의 구조로 인하여 토사 결속력이 증대됨에 따라 토사 분리현상이 저감됨으로써 세굴의 우려성이 적을 뿐만 아니라 이로 인하여 섬유거푸집의 식생부 면적을 크게 하고 주입통로의 면적을 적게 하여 그 양을 줄이고 전체면적에 대한 녹피율을 높여 보다 친환경적인 시공이 가능한 사면 보호용 섬유거푸집의 시공방법임

발명의 명칭	사면 보호용 섬유거푸집의 시공방법		
등록번호	KR 0928180 B1	**등 록 일**	2009-11-17
출 원 인	동부엔지니어링 주식회사 [KR]		
패밀리 특허	국가 / 문헌번호 / 종류 / 일자 / 청구항 / 발명의 명칭 KR / 0928180 / B1 / 2009.11.17 / 1 / 사면 보호용 섬유거푸집의 시공방법(The execution method for protection slop)		
기술요지	■ 토사 결속력을 증대시켜 호우나 흐르는 물의 빠른 유속에 의해서 각각의 식생부위에서 발생하는 토사 세굴 및 침식을 억제시킬 수 있도록 하고, 섬유시트의 내부에 콘크리트 모르타르를 주입하지 않고 흙을 주입하더라도 콘크리트 모르타르를 주입하는 것과 같은 강도를 유지할 수 있도록 한 사면 보호형 섬유거푸집 시공방법 ■ 분사 공법 과정 : 1) **입체망성형물인 식생매트를 설치하는 매트 설치 단계**; 2) 상기 식생매트 표면에 섬유시트가 포설되도록 하는 섬유거푸집 포설단계; 3) 씨앗을 포함하는 흙을 주입하는 주입단계; 4) 원단 절취단계; 5) 식생부에 종자 씨앗을 살포하는 씨앗 살포단계; 6) 살포된 식생부에 토사를 채우는 토사 채움단계 ■ **식생매트의 입체망 형상의 구조**로 인하여 토사 결속력이 증대됨에 따라 토사 분리현상이 저감됨으로써 세굴의 우려성이 적을 뿐만 아니라 이로 인하여 섬유거푸집의 식생부 면적을 크게 하고 주입통로의 면적을 적게 하여 그 양을 줄이고 전체면적에 대한 녹피율을 높여 보다 친환경적인 시공이 가능함		

대표도면	
대표청구항	사면(100)에 여러 가닥의 연속적인 모노필라멘트 섬유를 입체적으로 굴곡되게 하면서 교차 위치에서 상호간에 융착시켜 굴곡부를 형성한 입체망성형물인 식생매트(10)를 설치하는 매트 설치단계와; 상기 식생매트(10) 표면에는 격자 형태의 주입통로(4) 및, 주입통로(4)가 교차되면서 중앙부의 상기 섬유시트(2)의 상.하부 원단(21)(21A)을 서로 접합시킨 접합부를 형성한 통로교차부(5)와 주입구(6)가 형성되도록 하면서 직조물로 이루어지는 섬유시트(2)가 포설되도록 하는 섬유거푸집 포설단계와; 상기 섬유시트(2)의 상기 주입통로(4)와 상기 통로교차부(5)의 내부에 상기 주입구(6)를 통해서 씨앗(8A)을 포함하는 흙(8)을 주입하는 주입단계와; 상기 흙(8)의 주입에 의해 팽팽하게 부풀어 오른 섬유시트(2)의 상기 주입통로(4) 사이의 시트 원단을 절개하므로써 상.하로 관통시켜 중간에 지지띠(30)가 구비되도록 한 식생부(3)를 형성하는 원단 절취단계와; 상기 원단 절취단계에 의해서 상기 섬유시트(2)에 형성된 상기 식생부(3)에 종자 씨앗을 살포하는 씨앗 살포단계와; 상기 씨앗이 살포된 상기 식생부(3)에 토사를 채우는 토사 채움단계; 로 이루어진 것을 특징으로 한 사면 보호용 섬유거푸집 시공방법.

(3) 블록(옹벽)+분사 융합 분야 핵심특허

<그림 5-9>은 블록(옹벽) 공법과 분사 공법의 융합 공법 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-9> 블록(옹벽)+분사 융합 분야 기술 흐름도 분석

블록(옹벽) 공법과 분사 공법의 융합 분야는 분사 공법 전체 핵심특허 351건 중 7건으로 2%를 차지하여 **가장 적은 분포**를 보이고 있음

핵심특허의 연도별 분포를 보면 2000년대 후반에 많이 분포되어 있으며 최근에는 비교적 특허가 적은 편임

다음은 블록(옹벽) 공법과 분사 공법의 융합 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

■ 핵심특허 (블록+분사 융합 분야)

호안, 하천의 제방, 도로의 경사면 등에 **친환경 식생블록**을 설치한 다음 친환경 식생블록의 상부에 식물의 씨앗을 살포한 후 흙 또는 모래를 친환경 식생블록의 상단부를 덮어 주는 과정으로 이루어진 친환경공법을 이용한 식생블록 시공방법임

발명의 명칭	자연형의 친환경공법을 이용한 식생블록의 제조방법 및 그시공방법		
등록번호	KR 2008-0011459 A	**등 록 일**	2008-02-04
출 원 인	한상관 [KR]		

패밀리 특허

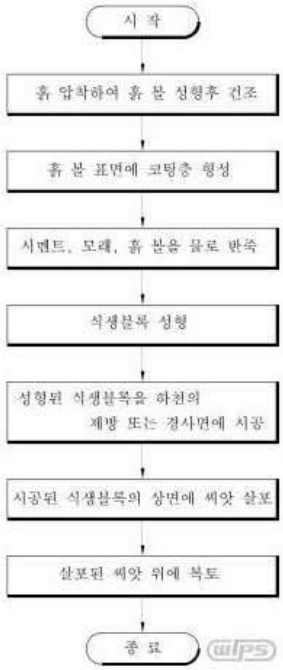
국가	문헌번호	종류	일자	청구항	발명의 명칭
US	8752236	B2	2014.06.17	12	Steam vacuum cleaner
RU	2008135909	A	2010.03.10	0	
KR	0902761	B1	2009.06.06	12	친환경 콘크리트 몰탈 제조방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 도로포장방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 옹벽시공방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 방음벽의 제조방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 호안의 구성방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 친환경 블록의 제조방법,(Method to manufacture nature-friendly block and method to execute that)
US	2009-0064447	A1	2009.03.12	11	Steam vacuum cleaner
US	2009-0064448	A1	2009.03.12	12	STEAM VACUUM CLEANER
KR	2009-0026031	A	2009.03.11	23	스팀청소 겸용 진공청소기(Vacuum cleaner combined steam cleaning function)
EP	2039559	A2	2009.03.11	14	Steam vacuum cleaner
EP	2039559	A3	2009.03.11	0	Steam vacuum cleaner
KR	2009-0077591	A	2009.08.25	20	친환경 콘크리트 몰탈 제조방법, 그 콘크리트 몰탈을이용한 도로포장방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한옹벽시공방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 방음벽의제조방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 호안의 구성방법, 그콘크리트 몰탈을 이용한 친환경 블록의 제조방법, 그블록을 이용한 시공방법, 그 블록을 이용하여 오염된수질을 정화시키는 방법, 친환경 몰드형의 제조방법 및 그친환경 블록 구조체(Method to manufacture nature-friendly block and method to execute that and that block assembly)
KR	2008-0072793	A	2008.08.07	11	셀터제품 복원해주는 친환경 콘크리트 몰탈 제조방법, 그콘크리트 몰탈을 이용한 도로포장방법, 그 콘크리트 몰탈을이용한 옹벽시공방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 친환경블록의 제조방법, 그 블록을 이용한 시공방법, 그 블록을이용하여 오염된 수질을 정화시키는 방법 및 그 친환경블록 구조체(Method to manufacture nature-friendly block and method to execute that and that block assembly)
KR	2008-0067990	A	2008.07.22	7	셀터제품 복원해주는 친환경 콘크리트 몰탈 제조방법, 그콘크리트 몰탈을 이용한 도로포장방법, 그 콘크리트 몰탈을이용한 옹벽시공방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 친환경블록의 제조방법, 그 블록을 이용한 시공방법, 그 블록을이용하여 오염된 수질을 정화시키는 방법 및 그 친환경블록 구조체(Method to manufacture nature-friendly block and method to execute that and that block assembly)
KR	2008-0063735	A	2008.07.07	17	친환경 콘크리트 몰탈 제조방법, 그 콘크리트 몰탈을이용한 도로포장방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한옹벽시공방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 방음벽의제조방법, 그 콘크리트 몰탈을 이용한 호안의 구성방법, 그콘크리트 몰탈을 이용한 친환경 블록의 제조방법, 그블록을 이용한 시공방법, 그 블록을 이용하여 오염된수질을 정화시키는 방법 및 그 친환경 블록 구조체(Method to manufacture nature-friendly block and method to execute that and that block assembly)
KR	2008-0011459	A	2008.02.04	3	자연형의 친환경공법을 이용한 식생블록의 제조방법 및 그시공방법(Method to manufacture plant block and method to execute that)

* 패밀리 미보유 문헌 1 건 (출원 결정상 공개되지 않았거나, 패밀리의 보유 데이터 범위에 포함되지 않는 문헌)
KR 2007-0091294 (2007.09.07)

기술요지

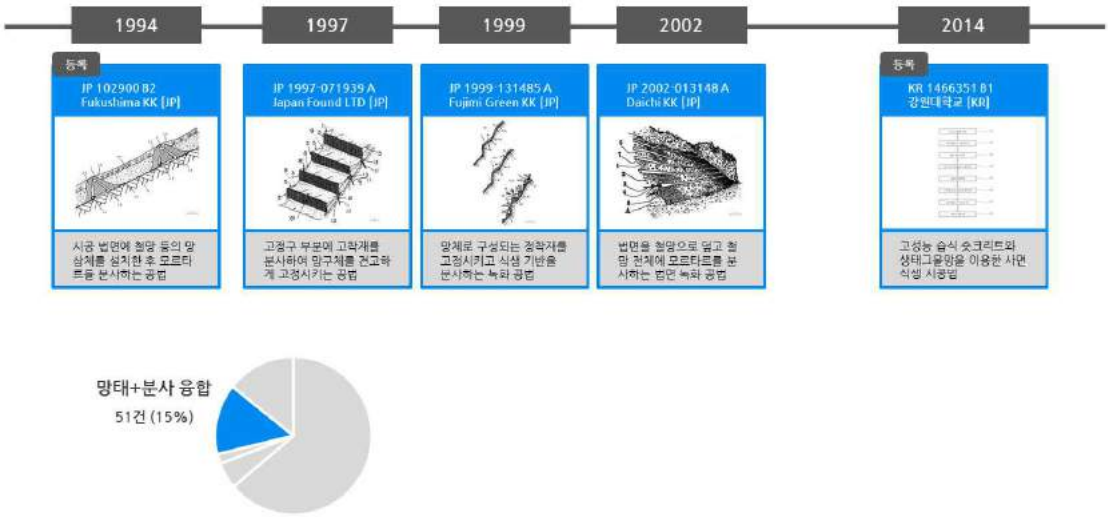
■ 호안, 하천의 제방, 도로의 경사면 등에 **친환경 식생블록**을 설치한 다음 친환경 식생블록의 상부에 식물의 씨앗을 살포한 후 흙 또는 모래를 친환경 식생블록의 상단부를 덮어 주는 과정으로 이루어진 친환경공법을 이용한 **식생블록 시공방법**

■ 하천의 제방, 경사면, 호안 등에 시공된 **친환경 식생블록**에 포함된 흙 볼이 습기 및 수분에 의해 부드러워지게 되므로 식물의 씨앗이 발아하여 자라나게 될 때 그 뿌리가 복토된 토양은 물론 각 블록에 함유된 흙 성분을 통과한 후 제방 또는 절개지 또는 호안의 사면에까지 뿌리를 뻗어 내리게 되어 서로 분리되어 있는 각 친환경 식생블록들과 제방 또는 경사지 또는 호안의 사면 사이를 견고하게 결착시켜 줌으로써 폭우나 강풍 등과 같은 외력이 발생되더라도 각 친환경 식생블록이 유실되지 않고 견고하게 유지하여 줌으로 인하여 홍수 피해를 예방하여 주는 작용 효과

대표도면	
대표청구항	하천의 제방이나 호안, 절개지의 경사면에 시공되는 친환경 공법용 식생블록의 제조방법에 있어서, 흙 80~99wt%와 물 1~20wt%를 혼합하고, 이를 압착하여 흙 볼을 성형한 후 건조하여 딱딱한 고형물로 만들어 준비하고, 시멘트 50~80wt%, 모래 20~50wt%, 물 2~20wt%를 혼합하여 몰탈을 제조하며, 이러한 몰탈에 상기 제조된 흙 볼을 전체 함량 대비 30~70wt% 투입하여 같이 혼합한 후 이를 블록성형기에 투입하여 흙 성분을 포함한 친환경 식생블록을 제조하는 것을 특징으로 하는 자연형의 친환경공법을 이용한 식생블록의 제조방법

(4) 망태+분사 융합 분야 핵심특허

<그림 5-10>은 망태 공법과 분사 공법의 융합 공법 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-10> 망태+분사 융합 분야 기술 흐름도 분석

망태 공법과 분사 공법의 융합 분야는 분사 공법 전체 핵심특허 351건 중 51건으로 15%를 차지하여 전체에서 **두 번째로 많은 비중**을 나타내고 있음

핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면 1990년대 초반부터 최근까지 비교적 꾸준하게 관련 핵심특허가 분포하고 있으며, **시공법만의 특허보다는 다양한 조성물 관련 기술과 함께 출원되고 있음**을 확인할 수 있음

다음은 망태 공법과 분사 공법의 융합 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

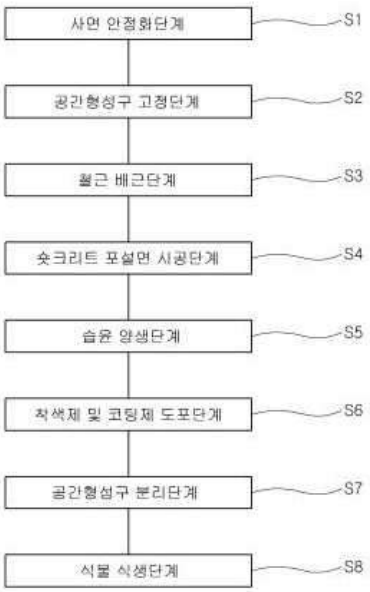
■ 핵심특허 (망태+분사 융합 분야)

사면에 식생공간이 형성되도록 고성능 습식 숏크리트 조성물을 타설한 후, 식생공간에 식물 및 경관구조물을 시공함으로써, 습식 숏크리트의 고성능은 유지하면서 녹색환경 및 친환경성을 고려함과 아울러 장시간 동안 공용성을 갖게 되어 재보수 비용을 절감할 수 있는 **고성능 습식 숏크리트와 생태그물망을 이용**한 사면 경관식생 시공 방법임

<table>
<tr><td>발명의 명칭</td><td colspan="3">고성능 습식 숏크리트와 생태그물망을 이용한 사면 경관식생 시공방법</td></tr>
<tr><td>등록번호</td><td>KR 1466351 B1</td><td>등 록 일</td><td>2014-11-21</td></tr>
<tr><td>출 원 인</td><td colspan="3">강원대학교 산학협력단 [KR]</td></tr>
<tr><td>패밀리 특허</td><td colspan="3">
<table>
<tr><th>국가</th><th>문헌번호</th><th>종류</th><th>일자</th><th>청구항</th><th>발명의 명칭</th></tr>
<tr><td>KR</td><td>1466351</td><td>B1</td><td>2014.11.21</td><td>3</td><td>고성능 습식 숏크리트와 생태그물망을 이용한 사면 경관식생 시공방법(Construction method of slope landscape vegetation using high-performance wet shotcrete and mesh)</td></tr>
<tr><td>KR</td><td>2013-0128738</td><td>A</td><td>2013.11.27</td><td>4</td><td>고성능 습식 숏크리트와 생태그물망을 이용한 사면 경관식생 시공방법(Construction method of slope landscape vegetation using high-performance wet shotcrete and mesh)</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>기술요지</td><td colspan="3">
■ 사면에 식생공간이 형성되도록 고성능 습식 숏크리트 조성물을 타설한 후, 식생공간에 식물 및 경관구조물을 시공함으로써, 습식 숏크리트의 고성능은 유지하면서 녹색환경 및 친환경성을 고려함과 아울러 장시간 동안 공용성을 갖게 되어 재보수 비용을 절감할 수 있는 고성능 습식 숏크리트와 생태그물망을 이용한 사면 경관식생 시공 방법임

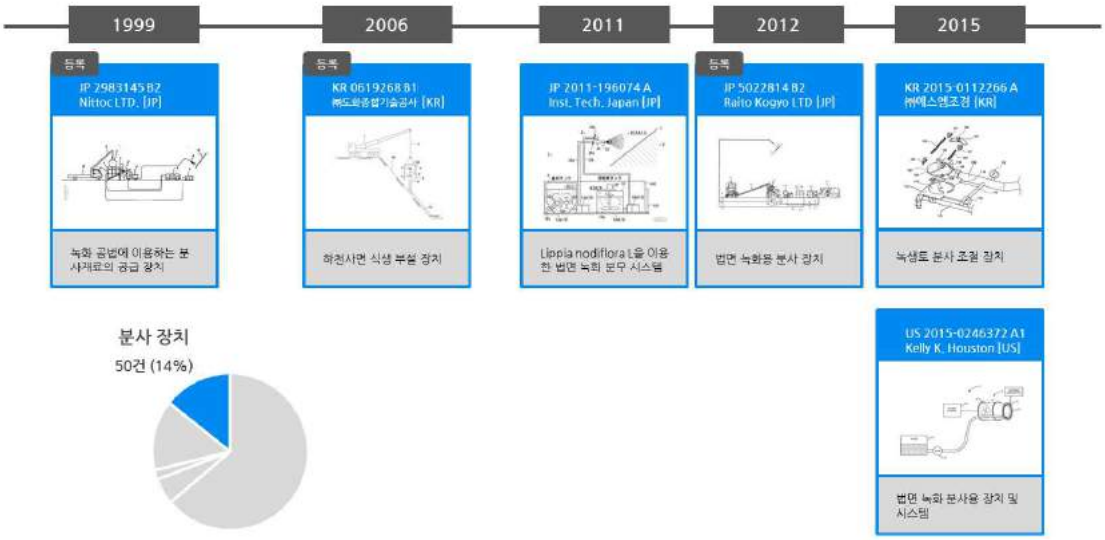
■ 분사 공법 과정 : 1) 사면 안정화 단계; 2) 생태그물망 및 식물의 식생 공간을 형성하는 공간형성구를 다수 고정하는 공간형성구 고정단계; 3) 철근배근단계; 4) 고성능 습식 숏크리트 조성물을 포설하여 조형하는 숏크리트 포설면 시공단계; 5) 습윤양생단계; 6) 착색제 및 코팅제를 도포하는 단계; 7) 공간형성구 분리단계; 8) 생태그물망에 식물의 씨앗을 심어 식생하는 식물 식생 단계

■ 습식 숏크리트의 고성능은 유지하면서 녹색환경 및 친환경성을 고려함과 아울러 장시간 동안 공용성을 갖게 되어 재보수 비용을 절감하여 경제성이 뛰어난 이점을 가질 수 있는 장점이 있음
</td></tr>
</table>

대표도면	
대표청구항	절토면이나 성토면의 사면을 안정화시키는 사면 안정화단계와; 안정된 사면에 생태그물망 및 식물의 식생공간을 형성하는 공간형성구를 다수 고정하는 공간형성구 고정단계와; 상기 공간형성구와 중첩되지 않도록 사면에 철근을 배근하여 인장시키는 철근배근단계와; 상기 철근이 배근된 사면에 배합전 숏크리트 80~85 부피%와 공기량 15~20 부피%가 배합되어 이루어지되, 상기 배합전 숏크리트는, 배합전 숏크리트 100 중량부를 기준으로 하여 굵은골재 18~28 중량부, 잔골재 40~50 중량부, 시멘트 12~22 중량부, 물 3~13 중량부, 실리카퓸 1.4~2.4 중량부, 팽창재 1.6~2.6 중량부, 고성능 유동화제 0.01~0.1 중량부, AE제 0.0001~0.01 중량부로 이루어지고, 상기 AE제는 상기 시멘트 100 중량부에 대하여 0.0027~0.005 중량부 인 고성능 습식 숏크리트 조성물을 포설하여 조형하는 숏크리트 포설면 시공단계와; 상기 숏크리트 포설면의 수축 균열을 방지하기 위하여 습윤양생하는 습윤양생단계와; 상기 숏크리트 포설면에 자연암석의 표면 질감을 나타내기 위하여 착색제 및 코팅제를 도포하는 단계와; 상기 착색제 및 코팅제가 도포된 숏크리트 포설면에서 공간형성구를 분리하는 공간형성구 분리단계와; 상기 생태그물망에 식물의 씨앗을 심어 식생하는 식물 식생 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 고성능 습식 숏크리트와 생태그물망을 이용한 사면 경관식생 시공방법.

(5) 분사 장치 분야 핵심특허

<그림 5-11>은 분사 장치 분야 핵심특허의 분포와 연도별 기술 흐름도 분석 결과를 나타낸 것임



<그림 5-11> 분사 장치 분야 기술 흐름도 분석

분사 장치 분야는 분사 공법 전체 핵심특허 351건 중 50건으로 14%를 차지하여 비교적 많은 분포를 보이고 있음

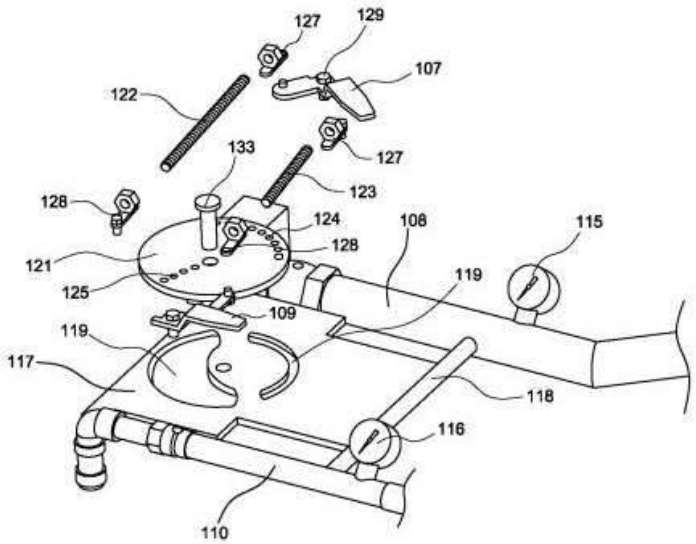
핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면 1990년대 초반부터 최근까지 비교적 꾸준하게 관련 핵심특허가 분포하고 있으며, 최근까지도 특히 미국 쪽의 특허가 많이 분포하고 있음

다음은 분사 장치 분야의 핵심 특허 중 주요 기술을 소개한 것임

■ 핵심특허 1 (분사 장치 분야)

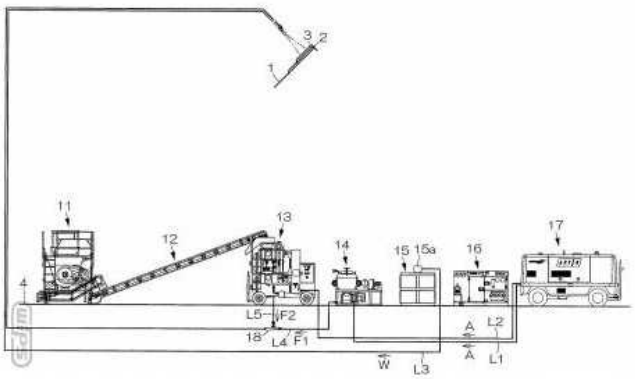
법면이나 절토지 사면 등의 녹화조경을 위해 각종 씨앗들이 포함된 녹생토를 분사시켜 포설하는 녹생토 분사장치로, 분사되는 녹생토가 일정한 양과 일정한 속도로 조절되어 분사되도록 하는 기술임

발명의 명칭	녹생토 분사 조절장치		
공개번호	KR 2015-0112266 A	**공 개 일**	2015-10-07
출 원 인	주식회사 에스엠조경 [KR]		
패밀리 특허	국가 / 문헌번호 / 종류 / 일자 / 청구항 / 발명의 명칭 KR / 2015-0112266 / A / 2015.10.07 / 5 / 녹생토 분사 조절장치(The injection apparatus for seed soil)		
기술요지	■ 법면이나 절토지 사면 등의 녹화조경을 위해 각종 씨앗들이 포함된 녹생토를 분사시켜 포설하는 녹생토 분사장치로, 분사되는 녹생토가 일정한 양과 일정한 속도로 조절되어 분사되도록 하는 기술임 ■ 사면에 포설되는 녹생토가 일정한 질기를 가지면서 일정한 압력으로 분사되도록 녹생토 이송용 압축공기 개폐밸브와 급수밸브를 일정한 비율로 개폐를 제어하여 포설되는 녹생토로부터 식물의 생육을 원활하게 하면서 비상거리를 늘리고, 녹생토 포설작업을 간단화시킴 ■ 사면에 포설되는 녹생토가 일정한 수분을 포함한 습식 상태에서 안착됨으로써 식물의 발아와 생육을 원활하게 이루어지는 효과가 발생 ■ 녹생토 공급호스에서 건식 상태로 이송하여 압축공기에 의한 녹생토 이송속도가 빠르고, 분사노즐에서 물을 혼합시켜 습식 상태로 형성함으로써, 토출되는 녹생토의 비상거리가 증가함		

대표도면	
대표청구항	녹생토 분사장치에 있어서, 씨앗이 배합된 건식 녹생토를 공급하는 호퍼와 호퍼의 하부에 녹생토를 토출구로 공급하는 가압부를 구비하고, 상기 가압부의 외부 일측에는 가압부의 상부측으로 압축공기를 공급하는 제1압축공기공급관과 녹생토 토출구에 고압의 압축공기를 공급하는 제2압축공기공급관을 설치하며, 녹생토 토출구에는 압축공기에 의해 녹생토를 이송시키는 녹생토 공급호스를 연결하며, 녹생토 공급호스의 단부에는 물공급호스가 연결되는 녹생토 분사노즐을 결합하여, 호퍼로부터 건식 녹생토를 녹생토 공급호스를 통해 이송하고 건식 녹생토가 분사노즐을 통해 토출되면서 물과 혼합되어 습식 녹생토가 분사되도록 하는 것을 특징으로 하는 녹생토 분사조절장치.

■ 핵심특허 2 (분사 장치 분야)

공기 압송로가 구비되는 법면 녹화용 분사장치로, 공기 압송로의 생육 기반재가 공급되는 위치의 구경, 종자가 공급되는 위치의 구경, 공기 압송로에 형성된 종자의 공급구의 구경으로 되어 있는 것을 특징으로 하는 법면 녹화용 분사 장치임

발명의 명칭	법면 녹화 공법 및 법면 녹화용 분사 장치		
등록번호	JP 5022814 B2	**등 록 일**	2012-06-22
출 원 인	RAITO KOGYO CO LTD [JP]		
패밀리 특허	국가 / 문헌번호 / 종류 / 일자 / 청구항 / 발명의 명칭 KR / 0707521 / B1 / 2007.04.06 / 6 / 숏크리트로 시공된 사면의 녹화공법(THE METHOD OF VEGETATION ON THE SHOTCRETE FACED SLOPE)		
기술요지	■ 생육기반재를 법면에 분사하는 법면 녹화 공법 및 법면 녹화 공법에 있어서 이용되는 분사 장치에 관한 것임 ■ 법면에 생육 기반재를 분사해 하측층을 조성하여 이 하측층에 종자를 포함한 생육 기반재를 분사해 위쪽층을 조성하는 형태의 법면 녹화 공법 및 이 공법에 있어서 사용하는 분사 장치로 적용 가능함 ■ 공기 압송로가 구비되는 법면 녹화용 분사장치로, 공기 압송로의 생육 기반재가 공급되는 위치의 구경, 종자가 공급되는 위치의 구경, 공기 압송로에 형성된 종자의 공급구의 구경으로 되어 있는 것을 특징으로 하는 법면 녹화용 분사 장치임		
대표도면			

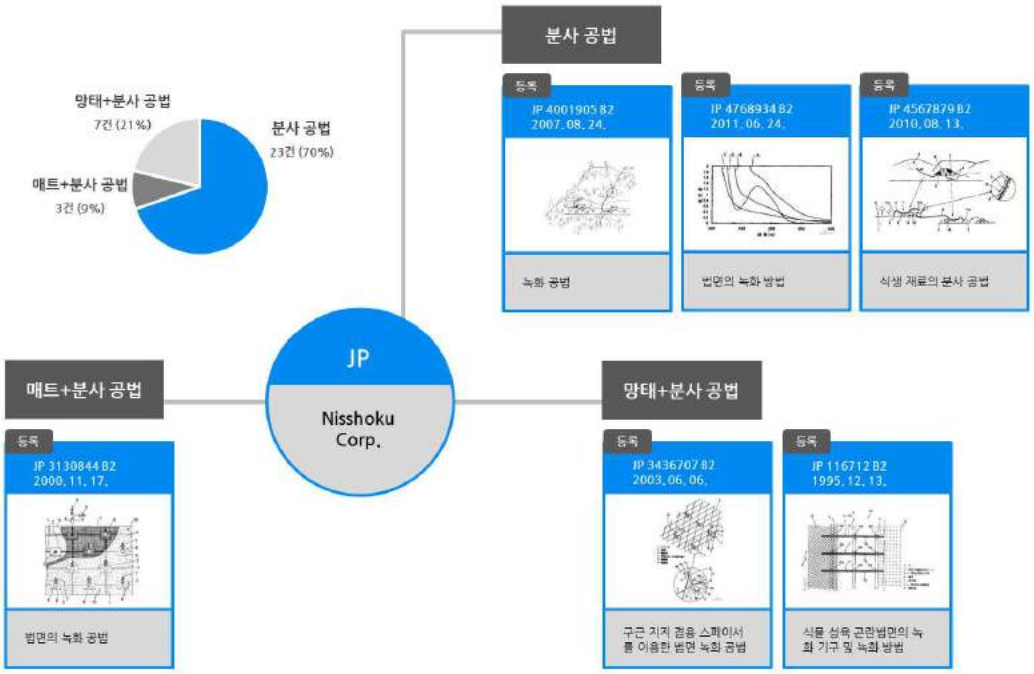
대표청구항	공기 압송로가 구비되는 법면 녹화용 분사 장치를 이용해 생육 기반재를 상기 공기 압송로에 공급하고 이 공기 압송로를 통해 압송되는 생육 기반재를 법면에 분사해 하측층을 조성해, 상기 생육 기반재와는 별도로 종자도 상기 공기 압송로에 공급하고 이 공기 압송로를 통해 압송되는 상기 생육 기반재 및 상기 종자를 상기 하측층에 분사해 위쪽층을 조성하는, 법면 녹화 공법으로서, 상기 분사 장치로서 상기 공기 압송로의 상기 생육 기반재가 공급되는 위치의 구경 > 상기 공기 압송로의 상기 종자가 공급되는 위치의 구경이고 상기 공기 압송로의 상기 생육 기반재가 공급되는 위치의 구경 > 상기 공기 압송로에 형성된 상기 종자의 공급구의 구경, 으로 되어 있는 장치를 이용해 상기 종자의 공급은 상기 생육 기반재의 공급보다 상류에서 수행하는, 것을 특징으로 하는 법면 녹화 공법.

5. 핵심 출원인별 포트폴리오 분석

본 분석에서는 주요 출원인의 출원 및 등록 특허에 대하여 분야별 중점 기술을 파악하고 관련 분야의 대표적인 기술에 대한 시간별 기술 흐름도를 분석하여 주요 출원인별 전체적인 포트폴리오를 파악하고 이를 활용하여 향후 개발기술의 특허전력 수립에 필요한 정보를 제공하고자 함

(1) 핵심 출원인 1 : Nisshoku Corp.

<그림 5-12>은 핵심특허 중 많은 출원 비중을 차지한 핵심 출원인 중 Nisshoku Corp.에 대한 포트폴리오 분석을 나타낸 것임



<그림 5-12> 핵심 출원인 포트폴리오 분석 (Nisshoku Corp.)

Nisshoku Corp.은 식품과 농업 관련 기업으로 전체 유효 특허 출원에서도 가장 많은 출원을 하였으며, 핵심특허 출원인 중에서도 **가장 많은 출원**을 한 비중이 가장 높은 출원인임

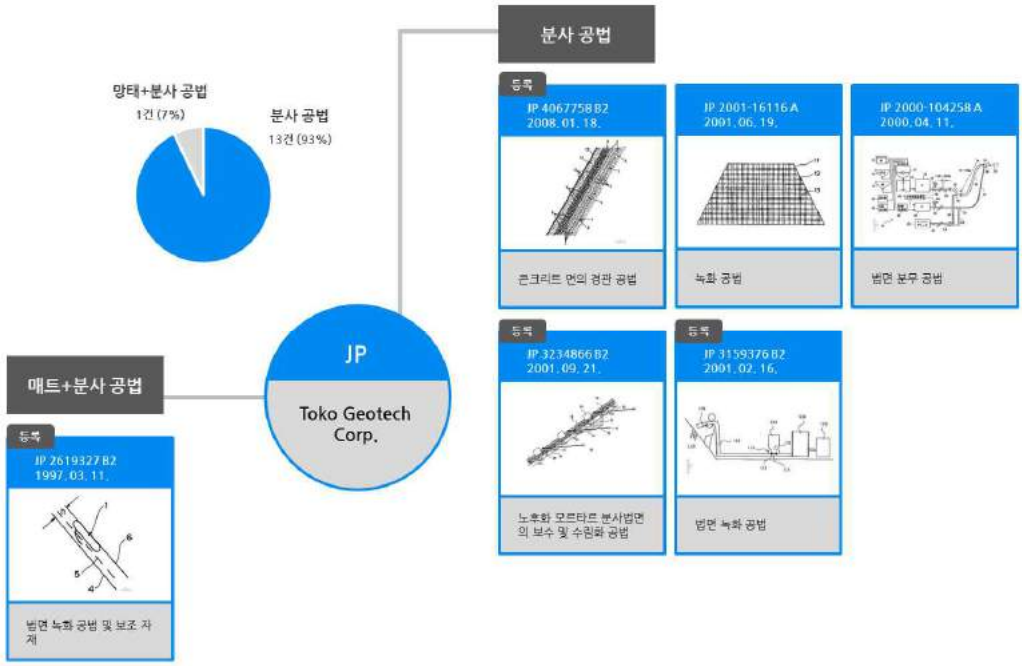
핵심특허에서 출원 비중은 분사 공법 분야가 23건으로 70%를 차지하여 가장 많았으며,

그 뒤로 망태 공법과 분사 공법의 융합 공법이 7건으로 21%를 차지하였고, 매트 공법과 분사 공법의 융합 공법이 3건으로 9%를 차지하였음

조성물 분야에는 핵심 특허 출원이 없었고 시공법 분야에서도 조성물 관련 기술과 함께 출원한 것이 아닌, 시공법만의 기술 관련 특허 출원이었음

(2) 핵심 출원인 2 : Toko Geotech Corp.

<그림 5-13>은 핵심특허 중 많은 출원 비중을 차지한 핵심 출원인 중 Toko Geotech Corp.에 대한 포트폴리오 분석을 나타낸 것임



<그림 5-13> 핵심 출원인 포트폴리오 분석 (Toko Geotech Corp.)

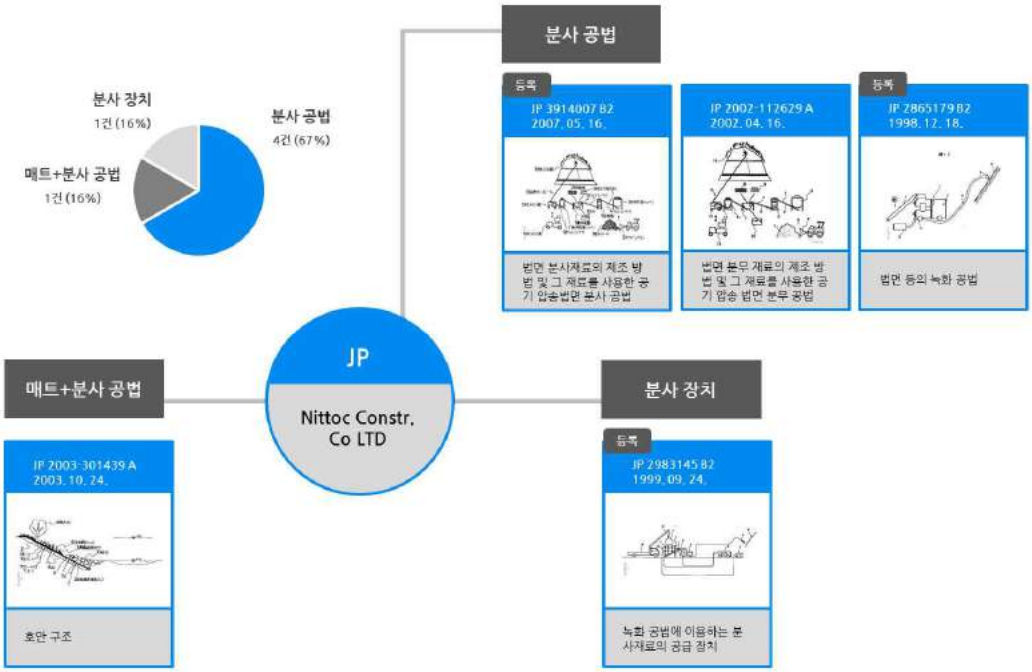
Toko Geotech Corp.은 법면 보호 공사 및 지반 개량 공사 분야를 중점적으로 사업하고 있는 건설회사로 전체 유효 특허 출원에서도 두 번째로 많은 출원을 하였으며, 핵심 특허 출원인 중에서도 많은 출원을 한 비중이 높은 출원인임

핵심특허에서 출원 비중은 분사 공법 분야가 13건으로 대부분인 93%를 차지하여 가장 많았으며, 그 뒤로 망태 공법과 분사 공법의 융합 공법이 1건으로 7%를 차지하였음

조성물 분야에는 핵심 특허 출원이 없었고 시공법 분야에서도 조성물 관련 기술과 함께 출원한 것이 아닌, 시공법만의 기술 관련 특허 출원이었음

(3) 핵심 출원인 3 : Nittoc Constr. Co LTD

<그림 5-14>은 핵심특허 중 많은 출원 비중을 차지한 핵심 출원인 중 Nittoc Constr. Co LTD에 대한 포트폴리오 분석을 나타낸 것임



<그림 5-14> 핵심 출원인 포트폴리오 분석 (Nittoc Constr. Co LTD)

Nittoc Constr. Co LTD는 법면 보호 공사 및 지반 개량 공사 분야를 중점적으로 사업하고 있는 건설회사로 전체 유효 특허 출원에서도 세 번째로 많은 출원을 하였으며, 핵심특허 출원인 중에서도 많은 출원을 한 비중이 높은 출원인임

핵심특허에서 출원 비중은 분사 공법 분야가 4건으로 67%를 차지하여 가장 많았으며, 그 뒤로 매트 공법과 분사 공법의 융합 공법이 1건으로 16%를 차지하였고, 분사 장치 분야가 1건으로 16%를 차지하였음

조성물 분야에는 핵심 특허 출원이 없었고 시공법 분야에서도 조성물 관련 기술과 함께 출원한 것이 아닌, 시공법만의 기술 관련 특허 출원이었음

제6장 결론 및 시사점

1. 특허 동향 분석 (정량 분석)

한국, 일본, 유럽 및 미국 공개/등록특허를 특허분석 대상으로 하여, 각 기술트리에 부합하는 유효특허를 추출하였고, **1974년(출원일 기준)부터 2016년 1월(검색일 기준)까지** 출원공개 및 등록되어 공보가 발행된 **유효특허 총 4,581건**을 분석대상으로 하였음

전체 특허동향을 살펴보면, 1990년 이전까지는 출원건수가 미미하다가 **1990년대 초반부터 2000년대 중반까지는 출원건수가 선형적으로 크게 증가**하였으며, **2000년대 중반부터 최근까지는 하향세**를 보이고 있는데, 이러한 출원동향 추이는 1990년부터 1998년까지 주요 시장국 중 일본의 출원건수 증가로 크게 증가하고, 이후 2000년부터 2005년까지 일본의 출원건수는 줄어들지만 한국의 출원건수가 크게 증가함에 따라 전체적으로 출원건수가 증가하지만, 2005년 이후에는 한국과 일본의 출원건수가 모두 줄어들면서 전체적인 출원건수가 하향선을 그리는 것으로 분석됨

내외국인의 출원 비율을 보면, 전체적인 동향은 **내국인 출원이 대부분**이고 **해외시장 진출은 많지 않은 것**으로 판단됨

기술발전도 분석을 살펴보면, 전체적으로 **5구간인 2007년까지는 출원인 수와 출원건수가 함께 증가하는 추세**에 있어서 녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 기술시장이 **성장기**에 있는 것으로 파악되었으나, **6구간인 2008년 이후부터는 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어드는 모습**을 확인할 수 있는데, 이는 환경 산업시장의 특수한 성격이 반영된 결과로 해석되며, 많은 비중을 차지하고 있던 **한국과 일본이 모두 환경 규제 강화 단계에 접어들면서** 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어들었고 이러한 환경이 반영된 결과로 해석됨

기술 분류별 분포를 보면, **[대분류 A] 「녹생토 조성물」 기술이 13.6%, [대분류 B] 「시공 및 관리」 기술이 86.4%**를 차지하여 시공 및 관리 기술의 점유율이 **약 6배 이상 높았으며, 조성물 관련 기술만 단독으로 출원하는 경우는 많지 않고**, 조성물 관련 기술의 경우 해당 조성물을 사용하는 **시공법까지 함께 특허 출원하는 경우가 많음**

주요 출원인 분석을 살펴보면, 주요 출원인은 해외 출원이 많지 않았고 **국내 출원이 대부분**인 것으로 보아 관련 기술에 대한 **해외시장 진출에 대한 의지는 높지 않은 것**으로 파악되고, 녹생토 조성물 및 시공법 분야는 토목, 건설 분야이기 때문에 개인 출원보다는 주로 **기업 출원이 대부분**이었으며, 출원 분포도 **대부분 시공법 분야인 [대분류 B]와 관련된 특허 출원이 많이 있음**을 확인할 수 있었음

2. 심층 분석 (정성 분석)

심층 분석을 위한 핵심기술은 전체 유효기술 중에서 본 보고서의 최종 목적인 ECG 기술을 응용한 친환경 식생용 숏크리트를 개발하고 친환경 항구성 암반사면 안정용 식생공법을 개발하고자 하는 취지를 바탕으로 1) 녹생토 조성물에 관한 기술 중 **시멘트 계열 녹생토 조성물**과 관련한 기술들, 2) 녹생토 시공 및 관리 기술 중 **분사(뿜어붙이기) 공법**과 관련한 기술들의 2가지 군에 대하여 선정함

시멘트 계열 녹생토 분야에서는 유효특허 246건에 대하여 핵심특허 112건, 분사 공법 분야에서는 유효특허 543건에 대하여 핵심특허 351건을 선정하였으며, 선정된 핵심특허에 대하여 기술흐름도 분석, 주요 기술 소개, 핵심 출원인별 포트폴리오 분석을 통하여 세부 분야별 핵심 기술의 분포 동향과 관련 기술의 변화 추이를 파악할 수 있도록 하고, 이를 활용하여 향후 개발기술의 특허전력 수립에 필요한 정보를 제공하고자 하였음

시멘트 계열 녹생토 분야의 핵심특허에서는 **다공성 시멘트 분야**가 43건으로 가장 많은 비중을 차지하였으며, **고로 슬래그 시멘트 분야**가 29건, **플라이애쉬 시멘트 분야**가 19건으로 그 뒤를 이었음

핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면, 다공성 시멘트 분야와 고로 슬래그 시멘트 분야는 비교적 최근까지도 조성물의 주요 성분으로 활용되고 있으며, 식물의 생장을 필요로 하는 다양한 분야의 시멘트 구조 조성물의 주요 성분이 되고 있음

분사(뿜어붙이기) 공법 분야의 핵심특허에서는 전체 분사 공법 기술 중 다른 기술과 융합하지 않은 분사 기술만이 주된 공법인 기술이 전체 분사 공법 관련 핵심특허 351건 중 224건으로 64%를 차지하여 가장 큰 비중을 나타내고 있으며, 그 뒤를 이어서 망태 공법과 분사 공법의 융합 기술이 51건, 분사 장치와 관련된 기술이 50건으로 그 뒤를 이었음

핵심특허의 연도별 분포를 살펴보면 분사 공법 분야 및 기타 융합 분야는 1990년대 초반부터 최근까지 비교적 꾸준하게 관련 핵심특허가 분포하고 있으며, **시공법만의 특허보다는 다양한 조성물 관련 기술과 함께 출원되고 있음**을 확인할 수 있음

핵심 출원인별 포트폴리오 분석은 핵심특허에서 상위 출원건수를 보인 Nisshoku Corp., Toko Geotech Corp., Nittoc Constr. Co LTD를 대상으로 분석하였음

Nisshoku Corp.은 전체 유효 특허 출원에서도 가장 많은 출원을 하였으며, 핵심특허 출원인 중에서도 가장 많은 출원을 한 비중이 가장 높은 출원인으로, 핵심특허에서 출원 비중은 분사 공법 분야가 23건으로 70%를 차지하여 가장 많았으며, 그 뒤로 망태 공법과 분사 공법의 융합 공법이 7건으로 21%를 차지하였고, 매트 공법과 분사 공법의 융합 공법이 3건으로 9%를 차지하였음

Toko Geotech Corp.은 전체 유효 특허 출원에서도 두 번째로 많은 출원을 하였으며, 핵심특허 출원인 중에서도 많은 출원을 한 비중이 높은 출원인으로, 핵심특허에서 출원 비중은 분사 공법 분야가 13건으로 대부분인 93%를 차지하여 가장 많았으며, 그 뒤로 망태 공법과 분사 공법의 융합 공법이 1건으로 7%를 차지하였음

Nittoc Constr. Co LTD는 전체 유효 특허 출원에서도 세 번째로 많은 출원을 하였으며, 핵심특허 출원인 중에서도 많은 출원을 한 비중이 높은 출원인으로, 핵심특허에서 출원 비중은 분사 공법 분야가 4건으로 67%를 차지하여 가장 많았으며, 그 뒤로 매트 공법과 분사 공법의 융합 공법이 1건으로 16%를 차지하였고, 분사 장치 분야가 1건으로 16%를 차지하였음

주요 출원인은 대부분 조성물 분야에는 핵심 특허 출원이 거의 없었고 시공법 분야에서도 조성물 관련 기술과 함께 출원한 것이 아닌, 시공법만의 기술 관련 특허 출원이었음

3. 시사점

녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 전체 특허동향은 1990년대 초반에는 일본이 초기 시장 단계와 발전 단계를 거치면서 출원건수가 크게 증가하였고, 2000년대에는 한국이 초기 시장 단계와 발전 단계를 거치면서 다시 한번 출원건수가 크게 증가하다가, **2000년대 후반에 들어서면서 최근까지는 환경 규제 강화 단계에 접어들면서 전체적인 특허 출원건수가 줄어들고 있다**고 분석됨

기술발전도를 살펴보면, 일반적으로는 성장기에 있는 기술이 성숙기를 거치면서 출원건수는 늘어나지만 출원인 수는 줄어드는 과정을 거치는데, 녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 기술은 그러한 과정을 거치지 않고 **출원건수도 급격하게 줄어드는 모습**을 보임

이는 **환경 산업시장의 특수한 성격**이 반영된 결과로 해석되며, 녹생토와 관련된 특허 출원건수에서 많은 비중을 차지하고 있던 **일본이 환경 규제 강화 단계에 접어들면서** 출원인 수와 출원건수가 함께 줄어들었고 이러한 환경이 반영된 결과로 해석됨

하지만 출원인 수와 출원건수가 줄어들고 있다고 하여 시장의 규모가 급격하게 축소되거나 관련 연구가 줄어들고 있는 것으로 분석하기 보다는, 오히려 시장이 **성숙 단계**에 접어들면서 이미 많은 특허가 선점되고 있는 상황이므로 이후에는 특허 관점에서는 더욱 **전략적인 접근이 필요**하고 관련 연구 기획 시 주도면밀하게 분석하여야 할 것임

녹생토 조성물 및 시공법과 관련된 특허에서 **조성물 관련 특허의 경우 대부분 해당 조성물을 사용하는 시공법을 함께 특허로 출원하는 경향**이 매우 높으므로, 녹생토 조성물 또는 시공법만을 따로 출원하기 보다는 **연관을 지어 함께 출원**하는 것이 전체적인 특허 동향을 살펴보았을 때 더욱 적절할 것으로 판단됨

[부록]



사면 녹화용 녹생토 특허 동향
및 시공법 기술 동향 분석

제2편 현황조사

제1장 비탈면 녹화의 목적 및 기능

제2장 비탈면 녹화 기초공

제3장 생태복원녹화

제4장 비탈면 녹화공법의 특징 및 개요

제5장 국내사면공법별 설계가격 비교 (시공단가)

제6장 도로비탈면 녹화공사의 시공 지침

KCL 한국건설생활환경시험연구원

목차

제1장 비탈면 녹화의 목적 및 기능 ····· 272

1. 비탈면 녹화의 목적 ····· 272

2. 비탈면 녹화의 기능 ····· 272

제2장 비탈면 녹화 기초공 ····· 274

1. 기초공의 유형 분류 ····· 274

2. 배수공 ····· 275

제3장 생태복원녹화 ····· 277

1. 생태복원녹화의 개념 ····· 277

2. 생태복원녹화의 외국 사례 ····· 278

제4장 비탈면 녹화공법의 특징 및 개요 ····· 280

1. 초본류 식재 ····· 280

2. 수목류 식재 ····· 284

3. 종자뿜어붙이기 개요 ····· 296

4. 식생기반재 취부공법 ····· 306

5. 기타공법 ····· 362

제5장 국내사면공법별 설계가격 비교 (시공단가) 369

제6장 도로비탈면 녹화공사의 시공 지침 ····· 372

1. 총칙 ····· 372

2. 도로비탈면 녹화공사의 설계 ····· 388

3. 도로비탈면 녹화공사의 시험 시공 ····· 409

4. 도로비탈면 녹화공사의 시공 ····· 422

5. 도로비탈면 녹화공사의 유지관리 ····· 425

제1장 비탈면 녹화의 목적 및 기능

1. 비탈면 녹화의 목적

댐, 수도시설, 도로, 단지 등 각종 건설사업 수행시 불가피하게 훼손되어 발생하는 비탈면은 사업장내 수직적 경관 요소로써 경관의 중요한 초점이 된다. 또한 식물생육기반인 토양층이 유망실되어 기존 주변 자연환경과의 연계성이 단절되며, 이렇게 훼손된 비탈면은 식물생육기반인 토양층이 유망실되었기 때문에 자연의 회복력만으로 자연 복구되는데 오랜 시일이 소요된다. 따라서 훼손된 비탈면을 조기에 안정, 녹화시켜 우수 등에 의한 침식, 유실, 풍화 및 붕락을 예방하여 물리적 안정을 도모하고 장기적으로 경관을 주위환경에 조화되게 생태적으로 녹화□복원하여 자연환경을 보전하고 시각적 안정감을 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 비탈면 녹화의 기능

(1) 침식과 토사유실방지

비탈면은 비탈면 형성인자와 환경인자, 식생형, 식생밀도, 지하수분의 동태 등 많은 인자들이 상호 작용하여 토사의 이동이나 침식, 붕괴 등의 현상을 수반한다. 여러 요인들과 침식과의 관련성 연구들에 의하면 토사유실량은 식생형 보다는 토양경도가 더욱 큰 영향을 미치며 자연 강우 시 토양침식은 사면피복의 영향이 가장 크고 다음이 토성, 경사요인으로 나타났다.

침식방지효과는 지표면 피복율이 증가할수록, 수관부의 피도가 증가할수록 증대된다. 또한 수관부의 높이가 커질수록 침식방지효과가 감소하는 경향을 보이는데 이러한 현상은 높은 수고의 산림 식생이 낮은 높이의 지표면 식생의 생육을 방해한 경우에 나타난다. 지피식물과 더불어 관목과 낮은 소교목류는 낮은 높이의 지표면식생을 형성하여 침식방지효과를 나타낸다.

식물에 의한 침식방지는 식물이 강우를 차단하여 토양입자의 유실을 억제하는 기능과 높은 밀도의 뿌리에 의한 뿌리섬유들이 토양을 고정시켜 제자리에 얽어매는 기능을 하여 침식방지역할을 수행한다.

초본류에 의한 녹화는 지표면 피복과 뿌리역할로 인해 토양침식과 강우유출억제 효과가 탁월하고, 깊게 뿌리를 내린 목본식물은 비탈면의 파괴위험을 감소시키거나 막는데 더 효과적이다. 따라서 비탈면의 복원계획 수립시 키가 큰 목본류와 더불어 낮은 높이의 초본 식생군락을 같이 조성하는 것이 침식방지에 효과적이라고 할 수 있다. 또한, 초본류로

는 외래 초본류 보다는 자생초본류를 활용하는 것이 보다 바람직하다.

(2) 야생동물의 서식처 제공

각종 먹이와 은신처를 제공하는 다양한 식물에 의한 복원은 다양한 동물의 유입을 조장하는 것과 같다. 종다양성과 더불어 초본군락, 관목, 덩굴식물, 다양한 높이와 크기의 목본군락이 있는 식물군락을 조성하면 더욱 다양한 야생동물을 확보할 수 있다. 만약 복원하는 식물군락이 주변 산림과 유사하다면 주변지역도 서식처로 활용되므로 더 많은 야생동물이 유입될 수 있다.

(3) 경관의 향상

경관 훼손지는 주변 자연지역과 부조화되므로 황량하고 경관미가 파괴된 지역으로 느껴진다. 녹화를 통해 각 환경조건에 가장 적합한 식물군락이 다양하게 출현되면 식물에 의한 크기와 질감, 색채의 다양성이 확보되어 경관의 향상을 도모할 수 있다.

제2장 비탈면 녹화 기초공

1. 기초공의 유형 분류

식생도입을 위해서는 생육기반의 안정과 불량한 생육환경의 개선을 위한 녹화기초공이 필요하며 목적에 따른 기초공의 유형을 분류하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 목적에 따른 녹화기초공의 유형

목적	공법	대상	주된 효과	적용상의 주의
비탈면보호	모르타르 뿜어붙이기	절취암석비탈면	암석의 풍화방지	용수가 있는 장소는 피한다.
	콘크리트 뿜어붙이기	절취암석비탈면	암석의 풍화 및 박리 방지	용수가 있는 장소는 피한다. 비탈면에 요철이 있어도 좋다.
	콘크리트보호공	절취비탈면	침식 및 풍화방지, 암의 박리방지	물이 많은 장소는 피한다.
	사석보호공 블록보호공	성토, 절취비탈면	침식 및 풍화방지	10%이하의 완경사로 한다. 물이 많은 곳은 메붙이기로 하되 3m이하로 한다.
	현장타설 힘줄박기	절취비탈면	표층토의 붕락방지 암반의 떨어짐 방지	격자블럭 내의 식생공, 필요시엔 사석보호공을 한다.
	격자블럭공	성토, 절취비탈면	표층토의 붕락방지	격자블럭 내의 식생공, 필요시엔 사석보호공을 한다.
	법면앙카공	절취비탈면	비탈면 표층부의 강화 암반의 떨어짐 방지	필요시엔 힘줄박기, 옹벽공과 함께 시공한다.
	돌망태공	성토, 절취비탈면	표층부의 강화, 용수에 의한 토사 유실방지	긴급복구에도 이용된다.
	편책공, 항타공	성토, 절취비탈면	표층의 강화	긴급복구에 많이 이용된다.
흙막이공	옹벽	성토	토압에 저항하여 비탈면 유지	용지, 지형 상의 제약으로 전체적으로 급경사로 해야할 때 사용한다.
	토류벽	성토, 절취비탈면	소규모 옹벽으로 비탈면 아래부분의 보호	
낙석방지	낙석방지망	절취암석비탈면	비탈면에서 무너져 내리는 작은 낙석의 비산 방지	
	낙석방지펜스	절취암석비탈면	낙석 저지	비탈면 어깨부위, 소단위, 용벽위 등에 설치.

※ 모르타르, 콘크리트, 뿜어붙이기는 Shotcrete를 말하며, 콘크리트 보호공은 암반 등의 비탈면에 무근 또는 철근 콘크리트를 현장 시공하는 것을 말함.

2. 배수공

비탈면에 용수가 발생되는 지역의 녹화 설계시에는 배수시설을 함께 설계하여야 한다. 비탈면 배수는 비탈면의 물리적 안정 및 생태복원에 지대한 영향을 끼치므로 기존 배수형태의 분석, 정확한 유량계산, 향후 여건 변동 등을 고려하여 설계한다. 완전한 배수설비를 하지 않을 경우 식생공과 토목 구조물공을 하여도 효과가 없고, 오히려 붕괴 등의 사고의 원인이 된다. 토공사와 동시에 완전한 배수설비를 설치하여, 비탈면의 안정을 도모한 후 비탈면 처리공을 시공하여야 한다.

(1) 산마루 배수구 및 비탈어깨 배수구

절토비탈면의 상부자연비탈에 콘크리트 U형수로 등의 배수구를 설치함으로써, 강우나 강설에 의해 지표수가 절토사면내로 침투하는 것을 방지하여 절토비탈면내 간극수압의 상승을 차단하거나 지표수의 흐름을 차단시켜 절토비탈면의 침식을 방지하는 공법이다. 산마루 배수구 및 비탈어깨 배수구 시공 시 측구와 지표가 밀착되지 않는 경우, 측구와 지표 틈새로 강우가 침투하여 배수효과가 거의 없을 뿐 아니라 토층이 유실되어 지반침하가 발생하는 경우가 많으므로 측구와 지표를 반드시 밀착시켜야 한다. 또한 품질관리를 위하여 가능한 현장타설 콘크리트 배수로를 설치하는 것이 바람직하다. 산마루배수구는 비탈면 끝과 최소한 2m 정도 이격하여 기존의 배수형태에 연결되게 설치하는데 규격은 유량계산 결과로 한다.

(2) 소단 배수구

소단 배수구는 절토비탈면에 흐르는 빗물이나 용수에 의한 침식을 방지하기 위하여 폭이 3m 이상인 넓은 소단에 설치한다. 종단경사에 따라 배수처리를 실시하며 20m이상 절토구간이 끝나는 곳에서는 산마루 배수구와 연결 또는 방류하여 절토사면이 유실되지 않도록 설치한다. 단, 비탈면 침식의 위험성이 적다고 판단될 때는 설치하지 않을 수 있다. 수로의 설치간격은 소단 2개소 당 1개 정도 설치하며 규격은 유량계산 결과로 한다.

(3) 종배수구

산마루 배수구와 소단 배수구에서 집수된 물을 비탈면 아래로 유도하는 수로로 접속부위에는 집수정을 설치하고 수로 내에 유속을 감속하는 유속 감속턱을 설치한다. 수로의 설치간격과 규격은 유량계산 결과로 하며, 횡배수로의 침전을 감안하여 수로의 설치간격을

좁게 할 수 있다.

(4) 비탈끝 배수구

쌓기 비탈면에는 비탈끝 배수구를 설치하여 비탈면에서 흘러나가는 물이 인근지역으로 흐르지 않도록 한다. 자연배수가 되는 경우는 설치하지 않을 수 있다. 깎기 비탈면의 비탈끝 배수구는 별도로 설치하지 않으며 비탈면 용출수가 많은 장소 및 콘크리트 뿜어붙이기를 시공한 특수조건의 비탈면과 소단 배수시설이 없는 대규모 비탈면은 비탈끝 배수구를 검토한다. 비탈끝 배수구와 종배수구가 만나는 지점에는 집수시설을 설치하며 비탈끝 배수구와 집수시설의 규격은 유량계산 결과로 한다.

(5) 배수구 유형별 사용종류 및 적용성

배수구의 유형별 사용 종류 및 적용성은 <표 2>와 같다.

<표 2> 배수구의 유형별 사용종류 및 적용성

구 분	떼수로	Soil Cement 수로콘크리트	U형플륨관	반원 O관	돌붙임수로	비고
산마루 배수구 비탈어깨 배수구	○	○	○	○	○	
소단 배수구	○	○	○			
종배수구	×	×	○	○	○	
비탈끝 배수구	○	○	○	○	○	

제3장 생태복원녹화

1. 생태복원녹화의 개념

생태복원녹화라고 하는 것은 산업경제의 발전에 따라 그 목적 및 대상지가 다양하게 변모하여 왔으며, 그에 대한 사고도 「조기에 확실하게 식물에 의해 면적으로 입체적으로 식물군락을 조성하는 것으로부터 자연환경, 생활환경 및 경관을 보전하는 것」으로 변화하여 왔다. 또한 개발행위와 관련하여 「개발행위에 따른 환경영향을 사전 조사나 검토함에 있어서, 환경보존, 자연 보호 등을 위한 생태환경복원 녹화기술」로써 환경보존 및 자연보호 등과 관련된 기술로 인식되어 그 개념이 확대 적용되고 있음을 알 수 있다. 현재는 「토양의 침식이나, 풍화를 방지하는 기술」이라는 인식에서부터 개발이나 재해 등에 의해 변화하는 환경 및 생태계의 회복에 대해 「바람직한 자연환경을 재생하며 창조하는 기술」이라 정의 내려질 수 있다.

생태복원녹화의 기본적인 입장은 국토의 보전이다. 즉 재해의 원인이 되는 비탈면 침식의 방지, 토사생산의 제어, 수질, 수량 등의 보전 등 국토보전과 관련된 의미를 지닌다. 일반적으로 생태환경 복원을 위한 녹화라고 하는 것은 풀이나 나무를 심고 종자를 뿌리는 것이지만 생태복원 녹화기술은 복원녹화가 어려운 장소(강산성토양, 암석 나지, 급경사지, 댐, 채석장, 경석장, 폐석장 등) 및 곤란한 시기(홍수기, 건조기, 한랭기) 등 다양한 조건을 극복하면서 조기에 바람직한 식물군락을 확실하게 복원하는 기술이다. 구체적으로는 원하는 식물군락을 복원하는 기본 작업으로서 식물이 발아 생육하는데 적합한 생육환경(생육기반의 안정화 등)을 경제성, 지속성, 효율성의 측면에서 바람직하게 조성하는 기술을 말한다. 그리고 전혀 새로운 식물사회를 조성하는 것이 아니라 자연의 회복력을 기대하고, 생태적 천이와 부합되는, 자연 회복을 위해 인위적인 도움을 주는 기술로 생각되어져야 한다.



사면식생고사　　사면불안정 및 구조불훼손　　토양오염 및 농작물피해

<그림 1> 강산성토양에서 나타나는 피해 현상 사례

2. 생태복원녹화의 외국 사례

일본에서는 인위적으로 훼손된 비탈의 생태복원 녹화기술의 새로운 적용으로서 수림화가 주류를 이루고 있다. 목본은 초본보다 비탈면의 안정에 기여하는 바가 크기 때문에 비탈면 수림화는 비탈의 안정을 얻는데 효과적인 것으로 인정되고 있다.

비탈 등을 대상으로 개발된 새로운 생태복원 녹화기술들은 자연의 산림인접지역뿐만 아니라 도시에서 그동안 방치하였던 작은 공간들을 푸르게 하는데 적용되어 도시의 생물다양성 증진에도 기여하고 있다. 도시 내에는 「생태환경복원 녹화기술」을 실시할 공간이 부족하므로 넓은 면적보다는 건축물의 옥상이나 벽면, 콘크리트 구조물 등 작은 공간들을 대상으로 생태환경복원 녹화기술을 적용하는 시도가 활발하게 진행되고 있다. 최근에는 새로운 개념으로 콘크리트나 시멘트에서 식물의 서식이 가능하도록 하는 기술이 제안되고 있다.

매우 강력한 부착력을 갖는 식생기반재를 울퉁불퉁한 불안정한 비탈에 뿜어 붙이고 생태복원녹화를 유도하는 기술이 보급되고 있다. 건설 공사시 수반되는 수목과 간벌재 등을 분쇄하여 재활용하는 기술로써 망을 치지 않으며, 불안정한 토사를 고정하여 주고 집중호우에도 식생기반토양이 유실되지 않는 내침식성이 매우 강한 식생기반재를 비탈에 뿜어 붙이는 기술이다. 이 기술은 댐 등 수위변동구간과 하천 수로 변에도 사용이 가능하고, 흘러내리는 경질 토사면에도 사용이 가능하다.

일본에서의 비탈복원녹화기술은 단순히 자연 생태적인 접근뿐만 아니라 토질공학, 암반공학, 지반공학 등 다양한 공학적인 접근을 병행하고 있으며, 개발 전에 환경복원계획과 설계가 수립되어 있어 기본적으로 환경영향을 최소화할 수 있고, 시공 후에도 다양한 형태의 녹화사업을 단계별로 진행할 수 있도록 하고 있다. 순환형 사회와 녹화기술의 관련성이 밀접하게 발달하여 시민 참여형 녹화가 활성화 되고 있으며, 자원재활용(발생재의 재활용)이 일반화되고 있으며, 발생재의 퇴비화 연구뿐 아니라 발생재의 녹화토로의 활용이 발전하고 있는 추세이다.

그리고 지역의 자연과 유전자 자원의 보전을 목적으로 공사 현장에서 채취 가능한 매토종자집단(soil seed bank)을 이용한 방법이 1960년대 이래 일본에서 시행되어 왔다. 선구적인 사례로 자연 공원 구역 내에 건설된 오사카의 미노오가와댐에 산림의 표토를 미리 채취, 보관한 후 공사 후에 나지 사면에 부설하여 예덕나무를 비롯한 매토 종자에서 발아된 선구수종이 성장하여 조기에 관목림을 형성한 사례가 유명하다. 한편 산림표토를 이용한 시공방법으로 주변의 산림에서 채취한 산림표토를 부설하는 전통적인 방법, 표토를 식생기반재취부공의 재료로서 사용하여 접합제 등을 배합하여 사면에 취부하는 방법, 표토를 흙 자루에 채워서 이용하는 방법, 산림표토를 가능한 한 교란시키지 않고 조성지에 이식하는 표토 이식공법 등이 행해지고 있으며 이 표토이식 공법은 표토매트의 상태로 사면에 붙이는 표토매트공법으로 발전하고 있다(고정현 등, 2006).

또한 에코로드의 조성이 활발하여 동물의 이동 경로를 고려한 도로의 설계가 이루어지고 있으며, 도로로의 동물 진입을 방지하는 다양한 방법들이 모색되고 있다.

식물이식기술로써 근주이식기술이 발달하고, 기계화의 발달로 식물과 토양을 통째로 옮기는 기술(표토+식물)이 발달하고 있는데 이 방법은 토양개량효과가 있어 활착율이 대경목 이식보다 높다.



자연토양을 이용한 수림화 사례 인공토양을 이용한 수림화 사례



옥상녹화사례1 옥상녹화사례2 옥상녹화사례3 옥상녹화사례4



환경콘크리트의 사례 호안콘크리트의 생태복원녹화사례

<그림 2> 일본의 생태복원 사례

제4장 비탈면 녹화공법의 특징 및 개요

1. 초본류 식재

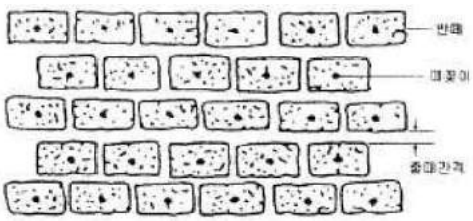
(1) 줄떼공법(strip-sod works)

① 줄떼 다지기 공법

줄떼 다지기공법(strip-sod tamping works)은 주로 흙쌓기 비탈을 일정한 물매로 유지하며, 비탈을 보호·녹화하기 위하여 수직 높이 20~30cm, 간격 및 수평 너비 10~15cm 정도의 수평골을 파고, 가급적 흙이 털어지지 않은 반떼(너비 10~15cm, 길이 20~30cm 정도)를 한 줄로 수평으로 놓고 흙덮기(복토)한 후 달구판으로 다지는데 비탈 밑에서 비탈 어깨 방향으로 공사를 진행한다. 근래에는 쉽게 시공하기 위하여 비탈 어깨 윗부분에서부터 아래로 향하는 편법을 쓰기도 하는데, 이렇게 하면 다지기 공사를 소홀히 할 우려가 높다.

② 줄떼 붙이기 공법

줄떼 붙이기공법(strip-sod pitching works)은 흙이 털어지지 않은 1/2떼나 1/3떼를 수평 방향으로 줄로 붙여서 활착·녹화하는 땅깎기 비탈에 주로 이용되는 녹화공법으로, 흙쌓기 비탈에서는 그다지 사용하지 않는다. <그림 3>과 같이 줄떼는 땅깎기 비탈의 상부에서부터 하부로 향하여 붙여 내려가면서 시공한 후 떼꽂이로 고정한다.



<그림 3> 줄떼붙이기 시공 모식도

(2) 평떼붙이기공법

① 개요

평떼붙이기공법(block-sod pitching works)은 비탈면의 기울기가 1:1 이하인 절·성토비탈면 지역에 전면적으로 가로30cm×세로30cm×두께3cm(흙 붙은 것)의 떼를 붙여 비탈을 일시에 녹화하는 공법으로 떼는 흙이 털어지지 않은 온떼를 사용한다.

평지에 평떼를 깔아 붙이는 경우에는 줄눈을 떼어도 좋지만 비탈면에 평떼를 붙일 때에 줄눈을 떼어 놓으면 그곳이 세굴되기 쉬우므로 떼의 세로줄눈이 닿도록 전면 깔기 하는 것이 좋다. 줄눈이 넓으면 세굴 되기 쉬울 뿐만 아니라 동상과 융해에 의한 탈락과 지반의 건조에 의한 고사가 일어나기 쉽다.

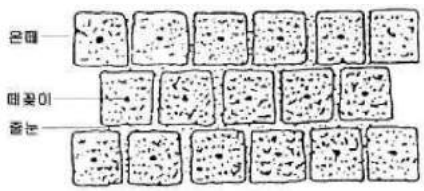
② 재료

일반적으로 떼의 크기는 가로30cm×세로30cm×두께3cm(흙 붙은 것) 이상이며 최소한 15cm 이상, 가급적 30cm 이상의 떼를 사용하고 암반 사면의 안정·녹화공사에서는 떼 크기의 대소보다도 떼에 흙이 많이 붙어 있는 흙떼를 사용하여야 한다.

③ 시공

공사 시에는 떼붙이기에 앞서 비탈면의 표면을 다듬고 돌, 자갈 및 초목 등의 유해물을 제거한 후 가급적 모래나 좋은 흙을 깔고 평떼를 붙여야 하며, 붙인 후에 다시 모래나 흙으로 떼붙임 면을 얇게 덮은 후 달구판으로 고루 두들겨주고 일반적으로 떼가 미끄러지지 않도록 길이 20cm 이상의 대나무나 철선 떼꽂이로 사용하며 버드나무류 가지와 같이 발근력이 높은 목본류 가지를 20~25cm 가량 잘라서 떼꽂이로 활용하면 더욱 효과적이다.

흙쌓기 사면에 평떼 붙이기 공사를 할 때에는 붙이기 전에 흙 다지기를 잘해야 하며, 뗏장 4매를 마주 붙이는 넷붙이기로 +자 줄눈이 형성되지 않도록 하고, 또한 통줄눈붙이기 시공은 피해야 한다. 보통 줄눈의 간격을 2cm 정도로 하고 흙으로 채운다. <그림 4>는 평떼붙이기 공법의 시공도이다.



<그림 4> 평떼붙이기 시공 모식도

(3) 네트(Net) 잔디공법

시공비탈면에 빗물에 의한 토사의 유실을 방지하고 지열보온 효과가 있는 부직포와 합성섬유네트를 고정시키고 48cm×48cm의 규격화된 재배한 잔디 제품을 비탈면에 부착시킨 후 철근못으로 고정하여 시공하는 방법으로 잔디의 활착에 의해 비탈면을 피복시키며, 비탈면 상태나 자연조건 및 잔디 종류에 상관없이 시공가능하나 풍화암, 경질암에는 적용에 어려움이 있다.

평떼붙이기공법과 네트잔디공법은 토사구간의 시공에 적합하며 경사도는 45°이하의 비교적 완만한 곳에 적용할 경우 효과적이며 평떼붙이기공법은 초본식물에 의한 조기식생이 이루어지므로 화강풍화토질 비탈면에 격자틀붙이기공법과 병행하여 시공하면 효과적이다 또한 절•성토면은 잡석과 잡초를 제거하여 가급적 평탄성을 유지해야하며 시공시기는 현장여건과 기후조건을 감안하여 봄·가을 중에 최적기를 선택하여 시공한다. 식재 후에는 3개월 내에 활착이 이루어져야 하며 그 이후 활착이 되지 않고 고사된 비탈면에 대해서는 추가로 보식을 하도록 한다.

이 공법은 시공 즉시 녹화효과가 발휘되고 균일하게 피복이 되며 피복률이 높으며 네트잔디공법은 뗏장붙이기공법에 비해 잔디 및 토사유실, 슬라이딩 방지효과가 크지만 활착이전까지 토양고정력 및 지지력이 거의 없으며 식물의 뿌리가 활착되지 않은 초기상태에서는 남향, 서향 비탈면에서 건조에 의한 피해가 발생되므로 이에 대한 대책이 필요하다. 또한 기계시공이 불가능하므로 인건비가 과다 소요되고 숙련된 시공기술이 필요하며 시간이 경과함에 따라 식생이 쇠퇴하고 잔디판이 노출되어 토사가 유실되어 비탈면이 붕괴될 수 있으므로 지속적인 유지관리가 필요하다.

(4) 새심기공법

① 개요

새심기 공사는 새류의 풀포기를 식재하여 비탈을 초류로써 녹화하는 초식공법으로 주로 다른 비탈면 녹화공사의 보완녹화수단으로 계획한다. 새류의 풀포기를 다량 구득하기가 곤란하므로 대면적 계획은 곤란하고, 주로 경질토 구간이나 암석이 많은 불규칙한 비탈녹화에 부분녹화용으로 사용할 수 있다. 새류의 풀포기는 주변에서 채취한 자연생을 사용하기도 하고 재배한 풀포기도 사용한다. 새심기 공사는 점심기, 줄심기, 흩어심기 등이 있으므로 시공지의 조건에 따라서 적절한 방법을 적용해야 하며 새심기 작업 후에는 시비 또는 관수를 하여 활착을 조장하여 준다.

② 재료

새심기 공사에 사용되는 새류에는 주로 새, 솔새, 개솔새, 억새, 기름새 등이 활용 가능하다.

③ 시공

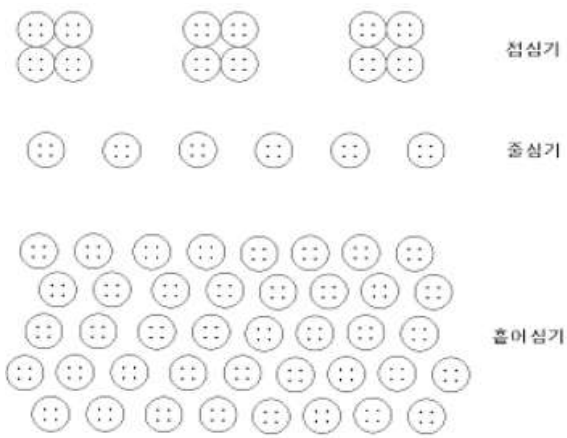
1) 봄철에는 지난해의 마른 줄기는 자르고 근계부분만 이식하며 생장기에는 지상부와 지하근계 모두를 이식한다.

2) 주로 암석이 많아서 잔디를 붙이기가 곤란한 지역에 사용되므로 식재시 시공성을 면밀히 검토하여야 하며 공사 후에 시비 및 관수를 반드시 해야 한다.

3) 선주의 본수는 일반적으로 3~5본을 1주로 삼으며 1㎡당 10주를 기준으로 심는다.

4) 점심기 시공시에는 포기간격 20~30cm 정도로 하고, 줄심기 시공시에는 줄간격 20~30cm 정도로 한다. 흩어심기 공사시에는 20~30cm 간격으로 서로 어긋나게 하여야 한다.

5) 일반 임도비탈 또는 채석장 녹화공사에 새집 공법과 함께 사용되면 효과적일 수 있다.



<그림 5> 새심기 모식도



<그림 6> 새심기(선주이식) 사례

2. 수목류 식재

(1) 나무심기(Tree planting works)

① 개요

비탈면에 직접 묘목을 식재하여 식생을 조성하는 식생공법으로서 시공초기의 피복효과는 초본에 비해 떨어지지만 근계가 깊어 비탈면 붕락방지에 효과적이다.

녹화수종 선정시 뿌리 뻗음이 좋고 토양의 적응력이 우수하고 척박지, 건조, 한해, 충해, 등에 대한 적응성, 저항성이 커서 성장력이 왕성하여 잘 생장하며 토양개량의 효과가 기대되는 수종을 선정토록 한다.

② 재료

해송, 물(산)오리나무, 물갬나무, 사방오리나무(남부), 아까시나무, 자작나무, 싸리, 참싸리 등이 주로 사용되며 상수리나무, 졸참나무, 족제비싸리, 보리장나무(남부) 등이 식재된다.

암석산지나 암벽녹화용으로는 병꽃나무, 노간주나무, 눈향나무 등이 있으며 덩굴식물로는 담쟁이덩굴, 댕댕이덩굴, 등수국, 등나무, 줄사철나무, 송악, 영국송악, 마삭줄, 인동덩굴 등이 있다. 단, 아까시나무와 칡은 황폐지 초기 녹화에는 효과적이나 식재를 기피하는 현실이 고려되어야 할 것이다.

③ 시공

1) 식재시기는 남부지방에서는 2월 하순에서 3월 하순 중부지방에서는 3월 중순에서 4월 상순이 좋다.

2) 나무 심는 구덩이는 대체로 깊이와 지름을 20cm이상으로 파고 객토한 후 일반조림 요령으로 심는다.

3) 식재본수는 ha당 4,000~6,000본을 기준으로 식재하나 일반적으로 해송 1,000본, 물(산)오리나무 1,500본, 아까시나무 500본, 상수리나무 1,000본을 식재한다.

4) 줄떼공 계단식재시 식재거리는 소나무류는 1.0~1.5m, 오리나무류는 1.5~2.0m로 하며 식재 배열은 소나무 2본에 오리나무류 1본이 생장에 양호하다. 계단간 사면에는 수간거리 3m정도로 오리나무류를 식재한다.

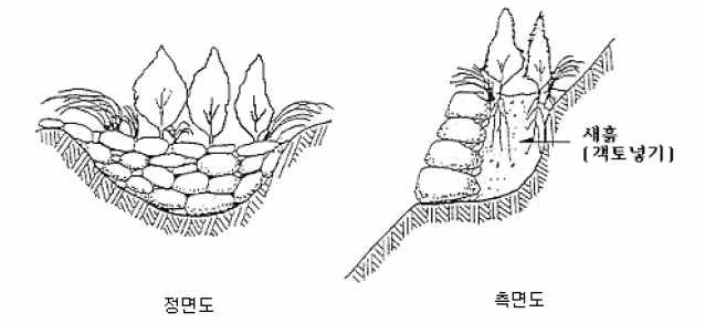
5) 시비는 식재지의 입지상태 및 식재수종 등에 따라서 그 종류 또는 시비량을 결정해야

하며, 비료의 종류는 원칙적으로 지효성의 것을 선택한다.

6) 보식은 계속 2본 이상 고사한 경우 이외에는 하지 않으며 시공 후 2~3년간 추비를 주고 사후관리를 철저히 한다.

(2) 새집공법(Nesting gradoni structure work)

새집공법(nesting gradoni-structure work)은 과거 70~80년대 많이 시공하던 전통적인 공법이며 주로 암석을 채굴하고 깎아낸 비교적 요철이 많은 연암 절개 비탈면에 점적인 식생녹화로 식생 경관 조성을 목적으로 적용하는 공법으로 윗길이 2~3m, 중앙부 높이 0.8~1.0m, 중앙부 폭 0.6~1.0m의 반달형 제비집 모양의 잡석을 쌓고 그 내부에 객토를 한 후 식생을 도입하는 공법이며, 주변 암반노출부와 시공부의 식물생육의 현저한 차이로 인해 종자뿜어붙이기공법과 병행하면 효과적이다.



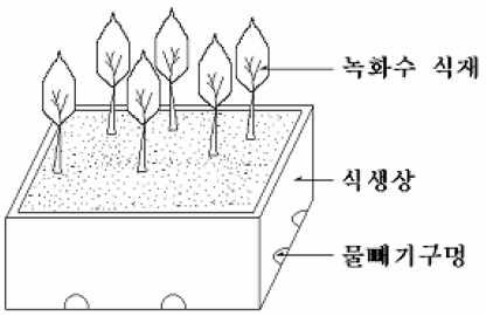
<그림 7> 새집공법

새집붙이기공법은 급경사지에 시공이 가능하고 양호한 식생기반이 제공되지만 전면녹화가 불가능하고 주변부의 녹화가 불량한 경우 미관상 좋지 않으며 새집 내에 식생도입시 관목위주로 선정해야 하는 문제점이 있다.

(3) 식생상공법(Vegetation-box)

암석을 채굴하고 깎아낸 비교적 요철이 적은 암반비탈의 점적 또는 짧은 선적인 식생녹화와 식생상의 특수한 경관효과를 목적으로 설계한다. 식생상의 크기는 시공 장소와 시공 여건에 따라 다르지만 안쪽길이 0.8~1.0m, 안쪽너비 0.5~0.6m를 표준으로 하며 견고하게 제작해야 한다.

식생상은 주로 콘크리트, 합성수지 제품, 인조 목재, 인조 석재 또는 목재 등으로 제작하나 자연스럽게 보이도록 만들어야 하며 덩굴식물을 혼합식재하여 식생상이 피복되도록 한다.



<그림 8> 식생상공법

(4) 차폐수벽공법(Screen planting measures)

① 개요

주로 암석을 채굴하고 깎아낸 암비탈면이나 채석장 또는 절개비탈면 등과 같이 훼손지 비탈모습을 도로 또는 주택 등지에서 직접 보이지 않게 비탈면 하단부 앞쪽에 객토를 실시하고 교목성 나무를 2~3열로 식재하여 수벽을 조성하는 공법이다.

차폐수벽공법은 전면녹화가 곤란하거나 특별한 관리가 요망되는 비탈면의 하단부에 적용하며 수종 선정시 지역적, 경관적, 생태적 특성을 고려하여 선정하도록 한다.



<그림 9> 차폐수벽공법 사례

② 재료

차폐수벽 조성용 식재수종으로는 속성수종인 이태리포플러와 은수원사시나무, 내건성 수종으로 가중나무, 버즘나무와 아까시나무, 침엽수로서 해송(곰솔), 편백나무, 측백나무, 화백나무, 연필향나무, 관목류의 하층 보완수종으로 족제비싸리, 개나리, 사철나무, 쥐똥나무, 무궁화, 노간주나무 그리고 남해안 지방에서는 상록인 아왜나무 등이 적당하다.

③ 시공

1) 수벽을 조성할 때에는 대상 비탈의 적당한 앞쪽에 가급적이면 둑을 쌓고 둑에 식재하는 것이 차폐효과가 커서 효과적이다.

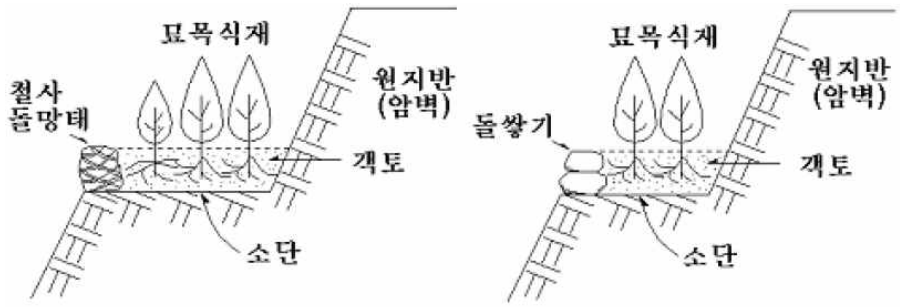
2) 식재수종은 가급적 속성수종의 대묘식재가 좋으며, 심을 곳에 좋은 흙으로 객토와 시비를 하여 활착과 생육을 촉진해야 한다.

3) 수벽을 3열로 식재 조성할 때에는 중앙에 활엽수 교목을 1열로 식재하고, 그 앞뒤에 침엽수 또는 관목으로 열식하거나, 또는 중앙에 교목을 2열로 열식하고, 앞뒤에 관목을 열식할 수도 있다.

(5) 소단상 객토식수공법(Soil-dressed planting measures on berm)

① 개요

암석을 채굴하고 깎아낸 대규모 암반비탈의 소단 위에 객토와 시비를 한 후, 녹화용 묘목을 식재하여 수평선상으로 녹화하고자 하는 공법이다.



<그림 10> 소단상 객토식수공법

② 재료

소단상 객토식수공법에 적당한 수종은 싸리류, 족제비싸리, 쥐똥나무, 개나리, 병꽃나무, 조팝나무, 회양목, 눈향나무, 노간주나무, 보리장나무, 줄사철나무, 리기다소나무, 산(물)오리나무, 사방오리나무, 송악, 마삭줄, 담쟁이덩굴 등이다. 암반비탈은 특히 햇볕이 강하게 쏘여서 건조하고 뜨거우므로 내건성 수종이 적당하다.

③ 시공

1) 소단은 나무를 심고 자랄 수 있는 충분한 폭을 가져야 하므로 소단상 객토부분은 가급적 넓고 두꺼운 토양층으로 설치한다.

2) 소단상의 객토깊이는 0.3m 이상, 폭 1.0m 이상을 표준으로 하고 필요에 따라 철사돌망태로 소단 앞에 흙막이 둑을 설치하여 그 뒤의 객토가 충분히 유지되도록 한다.

3) 객토는 시공현장 부근에서 채취한 겉흙이나 표토제거 작업시 적치해둔 표토를 사용한다.

(6) 덩굴식물식재공법

① 개요

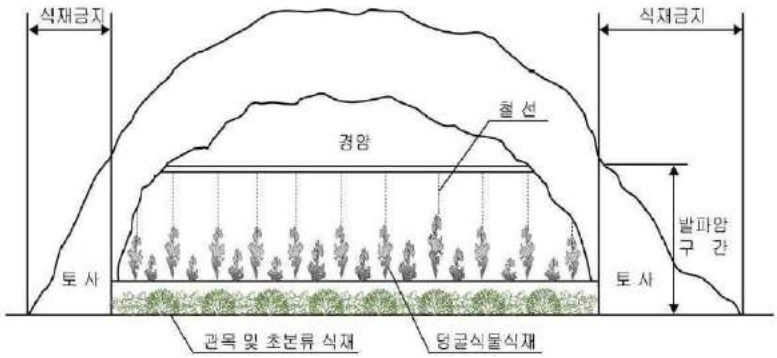
일반식생을 도입하여 전면녹화가 불가능한 암반비탈면 하단부 또는 비탈면의 소단상에 덩굴식물을 이용하여 녹화를 도모하는 공법으로 비탈면의 상단부, 소단부, 하단부에 생육기반을 조성·식재하여 상향식, 하향식 녹화가 동시에 이루어지도록 시공하고 식물선정시 식물의 생육특성을 잘 조사하여 수종을 선정하여야하며, 초기 식생 정착 및 생장 방향을 유도하는 유인시설을 설치하는 것이 바람직하다.

덩굴식물식재공법은 경암비탈면의 녹화용으로 시공성이 우수하며 비탈면을 보호하기 보다는 녹화 및 차폐하여 경관을 향상시키는 기능이 강하다. 식재 후 암절토부를 피복하는 기간은 등나무의 경우 식재 후 약 5년, 담쟁이덩굴의 경우 식재 후 약 10년이 소요되어 기계에 의한 시공보다 장기간 소요되지만 경제적이고 시공이 간편해 고속도로 암비탈면에서 많이 시공되고 있다.

덩굴식물 식재공법은 암반비탈면 녹화에 적용시 조기녹화 효과가 빠르나 사용식물선정에 비교적 제약을 많이 받으며 주변식생으로 유입되어 기존 식생을 피압하여 피해를 입힐 수 있으므로 지속적인 유지관리가 필요하다. 비탈면의 높이가 낮고 소단이 3개 이하인 소규모 비탈면에는 사용을 금지한다.

그러나 붕락의 위험이 없는 양호한 암반비탈면에 덩굴식물을 식재하는 경우, 비탈면 주

변과 비탈면에 침입한 나무를 감고 올라가면서 기존식생을 피압하여 피해를 입힐 수 있으므로 <그림 11>과 같은 형태로, 암반 비탈면 맨 아랫단에 제한적인 범위를 한정하여 식재한다. 특히 덩굴식물 뿌리로 인해 암반의 균열 우려가 있는 곳과 자연경관 복원이 필요한 곳에서는 등나무 등의 덩굴 식물 식재는 지양한다.



<그림 11> 암질이 양호한 지역 덩굴식물 식재 표준도

② 재료

사용식물로는 등나무, 담쟁이덩굴, 송악, 마삭줄, 줄사철나무 등이 이용된다.

<표 3> 덩굴식물의 식생특성[1)]

종 류	특 성
담쟁이 덩굴 (Parthenocissus tricuspidata)	종자나 삽목으로 번식 암벽녹화용이나 관상용, 원예용으로 적합
등나무 (Wisteria floribunda)	종자나 삽목으로 번식 관상용, 원예용으로 적합
줄사철나무 (Euonymus fortunei var radicans)	종자실생, 관상용 남부지방의 환경녹화용으로 적합
송악 (Hedera rhombea)	종자, 삽목, 접목, 휘묻이로 번식 관상용, 원예용으로 적합
마삭줄 (Trachelospermum asiaticum)	종자, 삽목, 휘묻이로 번식 남부지방에서 암벽녹화용으로 적합

1) 한국도로공사(1995), 고속도로 절토 비탈면 녹화공법 연구, p.303.

③ 시공

등나무는 2m 간격으로 식혈을 파고 부식토를 채운 후 등나무를 1주씩 식재하며, 담쟁이덩굴은 2m 간격으로 식혈 후 부식토를 채운 후 3주씩 식재하고, 암절토부에 철선을 설치하여 덩굴의 유인을 돕는다. 식재방법을 요약하면 <표 4>와 같다.

<표 4> 덩굴식물 식재방법

수종	규격	식재본수	식재간격	시비기준	식혈크기	비고
등나무	근경 1~1.5cm	1주/식혈	2m (절토부하단)	4kg/식혈당	0.3m×0.3m 이상	철선유인 포트묘
담쟁이덩굴	2년생묘목 (L=30cm)	3주/식혈	2m (절토부하단)	1kg/식혈당	0.3m×0.3m 이상	포트묘일 경우 포트제거후 식재

(7) 리싸이클링 에코녹화공법

① 개요

이 공법은 훼손지의 자생수목을 조기에 재생시킴으로써 주변 산림생태계이 교란을 방지하고 경관 복원을 위한 녹화 시공 방법이다. 이 공법은 자원의 재활용과 복원력을 활용해 녹화를 도모하는 공법으로 세 가지의 요소를 가진다. 첫째, 각종 산지공사로 인해 불가피하게 발생하는 산림훼손지에서 식물활착 및 생장이 불량한 토공 기반층에 도입식물의 조기 활착과 왕성한 식물생장이 가능하도록 산림표토를 재활용하여 식물생육기반환경을 조성하고 기존 수림의 매토종자에 의한 종다양성을 증진시키고자 한다. 둘째, 산림훼손지에서 목재활용 후 버려지는 수목그루터기나 포트에서 재배한 자생포트수목을 이용하여 산림식생구조를 조기에 복원한다. 셋째, 우수시 발생하는 비탈면의 침식 및 세굴방지와 녹화초기에 도입식물이 외부에서 유입된 초본류에 의해 피압되는 것을 방지하기 위해 폐기물로 버려지는 기존 수목을 이용하여 섬유질형태의 우드칩 멀칭재로 사용한다.

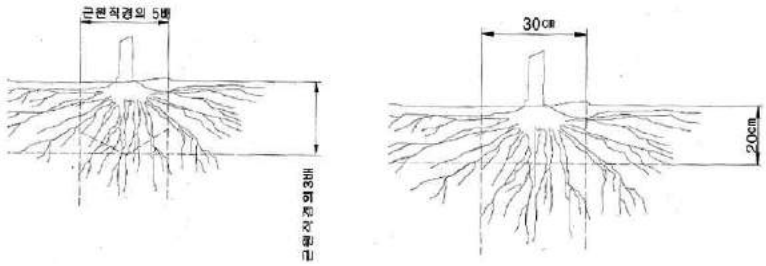
② 재료

문헌조사에 의하면 우리나라에 자생하는 수종 중 맹아력이 강하여 그루터기 녹화에 사용가능한 수종으로 선정된 수종은 교목 15과 35종, 관목 20과 51종 총 29과 86종의 수목이 조사되었다.

③ 시공

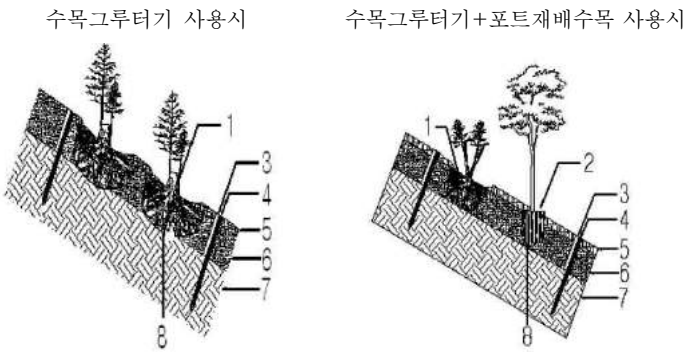
1) 수목그루터기는 굴취시 이식시기에 활착율 및 이동을 고려하여 대형목은 제외하고, 근원직경이 20㎝를 넘지 않는 소경목을 굴취하며, 침엽수나 직근성 수종은 가능한 피하고, 낙엽활엽수나 상록활엽수로 맹아력이 우수한 자생수종을 선정하여 굴취한다.

2) 수목그루터기의 수간길이는 지상부에서 10-30㎝ 이내로 절단하며 수목그루터기의 분크기(접시형)는 교목류의 경우 뿌리 폭은 근원직경의 5배, 뿌리길이는 근원직경의 3배 이상으로 하고, 소경목 및 관목류의 경우 뿌리 폭은 30㎝, 뿌리길이는 20㎝ 내외로 한다.



<그림 12> 그루터기 굴취 모식도

3) 채취한 산림표토는 토공기반층에 25㎝-30㎝ 두께로 포설하고, 표토를 정리하면서 폭 30㎝ 높이의 표토유실방지책을 수평으로 연결하여 설치하고 간격은 2m로 하며, 표토유실방지책이 넘어지지 않도록 고정말뚝을 설치한다. 표토유실방지책은 20㎝ 가량 땅에 묻고 10㎝정도 남겨두어 우드칩을 채운다. 표토를 포설한 후 식재밀도를 산정하여 작성한 군락식재모식도에 따라 사전에 식재구덩이를 만들고 수목그루터기를 식재한다.

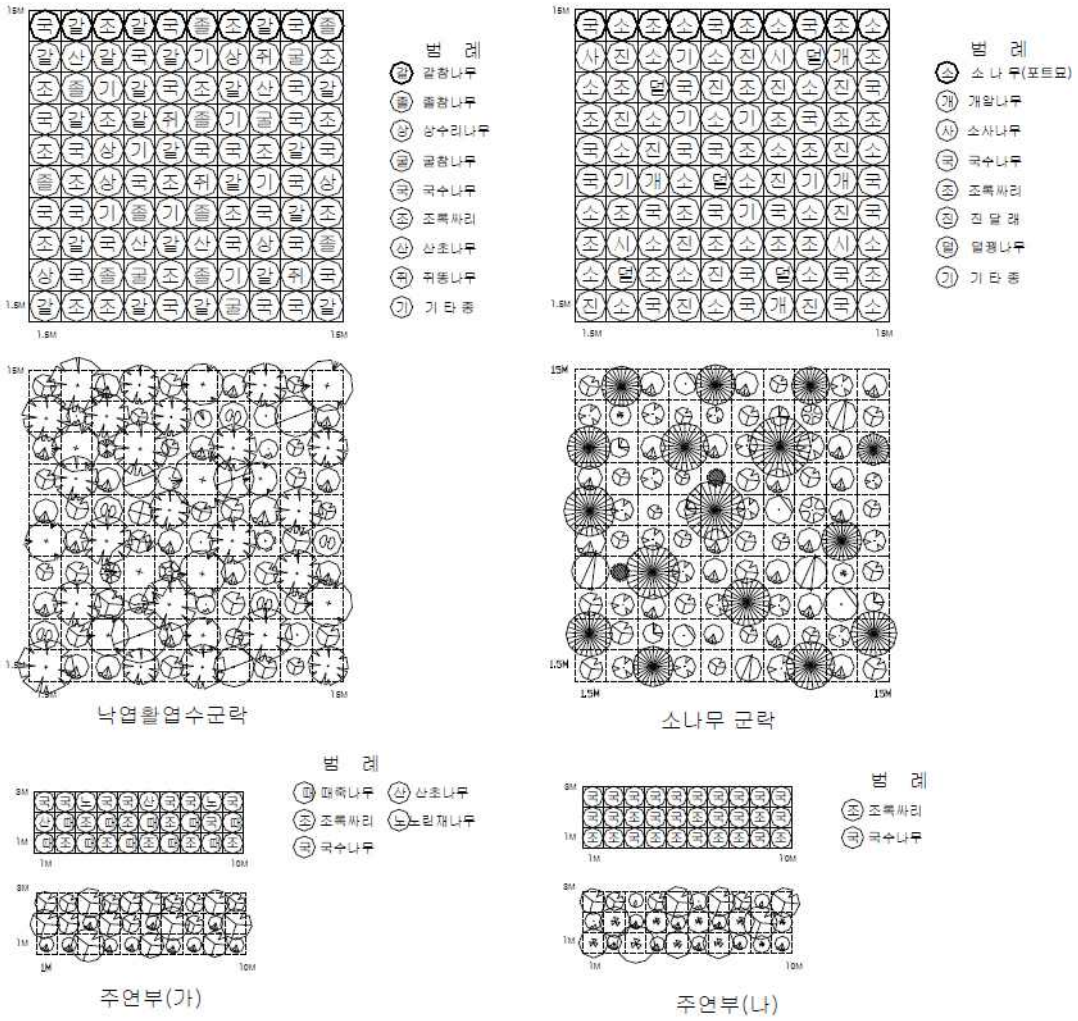


1:수목그루터기, 2:포트수목, 3:표토,우드칩 유실방지책, 4:고정말뚝,
5:섬유질형 우드칩, 6:표토, 7:토공기반층, 8:식재 구덩이

<그림 13> 녹화구조 단면도

4) 식재시 근부의 가는 뿌리나 근주와 함께 이식된 초목류의 뿌리는 없애지 않도록 한다. 수목 그루터기 식재시 방치기간이 길 경우 그루터기가 건조되어 쇠약해져 고사 및 피해원인 될 수 있으므로 작업시간을 줄여 시공한다.

5) 표토유실 및 잡초를 방지하기 위하여 식재 후 멀칭재인 우드칩을 10㎝두께로 표토층 위에 포설한다. 우드칩 멀칭이 너무 얇으면 효과가 없고 너무 두꺼우면 근맹아의 발생을 저해하므로 수목그루터기의 주변은 얇게 멀칭하도록 한다.



<그림 14> 군락식재모식도

(8) 암반사면부분녹화공법

① 개요

암반사면부분녹화란 인위적이거나 자연적으로 훼손된 암반사면에 식물이 생육할 수 있는 식재 가능지를 부분적으로 선택하여 생육기반을 조성한 후 배양토로 식재지를 뒷채움하고, 인위적으로 육묘된 강건묘를 식재하고 향토초류를 파종하여 시간이 경과하면서 주변 환경과 생태적, 경관적으로 조화될 수 있는 거점을 조성하여 주는 공법이다. 초기 효과만을 위한 양잔디 및 싸리류 만을 파종하는 공법과는 달리 특수 양묘된 소나무, 붉나무 등 강건묘를 식재하여 악조건에서도 신속히 활착하여 조기녹화를 도모할 수 있는 장점이 있다.

② 재료

1) 묘목

포트에 파종 또는 식재하여 3년 이상 재배한 것으로써 수고는 50cm 이상이어야 하며 도장되지 않은 것으로 세근이 발달하여 이식후 활착이 용이한 것을 사용하여야 하며 사용가능한 수종은 소나무, 가죽나무, 두릅나무, 붉나무, 곰솔, 노간주나무, 줄사철나무, 담쟁이덩굴, 참나무류, 모감주나무, 복분자딸기, 오리나무, 측백나무, 단풍나무 등이 있다.

2) 초류종자

향토초종이어야 하며, 병·해충에 감염되지 않은 것이어야 하고 발아율이 높은 것을 사용한다.

3) 배양토

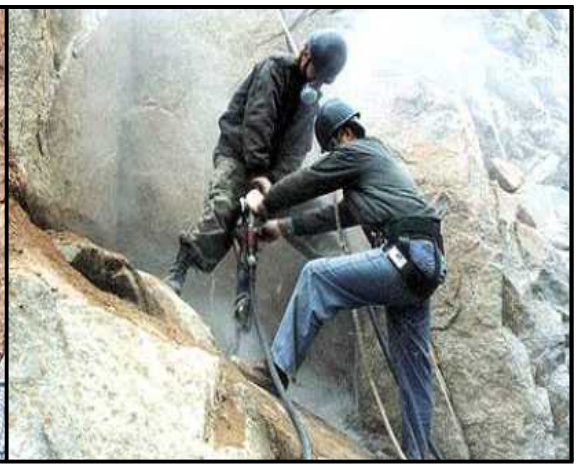
축산분뇨로 완전 발효된 것이어야 하며 미생물이 살아있는 것을 사용한다.

③ 시공

1. 식재지 위치 표시



2. 식재지 굴착



3. 배양토 뒷채움



4. 강건묘 식재



<그림 15> 암반사면부분녹화공법 시공 사례

1) 식재대상 위치 선정

절개지의 상황 및 주변 환경을 고려하여 식재패턴을 결정하고 수종을 선택한다.

2) 터깎기

터파기의 깊이는 50cm를 기준으로 하며 터파기의 표면적은 현장여건에 따라 조정하며 최소면적은 0.5㎡/1개소 이상으로 한다. 암사면에 발생된 요철부위, 소단 등을 최대한 활용하고 암사면에 존치된 기암괴석 등은 노출 시킨다.

3) 배양토 뒷채움

배양토 뒷채움시 답압하여 뒷채움하며, 뒷채움시 이물질의 혼입을 방지한다.

4) 수목식재

수목식재를 1㎡당 상록수 2주, 활엽수 2주를 식재하며, 초류종자는 초기의 배양토 유실을 방지할 수 있는 최소한의 수량인 9g 정도만 파종한다. 수목 반입시 바람에 의한 건조 현상이나, 물리적 상해가 발생하지 않도록 주의하며 수목식재 및 초류종자 파종 후 충분히 관수하여 수목의 활착 및 종자의 발아가 유리하도록 활착 때까지 철저히 관리하여야 한다.

(9) 천공 및 녹화분을 이용한 암반사면 녹화공법

① 개요

채굴이 끝난 채석지 잔벽면이나 암반사면의 표면을 녹화시키는 방법으로 천공기로 깊이 15~100cm, 직경 10~50cm의 구멍을 뚫은 후 녹화분을 삽입하여 녹화기반을 조성함으로써 파종 및 식재를 통해 암반비탈면을 녹화시키는 것을 특징으로 한다. 녹화분에 식생 기반재인 배양토를 만들어 넣어 녹화종자와 미생물을 첨가하며, 강우에 의한 녹화분 배양토의 유실방지를 위하여 황마를 멀칭제로 사용하여 녹화식물(덩굴성 및 자생식물)의 활착에 용이한 조건을 만들어주어 암반비탈면에 빠른 식생을 조성하여 녹화를 유도하게 한다. 또한 채굴이 완료된 후 한꺼번에 녹화를 하는 것이 아니라, 채굴이 진행 중에도 채굴이 완료된 맨 위 정상부 잔벽 면부터 천공을 하여 단계별로 녹화를 실시할 수 있어 경관보전을 하면서 채굴과 동시에 녹화공법을 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

② 재료

1) 배양토

배양토는 산림 부식토(Humus soil of forest) 1500g, 일반 상토(Merchantable general soils) 600g, 혼합토(Mixed soil) 1100g(산림 부식토 400g, 일반 상토 200g, 산림 표층토 500g을 혼합) 또는 산림 표층토(Topsoil of forest) 1500g으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 1종 이상으로 조성하며, 토양 미생물 제제를 배양토 중량 기준으로 1~2%씩 첨가한다.

2) 녹화분

천공된 구멍 속에 들어맞는 직경 100~500mm 크기로서 원형 통형 또는 사각형 형상으로 사용한다.

3) 녹화수종

톨훼스큐, 퍼레니얼 라이그라스, 바랭이, 구절초, 참싸리, 낭아초, 담쟁이, 등나무, 마삭줄, 인동덩굴, 댕댕이덩굴, 능소화 등을 사용한다.

3. 종자뿜어붙이기

(1) 종자뿜어붙이기 개요

① 개요

종자뿜어붙이기공법(Seed spray measures, Hydroseeding measures)은 비교적 토질조건의 제약을 적게 받으며 성□절토 비탈면 모두 적용이 가능하나 60°이상(1:0.6)의 급경사비탈면에서는 종자의 정착, 생육공간이 부족하여 적용시 녹화효과가 불량하다.

이 공법은 공사비가 저렴하고 기계화 시공으로 공기와 인력이 절감되고, 하자보수가 용이하며 다른 녹화공법과 병행하여 사용할 수 있을 뿐만 아니라 기계를 이용하여 시공하므로 대단위 면적을 빠른 시간 내에 시공할 수 있는 반면, 종자의 완전 발아, 활착 이전에 우수에 의한 세굴 및 유실에 대한 저항성이 거의 없으며, 씨드스프레이 살포작업시 종자가 시공 비탈면 하단부로 많이 떨어지므로 시공 후 하단부에 집중적으로 잔디가 발아되며 상부로 갈수록 잔디의 생육밀도가 떨어지고 초기발아가 원활하지 못할 경우 2차 식생유도에 어려움이 따른다. 또한 암반지역 적용시 시공효과가 떨어진다.

균열과 절리가 많고, 요철이 많은 비탈에 종자를 뿜어 붙이면 틈에 종자가 들어가서 발아하여 녹화하게 되므로 효과적인 녹화공법이다. 개량화된 제품을 포함하여 시중에 유통되고 있는 종자뿜어붙이기공법으로는 PEC 1,2,3공법, PVA Seed Spray, ECO-FLEX, 슈퍽스 Seed Spray, CODRA Spray, S.O-SOIL Guard Spray, GREENPOL Seed Spray, G.S Spray, GL녹화공 Spray, GESS Spray 등이 있다.

② 재료

종자뿜어붙이기공법의 재료는 식물성 섬유재, 토양침식방지제, 비료, 종자, 색소, 물 등이 있으며 이들 재료의 혼합에 따라 시공성이 달라진다. 각 재료의 특성은 다음과 같다.

1) 식물성 섬유재

땅깎기 비탈 및 흙쌓기 비탈은 물론 암절개지나 각종 훼손지의 녹화 공사구역에 사용하며 토양을 결집시켜 유실을 방지하고, 보수성을 높이기 위해 화이버 또는 식물성 섬유류가 사용되며 토양층의 피복재 역할도 한다.

2) 토양침식방지제

토양의 표층부를 고결시키고, 피막을 형성하여 종자, 식물성 섬유재, 비료 등이 흘러내리는 것을 방지하고, 토양침식을 억지하기 위하여 사용되며 주요한 제품으로는 Encap, Coherex, Soil-guard, Unisol-91, 아스팔트 유제, 합성수지계의 토양침식방지제 등이 있다.

3) 비료

속효성 복합비료와 완효성 복합비료를 동시에 사용하면 효과적이다.

4) 종자

종자뿜어붙이기공법에 도입되는 종자는 대부분 수입에 의존하므로 품질보증서 및 종자검정서가 있어야 하며 외래도입종자들은 최소 2년 이내 채취된 종자로 평균발아율 60% 이상, 순량률 95% 이상의 종자를 사용해야하며, 향토종자들로 발아율은 최소한 50%이상이어야 하며 순도가 높게 정선된 것을 사용하도록 한다.

5) 색소

시공시 종자 산포지역과 미산포지역을 구분하여 작업이 용이하도록 하기 위하여 첨가하는 것으로 일반적으로 마아카이드 그린 등이 사용된다.

6) 물

종자뿜어붙이기공법에 사용하는 물은 깨끗한 시냇물이나 상수도 물을 사용하며, 오염되거나 식물생육에 불리한 이물질이 섞여 있는 물을 사용해서는 안 된다.

③ 시공

1) 비탈면 상부로부터의 유수와 지하수의 분출 등이 있는 경우에는 비탈 안정공사의 기초공사로서 필요한 비탈 흙막이공사, 속도랑 내기공사, 수로 내기공사 등을 미리 시공해서 강우 등에 의한 붕락을 방지하여야 한다.

2) 시공 시에는 먼저 비탈 다듬기 공사를 한 다음, 건조시에는 종자의 발아를 촉진하고 뿜어 붙인 부착물의 침투를 좋게 하기 위하여 비탈 1㎡당 1~3L의 물을 미리 살포하고 시공한다. 추운 겨울이나 무더운 여름, 건조 시기 등을 피하여 시공한다.

3) 수압식 파종기는 탱크에서 재료와 물을 배합한 다음 펌프로 뿜어 붙이는 방식으로 시공하는데, 물, 종자, 비료, 식물성 섬유류, 안정제의 순서로 재료를 탱크에 투입하고 10분 이상 잘 혼합한 다음 골고루 살포한다.

4) 파종 2개월 이내에 발아가 골고루 되지 않을 때에는 재파종하여야 하며, 종자의 발아

성립본수는 1.0㎡당 2,100본을 표준으로 하며(초본2,000본/㎡, 목본100본/㎡), 한 종류의 발생기대본수는 총발생기대본수의 10% 이하가 되지 않도록 한다.

5) 시공 후에 단위면적당 사용 재료의 양을 조사하기는 곤란하므로, 시공 전에 시방서를 기초로 해서 시공면적에 대한 사용 재료량을 계산하고, 시공 후에는 그 양이 시공 면적에 전부 사용되었는가를 확인할 필요가 있다.

(2) 코아(쥬트)네트(Coir, Jute net) 종자뿜어붙이기공법

① 개요

네트형태의 침식방지망을 이용하여 절개지를 덮어 침식방지 및 발아촉진, 활착을 도모하는 녹화 공법으로 배수처리 및 지반정리가 완료된 풍화암, 마사토 비탈면에 종자뿜어붙이기(Seed Spray)를 실시한 후 코코넛열매껍질(Coir net)에서 추출한 섬유질과 황마(Jute net)를 재료로 한 천연섬유를 재료로 한 네트를 덮어 시공하며 시공비가 저렴하고 수분흡수율, 보온, 방부, 방충, 인장강도가 좋으며, 코어네트의 경우 7~8년 경과 후 네트가 부식하여 유기질 비료 역할을 하여 식물발아, 생장에 도움을 준다. 코아(쥬트)네트 공법은 단순 종자뿜어붙이기공법에 비해 수분흡수율이 높으므로 다른 공법에 비해 30% 정도의 세굴방지 효과가 높으나 재료의 내구성이 짧으며 시공시 경관이 좋지 않고, 발파암 등 식생기반이 열악한 곳에서는 녹화효과가 없으며 경화토질, 화강풍화토, 사질토 구간에서는 녹화율이 낮아 사용에 주의가 요구된다. 또한 건조, 습윤상태에 따라 재료의 수축·팽창이 발생하므로 시공시기 및 기후에 따라 시공효과가 달라진다. 재료의 중량이 무거우므로 시공인력이 많이 소요되어 시공성이 떨어지며 굴곡이 있는 비탈구간에는 적용하기 어렵고 비탈면 하단부 붕괴 시 네트의 일체화 연결로 인해 비탈 상단부의 네트까지 영향을 미치는 문제점이 있다.

② 재료

코아네트의 규격은 φ5mm×20mm×20mm, W2m×L20m, 평균중량은 400g/㎡으로 쥬트(jute)네트 보다 경량이며 수분 함유량도 적다. 쥬트네트는 부식 기간이 2~3년 정도로 코아네트에 비해 부식이 빠르며 규격은 φ0.5mm×5mm×5mm, W3.81m×L180m 이다.

③ 시공

절·성토면의 시공부위에 잔돌 및 비탈면을 정리하고 종자혼합 및 투입자재를 설계물량에 맞추어 적절하게 물탱크에 혼합 후 종자 살포기로 1차 종자뿜어붙이기를 실시한 후 비탈면 길이에 맞게 절단한 네트를 좌우 10~20cm씩 겹쳐서 고정핀으로 비탈면에 고정한

후 혼합비에 맞춰 혼합한 종자로 2차 종자뿜어붙이기를 실시하며 가뭄으로 인한 발아율 저조시 즉시 관수작업을 실시하여야하고 지속적인 관리가 필요하다. 환경여건이 불량하여 시공이 어려울 경우 결속선을 이용하여 시공하며 네트 포설 시에 네트가 팽팽하지 않게 주의해야 한다.

(3) 볏짚 종자뿜어붙이기공법(Straw spray, 볏짚거적+seed spray)

① 개요

볏짚을 W1.0×L60m의 규격으로 고르게 펴서 짠 것을 비탈면에 종자뿜어붙이기한 후 그 위를 덮어 단단하게 고정시켜 줌으로써 보온·보습효과를 높여 발아를 촉진시켜서 비탈면을 녹화시키는 공법이다. 절·성토 토사구간에 모두 사용 가능하나 성토구간에서의 적용성이 더 높다. 볏짚은 부식되는데 1년 정도 소요되며, 부식 후 유기질 비료역할을 한다. 집중 호우시 세굴에 대한 저항력이 약하며 강풍이 부는 지역에는 적용이 곤란하며, 토사지역이라도 견질화강풍화토지역이나 자갈, 돌, 암석조각 등이 많고 토질이 좋지 못한 지역에서는 황폐화되는 사례가 많아 사용에 주의가 요구된다.

② 시공

절·성토면의 잔돌 및 비탈면을 정리한 후 종자 혼합 및 투입자재를 설계물량에 맞추어 적절하게 물탱크에 혼합하고 종자살포기로 1차 살포를 실시한다. 비탈면 길이에 맞게 절단한 볏짚거적을 좌우로 10~20cm 정도 겹쳐지도록 펼친 후 가로 3m 간격으로 띄운 후 4m 마다 1개소씩 고정핀으로 폴리끈과 거적을 고정하며 가뭄으로 인하여 발아율이 저조하면 즉시 관수작업을 실시하도록 하고 지속적인 관리가 필요하다.

(4) 그린네트 생태복원공법

① 개요

절·성토비탈면의 일반 토사구간에 종자의 비산 및 집중을 방지하기 위해 일정간격의 골파기를 하고 여기에 소석회와 종자가 섞인 식생기반재를 충전한 후 생태복원형 종자를 포함한 부속자재를 전면 살포하고 그 위에 자연분해성 섬유와 볏짚을 조합한 네트를 피복해 주는 공법이다.

② 시공

1. 골파기 2. 그린팩 충전 3. 종자살포 4. 그린네트 피복



<그림 16> 그린네트 생태복원공법 시공 사례

(5) PEC 1,2,3공법

① 개요

PEC(Polymer-Ecology-Control)1,2,3공법은 음식물 쓰레기를 활용한 버섯 재배에서 나오는 2차 부산물을 환경 복원 기술로 처리, 녹화 토양으로 재활용하는 녹화기술로 천연소재인 바크퇴비와 접착제 등을 식생기반재로 사용하여 인공비탈면이나 자연비탈면 중 식물의 생육조건이 불량한 절·성토 토사 비탈면이나 화강풍화토 비탈면 및 표층 유실의 우려가 있는 비탈면 등에 적용하는 개량화된 Seed Spray공법이며 시공지역의 토질 상태에 따라 적용한다.

이 공법은 식생재료를 분사·부착함으로써 척박한 식생기반환경에서도 식생의 생육을 가능하게 하고 지표면에 식생재료를 분사·부착하여 표층의 유실을 억제하고 건조를 방지하는 효과가 있으며 기반재 내부에 수분보유능력을 개선하여 급격한 탈수 또는 건조로부터 토양과 식생을 보호하고 발아 및 생육의 최적조건을 형성하는 하고, 서리에 대한 저항력이 대단히 강하며, 산성 및 알칼리성 토양에도 동일한 성능을 발휘하는 특징이 있다.

② 재료

이 공법의 재료는 크게 식생기반재, 종자, 토양안정제, 볏짚, 코어네트, 앙카핀과 철판팩 등으로 구분할 수 있다.

1) 식생기반재

버섯배지, 바크퇴비 등의 천연재료를 주재료로 하여 코코피트 등의 토양개량제와 토양, 무기·유기질 비료를 첨가하여 보수·보비성이 뛰어나며 입단구조 형성이 가능한 특수인공토양을 제조하여 사용한다.

2) 종자

사용종자의 배합은 목표하는 식생군락의 유형에 따라서 발아 기대본수를 기준으로 배합하며, 시공조건에 따라서 사용종자의 유형과 양을 결정한다. 다양한 초본류 및 목본류를 도입하여 계절별로 특색있는 경관연출을 함과 동시에 궁극적으로는 천이를 통하여 자연림으로 복원한다.

<표 5> PEC 1,2,3공법의 종자배합

표준 녹화형	**특징**	지형, 기후 등 지역적 조건에 관계없이 우리나라에서 일반적으로 적용 가능한 식생유형으로서 식물의 조기활착 및 장기천이를 목표로 함	
	식생	목본종	참싸리, 낭아초, 비수리, 사방오리, 개쉬땅나무, 붉나무
		초본종	민들레, 벌노랑이, 패랭이꽃, 끈끈이대나물, 도라지, 구절초, 마타리, 쑥, 왕김의털, 큰김의털, 수크령, 억새, Perennial ryegrass, Kentucky bluegrass
		사면안정종	Tall fescue, Perennial ryegrass, Kentucky bluegrass
조기 녹화형	**특징**	조기녹화 및 사면조속안정을 위해 초기발아와 생육이 빠른 사면안정종 및 다양한 꽃으로 경관을 향상시키는 향토 및 외래 초종을 중심으로 한 녹화방식	
	식생	사면안정종	왕김의털, 큰김의털, 수크령, 억새, Perennial ryegrass, Kentucky bluegrass
		개화초종	코스모스, 금계국, 과꽃, 기생초, 끈끈이대나물, 수레국화
		향토초종	벌노랑이, 패랭이, 쑥, 신국, 쑥부쟁이, 안고초, 구절초
산림 천이형	**특징**	주변환경과 유사한 산림식생을 조성하기 위하여 초기단계의 산림미기후와 토양을 형성하고, 자연천이와 산림수종의 정착을 목표로 함	
	식생	산림목본	붉나무, 자귀나무, 청단풍, 참싸리, 낭아초, 비수리, 사방오리, 개쉬땅나무, 해송
		산림초본	쑥, 도라지, 신국, 꽃향유, 들잔디, 돌마타리, 쑥부쟁이, 안고초, 참억새, 벌노랑이, 마타리, 패랭이, 왕김의털

3) 토양안정제(접착제, Terra-control)

식생기반재를 구성하는 각 재료들의 구조를 입단구조를 결집시켜 보수·보비력을 증강시킴은 물론, 유실을 방지한다.

4) 볏짚거적

환경에 무해한 천연소재로서 보온·보습효과를 갖는다.

5) Coir-net

환경에 무해한 천연소재로서 볏짚거적보다도 우수한 표면침식 억제효과를 갖고 있으며 또한 식생기반재를 보온·보습하는 효과를 갖는다.

6) 앙카핀과 철판팩

앙카핀(L=300㎜)과 철판팩(L=200㎜)은 절·성토 토사 비탈면에 볏짚거적이나 Coir-net을 고정시킬 때, 또는 화강풍화토·풍화토 비탈면에 Coir-net을 고정시킬 때 사용한다.

③ 시공

1) 시공순서

재료혼합 → 취부공정 → Coir-net 설치(PEC2,3) → 정리작업

2) 시공방법

㉠ 취부작업

지형, 경사도, 요철부위 등 현장조건에 따라 정해진 시공기준에 따라 분사·부착하며, Coir-net을 적용하는 PEC 2, PEC 3 공법의 경우 1차 취부시에는 전체 종자 사용량의 60%, 2차 취부시에는 전체 종자 사용량의 40%를 혼합하여 시공한다.

㉡ 볏짚거적 설치

비탈면 상단에서 아래로 볏짚거적 roll을 펼쳐 내린 후, 볏짚거적이 지면에 밀착될 수 있도록 정리한 후 횡으로 비닐끈을 설치하고 철판팩, 대못 등 고정핀을 박아서 볏짚거적을 고정시키며, 양단이 겹치는 폭은 5㎝ 이상으로 한다.

㉢ Coir-net 설치

비탈면 상단에서 아래로 Coir-net roll을 펼쳐 내린 후, Coir-net이 지면에 밀착될 수 있도록 정리한 후 앙카핀과 철판팩을 이용하여 Coir-net을 고정시키며, 양단이 겹치는 폭은 5㎝ 이상으로 하고 지반의 상태에 따라 앙카핀과 철판팩의 적용을 조정할 수 있다.

(6) PVA SEED SPRAY(종비토 플러스 공법)

기존의 녹화조성물에 고흡수성 폴리머 폴리비닐알콜(P.V.A)을 활용, 녹화를 위한 식물의 발아 및 성장에 필요한 수분을 적기에 공급함으로써 기존공법을 보다 안정화, 개량화시킨 공법이다. 절·성토 구간의 식물이 생육 가능한 토사 및 풍화암 지역(일반토사 60% 내, 화강풍화토, 경질토, 자갈 40%내)에 적용가능하며 초본류 및 야생초화류도 혼파가능하며 수분을 조절하는 역할로 종자의 고사확률을 낮추는 효과가 있다.



<그림 17> PVA SEED SPRAY 시공 사례 (전)



<그림 18> PVA SEED SPRAY 시공 사례 (직후)

(7) 에코플렉스(ECO-FLEX) 생태복원공법

① 개요

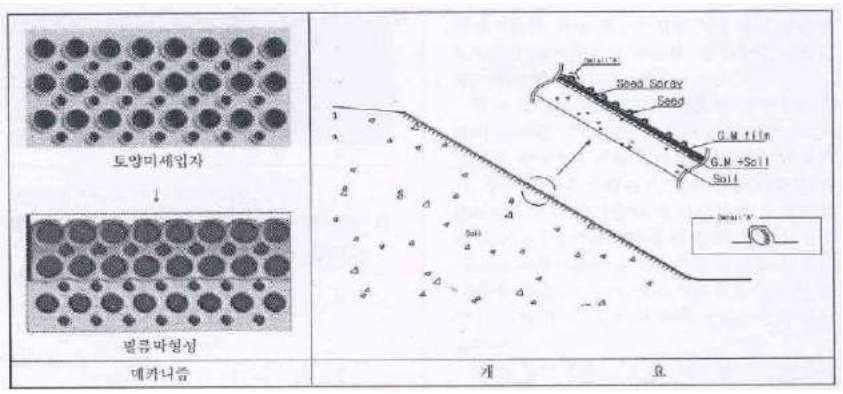
도로건설 및 택지지구조성, 산업단지 조성 등으로 인하여 발생하는 쌓기부, 깍기부 일반 토사지역에 친환경 멀칭제(ECO-FLEX)와 미생물 유기질 토양(ECO-FLEX SOIL), 초화류 및 목본류 등의 혼합종자를 물과 함께 혼합하여 살포하는 녹화공법으로 환경친화적인 소재를 사용하여 환경오염이 없고, 토양의 침식을 방지하며, 특히 양질의 기반재를 혼합하여 녹화품질을 향상시켜 시공비용이 낮으면서도 시공 효율성이 좋은 친환경적인 공법이다.

② 시공



(8) 보습기능성라텍스(GREEN MILK) 녹화공법

이 공법은 보습기능성라텍스(Green Milk)를 뿜어붙이기한 후 법면에 적용하여 종자의 유실방지, 보온·보습 효과 향상과 기능성 필름막과 토양입자의 네트워크 구조체 형성을 통한 세굴방지를 목적으로 하는 성토 비탈면 침식방지 녹화기술이다. 기존의 네트 및 거적, 블록을 사용한 비탈면 보호 공법들과 달리 성토 비탈면에 종자를 뿜어붙인 후 그린밀크를 살포하여 살포된 그린밀크가 경화하면서 비탈면에 뿌려진 씨앗의 유실방지와 보온·보습효과 향상, 토양 표면의 고착 안정화를 추구한다. 특히 그린밀크의 필름막 형성은 토양과 일체된 고형표면 형성으로 우수 시 토사의 세굴에 대한 저항증진 효과를 가져오며 이 효과는 그린밀크 살포 후 약12시간 후면 필름막이 형성되어 그 기능을 지속하게 된다. 그린밀크의 효과로 인하여 종자뿜어붙이기 공법에서 사용하던 침식안정제를 사용하지 않는다.



<그림 19> 보습기능성 라텍스 녹화공법 개요

4. 식생기반재 취부공법

(1) 식생기반재 취부공법 개요

식생기반재 취부공법은 주로 암절토부 및 채석장 잔벽의 전면적인 속성녹화를 목표로 시공하는 암절토부 녹화공종으로 여러 가지 공법들이 개발되어 시공되고 있다.

비탈면의 녹화자재는 최근에 와서는 생육기반재는 주로 식생의 발아와 생육에 장기적인 양분공급원으로서의 역할과 지지역할을 해야 하므로 일반적인 자연토양을 쓰는 경우가 대부분이며, 여기에 유기물을 첨가해서 기반재로 이용된다. 특히 유기물은 최근에는 짚, 왕겨 등의 전통자재를 이용하는 경우가 많아졌으며, 음식물찌꺼기 등도 가공하여 활용되고 있다.

시공배합의 주요재료는 물, 초본·목본류 종자, 비료, 배양토(흙 또는 유기질이 많은 대용토양), 섬유류, 색소, 전착제, 양생제, 기타 토양미생물제 등으로 구성되며 두꺼운 부착을 위하여 철망(부착망), 착지핀, 앵커핀(접지핀), 고정와이어로프(또는 철근) 등이 사용된다. 재료는 반드시 KS 제품을 사용하고, 철망은 PVC 코팅이 되어 있는 것이나 알루미늄 망으로 하여야 한다.

우리나라에서 시공되고 있는 식생기반재 취부공법의 종류에는 CO-MAT 생태복원공법, 원지반식생정착(CODRA) 공법, 녹생토(RS)공법, 탑소일 암반녹화매트공법, 금비토생태복원공법, 자연생태복원공법(JSB), 생태복원 대생토 공법(GS식생토), SF분사녹화공법, 텍솔공법, 법면녹화배토습식공법(ASNA공법), PEC4공법, 슈펙스공법, NGR 녹화공법, 후리졸 녹산토공법, 연속섬유보강토(Geo-Fiber) 공법, 자연지반녹화(Supergel System)공법, 친환경반습식공법(ESM), GNS Slope 공법, TR 공법, S.O-SOIL SPRAY(습식녹화) 식생기반재 취부공법, S.O-유기질토 취부공법, 프로피아(싱싱토) 친환경 식생기반재녹화공법, GREENPOL 생태복원공법, GREENPOL 암절개면생태복원공, 그린토 비탈면 친환경 녹화공법(GM-SOIL), 에스엠플러스(SM+)녹화공법, 토양균 사면녹화공법, PNS 생태복원 녹화공법, GS 유실사면 안정녹화공법, GL 녹화공법, GESS(Green Emboss Slope System) 취부 녹화공법, 친환경(CHK)녹화공법, DKC SOIL-NET 녹화공법, DKC ECO-SOIL 녹화공법, AGRON SOIL(산림토) 녹화공, DS에코텍 생태복원녹화공법, 생태복원SS녹화공법, 암녹토 암절개면 보호 식재공법, BHS녹화공법, Lonseng Soil(Soil Fiber)공법 등이 있다.

식생기반재 취부공법은 식생기반재를 뿜어붙이는 두께에 따라 두꺼운 식생기반재 취부공법(T=5cm이상)과 얇은 식생기반재 취부공법(T=1~4cm)으로 구분하며, 두꺼운 식생기반재 취부공법에는 종자취부층과 생육기반층이 동일한 공법과 종자취부층과 생육기반층을 분리하여 시공하는 2층 식생기반재 취부공법이 있으며, 식생기반재의 두께는 종자취부층과 생육기반층을 합한 것을 말한다.

또한 식생기반재의 취부방식에 따라 건식과 습식으로, 사용자재에 따라서는 유기재료와 무기재료를 이용한 공법으로 분류할 수 있다.

① 식생기반재를 뿜어붙이는 방식에 따른 분류

1) 두꺼운 식생기반재 취부공법(후층기반취부공법, thick-layer spraying measures)

암반과 같은 무토양 훼손지를 녹화하기 위해 개발된 공법으로 보통 5cm 이상의 두께로 식생기반재를 뿜어붙인다. 처음에는 두꺼운층 객토뿜어붙이기공법(후층객토취부공)이라 불렀으나 토양이외의 기재도 뿜어 붙이는 일이 많아 두꺼운층 기재뿜어붙이기공법(후층기재취부공법)이라고도 부르게 되었다[2]. 철망깔기 공사를 병용하는 것이 효과적이다.

2) 2층종자뿜어붙이기공법(2층종자취부공, two-storied seed spraying measures)

비탈면에 균열이 있는 암반사면이나 경질토사, 절토비탈면, 산성토지 등 보호·녹화가 곤란한 지역에 식물의 생육에 적합한 고차단립구조를 지닌 식생기반재를 조성하여 주고, 종자층을 식생기반재 위에 추가로 조성하는 방법이며, 주재료로 식생기반재(점토·유기재·비료 등), 양생제(식물성 섬유·토양활성제 등), 안정제(천연식물성유지), 단립제(선상유기고분자), 반응제, 종자를 사용하고 필요시 멀칭재(볏짚), 구성제(고분자수지) 등을 사용하여 종자발아를 촉진하며 식생기반재는 내침식성이 우수하여야 하고, 자연군락으로의 복원을 목적으로 할 때 적용한다. 생육기반을 두껍게 조성하기 위하여 한번 뿜어붙이기 공사를 하고 물이 빠진 다음에 그 위에 다시 한번 뿜어붙이기 공사를 하며, 생육기반재를 한번의 공정으로 두껍게 뿜어붙이기를 할 수 없던 시기에 개발된 뿜어붙이기 공법이다. 그리고 이후 두껍고 견고한 생육기반재를 일차 뿜어붙인 후 종자발아에 좋은 기재와 종자를 함께 혼합한 후 두께 1~2cm 정도로 2층으로 뿜어붙이는 방법으로 발전되었다. 이 공법은 종자층만 따로 뿌리기 때문에 종자량이 적게 소요되어, 종자값이 비교적 고가인 목본류와 자생종의 파종에 효과적인 시공법이 되고 있다.

3) 얇은식생기반재뿜어붙이기

주로 완경사지의 요철경암부나 리핑암이하의 암반비탈과 견질마사 등의 녹화가 곤란한 토질지역 및 토사비탈에 전면적인 속성녹화를 목표로 시공하며, 기반재의 시공두께가 4cm 이하로 비교적 얇은 보호·녹화공종이다. 시공배합의 주요재료는 두꺼운 식생기반재 취부공법과 유사한 재료인 물, 식물종자, 비료, 비토(흙 또는 유기질이 많은 대용토양), 섬유류, 색소, 전착제, 양생제, 기타 토양미생물제 등으로 구성되나 부착성

2) 우보명, 권태호, 김남춘. 1993. 임도비탈면의 자생식생침입과 효과적인 비탈면 녹화공법 개발에 관한 연구(절토비탈면을 대상으로). 한국임학회지 82(4) : 381-395.

과 생육기반을 위해 취부 전에 Net망, 고정핀 등을 부착하기도 하며, Net망 없이 시공하기도 한다.

② 사용재료에 따른 분류

이 공법에는 식생기반재로서 유기질 비토(피트모스, 수피, 퇴비 등)를 주체로 쓰는 유기질기재뿜어붙이기공법(유기질기재취부공법)과 흙을 주체로 사용하는 무기질기재뿜어붙이기공법(무기질기재취부공법)이 있다. 유기질기재뿜어붙이기공법은 비료양분의 지속성에 대한 우려가 적으므로 양분요구도가 높은 도입식물과 양분흡수량이 많은 상록활엽수 등에 적합한 공법이며, 무기질기재뿜어붙이기공법은 흙이 사용되므로 자연 천이의 촉진에 유리하다.

③ 취부방식에 따른 분류

1) 건식공법

식생기반재(자연토양 혹은 인공토양), 침식방지제 및 종자 등을 혼합하여 압축공기를 이용하여 압송해서 뿜어 붙이는 공법이다. 에어컴프레셔를 이용하여 뿜어 붙이는 공법과 중간층·두꺼운 층으로 기재를 뿜어 붙이는 공법이 있다. 습식 식생기반재뿜어붙이기 공법에 비하여 뿜는 압력이 높고, 혼합한 물량이 적으므로 뿜기 작업할 때에 뿜기 재료의 유실이 적다. 또한 뿜기 기반재의 밀도가 비교적 높지 않으므로 보수성이 높은 편이다. 시멘트 등 강력한 침식방지제를 사용하면 두껍게 뿜어붙이기(암질에 따라 10~15cm 두께)를 할 수 있으나 사용되는 종자의 양이 많이 소요되고 경제적, 기술적인 문제로 사용할 수 있는 종자의 종류가 제한적이라는 단점이 있다.

2) 습식공법

식생기반재(자연토양, 인공토양, 토양개량제 등), 침식방지제 및 종자 등을 압력수를 사용하여 압송해서 뿜어 붙이는 공법이다. 건식 식생기반재 뿜어 붙이기 공법에 비하여 뿜기 도달거리가 길어 시공성은 좋으나, 식생기반재를 한꺼번에 두껍게 뿜어 붙이기 할 수 없는 단점이 있으나 조성된 식생기반층 위에 다양한 종류의 종자를 상대적으로 소량 사용해도 녹화가 가능하기 때문에 비탈면에 다양한 식물종의 도입이 가능하다는 장점이 있다. 암질에 따라 5~7cm 두께로 시공되며, 암비탈면의 요철이나 형태에 따라 비탈면 안정을 위해 도입된 철망을 완전하게 덮지 못하고 철망의 일부가 노출될 수 있다. 최근 노즐의 관에서 물과 토양을 순간적으로 반응시켜 단립구조 상태로 비탈면에 부착되도록 하는 방법과 연속장섬유를 뿜기용 기재 속에 혼입하는 기술이 개발되어 10cm 이상의 두께까지 뿜어붙이기 할 수 있다.

<표 6> 식생기반재 취부공법의 분류

구 분	종 류	개 요	공법 예
취부방법에 따른 분류	건식형태	■ 식생기반재(자연토양 혹은 인공토양), 침식방지제 및 종자 등을 압축 공기를 이용하여 압송해서 뿜어붙이는 공법. ■ 뿜기 기반재의 밀도가 높고 보습성이 높아 식물종자의 발아 및 생육에 유리하다. ■ 습식에 비해서는 취부두께를 쉽게 조절할 수 있다. ■ 습식에 비해 재료의 유실이 적으며, 시공이 간편.	녹생토공법 PEC공법 텍솔공법 BHS공법
	습식형태	■ 식생기반재(자연토양, 인공토양, 토양개량제 등), 침식방지제 및 종자 등을 압력수를 사용하여 압송해서 뿜어붙이는 공법 ■ 건식에 비해 뿜기도달거리가 길어 높은 비탈면에서 시공성이 좋다. ■ 두껍게 뿜어붙이기 할 수 없는 것이 단점이다.	SF공법 ASNA공법 NGR공법 CODRA공법 슈퍽스공법
사용자재에 따른 분류	유기재료	■ 식생기반재로서 피트모스, 수피, 퇴비 등을 주체로 사용. ■ 유기재료는 식물의 발아와 생육에 각종 양분의 지속적 공급원 역할. ■ 양분요구도가 높은 도입식물과 양분흡수량이 많은 상록활엽수에 적합.	NGR공법 CODRA공법 PEC공법
	무기재료	■ 흙을 주재료로 사용하여 자연천이의 촉진에 유리. ■ 식생의 기반재 및 지지 기반 역할.	SF공법 텍솔공법 ASNA공법 녹생토공법 슈퍽스공법 BHS공법

(2) 원지반식생정착공법(CODRA공법)

① 개요

원지반식생정착공법은 특히 도로건설과 대규모 단지개발에 따른 절·성토사면에 대해서 인위적인 시설물이나 재료(망, 인공토양)의 도입을 억제하고 자연이 지닌 복원력을 이용하여 지반에 직접 식물을 정착시키는 방법이다. 이 공법은 식물생육의 초기단계인 발아와 초기생장에 필요한 최소한의 생육보조재와 선구식물의 역할을 수행하는 종자, 이의 접착을 위한 고분자 수지 등을 이용하는 공법으로 자연천이의 초기단계를 빠르게 진행시킨다는 점과 척박한 훼손지의 환경을 다음세대의 식물이 유입, 생장할 수 있는 생육환경을 조기에 조성해 준다. 동일한 식물이라도 생장환경에 따라 보다 나은 조건을 찾는 식물의 생리적 특성을 이용하고 선구식물 역할을 수행하는 식물을 통해 척박한 생육 환경을 개선시키고 주변으로부터 식물종의 활발한 유입을 유도하여 자연천이를 촉진시키는 공법이다. 외래종자는 선구식물 기능 수행을 위해 시간차를 두고 생장토록 배합, 처리하여 다음 세대를 위한 미기후, 토양 등을 개선토록 하며, 단일종의 우점에 의한 왜곡된 환경이 형성되지 않도록 10~16종의 식물종자를 도입하여 주변종의 침입이 원활하도록 하여, 다양한 식물상을 형성하여 단조로운 경관을 피하고, 시간경과에 따라 주변종 침입으로 주변경관과의 조화를 도모하는 공법으로 이 공법의 특징 및 적용기준은 다음과 같다.

1) 암지반의 녹화가능 여부는 발파암, 풍화암, 경암, 연암 등의 암반종류보다는 암표면의 상태에 따라 결정되며 절리, 균열, 요철이 발달한 곳에 효과가 좋으며 취부두께가 2cm 이하로 설계되므로 요철이 없는 취약 암반사면을 보호하는 기능은 다소 떨어진다.

2) 철망, 식물성 네트 등의 사용 없이 암지반에 직접 취부하여 녹화한다.

3) 특수접착제를 사용, 암표면에 취부함으로써 낙석이나 슬라이딩을 방지하고 마사토의 경우 코팅처리효과가 있다.

② 시공

1) 강우에 의한 사면의 안정과 보호를 위해 사면 상부의 산마루 측구, 종/횡배수로, 암거 등의 설치여부를 확인한다. 그리고 사면붕괴와 낙석의 방지를 위해 시공 전에 사면을 정리하여 안전을 도모하며, 성토면의 경우 지반침하에 따른 세굴 및 취부재료의 유실을 방지하기 위해 충분히 다짐 후 시공한다.

2) 비탈면의 상부에서 하부로 내려오면서 취부하며 시공하되, 좌우로 번갈아 취부하여 재료가 사면에 골고루 부착되도록 한다.

3) 취부순서는 다음과 같다.

㉠ 천연 면네트 설치 (CODRA SPRAY 제외)

㉡ 유기물 등의 영양물질을 포함하는 '원지반침투층'의 취부

㉢ 식물의 뿌리부 지지 및 영양원 기능을 하는 '생육보조층'의 취부

㉣ 화이버가 포함된 생육보조재와 종자, 고분자수지를 혼합한 '종자층'의 취부

㉤ 2회 이상 취부할 때는 초벌 취부가 완전히 건조된 다음 취부하여야 하며, 습식공법이므로 재료가 흘러내리지 않도록 시공해야 한다.

(3) 녹생토(RS)공법

① 개요

경암, 연암, 풍화암 및 건조척박지, 견고한 점토질과 사력 비탈면에 보비력, 응집력, 통기성이 강한 복합 유기질로 구성된 녹생토를 양잔디와 야생화, 향토 초목본류를 현장여건에 맞게 혼합 살포함으로써 비탈면 유실 및 표면 낙석방지를 겸한 식생기반을 조성하여 녹화를 유도하는 공법이다.

이 공법의 장점은 낙석방지효과가 높으며, 폭우에 대한 비탈면 유실이 적다. 시공 지반 및 기후에 따라 알맞은 종자 선택으로 자연스런 경관을 조성할 수 있으며 보습·보비성이 뛰어나 가뭄에도 피해가 적으며 암반위에서 이상적인 영구식생기반 조성이 가능하다. 암절개면을 우수한 식생기반으로 조성함과 아울러 초목본류 종자와 혼합 취부함으로써 단시일 내에 녹화할 수 있다. 초기발아 녹화로 피복의 효과가 크고 사후관리가 용이하며, 경암, 연암, 풍화암 및 건조척박지에 보비력, 보습력, 통기성이 강한 복합 유기질로 구성되어 있다. 한편 하수오니 등의 물질이 있어 토양오염문제를 야기시키고 있으며, 지나친 외래초종 위주의 시공으로 여름철 하고 현상 시 경관이 불량하며 주변 자연식생의 천이가 지연되는 등 자연식생의 회복이 늦은 단점이 있다.

② 재료

녹생토의 주재료는 산업폐기물을 활용하였고, 기존의 녹생토 공법의 문제점이던 보습력 및 응집력을 증진시키기 위하여 자연섬유인 볏짚을 잘게 썰어 혼합하거나 코코넛 껍질 분쇄물을 혼합하여 성능을 개선함으로서 갈라짐으로 인한 건조방지와 보습력, 응집력의 증진 효과가 있다. 기존 공법의 주재료인 연탄재의 대량 수급난으로 연소재, Fly ash, Bottom ash, 마사토 등으로 대체하여 재료의 질을 개선하여 식물환경에 더 좋은 영향

을 미치도록 하였다.

(4) 금비토 생태복원공법

① 개요

식생기반이 열악한 암절개지나 건조 척박한 법면에 부착망을 설치한 후 금비토 조성물과 생태복원형 혼합종자를 현장조건에 적합하도록 배합하여 취부하는 생태복원공법이다. 적용 가능 사면은 구배 1:0.7 내외의 리핑암 및 연암지역(T=10cm) 및 구배 1:0.5 내외의 보통암 및 경암지역(T=15cm)이다.

본 공법은 식물천이에 의한 생태계 복원으로 자연경관을 창출하고 점토자재에 의한 생화학작용으로 입단구조를 형성한다. 우수한 보습, 보비력으로 식물발아력을 증대하고 부숙퇴비 사용으로 초기 인장강도 상승 및 표면 균열이 적다. 역구배, 직구배 구간은 자연스런 암반노출이 유리하다.

② 시공



부착망, 앙카핀(착지핀) 설치　　금비토 취부　　시공완료

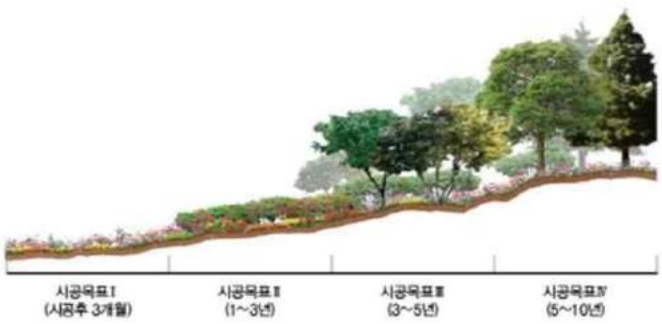
<그림 20> 금비토 생태복원공법 시공 사례

(5) 생태복원 대생토공법

① 개요

절·성토 비탈면의 식물생육이 곤란한 토사지, 암절개지, 급경사지, 척박지 등 자연식생 녹화가 불가능한 지역에 식생기반재(생태복원대생토: GS식생토, SSAF-SOIL)를 취부하여 자연친화적인 녹화가 이루어지도록 개발된 공법으로, 식생기반재를 다양한 식물종자와 혼합하여 비탈면에 고정된 부착망 사이에 T=0.5~15cm두께로 취부하여 훼손된 비탈면을 안정화시키고 주변 환경과 조화가 이루어지도록 녹화하는 친환경적인 녹화공법이다.

기존 녹화공법의 문제점인 생물종다양성 결여, 한지형잔디위주의 급속녹화, 주변과의 경관·생태적 이질성, 경제성(녹화품질 대비 공사비의 비효율) 등을 보완하고 공법을 다양화하여 공사 효율성 및 공사비 절감효과(20~50%)를 높일 수 있으며, 산성토양의 개량효과 및 환경오염 방지를 증대시켜 영구적인 식생을 조성하므로 지속적인 녹화가 가능하다.



<그림 21> 생태복원 대생토 녹화공법의 복원목표

② 재료

1) 종자

식물종자는 건조지에 강하고 발아력이 우수한 선구수종을 적극 도입하여 지속적인 식생천이 조성 및 식생군락 조성으로 자연생태복원이 이루어지도록 구성되어 있다. 주변 식물 조사 후 유사형태의 다양한 재래 초·목본 수종(13~17종)을 기본으로 주변환경과 조화를 이룰 수 있도록 배합·설계되었으며, 대상지의 여건이나 발주처의 요구 등에 따라 조정하여 사용할 수 있다.

2) 식생기반재

생태복원대생토(SSAF-SOILL) 혼합재료는 정수슬러지, 하수슬러지, 마사토 등 부식질 기본제에 각종 토양개량제와 지효성 유기질비료 및 섬유질이 긴 양생제를 첨가하여,

산성토양의 중화 및 중금속용탈을 방지하고 보수, 보비성을 극대화 하며 토양의 단립구조 형성이 가능하도록 특수 조제된 인공토양으로 식물발아 후 뿌리 활착시기에 뿌리의 지지 기반이 되는 요소로 토양과 비슷한 물리적 성질과 이화학적 성질을 보유한 재료로 구성되어 있다.

③ 시공



면정리 및 부착망설치 SSAF-SOIL 취부 시공 후 녹화모습

<그림 22> 생태복원 대생토 공법 시공 사례

(6) 텍솔 녹화토공법

① 개요

텍솔(Texsol) 녹화토공법은 프랑스 국립도로 및 교량연구소에서 개발된 것을 국내 실정에 맞게 응용한 기술이다. 모래를 압축공기로 타설하면서 동시에 폴리에스터 화학섬유를 고압수로 뿌린 후 잘 다지면 모래와 실이 뒤엉켜 텍솔 구조물을 형성하여 모래 입자들이 흐트러지지 않는 점착강도를 발휘하면서 전단강도를 증가시키는 공법이다. 텍솔공법(Texsol)은 표면녹화가 곤란한 연암비탈면, 사질지반, 산성토지의 녹화에 적용이 가능하며 구조적으로 안정성이 우수하여 급경사지 및 옹벽표면과 특수시설물 위장녹화에 사용되며 녹화효과가 빠르다. 그러나 텍솔공법(Texsol)은 앵커박기공법과 같은 안정공법과 같이 사용해야 하며, 자연식생천이에 불리하고 지속적인 유지관리가 필요하다. 텍솔의 강도는 모래의 입도와 실의 특성에 의해 결정된다.

② 재료

일반적으로 텍솔 녹화토 공사에 사용되는 재료는 초본 및 목본류 종자, 특수녹화토, PVC코팅망 및 앵커핀, 착지핀, 연속장섬유 등이 있으며 텍솔 1㎥당 2~4kg의 연속장섬유가 소요된다.

1) 녹화토

유기질과 점토를 포함한 부식토에 각종 토양개량제인 안정제, 점착제, 보습재, 비료를 첨가하여 보수 및 보비성을 향상시키고 식물생육에 적합하도록 특수 제조된 인공토양이다.

2) 연속장섬유

텍솔 녹화토에 사용되는 장섬유는 특수가공된 폴리에스터 합성섬유를 사용한다.

3) 부착망

부착망은 직경이 3.2mm 이상의 PVC코팅된 철선을 사용한 망으로써 부식의 우려가 없어야 한다.

4) 종자

초기 씨앗은 최소 2년 이내 채취된 종자이되 전년도 채취종자를 원칙으로 하며, 동해와 한해에 잘 견디는 종자를 선택해야 한다.

③ 시공

비탈면의 불순물, 나무뿌리 등 부착에 장해가 되는 이물질을 제거해야 하며 사면의 요철부위를 정리하고 용수 등이 있을 경우 시공 전에 적절한 조치를 위하고 녹화토를 취부하기 전에 장섬유와 물을 사면에 충분히 살포한 후 녹화토의 두께가 균일하도록 골고루 취부하고 텍솔 녹화토면이 직사광선을 받거나 한여름에 시공하는 경우에는 차광망을 설치하여 씨앗의 발아에 필요한 일정한 수분을 유지해야 한다.

(7) CO-MAT 생태복원공법

① 개요

CO-MAT생태복원공법은 마사토, 경질토사, 보강토사, 풍화암(리핑암), 발파암 등으로 이루어진 비탈면에 자연분해성 코매트 장섬유(EnPol 수지)와 식생기반재(코매트 조성물) 및 종자를 동시에 뿜어 붙여 비탈면의 토양 경도를 증가시켜 침식이나 세굴을 방지하고 수분 증발을 억제하며 온실 효과를 발생시켜 발아 온도를 상승, 유지시킴으로써 조기 발아 및 조기 녹화를 도모하는 녹화공법이며, 구체적으로 폴리에틸렌 옥사이드 5 내지 10 중량%, 시멘트 1 내지 10중량%, 코탄 10 내지 70중량%, 톱밥(제지용 슬러지) 10 내지 40중량%, 복합 비료 1 내지 5중량% 및, 임의로, 색소 1 내지 5중량%로 구성됨을 특징으로 하는 CO-MAT 조성물 및 이를 잔디 종자와 혼합하여 비탈면에 파종하여 건조 척박지에 식생기반을 부여하며 지면 나지에 유기질 매트를 조성하여 조기 녹화의 목적을

달성할 수 있는 공법을 제공한다. 장섬유에 의한 비탈면 안정성이 증진되고 식생기반층 형성에 의한 식물생육 환경개선으로 식물의 부착력과 착근력이 높아진다. 1:0.7이하의 급경사에서는 망을 설치한 후 시공한다.

② 재료

5cm 두께를 기준으로 할 경우 자연분해성 장섬유(코매트 조성물) 65g, 식생기반재 0.06㎥, 생태복원형종자 60g이 필요하다.

③ 시공



코매트취부(원경) 코매트취부(근경) 시공직후 부착력

<그림 23> CO-MAT 생태복원공법 시공 사례

(8) 탑소일(Topsoil) 암반녹화매트공법

① 개요

탑소일(Topsoil)암반녹화매트공법은 주재료인 황토 이외에 6가지 천연섬유질과 유기물(peatmoss, cocopeat, 볏짚, coconut, sisal, 제지화이바)을 혼합하여 토양구조를 떼알구조와 엉킴 현상과 결속력을 증가시켜 취부한 후 다시 비탈안정화 보조재인 매트를 보강시공하여 일반네트류, 매트공법, 볏짚공법으로 녹화가 어려운 경질토, 강마사토, 리핑암, 풍화암, 연암, 경암이나 발파암 지역에 환경친화적으로 녹화하는 공법이다. 자연섬유질 중에서 분해속도가 느리고 인장강도 및 인장신도가 뛰어난 sisal 화이바, coconut, 볏짚을 혼합하여 수분증발로 인해 나타나는 균열 발생과 이완, 탈각현상과 잔디고사와 슬럼화에 이르는 원인들을 완화 시킬 수 있고 취부 후에 비탈안정화 보조재인 매트를 시공함으로써 토양모재료의 수분공급 조절 효과는 물론 매트 위로 표면배수가 이루어져 시공 후 슬라이딩이나 탈각현상을 방지하여 사면을 2중으로 보호하며, 적정한 보온·보습 효과로 인해 황토와 유기물속에 들어있는 토양미생물의 증식이 활발하게 이루어져

peatmoss, cocopeat, sisal, coconut, 볏짚, 부식토(humus) 등을 분해시켜 식물체에 지속적으로 영양분을 공급하여 주는 특징이 있다.

② 재료

주재료로 황토와 하수처리장 슬러지를 사용하며 보조재료로 비료, 토양침식안정제, 사이살화이바, 코이어펠트, 코코피트, 피트모스, 볏짚, 제지화이바 등이 사용된다.

③ 시공

1. 능형망을 부착하고 취부한다.
2. 취부완료
3. 비탈안정화보조제(매트포설)



<그림 24> Topsoil 공법 시공 사례

(9) 슈퍽스 공법(자연생태복원녹화공법)

① 개요

슈퍽스 공법은 표층 식양토를 사용하여 훼손된 비탈면을 주변토양과 조화된 자연상태의 산림토양을 복원시키는 녹화공법으로, 자연토양 주재료와 무기물 부재료를 물과 직접 혼합, 분사하는 습식 공법이며 이 혼합물은 화학반응을 하여 취부후 떨어짐이나 세굴을 미리 방지하고 토양경도를 개선하여 식물의 생육에 적합한 조건으로 만들어 주는 역할을 하게 되며, 절개면 조기녹화와 주변 식생 천이가 가능한 토양경도를 유지, 초본류 뿐만 아니라 목본류를 파종하여 절개면을 복원코자하는 공법이다. 자재부착력이 우수하며 공극률 70% 이상으로 투수성이 좋고 보수성, 보비성이 우수하다.

② 재료

1) 슈퍽스 녹화기반재

자연토양을 주재료로 하고 식물과 미생물이 지속적으로 생육할 수 있는 바탕을 이루기 위해 토탄과 유기재료를 혼합 발효한 완숙퇴비와 공극률 극대화를 위한 질석 또는 펄라이트 등을 혼합하여 토양의 제반 성질을 안정시킨 생육기반재이다.

2) 슈퍽스 양생제

미생물의 서식지인 식물성 섬유와 식물과 미생물의 초기성장과 생육을 지원하기 위해 소량의 화학비료, 액체비료 및 고체비료 등을 적절히 배합하여 제조한 재료로서 비료효과를 장기적으로 지속시키는 역학과 토양입자간의 결합을 연결하는 효과가 우수한 섬유소 재료이다.

3) 슈퍽스 안정제

일정하게 배합되어 물과 혼합하여 녹화분사시 기계 적용성을 향상시키는 재료로서 시공 후에는 강우에 의한 비탈변 침식을 방지하는 역할을 수행하는 무기화합물이다.

4) 슈퍽스 단립제

식물과 미생물이 생육하기에 가장 적합한 산림 표층과 유사한 단립구조를 가진 토양을 만들고, 비탈면에 녹화기반재를 부착시키며 다량의 수분을 저장하는 구조를 형성시킴으로 수조역할을 이루는 무기계화합물이다.

③ 시공

법면 정리 능형망 설치 슈퍽스 취부



<그림 25> 슈퍽스 공법 시공 사례

(10) 슈퍽스 플러스 공법(자연숲 복원 녹화공법)

① 개요

자연상태의 산림토양을 복원시키는 녹화공법으로, 훼손된 법면을 주변토양과 조화된 자연상태로 복구하는 친환경적, 생태적, 경관적으로 우리 정서에 어울리는 자연친화적인 녹화공법이다. 굴곡이 있는 경암, 연암, 풍화암 등의 암법면이나 강마사, 리핑암, 특수토양(폐광지, 석회암지) 등 녹화가 어려운 지역을 미생물을 투여하여 작은 두께로도 식생에 필요한 지속적인 영양공급을 통해 식물의 생육에 가장 알맞은 자연생태를 복원시켜 다양한 자연식물군락을 가능케 하는 녹화기술이다.

② 시공

1) 생육조건이 나쁜 곳에서는 두텁게, 또 양호한 곳은 얇게 분사한다.

2) 종자의 원활한 발아생장을 위하여 종자가 없는 층과 종자를 혼합한 층으로 구분하여 시공한다.

3) 시공횟수 1회당 3cm 두께 시공을 기본으로 하며 설계두께가 3cm 이하 일때는 종자층, 기반층 구분없이 시공하고, 3cm 이상은 기반층과 종자층으로 구분하여 분사 시공한다.

4) 2회 이상 분사 시공할 때에는 경사 및 토질에 따라 최소 2시간 이상 시간차를 두고 시공하여야 한다.

(11) 자연생태복원공법(JSB)

① 개요

습식공법으로 자연상태의 산림토양을 복원시키는 녹화공법이며, 훼손된 법면을 주변토양과 조화된 자연상태로 복구하는 친환경적, 생태적, 경관적으로 우리 정서에 어울리는 자연친화적인 녹화공법이다. 굴곡이 있는 경암, 연암, 풍화암 등의 암반 비탈면이나 강마사, 리핑암, 특수토양(폐광지, 석회암지) 등 녹화가 어려운 지역을 미생물을 투여하여 작은 두께로도 식생에 필요한 지속적인 영양공급을 통해 식물의 생육에 가장 알맞은 자연생태를 복원시켜 다양한 자연식물군락을 가능케 하는 녹화기술이다. 균열이 없는 암반부는 적용이 곤란하고 다층 취부시 양생기간이 필요한 단점이 있다.

② 재료

재료는 녹화기반재, 양생제, 안정제, 단립제, 배합종자로 구성된다.

1) 녹화기반재

자연산림토양 또는 현지토에 식물과 미생물이 지속적으로 생육할 수 있는 바탕을 목표로 토탄과 유기재료를 혼합 발효한 완숙퇴비를 섞고 토양 공극률의 극대화를 위해 질석과 제오라이트 등을 혼합하여 토양의 제반 성질을 안정화시켜 생육기반재로 사용함으로써 식물이 생육할 수 있도록 만든 인공토양이다.

2) 양생제

미생물의 서식지인 식물성 섬유와 식물과 미생물의 초기성장과 생육을 지원하기 위해 소량의 화학비료, 액체비료 및 고체비료 등을 적절히 배합하여 제조한 재료로서 비료효과를 장기적으로 지속시키는 역할과 토양입자간의 결합을 연결하는 역할을 하는 섬유소 재료이다.

3) 안정제

일정하게 배합된 재료의 분사시 기계 적응성을 향상시키는 재료로서 시공 후에는 강우에 의한 법면 침식을 방지하는 역할을 수행하는 무기계 화합물이다.

4) 단립제

식물과 미생물이 생육하기에 가장 적합한 산림 표층과 유사한 단립구조를 가진 토양을 만들고 법면에 녹화기반재를 부착시키는 역할을 하는 무기계 화합물이다.

③ 시공

1) 생육조건이 나쁜 곳에서는 두껍게, 양호한 곳은 얇게 하여 100% 녹화한다.

2) 종자의 원활한 발아생장을 위하여 종자가 없는 층과 종자를 혼합한 층으로 구분하여 시공한다.

3) 시공횟수 1회당 3cm 두께 시공을 기본으로 하며 설계두께가 3cm 이하일 때는 종자층, 기반층 구분 없이 시공하고, 3cm 이상은 기반층과 종자층으로 구분하여 분사 시공한다.

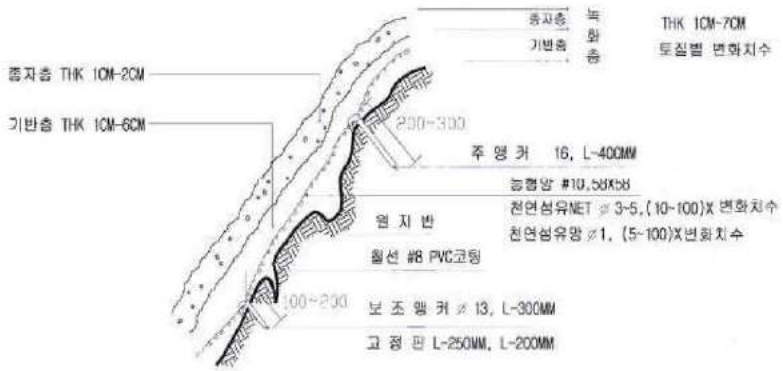
4) 2회 이상 분사 시공할 때에는 경사 및 토질에 따라 최소 2시간 이상 시간차를 두고 시공한다.

5) 시공 1회당 5cm 이상 부착하거나 충분한 시간차 없이 시공하면 흘러내릴 수 있으므로 주의한다.

(12) 자연표토복원공법(SF공법)

① 개요

산림토양의 토양단면을 층별로 재현함으로써 훼손된 지역을 자연지역의 주변식생과 생태적, 경관적으로 조화되게 복구하는 공법이다. 약간의 굴곡이 있는 암반이나 리핑·풍화암, 경질토사, 산성 토사 등 녹화가 곤란한 지역에 점성의 토양입자와 다기능성 초고분자, 유기재료, 식물 섬유소 등을 특수하게 혼합하여, 재료간의 다양한 결합으로 서로 뒤엉키게 반응시킴으로써 강한 고차입단구조를 형성시켜 만든 녹화기반토양을 비탈면에 부착하여 토양의 환경을 식물이나 미생물의 생육에 적합한 상태로 유지시키는 안정된 식생기반을 조성한다. 주로 목본류의 식생정착을 위해 종자를 이용하여 조성하는 공법이며 침식되지 않도록 뿜어붙인 식생기반재의 토양 경도가 식생침입이 용이한 25mm 이하로 유지되는 특성이 있어 채석지 주연부에 시공하면 목본의 자연침입이 용이한 장점이 있을 것으로 판단된다.



<그림 26> 자연표토복원공법 표준단면도

② 재료

자연토양을 주재료로 하여 보조재료로 유기퇴비, 피트모스, 식물성 섬유를 고분자제로서 입단 구조 형성제를 사용한다.

③ 시공

1) 1cm 단위로 종자층과 기반층을 분리하여 시공함으로써 시공두께에 의한 미발아 종자

를 최소화할 수 있도록 한다.

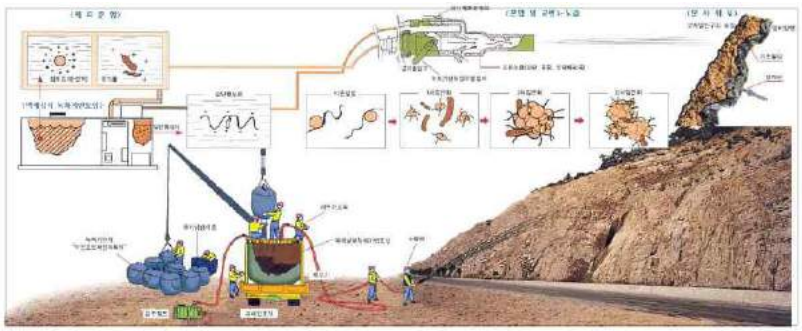
2) 지표면의 풍화가 심하여 토사가 심하게 흘러내릴 때나, 침식세굴이 심하여 침식 및 유실방지가 최우선일 경우 시공두께가 3cm이상이어야 한다.

3) 토양조건(토양산도, 영양분등)이 매우 열악하여 장기적인 생육에 의한 복원을 계획할 때는 토질별 기준보다 1cm이상의 두께를 증가시켜 시공한다.

4) 토양경도가 23mm이하(점성토) 혹은 25mm이하(사질토)인 경우라도 초기에 목본류를 도입하여 조기수림화를 계획한 경우에는 시공두께를 3cm 이상으로 한다.

5) 특히 마사토가 심하게 풍화되어 퇴적된 상태의 절토면일 때에는 비탈면 다짐을 반드시 시행하여야하고 시공두께는 2cm이상으로 한다.

6) 큰 비탈에서 토질별로 단계적인 구별이 가능한 경우에는 시공두께(시공횟수)를 적정하게 변화를 주면서 시공한다.

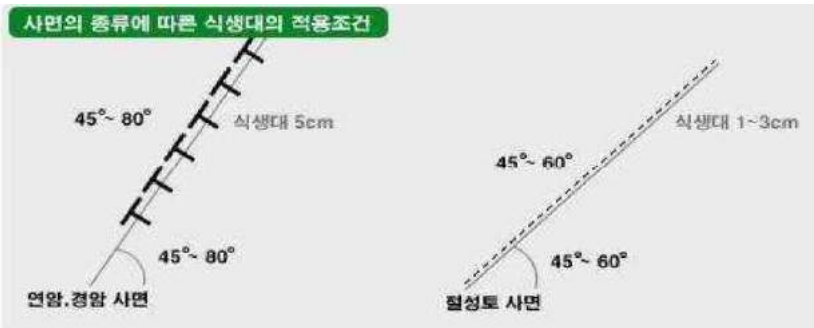


<그림 27> 자연표토복원공법 시공 순서도

(13) ASNA 공법(법면녹화배토습식공법)

① 개요

ASNA는 Artificial Soil Net Agglutination의 약칭으로 암반에 식생매트를 접착시켜 지속적인 식생대가 형성되도록 특수 개발된 인공토양(Artificial Soil)에 식물성 접착제를 첨가하여 부착력을 도모하고 기존 지반의 침식 붕괴에 장기간 견뎌낼 수 있도록 철망(Net)과 앵커로 지반을 안정시킨다. 일반토양과 같은 기능을 부과하여 식물이 스스로 성장할 수 있도록 가공된 C.B.D.-1과 셀루로이스, 비료분, 침식방지제를 섞어 식물이 생육할 수 있도록 기반재를 조성하는 공법이다. 요철, 균열이 심한 암절취면, 세굴이 발생하는 절토면에 시공하며, 토질과 시공시기에 따라 시공두께를 달리하여 적용하는 습식공법이다. 시공지역은 주로 연암 및 풍화암 비탈에 시공하는 것이 좋으며, 일부 요철이 많은 발파암에도 양호한 효과를 낸다. 종자가 발아, 착생할 수 있는 기반재가 약하므로 경암비탈이나 화강풍화암, 이암 및 사암 비탈의 녹화시에는 주의를 해야 한다. 일반적으로 적용경사면은 80도까지 가능하며 발파로 인한 경사면인 경우에는 60도~80도까지도 시공이 가능하다. 기온 18℃에 시공할 경우 10일 정도 경과하면 발아가 시작되는데 기온 변화와 기타 부적합한 여건일 경우 15~25일 정도 경과되어야 발아가 시작되는 예도 있다. 그러나 지반의 종류 및 형태에 따라 다르게 배토조성물의 두께를 결정하므로 발아시기에는 거의 차이가 없다. 종자의 발아는 3월초~10월말까지 이며 이외의 시기에는 씨앗의 휴면기 이므로 발아가 어려우며 11월~12월까지도 시공이 가능하나 발아는 다음해 3월말~4월이라야 가능하다.



<그림 28> 사면의 종류에 따른 식생대의 적용조건(ASNA공법)

아스나(ASNA)공법은 암 절리가 많은 곳은 락볼트로 0.3~1.5m까지 안정화시킴으로 동결 및 세굴을 방지하며 액상형태의 분무이기 때문에 균열부에 종자 침투 효과가 우수하지만 1회에 1cm 정도 두께까지 분무하므로 분무시간이 길어 시공속도가 늦고, 토양두께가 얇아 건조피해가 발생할 수 있다.

② 시공

시공 시 1~3cm까지는 배토조성물을 1회 1cm마다 분무하여 식생대를 만들며, 매회 분무마다 4시간 경과 후 재분무 한다. 위험이 뒤따르는 암절토구역에서는 망을 펴고 앵커 길이 0.2~0.4m를 박은 후 와이어로프를 평균 5cm□5cm로 가로 세로로 잡아주면서 주앵커 0.6~0.8m 깊이로 고정시킨 후 배토조성물을 5회에 걸쳐 분무하여 두께가 5cm 되게 하고 작업을 종료한다.



<그림 29> ASNA공법 시공순서

(14) NGR 녹화공법

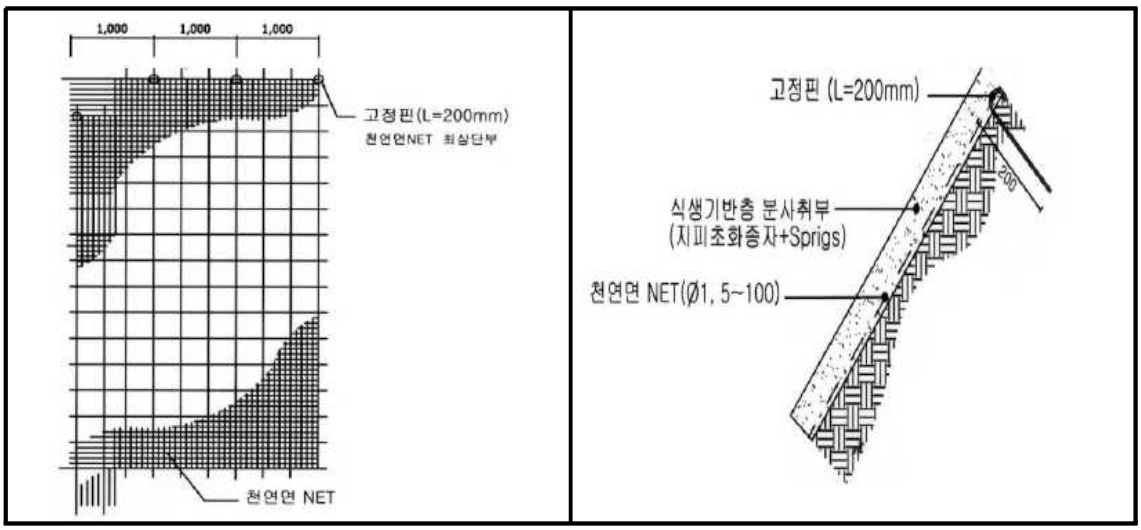
① 개요

NGR 공법(Native Groundcovers Restoration)은 자생식물을 이용하여 훼손된 환경을 단기간에 본래의 환경으로 복원하는 공법이며, 폐자재를 배제한 조성물 시공을 이용한 공법이다. 다양한 식생형태(seed, sprigs, plug, pot, mat)를 이용하여 대상지에 첨단 식생조성기술을 활용하여 시공함으로써 식생의 조기정착기반을 확보하는 순수 국내 개발 녹화공법이다.

일반 토사비탈면 및 균열이 발달한 암사면과 휴게소, 골프장, 콘도, 주택단지 등과 같은 경관을 요하는 지역에 적합한 공법이다. 계절적으로 다양하고 아름다운 경관을 제공해 주며 자생식물 및 종자를 활용한 환경 친화적 공법이고 다양한 유기물 재료의 혼합으로 조기 식생조성에 효과적이다.

또한 종자를 이용한 것뿐만 아니라 녹화식물을 돌나물, 좀씀바귀 등을 삽수형태로 종자와 함께 취부하여 시공기술의 다양화를 추구하였다.

NGR공법 시공평면도 NGR공법 시공단면도



<그림 30> NGR 공법 표준도

재료는 건조피해를 방지하기 위한 고흡수성 수지와 침식 및 토사유출의 방지를 위한 식물용 접착제 및 멀칭제, 완효성 복합비료가 첨가되어 식물생육에 필요한 적절한 환경을 만들어 준다.

단점은 자생식물을 이용하여 시공하므로 공기에 제한을 받고, 시공단가가 높으며, 암반과 같은 무토양척박지의 경우 관수 및 차광망 등을 설치하여 지속적인 관리를 해 주어야 한다.

한국도로공사 도로연구소(1999)의 연구에 의하면 초기 녹화효과는 높으나 생육기반재가 얇고, 보조재료가 부족해 식물의 초기 생육이 다소 떨어지는 경향이 있고 여름철의 고온 건조시에 하고 현상이나 식물의 쇠퇴현상이 관찰되어 식물의 생육에 필요한 기반재가 필요한 것으로 나타났다.

② 재료

1) NGR Seed

NGR 녹화공법에 주로 사용되는 녹화용 배합종자로 경관용 자생초화류의 종자를 기본 소재로 하고 녹화대상지의 환경분석과 녹화목표에 의해서 선구식물종과 산림형 목본식물종의 적절히 배합한 것으로, 이 공법에 사용시 발아율과 발아세 향상을 위한 발아 촉진 처리를 한 후 사용한다.

2) NGR sprig

NGR 녹화공법에 이용하는 지상경이나 지하경 등의 영양체를 의미하며 돌나물과 좀씀바귀 등의 영양체를 주로 사용하여 발근촉진처리와 병충해 저항처리 등의 특수처리를 한 후 사용하고 녹화대상지 중 우수한 경관조성이 필요하거나 여름철에 건조가 심한 곳 또는 대면적을 들잔디 대신 자생 식물을 사용하여 조성하고자 하는 곳에 사용한다.

3) NGR pot & mat

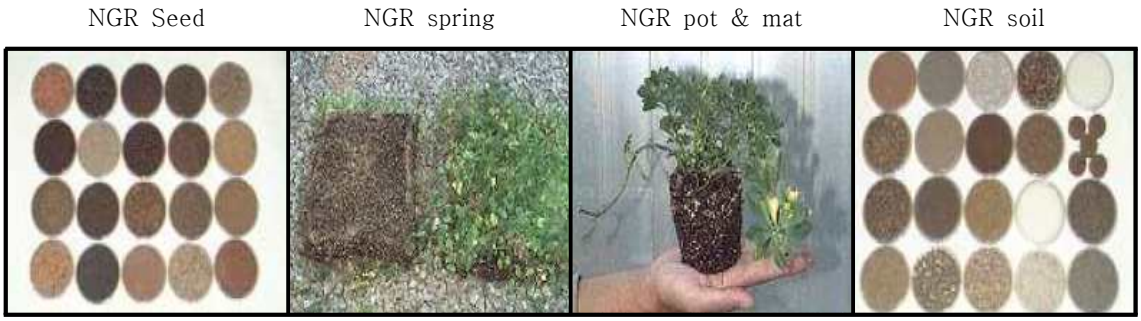
NGR 녹화공법에 이용하는 자생식물 pot & mat로 토양조성물은 척박지 적응력 향상을 위해 인공토양으로 조성되어 있으며 NGR 녹화공법의 자생초화류는 발근촉진처리와 척박지 적응처리를 한 후 사용한다.

4) NGR soil

NGR soil은 인공토양(질석과 제지화이바가 주재료), 유기질비료, 섬유소, 복합비료 등으로 구성된 식생기반재로서 자생종의 생육환경에 적합한 영양분을 함유하고 있고, 식물생육에 적합한 토양경도를 유지하도록 조합되어 종자의 발아 및 발근을 촉진시키고 활착을 향상시키는 특수식생토양이다.

5) NGR soilplus

이 공법에 사용되는 식생보조재료로서 특수개발된 고흡수성 고분자 화합물과 생분해성 접착제 등으로 구성되어 종자의 발아와 활착에 필요한 수분의 보유력을 높여 주고, 강우나 강풍 등으로 인한 토양침식을 억제할 수 있도록 조성되어 식물의 지속적인 생장을 도와준다.



<그림 31> NGR 공법의 자재

③ 시공

1) 녹화대상지의 식생환경 및 시공여건(토양조건, 경사도, 기후조건, 주변식생, 주변환경)을 분석한다.

2) 적정 식물소재(식물종, 영양체, 포트묘, 매트) 및 시공조건(시공두께 등)을 선정한다.

3) 식물소재를 시공전 전처리(발아촉진처리, 발근촉진처리, 병충해 예방처리)한다.

4) 현장여건에 맞도록 재료(식물재료, 식생기반재, 식생보조재)를 혼합한다.

5) 분사 시공 전에 식생 NET를 부착 시공한다.

6) 취부기를 이용하여 분사 시공한다.



<그림 32> NRG공법 시공 사례

(15) 후리졸녹산토녹화공법

① 개요

후리졸녹산토녹화공법(Method of producing green ground)은 독일G.F.G사의 특허기술인 후리졸녹화공법을 활용한 공법으로 후리졸 A, F, S, EF와 녹산토 및 초목종자를 소정의 비율로 물과 함께 교반탱크에서 혼합한 재료(후리졸녹산토)를 후리졸 취부기로 리핑암(풍화암) 비탈면에 1~5cm 두께로 취부하는 녹화공법과 발파암(연암 및 경암) 절취 비탈면에 75cm×75cm 망목의 능형철망을 포설하여 고정시킨 후 종자를 혼합하지 않은 식생기반재를 소정의 두께로 취부하고 10일 정도 후 기반재의 고결 수축으로 틈이 갈라진 후 종자환을 적당량 흩어 뿌리고 그 위에 후리졸녹산토와 식물종자를 혼합하여 10mm 두께로 덧씌우기하는 녹화공법이다.

② 재료

녹화혼합재료는 녹산토와 후리졸A. 후리졸F, 후리졸S, 후리졸EF 및 초목종자를 사용한다.

1) 바이오 녹산토(bio green producing soil)

녹산토는 토탄(peat) 또는 초탄(Grass peat) 15~40용량%, 종이부스러기(paper chip) 또는 펄프 분쇄물(Pulp chip) 20~43용량%, 톱밥(saw dust) 또는 나무껍질분쇄물(bark) 5~30용량%, 발효축분(fermented animal waist) 또는 건조축분(dryed animal waist) 7~30용량%, 미생물활성제(microbe activator)인 후리졸F(frisol F) 2~10용량%의 혼합물의 부숙물에, 진흙(clay) 또는 극세사(silt) 또는 마사토(granular soil) 20~45용량%를 혼합한 인공토양 식생기반재이다.

2) 후리졸A(심근촉진제)

후리졸A는 액체영양소로서 인(P), 유기질소와 당분으로 구성되어 인과 질소를 오랫동안 천천히 뿌리에 녹아내리게 하는 효과를 가져오며 당분은 토양아래 깊은 곳까지 미생물이 발달할 수 있도록 촉진시켜 주는 역할을 하므로 척박한 토양에서도 영양분을 균형있게 증진시켜 줌으로서 식물의 뿌리가 토양 깊숙이 뻗어 내릴 수 있게 한다.

3) 후리졸F(미생물활성제)

후리졸F는 미생물활성제로서 토양진균과 토양내 박테리아로 구성되어 있으며, 유기물의 미생물 분해를 지속적으로 유지시켜 영양분이 천천히 지속적으로 공급되게 하고 복합적인 미생물 작용을 촉진시키는 역할을 한다.

4) 후리졸S(표토안정제)

후리졸S는 생분해성 고분자 탄화수소 화합물로 이루어진 유기질 토양안정제로서, 토양입자와 생장촉진제, 침식방지제, 그리고 기타 성분과 종자를 결속시키며, 고착성 막을 형성하여 물에 의한 침식과 풍화침식으로부터 보호한다.

5) 후리졸EF(침식방지제)

식물성섬유로 구성된 침식방지제이며 단독으로 사용되기도 하고 후리졸S와 함께 사용되기도 한다. 후리졸S를 단독으로 사용하는 것에 비하여 침식방지효과가 증대되어 특별히 매끄럽거나 급한 경사면에 사용한다. 후리졸EF의 섬유질 구조는 토양의 수분저장능력을 증가시키는 효과가 있다.

6) 종자

종자는 초본류, 관목류, 목본류를 혼합하여 시공한다.

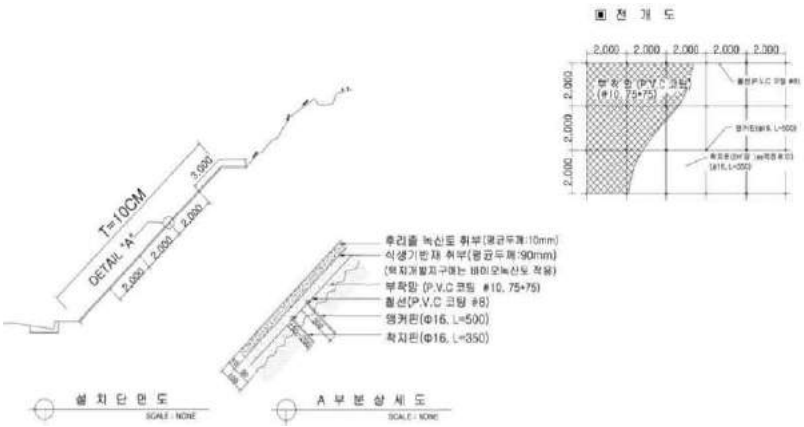
③ 시공

1㎡당 녹산토 5~10L, 뿌리심근촉진제 후리졸A 50~200g, 미생물활성제 후리졸F

100~400g, 비탈면의 결속 및 증산억제제 후리졸S 10~75g, 침식방지섬유 후리졸EF 50~140g이 혼합된 후리졸과 종자를 혼합한 후 슬러지펌프와 교반기가 장착된 후리졸 살포기 탱크에 물 용량비 40~60%와 녹화혼합재료 40~60%를 투입하고 이를 20분 이상 교반한 다음 대상지역에 5~10mm두께로 살포한다.



<그림 33> 후리졸 녹산토 공법 녹화개념도



<그림 34> 후리졸 녹산토 공법 암반절취 비탈면 녹화표준도

(16) PEC 4공법

① 개요

PEC(Polymer-Ecology-Control)4공법은 음식물 쓰레기를 활용한 버섯 재배에서 나오는 2차 부산물을 환경 복원 기술로 처리, 녹화 토양으로 재활용하는 녹화기술로 천연소재인 바크퇴비와 접착제 등을 식생기반재로 사용하여 경암, 풍화암, 리핑암 등 암반비탈면을 녹화하고 미생물의 증식을 촉진하여 식생정착에 최상의 조건을 만들어 줌으로써 자연식생의 천이를 유도하여 비탈면을 녹화 복원하는 공법이다.

능형망을 설치하여 낙석 방지효과를 도모하고 식생의 생육기반이 없는 암반지역의 녹화도 가능하다. 염기 치환용량이 높아 질소, 칼륨 등의 비료성분을 전기적으로 결합하여 토양구조를 개선시키며, 토양중 유해물질 또는 수소 이온의 농도가 편중되어 있는 경우 식물의 생리장해를 완화하는 완충능력을 가지고 있다.

PEC4공법은 식생기반재를 분사호스 종단부에서 물과 토양안정제가 분사되는 호스와 연결되어 혼합되어 뿜어지는 건식녹화공법으로 분류되며 유기물을 중심으로 한 기반재의 사용으로 녹화토양의 경량화를 달성하고, 기존 공법에서 가진 토양경화 및 탈락현상을 개선했다.

PEC공법의 고유한 특징으로써 취부호스종단에서 혼합되는 토양안정제가 취부직후부터 녹화기반재와 암반, 그리고 기반재 자체 사이에 입단구조를 형성시키는 역할을 한다. 특히 유기질 중심의 재료는 탄력적 취부기반재를 보장해 주며, 공기와 수분을 충분히 함유하는 능력으로 자생종 초화류나 목본류의 발아 및 생육에 알맞은 환경을 마련해 준다고 할 수 있다.

② 재료

이 공법의 재료는 크게 식생기반재, 종자, 토양안정제, 부착망 및 장비 등으로 구분할 수 있다.

1) 식생기반재

버섯배지, 바크퇴비 등의 천연재료를 주재료로 하여 코코피트 등의 토양개량제와 토양, 무기·유기질 비료를 첨가하여 보수□보비성이 뛰어나며 입단구조 형성이 가능한 특수인공토양을 제조하여 사용한다.

2) 종자

사용종자의 배합은 목표하는 식생군락의 유형에 따라서 발아 기대본수를 기준으로 배

합하며, 시공조건에 따라서 사용종자의 유형과 양을 결정한다.

3) 토양안정제(접착제, Terra-control)

식생기반재를 구성하는 각 재료들의 구조를 입단구조를 결집시켜 보수□보비력을 증강시킴은 물론, 유실을 방지한다.

4) 낙석방지망

낙석방지망은 코팅된 철망(PVC능형코팅망 #10)을 사용하며, 철망을 고정하기 위한 PVC코팅철선(#8)을 사용한다. 또한 자연성이 높은 지역으로 표층부 붕괴의 우려가 없는 지역에서는 무코팅망을 사용하여 식생기반층 일체를 자연과 동화되도록 할 수 있다.

<표 7> PEC 4공법의 종자배합

표준 녹화형	**특징**	지형, 기후 등 지역적 조건에 관계없이 우리나라에서 일반적으로 적용 가능한 식생유형으로서 식물의 조기활착 및 장기천이를 목표로 함	
	식생	목본종	참싸리, 낭아초, 비수리, 사방오리, 개쉬땅나무, 붉나무
		초본종	민들레, 벌노랑이, 패랭이꽃, 끈끈이대나물, 도라지, 구절초, 마타리, 쑥, 왕김의털, 큰김의털, 수크령, 억새, Perennial ryegrass, Kentucky bluegrass
		사면안정종	Tall fescue, Perennial ryegrass, Kentucky bluegrass
조기 녹화형	**특징**	조기녹화 및 사면조속안정을 위해 초기발아와 생육이 빠른 사면안정종 및 다양한 꽃으로 경관을 향상시키는 향토 및 외래 초종을 중심으로 한 녹화방식	
	식생	사면안정종	왕김의털, 큰김의털, 수크령, 억새, Perennial ryegrass, Kentucky bluegrass
		개화초종	코스모스, 금계국, 과꽃, 기생초, 끈끈이대나물, 수레국화
		향토초종	벌노랑이, 패랭이, 쑥, 신국, 쑥부쟁이, 안고초, 구절초
산림 천이형	**특징**	주변환경과 유사한 산림식생을 조성하기 위하여 초기단계의 산림미기후와 토양을 형성하고, 자연천이와 산림수종의 정착을 목표로 함	
	식생	산림목본	붉나무, 자귀나무, 청단풍, 참싸리, 낭아초, 비수리, 사방오리, 개쉬땅나무, 해송
		산림초본	쑥, 도라지, 신국, 꽃향유, 들잔디, 돌마타리, 쑥부쟁이, 안고초, 참억새, 벌노랑이, 마타리, 패랭이, 왕김의털

5) 앙카핀 및 착지핀

암반 비탈면에 적용된 낙석방지망과 철선의 고정을 위하여 사용하는 앙카핀과 착지핀은 비탈면의 조건에 따라서 규격과 사용량을 결정한다(Φ16㎜, L=350, 500㎜ ; 이때 L은 철근의 전체길이를 의미한다).

③ 시공

1) 절토비탈면의 잡석 및 이물질을 제거 후 사면을 정리한 후 식생기반재의 지지력 확보와 비탈면의 안정을 위해 PE코팅망을 펴서 설치하고 천공기를 이용하여 암반에 천공, 앙카핀으로 고정한다.

2) 식생기반재를 컨베이어를 통해 일정량을 압축기로 이동하면 이때 종자와 접착제를 투입하여 혼합한다.

3) 종자 배합량은 발생기대본수 300~2,000본/㎡ 범위로 한다. 단, 현장여건에 따라서 할증율에 대한 적용을 검토할 수 있다. 사용종자의 할증율은 다음과 같은 조건을 고려하여 검토가 가능하다.

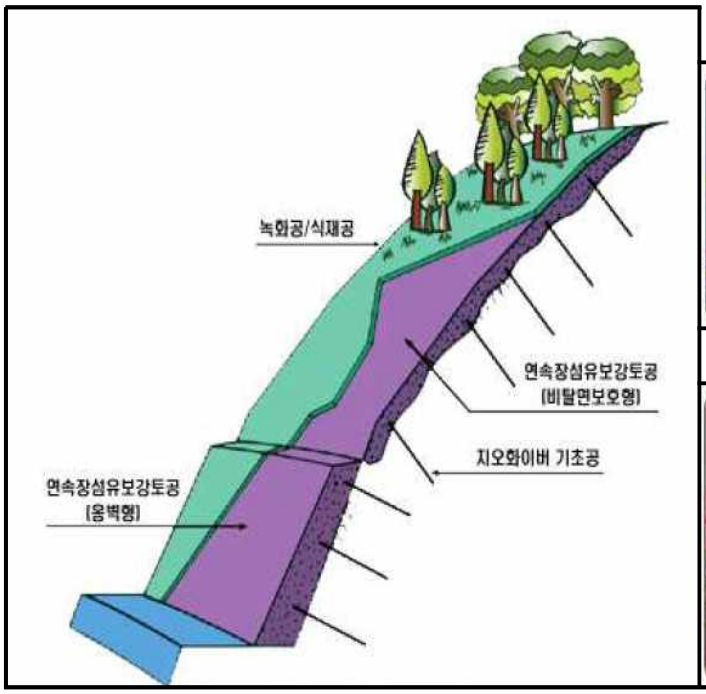
4) 취부작업은 위쪽부터 고르게 좌우로 이동하며 취부하며 취부두께는 요철에 따라 50~100mm로 다소 차이가 있을 수 있으나 평균 7cm 두께로 시공한다.

(17) Geo Fiber 공법

① 개요

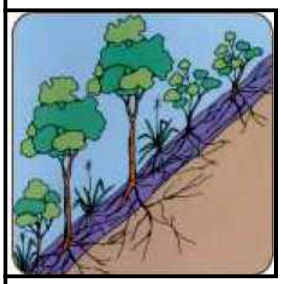
지오화이버공법(Geo Fiber System)은 지오화이버 기초공, 연속장섬유보강토공, 녹화공 등 3개의 공종을 복합하여 지상부는 우수, 바람에 의한 충격을 완화시켜주고, 지하부는 초본식물에 의한 표면침식억제, 목본식물에 의한 하부침식억제 기능을 할 수 있도록 한 입체적 구조의 공법으로 식물이 건강하게 자랄 수 있도록 최소 20cm 이상의 유효토심을 확보하는 공법이다. 지오화이버 기초공으로 비탈면 내부에 저항체를 매립함으로써 저항값을 높여 비탈면의 구조적 안정을 꾀하고, 연속장섬유보강토공으로 사질토와 연속장섬유를 제트수와 함께 동시에 분사, 혼합시켜 연속장섬유가 3차원적으로 혼합되게 하여 사질토에 점착성과 변형저항성을 부여하여 안정된 식생기반을 구축함으로써 토양 속에 그물형태로 퍼져 있는 식물의 뿌리에 의해 지반을 더욱 보강하는 효과를 발휘하며 자연환경과 조화를 도모하면서 빠른 시간내 방재기능과 경관형성을 동시에 달성하며 자연생태복원을 목표로 하는 공법이다. 고정현 등(2010)의 '비탈면의 생태복원을 위한 연속섬유보강토의 적용성에 관한 연구'에 따르면 연속섬유보강토 식생기반재의 토양 특성을 시공후 2~3년이 경과한 시점에서 조사 결과 토양경도는 7~15mm, 토양산도는 pH 6.5~7.0, 토양습도는 40~60%로 나타나 식물생육에 양호한 것으로 나타났다.

Geo-fiber 공법 개념도



Geo-fiber 공법의 기능

1. 조기수림화



2. 유효토심의 확보



<그림 35> Geo-fiber 공법의 개념도 및 기능

② 시공

Geo-Fiber공법의 시공순서는 플레이트앙카 및 배수판을 설치하는 지오화이버 기초공, 사질토와 장섬유를 취부하는 연속장섬유보강토공, 종자파종 혹은 식재로 녹화하는 녹화공의 순으로 시공한다.



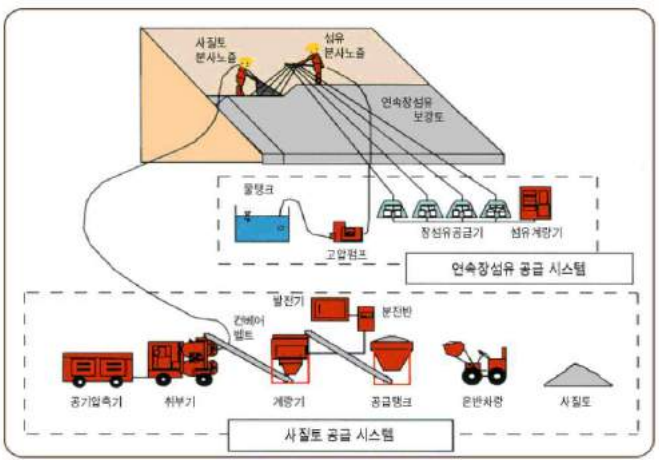
<그림 36> Geo-Fiber 공법 시공 사례

1) 지오화이버 기초공

지오화이버 기초공은 연속섬유보강토체의 구조적 안정화를 위한 플레이트 앙카공, 연속섬유보강체의 이면에 설치되어 우수의 침투 및 지하수위의 상승등으로 발생하는 용출수를 유도, 배출하는 이면배수시설(배수판, 배수유도관, 지오핀) 등으로 구성된다.

2) 연속장섬유 보강토공

연속장섬유 보강토공의 시공에 사용되는 장비는 사질토를 공급하는 장치와 연속장섬유를 공급하는 장치로 구성되며, 연속장섬유는 섬유공급장치를 통해 분사노즐로부터 분사되고, 사질토는 취부기에서 고압공기에 의해 취부노즐까지 이송, 연속장섬유와 혼합되어 비탈면에 보강토를 조성한다.



<그림 37> 연속장섬유 보강토공 개요도

3) 녹화공 및 식재공

연속장섬유 보강토공에 의해 유효토심이 확보되면 그 위에 녹화공 또는 식재공을 하며, 녹화공은 식생기반재 취부공인 원지반 식생정착공법을 적용하여 초본류 및 목본류를 파종하며, 식재공은 파종에 의해 생육이 힘든 자생 목본류를 대상으로 포트묘의 형태로 식재한다.



<그림 38> GEO 화이버 공법의 녹화공 사례

(18) 자연지반녹화(Supergel System) 공법

① 개요

자연지반녹화(Supergel System)공법은 자연상태의 산림토양처럼 식물이 생육할 수 있는 이상적인 기반재의 조합과 법면 취부시 흘러내림을 근본적으로 억제하고 재료 상호간의 응집력을 여타의 습식공법에 비하여 보다 강화시킨 복합 고분자 화합물의 배합으로 식물 생장의 최적의 상태를 유지시켜 자연 생태계의 최후의 목적인 극상군락을 목표로 개발되었다.

장점은 물과 교반한 주원료와 환경에 무해한 고분자 화합물을 분리 분사함으로써 법면 도달 시 흘러내림을 적게 하고 즉각적인 적정 고결화 및 응집력을 강화시켜 최적의 부착력과 식생천이가 가능한 복합단립구조(입단화)를 형성한다. 적정 경도를 유지시키는 고분자 화합물과 기반재에 초본류뿐만 아니라 목본류를 알맞은 비율로 배합함으로써 장기 지속적인 천이 유도를 통한 절개지면의 극상군락을 목표로 복원한다. 법면의 형태 및 면질(예: 풍화암)에 따른 구성재를 혼합함으로써 견고한 취부상태에 따른 녹화의 안정화에 기여한다. 자재의 개량화를 통한 공극률을 최대화하여 보비성, 수분흡착력, 투수성을 월등히 향상시켜 발아속도와 발아율이 획기적으로 향상된다. 시공 양생 후 표면이 자연 표토색에 가까워 자연과의 이질감이 적다.

본 공법은 식물의 발아 및 생장에 필요한 최적상태를 조장하기 위한 공법으로 법면부와 기반재의 이탈을 막기 위한 분리방지층, 취부된 종자가 생장하는데 충분한 영양분을 지속적으로 공급하여 뿌리를 내릴 수 있게 하는 기반층, 종자의 발아조건인 온도, 습도 및 부착력을 유지해주는 종자층으로 구분하여 각 층별로 단계별로 필요한 물질과 환경을 충족한 생육구성재를 사면의 특성에 따라 0.5cm~7cm 두께로 취부하여 녹화하며 법면부의 면질상태(예: 풍화암), 구배, 기후, 주변식생, 주변 환경을 등을 종합적으로 분석, 설계하여 해당 지역에 맞는 녹화방법을 최종 결정한다.

② 재료

1) 종자

종자는 혼합한 것을 기본 종자로 하여 대상지 여건에 따라 추가로 다른 도입종이나 향토종(재래종)을 추가하는 것을 원칙으로 한다. 하지만 종자는 훼손지역 내에서 선구식물 역할(미기후형성, 토양개선)을 하면서 시간차를 두고 발아, 생장을 하여 생태적으로 건전하고 원지반 식생에 가장 근접한 경관적 연속성을 발휘하며 주변 자연식생의 천이가 이루어질 수 있도록 구성되어 있다.

2) 생육구성재

생육구성재는 다음의 3가지 재료를 중심으로 구성되며 비탈면의 면질에 따라 수량 및 일부 요소는 증감될 수 있다.

㉠ 녹화기반재

마사토, 점토, 코코피트, 토탄 등으로 구성된다.

㉡ 법면안정제

암반부와 기반층 간의 분리현상을 막고 접착기능의 역할을 담당하며 황토, 점토, 마사토 등으로 구성된다.

㉢ 종자멀칭재

종자의 초기 발아시 요구되는 수분유지기능과 보온기능을 수행하며 기반재와 비료 성분이 쉽게 용탈되지 않도록 하기 위한 피트모스, 토탄, 황토, 마사토, 우드화이버, 목탄가루 등이 포함된다.

㉣ 비료

식물 생육의 초기 단계에 필요한 비료성분을 즉각적으로 공급하는 화학비료와 장기간에 걸쳐 공급하는 완효성 유기비료로 구성된다.

3) 복합고분자재

㉠ 침식방지 안정재

생육보조재를 구성하는 기반재, 안정재, 멀칭재, 비료 등의 물질들을 결합시키는 기능과 이를 사면에 부착시키는 기능 그리고 수분흡착을 유도하며 수용성의 고분자 수지로 재료 표면에 피막을 형성시켜 수분 증발을 억제시키는 기능을 수행한다.

㉡ 입도 및 경도 조절재

토사 사면에서는 토심 3~7cm 깊이까지 고분자 수지가 스며들어 토양 입자가 서로 결합되는 단립구조를 형성하며 식물이 생육하는데 적정한 경도(18~23mm)를 유지한다.

③ 시공

1) 암반사면(T=5~7cm) 시공방법

㉠ 믹서와 취부기에 혼합된 재료는 30분 이상 충분히 교반한 후 재료분리방지층을 취부한다.

㉡ 재료분리방지층을 취부할 때는 고분자 화합물과 구성재가 원지반에 잘 엉겨 부착될 수 있도록 반드시 숙련자가 시행한다.

㉢ 설계도면에 의거하여 기초공을 설치한다.

㉣ 기초공을 설치할 때는 원지반의 요철과 일치하도록 능형망을 밀착되도록 펴고 앙카 및 착지핀을 박아 원지반과 유리되지 않도록 하며 천연섬유네트인 경우는 느슨하게 펴서 법면부와 밀착되도록 한다.

㉤ 기초공 설치가 완료되면 법면안정층을 취부하여 법면 유실을 막는다.

㉥ 암 분리방지층이 형성된 후 생육기반층을 취부한다.

㉦ 멀칭재가 포함된 생육보조재와 종자 등을 혼합하여 종자멀칭층을 취부하여 마감한다.

2) 절토부 및 척박지(T=2~3cm) 시공방법

㉠ 설계도면에 의거하여 천연면네트를 설치하거나 무망으로 마감한다.

㉡ 멀칭재가 포함된 생육기반재와 고분자수지를 30분 이상 충분히 교반한 후 종자멀칭층을 취부한다.

㉢ 종자멀칭층은 상기한 암반 사면 시공방법에 준하여 완수한다.

3) 성토사면(T=0.5~1cm) 시공방법

종자멀칭층은 상기한 방법에 준하여 시공한다.

4) 취부 및 살포

㉠ 시공 순서는 상단부에서 하단부로 내려오면서 시공하되 좌우로 번갈아 취부하여 재료가 비탈면 표면에 고루 부착되도록 한다.

㉡ 본 공법은 습식 공법으로 재료가 흘러내리지 않도록 시공해야 한다.

㉢ 강우나 강풍이 부는 경우, 기온이 영하로 내려가 용수가 결빙할 때는 시공을 중지하여야 한다.

㉣ 일반 토양 비탈면의 취부 시는 취부기의 엔진압을 낮추어 취부한다.

㉤ 넓은 면적으로 얇게 펼쳐서 시공할 경우에는 노즐의 앞부분에 보조기구를 이용하여 혼합 재료가 널리 퍼지도록 시공한다.

㉥ 취부 각도는 사면과 30°~60°의 각도를 유지하여 사면의 토사가 취부 압력으로 인해 튀지 않도록 조절한다.

㉦ 취부사면과 노즐은 최소 5m 이상의 거리를 유지하여 재료의 파편이 널리 흩어지는 것을 방지한다.

㉧ 취부가 완전히 끝난 후에는 취부자가 전체적으로 취부 상태를 조사한 후 미진한 곳은 재취부, 낙석 제거 등의 보완 작업을 행한 후 종료한다.

(19) 친환경 반습식 공법(ESM)

① 개요

친환경반습식공법(ESM: Environmental-friendly Semi-wet Method)은 자원의 재활용 측면에서 경제적이고 효율적으로 비탈면 녹화에 적용할 수 있는 공법으로써 자연상태의 산림토양을 복원시키는 자연친화적 녹화공법이다. 기존의 반습식 공법을 개량하여 물리적 특성인 암 비탈면과의 부착력 및 재료의 강도를 증대하고 식물의 생육도를 개선하여 재료에 대한 보습력 및 보비력을 증대한 공법이다.

② 재료

1) 지렁이 분변토

지렁이 분변토는 환경오염의 주범인 유해성 폐기물을 지렁이가 섭취함으로써 안정된 물질로 만들어지며 이는 식물체를 구성하는 질소와 탄소 함량이 매우 높고 칼슘, 마

그네슘, 칼륨, 나트륨, 망간 등 무기양분들은 수용성으로 변해 식물이 쉽게 흡수할 수 있다. 그리고 지렁이 분변토의 형태는 떼알로 뭉쳐서 나와 물빠짐과 보수력, 보비력을 향상시키는 등 토양의 물리성을 좋게 한다. 지렁이 몸 속을 거치면서 알갱이들이 강하게 달라붙어 내수성이 높기 때문이다. 또한 떼알구조를 형성하여 생긴 공극은 식물의 뿌리가 뻗어나가기 쉬우며 호기성 미생물의 번식을 높여 토양의 비옥도를 높인다.

2) 제올라이트

제올라이트는 환경 친화성은 물론 오염지 개선의 효과를 가지고 있을 뿐만 아니라 완효성 비료의 성능을 갖는 기능성 소재로써 보수력과 보비력을 높인다. 또한 토양을 결속시키는 능력 및 인장 강도를 높여서 시공 후 급경사지에서도 식생재의 유실 방지와 다른 구성성분을 확실하게 결속시켜 장기간 지속시키는 역할을 한다.



<그림 39> 친환경반습식공법(ESM) 시공 사례

(20) GNS SLOPE 공법

① 개요

자연표토와 같은 조성물로 식생표토층을 조성하여 주변 식생종에 조화되는 사면을 형성하여 생태복원을 실현하고자 하는 공법으로 자연에서 채취 용이한 자연토양, 황토, 자연섬유 등을 공급하는 자연친화공법이다. 기존의 비효율적인 공정을 배재하고 공장에서 배합 비율로 기성제작 생산되므로 균질한 재료를 공급할 수 있고 대량 생산을 통하여 원가절감이 가능하다.

② 시공

1. 공장 자재생산



2. 현장도착 후 자재혼합



3. 망설치 및 고정(선택)



4. 자재 취부



5. 작업완료 후 2개월경과



6. 시공2년 후 근접사진

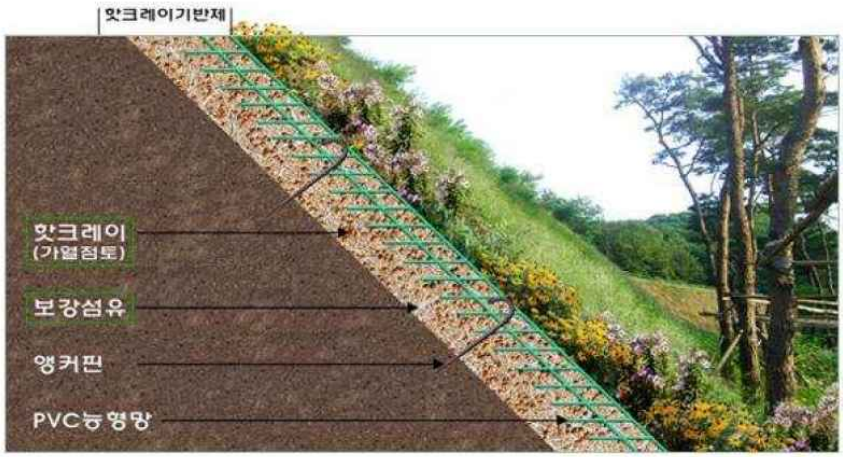


<그림 40> GNS SLOPE 공법 시공 사례

(21) 핫크레이 보강섬유녹화공법

① 개요

점토를 가열한 핫크레이는 유공에 수분을 70%이상 함유하였다가 건기에 식물뿌리에 수분을 공급하고, 토양에 산소공급 및 미생물의 활발한 활동을 촉진시킨다. 또한 고분자 플라스틱 보강섬유재를 혼합한 기반재는 균열방지, 표면탈락, 세굴에 저항할 수 있어 내구성을 증진하여 오랜 기간 경과한 후에도 식생기반재의 부착력을 증대시키므로 식물의 생육기반을 처음과 같게 유지할 수 있는 환경친화적 녹화공법이다.



<그림 41> 핫크레이 보강섬유녹화공법 단면도

② 재료

1) 핫크레이

점토를 가열한 유공성 세라믹 입자로써 점토와 비결정체의 이산화규소로 구성된다. 입자의 74%는 유공으로 형성되어 있다.

2) 보강섬유재

폴리올레핀계 고분자 플라스틱 섬유보강재는 표면의 기하학적 굴곡현상으로 식생기반재의 정착력, 균열 억제, 내구성을 향상시킨다.

③ 시공



<그림 42> 핫크레이 보강섬유녹화공법 시공 사례

(22) 친환경 생태그린공법

경사면 식재용 토양조성물로써 기존에 사용되던 녹생토 등의 토양조성물보다 친환경적인 물질이며 씨앗의 발아 촉진 및 생육을 증대하기 위하여 바실러스를 첨가하였고 토양보습제인 테라코템을 첨가하여 토양 내의 수분증산을 감소시켜 종자의 관수부분을 보강한 조성물과 공법이다.

본 공법은 보비력, 보습력, 통기성이 우수하여 식물생육이 양호하고 녹화효과가 우수하며 습식공법으로 테라코템이 수분의 급격한 증발을 막아주어 종자가 조기 발아된다. 초화류 종자(18종)를 첨가하고 3계절 야생화가 개화되어 경관이 우수하고 식생천이가 자유롭다. 지표면 20cm 깊이 이내는 슬라이딩 방지 효과가 있다.

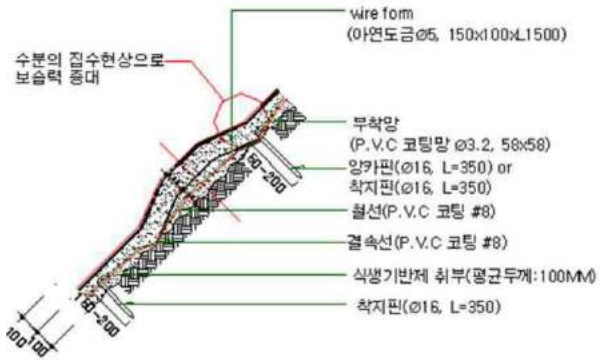


<그림 43> 친환경생태그린공법 조성물의 구성

(23) GESS(Green Emboss Slope System) 취부녹화공법

① 개요

절개지에 부착망을 설치하고 인공배합토의 보습력을 지속적으로 유지하게 하여주는 보습용 둔덕들을 일정간격으로 가지도록 시공하여 절개지의 하단으로 이동하는 수분이동의 흐름을 일정기간 집수토록 함으로써 인공배합토에 혼합된 종자의 초기발아를 촉진시켜줌은 물론 가뭄으로 인한 고사 현상을 방지하고, 또한 절개지에 식물이 원활하게 생육할 수 있는 토양턱을 인공적으로 조성하므로서 절개지의 식물의 역자람 등의 환경을 개선시켜 양호한 녹화품질을 제공하고 이로 인한 이상적인 식생기반을 조성, 훼손된 경관을 조기에 자연상태로 재생시켜주는 공법이다.



<그림 44> GESS 취부기법을 이용한 절개지 녹화공법 모식도

② 시공



지반정리 와이어폼설치 앙카+착지핀



와이어폼+부착망설치 식생기반채취부 식생기반재 취부완료 후

<그림 45> GESS 취부녹화공법 시공 사례

(24) TR 공법

① 개요

TR 공법은 생태녹화복원이 필요한 모든 대상지에 적용이 가능한 토탈생태복원녹화기술(Total Restoration)로써 생태천이 유도기술을 이용한 친환경 생태복원녹화공법이다. 습식공법과 건식공법의 장점을 결합하여 원지반 환경에 따라 유연하게 대응할 수 있는 경관형 생태복원녹화공법이자 원지반 토양의 유용미생물 활성을 촉진시키는 바이오 생태복원녹화기술로 특수대상지(수변, 활주로, 해안사구, 척박지 등)용 식생보조제로 업그레이드 되는 기능형 생태복원녹화공법이다.

본 공법은 개화식물, 밀원식물, 선구식물 등 식물의 특성을 이용하여 자연스러운 생태천이를 유도한다. 특허 받은 발아촉진처리기술이 투입종자의 빠른 발아와 활착을 유도하여 조기녹화를 달성한다. 고기능성 식생보조제를 적용하여 목표지향적 경관생태녹화를 유도한다. 복원목표에 따른 다양한 식물 선택이 가능하다(TR seedmixture, TR ecotree).

② 재료

1) 식생보조제

㉠ SRF(Slow Release Fertilizer) : 척박지 녹화용

- 절토, 성토지역에 부족하기 쉬운 비료성분을 충분히 공급하여 지속시간을 연장해 준다.
- 녹화용 식물의 초기 활착 및 지속적인 생육에 필요한 비료성분을 맞춤 공급한다.
- 기온, 강우 등과 같은 외부 환경요인과 상관없이 지속적으로 양분을 공급한다.

㉡ RIP(Riparian) : 수변녹화용

- 완효성 유기물을 사용하여 양분이 서서히 배출되어 녹화식물로의 이용율을 높여 양분의 용탈을 막아준다.
- 열팽창 버미큘라이트 등 양이온치환용량이 큰 무기성분이 함유되어 있어 보비력 증대 및 오염원을 흡착한다.
- 하천, 호소, 댐 등 수계와 밀접한 지역의 녹화시공 중 부영양화 원인물질을 억제할 수 있는 기능성 첨가제이다.

㉢ BNP(Bioactive Natural Product) : 내병해충 강화용

- 병해충 방제에 효과적인 식물성 천연물 첨가제이다.
- 수변지역에서 유해곤충의 서식을 억제하여 쾌적한 환경을 조성한다.

- 요소분해효소 반응억제물질이 함유되어 있어 토양 내 질소 손실을 줄여주는 2차 효과가 있다.
- 하천, 호소, 댐 등 수계와 밀접한 지역의 녹화시공 중 독성물질 사용을 억제할 수 있는 기능성 첨가제이다.

㉣ SAP(Super Absorbent Polymer): 내건조성 강화용

- 고흡수성 물질이 포함되어 건조 시 지속적인 수분공급을 통해 녹화식물의 건조피해를 억제한다.
- 녹화초기 안정적인 수분공급을 통해 종자발아와 조기활착을 유도한다.
- 건조위험이 있는 해안사구나 사질토(강마사)지역에 적용되는 기능성 첨가제이다.

(25) 테라 녹생토 암반녹화공법

① 개요

테라(Terra) 녹생토 암반녹화공법은 테라코템 외에 3가지 천연섬유질과 유기물을 혼합하여 취부한 후 PVC코팅망을 보강 시공하여 일반 네트류, 매트 공법으로 녹화가 어려운 경질토, 강마사토, 리핑암, 풍화암, 경암 및 발파암 지역에 환경친화적으로 녹화하는 공법이다.

수분 보습재인 테라코템을 기반재에 첨가시켜 토양을 떼알구조로 만들어 결속력을 증가시키고 적정한 보온/보습 효과로 인해 녹생토에 들어있는 수 억 마리 토양 미생물 증식을 활발하게 하여 식물체에 지속적인 영양분을 공급하는 효과를 준다. 기반재 취부 후에 PVC코팅망 철망을 포설하여 탈각 현상과 표면에서 발생하는 크랙, 이완 작용을 원천적으로 예방하여 식물체가 짧고 강건하게 자랄 수 있는 기초 환경을 제공한다. 토양 모재료 속에 포함된 필수 영양소와 미네랄 성분이 상승효과를 가져와 시공 후 신속한 초기 녹화를 가져오며 식물 서식처 환경이 양호하여 관목류/교목류의 발아 및 생육 조건을 제공한다. 꽃피는 야생화 씨앗을 동시에 파종하여 아름답고 보기 좋은 비탈면을 조성하여 동/식물의 서식처 제공과 함께 친환경 생태계를 구현할 수 있다. 시공 후 1~2년 간은 초기 녹화를 달성하고 2~4년부터는 개화 기간이 긴 야생화가 식생환경을 아름답게 이루고 5~8년 후에는 관목류가 자연스럽게 천이 과정을 통해 주변 환경과 같이 복원하는 공법이다.

② 시공

1) 능형코팅망 설치

비탈면의 굴곡에 맞추어 팽팽하게 상단부에서 하단부에 이르며 겹치도록 설치한다.

2) 천공 및 앙카핀/착지핀 설치

앙카핀/착지핀 설치를 위한 천공은 하향수직방향을 유지하여 천공작업을 하고 앙카핀은 홀 안에 깊숙하게 박히도록 고정하면서 착지핀은 결속선(#8.PVC코팅)과 함께 튼튼하게 연결시킨다.

3) 취부

취부 작업 시 비탈면과 노즐의 간격을 약 1m정도 유지하여 취부하되 비탈면과 수직방향이 되도록 상단에서 하단에 이르도록 진행하며 생육 조건이 나쁜 곳이나 미끄러운 암반지역은 두텁게 시공하며 양호한곳, 역구배지역, 수직면은 얇게 시공하면서 내부에 공극이 없도록 빈틈없이 취부한다.

4) 혼합종자

본 공법에 사용되는 혼합종자 배합비율은 계절 및 지역의 특성을 고려한 설계기준에 따라 적용하며 특별한 명시가 없을 경우에는 감독원의 지시에 따른다.

5) 보호망 설치

보호망 설치는 테라 녹생토 취부 후 2~3일이 지나고 표면의 수분의 증발정도를 살펴 약간 딱딱한 상태에서 위에서 아래 방향으로 약 5cm정도 겹치게 시공포설하고 고정핀(D3×L200)은 겹치는 부위에 ㎡당 1.0개를 견고하게 고정시킨다.

(26) 프로피아(싱싱토) 친환경 식생기반재 녹화공법

① 개요

유기질 부숙비료와 선별토양의 혼합배양토에 Propia Green(녹화토양안정제)을 혼합하여 고화수화물생성과 포졸란 반응을 일으켜 대상지의 녹화와 토양의 안정, 단립화, 침식방지를 꾀하는 공법으로 급속 녹화용으로 이용된다. Propia Green을 녹화기반토양인 혼합배양토에 첨가하면 보수성, 투수성의 효과 증대로 초화의 발아조건이 우수해지고, 취부용토는 탄력이 증대되고 밀착성이 좋아진다. 시공 후 1,2시간 경과 후에는 강우에 의한 토양의 유실도 발생하지 않는다. 시공시 펄프제를 혼합하여 보습성을 보완하고 균열을 방지한다.

암반면 취부 시에도 피막형성을 위해 화학적 유기첨가제를 사용하지 않으며 초화류의 식

생에 필요한 임의 두께(토사면 : 2㎝, 화강풍화토 : 3㎝, 리핑암, 풍화암 : 5㎝, 발파암 : 7~10㎝)로 시공한다.



<그림 46> 프로피아그린 혼합에 의한 고차단립화 개념도

② 재료

1) 싱싱토

유기질 부숙비료와 선별토양의 조합으로 식생기반과 자연천이 단계까지의 영양분 공급원 역할을 한다.

2) PROPIA GREEN(녹화토양안정제)

싱싱토와 혼합되어 고화 수화물 생성과 포조란 반응을 일으켜주는 녹화토양안정 단립화 침식방지 보수제이다.

3) Fiber(펄프재)

얇은 두께 취부 시의 보습성 보완 및 균열을 예방한다.

4) 종자(도입종자 및 향토 자생종자)

시공시점, 대상지 사면의 종류 및 특성, 주변 식생환경에 따라 선별 혼합한다.

③ 시공

1) 비탈면의 들뜬 돌을 제거하거나 소단의 퇴적토사를 정리한다. 성토나 절토비탈면 중 과절취후 복토한 부분은 충분히 다져야 한다.

2) 재료혼합

불순물이 배제된 맑은 물을 혼합조 내에 투입하고 초·목본류 종자, 80%분량의 싱싱토, PROPIA GREEN을 차례대로 투입하여 15분간 혼합한 후 남은 20%의 싱싱토를 추가로 투입한 후 10분 이상 혼합한다.

3) 비탈면 상부에서 하부로 진행하면서 취부한다.



<그림 47> 프로피아(싱싱토) 시공 장면(사례)

(27) AGRON SOIL(산림토) 녹화공법

① 개요

선별된 화강풍화토에 유기질 부숙비료와 유기토탄, 유·무기 활성물질 등을 혼합하여 제조한 AGRON SOIL(산림표층토와 유사한 구성물로 제조되는 식생기반재)에 AGRON R을 투여하여 산림표층토화된 인공토양으로 녹화를 도모하는 공법이다.

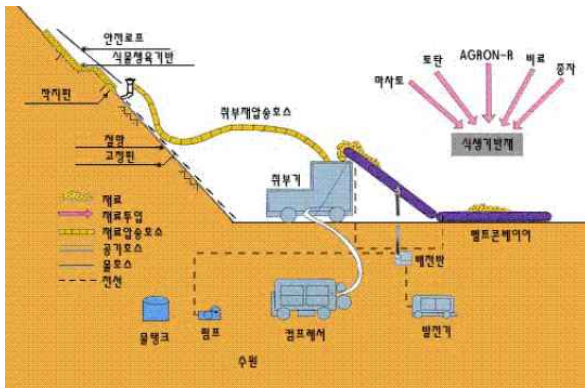
AGRON SOIL은 자연수분의 보전과 공기의 공급만이 아니라 내수성 고차단립에 의해 형성된 대소 공극을 가진 녹화토양으로 식물의 영양분 보급과 식물근계의 신장력을 향상시켜 안정된 식생을 유지시키며 자연 생태계 복원에 기본이 되는 미생물이나 소동물의 쾌적한 생활터전이 되며 생태계 물질순환 CYCLE을 형성하여 식물의 원활한 생육과 식물에 의한 항구적인 녹화를 도모한다. 또한 우수에 의한 침식세굴이 없어 종래보다 적은 종자 투입이 가능하여 일시적인 번무현상과 피압에 의한 조기쇠퇴를 방지하여 적정 초목본의 성립으로 생육원활과 의도적 식생구조형성이 가능한 생태복원 녹화공법이다.

② 재료

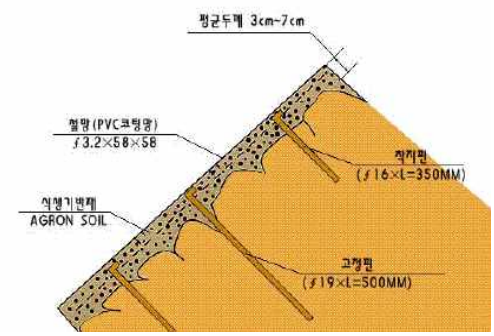
식생기반조성재인 AGRON R은 녹화용 식생기반재의 물성을 내수성 고차단립형성토양(산림표층토화된 토양)으로 변화시켜 주는 무공해 무기질 제재로서 제품 구성은 주성분인 실리카와 알루미늄분말과 수화학 광물인 보완성분으로 구성되어 이 성분들이 유기질 토양(인공 토양)등과 혼합되면 보완성분인 수화합광물과 수분흡수에 의한 수화합반응을 일으켜 에드린가이트(수화반응생성물)와 규산칼슘수화물(CSH) 등의 새로운 광물질을 형성한다.

이 에드린가이트의 생성은 토질의 함수비를 저하시키는 특성이 있기 때문에 주원료인 입자에 방해받지 않고 계속 그 반응이 진행된다.

수화합 반응에서 생긴 수화합물은 인공토양입자의 광물 등과 포졸란 반응을 일으켜 그 기반을 적정하게 고화시킨다. 이로 인해 인공토양입자는 내수성 고차단립화하며 광물질 생성물은 서로 엉켜 미세한 공극조직층으로 형성되므로 투수성이 좋아지며 토양의 역학적 특성(함수비, 간극비, 포화도의 감소, 일축삼축압축강도의 증가)의 변화로 녹화토양을 안정시킨다. 이렇게 개선된 녹화토양 등은 지속적으로 그 성능이 유지된다.



<그림 48> AGRON SOIL 녹화공법 개요도



<그림 49> AGRON SOIL 시공 단면도



<그림 50> AGRON SOIL 시공 장면(사례)

(28) GREENPOL 암절개면 생태복원공법

① 개요

대형 토목공사(도로, 택지, 댐 등)시 노출되는 건조 척박한 절개지 사면(경암, 풍화암, 리핑암등)에 부착망을 펴고 앙카핀으로 고정시킨 후 그 위에 이 함유된 특수 유기질토양(GP토)을 양잔디와 초·목본류를 혼합하여 일정한 두께로 살포함으로써 법면의 유실 및 낙석방지를 겸한 이상적인 식생기반을 조성, 친환경적인 녹화를 유도하여 훼손된 경관을 자연상태로 재생시키는 공법이다. 이 공법은 GP토에 함유된 토양입자 사이에 그물망을 형성하여 수분의 흡수를 도와 초기 발아시 필요한 수분을 지속적으로 공급하여 조기녹화를 달성하고, 폭우로 인한 유기질 토양의 유실을 방지하며, 낙석방지효과가 높으며 지표면 약 20cm 깊이 이내에서 발생되는 Sliding을 방지할 수 있다. 또한 지속적인 양분공급을 도와 조기녹화 시킴으로써 친환경적 경관복구가 빠른 특징이 있다.

그리고 절취사면 중 녹화가 불가능한 풍화암, 리핑암, 강마사토 등에 GP토가 함유된 유기질토양을 소정의 두께로 부착시켜 영양분이 전무한 토질에 식물이 자생할 수 있도록 환경을 조성시켜 주는 얇은 식생기반재 취부공법인 GREENPOL 생태복원공법이 있다.

②재료

1) GREENPOL

물에 희석된 Poly Acrylic Acid(P.A.A)와 Dl-Decyl-Dlmethyl-Ammonlum Chlorlde(D.D.A.C)를 일정비율로 물에 희석시켜 pH 7~8사이로 유지하도록 혼합시킨 특수 비탈면 녹화용 토양고착제

2) GP토

GREENPOL이 토양입자와 삼차원적 그물망을 형성하여 세굴을 방지하고 종자의 유실을 방지하여 조기녹화에 도움을 준다.

(29) 그린토 비탈면 친환경 녹화공법(GMS)

① 개요

프로페네이트 프로펜아미드 공중합체와 실리카로 이루어진 흡수성 중화합체와 호기성 미생물에 의해 완전 발효된 배합토 조성물에 발아 촉진된 건강한 종자를 혼합하여 사면에 부착한 후 그린토(생육기반재)에 기능성 라텍스를 첨가 코팅 마감하여 조기 녹화는 물론 반영구적 사면안정 및 식물의 천이과정을 유도하여 초화류와 유실수가 자라고 곤충 및 나비가 서식할 수 있도록 유도하는 친환경 생태복원공법으로 2층뿜어붙이기 방법으로 시공하며, 파종 종자는 1㎡당 20g을 적용하되 국토해양부 지침의 경관위주형은 25g, 야생초화류형은 15g을 적용한다.

② 재료

1) 그린토(배합토 조성물) - 1차 취부용

호기성 미생물(광합성 미생물)로 완전 발효시킨 100% 무공해소재로 섬유성 유기질을 함유하여 통기성이 우수한 고차입단구조의 토양으로 자체 중량으로 200~300배까지 수분 및 양분을 흡수할 수 있는 수분흡수 중합체이며 수축 팽창을 10년 동안 지속하는 반영구성을 가지며, 식물생장에 필요한 23가지 성분이 배합되어 있다.

2) 그린토(생육기반제+기능성라텍스) - 2차 취부용

무독성, 무공해 소재로 코팅효과 및 결속력으로 수분 증발을 억제하는 기능을 한다.

(30) DS 에코텍 공법

① 개요

경사면의 토양이 암지반인 낙석 위험이 있는 경사면에 식생기반배합토를 취부하여 기반층을 형성하고, 유기질제재 토양, 생분해성 섬유질 및 종자를 포함하는 녹화토를 취부하여 종자층을 형성함으로써 훼손된 경사면의 침식을 방지하고 녹화하는 공법으로, 식생기반재와 생육종자층으로 분리하여 시공하며 습식 및 건식기계를 함께 사용할 수 있다.

② 재료

1) 식생기반배합토

토탄, 하수·정수슬러지, 펄프제지 슬러지, 유기질, 마사토로 구성되며 보비력, 보습력, 통기성이 높고 경암, 연암, 풍화암 및 건조한 척박지에 식생이 가능하게 한다.

2) 유기질제재 토양

바크퇴비, 피트모스, 유기질원, 황토, 마사토, 우드화이바로 구성되며 식생의 발아율과 성장률을 높게한다.

3) 생분해성 섬유질

식물성 바인더, 제지, 셀룰로오스 섬유, 식물성 점증제, 폴리머, 계면활성제, 담수체, 녹색염료로 구성되며 취부토의 탈락을 방지하고 세굴현상을 억제하여 경사면의 안정성을 높여준다.

(31) PNS 생태복원 녹화공법

① 개요

산성수 발생으로 인하여 절·성토사면의 자연식생 녹화가 불가능하고, 주변 환경을 오염시키는 지역에 산성토를 중화 처리하여 주변 환경오염을 억제하고, 자연친화적인 녹화가 이루어지도록 개발된 공법이다. 절·성토사면의 산성토양 중화 및 산성수를 차단함으로써 토양개량효과로 식물생육을 원활하게 유지시켜 훼손된 비탈면의 친환경적 녹화가 이루어지게 하며, 주변 수질 및 토양의 환경 오염을 방지하고, 산성배수로 인한 급격한 풍화작용을 억제하여 사면안정을 향상시킨다. 식생기반재로 pH 저감 효과가 있는 생태복원 대생토를 활용하여 식생의 활착이 원활하고 조기녹화 및 식생 천이를 유도한다.

② 재료

1) 종자

식물종자는 건조지에 강하고 산성토에 내구성이 우수한 종자를 적극 도입하여 지속적인 식생천이 및 식생군락 조성으로 자연생태복원이 이루어지도록 구성되어 있다.

2) 중화처리제

㉠ 산성수 발생 억제제

모세관에 의해 상승하는 산성수를 인산액비 240L를 토양층에 약 10cm두께로 3회에 걸쳐 교반하여 산성수를 차단하고 억제하는 역할을 한다.

㉡ 산성수 중화제

산성수 발생중화제가 포함된 유기제(비료+정수장슬러지+석회고토)를 토양에 20~50mm 두께로 취부한다.

㉢ 중화 mat

토양에 직접 중화처리를 하지 못하는 절토구간에 산성수 차단 및 산성수 중화기능 mat를 포설한다.

③ 시공



인산액중화 및 코팅 | 성토사의 경우 교반 | 부착망설치

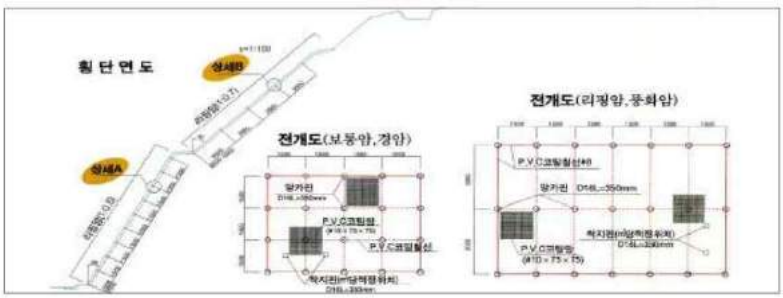
중화층처리 | 식생기반재취부 | 시공 후 5년

<그림 51> PNS 생태녹화공법 시공 사례

(32) DKC Eco-soil

① 개요

식물 생육이 부적당한 경암, 연암, 풍화암 등과 같이 완전히 드러난 암반위에 식물이 생성 할 수 있도록 보비력, 보습력, 통기성이 강한 Eco-Soil을 코팅 능형망을 설치한 후 혼합종자와 함께 취부함으로써 낙석방지 효과와 법면 유실을 겸한 식생기반을 조성하여 인위적으로 훼손된 경관을 자연 상태로 원상복구 시키는 공법이다.



<그림 52> DKC Eco-soil 자연생태복원공 표준도

② 시공



시공법면 PVC 철망설치 | 시공법면 천공 앙카 작업 | PVC철망 설치 완료

식생기반토(Eco-Soil) 취부 | 취부완료 | 취부후 발아상태

<그림 53> DKC Eco-soil 시공 사례

(33) 토양균 사면 녹화공법

① 개요

토양미생물의 번식을 활성화하여 녹화 식물의 유기 영양분을 제공함으로써 녹화를 촉진시킬 수 있는 녹화용 조성물에 대하여 폐기물을 재활용한 식생기반제와 물엿 및 쌀겨로 이루어진 토양 미생물 먹이제를 이용하여 사면을 녹화하는 공법으로, 조성물이 토양 미생물의 지속적인 먹이 공급원으로 작용함으로써, 토양 미생물의 번식을 통해 발생하는 비료 성분으로 녹화 식물의 성장발육 조건의 향상이 가능하여 녹화를 촉진 시킬 수 있음은 물론 폐자원을 활용함으로써 환경오염을 감소시킬 수 있는 환경 친화적인 생태 복원 기술이다.

② 재료

1) 녹화기반재

토탄, 제지슬러지, 바크, 연소제, 물엿, 토양균 등이 있다.

2) 양생제

미네럴 화이바, 석고 등이 있다.

3) 비료

일반적으로 복합비료를 사용한다.

③ 시공

1) 시공순서 : 비탈면정리 - 녹화기초공사 - 취부녹화층형성

2) 비탈면정리

원지반의 붕괴가 없으며 비탈면에서 용수가 없고 배수처리가 되었는가를 확인 후 시공지역 상부의 토사 및 부석을 제거하여 안전을 기한다.

3) 비탈면정리

㉠ 면정리가 완료된 상태에서 낙석을 방지하고 녹화용 조성물의 부착을 용 이하도록 설치하되 겹치는 부위는 벌어지지 않도록 철망, 고정핀, 착지핀 등을 이용하여 견고하게 결속 작업을 하여야한다.

㉡ 고정핀 및 착지핀 설치를 위한 공사는 하향 수직 방향을 유지하여 천공작업을 하여야 한다.

4) 취부시공

㉠ 비탈면의 상태가 고르지 못할 경우 깊은 곳은 두텁게 얕은 곳은 얇게하여 균일한 녹화가 되도록 한다.

㉡ 취부 두께는 최소 설계 기준의 80% 이상이 되어야 한다.



부착망 설치 앙카핀, 착지핀 홀천공 및 설치 토양균 배합작업

토양균 취부작업 시공 후 발아전 시공 후 발아

<그림 54> 토양균 사면 녹화공법 시공 사례

(34) GL(Green Land) 녹화공법

① 개요

식물의 생육이 어려운 척박한 절/성토 사면에 대하여 『표면유실(세굴)방지, 조기녹화에 의한 사면안정, 지속적인 양분공급에 따른 건강한 식물생장』을 통하여 녹화 대상지의 복원을 도모하는 친환경적 생태경관조성 녹화공법이다. GL 녹화공법은 척박한 지반의 토양구조를 개선하여 식물생장이 가능한 최적의 여건을 제공하는 공법으로 멀칭에 의한 표면유실 방지와 초기발아에 효과적이며, 토양 입단화를 통한 지속적인 양분공급으로 조기녹화 및 영구녹화에 탁월한 공법이다. 또한 천연유기질 재료를 사용하여 친환경적이며, 장비의 단순화로 시공이 간편하고 빨라 공사기간이 단축된다.

② 재료

1) 토양개량제 : 식물에서 추출한 아미노산 발효 농축 액체비료

㉠ 풍부한 아미노산과 각종 미량 성분을 함유한 유기질 액비

㉡ 토양 미생물의 영양원으로 토양을 개량해주며 지력을 증진

㉢ 겔(gel)구조로 토양입자에 점착하여 양분 저장 능력을 향상

㉣ 장기간 유실되지 않고 식물에 양분을 공급하여 효과를 지속(지효성 비료)

㉤ 식물 추출물로서 환경친환적임

2) 부숙촉진제 : 수목의 분해산물로 여러 종류의 유기산으로 구성된 분말

㉠ 토양 미생물에 먹이를 공급하여 유효 미생물의 증식촉진 및 부숙촉진

㉡ 토양의 입단구조를 개선하여 식물 뿌리의 활착 및 심근을 촉진

㉢ 건강한 식물 생육으로 각종 병해에 대한 내성을 증대

㉣ 각종 비타민 미량원소의 공급으로 식물의 건강한 생육

㉤ 토양개량제와 피막형성제의 활성화로 효력증대

3) 피막형성제 : 천연재료로 만들어진 특수 개량된 유기질 토양(멀칭제)

㉠ 피막 형성에 의한 수분증산 억제로 초기발아 촉진(보온, 보습)

㉡ 원지반에 보호피막 형성으로 우수에 의한 사면유실 및 종자유실 방지

㉢ 식물 착근 후 퇴비화하여 표토 형성에 기여

4) 기능향상제 : 식물 생장에 필수적인 요소인 유효수분의 증대를 위한 토양 보습제

㉠ 수분을 흡수 후 팽창하여 겔(gel) 상태의 물질화 (수분흡수능력-200배)

㉡ 토양의 입단화를 촉진하며 통기성 향상 및 배수성 증대

㉢ 토양 미생물의 증식을 촉진

㉣ 양분의 흡수로 지효성 비료의 기능 (양분 유실방지)

㉤ 토양의 보습력 증대

㉥ 식물 뿌리의 활착력 증대 및 착근시기 조기단축 (초기발아촉진, 조기녹화)

5) 연속장섬유 : 폴리프로필렌(Poly Propylene-PP)을 소재로 한 600-900D(denier)의 장섬유

㉠ 우수에 의한 사면의 표면유실 방지

㉡ 자재와 토양의 결속력 강화 (마찰력 증대를 통한 유지기능)

㉢ 뿌리 얽힘에 의한 식물의 인장력 강화

㉣ 피막형성제와 결합하여 표면의 균열을 최소화 하고 보습성을 강화

6) 혼합종자 : 엄선된 종자에 의한 조기녹화 및 자연천이를 고려한 종자혼합

㉠ 양잔디 혼합- 조기녹화가 요구되는 지역

㉡ 양잔디 + 향토종 혼합 - 조기녹화에 의한 자연 복원지 또는 산림접경지

㉢ 양잔디 + 야생화 혼합 - 조기녹화에 의한 경관성이 요구되는 지역

(35) 생태복원 SS녹화공법

인위적으로 훼손된 비탈면 지역을 식물발아 및 초기 생장에 필요한 최소한의 조건을 충족시키기 위해 특수토양 및 식생기반재를 사용하여 녹화함으로써 주변 식생과 어울리게 자연친화적으로 녹화하는 공법이다.

(36) 암녹토 암절개면 보호 녹화공

절, 성토 비탈면 녹화를 목적으로 개발된 공법으로 중 자연적으로 식물이 자랄 수 없는 암절개면 및 건조 척박한 토양, 견고한 점토질과 균열, 절리가 심한 비탈면에 적용하며, 혼합제, 특수녹화토, 접착제, 혼합종자 등을 물과 혼합하여 녹화하는 공법이다.

(37) S.O 녹지토 취부공법

절, 성토 비탈면 녹화를 목적으로 개발된 습식공법으로 토탄, 부숙수피, 축분, 마사토, 활성탄, 제지슬러지, 제지화이바, 카르복시메틸셀룰로스, 복합비료 등을 혼합하여 만든 녹지토 조성물에 토양 안정제와 보습재, 비료, 종자등을 혼합 취부하여 발아대를 만들어 주고 성토지역에는 황마네트, 절토지역에는 코네트를 설치하여 표토의 유실을 잡아주어 발아 후 식생대를 형성하게 한다. 적정한 보습력, 보비력 및 통기성을 가지며 재료의 경량화와 시공 후에 강우에 의한 표면유실, 표면침식이나 붕괴현상을 방지하는 기능이 있다. 녹지토 기반재에 황마네트와 코네트를 사용하는 공법을 S.O-SOIL SPRAY(습식녹화) 식생기반재 취부공법이라 하고, 녹지에 폴리프로필렌 장섬유를 혼합하여 취부하는 것을 S.O 유기질토 공법이라고 한다.

(38) BHS 공법

① 개요

이 공법은 유기질토 조성물을 이용한 사면 생태 복원공법(BHS 공법)으로 식물이 성장하기 어려운 암반 절개지, 일반 절토 경사면, 사력지, 성토지역에 유기질토를 이용 식생기반을 조성하여 이화학성을 높이고 통기성을 원활하게 하여 식물이 조기에 생육할 수 있는 환경을 조성해 종자의 발아를 촉진하여 표토의 유실에 대한 안정성 확보 및 자연적인 천이현상을 촉진하여 자연과 유사한 친환경적인 복원을 도모한다.

기존의 공법이 발아율 저하로 초기녹화 및 생육저하의 문제점이 발생하는 것을 유기질토를 보강하여 이화학성 및 화학성을 높이고, 통기성, 보습성 및 보비성을 높여 토양의 단립구조를 형성하므로써 근계의 발달 촉진 및 식물의 생육을 증진하여 표토의 유실 안정 및 자연 지형에 맞는 초기 녹화를 가능하게 한다.

사면의 경사에 따른 공법 적용의 제한을 적게 받으며, 시공 후 낙석방지 효과가 크고, 표토 유실이 적으며, 생육이 불가능한 경암, 연암, 풍화암(버럭), 마사토 구간 및 호박돌 섞인 건조 척박지의 녹화도 가능하다.

② 재료

본 발명에 따른 유기질토 조성물은 5~15%의 함수비를 갖는 밭흙 30~59.98중량%와 50~70%의 함수비를 갖는 유기토 20~30중량%와 50~70%의 함수비를 갖는 깻묵 15~25중량%와 물 5~13중량%와 알긴산나트륨 0.01~1중량% 및 산성조절제 0.01~1중량%로 구성된다.

③ 시공

사면조사, 시공두께 결정, 장비준비, 유기질토반입, 종자혼합, BHS녹화조성공 시공, 취부의 순서로 시공하며 NH공법, NI망공법, N망 공법 등 각 공법별 녹화조성공 시공방법은 아래 그림과 같다.



<그림 55> BHS녹화조성공 시공 사례

(39) Lonseng Soil공법(Soil Fiber공법)

① 개요

이 공법은 뿌리분의 잔토 및 분쇄칩 등 임목폐기물과 옥수수대, 볏짚, 우드칩 등 작물발생건재를 화이버로 기반재에 활용하는 자원순환형 복원공법이다. 재활용 자원을 활용하여 발아 및 생육에 유리한 물리성과 화학성을 개량한 유기질 토양을 구성하고, 고흡수성 고분자 보습제를 사용하여 보습성을 높여 초기발아를 유도하고 양분을 제공한다.

토사비탈면의 경우 Lonseng Soil(Soil Fiber)를 0.7~1cm의 두께로 취부하여 식생을 구성하며 거적이나 네트류의 설치가 필요가 없으며, 암비탈면의 경우 일정두께의 식생기반을 조성한 후 발아 가능한 종자층을 조성하여 녹화한다.

② 재료

론생소일(소일화이버)공법 조성물은 표토, 우드칩, 유기질토양, 리사이클링 화이버로 구성된다.

1) 표토 및 리싸이클링 우드칩(40%)

임목폐기물 뿌리분의 잔토와 10mm 이하의 우드칩으로 구성된다.

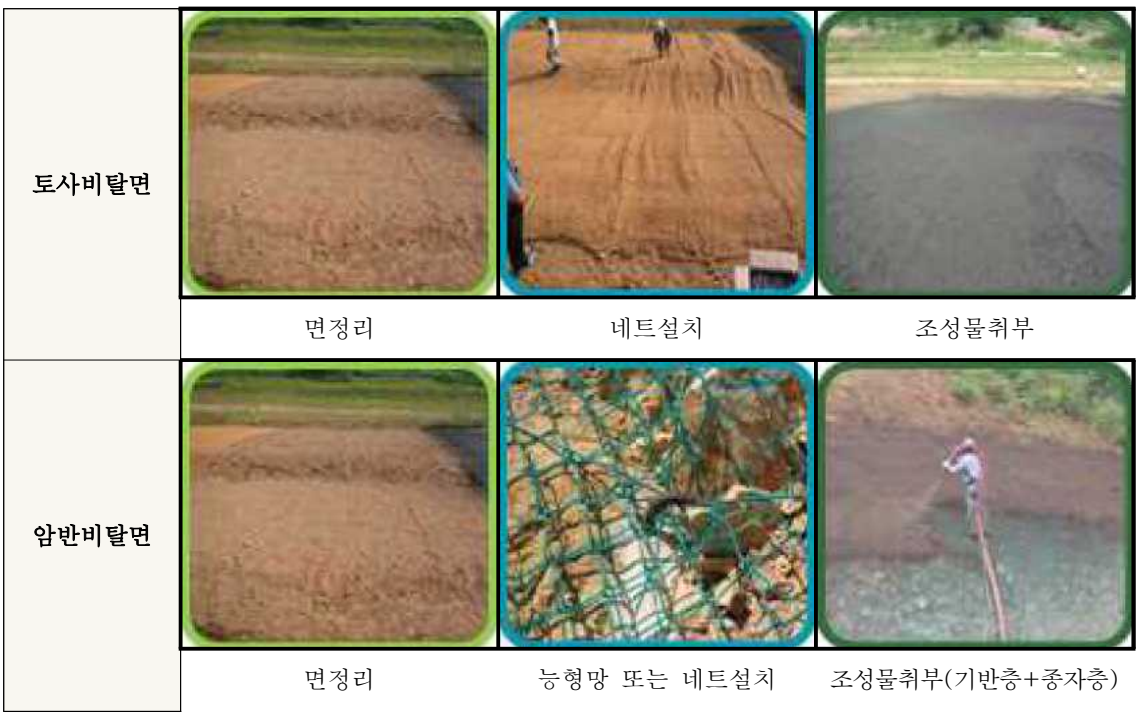
2) 유기질토양(40%)

코코피트, 부엽토, 질석, 마사토 등으로 구성되며, 질소, 인산 칼리의 비료성분을 양액 처리한다.

3) 리사이클링 화이버(20%)

볏짚, 옥수수대, 우드칩 등 섬유질의 보습제를 화이버 형태로 만든다.

③ 시공



<그림 56> Lonseng Soil(Soil Fiber)공법 시공 사례

5. 기타공법

(1) 식생대공법(Vegetation belts)

식생대(Vegetation belts)공법은 종자와 비료 등을 부착한 띠모양의 포나 또는 종이로 만든 식생대를 비탈면에 수평상으로 일정한 간격으로 깔고 얇게 흙을 덮어주는 공법이다. 띠(帶)의 재료로 사용되는 것은 주로 합성섬유 및 폴리에틸렌(polyethylene)망으로 공장에서 제조된 것이 주로 사용된다.

리핑암이나 풍화가 진행되어 토사와 섞여 있는 풍화암 사면에 적용 가능한 공법인데, 관련 국내 기술로서 론생리핑네트가 사용되고 있다. 이 공법은 네트, 식생용지, 종자·비료·보습재, 식생용지로 구성되어 척박한 리핑·풍화암 비탈면에 토양성분을 지속적으로 공급하는 띠 모양의 비료대를 가지고 있으며, 네트, 특수 식생용지의 복합적 효과로 종자의 유실이 억제되는 특징이 있다. 경량이고 시공이 용이하므로 산지에서 기계화시공이 곤란한 리핑·풍화암계 토질에 발아가 우수한 초·목본용 종자로 조기 녹화하는데 효과적이다.

(2) 녹화용 식생자루공법

종자, 비료, 흙 등을 혼합해서 자루에 채운 후 비탈에 판 수평구 속에 넣어 붙이는 것이 일반적이다. 일반적으로 자루는 주로 합성섬유 및 폴리에틸렌(polyethylene)망(□)으로 공장에서 제조된 것이 주로 사용된다. 녹화용 식생자루공법은 경사지에서 자연배수로 조성시에 적용이 가능하고 다양한 경사각으로 쌓아올릴 수 있으며 표면유수에 의한 피해가 적은 반면에 합성섬유네트가 부식에 강하며 시공초기 경관상 좋지 않을 뿐만 아니라 인력시공으로 인해 대규모공사에는 적합하지 않고 자루간의 접촉부위의 파손 및 유실에 약한 문제점이 있다.

관련 국내 기술 제품인 론생백은 씨앗부착토낭으로서 종자□비료, 식생용지, 네트로 구성된 식생자루의 형태이며, 부착종자가 발아하여 네트사이로 비집고 나와 생육한다. 네트는 광분해성 폴리에틸렌으로 제작되어 수년 내에 분해되는 것을 사용해야 한다. 광분해성 녹화용 식생자루는 최근 산불 피해지와 구곡침식지의 조기녹화 및 소규모 산사태지역, 평떼붙이기공법이 적용되기 어려운 화강 풍화토 구간 등에 적용되고 있으며 대상비탈면의 특성을 신중히 고려 후 적용하고 유수에 의한 종자자루의 유실발생을 방지하기 위한 조치가 필요하다.

(3) 종자부착 네트피복공법

종자부착 네트피복공법은 물에 금방 녹는 식생용지에 종자와 비료를 부착시키고 한 면에 볏짚거적이나 비닐망으로 피복시킨 롤 형태의 피복재를 비탈에 고정시키고 고운 흙을 얇게 덮어주는 공법으로 주로 완경사지의 복토지역, 토사, 경질토사의 절·성토면에 적용한다. 관련 국내 기술인 론생볏짚공법, 론생넷트공법과 그린톱3호(A,B형)는 주로 토사면의 절·성토면에 적용되며, 면상의 볏짚 네트에 종자를 붙여 포설, 부착하여 조기녹화를 도모하는 공법으로 비탈면의 녹화와 침식 및 토사 유출을 방지하고자 할 경우에 적용한다. 볏짚의 사용으로 특유의 단열효과와 보습성 개량, 침식방지, 토양 개량효과를 가져다준다. 식생용지에 종자가 부착되어 있어 수송 도중에 종자, 비료의 탈락이 없으며, 비교적 고른 종자발아를 기대할 수 있다.

(4) 종자부착 매트피복공법

종자부착 매트피복공법은 코아네트를 원료로 제작한 매트를 이용하여 비탈면의 침식과 토사유출을 방지하고 녹화하기 위한 공종으로서 기계화시공이 곤란하고 침식발생이 높게 예상되는 비탈 주연부 및 채석지의 비탈에 적용 가능하다. 녹화용 매트의 입체적인 얽힘 구조가 지반의 흙과 성장한 식물의 뿌리를 확실하게 고정시켜 주어 빗물이나 바람 등에 의한 유실 방지는 물론 식물의 성장을 촉진시키며, 식물의 뿌리보호, 용이한 작업성, 내구성에서 특징적이다.

이 공법은 종자 및 비료의 유실이 적고 녹화속도가 빠르며 균일하게 녹화가 이루어진다. 또한, 매트내에 완효성 비료의 부착으로 인해 지속적인 유기질 공급이 이루어진다.

관련 국내 기술로서 그린마이스터공법(그린톱1,2 등)이 있다. 종자를 부착한 쥬트네트와 코코넛 매트, 펄프, 종자와 비료층이 혼합된 녹화매트를 이용, 토사지역 및 리핑·풍화암 등에 적용하는 공법으로 100% 천연소재를 매트형태로 가공했기 때문에 3~4년 동안 땅에 밀착되어 보존되면서 서서히 유기질 퇴비로 돌아가게 된다.

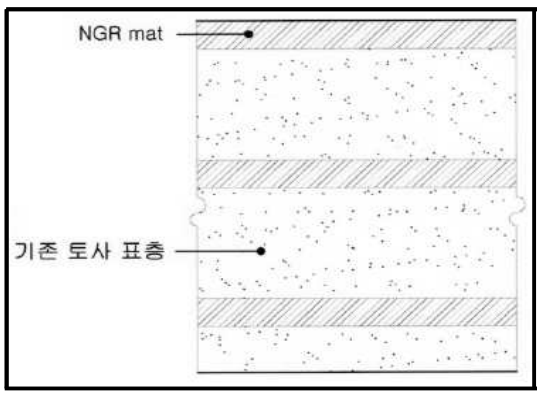
(5) NRG Mat 공법

① 개요

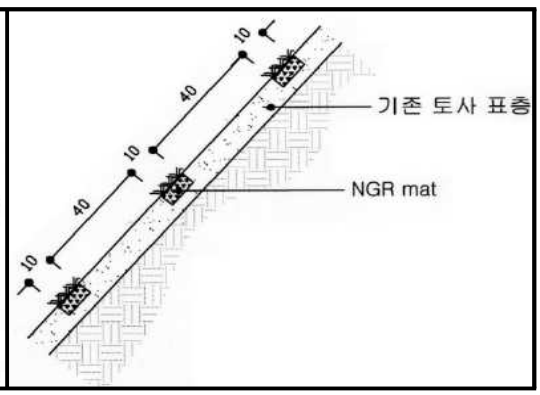
NGR(Native Groundcovers Restoration) Mat 공법은 한국자생식물을 인위적으로 mat로 형성하여 이를 암반이나 절리암, 풍화암 등 암비탈면의 경우 기반토를 조성한 후 시공하고, 마사 및 일반토양에서는 잔디 시공과 동일한 방법으로 시공하며, 시공 후 단기간에 녹화와 경관조성이 가능한 공법이다.

NGR mat를 형성 후에 다른 자생식물의 종자를 추가로 파종하거나 다양한 경관을 위해서 서로 다른 자생식물을 추가로 식재하여 육성시켜서 다양한 환경에 적응할 수 있고, 계절별로 어울리는 경관을 연출할 수 있는 특징이 있다.

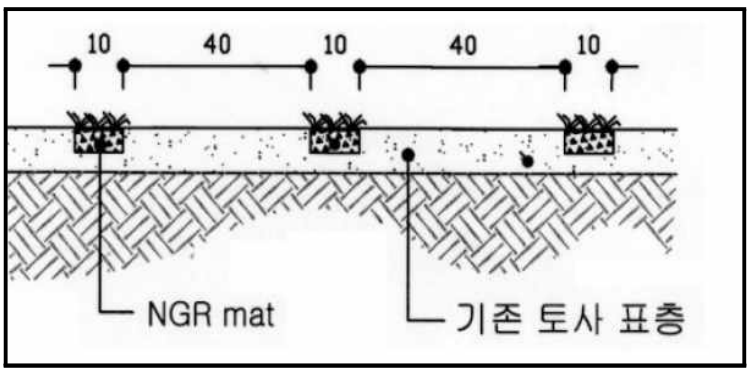
NGR Mat 공법 평면도



NGR Mat 공법 단면도 1



NGR Mat 공법 단면도 2



<그림 57> NGR Mat 공법 표준도

② 재료

NGR mat는 포복형의 지상경을 가진 한국 자생식물을 주요 소재로 사용하여 특수 제작된 용기에 생육에 알맞게 배합된 토양과 지효성 유기질 비료 및 특수처리과정을 거친 종자 또는 영양체를 넣어 약 2~3개월간 발아, 발근 및 육성시켜서 매트화한 것이다. 매트의 크기는 48·33cm로 1㎡에 100% 피복 시 6매가 들어간다.

③ 시공

1) 현장 투입전 현장답사하여 식생매트시공 부위 및 방법을 수립하고, 특이사항을 파악한다.

2) 식생매트 및 잡자재를 현장에 반입하고 매트의 현장 임시 생육 여건을 마련한다.

3) 토양이 없는 암반지의 경우 먼저 접착제가 함유된 식생기반재 (NGR soil)을 시공하여 기반토양층을 조성한다.

4) mat는 현장여건을 고려하여 시공하기 적당한 크기와 모양으로 절단한다.

5) mat를 사면에 붙인다.

6) 시공후 전체적으로 고르게 관수하여 적당한 수분을 유지할 수 있도록 한다.

7) 본 식생매트를 형성후에 현장여건에 따라 다른 자생식물의 종자를 추가로 파종하여 계절별 다양한 경관을 제공.

8) 시공후 활착과 생육을 위한 시비 및 관수 등의 관리는 잔디 뗏장 시공시의 관리기준에 의거하여 수행한다.

(6) 길라텍 공법

① 개요

길라텍 공법은 절, 성토 지역의 토사구간에 적용지역에 따라 절토면, 성토면 및 농/배수로, 호안, 고수부지, 제방법면의 세굴방지, 슬라이딩 예방, 토사 억류기능과 신속녹화를 위하여 사용되며, 식생기반재인 10mm 두께의 길라텍과 함께 길라텍의 상층부나 하층부에 코어네트 등을 함께 피복하여 녹화하는 공법이다.

② 시공

1) 매트 깔기

길라텍 1호/2호/3호 깔기는 법면 상단에서 하단부에 이르도록 시공하면서 주름지지 않도록 지면과 밀착시켜 깔되 소단지역에서는 매트가 잘 밀착되도록 느슨하게 시공해야 하며 매트와 매트 사이는 약 5cm 정도 겹치게 시공한다. 하천, 고수부지 적용 시에는 물이 흐르는 방향으로 겹치게 시공하며 U형측구 시공 시 측구에 약 10~20cm 정도 흙을 파내고 매트를 U형측구와 밀착이 잘 되도록 시공하여야 한다.

2) 고정핀 꽂기

고정핀(L=20cm 내외)은 매트가 겹치는 부위에 길라텍 1㎡당 1개씩 튼튼하게 고정시켜야 하며 최대한 매트가 땅에 밀착되게 고정핀을 시공하여야 한다.

3) 길라텍 1호/2호/3호의 할증

할증은 법면의 요철 및 시공 시 겹치는 부분을 감안하여 10%의 여유를 봐주어야 한다.

(7) Moss Catch System

Moss Catch System의 실루리안 시리즈는 천이의 초기 단계에 있는 대표적인 두 가지 종류의 이끼를 혼합하여 고정시킨 제품으로 햇빛에 강한 종, 음지, 반음지에 강한 종으로 구성되어 어떤 환경에 놓이더라도 초기 생태계가 형성되어 다음 단계의 천이가 진행될 수 있다.

본 공법을 사용하면 어떤 면 위에도 자연을 직접 도입할 수 있고 최대 수분 포화시의 하중이 2.7~6.5kg/㎡의 초경량 제품으로 구조물 어느 곳에 설치하여도 하중에 대한 염려를 하지 않아도 된다. 원하는 모양을 가위나 칼로 손쉽게 재단하여 연출할 수 있고 뒷면에 실리콘을 도포하여 원하는 곳에 부착시킴으로써 완성되기에 누구나 간편하게 시공 가능하며 저렴한 비용으로 완성할 수 있다.

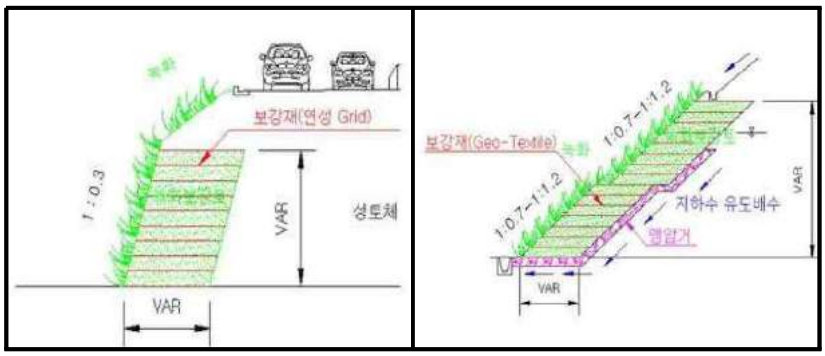
(8) 녹화보강토공법

① 개요

보강토체 전면이 콘크리트 강성체가 아닌 연성의 식생기반체로 구성된 토낭으로 보강토체의 전면판을 구성하여 옹벽 전체가 녹화가 이루어질 수 있도록 한 공법으로 보강토체의 기울기를 사용자의 요구에 자유로이(1:0.3~1:1.5) 적용할 수 있어 성토부의 연직 옹벽 축조는 물론, 절토부의 보수, 보강사면에 적용이 가능하며 시공성, 경제성, 안정성 및 친환경성을 확보한 신개념의 보강토 공법이며 어스앵커, 억지말뚝 및 쏘일네일링 등 타 공법과도 병행 시공이 가능하며 현장 적용성이 뛰어나다.

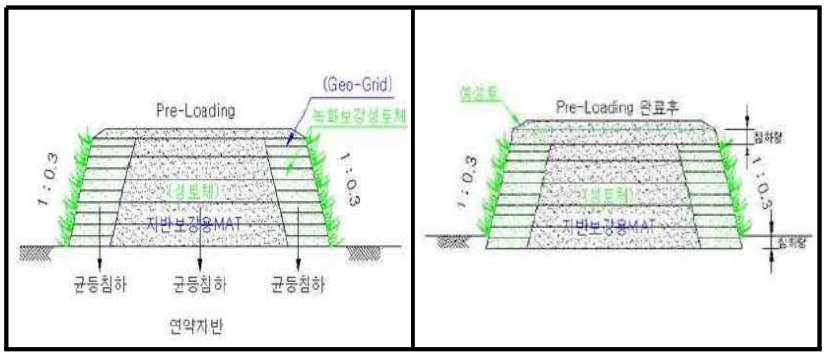
보강토옹벽의 전면형태는 시공 후 자연스럽게 녹화가 조성되어 주위환경과 조화를 이룬다. 토사 구간의 절토부 사면이 강우 및 지하수로 붕괴된 경우 보수보강에 최적의 공법이다. 연약지반상의 보강토 축조시 부등침하 발생 없이 성토체와 동일하게 균등침하가 이루어져 적용성이 우수하다. 연약지반의 압밀 촉진을 위한 선재하공법(Pre-Loading)의 과재성토시 최초에 녹화보강토로 과재하면 기존 선재하공법의 성토, 사토, 재성토의 3단계 과정을 '구조물 축조' 단 1개 과정으로 공법을 간소화하여 공사비와 공기를 절약할 수 있다.

성토부 축조 모식도 절토부 축조 모식도



<그림 58> 녹화보강토공법 축조 모식도

선재하공법(Pre-Loading) 성토하중으로 인한 연약지반 침하



<그림 59> 녹화보강토에 의한 선재하공법 모식도

② 시공

1. 터파기 2. 보강재 포설



3. 철망 설치



4. 슬라이드폼 설치



5. 녹화토낭 설치



6. 성토 및 다짐



7. 성토 및 다짐 반복시공



8. 녹화보강토 완성



<그림 60> 녹화보강토공법 시공 사례

제5장 국내사면공법별 설계가격 비교 (시공단가)

(단위 : 원)

녹화공법	두께별 설계가격										비고
	1cm이하	2cm	3cm	4~5cm	6cm	7cm	8~9cm	10cm	11cm	12cm	15cm	
그린토비탈면공법 (GMS)	9,274 (무망)	22,041 (섬유망)	26,564 (섬유망)	32,447 (섬유망)		46,038 (철망)		53,042 (철망)		59,223 (철망)		`13 하반기
금비토공법								49,558 (철망)			62,214 (철망)	`13 하반기
녹생토(RS)공법				36,456 (철망)		45,234 (철망)		56,511 (철망)			72,652 (철망)	`13 하반기
생태복원 대생토공법	7,100 (무망)		17,559 (섬유망)	26,508 (섬유망)		37,060 (철망)		45,392 (철망)			55,102 (철망)	`13 하반기
슈펙스 공법	5,530 (Spray) 8,668 (무망)	11,364 (무망) 15,444 (PE망)	14,860 (무망) 18,940 (PE망) 20,628 (섬유망)	26,094 (섬유망)		33,004 (섬유망) 38,160 (철망)		45,269 (철망)				`13 하반기
JSB공법	6,333 (Spray) 12,728 (섬유망)	17,446 (섬유망)	23,866 (섬유망)	31,792 (섬유망) 35,761 (철망)		47,670 (철망)		59,613 (철망)		70,910 (철망)		
원지반다층 조성공법 (CODRA ML)	6,370 (Spray) 14,488 (섬유망)	26,766 (섬유망)				45,336 (철망)						`13 하반기
원지반식생 정착공법 (CODRA공법)	5,420 (Spray) 13,095 (섬유망)	24,828 (섬유망)				44,356 (철망)						`13 하반기
자연지반녹화공법	9,921 (무망)	16,869 (무망)	27,161 (무망)	41,055 (무망)		54,945 (무망)						`13 상반기
종비토플러스공법	11,640 (PE망)	15,196 (PE망)	17,339 (PE망) 18,839 (섬유망)	23,128 (섬유망)		28,275 (섬유망) 36,497 (철망)		43,700 (철망)		50,210 (철망)	56,055 (철망)	`13 상반기
친환경반습식공법	4,145 (무망) 8,092 (무망)	15,986 (무망)	19,164 (무망)	30,389 (섬유망) 39,658 (철망)		48,591 (철망)						`13 하반기
친환경 생태그린공법			24,297 (섬유망)	41,206 (철망)		50,557 (철망)						`13 상반기
탑소일 암반녹화매트공법				32,537 (매트)				48,407 (매트)			62,361 (매트)	`12 상반기
테라녹생토공법				32,483 (철망)		45,929 (철망)		51,271 (철망)				`13 상반기
텍솔공법		22,461 (PE망)	27,550 (PE망)	32,684 (PE망)	36,880 (철망)		44,373 (철망)	54,094 (철망)		65,167 (철망)		`14 상반기

(단위 : 원)

녹화공법	두께별 설계가격										비고
	1cm이하	2cm	3cm	4~5cm	6cm	7cm	8~9cm	10cm	11cm	12cm	15cm	
토양균녹화공법	4,499 (무망)	12,867 (무망)		34,296 (섬유망)		43,429 (철망)		49,665 (철망)				`13 하반기
핫크레이보강섬유 녹화공법				23,000 (철망)				37,000 (철망)			48,000 (철망)	`13 하반기
후리졸녹산토공법	7,404 (무망)	11,056 (무망)	16,173 (무망)	21,783 (무망) 26,770 (섬유망)		38,049 (철망)		51,681 (철망)			62,188 (철망)	`13 하반기
AGRON SOIL공법	7,967 (무망) 11,060 (무망)		28,856 (섬유망)	49,148 (철망)		60,652 (철망)		78,058 (철망)				`13 상반기
ASNA공법	4,281 (무망) 8,366 (무망)	13,216 (무망)	20,195 (무망) 46,421 (철망)	57,683 (철망)								`13 하반기
BHS공법			16,108 (PP망)	22,696 (PP망) 26,924 (섬유망)		32,815 (섬유망) 37,534 (철망)		46,348 (철망)			64,252 (철망)	`13 상반기
CO-MAT공법	9,573 (무망)	13,369 (무망)	15,869 (무망)	24,665 (무망)		42,625 (철망)	47,348 (철망)	51,920 (철망)			69,037 (철망)	`13 하반기
DKC Eco-soil공법	7,083 (무망)	10,669 (섬유망)	18,779 (섬유망)	30,195 (철망)		36,791 (철망)		48,525 (철망)			60,701 (철망)	`13 하반기
DS에코텍공법				37,674 (철망)		45,487 (철망)		55,447 (철망)		60,981 (철망)	67,707 (철망)	`13 하반기
GESS공법		10,628 (무망)	14,335 (무망) 15,632 (섬유망)	19,976 (무망) 24,465 (섬유망)		40,264 (철망)		54,091 (철망)			67,448 (철망)	`13 하반기
GL녹화공법	6,771 (무망) 10,634 (섬유망)	14,259 (섬유망)	17,126 (섬유망)	31,134 (철망)		42,471 (철망)		51,895 (철망)				`13 하반기
GNS SLOPE공법	19,180 (거적)		14,390 (무망)	31,518 (철망)		38,040 (철망)		49,187 (철망)			64,907 (철망)	`13 하반기
GREENPOL 공법	5,669 (무망) 9,967 (무망)		19,840 (무망)	39,718 (철망)		45,266 (철망)		55,384 (철망)			70,769 (철망)	`13 하반기
Lonseng Soil (Soil Fiber) 공법	5,801 (무망) 7,680 (무망)	10,982 (무망)	19,581 (섬유망)	25,103 (섬유망)	30,147 (섬유망)		45,040 (철망)		52,587 (철망)			`13 하반기

(단위 : 원)

녹화공법	두께별 설계가격										비고
	1cm이하	2cm	3cm	4~5cm	6cm	7cm	8~9cm	10cm	11cm	12cm	15cm	
NGR공법	6,083 (거적) 13,746 (무망) 17,424 (섬유망)	24,301 (섬유망)	31,928 (섬유망)	46,968 (철망) 53,045 (철망)		63,824 (철망)						`13 상반기
PEC4공법			27,948 (철망)	48,037 (철망)		51,541 (철망)	55,830 (철망)					`14 상반기
PNS공법	14,872 (무망)		38,072 (섬유망)	46,867 (철망)		59,150 (철망)		78,676 (철망)				`13 하반기
SF공법	13,149 (무망) 20,123 (무망)	31,626 (무망)	43,751 (무망) 56,809 (철망)	82,306 (철망)		107,803 (철망)						`13 하반기
S.O유기질토공법			16,369 (무망)	22,822 (무망)			32,240 (무망)					`13 상반기
S.O-Soil SPRAY 공법	12,896 (섬유망)	22,735 (섬유망)	32,750 (섬유망)									`13 상반기
SS공법	7,606 (무망) 11,533 (무망)	14,955 (무망)	22,037 (무망)		44,045 (철망)		52,819 (철망)		63,839 (철망)			`13 하반기
TR공법	7,297 (거적) 21,995 (섬유망)	28,714 (섬유망)	35,183 (섬유망)	42,663 (섬유망)		54,996 (철망)	65,981 (철망)					`13 하반기

(단위 : 원)

녹화공법	두께별 설계가격					비고
	20cm	30cm	30cm(암반용)	40cm	50cm	
Geo Fiber 공법	155,926	192,103	188,238	227,106	262,435	`13 하반기

※ 본 자료는 비탈면 녹화시 설계가격 산정에 있어서 물가자료, 물가정보, 비탈면녹화업체 홈페이지 등을 통해 발췌 수록한 것임.

제6장 도로비탈면 녹화공사의 시공 지침[3)]

1. 총칙

(1) 목적

> 본 지침은 각종 도로건설공사 등으로 발생된 비탈면의 자연경관과 생태계를 복원하고, 도로 이용자들에게 안정감과 쾌적함을 제공하며, 주변 생태환경에 적합한 환경친화적인 비탈면 녹화공법 설계 및 시공에 관한 사항을 정함을 목적으로 한다.

[해 설]

우리나라의 비탈면 녹화공사는 아직까지 우리 실정에 적합한 설계 및 시공에 관한 기준이 없어 조기녹화에만 급급하고 외래초종(양잔디류)위주로 시공하고 있다. 훼손된 비탈면의 생태환경에 대한 분석 없이 무분별하게 녹화공법을 적용함으로써 녹화식물이 대부분 2~3년 이내에 고사되어 비탈면이 재 황폐화되는 등의 문제점이 나타나고 있다.

비탈면 녹화용 외래초종(양잔디류)은 주변 생태계로 확산될 가능성이 있고, 너무 우점하면 주변식생의 자연 침입을 방해하며, 우리나라 기후에 맞지 않으면 수 년 내에 자연 도태되는 특성이 있으므로 사용에 주의가 필요하다.

앞으로 자연환경을 고려한 복원목표에 적합한 녹화공법의 설계와 시공을 유도하기 위해 일차적으로 토질분석에 의한 비탈면 안정 검토가 이루어진 상태에서 비탈면의 토질(암질)과 지역 기후와 생태적 여건 등을 종합적으로 고려하고, 주변에서 생육하고 있는 자생종(재래종) 등을 적극 활용이 필요한 실정이다. 외래초종(양잔디류) 위주의 녹화방법에서 과감히 탈피하기 위해 국내 실정에 맞는 「도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침」을 마련하게 되었다.

본 지침은 도로건설공사로 인해 훼손된 비탈면의 안정성을 확보하고, 주변 자연환경을 고려하며, 미관과 경관을 향상시키고, 지속적으로 안정된 식생을 조성하며, 이산화탄소 저감에 유리한 식생구조를 갖도록 하는데 목적을 둔다. 이를 위해 주변 자연환경과 토질에 적합한 녹화공법 및 식물과 식생기반재 선정에 관한 비탈면 녹화설계 방법을 제시하며, 시공 전 검증절차(시험시공)를 거치도록 함으로써 부실시공을 방지하여 비탈면 자연생태복원 및 녹화공사의 품질향상을 유도하는데 기여토록 한다.

아울러 본 지침은 생태적으로 양호한 비탈면을 조성하는 지침으로 활용되어 녹화식물에

3) 국토해양부, 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침, 2009. 6.

의한 자연생태계 교란 위험을 줄이면서 주변과 조화되는 식생경관을 조성하여 운전자에게 편안한 주행을 유도하고 환경친화적인 도로건설의 정착 및 발전에 기여할 것으로 기대된다.

(2) 적용범위

> 본 지침은 도로건설공사로 인해 발생하여 구조적으로 안정된 비탈면 중 녹화에 의한 표면보호와 경관복원이 필요한 비탈면의 자연생태복원 및 녹화사업에 적용한다. 적용대상은 고속도로, 일반국도, 국도대체우회도로, 국가지원지방도로 한다.

[해 설]

1) 본 지침은 안정 해석에 의해 비탈면 안정공사를 완료한 구간에 대하여 녹화공사를 시행하기 위하여 정한 일반적인 기준이다. 별도관리지역[4]은 자연생태복원전문가의 자문을 통해 비탈면의 자연경관복원에 적합한 녹화공법들을 다르게 적용할 수 있다.

2) 긴급복구 공사, 도로유지보수사업은 본 지침을 적용하지 않을 수 있다.

3) 비탈면 녹화공사가 소규모인 경우 발주자는 전문가[5]와 협의하여 지침의 적용여부를 결정한다.

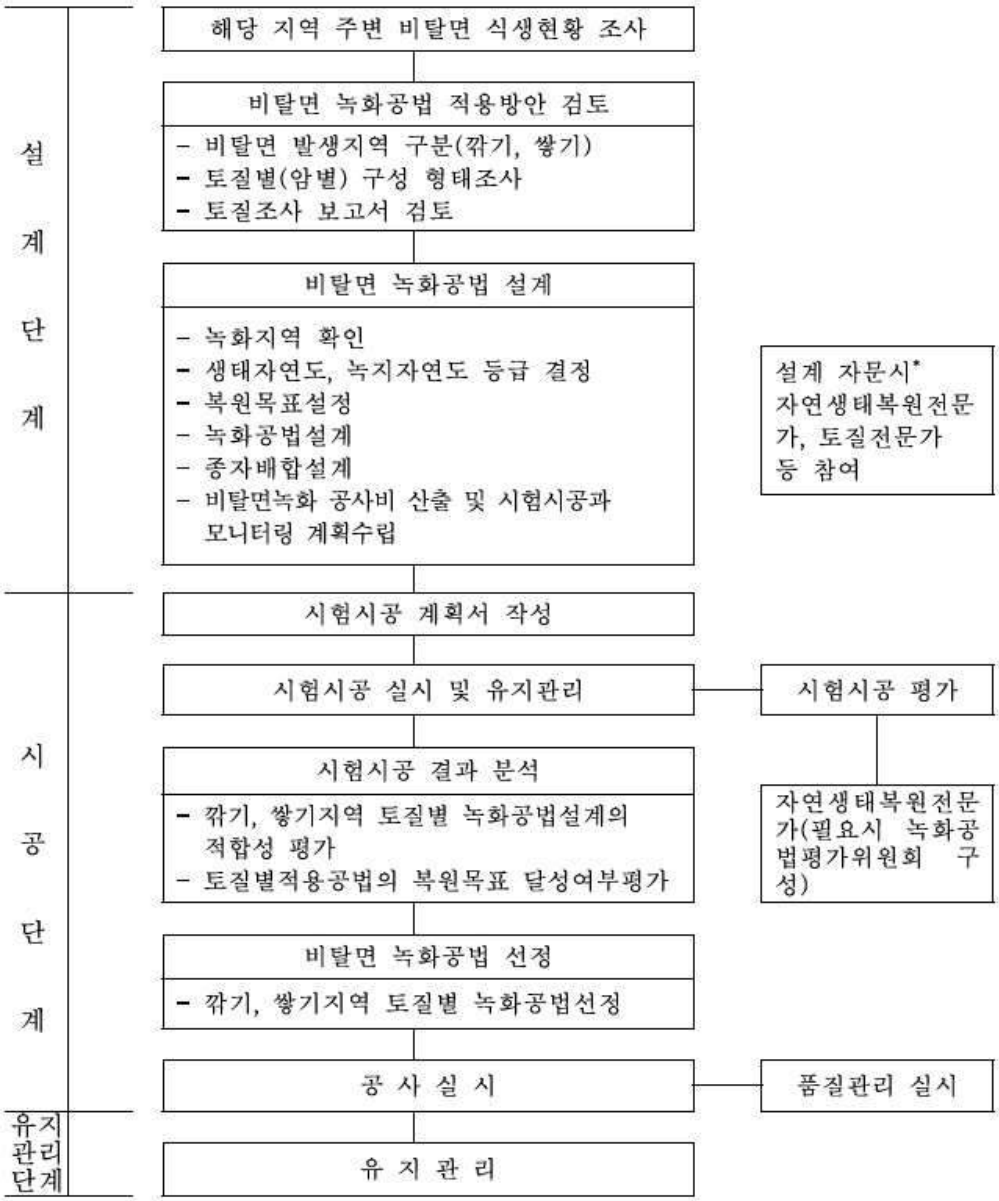
4) 비탈면 구간이 불안정한 비탈면에 대하여, 토질분야 전문가의 자문을 거쳐, 식생에 의한 녹화공법의 적용이 필요한 경우에는 본 지침을 적용할 수 있다.

(3) 경과규정

> 1. 본 지침은 '09. 7. 1부터 시행한다.
>
> 2. 시행일에 비탈면 녹화 설계 및 시공 잠정지침은 폐지한다.
>
> 3. 본 지침의 시행 당시 「비탈면 녹화 설계 및 시공 잠정지침」에 의해 설계가 완료되어 도로건설사업을 시행 중이거나 시행 계획에 있는 사업은 잠정지침을 적용한다, 단 발주자는 현장 여건을 고려하여 본 지침의 규정을 적용할 수 있다.

4) 별도관리지역은 국토핵심생태녹지축지역과 다른 법률의 규정에 의하여 보전되는 지역 중 역사적·문화적·경관적 가치가 있는 지역이거나 도시의 녹지보전 등을 위하여 특별히 관리하고 있는 지역을 말한다.
5) 전문가는 자연생태복원전문가와 토질분야 전문가를 말한다.

(4) 도로비탈면 녹화공사 업무 흐름도



<그림 61> 비탈면 녹화공사 업무 흐름도

* 설계자문에서 녹화지역과 생태자연도, 녹지자연도 등급, 복원목표, 녹화공법, 종자배합설계 및 공사비 등 비탈면 녹화 설계내용의 적정성을 검토한다.

(5) 용어의 정리

본 지침에서 사용되는 비탈면 녹화와 관련된 설계단계, 시공단계, 유지관리단계별 주요 용어들에 대한 정의는 다음과 같다.

① 비탈면녹화의 설계단계 관련 용어

1) 관목

줄기와 수관(樹冠)의 구별이 명백하지 못하고 대체로 키가 낮은 나무(4m 이하 나무)를 말한다.

2) 개척양수

선구성 식물로서 비교적 다량의 햇빛을 요구하는 수종을 말한다.

3) 견질토사

견고한 모래, 진흙이나 점토로서 괭이나 곡괭이를 사용할 정도의 토질(체중을 이용하여 2~3회 동작을 요할 정도)을 말한다.

4) 교목

한 개의 주간(主幹)을 가지고 있고 키가 큰 나무를 말한다.

5) 극성상 산림

천이단계에서 최고로 높은 단계의 산림을 말한다.

6) 기초식재용

자연환경의 조성에 기초가 되는 식물을 말한다.

7) 난지형초종

여름철이 생육 적온기인 초종을 말하며, 한국잔디, 버뮤다그래스, 위핑 러브그라스(weeping lovegrass) 등이 있다. 위핑러브그라스(weeping lovegrass)는 척박지에서 생육이 왕성하지만 종자의 크기가 작고 가볍기 때문에 주변으로 확산하기 용이하여 주변 생태계에 미치는 영향이 클 수 있다.

8) 내음성수종

식물이 교목 등의 아래 그늘에서 생육을 잘하는 식물 종류를 말한다. 지피류, 관목류, 소교목류에서 많으며, 낮은 광량에서 잘 자라는 식물을 총칭한다.

9) 녹지자연도

녹지자연도는 인간에 의한 인위적 개변상황을 파악하기 위하여, 식물군락의 종 조성을 기반으로 녹지성과 자연성을 고려하여, 육지지역을 10개 등급으로 나누어서 표시하는 지표이다.

<표 8> 자연녹지관리의 기본방향

구 분	녹지자연도	대 표 지 역	관 리 방 침	국토대비
보전지역	8-10등급	장령림, 원시림, 고산초원	보전위주관리	13.3%
완충지역	4-7등급	잔디, 갈대조림 등의 초원, 조림지, 유령림	개발과 보전의 조화	53.0%
개발지역	1-3등급	시가지 농경지	개발이용	33.7%

<표 9> 녹지자연도 등급의 산정기준

권역	지 역	등급	명 칭	내 용
육지권	개발지역	1	시가지 조성지	녹지식생이 거의 존재하지 않는 지구(해안, 염전, 암석 나출지 및 해안사구)
		2	경작지	논 또는 밭 등의 경작지구
		3	과수원	경작지나 과수원, 묘포장과 같이 비교적 녹지식생분량이 우세한 지구
	완충지역 (반자연지역)	4	이차초원(A)	잔디군락이나 인공초지(목장)등과 같이 비교적 식생의 키가 낮은 1차적으로 형성된 초원지구
		5	이차초원(B)	갈대, 조릿대군락 등과 같이 비교적 식생의 키가 높은 이차적으로 형성된 초원지구
		6	조 림 지	각종 활엽수 또는 침엽수의 식재림지구(조림지구)로 수원사시나무, 낙엽송, 잣나무 등의 군락지
		7	이 차 림(A)	일반적으로 이차림이라 언급되는 식생지구(자연군락이 인간의 영향에 의해 성립되었거나 유지되고 있는 군락, 즉 천이 과정의 서어나무, 상수리나무, 졸참나무군락) 등 유령림 약 20년생까지
	보존지역 (자연지역)	8	이 차 림(B)	원시림 또는 자연식생에 가까운 이차림 지구 신갈나무, 물참나무, 가시나무 맹아림(벌채 후 줄기아랫부분에 싹이 터 시간이 경과함에 따라 형성된 숲) 등: 소위 장령림, 약 20-50년생
		9	자 연 림	다층의 식생사회를 형성하는 천이의 마지막에 이르는 극상림 지구, 가문비나무, 잣나무, 분비나무 등의 고령림, 약 20-50년생
		10	고산자연초원	자연식생으로서 고산성 단층의 식생사회를 형성하는 지구, 지리산 세석평전 등 고산지대의 초원지구

10) 리핑암

불도저에 장착된 리퍼(Ripper)에 의한 굴착이 가능한 암질을 말한다.

11) 밀원식물(蜜源植物)

벌이 꿀을 빨아 오는 원천이 되는 식물(아까시나무, 자운영 등)을 말한다.

12) 발파암

불도저에 장착된 리퍼(Ripper)에 의한 굴착이 불가능하고, 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야하는 암질을 말한다.

13) 비탈면 경사도(°)

비탈 상부(비탈 어깨)에서 비탈하부(비탈 끝)까지의 기울어진 정도를 말하며, 경사계(Clinometer)로 측정한다.

14) 비탈면 방위(°)

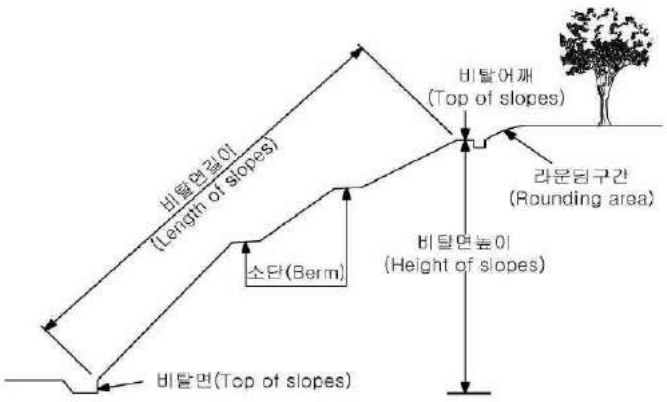
비탈면의 동서남북의 향을 말하며, 방위계(Compass)를 이용하여 측정한다.

15) 비탈면 길이(length of slopes; m)

비탈면 경사방향으로 잰 비탈면의 길이를 말한다. 단, 배수로 부분은 제외한다.

16) 비탈면 높이(Height of slopes; m)

비탈 상부(비탈 어깨)에서 비탈하부(비탈 끝)까지의 수직고를 말한다.



<그림 62> 도로비탈면의 구조와 명칭

17) 생태자연도

생태자연도는 산, 하천, 습지, 호소, 농지, 도시, 해양 등에 대해 자연환경 전체를 생태적 가치, 자연성, 경관 가치 등에 따라 등급화 하여 작성한 지도이다(자연환경보전법 제23조 근거). 각종개발계획의 수립·시행에 활용할 수 있도록 전국의 자연환경을 멸종위기 또는 보호야생동·식물의 분포상황, 경관 등 생태적 특성에 따라 등급을 표시하는 지표이다(자연환경보전법 제34조 근거). 지역에 따라서 1등급, 2등급, 3등급, 별도 관리지역으로 구분한다.

<표 10> 생태자연도 등급별 구분 기준

생태자연도 등급	내 용
1등급 지역	① 멸종위기 야생동·식물 또는 보호야생동·식물의 주된 서식지, 도래지 및 요이동 통로가 되는 지역 ② 생태계가 특히 우수하거나 경관이 특히 수려한 지역 ③ 생물의 지리적 분포한계에 위치하는 생태계지역 또는 주요 식생의 유형을 대표하는 지역 ④ 생물다양성이 풍부한 지역 ⑤ 자연원시림 또는 이에 가까운 산림 및 고산 초원 ⑥ 자연생태 또는 이에 가까운 하천·호소·강하구·갯벌 및 해양
2등급 지역	1등급에 준하는 지역으로서 장차 보전의 가치가 있는 지역 또는 1등급 전역의 외부지역
3등급 지역	1등급·2등급전역 및 별도 관리지역으로 분류된 지역외의 지역으로서 개발 또는 이용의 대상이 되는 지역
별도관리지역	백두대간 보호지역 등 다른 법률의 규정에 의하여 보전되는 지역 중 역사적·문화적·경관적 가치가 있는 지역이거나 도시의 녹지보전 등을 위하여 관리하고 있는 지역 (자연보호림, 자연공원, 천연기념물보호구역, 조수보호구역 등)

18) 선구식물(先區植物)

맨 땅에 침입해서 정착하여 천이를 시작하는 식물을 말한다.

19) 식생기반재뿜어붙이기

㉠ 두꺼운 식생기반재뿜어붙이기

암반비탈면에 고압뿜어붙이기기를 이용하여 식생기반재를(5cm이상) 두텁게 뿜어붙이기하는 공법을 말한다. 압력으로 분사함으로써 가파른 비탈면에 두텁게 식생기반재를 뿜어붙이기 할 수 있다.

㉡ 얇은 식생기반재뿜어붙이기

비탈면녹화를 위해 얇은층의 식생기반재(5㎝미만)와 함께 종자, 비료 등을 주로 습식으로 뿜어붙이기하는 공법을 말한다. 작업효율이 우수하여 대면적 시공에 유리하지만 식생기반재의 물성에 따라 녹화식물의 생육경향이 다르게 나올 수 있다.

㉢ 2층뿜어붙이기

식생기반층을 우선 조성하고, 그 위에 종자층을 분리하여 시공하는 공사방법을 말한다. 종자층의 두께가 파종량 결정의 기준이 되며 종자 구득비용이 많이 소요되는 녹화식물을 파종할 때 종자소요량을 줄일 수 있는 것이 장점이다.

20) 숏크리트

압축공기를 사용하여 모르타르를 깎기 비탈면 표면부에 피복시켜 불연속면에 대한 접착을 유도하고 구속압을 일정하게 유지시켜 깎기 비탈면의 안정성을 확보하는 공법을 말한다.

21) 수밀기

벌이 꿀을 따는 시기를 말한다.

22) 수목식재공법

수목식재공법은 묘목식재, 차폐식재, 소단상객토식수공법, 새집 공법 등을 말한다. 비탈면에서는 식재목의 뿌리생육이 느리게 진행되므로 뿌리가 활착되어 고정되기까지 철저한 관리가 요망된다. 일반적으로 비탈면에 파종으로 성립시킨 수목은 인공적으로 식재한 나무보다 땅속으로 뿌리가 깊게 신장하는 경향을 보여 비탈면의 안정에 도움을 줄 수 있다.

23) 수종 및 초종

비탈면에서 자라는 나무(수종)와 초본의 종류(초종)를 말한다.

24) 아교목

아교목은 교목과 관목의 중간 식물로 교목보다 작지만 모양은 교목과 같다. 교목과 관목의 중간 크기의 나무를 말한다.

25) 암종류

㉠ 화성암 : 화산에서 분출된 용암이 굳어져서 암석이 된 것을 말하며, 화산암(분출암)과 관입암으로 구분되어 진다.

㉡ 퇴적암 : 지표에 노출된 암석이 끊임없는 풍화와 침식작용으로 원암으로부터 분리된 물질로 유수, 바람, 조류 및 빙하 등에 의해 운반되어 쌓인 물질들이 다짐, 침전, 교결작용 등으로 굳어져서 암석이 된 것을 말하며, 쇄설성 퇴적암, 비쇄설성 퇴적암으로 구분된다

㉢ 변성암 : 지각 내 존재하는 암석이 열과 압력 및 화학적 변성작용을 일으켜 광물들이나 조직이 재배열되어 생성된 것을 말하며, 파쇄암, 접촉변성암, 광역변성암으로 구분된다

※ 산성배수 발생암석 : 다량의 황철석을 함유하고 있으며, 황철석의 산화에 의하여 발생되는 산성배수가 암석의 중화능력을 초과하는 암석을 지칭한다. 녹화하기 위해서는 식생생육 기반층 조성을 위한 특별한 설계를 고려해야 한다.

26) 암반상태조사

비탈면을 구성하고 있는 암반의 종류와 암반의 불연속면 특성을 조사한다. 아울러 토사와 암반의 혼합비에 대해서도 조사한다.

27) 양수(陽樹)

빛을 잘 받아야 생육하는 나무를 말한다(소나무, 자작나무 등).

28) 음수(陰樹)

약한 빛에서도 잘 생육하는 나무를 말한다(너도밤나무, 주목 등).

29) 외래초종(양잔디류)

비탈면 녹화공사에 지금까지 많이 이용해오던 식물들로 생육적온이 15~24°C인 한지형초종(cool-season grass)과 생육적온이 25~35°C인 난지형초종(warm-season grass)으로 구분된다.

30) 자연생태복원전문가

자연생태복원전문가는 아래에서 정하는 기술자격이나 학위취득 후 소정의 경력을 갖춘 자 또는 아래 자로 구성되어 있는 자연생태복원전문기관을 말한다.

■ 조경학, 임학, 원예학, 생물학 등 관련분야에서 박사학위 취득 후 비탈면 녹화 계획, 설계 및 시공 관련 분야 3년 이상 종사한 경력이 있는 자.

■ 조경학, 임학, 원예학, 생물학 등에서 관련분야로 석사학위 취득 후 비탈면 녹화 계획, 설계 및 시공 관련된 분야 5년 이상 종사한 경력이 있는 자.

- 비탈면녹화 계획, 설계 및 시공 경험이 3년 이상인 자연환경관리기술사 및 조경기술사
- 자연생태복원기사 또는 조경기사 자격이 있으면서 비탈면녹화 계획, 설계 및 시공 등 관련된 분야 10년 이상 종사한 자.
- 자연생태복원산업기사 또는 조경산업기사 자격이 있으면서 비탈면녹화 계획, 설계 및 시공 등 관련된 분야 13년 이상 종사한 자.

31) 자생종(국내)

국내에서 오랜 세월에 걸쳐 다른 품종과 교배되지 않고 자생하여온 식물을 말한다. 자생종을 국내에서 채취하였을 경우 자생종(국내)로 표기한다.

32) 자생종(국외)

국내에서 오랜 세월에 걸쳐 다른 품종과 교배되지 않고 자생하여온 식물이지만 생육범위가 넓어 국외에서 채취한 경우를 말한다. 국외에서 채취한 자생종은 자생종(국외)으로 표기한다. 우리나라와 위도가 유사한 중국지역에서 채취한 식물중 자생종(국외)으로 표기될 수 있는 종자들이 다수 있다.

33) 자생종(재래목본)

재래 목본은 어느 지방에서 오랜 세월에 걸쳐 다른 품종과 교배되지 않고 자생하거나 길러 오던 목본(나무)을 말한다.

34) 자생종(재래초본)

어느 지방에서 오랜 세월에 걸쳐 다른 품종과 교배되지 않고 자생하거나 길러 오던 초종(풀)을 말한다.

35) 지피식물(地被植物)

지피식물은 땅에 밀착하여 자라고 바람이나 비에 의한 피해를 방지해 주는 식물로써 지표면의 피복과 미화를 목적으로 집단 식재하는 일년초, 숙근초 등을 말한다. 한국잔디와 한지형 초종, 야생화류를 포함하며, 기린초, 산국, 벌노랑이, 송악, 쑥부쟁이, 양지꽃, 금계국 등이 있다.

36) 주변임상

조사대상 비탈 주변 산림의 식생구성 상태를 말한다. 주변임상은 비탈면의 종 공급원으로써 복원잠재력과 연관이 높다.

37) 중성양수

양수에 속하는 나무이지만 음수와 양수의 중간을 띈 나무를 말한다.

38) 초본류식재

초본류식재는 잔디식재, 새심기, 야생화 포트묘 식재 등을 말한다. 조기에 식재효과를 기대할 수 있으나 유지관리가 어렵다.

39) 터프타입(Turf type)

도입식물 중에서 주로 한지형초종(Tall fescue)의 거칠고 왜성의 잎을 가진 식물을 말한다.

40) 토사

보통 상태의 실트 및 점토, 모래질 흙 및 이들의 혼합물로서 삽이나 괭이를 사용할 정도의 토질(삽 작업을 위하여 상체를 약간 구부릴 정도)을 말한다.

41) 파종공법

파종공법에는 고압뿜어붙이기기로 파종하는 방법과 인력으로 파종하는 점파공법, 조파공법, 산파공법 등이 있다. 요즈음에는 기계에 의한 고압뿜어붙이기 파종공법이 주를 이룬다.

42) 한지형초종

지상부의 생육적온이 서늘한 환경인, 15~24°C의 온도조건에서 잘 자라는 초종으로 온대북부지역, 아한대 및 한대기후대지역에서 잘 자라며, 우리나라에서는 봄과 가을이 생육적기이다. (톨훼스큐(tall fescue), 퍼레니얼라이그라스(perennial ryegrass), 켄터키블루그라스(kentucky bluegrass) 등)

43) 녹화지역의 구분

㉠ 국토핵심생태녹지축지역

우리나라의 백두대간보호법에 의한 보호지역을 말한다.

㉡ 해안생태계지역

우리나라는 3면이 바다로 둘러싸여 있으므로 행정구역도를 통해 해안과 인접한 지역을 추출하였다. 해안선으로부터 내륙지역으로 4km의 거리 내부에 있는 지역은 해안생태계의 독특한 특성이 나타나는 곳이므로, 이 범위안의 지역을 해안생태계지역으로 설정하였다(4km 이내 지역에서는 해송(곰솔) 분포 등 해안식생의 영향범위가 나타나는 지역임).

㉢ 내륙생태계지역

우리나라 국토에서 국토핵심생태녹지축지역과 해안생태계지역을 제외한 지역이 내

륙생태계지역에 해당된다.

② 비탈면녹화의 시공단계 관련 용어

1) 감독자

건설기술관리법 제35조의 규정에 의하여 발주자가 임명한 감독자를 말한다. 다만, 건설기술관리법 제27조의 규정에 의하여 책임감리를 하는 공사에서 당해 공사의 감리를 수행하는 감리원을 말한다.

2) 개체수

방형구(1m × 1m)내에 출현하는 수종 및 초종의 하나하나의 독립적인 식물의 숫자를 말한다.

3) 경운(耕耘)

논밭을 갈고 김을 매는 것을 말하는데, 산림에서는 종자를 파종하고자 땅을 갈아 업고 잘게 부수어 주는 것을 말한다.

4) 고착성

식물이 암반이나 비탈면에 붙어 있는 성질을 말한다.

5) 근계층(根系層)

뿌리가 갈라져서 땅속에 분포해 있는 상태를 하나의 계로서 취급할 때 이를 근계라 하며 근계로 이루어진 층을 말한다.

6) 근층(根層)

뿌리층을 말한다.

7) 내척성

식물이 척박지에서 견디는 성질을 말한다.

8) 노천매장

종자를 채종한 뒤에 땅속에다 저장하는 방법을 말한다. 종자의 저장과 결실종자의 휴면타파 등을 위해 배수가 잘 되는 곳에 구덩이를 파고 축축한 모래와 함께 종자를 넣어 보관하는 방법으로 단풍나무, 벚나무, 주목, 목련 등은 채종해서 과육을 벗겨낸 뒤 양파망 같은 곳에 넣어 땅속에 묻어 두는 것을 말한다.

9) 멀칭재

건설현장에서 발생되는 잔가지, 뿌리 등의 식물발생재를 적절한 크기로 파쇄하여 식재수종 주변이나 비탈면의 토양을 피복하는 것을 말한다.

10) 박피

종자의 껍질을 까는 것을 말한다.

11) 발아실험

종자에서 식물의 싹이 나는 것을 조사하는 실험을 말한다. 발아상내에서의 발아율 결과와 포장 발아율은 다를 수 있으며, 파종량 계산에서는 발아상 발아율의 결과를 적용한다.

12) 발아율(發芽率)

식물의 싹이 트는 비율을 말한다.

13) 발생기대본수

종자를 묘포 및 비탈면 등에 파종하여 초기에 발아하는 단위면적당 식물개체수를 말한다. 발생기대본수는 파종량과 파종식물의 발아율, 1g당 종자립수, 종자의 순도에 영향을 받는다.

14) 방형구법(quadrat method)

정방형의 모양을 기본으로 하여 작은 방형구를 이용한 식생조사방법으로써 방형구의 크기는 각 군락의 최소면적, 가장 적당한 넓이에서 취하는 것이 일반적이다. 또한 개체수가 많은 경우 하나의 방형구내에서 격자틀을 이용하여 반복 조사하는 경우도 있다. 시험 시공지 녹화품질 평가에서는 1m × 1m의 조사방형구가 활용되며, 1년이 경과된 후에는 조사방형구의 면적을 2m × 2m 이상의 크기로 확대하여야 한다.

15) 벨트트랜섹트법(belt transect)

방형구법의 변형된 형태로서 기준선을 따라 일정한 폭을 지닌 띠 형태의 식생조사구를 설정하고, 그것을 일정한 간격으로 조사하는 것으로써 방형구를 일정한 방향으로 연속되게 이어 놓은 것이다. 이 방법은 입지조건이 계속적으로 변화하는 것에 따른 식생변화를 조사하는데 적합하다.

16) 분얼수

토양속의 줄기의 인접부의 마디에서 새로운 포기 또는 줄기가 나오는 수를 말한다. 톨훼스큐(tall fescue)는 일정 생육기간이 지나면 분얼수가 급격하게 증가하면서 초폭이 넓어지는 경향을 보인다.

17) 뿌리묻기

근삽(根揷)이라고도 하며, 나무뿌리를 이용하여 땅에 묻어 싹이 트게 하고 생육시키는 것을 말한다.

18) 소형방형구(小形方形區)

방형구는 식물군락의 표본을 추출할 때 사용하는 틀을 말하며 쿼드러트라고도 한다. 방형구는 반드시 정사각형은 아니며 직사각형, 원형 등도 쓰인다. 방형구의 크기는 일반적으로 군락을 대표하는 종류와 그것을 포함하는 넓이 곡선에서 얻어진 최소 넓이로 정해진다. (소형방형구 예시 : 1m × 1m, 2m × 2m)

19) 수고 및 초장

방형구내에 출현하는 수목 및 초종의 지면으로부터의 높이를 말한다.

20) 수피

나무껍질을 말한다.

21) 순량율(純量率)

협잡물 등을 제거한 순정종자 중량의 전체중량에 대한 백분율을 말한다.

22) 식생피복율

피복율이라고도 하며, 방형구내에 출현하는 수종 및 초종의 점유비율(%)을 말하며, 녹화공사가 시공된 비탈면의 전체적인 식생피복율은 평균적인 생육을 보이는 3개소 이상의 방형구 측정치 결과를 평균하여 산정한다.

23) 양료

질소, 인산, 칼륨처럼 식물의 생장에 영양분이 되는 것을 말한다.

24) 식물발생재

건설공사현장에서 벌목 등으로 인해 발생되는 발생목(벌채목)으로써 현재 재활용이 어려워 폐기물로 반출되는 뿌리, 가지, 줄기 등을 포함한다.

25) 토양경도(土壤硬度)(mm, kg/cm²)

토양의 치밀도 또는 견밀도라고도 하며, 토양경도계(山中式 토양경도계가 많이 사용된다)를 이용하여 비탈면 상부, 중부, 하부를 각 10회씩 측정하여 평균하고 사용편의상 토양경도지수를 mm단위로 나타낸다. 토양이 경화되면 뿌리의 신장이 저해되거나 물의 이동이 되지 않아 식물의 생육이 불량하게 된다. 토양경도(치밀도)는 보통 24mm 이하일 때 식물의 뿌리 생장이 활발하다.

26) 토양산도(土壤酸度)

토양에 2.5배량의 증류수를 가했을 때 침출액의 pH치를 토양의 산도를 나타낸다.

27) 토양습도(土壤濕度)

토양 중에 수분이 얼마나 포함되어 있는지를 %로 환산한 값을 말한다.

28) 파이버(fiber)

나무 및 초종을 잘게 썰은 섬유를 말한다.

29) 포트재배

화분보다 작은 재배용기에 종자를 이용하여 발아시켜 재배하는 것을 말한다.

30) 풀베기

하예(下刈)작업이라고도 하며, 여름철에 수목하부의 풀을 베는 것을 말한다.

31) CTD

Condenser Trip Device의 약자로 전기전도도를 이용하여 바닷물의 염분농도를 측정하는 기기이다.

③ 비탈면녹화의 관리단계 관련 용어

1) 부숙톱밥비료

나무의 톱밥이 잘 썩어서 된 비료를 말한다.

2) 부엽토(腐葉土)

나뭇잎을 썩힌 배양토(토양)를 말한다.

3) 생태계 교란종

기존에 없던 외래종들이 들어와 기존에 있던 생태계의 질서를 파괴하여 생태계 자체에 교란을 일으키는 종을 말한다. 공사한 녹화 도로비탈면에서 칡과 환산덩굴이 발아한 식생의 생육을 심각하게 저해하는 경우 이들을 생태계 교란종으로 간주할 수 있으며 제거를 원칙으로 한다.

4) 식생사회

생태계 내에서 식물로 구성된 자연을 말한다.

5) 외래종 침입

비탈면 녹화에 따른 지표교란이나 외래종이 혼입된 자재의 사용 및 비탈면 유지관리

등에 의하여 외래종의 정착과 확산이 촉진되는 것을 말한다.

6) 위해종

환경부에서 정하는 다른 동·식물에 위해성이 우려되는 생태계 교란 위험이 높은 종(돼지풀, 단풍잎돼지풀, 서양등골나물, 털물참새피, 물참새피, 도깨비가지, 애기수영, 가시박, 서양금혼초, 미국쑥부쟁이, 양미역취 등)을 말하며, 비탈면 녹화공사에 사용을 금지한다.

7) 하종갱신

나무에서 종자가 자연적으로 떨어져 싹이 트고 자라는 것을 말한다.

2. 도로비탈면 녹화공사의 설계

(1) 설계 순서

비탈면 녹화공법 선정시 녹화지역을 우선 확인하고, 깎기 비탈면과 쌓기 비탈면, 토질(암질) 특성, 비탈면의 경사도, 주변 환경(생태자연도, 녹지자연도 등급), 지역 여건, 식생기반재의 적정 두께 등을 종합적으로 고려하여 최적 녹화공법, 종자배합 등을 설계한다.

[해 설]

1) 비탈면 녹화공법 선정 시 먼저 녹화대상지역이 녹화지역의 구분 중 어느 지역에 해당하는지를 확인하고 복원목표를 정한다.

2) 깎기 비탈면과 쌓기 비탈면으로 구분하고, 비탈면의 토질조건과 식생기반조건에 대한 분석결과를 바탕으로 비탈면 녹화공법 선정절차에 따라 비탈면 복원목표, 비탈면의 경사도, 토질(암질)조건, 주변 환경, 지역여건 등을 종합적으로 고려하여 최적의 녹화공법을 적용한다.

3) 녹화공법을 선정할 때에는 현장을 방문하여 설계 조건을 확인한다.

4) 선정된 녹화공법에 적용할 종자배합을 설계한다.

5) 평면도를 이용하여 전개도를 작성하고 녹화공법별 수량을 산출한다.

6) 녹화공법별 설계단가, 설계내역서를 작성한다.

(2) 복원 목표

비탈면의 복원목표는 녹화지역과 생태자연도 등급에 따라 초본위주형, 초본·관목혼합형, 목본군락형, 자연경관복원형으로 구분한다. 생태자연도 1등급지역과 별도관리지역은 자연경관과 생태계 복원가치가 높은 지역이므로 자연경관복원형으로 복원하고, 해안지역에서는 해안생태계의 특성에 적합한 식물을 고려하며, 내륙 지역에서는 경관적인 측면을 고려하여 생태자연도 등급과 녹지자연도등급에 따라 비탈면의 형상과 토질을 고려하여 복원목표를 정한다.

[해 설]

1) 도로 주변 생태계와 유사한 모습으로 복원하는 것이 경관적으로나 생태적으로 바람직하고, 목본이 혼재되는 식생구조가 이산화탄소 저감에도 효과적이다.

2) 복원목표는 초본위주형, 초본·관목혼합형, 목본군락형, 자연경관복원형으로 구분하며, 녹화지역 분류 기준에 의해 국토핵심녹지축지역과 해안생태계지역, 내륙생태계지역으로 구분하고 생태자연도 등급을 고려하여 복원목표를 다르게 적용한다. 내륙생태계지역에서는 생태자연도 1등급지역은 자연경관복원형으로, 생태자연도 2등급, 3등급 지역은 녹지자연도 등급에 따라 전문가의 자문을 받아 「표 12 녹화지역과 생태자연도별 비탈면 복원목표」를 참조하여 복원목표를 설정한다.

3) 목본이 혼재된 식생구조가 경관적으로 양호하고 생태적으로 건전함으로 목본식재가 가능한 토사비탈면 등에는 시거장애, 지반안정 등을 고려하여 목본을 혼합하도록 복원목표를 설정한다.

(3) 녹화지역의 구분

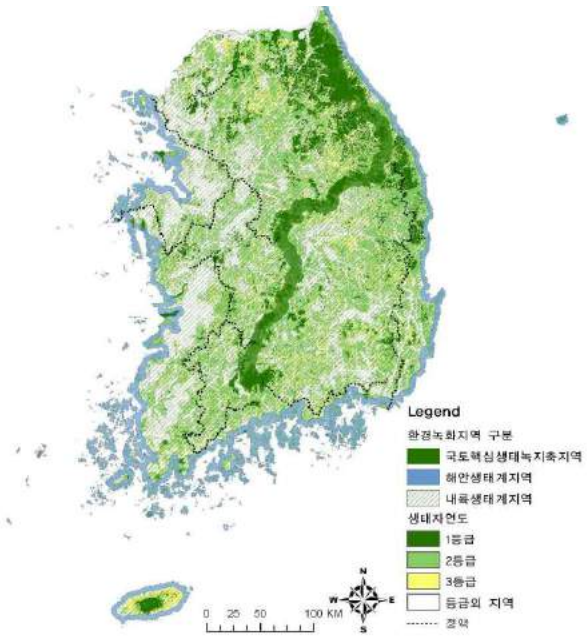
녹화지역의 구분은 기후환경, 지역환경, 산림환경, 토질조건 등을 고려하여 태백산맥을 중심으로 한 국토핵심생태녹지축지역, 해안일대와 도서지역을 포함한 해안생태계지역, 내륙생태계지역으로 구분한다.

[해 설]

1) 녹화지역의 구분은 기후환경, 지역환경, 산림환경 등을 고려하여 「그림 63 녹화지역 구분과 생태자연도 등급분류도」 에 따라 3개의 지역으로 구분한다. 녹화지역 구분 제1지역은 태백산맥을 중심으로 한 국토핵심생태녹지축지역, 제2지역은 해안일대 도서지역을 포함한 해안생태계지역, 제3지역은 내륙생태계지역으로 한다.

2) 해당구간 외 지역은 가장 근접된 지역을 적용하며, 중복구간은 상위기준을 적용한다.

3) 녹화지역의 구분에서 나타난 「표 11 생태자연도 평가등급별 비탈면 복원목표」, 「표 12 녹화지역과 생태자연도별 비탈면 복원목표」에 의거 초본위주형, 초본·관목혼합형, 목본군락형, 자연경관복원형의 복원목표를 적용한다.



<그림 63> 녹화지역 구분과 생태자연도 등급분류도[6)]

6) 「그림 63 녹화지역 구분과 생태자연도 등급분류도」는 생태자연도를 근거로 작성하였으며, 지역의 정확한 구분은 환경지리정보[EGIS]를 참조한다.

(4) 생태자연도 등급별 비탈면 복원목표 적용

비탈면 복원목표는 생태자연도의 등급과 주변 생태계의 특성(녹지자연도 등급)을 고려하여 적용한다.

[해 설]

1) 도로건설로 인해 발생된 자연지형 훼손지역은, 녹화지역구분과 생태자연도 등급을 고려하여, 비탈면의 침식방지와 안정, 생물다양성보존, 이산화탄소저감, 도로경관의 향상 등의 기능을 담당할 수 있도록 녹화한다.

2) 비탈면 복원목표는 자연경관복원형과 일반 복원형으로 구분하고, 이를 각각 초본위주형, 초본·관목혼합형, 목본군락형으로 분류하여 적용한다.

3) 우리나라 국토는 생태자연도 1등급, 2등급, 3등급, 별도관리지역 및 등급 외 지역으로 구분되는데, 생태자연도 등급에 따라 비탈면 복원목표를 다르게 적용한다. 생태자연도 1등급지역과 별도관리지역에서는 지역고유초종을 사용하는 등 생물종다양성 보존과 자연경관의 조기회복에 기여토록하기 위해 자연경관복원형의 목표를 설정한다.

<표 11> 생태자연도 평가등급별 비탈면 복원목표

생태자연도 등급	복원목표	
	일반 복원형	자연경관복원형
1		○
2	○	
3	○	

※ 별도관리지역은 생태자연도 1등급으로 본다.

※ 생태자연도 등급이 설정되지 않은 기타 등급 외 지역은 생태자연도 3등급의 기준을 적용한다.

※ 복원목표별로 시험시공을 통해 품질이 우수한 녹화공법을 선정하고, 특히, 자연경관복원형은 현지에 적합한 식물 위주로 설계한다 「표 13, 14 참조」.

<표 12> 녹화지역과 생태자연도별 비탈면 복원목표

녹화지역구분 \ 복원목표		생태자연도 등급별 복원목표					
		1등급	2등급			3등급	
		자연경관 복원형	일반 복원형			일반 복원형	
			목복 군락형	초본 관목 혼합형	초본 위주형	초본 관목 혼합형	초본 위주형
국토핵심생태녹지축지역		○	○	○	○	○	○
해안생태계지역		○	○	○	○	○	○
내륙생태계 지역	녹지자연도 8등급 이상	○	○	○	○	○	○
	녹지자연도 7등급 이하		○	○	○	○	○

※ 생태자연도 등급기준은 녹지자연도 등급기준 보다 우선하여 적용한다. 녹지자연도 7등급이라도 생태자연도가 1등급인 경우에는 자연경관복원형의 목표를 정한다.

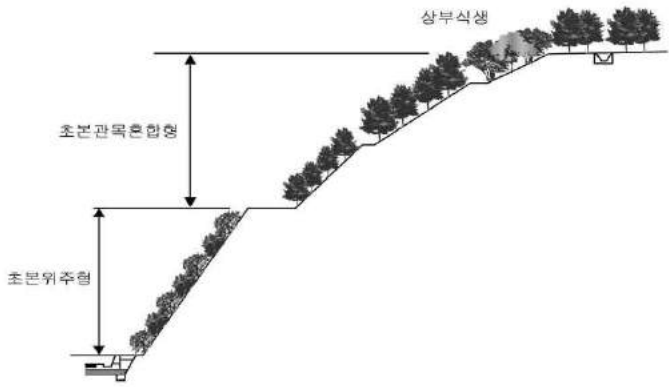
※ 별도관리지역은 생태자연도 1등급으로 본다.

※ 해안생태계지역은 해안생태계의 식물상을 반영한 식물배합을 하되 주변 자연경관과 조화되는 경관녹화에 주력한다.

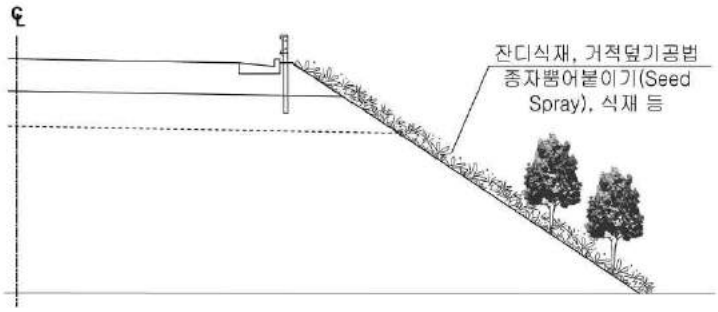
4) 생태자연도 1등급지역 및 별도관리지역은 비탈면 토질(암질) 및 경사도를 고려하고 자연경관복원형으로 한다. 생태자연도 2등급지역 중 녹지자연도 7등급 이상인 곳은 현지조사 결과 생태자연도 1등급에 해당하는 경우에는 자연경관복원형으로 할 수 있다.

5) 복원목표는 비탈면 구분, 비탈면 경사, 토질(암질), 토심(土深), 주변의 경관 식생, 조류 이동 등 현지여건을 종합적으로 조사하여 초본위주형, 초본·관목 혼합형, 목본군락형으로 구분한다.

6) 온난화를 방지하기 위해 이산화탄소 저감효과가 있는 목본 확대 적용이 바람직하다. 따라서, 현지 여건을 조사하고 전문가의 자문을 받아 지반 안정성, 시거(視距) 등에 지장이 없는 구간은 목본을 확대 적용한다.



<그림 64> 일반적인 깎기지역 비탈면녹화 모형도(예시)



<그림 65> 일반적인 쌓기지역 비탈면녹화 모형도(예시)

(5) 녹화설계 일반사항

비탈면 녹화설계는 환경친화적이면서 비탈면의 안정성 유지, 토양 유실방지, 경관복원, 자연식생천이 유도, 이산화탄소 저감에 유리한 식생구조를 조성하기 위해 자연환경, 토양환경, 지질 및 토질(암질) 특성, 식생기반재 기준 등을 종합적으로 고려하여 진행한다. 또한 설계시 기본적으로 지역 환경에 대한 선행조사, 분석, 평가 등의 절차를 거쳐 녹화지역구분과 생태자연도의 등급에 따라 설정된 비탈면 복원 목표를 효과적으로 달성할 수 있도록 녹화공법을 설계한다.

녹화공법이 선정된 다음에는 복원목표 달성을 위한 종자배합을 설계하고, 시험시공계획 및 모니터링계획, 유지관리계획을 수립하여 세부수량을 산출한다.

[해 설]

1) 도로비탈면 녹화설계는 「그림 67 비탈면 녹화공법 선정절차」를 참고하여 적합한 녹화공법을 선정한다. 선정절차에서 제시한 공법은 일반적인 것으로써 설계 시에는 지역 특성에 부합되는 다양한 녹화공법을 검토하여 적합한 공법으로 설계해야 한다. 다만, 쌓기 비탈면은 「그림 67 비탈면 녹화공법 선정절차」에 제시한 일반적인 공법을 설계에 적용한다.

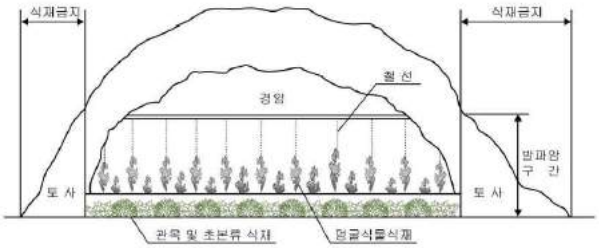
2) 도로설계 과정에서, 비탈면 녹화공법은 현지조사를 통해 복원목표와 녹화공법, 종자배합 설계표, 시험시공 및 모니터링계획, 유지관리계획을 제시한다.

3) 비탈면에 용수가 발생되는 지역은 배수시설을 함께 설계한다. 비탈면 배수로 설계는 비탈면에 유출수를 최소화하고 집수한 물은 배수로를 통해 배출하도록 해야 한다. 비탈면 배수로에는 산마루측구, 소단배수구, 종배수구, 맹암거, 수평배수공 등이 있다.

4) 절리·풍화가 없고 붕락의 위험이 없는 양호한 암반비탈면은 녹화공법을 적용하지 않고 원형 그대로 보전하거나 덩굴식물식재를 적용한다. 다만, 암질이 양호한 지역이더라도 자연경관복원형의 복원목표지역과 도심지 미관이 요구되는 지역에서는 비탈면 녹화공법을 적용할 수 있다.

5) 붕락의 위험이 없는 양호한 암반비탈면에 덩굴식물을 식재하는 경우, 비탈면 주변과 비탈면에 침입한 나무를 감고 올라가면서 경관을 저해할 수 있으므로 「그림 66 암질이 양호한 지역 덩굴식물식재 모형도」와 같은 형태로, 암반비탈면 맨 아랫단에, 제한적인 범위에서, 식재한다. 특히, 덩굴식물 뿌리로 인해 암반의 균열 우려가 염려되는 곳과 자연경관복원의 복원목표 적용지역에서는 등나무 등의 덩굴식물식재를 금한다.

6) 암깎기 구간은 비탈면 녹화공법 시공 전에 현황도(face map)를 작성하고 비탈면 유지관리에 활용하도록 준공 후 이를 관리주체에 이관·보존한다.

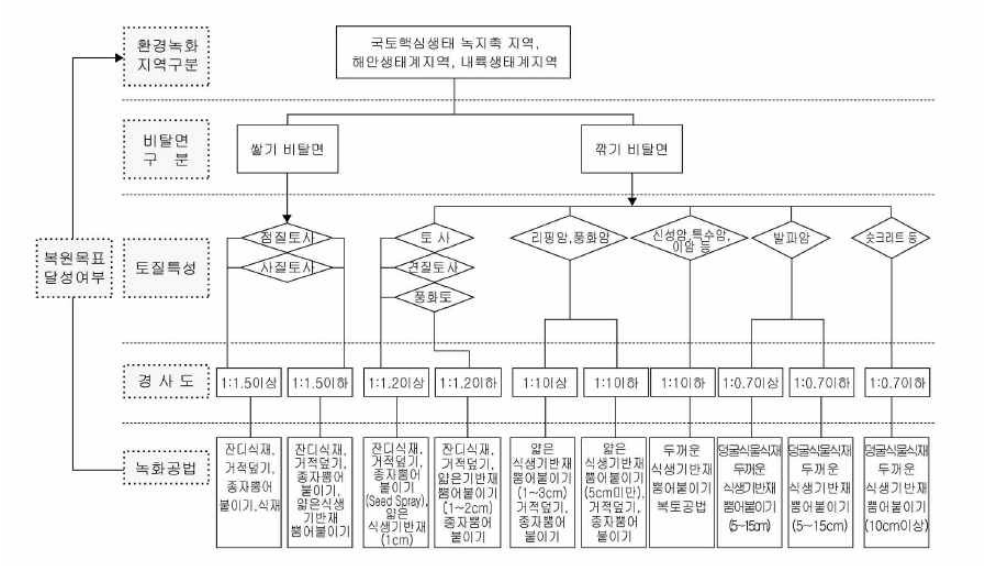


<그림 66> 암질이 양호한 지역 덩굴식물 식재 모형도(예시)

(6) 녹화설계 일반사항

① 비탈면 녹화공법 선정절차

비탈면 녹화공법은 <그림 67>와 같은 선정절차에 따라 선정한다. 단, 아래에 제시한 공법은 토질과 경사도에 따른 일반적인 녹화공법의 예시이며, 전문가의 의견을 수렴하고 다양한 녹화공법을 검토하여 현지 여건에 맞는 녹화공법을 선정하여야 한다.



<그림 67> 비탈면 녹화공법 선정절차

※1. 상기공법은 토질특성과 경사도에 따라 일반적인 공법을 예시로 제시한 것이며 이외에도 식생매트, 식생네트, 자생종 포트묘식재+식생기반재 뿜어붙이기, 표층토 활용공법, 식물발생재 활용공법, 친환경소재 활용공법, 조경수 식재공법 등 다양한 녹화공법이 있으며 리핑암 풍화암구간의 거적덮기와 종자뿜어붙이기는 암풍화에 따라 제한적으로 적용 가능한 공법이다. 식재는 초본류 식재, 초본·관목류 식재, 목본류 식재 등이 있다. 식생기반재 뿜어붙이기 두께도 일반적인 값을 제시한 것이며 현장 여건에 따라 적정하게 설계한다.

※2. 1:1.5는 높이가 1일 때 수평거리가 1.5인 비탈면이며 1:1.5 이상은 수평거리가 1.5이상을 말한다.

② 특수한 암질의 녹화공법 선정

산성배수를 유발하는 암이나 점토광물을 함유하여 swelling, slaking 현상을 유발하고 급속히 풍화가 진행되어 사면이 불안정하게 될 가능성이 있는 이암(셰일) 등 특수한 암질인 경우는 유사사례를 조사, 분석하고 전문가의 자문을 받아 적정한 녹화공법을 선정해야 한다.

[해 설]

1) 이암(swelling, slaking 현상을 유발하는 특수한 암질) 등의 특수비탈면은 자연적으로 식물이 생육하기 어려우므로 전문가의 자문을 받아 녹화공법을 선정한다.

2) 이암 등의 특수비탈면은 강우에 의한 침식 및 세굴의 우려가 높으므로 전문가의 자문을 받아 비탈면 안정을 도모한 후 녹화를 해야 한다.

3) 산성배수를 유발하는 암은 코팅, 중화 처리에 의하여 산성배수를 저감시켜야 식물의 생육이 가능하므로 전문가의 자문을 받아 복토, 식생기반재뿜어붙이기 등 녹화공법을 선정해야 한다.

(7) 종자배합설계

① 일반 사항

> 녹화공법별 종자 배합은 도로 주변환경을 고려하고, 녹화지역, 복원 목표, 비탈면 토질(암질) 및 경사도에 따라 적합하게 설계한다.

[해 설]

1) 녹화지역별 종자배합설계는 초본위주형, 초본·관목혼합형, 목본군락형, 자연경관복원형 등의 복원목표에 부합되도록 한다.

2) 목본군락형, 자연경관복원형의 복원목표 달성을 위해 생태복원녹화공법들의 특성에 맞게 주변에서 채취한 표토활용, 종자파종 및 자생종의 묘목식재, 이식 등의 방법을 검토하고, 식생기반재뿜어붙이기와 병용하는 방안과 자연천이를 촉진 및 유도하는 방안 등을 강구할 수 있다.

3) 선정된 비탈면녹화공법에 적용할 종자배합은 「표 12 자연경관복원형 적용지역 녹화공법 종자배합비율 조건표」, 「표 13 기타 적용지역 녹화공법종자배합비율 조견표」에 따라 설계한다. 다만, 자연경관복원형은 복원목표를 달성하기 위해 불가피한 경우에는 녹화공법의 특성에 맞추어 종자배합설계를 다르게 적용할 수 있다.

4) 종자배합 설계에 대한 구체적인 내용은 종자배합량 조견표에서 제시하고 있는 목본 및 초본, 야생화류, 외래초종(양잔디류)의 종자배합비율을 참조한다.

<표 12> 자연경관복원형 적용지역 녹화공법 종자배합비율 조건표

복원목표	식생구분	종자배합비율(%)
초본 위주형	관목류	20~40[7]
	초본, 야생화류	40~80
	외래초종(양잔디류)	0~10
	합 계	100[8]
초본 · 관목 혼합형	관목류	30~50
	초본, 야생화류	45~70
	외래초종(양잔디류)	0~5
	합 계	100
목본 군락형	교목류, 아교목류, 관목류	40~70
	초본, 야생화류	30~70
	외래초종(양잔디류)	0
	합 계	100

※ 1. 복원목표가 자연경관복원형인 경우 녹화식물은 그늘사초, 큰기름새, 대사초, 참억새, 새, 솔새, 개솔새, 쑥류(맑은대쑥, 쑥, 넓은잎외잎쑥, 뺑쑥), 양지꽃, 노루오줌, 구절초, 참취, 큰까치수영, 뚝갈 등의 초본류와 생강나무, 진달래, 철쭉, 개옻나무, 붉나무, 국수나무, 산초나무, 쥐똥나무, 개암나무, 호랑버들, 병꽃나무, 찔레나무, 산딸기, 복분자딸기, 노린재나무, 호랑버들, 소나무 등의 목본류가 비탈면 녹화용 자생종(재래초본, 재래목본)으로 사용될 수 있으며, 이들 외에도 부록에서 제시된 식물들을 추가로 사용할 수 있다.

※ 2. 녹화용 식물은 현지에 서식하는 식물을 주로 활용하고, 중국산인 경우 산지를 확인하여 우리나라 기후 및 풍토와 유사한 지역인지를 확인한다.

※ 3. 목본군락형의 경우 교목류와 아교목류는 비탈면 상부의 토심이 깊고 경사도가 완만하고 비탈면 안정에 영향이 없으며 시거에 지장이 없는 구간에 적용이 가능하며, 성장 후 키가 낮은 식물을 우선 적용할 수 있다.

7) 숫자는 중량배합비율을 의미한다.
8) 종자배합 시 외래초종의 중량배합비율을 우선 정한 다음 초본, 야생화류, 관목류 등 전체 종자 배합량의 합이 100이 되도록 정한다.

<표 13> 기타 적용지역 녹화공법 종자배합비율 조견표

복원목표	식생구분	종자배합비율(%)
초본 위주형	관목류	10~40[9]
	초본, 야생화류	40~80
	외래초종(양잔디류)	10~20
	합 계	100[10]
초본 · 관목 혼합형	관목류	30~50
	초본, 야생화류	45~70
	외래초종(양잔디류)	5~15
	합 계	100
목본 군락형	교목류, 아교목류, 관목류	35~60
	초본, 야생화류	35~65
	외래초종(양잔디류)	3~10
	합 계	100

※ 1. 해안생태계지역에서는 해안에 적합한 종자배합을 하고, 외래도입초종이 10%를 상회하지 않도록 한다.

※ 2. 난지형초종인 weeping lovegrass 사용을 최대한 억제한다.

※ 3. 싸리와 낭아초는 20% 이하의 비율로 배합하여 지나치게 우점하지 않도록 한다.

※ 4. 목본군락형의 경우 교목류와 아교목류는 비탈면 상부의 토심이 깊고 경사도가 완만하고 비탈면 안정에 영향이 없으며 시거에 지장이 없는 구간에 적용이 가능하며, 성장 후 키가 낮은 식물을 우선 적용할 수 있다.

※ 5. 기타 적용지역이란 자연경관복원형의 복원목표가 적용되지 않는 지역을 말한다.

9) 숫자는 중량배합비율을 의미한다.
10) 종자배합 시 외래초종의 중량배합비율을 우선 정한 다음 초본, 야생화류, 관목류 등 전체 종자 배합량의 합이 100이 되도록 정한다.

② 종자배합설계 시 고려사항

녹화공법별 종자 배합은 도로 주변환경을 고려하고, 녹화지역, 복원 목표, 비탈면 토질(암질) 및 경사도에 따라 적합하게 설계한다.

[해 설]

1) 재래종과 외래초종(양잔디류)의 배합 시에는 재래종의 비율을 높게 하고 외래초종(양잔디류)에 의하여 피압 당하지 않도록 하여야 하며, 외래초종(양잔디류)을 사용할 경우에는 초장이 짧은 종을 사용한다.

2) 종자배합 시 한 종류의 발생기대본수는 총 발생기대본수의 40% 이상이 되지 않도록 한다.

3) 자연공원, 자연생태·경관보전지역, 문화재 보호구역, IC구간, 터널입출구 등 경관을 특별히 고려할 필요가 있는 지역에서는 환경영향평가서를 참고하여 지역 고유의 자생종 종자를 혼합한다.

4) 시거장애방지 및 효율적인 유지관리를 위해 쌓기 비탈면 최상단 및 깎기 비탈면 최하단에 키가 큰 수목종자(싸리류, 낭아초 등)의 사용은 피한다.

5) 주변 식물군락의 유형에 따라 초본·관목혼합형 및 목본군락형 녹화지역에 내음성이 강한 수종을 1종 이상 선정하여 파종할 수 있다.

6) 종자배합설계시 비탈면의 방향과 고도, 주변생태계의 특성을 종합적으로 고려하여 종자배합설계를 다르게 적용할 수 있다. 특히, 비탈면의 방향과 해발고도 등을 고려할 때 수분의 고갈이나 온도, 제설, 일조량 등으로 식물의 원만한 생육이 어렵다고 판단되는 경우, 전문가 자문을 받아 종자배합을 다르게 적용할 수 있다.

7) 해안생태계지역·내륙생태계지역의 일반적인 도로 비탈면에 적용하는 종자 뿜어붙이기(seed spray), 얇은 식생기반재 뿜어붙이기 및 두꺼운 식생기반재 뿜어붙이기에서의 종자배합은 「표 14, 15, 16, 17」 의 예시를 참조하고, 종자 파종량은 「표 18 식생기반재뿜어붙이기 종자파종량 조견표」의 기준을 따른다. 자연경관복원형에서는 「표 12 자연경관복원형 적용지역 녹화공법 종자배합량 조견표」를 따르며, 지역의 자생종 및 고유종을 적극 활용하고, 생물종 다양성과 자연경관복원에 기여할 수 있도록 생태복원공법들을 적용하고, 녹화공법의 특성에 부합되도록 전문가의 자문을 통해 녹화식물을 배합 설계한다.

<표 14> 자연경관복원형 적용지역의 얇은 식생기반재뿜어붙이기 (두께 5cm 미만)의 종자 배합량 조견표 예시

단위 : (g/m²)

복원목표	종자배합		종자량(종자배합비율)
초본위주형	관목	병꽃나무 등 관목류	9.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반재래초본류(도입야생화포함)	15.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	3.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	3.0
	합 계		30 (30:60:10)
초본 · 관목 혼합형	관목	붉나무, 병꽃나무 개쉬땅나무 등 관목류, 아교목류	10.5
	초본, 야생화	새류, 비수리, 숙류 등 초종	10.0
		구절초, 산국, 쑥부쟁이 등 지역고유 야생화류	8.0
	외래초종 (양잔디류)	Kentucky bluegrass 등	1.5
	합 계		30 (35:60:5)
목본군락형	관목	소나무, 참나무류, 호랑버들, 산초나무, 붉나무, 병꽃나무, 개쉬땅나무 등 관목류, 아교목류, 교목류	12.0
	초본, 야생화	새류, 비수리, 숙류, 까치수염 등 초종	10.0
		구절초, 산국, 감국, 쑥부쟁이, 양지꽃, 산마늘, 마타리, 뚝갈 등의 지역고유 야생화류	8.0
	외래초종 (양잔디류)	Kentucky bluegrass 등	0
	합 계		30 (40:60:0)

※ 자연경관복원을 위해 새류, 쑥류, 억새류, 도라지, 구절초, 쑥부쟁이 등의 재래초본과 붉나무, 소나무, 산초나무, 병꽃나무 등의 재래목본 등을 혼합하여 파종할 수 있다. 필요한 경우 재래 목본의 묘목식재와 지역고유종을 근주이식한 다음 식생기반재뿜어붙이기 공법을 병행하는 방법, 혹은 지역의 표토를 재활용하는 방법 등을 고려할 수 있다.

※ 생태적으로 중요한 지역이므로 외래초본(양잔디류)이 우점하지 않도록 한다.

<표 15> 자연경관복원형 적용지역의 두꺼운 식생기반뿜어붙이기 (두께 5cm 이상)의 종자배합량 조견표 예시

단위 : (g/m²)

복원목표	종자배합		종자량(종자배합비율)
초본위주형	관목	병꽃나무 등 관목류	21.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반재래초본류(도입야생화포함)	23.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	19.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	7.0
	합 계		70 (30:60:10)
초본 · 관목 혼합형	관목	붉나무, 병꽃나무 개쉬땅나무 등 관목류, 아교목류	24.5
	초본, 야생화	새류, 비수리, 숙류 등 초종	23.0
		구절초, 산국, 쑥부쟁이 등 지역고유 야생화류	19.0
	외래초종 (양잔디류)	Kentucky bluegrass 등	3.5
	합 계		70 (35:60:5)
목본군락형	관목	소나무, 참나무류, 호랑버들, 산초나무, 붉나무, 병꽃나무, 개쉬땅나무 등 관목류, 아교목류, 교목류	28.0
	초본, 야생화	새류, 비수리, 숙류, 까치수염 등 초종	23.0
		구절초, 산국, 감국, 쑥부쟁이, 양지꽃, 산마늘, 마타리, 뚝갈 등의 지역고유 야생화류	19.0
	외래초종 (양잔디류)	Kentucky bluegrass 등	0
	합 계		70 (40:60:0)

※ 자연경관의 조기 복원을 위해 새류, 쑥류, 억새류, 도라지, 구절초, 쑥부쟁이 등의 재래초본과 붉나무, 소나무, 산초나무, 병꽃나무 등의 재래목본 등을 혼합하여 파종할 수 있다. 필요한 경우 재래 목본의 묘목 식재와 지역고유종을 근주이식한 다음 식생기반재뿜어붙이기 공법을 병행하는 방법, 혹은 지역의 표토를 재활용 하는 방법 등을 고려할 수 있다.

※ 생태적으로 중요한 지역이므로 외래초본(양잔디류)이 우점하지 않도록 한다.

<표 16> 기타 적용지역의 일반적인 도로비탈면 적용 종자뿜어붙이기(seed spray) 및 얇은 식생기반재 뿜어붙이기(두께 5cm 미만)의 종자배합량 조건표 예시

단위 : (g/m^2)

복원목표	종자배합		종자량(종자배합비율)
초본위주형	관목	병꽃나무 등 관목류	5.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반재래초본류(도입야생화포함)	14.0
		쑥류 및 기타	1.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	5.0
	합 계		25 (20:60:20)
초본 · 관목 혼합형	관목	병꽃나무 등 관목류 붉나무 등 아교목류	7.5
	초본, 야생화	억새 등 새류 비수리 등 일반초본류(야생화포함)	14.0
		쑥류 및 기타	1.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	2.5
	합 계		25 (30:60:10)
목본군락형	관목	자귀나무, 붉나무, 소나무(곰솔) 등 교목류, 아교목류 병꽃나무 등 관목류	10.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반초본류(야생화포함)	12.5
		쑥류 및 기타	1.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	1.3
	합 계		70 (40:60:0)

※ 경관적으로 중요한 지역에서는 금계국, 패랭이꽃, 끈끈이대나물, 붓꽃류(봄), 수레국화, 도라지(여름), 구절초, 산국, 벌노랑이, 쑥부쟁이류, 벌개미취 등(가을)을 혼합 파종할 수 있다.

<표 17> 기타 적용지역의 두꺼운 식생기반재뿜어붙이기 (두께 5cm 이상)의 종자배합량 조견표 예시

단위 : (g/m^2)

복원목표	종자배합		종자량(종자배합비율)
초본위주형	관목	병꽃나무 등 관목류	12.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반재래초본류(도입야생화포함)	30.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	6.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	12.0
	합 계		60 (20:60:20)
초본 · 관목 혼합형	관목	병꽃나무 등 관목류 붉나무 등 아교목류	18.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 비수리 등 일반초본류(야생화포함)	30.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	6.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	6.0
	합 계		60 (30:60:10)
목본군락형	관목	자귀나무, 붉나무, 소나무(곰솔) 등 교목류, 아교목류 병꽃나무 등 관목류	24.0
	초본, 야생화	억새 등 새류 일반초본류(야생화포함)	26.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	4.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue Kentucky bluegrass Perennial ryegrass Creeping red fescue 등	6.0
	합 계		60 (40:50:10)

※ 경관적으로 중요한 지역에서는 금계국, 패랭이꽃, 끈끈이대나물, 붓꽃류(봄), 수레국화, 도라지(여름), 구절초, 산국, 벌노랑이, 쑥부쟁이류, 벌개미취 등(가을)을 혼합 파종할 수 있다.

※ 생태적으로 중요한 지역에서는 외래초종(양잔디류) 보다는 자생종(재래초본, 목본류)을 우선으로 배합한다.

<표 18> 식생기반재뿜어붙이기 종자파종량 조건표

지역구분 / 종자층의 두께	국토핵심생태녹지축지역	해안생태계지역, 내륙생태계지역
1~2cm[11]	20g/m^2 이상[12]	20g/m^2 이상
3~4cm	30g/m^2 이상	25g/m^2 이상
5~7cm	70g/m^2 이상	60g/m^2 이상
7cm 이상	100g/m^2 이상	90g/m^2 이상

(8) 도면작성 및 수량산출

도면 및 전개도 작성은 쌓기 및 깎기로 구분하여 작성하고, 구간별 토질(암질)의 종류별로 구분하여 비탈면 면적으로 수량을 산출한다.

[해설]

1) 깎기 비탈면 현황도와 종평면도를 이용하여 전개도를 작성한다.

2) 작성한 전개도에 토질별 및 공법별로 적용 가능한 구간에 측점별 경계선을 그린다.

3) 구간별, 공법별 수량은 각각 비탈면 길이로 면적을 산출한다.

4) 비탈면 녹화공법은 쌓기 비탈면과 깎기 비탈면으로 구분하여 아래와 같이 수량을 산출한다.

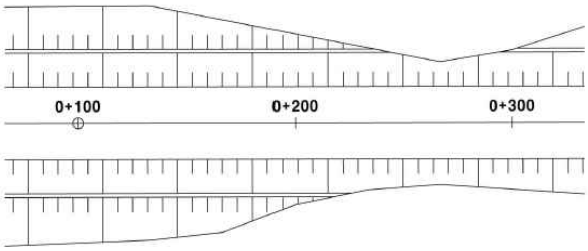
㉠ 깎기 비탈면은 토질별로 구분하여 L형측구 상단 소단부터 산마루측구를 지나서 비탈면 라운딩구간을 포함하여 비탈면 사거리로 면적을 산출한다.

㉡ 쌓기 비탈면은 쌓기부 길어깨에서 흙쌓기 비탈면 끝단까지 구하고, 라운딩 구간을 포함하여 비탈면 사거리로 면적을 산출한다.

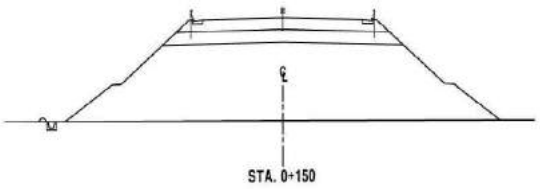
㉢ 깎기부 및 쌓기부 콘크리트 소단구간과 도수로구간의 수량을 산출면적에서 제외한다.

11) 식생기반재 두께는 종자취부층과 식생기반층을 합한 것을 말한다. 단, 2층뿜어붙이기(식생기반층을 우선 조성하고, 그 위에 종자층을 분리하여 시공하는 공법)인 경우 종자뿜어붙이기층의 두께에 맞게 파종량을 정한다.

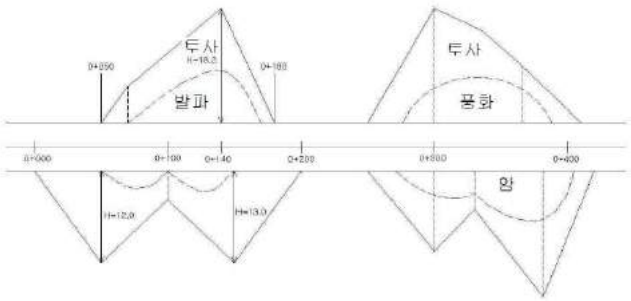
12) 종자파종량은 위의 조건표를 따르되 「표 3.7 비탈면 복원목표별 식생 생육판정 기준표」를 만족시킬 수 있도록 발아율이 우수한 녹화식물 종자를 사용하고, 특정종이 전체를 우점하지 않도록 종자배합설계를 적용하여야 한다.



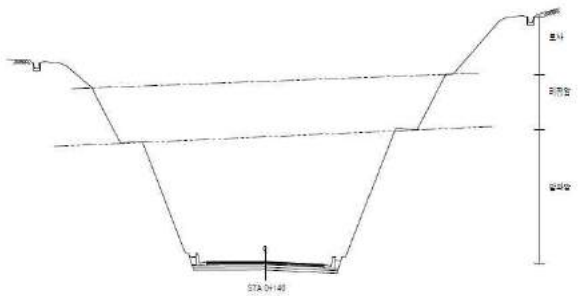
<그림 68> 평면도상 쌓기 전개도



<그림 69> 쌓기 횡단면도



<그림 70> 평면도상 깎기 전개도



<그림 71> 깎기 횡단면도

(9) 시험시공 및 모니터링 비용 산정

① 일반사항

설계 시 시험시공과 모니터링 비용은 설계서에 반영하여야 한다.

[해설]

1) 비탈면 녹화공법 선정을 위한 시험시공과 모니터링에 소요되는 비용은 일식단가(PS 단가)로 설계서에 반영한다.

3. 도로비탈면 녹화공사의 시험 시공

(1) 일반사항

> 시공자는 설계도서를 검토하고, 설계된 비탈면 녹화공법이 복원 목표에 부합될 수 있는지를 검토한다. 시험시공 및 모니터링 계획을 수립하고, 유지관리계획을 마련한다.

[해설]

(1) 비탈면 녹화공법의 적용을 위해 토질별로 복원목표에 부합되는 녹화공법을 정하기 전에 시험시공을 통하여 녹화품질 및 시공성을 정량적, 경제적으로 분석함으로써, 해당 비탈면의 자연환경여건에 부합하고 지속성이 있는 최적 녹화공법을 선정하기 위하여 시험시공을 실시한다.

(2) 시공자는 설계에 반영한 녹화식물과 종자배합비율, 종자 사용량 등으로 시험시공을 실시한다. 다만, 설계 내용과 상이하게 시험시공을 시행할 필요가 있다고 판단될 경우에는 사전에 해당 전문가의 자문, 발주자와 협의를 해야 한다.

(3) 시공자는 현장에서 시험시공에 적합하다고 판단되는 대표적인 위치를 시험시공의 대상지로 선정하고, 깎기 및 쌓기 구간의 토질 및 암질별로 3개 공법을 선정한다.

(4) 시험시공은 현장별로 1회 이상 시행하는 것을 원칙으로 하되, 인근 현장과의 거리가 10km 내외이고 현장여건이 유사하여 인근 현장의 시험 시공 결과를 활용할 수 있는 경우에 발주자는 시험시공 횟수를 생략하거나 조정하여 시행하게 할 수 있다.

(5) 이암(셰일) 등 점토광물을 함유하여 swelling, slaking 현장을 유발하는 특수한 암질인 경우, 급속히 풍화가 진행되어 사면이 불안정하게 될 가능성이 있으므로, 유사사례 등을 통한 녹화공법을 면밀히 검토 후 설계 반영하여 조기에 녹화를 실시하도록 한다.

(6) 일반적인 녹화가 어려운 토질일 경우에는 전문가의 자문을 거친 후, 시험시공을 통해 적정한 공법을 선정한다.

(2) 재료

> 종자, 식생기반재 등 녹화 재료에 대해서는 소요 품질을 반드시 검사하여 양호한 재료만을 사용하여야 하며, 현장에서 시험이 어려운 경우에는 공인시험기관에 의뢰하여 품질을 검사하여야 한다.

[해설]

(1) 녹화공법의 시험시공에 적용되는 재료와 그 구성 물질은 유기물재료와 무기물재료로 구분하며, 최종 녹화용 재료와 식생기반재는 친환경적 제품을 사용하도록 한다.

(2) 도로건설현장에서 발생할 수 있는 식물발생재는 최대한 녹화용 식생기반재와 멀칭재로 활용하도록 한다.

(3) 이암(셰일), 산성배수를 유발하는 암 등 특수 지질 현장에서 사용하는 녹화재료 또는 식생기반재는 토질특성과 토양(암)을 분석하고 관계 전문가의 자문을 거쳐 현장에 적합한 것을 선정한다.

(4) 「표 20 중금속 등 기타 오염물질의 녹화기반재의 적용기준」은 토양환경보전법에서 규정하는 지역에 따라 국토핵심생태녹지축지역, 자연공원 등 별도관리지역과 생태자연도 1등급, 생태자연도 2등급(녹지자연도 7등급 이상)은 가지역을 적용하고, 기타 지역은 나 지역의 기준을 적용한다.

(5) 시험시공에 사용한 식생기반재는 감독자의 입회하에 시료를 채취하여 공인시험기관에 의뢰하여 성분을 분석한 후 제품의 성분분석 결과서를 감독자에게 제출한다. 분석결과 「표 19 비탈면녹화용 식생기반재의 화학적 특성 평가항목과 기준」에 부합되지 않는 경우나 중금속 등 기타 오염물질에 의한 오염이 의심되는 경우에는 「표 20 중금속 등 기타 오염물질에 대한 식생기반재의 적용 기준」에 의거한 추가 조사를 실시한다.

<표 19> 비탈면녹화용 식생기반재의 화학적 특성 평가항목과 기준

평가항목		평가기준
항 목	단 위	
토양산도	-	6.0~8.0
전기전도도(EC)	dS/m	1.0 미만
염기치환용량(CEC)	Cmol/kg	6 이상
전질소량(T-N)	%	0.06 이상
염분농도	%	0.5 미만
유기물함량	%	3.0 이상

<표 20> 중금속 등 기타 오염물질에 대한 식생기반재의 적용 기준

물 질	별도관리지역, 가지역(mg/kg)	나지역(mg/kg)
카드뮴	1.5 이하	12 이하
구리	50 이하	200 이하
비소	6 이하	20 이하
수은	4 이하	16 이하
납	100 이하	400 이하
6가 크롬	4 이하	12 이하
아연	300 이하	800 이하
니켈	40 이하	160 이하

※1. 별도관리지역 : 상수원보호구역, 습지, 백두대간보호지역 등

※2. 나지역 : 지적법에 의한 지목이 공장용지, 도로, 철도용지 및 잡종지인 지역

(3) 시험시공 절차

시험시공 절차는 <표 21>과 같다.

<표 21> 시험시공의 절차

항 목	내 용
1. 시험시공 계획	- 시공목적, 시공대상지, 환경조건, 복원목표 등 검토
2. 공법의 선정	- 감독자는 자연생태복원전문가 등의 자문을 통해 복원 목표에 부합되는 공법 선정
3. 시험시공 및 유지관리 실시	- 시험시공계획서 작성 및 분석 - 시공 재료 (뿜어붙이기용 재료, 종자) 시공전 후 분석 - 시공 장비 및 시공방법 협의 - 계획서 및 시방서에 준한 시공 실시 - 유지관리 실시
4. 시험시공 결과 분석	- 자연생태복원전문가에 의한 주기적인 평가 - 생육판정 기준표에 의한 분석 실시
5. 최적공법 선정	- 녹화공법 평가표에 의한 현장여건에 부합하는 최적 공법 선정

(4) 시험시공 단계별 업무 분장

시험시공 단계별 업무 분장은 <표 22>와 같다.

<표 22> 시험시공 단계별 업무 분장

단 계 별	발주자	시공자	감독자	자연생태 복원전문가	비 고
공사비 반영 (시험시공비용)	○				<설계단계> ■ 시험시공 및 유지관리
시험시공계획 승인 요청 (시공자→감독자→발주자)		○	△		<시공단계> ■ 시험시공참여업체 현황[13] 첨부 ■ 자연생태복원전문가 현황 첨부 ■ 시험시공 계획서 첨부 ■ 비상주 감리원[14], 책임 감리원 의견서 첨부
시험시공계획 승인 (발주자, 감독자→시공자)	○		△		
시험시공 감리, 감독	△		○		
시험시공 후 모니터링 및 평가		△	△	○	■ 자연생태복원전문가[15]가 모니터링, 녹화공법 평가 시행
시험시공결과 보고서 작성 제출 (자연생태복원전문가→ 시공자)		△		○	
시험시공결과 승인요청 (시공자→감독자→발주자)		○	△	△	■ 시험시공결과 보고서 첨부 ■ 비상주감리원, 책임감리원 의견서 첨부
시험시공결과 승인 (발주자→감독자, 시공자)	○		△		■ 발주자는 필요시 녹화공법 평가위원회를 구성하여 평가를 실시하여 승인한다. ■ 평가점수가 75점 이상인 공법을 승인 통보

※ ○ 전담자, △ 보조자

13) 시험시공업체 제출 서류
- 업태조서(책임기술자경력, 사업수행실적, 계측장비 등 보유현황)
- 시험파종 수행계획서
- 공인인증기관 등의 증명서

14) 시험시공과 관련한 비상주 감리원은 토질 및 기초기술사 또는 자연생태복원전문가를 말한다.

15) 자연생태복원전문가 제출 서류 : 자격증 또는 학위증, 경력증명서(업체일 경우에는 책임기술자 자격 및 경력, 사업수행실적, 계측장비 등 보유현황)

(5) 시험시공계획 수립 및 방법

① 시험시공 계획

1. 시공자는 현장의 특성을 고려하여 비탈면녹화에 대한 시험시공 계획을 작성하고, 책임감리원 및 비상주 감리원의 검토의견을 첨부하여 발주자에게 제출하여 승인을 받아 시험시공을 한다.
2. 시험시공은 설계에 반영된 공법으로 시행함을 원칙으로 한다. 단, 비탈면 깎기 및 쌓기 공사를 시행한 결과가 설계시 예상한 현장 여건과 상이하여 다른 공법 적용이 필요하거나 설계에 반영한 녹화공법 보다 품질이 양호하며 경제적인 녹화공법이 있는 경우에는 시험시공 대상으로 추가로 선정할 수 있다.

[해설]

1) 시험시공 계획은 다음 항목을 고려하여 수립하도록 한다.

㉠ 지반조사 항목은 시공자의 토질(암질)조사보고서를 토대로 전문가의 자문을 거쳐 녹화공법 적합여부를 검토한다.

㉡ 주변식생 환경조사 항목은 환경영향평가자료와 현지조사 결과를 참조하여 적용한다.

㉢ 기후환경 조사항목은 대상지역의 가까운 거리의 기상관측소 자료를 이용하되 최근 10년간의 강우량, 온도, 습도 등을 평균 산출하여 이용한다.

㉣ 시공시기와 기후조건을 고려하여 시험시공지의 유지관리계획을 수립하여 제출한다.

2) 시험시공에 적용하는 공법은 시험시공 3~4개월 전에 감독자와 토질 및 기초 기술사, 자연생태복원전문가 등이 참여하여 현장의 지반 등 자연환경의 특성을 조사 분석하여 현장에 적합한 공법을 선정한다. 단, 설계에 반영된 녹화공법을 우선 적용하되, 토질별로 3개 이상의 공법을 적용한다.

② 시험시공 및 모니터링

1. 시험시공의 면적은 공법 당 100~200m2 범위 내에서 시공한다.
2. 뿜어붙이기 두께는 녹화공법에 따라 암질, 토질상태, 자연환경, 식생기반재 기준 등을 고려하여 조정할 수 있다.

[해설]

1) 시험시공은 반드시 감독자의 입회하에 공사시방서에 따라 실시한다. 파종시기는 가급적 3~4월이 바람직하다.

2) 시험시공의 면적은 공법 당 100~200㎡ 범위 내에서 시공하되 녹화지역 구분과 비탈면의 지질, 암질, 토질상태, 자연환경에 따른 식생기반재 기준 등을 고려하여 녹화공법에 맞게 뿜어붙이기 두께를 결정한다.

3) 시공자는 시험시공 전에 종자 발아실험 결과와 식생기반재의 유해성 여부 및 기타 성분분석을 시행한 후 적합한 재료를 사용하여야 한다.

4) 시공자는 시험시공 15일전까지 감독자에게 종자발아실험 성적서와 공인된 시험기관 등에 분석 의뢰한 식생기반재의 토양분석 결과를 제출해야 하고, 감독자는 필요하다고 판단되는 경우 추가 시험 성적서를 요구할 수 있다.

5) 식생기반재는 토양을 채취하여 분석하여 식생기반재 기준에 1개 항목 이상 적합지 않을 때는 시험시공 대상에서 제외시킨다.

6) 시험시공 후 식생조사는 임의로 정한 방형구(1m×1m) 3개소 이상에서 조사하고, 조사 위치에 대한 근거를, 조사시기별로 모니터링 보고서에 자세하게 사진으로 제시한다. 고정조사구는 훼손의 우려가 있으므로 가급적 피한다.

7) 시험시공 후에는 자연 상태에서 관리하여 평가하며, 시공업체간 과다 경쟁으로 타 업체의 시험시공구간의 품질훼손(제초제살포 및 식생제거 등)을 시킬 경우에는 평가에서 제외한다. 단 발아에서 식물생육이 활착할 때 까지는 시험시공 참여업체와 협의하여 기간을 정한 후 감독자 입회하에 시비, 관수 등 유지관리를 할 수 있다.

8) 시험시공 후 예상치 못한 기상 악화 등으로 인해 시험시공지가 훼손되어 시험시공결과에 대한 평가를 할 수 없게 된 경우에는 발주자 및 시험시공 참여업체와 협의하여 재시공을 할 수 있다.

9) 비탈면 녹화공법의 시험시공 모니터링은 자연생태복원전문가가 시행한다. 시공자는

회사에 자연생태복원전문가가 없는 경우에는 외부 전문가(기관)에 의뢰하여 시행할 수 있다. 또한, 감독자가 필요할 경우 생태복원전문 감리원을 투입하여 감리할 수 있다.

(6) 시험시공결과 평가

① 시험시공결과 평가

시험시공을 실시한 후 자연생태복원전문가와 감독자는 합동으로 아래의 [해설]과 같이 시험시공결과를 평가한다.

[해설]

1) 녹화공법 평가 일정은 <표 23>와 같으며 공사의 긴급성 등을 감안해서 평가목적을 달성 할 수 있는 범위 내에서 평가기간을 단축할 수 있다. 단, 공사 준공 일정에 따라 긴급이 요구되는 상황에서는 발주자와 상의하여 평가횟수를 줄일 수 있다.

<표 23> 녹화공법 평가 일정

파종시기	3~5월 파종	6~8월 파종	9~11월 파종
평가시기	- 여름 전과 여름 후에 1차 및 2차 평가 - 11월 전에 최종평가	- 여름 후 9월경 1차 평가 - 이듬해 4~5월 2차 평가 - 이듬해 8~9월 최종평가	- 11월 중 1차 평가 - 이듬해 여름 직전 2차 평가 - 이듬해 9~10월 최종평가

2) 감독자와 생태복원전문가는 <표 24>에 따라 항목별로 주기적 조사, 계절별 조사, 평가 일정에 맞추어 평가를 실시한다.

3) 식생생육은 <표 25>에 따라 판정한다.

4) 식생기반재뿜어붙이기의 식생기반재 두께는 측정용 기구를 이용하여 최소 10회 이상 측정하여 산술 평균한 값으로 사용한다.

5) 시험시공 후 식생기반재 샘플을 채취하여 식생기반재의 토양산도, 전기전도도, 염기치환용량, 전질소량, 염분농도, 유기물함량 등 토양 이화학성 및 중금속 함량분석 등을 공인된 시험기관에 의뢰하여 분석하여야 한다.

6) 초본위주형, 초본·관목혼합형은 피복율 80%이상은 상, 60~79%는 중, 60%미만은 하로 평가한다. 목본군락형, 자연경관복원형은 피복율 70% 이상은 상, 50~69%는 중, 50%미만은 하로 평가한다.

7) 식생 생육조사는 식생조사구(방형구)내에서 목본 및 초본의 출현종, 각 식물별 생육개체수, 식생 생육량, 우점종, 식생피복율, 병충해유무(하고현상 포함) 등을 조사 분석한다. 식생 생육조사구는 평균적인 생육을 보이는 곳에 임의로 선정하고 흔적을 남기지 않으며, 조사 시 설치한 방형구는 사진촬영하고, 전경사진에 위치를 표시하여 보고서에 수록하여야 한다.

8) 식생기반재의 토양경도, 토양산도, 토양습도 등을 측정하고, 식생기반재의 탈락 및 붕괴 유무와 병충해 피해를 관찰한다.

9) 식생피복율 조사시 한지형초종 등 외래초종(양잔디류)의 점유율이 높으면 감점하며, 생태계 교란종 및 위해종에 의한 피해가 심하면 상대 비교하여 감점한다.

10) 조사시 설치한 방형구는 사진촬영하고, 시험시공지 전경사진에 그 위치를 표시하여 모니터링 보고서에 수록한다. 조사가 끝난 다음에는 방형구 설치 흔적을 제거한다.

11) 식생피복율은 발파암 구간 중 단단한 암(절리, 풍화상태가 미약한 암)인 경우 도로 노면상 최하단부에 덩굴식물식재공법으로 면적을 산출하고, 그 외 지역에서는 녹화공법으로 면적을 산출하여 구한다.

12) 각종 재료 등에 대하여는 필요하다고 판단되는 경우 현장에서 직접 채취한 후 공인된 시험기관에 의뢰하여 본 지침에 부합하는지의 여부를 검토한 후 시험시공결과보고서에 수록한다.

13) 파종용 식물종자의 검정에 대하여는 공인된 시험기관 등에서 수행한 파종할 종자의 순량율, 발아율 등의 시험 결과를 시험시공 결과보고서에 수록한다.

<표 24> 녹화공법 평가표

구분	평가	항 목			배점 (%)	배 점 기 준				
재료	정량적	토양 및 종자 품질			–	합격기준 미달 시 불합격 처리				
품질	정량적	식물생육	식생 피복율 (전체)	초본위주형 초본 · 관목혼합형	15	80% 이상 (15)	60~79% (10)	60% 미만 (5)		
				목본군락형 자연경관 복원형		70% 이상 (15)	50~69% (10)	50% 미만 (5)		
			식생피복율 (한지형초본 등 외래도입초종)		(0~-5)	피복율에서 외래도입초본의 점유율				
						30% 미만 (0)	30~59% (-3)	60% 이상 (-5)		
			식생생육량 (한지형초종 제외)		5	양호(5)	보통(3)	불량(1)		
			병충해		5	양호(5)	보통(3)	불량(1)		
		출현종수	목본성립본수		10	식생생육판정기준표 복원목표의 달성도				
						80% 이상 (10)	60~79% (7)	60% 미만 (3)		
			초본 및 목본의 출현종수		15	80% 이상 (15)	60~79% (10)	60% 미만 (5)		
			생태계교란 및 위해종 침입		(0~-5)	하(0)	중(-3)	상(-5)		
		식생기반재 물리적 특성			10	양호(10)	보통(7)	불량(3)		
		탈락 및 붕괴지점			5	양호(5)	보통(3)	불량(1)		
	정성적	녹화 지속성 및 식생침입 가능성			5	양호(5)	보통(3)	불량(1)		
		주변 환경과의 유사도			(0~-5)	양호(0)	보통(-3)	불량(-5)		
	소 계				70%					
경제성	정량적	시공단가			30	130% 미만 (30)	130~160% (24)	161~190% (18)	191~220% (12)	220% 초과 (6)
	소 계				30%					
합 계					100%					

<표 25> 비탈면 복원목표별 식생생육판정 기준표

복원목표 \ 평가		목본 성립본수	출현종수	
			초본	목본
초본 위주형	합격[16]	2본/m^2 이상	5종/m^2 이상	2종/m^2 이상
	판정보류	피복율이 50~70%이면서 1m^2당 10본 발아가 있으면서 생육이 늦은 경우 1~2개월 동안 상태를 지켜보고 재평가한다.		
	불합격	피복율이 50%이하 이면서 식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공한다.		
초본 관목 혼합형	합격	3본/m^2 이상	4종/m^2 이상	3종/m^2 이상
	판정보류	피복율이 50~70%이면서 1m^2당 관목의 발아가 늦은 경우 2~3개월 동안 상태를 지켜보고 재평가한다.		
	불합격	피복율이 50%이하 이면서 식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공한다.		
목본 군락형	합격	5본/m^2 이상	3종/m^2 이상	4종/m^2 이상
	판정보류	피복율이 70~80%이고 교목이 1~2본/m^2인 경우 익년 봄까지 상태를 봄. 드문드문 발아가 보이지만, 비탈면 전체가 나지로 보일 경우 2~3개월 동안 상태를 지켜본 후 판정한다(부적기 시공의 경우).		
	불합격	식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공 함.		
		초본 피복율이 80~90%이면서 목본이 피압 당하고 있을 경우 예초 후 대책강구.		
자연경관 복원형	합격	7본/m^2	5종/m^2 이상	5종/m^2 이상
	판정보류	피복율이 70~80%이고 교목이 3~4본/m^2인 경우 익년 봄까지 상태를 봄. 드문드문 발아가 보이지만, 비탈면 전체가 나지로 보일 경우 2~3개월 동안 상태를 지켜본 후 판정한다(부적기 시공의 경우).		
	불합격	식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공 함.		
		초본 피복율이 80%이면서 목본이 피압 당하고 있을 경우 예초 후 대책강구.		

16) 합격은 모든 항목을 만족하여야 하며, 한 개의 항목이라도 미달할 경우 보류로 본다.

<표 26> 녹화공법 품질 및 경제성 평가기준과 방법

구분	평가	항 목		평가기준	평가기준 및 방법	평가빈도
재료	정량적	재료품질		절대평가	식생기반재 샘플을 1~2kg 채취하여 토양의 이화학성을 분석 후 기준항목 합격여부 판단함.	1회
품질	정량적	식물생육	식생피복율 (전체)	절대평가	시공후 공법별 식생피복율을 1×1m방형구를 설치하여 3회 반복 조사 후 평균함.	주기 조사
			식생피복율 (한지형초종)	절대평가	격자틀(20×20cm) 또는 1×1m 방형구를 설치하여 한지형잔디(외래종)만의 피복율을 3회 반복 조사하여 평균함. 피복율에서 외래도입초종만의 점유율을 평가함.	계절별 1회
			식생생육량 (한지형초종제외)	상대평가	한지형 초종을 제외한 식생을 채취하여 생물중량(생체중)을 전자저울 등을 이용하여 실측함.	계절별 1회
			병충해	상대평가	생육판정시기까지 계절별로 병충해, 여름철 하고 현상 등을 조사함.	계절별 1회
		출현종수	목본성립본수	절대평가	1m×1m 방형구를 설치하고 목본의 성립본수를 10회 조사하여 본수/m^2로 평균하여 <표 24>의 합격 목표치에 따른 달성도를 측정. 목본의 수고가 1~6m인 경우에는 방형구를 2m×2m로 확대함.	계절별 1회
			초본 및 목본의 출현종수	절대평가	1m×1m 방형구를 설치하여 초본 및 목본의 출현 종수를 조사하여 종수/m^2로 환산 평균하여 <표 24>의 합격 목표치에 따른 달성도를 측정함. 이때 초본 및 목본 출현 종수 비율을 각각 평가한 후 이를 평균으로 환산함. 목본의 수고가 1~6m인 경우에는 방형구를 2m×2m로 확대함.	계절별 1회
			위해종 침입 및 시험지의 교란정도	상대평가	위해종인 돼지풀, 단풍잎돼지풀 등과 교란종인 환삼덩굴, 칡 등에 의한 교란정도를 측정함.	수시 평가
		식생기반재 물리적 특성		절대평가	식생시반재의 토양경도는 양호(11~23mm), 보통(23~27mm), 불량(11mm미만, 27mm초과)분류하고 토양습도는 양호(0.5~5%), 보통(5%~8%), 불량(0.5%미만, 8%초과)로 분류한다.(간이 측정기기를 이용 현장 측정 가능)	1회 이상 조사
		탈락 및 붕괴지점		상대평가	시험시공면적당 탈락 및 붕괴 지점 수를 조사함.	계절별 1회
	정성적	녹화 지속성 및 식생침입 가능성		상대평가	3~5년 정도 지난 기존 시공지에서의 녹화 지속성 및 천이여부 평가함.	1회 이상
		주변 환경과의 유사도		상대평가	주변 환경과의 생태적 경관 조화성을 평가함.	수시 평가
경제성	정량적	시공단가		상대평가	시험시공 참여업체의 최저가를 기준으로 상대 평가한다.	최종 평가시

<표 26> 시험시공 결과보고서 수록내용

항 목	내 용	비 고
1. 개 요	- 시험시공의 목적 - 시험시공 위치도 및 주변 현황 분석 - 시험시공 비탈면의 환경특성	녹화지역구분 복원목표설정
2. 시험시공 재료 및 방법	- 시공재료 - 사용종자 - 시공장비 - 시공방식 - 측정방식	
3. 시험시공지 조사	- 발아상태 - 식물생육상태 - 기반재의 안정성 - 재료 특성 분석 - 기반재의 지속성	식물생육 (3가지 평가지표) 출현종수 (3가지 평가지표) 식생기반재 물리화학적 특성 탈락 및 붕괴지점 주변환경과의 유사도
4. 시험시공 결과 분석 및 평가	- 생육특성(품질) - 경제성 - 향후 예측	녹화공법평가표 첨부
5. 기 타	- 산업재산권(특허, 신기술 · 특허공법) - 시공실적 - 시험성과물	공법 특성 분석

② 시험시공 결과 승인

1) 발주자는 품질 및 경제성을 합쳐서 녹화평가점수가 75점 이상인 녹화 공법에 대하여 선정하고, 품질 및 경제성이 적합하면서 복원목표를 효과적으로 달성할 수 있는 공법은 모두 승인한다.

2) 발주자는 필요한 경우에는 녹화공법 평가위원회를 구성하여 녹화공법 평가를 실시할 수 있으며, 평가위원회는 자연생태복원전문가, 종자 및 식물전문가, 비상주감리원, 관계공무원 등으로 구성한다.

4. 도로비탈면 녹화공사의 시공

(1) 시공 계획 수립

비탈면녹화에 대한 시공 계획은 시험시공을 통해 선정된 녹화공법을 반영하여 비탈면 복원목표를 충분히 달성할 수 있도록 수립한다.

[해설]

1) 시공을 하기 전에 설계도서 검토, 현장조건 확인, 선정된 녹화공법의 적용범위에 대해 검토한다.

2) 설계도서 검토시 관련 도면, 수량, 녹화공법적용 입면도, 복원목표적용 가능성을 확인한다.

3) 현장조건에 대한 확인시 지형과 지질, 주변생태계의 특성, 녹화지역 구분, 생태자연도 등급, 녹지자연도 등급 등을 확인하고, 시공과 관련한 지하수, 배수 특성, 녹화재료의 운송 및 저장 등을 검토한다.

4) 주변 상황에 관한 검토시 지역 자연환경에 미치는 영향, 지역 사회에 미치는 영향, 사회적 요청, 부산물 등을 검토한다.

(2) 재료

녹화공법의 종자, 식생기반재 등 녹화재료는 품질기준 및 환경기준에 맞는 제품을 사용한다.

[해설]

1) 녹화공법의 식생기반재료는 품질기준 및 환경기준에 맞는 제품을 사용하되 시공전후에 감독자 입회하에 시료를 채취하여 공인된 시험기관에 의뢰하여 성분을 분석한 후, 제품의 성분분석 결과서를 감독자에게 제출한다. 감독자는 시험시공 당시 종자와 배합비가 일치하는지 확인한다.

2) 섬유제품 등의 멀칭재(식물발생재 포함)는 유기재료를 사용하는 것을 원칙으로 하고 종자의 발아 및 생육에 장애가 없는 제품이어야 한다.

3) 부착망은 체인링크철선과 염화비닐피복철선의 기준에 적합한 부착망을 시공해야 한다.

4) 앵커핀 및 착지핀의 경우는 설계에 맞는 제품의 사용계획을 확인하고 감독자는 이 자료를 보관하여야 한다.

5) 시공자는 비탈면 녹화에 사용할 종자에 대하여 총 1회 이상 감독원 입회 하에 샘플을 채취하여 공인시험기관에 발아율 및 순량율 시험을 의뢰하여 조사한 시험성적서를 감독자에게 제출하여야 한다. 시공자는 시공 후 종자의 발아 및 생육상태를 조사하여 그 결과를 감독자에게 제출한다.

6) 비탈면 시공후의 추적 식생조사는 초기조사(시공 후 1, 2개월), 중장기 조사로 나누어 수행하고, 최소 2가지 이상의 식물환경이 조성되지 않고 <표 23>에 의거하여 피복율이 50% 이하이면서 식생기반이 유실되어 식물의 성립이 어려울 경우에는 재시공 등의 조치를 취한다.

(3) 시공

비탈면 식생녹화는 시공시기와 기상조건에 영향을 받으므로 시공시기를 충분하게 검토하여 공사가 순조롭게 달성될 수 있도록 하여야 하며, 시험 시공한 결과와 본 시공의 결과가 상이하지 않도록 시행한다.

[해설]

1) 시공계획으로 공사의 순서와 녹화공법 적용계획, 공정계획, 주요 노무 계획, 장비 및 재료반입계획, 운송계획 등을 정한다.

2) 관리계획으로는 현장관리 조직표, 안전관리계획, 품질관리계획, 환경보전계획, 건설부산물재활용계획, 폐기물관리계획 등을 수립한다.

3) 비탈면 녹화공사는 공사시방서에 따라 시행한다.

(4) 녹화식생의 평가

1. 녹화식생 조성에 대하여는 판정시기와 판정기준을 참고하여 평가하고, 시공후의 녹화공법, 시공시기, 도입식물, 시공후의 기상, 식생기반재의 지속성 등을 적절하게 고려하여 평가한다.

2. 시공자는 시공완료 후에는 시험시공결과와 일치여부를 평가하고, 그 결과를 기성검사 또는 준공검사 시 제출한다.

[해설]

1) 녹화공법 적용시 종자의 발아율을 고려하여 파종량을 할증하고, 복원 목표를 달성할 수 있도록 시공해야 하며, 시공완료 후에는 시기별로 녹화식물 생육의 건전성을 평가한다.

2) 혼파 한 식물의 상호 경쟁에 의한 피압이 복원목표달성에 부합여부를 관찰하고, 필요한 경우 적절한 유지관리계획을 수립한다.

3) 식생기반재의 침식, 이탈, 녹화식물의 쇠퇴 등을 주기적으로 평가한다.

4) 시공자는 시험시공결과 일치여부는 <표 24>의 녹화공법 평가표의 품질항목에 대하여 평가를 실시하여 시험시공결과와 일치 여부를 확인하고 기성검사 및 준공검사시 검사자에게 제출한다. 시공자는 시험시공과 일치하지 않을 때에는 재시공 등 적절한 관리방안을 모색한다.

5) 감독자는 시험시공결과와 일치하지 않을 때에는 재시공 등 필요한 조치를 취한다.

5. 도로비탈면 녹화공사의 유지관리

(1) 일반사항

비탈면의 녹화는 주변에서의 식물천이를 유도하여 자연 상태의 환경을 조성하는 것으로써 관리는 점검, 유지관리 등의 과정이 적절하게 수행되어야 한다.

[해설]

1) 비탈면의 녹화는 주변에서의 식물천이를 통한 안정적인 식물환경의 조성을 기본목표로 추구한다.

2) 비탈면 녹화공법의 유지관리는 적절한 시기에 수행되어야 하며, 점검, 유지관리 등 일련의 작업과정이 적절하게 진행되어야 한다.

3) 비탈면녹화 시공지가 생태계 교란종에 의해 녹화식물이 피압되고 고사되는 피해를 입지 않도록 유지관리를 시행한다. 녹화품질이 저해되거나 식생기반재가 이탈되는 등의 경우에는 적절한 조치를 취한다.

4) 비탈면 녹화공사는 복원목표가 달성하도록 비탈면의 환경특성, 지역, 기후특성 등을 고려하여 멀칭, 관수, 시비, 생태계 교란종(칡, 덩굴류 등) 제거 등의 유지관리 작업을 준공할 때까지 시행해야 한다.

(2) 유지관리

① 점검

> 시공자는 비탈면에 시공된 안정공법, 식생기반, 식생 등이 지속적으로 유지되고 복원목표에 부합되도록 유지관리계획을 수립하여 주기적으로 점검을 시행한다.

[해설]

1) 비탈면 녹화공사는 시공 후에도 준공할 때까지 지속적인 점검을 수행해야 한다.

2) 점검목표는 식물군락을 양호하게 유지하는데 있으며 식생, 식생기반, 비탈면 안정공법 등이 적절하게 유지되는지 점검을 실시하고, 그 결과를 적절하게 유지관리에 반영해야 한다.

3) 비탈면 녹화공사는 평상시 일상점검, 이상 시 이상점검, 정기점검 등을 시행한다.

㉠ 일상점검 시 다음 항목을 점검한다.

- 비탈면 아래로의 낙석 혹은 토사유출 흔적
- 식생기반재 균열 후 이탈한 현상
- 성토부 상단의 균열, 침하
- 식생기반 유실 흔적
- 식생 쇠퇴, 고사, 변색, 이상 번성
- 측구, 소단배수구, 종배수구에 토사, 낙엽, 마른 나뭇가지의 퇴적 및 배수구의 이상
- 구조물과 비탈면 녹화공의 경계부 이상
- 비탈면 주변의 변화 상태, 특히 비탈면 상부의 나무 쓰러짐

㉡ 이상 점검 시 ㉠항을 유의하고, 다음 사항을 중점 점검한다.

- 비탈면 주변을 포함한 지표수, 용수 위치, 그 양과 탁도
- 식생기반의 미끄러져 내림, 유실 발생위치, 규모, 상태 및 확대 예측 범위
- 해충상황과 병충해 예측범위
- 해수에 의한 염해상황

■ 예상외의 식물 이상 번성이나 동물에 의한 피해상황

■ 이상기상에 의한 식생기반 박리, 비산 등의 변화 상태나 식생 쇠퇴 상황

■ 붕괴장소에 대해서는 그 규모와 확대 유무, 하방으로 영향을 파악

㉢ 정기점검은 분기 또는 일정시기별로 시행하며, 정기점검에는 일반적으로 비탈면 녹화식생의 평가와 식물의 추적조사를 하고, 식생의 상태를 파악하여 복원목표에 부합되도록 진행되는지 확인한다. 식생 생육에 대한 추적조사기간은 복원목표에 따라 차이가 있는데, 주 구성종이 파종식물 중에서 우점 할 때까지 조사하는 것이 원칙이며, 주변에서 자연 천이가 진행되어 비탈면과 주변 자연 상태가 변화가 없을 때까지 점검한다.

② 유지관리 방법

비탈면 녹화의 유지관리방법은 도입식물의 식생 천이가 정상적으로 진행되는지 여부를 확인하고, 미래에 녹화 목표를 달성할 수 있도록 관리한다.

[해설]

1) 비탈면 녹화공사의 유지관리는 도입식물의 식생 천이가 정상적으로 진행될 때까지 식물도입방법 등을 고려하여 적절하게 시행한다.

2) 유지관리계획은 미래에 성립되는 식물군락이 정상적으로 복원목표에 달성되도록 한다.

3) 유지관리는 식물군락의 특성을 이해하고, 녹화목표를 달성하도록 관수, 시비, 추파 등 적절한 노력을 말한다.

㉠ 시공 후 초기 유지관리

시공 후 초기 단계 유지관리는 도입식물의 확실한 정착에 유의한다. 식물형성이 원활함이 기본이 되므로 식물구성에도 주의하면서 녹화 목표의 주체가 되는 주 구성종이 확실히 정착할 수 있도록 한다.

㉡ 전면 피복 후의 유지관리

자연 피복 후에는 생태계 교란종에 의한 피해가 발생하지 않도록 유의한다. 녹화목표의 달성에 대한 판단은 주 구성종으로 도입된 식물이 군락 우점종인 경우이나 그에 가까운 상태로 되었을 경우를 기준으로 한다.

㉣ 식생기반의 유지관리

식생 기반의 기능이 저하한 경우는, 다음에 표시된 대책에 따라 목표군락이 성립되도록 적절한 조치를 할 필요가 있다.

- 뿜어붙이기에 의해 조성된 식생기반이나 식생자루 등이 강우, 동해, 용수에 의해 손상 또는 유실된 경우에는 그 부분을 보수한다.
- 철망이 뜨는 경우에는 앵커핀으로 철망을 고정한다. 단, 시공 후 시간의 경과에 따라, 식물이 충분히 생육되어 전면적으로 비탈면을 피복되고 뿌리가 고정되어 앵커핀의 필요성이 없어진 경우에는 그럴 필요는 없다.
- 비탈면에 균열, 함몰, 탈락, 붕괴 같은 이상이 보일 경우에는 그 원인 조사를 하여, 급속히 침식방지 대책이나 붕괴방지 대책을 시행한다.
- 콘크리트틀 구조물에서 균열, 함몰 같은 이상 변형이 보일 경우에는, 그 원인 조사를 하여 조속히 콘크리트 틀의 부분 보수나 붕괴방지 대책을 시행한다.
- 비탈면 종배수구 및 소단배수구에 퇴적된 토사나 낙엽, 마른 나뭇가지가 보일 경우에는, 흘러넘친 물에 의해 비탈면 침식을 유발할 우려가 있으므로, 배수구 청소를 하여 제거한다. 배수구를 덮을 듯이 무성해진 초본과 관본류도 배수기능을 저하시킬 우려가 있으므로, 청소 시 깎기하여 두는 것이 바람직하다. 또한, 벌목한 초본과 목본식물이나 제거된 토사는 배수구로 유입되지 않도록 충분히 주의한다.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

비매품/무료

98530

9 791195 737154

ISBN 979-11-957371-5-4