

최 종  
연구보고서

석산개발 지역의 환경친화적 천공녹화 공법의  
개발

Development of Environment-Friendly Boring  
Revegetation Measures  
in Quarry area

연구기관  
경상대학교

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “석산개발 지역의 환경친화적 천공녹화공법의 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 11 월 14 일

연구기관명 : 경상대학교

총괄연구책임자 : 마 호 섭(경상대학교)

세부연구책임자 : 문 현 식(경상대학교)

연 구 원 : 김 영 호(경상대학교)

연 구 원 : 박 진 원(경상대학교)

연 구 원 : 김 남 부(진주시산림조합)

연 구 원 : 김 용 철(진주시산림조합)

연 구 원 : 강 원 석(경상대학교)

연 구 원 : 김 남 훈(경상대학교)

연 구 원 : 김 성 진(경상대학교)

연 구 원 : 고 병 진(경상대학교)

연 구 원 : 박 은 희(경상대학교)

연 구 원 : 노 일(경상대학교)

연 구 원 : 조 민 기(경상대학교)

연 구 원 : 이 상 훈(경상대학교)

# 요 약 문

## I. 제 목

석산개발 지역의 환경친화적 친공녹화공법의 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 채석개발지는 암반사면 비탈면이 노출되면서 환경적, 경제적 피해를 유발하게 된다. 이러한 암반사면 비탈면의 비산먼지의 발생과 붕괴로 인해 토사재해가 발생함으로서 주민 및 환경보호단체들로부터 석산개발을 반대하는 원인을 제공하고 있다.
- 과거에는 암반사면을 방지한 경우가 많았으나, 최근 유료고속도로의 경관회복, 도시근교 도로의 녹화, 채석장에서 채석이 끝난 후 주변 환경과의 조화, 공원의 절개지의 미화 등 훼손시킨 생태계를 최대한으로 회복시키고자 하는 것이 국민의 정서이다
- 석산개발로 인한 암반사면은 경사가 심하고 그 물리적 특성상 풍화가 많아 파쇄되어 있어 초본류나 수목의 식재가 이루어지더라도 식물의 정착과 생육을 어렵게 하며 강우시에는 절리 및 층리 틈새에 물이 침투하여 표면침식과 붕괴가 빈번히 발생하고 있다.
- 암반사면의 환경조건은 수목이 성장하는데 부적합하여 수목의 활착기회가 낮고, 활착하더라도 성장하는데 오랜 시간이 걸리지만 암반사면에서 활착하여 성장하는 수목은 특이한 자연적 조경미를 갖고 있기 때문에, 장기적인 조경적 가치에 중점을 두고 다수의 수종을 선정해야 한다.
- 석산개발 지역의 암반사면 녹화공법에서 추구하는 식재 수목의 기능은 사면안정, 영구적 자연미의 제공 주위 삼림 생태계의 보호기능에 있다. 이러한 기능을 발휘하기 위하여 식재 수목은 생리 생태적 특성(내건성, 내열성, 내척성, 내한성, 내음성, 공생성) 자연미의 조경적 특성(자생종의 개성과 조화성), 조림학적 특성(인위적 번식과 조림의 용이성)을 갖추어야 한다.

- 현재 이러한 암반사면을 녹화하기 위하여 주로 사용되고 있는 종자뿌어붙이기공법은 비탈면의 암질에 관계없이 동일한 방법으로 적용되고 있으나 경비가 많이 들 뿐만 아니라 기존의 종자뿌어붙이기공법으로는 안정과 녹화효과를 기대하기 어려운 실정이므로 이들 지역에 대해서는 기존의 방법을 보완할 수 있는 새로운 녹화기술이 요구되고 있는 실정이다.
- 따라서, 이러한 암반비탈면을 효과적으로 녹화하기 위하여 다양한 신공법의 개발이 요구으므로 연구력이 부족한 시공업체에서는 학계나 연구기관이 개발한 새로운 공법을 산업화하는데 항상 관심을 기울이고 있어 새로운 녹화공법과 사면안정기술의 개발은 매우 필요하다.

### Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

천공녹화공법은 지피식물을 주류로 하는 녹화공법이 아니라 주변 환경과 조화를 이루도록 수목을 그 주변의 향토초종을 도입하여 도로 및 임도개설로 노출된 암반사면, 공원주변의 암반사면, 채석이 끝난 암반사면을 부분적으로 천공하여 녹화하는 공법이다. 암반사면상 배양토에 의한 추가 재하하중을 최소화시켜 암반사면의 안정성을 도모하는데 장점이 있다.

기존의 암반사면 녹화공법의 대안으로 연구하고자 하는 암반사면 천공녹화공법은 암반비탈면에 일정간격으로 천공기로서 구멍을 판 후 녹화화분에 배양토, 종자, 비료 및 토양안정제와 식물의 발아와 활착을 촉진하는 미생물을 혼합하여 이것을 구멍 내부에 투입하거나, 암반용 화분을 만들어 종자, 비료, 배양토를 혼합하여 토양안정제를 처리하고 미생물을 주입하여 암반사면을 녹화하는 기술개발과 암반사면의 녹화식물을 선발하는데 있다.

#### 1. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발

##### 가) 암반사면 입지환경 조사 및 녹화기반재 개발

- ◆ 암반사면 입지환경 조사
- ◆ 암반사면 지표지질 조사
- ◆ 녹화기반 및 자재 개발

나) 암반사면 천공녹화공법 개발

- ◆ 암반사면 천공특성 평가
- ◆ 천공기술 개발
- ◆ 미생물이용 천공녹화공법 현장실험

다) 암반사면 천공녹화공법의 특성 분석

- ◆ 생육특성 조사
- ◆ 처리별 효과 모니터
- ◆ 공법특성 평가

2. 암반사면 녹화식물의 개발

가) 암반사면 식물의 생육특성 분석

- ◆ 암반사면의 식물 조사
- ◆ 암반사면의 생육환경 분석
- ◆ 암반사면 자생식물의 번식과 양묘기술 개발

나) 암반사면의 파종 및 종자배합기술 개발

- ◆ 미생물이용 종자파종 및 발아촉진 연구
- ◆ 식물종별, 유형별 종자배합비율 규명
- ◆ 암반사면 현장실험

다) 암반사면의 녹화식물 선발

- ◆ 생육특성조사
- ◆ 경관 생태조사
- ◆ 녹화식물 개발

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 연구개발 결과

#### 가. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발

산지가 채석장으로 개발되기 전에는 수자원, 수질, 대기, 자연경관 등의 보존이 잘 되어 있으나 채석장으로 개발된 이후에는 이들 환경이 파괴되고 산지의 지형이 변하게 된다. 훼손된 지역의 산림을 원상으로 회복하는 것은 불가능하지만 가능한 산림을 복구하기 위하여 녹화를 실시하는 것은 채석장의 개발이 완료된 후 대단히 중요한 조치이다. 산이 채석으로 인하여 평지가 되므로 지역사회에 기여하는 경우도 있을 수 있으나 대부분의 경우는 복구를 하지 않으면 안된다. 채석장은 채굴이 완료되면 반드시 크고 작은 사면이 남는다. 이와 같은 사면을 잔벽이라 하며 채석장의 특성으로 보아 이들 잔벽은 거의 수직벽으로 남아 있는 경우가 많다. 일반적으로 잔벽의 구배는 채석업자의 경영적인 측면에서 가능한 많은 채석을 위하여 거의 수직으로 형성하고 있다. 녹화의 관점에서 보면 소단의 폭이 2m이하이면 나무를 심기가 어려우므로 무엇보다도 소단의 경사를 45° 이하로 유지하고 폭을 넓게 하여 높이는 가능하면 5m 정도로 하는 것이 이상적이다. 그러나 채석업자의 입장에서는 가능한 많은 채석을 위하여 거의 수직으로 잔벽을 남기다 보니 소단의 형성에 부정적인 견해가 많다.

채석장의 개발시 경영에 무리가 없고 잔벽의 녹화에 큰 지장을 주지 않는 범위 내에서 소단의 폭을 정하여 산림을 복구 및 녹화하는 기술의 개발이 꼭 필요하다. 잔벽의 형성에 따른 근본적인 조치는 소단을 만들어 나무를 심고 녹화를 유도하면서 자연경관을 유지하고 잔벽이 붕괴되지 않도록 토류 시설을 하고 낙석의 위험이 있는 지역에는 보호망을 설치하도록 해야 한다.

천공녹화 공법은 채굴이 완료된 후 한꺼번에 녹화를 하는 것이 아니고 맨 위 정상 부부터 채굴이 끝난 잔벽에 대하여 천공을 하여 단계별로 녹화를 실시하는 방법을 말한다. 일시에 자연 상태로 복구 되는 것이 아니고 충분한 시간을 두고 자연 상태로 회복되기 때문에 경영상의 무리도 별로 없다. 이 천공녹화 공법의 시행순서는 상부로부터 내려오면서 벤치 커트(Bench Cut)에 의하여 채굴을 하고 난 후 계획된 최종 잔벽에 천공을 하여 녹화를 시키고, 또 그 아래사면에서 채굴이 끝나면 최종 잔

벽상에 천공을 하고 단계별로 서서히 녹화를 진행시켜 모든 잔벽에 대하여 녹화효과를 점진적으로 시공하는 스텝다운(Step-down)식 천공녹화 공법이다.

본 공법은 잔벽에 깊이 15~20 Cm 정도 깊이로 천공을 하고, 녹화화분을 만들어 화분에 여러 가지 침식방지제, 토양개선제 등으로 배양토를 조제하여 종자, 비료, 미생물을 잘 섞어 식생을 유도하여 잔벽을 녹화시키는 공법이다. 특히, 암반비탈면에 생육이 좋은 식생을 선발하여 조기에 잔벽면을 녹화할 수 있는 새로운 공법이라 할 수 있다.

1) 천공 시는 녹화화분이 앞으로 돌출될 부분을 고려하여 15cm 정도로 천공을 하였고, 천공각도는 잔벽면으로부터 수분확보를 위하여 약 5° 정도 기울기를 주고 천공을 하였다. 모양은 수평천공이 되므로 천공비트의 형상에 따라 원형으로 되어 수분의 확보가 용이하여 발아 및 녹화에 도움이 되었다.

2) 절리대가 있거나 약간 오목한 부위는 비가 오면 쉽게 절리대 및 잔벽표면으로부터 수분을 확보하기 쉬운 장점이 있다. 절리가 많은 잔벽 또는 오목한부위에 천공이 된 지점은 수분확보가 용이하여 식물생장에 많은 도움이 되었다.

3) 절리면, 층리 및 편리가 있는 지점은 암석의 강도를 저하시키므로 그 간격이 조밀하면 천공효과가 증대되었으나, 그 간격이 넓으면 천공시 응력파가 반사되어 암석내에 간섭현상을 일으켜 큰 구멍이 발생하고 때로는 천공구멍이 파괴되어 천공형성이 어려웠다.

4) 파종 후 2주까지는 산림표층토(D) 15%, 산림부식토(A) 12.5%, 혼합토(C) 11.1% 및 배합상토(B) 7.4%의 순으로 처리토양에 따른 발아율의 차이를 보였다

5) 산림표층토(D) 및 혼합토(C)의 처리구는 3회의 조사에서 발아상태가 좋아지는 경향을 보였고, 유기물함량과 보습성이 뛰어난 산림부식토(A)와 일반상토(B)는 초기에는 발아를 하였으나 오히려 시간이 지남에 따라 강우로 인한 우적침식과 잔벽에서 흘러내리는 유수의 영향으로 토양이 유실되고, 잔벽 상부로부터 조그마한 돌 부스러기도 유출되어 녹화화분내에 침입되므로서 점점 감소하는 경향을 보였다.

6) 외래초종인 톨웨스큐 및 페레니얼 라이그라스는 산림표층토(D)에서 가장 많이 발아 하였으며, 다음은 산림부식토(A), 혼합토(C) 및 일반상토(B)의 순으로 발아를 하였다. 재래초종들은 비교적 내건성 및 내서성이 좋은 참싸리, 낭아초, 안고초 및 구절초의 순으로 처리된 모든 토양에서 다소 발아를 하였다.

7) 안고초도 산림표층토(D)에서 가장 많이 발아 하였으며, 구절초는 혼합토(C), 낭아초는 산림부식토(A), 참싸리는 모든 처리토양에서 비교적 고르게 발아를 하였다. 반면에 비수리는 산림표층토(D) 및 혼합토(C)의 처리구에서 각각 8분과 6분만 발아되어 조금 더 장기적인 관찰이 필요한 것으로 보인다.

8) 초종별로는 외래종인 톨웨스큐 및 페레니얼이 가장 많이 발아하였으며, 재래종은 참싸리 낭아초, 안고초, 구절초의 순으로 발아율이 높았다.

9) 식재수종인 담쟁이는 활착이 잘되어 암벽면에 부착이 된 것도 있으며, 또는 수분 부족으로 시들어 지는 것도 있었으나 뿌리에서 새잎이 돋아나 성장하고 있어 비교적 잘 적응하였다.

10) 발아량의 실험결과 토양은 산림부식토>산림표층토>혼합토>배합상토, 처리는 미생물+망>미생물>무처리로 나타났으며 초종으로는 페레니얼>톨웨스큐>바랭이>구절초>낭아초>참싸리 순으로 나타났다. 산림부식토의 유기물과 미생물, 그리고 망 처리에 의한 수분유지와 햇빛의 차단이 초기 발아에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

11) 4월부터 9월까지의 개체수 변화는 산림부식토, 산림표층토, 혼합토, 배합상토의 순이다. 4개 토양 모두 4월부터 6월까지의 개체수가 증가 하고, 7월에서 9월까지의 개체수가 감소하는 경향을 보였다. 처리별로는 미생물처리>미생물+망처리>무처리 순으로 나타났다.

12) 초종별 개체수 변화는 토양은 산림부식토>산림표층토>혼합토>배합상토, 처리는 미생물+망>미생물>무처리로 나타났으며 초종으로는 페레니얼>톨웨스큐>바랭이>구절초>낭아초>참싸리 순으로 나타났다.

13) 성장량은 미생물+망>미생물>무처리로 나타났으며, 미생물처리와 미생물+망 처리가 7월까지 톨웬스큐가 성장을 많이 하였다. 특히 미생물 +망 처리에서 남아초가 7월 이후 급격한 성장을 보였다. 남아초 및 참싸리의 경우 미생물 처리, 무처리 구간 보다 생육기반 토양의 침식이 적은 미생물+망처리에서 생장이 많았다.

14) 채굴이 끝난 채석지 잔벽면이나 암반사면의 표면에 천공기로 깊이 15cm, 직경 10cm내외의 구멍을 뚫어 녹화화분에 배양토를 넣어 점적인 방법으로 조기에 녹화를 할 수 있는 공법으로 식생기반재인 배양토(삼림부식토, 산림표토)를 만들어 녹화종자를 넣고 미생물을 첨가하여 채석지 잔벽면의 천공내에 넣으므로 식생활착에 최상의 조건을 만들어 주며 훼손된 암반사면을 생태적·환경적·경제적으로 적절하게 조기에 복구·녹화할 수 있는 공법을 개발하였다.

#### 나. 암반사면 녹화식물의 개발

식물종별로 파종한 실험에서 비록 초기생장이 느려 조기녹화는 기대할 수 없으나 시간이 지남에 따라 생장이 활발한 것으로 나타난 참싸리, 물오리나무, 아까시나무, 자귀나무와 자연적으로 암반사면에 침입하여 생육하고 있는 붉나무, 등나무 등도 암반사면을 녹화시킬 수 있는 수종이라 생각된다. 그리고 녹화효과를 높이기 위하여 식물종별로 배합한다면 식물배합에서 상대적으로 높은 피복율을 나타낸 조기녹화용 식물배합에 사용된 남아초와 비수리 그리고 조기녹화 및 경관녹화용 식물배합에 사용된 참싸리, 비수리, 아까시나무, 사방오리, 자귀나무 등을 암반사면 녹화식물로 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 한편 주변 산림에 자생하고는 있지만 암반사면으로의 자연침입 빈도가 낮은 패랭이, 도라지, 구절초, 쑥 등의 초본식물의 경우 발아율은 높아 조기녹화에는 효과적일 것으로 생각되나 지속적인 녹화와 주위 환경과의 조화라는 측면에서는 활용도가 낮을 것으로 판단된다.

1) 암반사면에 자생하는 목본식물로는 소나무, 오리나무, 붉나무, 싸리 및 나무딸기 등이 많았고, 초본에 있어서는 겨이삭과 국화과식물들이 자라고 있었으나 피복상태는 불량하였다. 그러나 아카시 나무가 밀집하는 지역에서는 초본의 종 다양도가 높았다.

방형구내에 출현한 목본식물은 상층 12종, 중층 15종, 하층 47종으로 조사되었다. 전체 시험대상지에 있어서 공사 완료 후에 자연적으로 침입한 목본식물은 리기다소나무, 물오리나무, 소나무, 싸리, 진달래, 박달나무, 버드나무, 아카시아나무, 사방오리나무, 갯버들 등 10종인 것으로 조사되었다. 이들 수종 중에서 성장이 가장 양호하게 나타난 것은 물오리나무였다. 또한, 채석장에서 발생하는 분진으로 인해 소나무, 신갈나무의 일부 개체가 성장이 쇠퇴되는 것을 육안으로 확인할 수 있었다.

2) 모래의 함량은 전 조사지에서 24.9~27.8%, 미사함량은 39.8~48.4%, 점토함량은 24.8~33.3%의 범위에 있는 것으로 나타났다. 수목생육 시 식물 뿌리의 호흡이나 수분공급에 중요한 역할을 하는 것으로 알려지고 있는 토양 삼상의 경우 전 지역이 고상(38.3%)>기상(33.4%)>액상(28.4%)으로 나타났다

토양용적밀도의 경우 평균  $0.92\text{g}/\text{cm}^3$ 으로 우리나라 산림토양 A층의 용적밀도  $0.88\text{g}/\text{cm}^3$ 보다 약간 높은 것으로 조사되었다. 토양입자밀도는  $2.02\text{g}/\text{cm}^3$ 으로 나타났다. 산림토양의 pH는 평균 5.1로 조사되었다. 토양유기물과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 알려지고 있는 전질소의 경우 전 조사지가 0.09~0.13%의 범위에 있으며 평균 산림토양 중 전질소 함량은 0.11%로 조사되었다. 유효인산 함량은 평균 12.3ppm으로 조사되었다. 유효인산과 마찬가지로 토양 pH와 밀접한 관계가 있는 치환성양이온 함량은 전 조사지에 있어서 Ca  $1.22\text{cmol}/\text{kg}$ , Mg  $0.62\text{cmol}/\text{kg}$ , K  $0.13\text{cmol}/\text{kg}$ , Na  $0.08\text{cmol}/\text{kg}$ 로 조사되었으며 pH가 낮은 지역의 치환성양이온 함량도 낮은 것으로 분석되었다.

3) 초본류인 패랭이꽃, 수레국화, 쑥부쟁이 등과 관목류인 낭아초, 참싸리와 비수리는 파종 후 7일부터 발아가 시작되었다. 이에 비해 교목류는 상대적으로 다른 종자들에 비해 최초발아시기가 늦은 것으로 나타났다. 실험실의 성장상에서의 발아율은 초본식물의 경우,  $15^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$ 에서 패랭이, 별노랑이, 새의 순으로 발아율이 높았으며, 관목은 참싸리와 비수리가 상대적으로 높은 발아율을 나타내었으며 교목은 리기다소나무가 가장 높은 것으로 나타났다.  $20^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 에서는 초본은 쑥, 민들레, 교목은 아까시나무, 자작나무, 자귀나무가  $15^\circ\text{C}/25^\circ\text{C}$ 에 비해 높은 발아율을 나타내었다.

4) 파종 후 시간이 경과함에 따라 모든 배합구에서 피복율이 증가하는 경향을 볼 수 있다. 상대적으로 다른 식생배합에 비해 조기녹화용 식생배합의 실험구에서 3개월 동안 가장 높은 피복율을 나타내었으며, 이어 조기녹화 및 경관녹화용 식생배합, 자생초종 식생배합, 경관녹화용 식생배합 순으로 높은 피복율을 나타내었다. 조기녹화용 식생배합은 파종 후 2주만에 20% 이상의 피복율을 나타내어 비교적 빠른 녹화효과를 보였고, 파종 3개월 후에는 89%의 높은 피복율을 나타내었다. 질소고정능력이 있는 식물종만으로서의 배합도 앞으로 사면의 조기녹화용 종자배합으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 보다 정확한 정보를 얻기 위해서는 생육에 따른 중간 경쟁 등 앞으로도 세밀한 monitoring이 절실히 요구된다 할 수 있겠다. 경관녹화용 식생배합은 다른 식생배합에 비해 가장 낮은 피복율을 기록하였다.

5) 파종 후 6주 동안의 각 처리구별 식생피복율을 살펴보면, 무처리한 대조구(F)의 식생피복율은 17%로 나타나 다른 처리구에 비해 가장 낮은 피복율을 기록하였다. 전체 처리구중 *Bacillus*+*a*+*b*+*c*의 B처리구에서 76%가 피복율을 보여 가장 높은 것으로 나타났다. *Bacillus*속만을 처리한 A처리구도 51%의 피복율을 나타내어 미생물 처리만으로도 피복율 촉진이라는 측면에서는 충분한 효과를 기대할 수 있을 것으로 짐작된다.

6) 암반사면에 파종한 종자배합의 피복율은 조기녹화용이 가장 피복율이 우수한 것으로 나타났다. 월별 변화는 파종 후 2개월 후인 5월에는 조기녹화용 22%, 경관녹화용 12%, 조기녹화 및 경관녹화용 14%, 자생초종 11%로 낮은 피복율을 나타내었으며 4개월째인 7월에는 각각 28%, 18%, 19%, 26%로 경관녹화용과 조기녹화 및 경관녹화용은 5월과 비교하여 큰 차이가 나타나지 않았다. 파종 후 7개월째인 9월에는 조기녹화용 47%, 경관녹화용 22%, 조기녹화 및 경관녹화용 39%, 자생초종 31%의 피복율을 나타내었다.

7) 인위적인 아닌 자연적인 상태에서 조성된 절리를 통해서는 물오리나무, 참싸리, 붉나무, 리기다소나무 등이 침입하여 자연적인 식생복원이 이루어지는 곳도 있었고 부분적으로 식생기반재가 조금이나마 존재하는 곳에는 새, 쭉, 비수리, 비짜루가 자라고 있는 곳도 있었다. 하지만 이들로서는 잔벽면의 식생복원을 기대하기 어려운 상황이었다. 식생기반재가 존재할 수 없어 자연적인 식생복원은 기대할 수 없는 것

으로 조사되었다.

8) 물오리나무, 자귀나무, 아까시나무 등의 교목류는 질소고정능력이 있어 황폐지나 절개지 사면 등에 강한 적응력으로 선구식물로도 충분히 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 초기생장이 다소 느린 단점이 있지만, 적응력이 강하다는 측면에서 지속적인 사면녹화용으로 적극 활용할 수 있는 식물로 판단된다. 또한 본 조사대상지인 암반사면의 절리 틈에 주변 산림으로부터 자연적으로 침입하여 생육하고 있는 것을 보면 식생기반재인 토양이 조금 존재하는 곳이라면 어디든 침입하여 녹화효과를 높일 수 있는 수종이라 생각된다.

## 2. 활용계획

가. 석산개발 지역의 암반사면에 친환경적 소재를 이용한 재해 방지 및 생태적 복구를 위한 새로운 친환경적 녹화화분 및 천공녹화공법을 산업체에 이전할 계획이다.

나. 산림환경복원 및 복구기술을 석산개발지역 분야에 도입함으로써 개발로 인한 암반사면의 훼손지 복구 및 녹화관련산업의 육성효과를 가져올 수 있을 것이다.

## SUMMARY

### 1. Development of boring revegetation measures of quarry area in Gyeongsangnam-do

#### 1) Selection of drilling method on rock slope

The rock drilling on rock slope was slightly drilled as about 5 degree for taking the water on rock slope with 80 to 90 degree. the shape of drilling was circle type, depth was drilled about 15 to 20cm. The part of joint or concave area on rock slope had an important role as taking the water. The revegetation plants of good conditons holding many water grewed at very well in the revegetation-pot.

#### 2) Technical development of seed combination for revegetation plants

The rate of germination showed highly in order to topsoil of forest(D) with 15%, humus soil of forest(A) with 12.5%, mixture soil(C) with 11.1% and merchanted general soil(B) with 7.4%.

The growth of treatment plot with topsoil of forest(D) and mixture soil(C) gradually had a better tendency as time goes. The growth of treatment plot with humus soil of forest(A) and merchanted general soil(B) showed to very poor growth rather than those of D and C plot. Because the soil of revegetation-pot was splashed by water drop erosion and sowed-seed was buried by invasion of small rock debris falling from upper rock slope. The germination rate of Tall fesque and perenial raygrass, introduced species showed highly in order to topsoil of forest(D), humus soil of forest(A) mixture soil(C) and merchanted general soil(B).

In general, the rate of germination showed highly introduced species, Tall fescue and perennial raygrass, and then inland species showed highly in order to *Lespedeza cyrtobotrya*, *Indigofera pseudo-tinctoria*, *Arundinella hirta*, *Chrysanthemum zawadskii*. Especially, planted *Parthenocissus tricuspidata* grewed very well on the rock slope, but leaves were wilted by shortage of water.

### 3) Technical development of seed combination by microorganism and multhing

The rate of germination by microorganism showed highly in order to humus soil of forest(A), topsoil of forest(D), mixture soil(C) and merchanted general soil(B). The rate of germination by microorganism and multhing showed highly in order to microorganism + net plot, microorganism plot and control plot. It consider that the germination rate of treatment plot with microorganism +net had showed highly by the blocking of sunnny and control of water by net. The change of individual number showed highly in order to humus soil of forest(A), topsoil of forest(D), mixture soil(C) and merchanted general soil(B).

Especially, individual number was increased in all cultivation soil type from April to June, but it was decreased in all cultivation soil type from July to september. individual number by microorganism and multhing showed highly in order to microorganism plot ,microorganism + net plot and control plot. And also, the change of growth showed highly in order to microorganism + net plot, microorganism plot and control plot. In species, it showed highly in order to perennial raygrass, Tall fescue, *Digitaria sanguinalis*, *Chrysanthemum zawadskii*, *Indigofera pseudo-tinctoria*, *Lespedeza cyrtobotrya*.

4) Current method of revegetation for the rock slope of quarry area is mainly

hydro-seeding which is applied any slope without consideration of rock conditions. For this reason, it is hard to have a good result of stability and plantation effect when the hydro-seeding is applied on the rock slope. Therefore, it is needed a new plantation method on this kind of slope, it can enhance the efficiency of the point plantation on the rock slope of quarry area. so we have developed a boring revegetation which can be used for dotted plantation on rock slope in quarry area.

It is necessary to use broadly the newly developed boring revegetation at the field of quarry area.

## 2. Development of revegetation plant in Quarry area

### 1) Analysis of growing characteristics on bedrock slope

This study on vegetation and growing environment was carried out to provide basic data for revegetation and reasonable management of bedrock slopes.

#### o Vegetation analysis around bedrock slope

After quarrying, *Pinus rigida*, *P. densiflora*, *Alnus hirsuta*, *A. firma*, *Lespedeza bicolor*, *Rhododendron mucronulatum*, *Betula schmidtii*, *Salix koreansis*, *S. gracilistyla*, *Robinia pseudo-acacia* invaded naturally. Among these species, *A. hirsuta* showed fine adaption and growth. Growth of some species such as *P. densiflora* and *Quercus mongolica* were restrained by dust from quarry. Number of species appeared in all study sites were 12 species in upper layer, 15 species in middle layer and 47 species in lower layer. According to the importance value of each layer, *Pinus densiflora* had the highest importance value in upper and middle layer. *L. bicolor*, *R. mucronulatum*, *R. yedoense* var. *poukhanense*, *Q. mongolica*, *Q. serrata*, *Rhus trichocarpa* and *Juniperus rigida* in lower layer had higher importance value above 10. 56 species appeared in herbaceous layer and

them included naturalized plants such as *Erigeron canadensis*, *E. annuus* and *Oenothera odorata*.

o Growing environment around bedrock slope

Soil particle size averaged 44.3% in silt, 28.8% in clay and 27.0% in sand, and showed similar distribution. Three phases of around bedrock slope averaged 38.3% in solid phase, followed by 33.4% in gaseous phase and 28.4% in liquid phase. Soil bulk density and particle density were 1.92 and 2.02g/cm<sup>3</sup>, respectively. Soil pH averaged 5.1 and ranged from 4.8 to 5.5. Soil moisture content averaged 21.1% in all study sites. Soil organic matter content ranged 2.8% to 4.1%, and averaged 3.6%. Contents of total nitrogen and available P ranged from 0.09% to 0.13% and 9.4ppm to 17.8ppm, respectively. The magnitude of exchangeable cations in forest soil around bedrock slope were Ca<sup>2+</sup>(1.22cmol<sub>c</sub>/kg)>Mg<sup>2+</sup>(0.62cmol<sub>c</sub>/kg)>K<sup>+</sup>(0.13cmol<sub>c</sub>/kg)>Na<sup>+</sup>(0.08cmol<sub>c</sub>/kg).

2. Study on Seed sowing and proper seed mixture of on bedrock slopes

This study was conducted to investigate the growth and ground cover rate of the 7 native plants for the revegetation and rehabilitation of the bedrock slopes. Also, this study was conducted to suggest design criteria to select revegetation plants and to decide proper seed mixture for ecological restoration of the disturbed manmade bedrock slopes as an environmentally friendly construction.

o Analysis of seed sowing and facilitation of germination

*Arundinella hirta*, *Centaurea cyanus*, *L. cyrtobotrya*, *L. cuneata*, *Alnus hirsuta*, *Albizzia julibrissin* and *R. pseudo-acacia* were sowed around bedrock slopes for selection revegetation plants on May 2005. After 5 months of sowing, height of each plant was 32.9cm for *L. cyrtobotrya*, 29.7cm for *L. cuneata*, 19.8cm for *A. hirsuta*, 19.4cm for *C. cyanus*, 16.7cm for *R. pseudo-acacia* and 15.4cm for *A. julibrissin* and *A. hirta*. Compared to growth rate of woody and haebaceous

plant, *A. hirsuta*, *A. julibrissin* and *R. pseudo-acacia* showed slow height growth than that of *A. hirta* and *C. cyanus*. Ground cover rate by species had the highest in *L. cyrtobotrya*(52.4%), followed by *L. cuneata*(48.5%), *C. cyanus*(38.9%), *A. hirta*(36.9%), *R. pseudo-acacia*(24.5%), *A. hirsuta* (21.6%) and *A. julibrissin*(19.8%). Height growth and ground cover rate showed similar patterns by species.

o Study of mixture ratio of seed by plant species and type

To compare growth of plants on bedrock slope, mixture of seed by plant species and type were mixture for early revegetation(*Robinia pseudo-acacia*, *Albizzia julibrissin*, *Indigofera pseudo-tinctoria*, *Lespedeza cyrtobotrya* and *L. cuneata*) mixture for landscape revegetation(*Vitex negundo* var. *incisa*, *Sorbaria sorbifolia* var. *stellipila*, *Rosa multiflora*, *P. densiflora*, *P. rigida*), mixture for early and landscape revegetation(*L. cyrtobotrya*, *L. cuneata*, *R. pseudo-acacia*, *Alnus firma* and *A. julibrissin*) and of mixture native plants(*Dianthus sinensis*, *Platycodon grandiflorum*, *Chrysanthemum zawadskii* var. *latilobum* and *Artemisia princeps* var. *orientalis*). Among these mixture of seed, ground cover rate was the highest in mixture for early revegetation, followed by mixture for early and landscape revegetation

3. Selection of revegetation plants available on bedrock slopes

o Analysis of landscape ecology

Most quarry in Gyeongnam Province had above 80m in height and structure with almost perpendicular to the ground. Therefore, it could not be expected natural revegetation on bedrock slopes. Plants growing on apertures of bedrock slopes were *Arundinella hirta*, *Artemisia princeps* var. *orientalis*, *Asparagus schoberioides* and *Lespedeza cuneata*. However, growth of these species were hampered by dust from quarry. Plant species in forest around quarry were also affected by dust from quarry. From the viewpoint of landscape, bedrock slopes with almost perpendicular to the ground need to divide slopes into stepped

slopes, which could be expected early revegetation on bedrock slopes and minimize of landscape damage.

o Selection of revegetation plants

From these experiment, it was recommended that *Lespedeza crybotrya*, *Alnus hirsuta*, *Albizia julibrissin* and *Robinia pseudo-acacia* should be used for revegetation on bedrock slopes. Also, invaded species such as *Rhus trichocarpa* and *Wisteria floribunda* were considered with proper species for revegetation on bedrock slopes. In mixture for early revegetation, and early and landscape revegetation, *Indigofera pseudo-tinctoria*, *L. cuneata* *Lespedeza cyrtobotrya* and *Alnus firma* showed fine growth around bedrock slopes, which them could be used on bedrock slopes. To recover the bedrock slopes quickly and ecologically, increasing the ratio of native species was recommended.

# CONTENTS

Chapter 1. Outline of Research .....	22
Para. 1. Object of research .....	22
Para. 2. Necessity of research .....	23
1. Technological aspect .....	23
2. Economic and industrial aspect .....	24
3. Social and cultural aspect .....	25
Para. 3. Range of the research study .....	26
1. Development of Boring revegetation measures in Quarry area .....	26
2. Development of revegetation plant in Quarry area .....	27
 Chapter 2. Technological Innovation Present Condition of Korea and Foreign Nation.....	29
Para. 1. Development of Boring revegetation measures in Quarry area .....	29
Para. 2. Development of revegetation plant in Quarry area .....	30
 Chapter 3. Scope and Result of the Study and Development .....	32
Para. 1. Development of Boring revegetation measures in Quarry area .....	32
1. Survey of site environment and development of cultivation soils based on revegetation .....	32
2. Develment of boring revegetation .....	46
3. Characteristics analysis of boring revegetation .....	71

Para. 2. Development of revegetation plant in Quarry area .....	104
1. Characteristics analysis of plant growing on the rock slpes .....	104
2. Technical development of seed combination for revegetation plants .....	118
3. Selection of revegetation plant on the rock slope .....	130
 Chapter 4. Objection Performance and Contribution of Relevance Field .....	138
Para. 1. Development of Boring revegetation measures in Quarry area .....	138
Para. 2. Development of revegetation plant in Quarry area .....	140
 Chapter 5. Application Plan of study Result .....	142
Para. 1. Development of Boring revegetation measures in Quarry area .....	142
Para. 2. Development of revegetation plant in Quarry area .....	144
 Chapter 6. Science Technology Knowledge in Study Course .....	145
 Chapter 7. Reference .....	146

## 목 차

제 1장. 연구개발과제의 개요 .....	22
제 1절. 연구개발의 목적 .....	22
제 2절. 연구개발의 필요성 .....	23
1. 기술적 측면 .....	23
2. 경제·산업적 측면 .....	24
3. 사회·문화적 측면 .....	25
제 3절. 연구개발의 범위 .....	26
1. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발 .....	26
2. 암반사면 녹화식물의 개발 .....	27
제 2장. 국내외 기술개발 현황 .....	29
제 1절. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발 .....	29
제 2절. 암반사면 녹화식물의 개발 .....	30
제 3장. 연구개발 수행 내용 및 결과 .....	32
제 1절. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발 .....	32
1. 암반사면 입지환경 조사 및 녹화기반재 개발 .....	32
2. 암반사면 천공녹화공법 개발 .....	46
3. 암반사면 천공녹화공법의 특성 분석 .....	71
제 2절. 암반사면 녹화식물의 개발 .....	104
1. 암반사면 식물의 생육특성 분석 .....	104
2. 암반사면의 파종 및 종자배합기술 개발 .....	118
3. 암반사면의 녹화식물 선발 .....	130

제 4장. 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 .....	138
제 1절. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발 .....	138
제 2절. 암반사면 녹화식물의 개발 .....	140
제 5장. 연구개발결과의 활용계획 .....	142
제 1절. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발 .....	142
제 2절. 암반사면 녹화식물의 개발 .....	144
제 6장. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	145
제 7장. 참고문헌 .....	146

## 제 1장. 연구개발과제의 개요

### 제 1절. 연구개발의 목적

천공녹화공법은 지피식물을 주류로 하는 녹화공법이 아니라 주변환경과 조화를 이루도록 그 주변의 향토종을 도입하여 도로 및 임도개설로 노출된 암반사면, 공원주변의 암반사면, 채석이 끝난 암반사면을 부분적으로 천공하여 녹화하는 공법이므로 사면에 배양토에 의한 추가 재하하중을 최소화시켜 암반사면의 안정성을 도모하는데 장점이 있다.

기존의 암반사면 녹화공법의 대안으로 연구하고자 하는 암반사면 천공 미생물녹화공법은 암반비탈면에 일정간격으로 천공기로서 구멍을 판 후 녹화기반재에 종자, 비료, 배양토 및 토양안정제와 식물의 발아와 활착을 촉진하는 미생물을 혼합하여 이것을 구멍 내부에 투입하거나, 암반용 화분을 만들어 종자, 비료, 배양토를 혼합하여 토양안정제를 처리하고 미생물을 주입하여 암반사면을 녹화하는 기술이다.

따라서 본 연구는 석산개발에 따른 피해실태 및 암반사면에서 생존하는 수목의 생리적 특성을 밝히고 이들 수종이 활착하고 성장할 수 있는 암반의 환경조건과 녹화수종의 개발을 통하여 보다 짧은 기간내에 복구할 수 있는 천공녹화공법을 개발하므로써 학술적·산업적 발전에 기여하고자 한다.

## 제 2절. 연구개발의 필요성

### 1. 기술적 측면

가) 석산개발로 인한 암반사면은 경사가 심하고 그 물리적 특성상 풍화가 많아 파쇄 되어 있어 초본류나 수목의 식재가 이루어지더라도 식물의 정착과 생육을 어렵게 하며 강우시에는 절리 및 층리 틈새에 물이 침투하여 표면침식과 붕괴가 빈번히 발생하고 있다.

나) 암반사면의 환경조건은 수목이 성장하는데 부적합하여 수목의 활착기회가 낮고, 활착하더라도 성장하는데 오랜 시간이 걸리지만 암반사면에서 활착하여 성장하는 수목은 특이한 자연적 조경미를 갖고 있기 때문에, 장기적인 조경적 가치에 중점을 두고 다수의 수종을 선정해야 한다.

다) 석산개발 지역의 암반사면 녹화공법에서 추구하는 식재 수목의 기능은 사면안정, 영구적 자연미의 제공 주위 삼림 생태계의 보호기능에 있다. 이러한 기능을 발휘하기 위하여 식재 수목은 생리 생태적 특성(내건성, 내열성, 내척성, 내한성, 내음성, 공생성) 자연미의 조경적 특성(자생종의 개성과 조화성), 조림학적 특성(인위적 번식과 조림의 용이성)을 갖추어야 한다.

라) 현재 이러한 암반사면을 녹화하기 위하여 주로 사용되고 있는 종자뿌어붙이기 공법은 비탈면의 암질에 관계없이 동일한 방법으로 적용되고 있으나 경비가 많이 들 뿐만 아니라 기존의 종자뿌어붙이기공법으로는 안정과 녹화효과를 기대하기 어려운 실정이므로 이들 지역에 대해서는 기존의 방법을 보완할 수 있는 새로운 녹화기술이 요구되고 있는 실정이다.

## 2. 경제·산업적 측면

가) 지금까지 사용되던 암반사면 비탈면의 녹화기술은 성공률이 매우 낮고 녹화에 성공하여도 주변에 있는 기존 식생과 생태적으로 어울리지 못하였다. 따라서 녹화에 실패할 경우 예는 재시공으로 많은 비용이 이중으로 투자되었다.

나) 현재 우리나라의 석산개발에 따른 피해실태와 석산개발업자의 규모 및 도산에 의하여 복구를 하지 못하고 채석지의 노출로 환경적 및 경제적으로 많은 피해를 받게 되므로 채석타당성 평가가 필요한 실정이다.

다) 또한 녹화에 성공한 지역에서도 기존의 식생과 녹화식생이 조화를 이루지 못하는 지역이 대부분을 차지하고 있으므로 장기적인 관점에서 생태계 복원을 위한 많은 잠재비용이 소요될 것으로 예상된다.

라) 최근 산업화로 산지개발 등으로 매년 많은 양의 암반사면이 새롭게 생기고 있다. 이러한 암반비탈면을 효과적으로 녹화하기 위하여 다양한 시공법의 개발이 요구되며, 특히 시공법을 사용하는 시공업체가 기술력을 바탕으로 경쟁을 벌이고 있으므로 연구력이 부족한 시공업체에서는 학계나 연구기관이 개발한 새로운 공법을 산업화하는데 항상 관심을 기울이고 있어 새로운 녹화공법과 사면안정 기술의 개발은 매우 필요하다.

### 3. 사회·문화적 측면

가) 채석개발지는 암반사면 비탈면이 노출되면서 환경적, 경제적 피해를 유발하게 된다. 이러한 암반사면 비탈면의 비산먼지의 발생과 붕괴로 인해 토사재해가 발생함으로써 주민 및 환경보호단체들로부터 석산개발을 반대하는 원인을 제공하고 있다.

나) 과거에는 암반사면을 방지한 경우가 많았으나, 최근 유료고속도로의 경관회복, 도시근교 도로의 녹화, 채석장에서 채석이 끝난 후 주변 환경과의 조화, 공원의 절개지의 미화 등 훼손시킨 생태계를 최대한으로 회복시키고자 하는 것이 국민의 정서이다.

다) 주변이 초지였을 경우에는 유사초종으로, 주변이 수목이었을 경우에는 가급적 절개사면을 유사수종으로 녹화시켜 환경과 조화를 이루는 것이 무엇보다도 중요하다.

라) 국민소득이 낮았을 때에 녹화라는 분야는 과소평가되어 왔으나, 녹화는 국민소득에 비례된다는 세계적인 추세에 따라 보다 많은 관심을 갖기에 이르렀다.

## 제 3절. 연구개발의 범위

### 1. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발

#### 가) 암반사면 입지환경 조사 및 녹화기반재 개발

- ◆ 암반사면 입지환경 조사
  - 자연환경인자(기상, 식생, 토양 등)
  - 석산개발 피해 실태 분석
- ◆ 암반사면 지표지질 조사
  - 지질구조 조사  
(풍화, 암중, 암질, 절리, 층리)
- ◆ 녹화기반 및 자재 개발
  - 녹화기반재(배양토조제), 암반용 화분 개발
  - 녹화물질 및 토양안정제처리 기법 개발

#### 나) 암반사면 천공녹화공법 개발

- ◆ 암반사면 천공특성 평가
  - 암반의 역학적 특성
  - 암반별 천공특성 평가
- ◆ 천공기술 개발
  - 천공 각도 및 모양
  - 천공 깊이 및 크기
- ◆ 미생물이용 천공녹화공법 현장실험
  - 파종 및 식재공

#### 다) 암반사면 천공녹화공법의 특성 분석

- ◆ 생육특성 조사
  - 녹화기반(배양토) 및 녹화물질별 녹화시험
  - 파종종자별 생육특성 조사

- 입지환경별(월별) 생육특성 분석

◆ 처리별 효과 모니터링

- 파종공 생육상황 및 효과분석

- 식재공 생육상황 및 효과분석

◆ 공법특성 평가

- 각 공법별 식생의 생육특성 비교분석

- 타 공법과의 경제성 및 환경적 효과분석

- 석산개발 지역의 현장특성에 맞는 새로운 친환경적 천공녹화공법으로 제안

## 2. 암반사면 녹화식물의 개발

### 가) 암반사면 식물의 생육특성 분석

◆ 암반사면의 식물 조사

- 암반사면 자생식물 조사(초본 및 목본)

◆ 암반사면의 생육환경 분석

- 자생식물의 생리적 특성 분석

- 자생식물의 생태적인 특성 규명

◆ 암반사면 자생식물의 번식과 양묘기술 개발

- 자생식물의 번식기술 개발

- 자생식물의 양묘기술 개발

### 나) 암반사면의 파종 및 종자배합기술 개발

◆ 미생물이용 종자파종 및 발아촉진 연구

- 종자파종 방법(초종 및 임목)

- 종자채집, 저장 및 발아세 검정

◆ 식물종별, 유형별 종자배합비율 규명

- 배양토 조제(비료, 종자 및 토양 등)

- 수종별 배합비 조사

◆ 암반사면 현장실험

- 암반사면 파종식물(초본 및 목본) 시험
- 생육상황 분석(발아율, 피복률, 초장, 분얼수, 종간 경쟁 등)

다) 암반사면의 녹화식물 선발

- ◆ 생육특성조사
  - 암반사면 파종식물(초본 및 목본) 생육 비교
- ◆ 경관 생태조사
  - 파종식물과 침입식생 조사
  - 암반사면 경관생태 분석
- ◆ 녹화식물 개발
  - 암반사면 최적 녹화식물 선발

## 제 2장. 국내외 기술개발 현황

### 제 1절. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발

국내에서는 일반적인 비탈면 안정 녹화용 국산 초류 및 외래 초류의 과중시기별 발아 특성의 규명에 관한 연구와 몇 가지 초류의 혼합과중시 발아특성과 생장 특성에 관한 연구는 많이 수행되어 왔다. 일본에서도 다양한 과중녹화방법과 특히 무토양 암석비탈면의 녹화공법에 대한 연구도 많이 수행되어 왔으나, 석산개발지 등 암반사면에 대하여 녹화를 위한 천공녹화 공법 기술개발에 관한 연구는 아직 수행된 바 없다. 또한, 초본류와 목본류 종자의 혼파, 주변의 환경조건을 고려하여 암반비탈면 주변의 자연 식생 목본류와의 혼파에 의하여 녹화화분을 이용한 녹화효과에 대한 연구도 미진한 실정이다.

산업화가 진행됨에 따라 우리나라는 매년 산지개발이 많아질 것이므로 이로 인한 훼손지역의 대한 복구 및 복원에 대한 사회적 문제가 발생하므로 경비를 절약할 수 있는 새로운 공법의 개발이 필요하다. 기존에 훼손된 암반사면의 녹화가 실패한 지역과 현재의 공법으로는 녹화가 곤란한 암반사면의 발생도 많아지므로 새로운 기술과 개발된 공법으로 이들 지역에 대한 재시공이 많이 요구되는 실정이다.

따라서, 훼손지 복구 및 복원에 대한 업체와 연구기관에서 지속적인 녹화방안과 암반사면의 안정화 기술에 대한 투자와 연구가 필요하다.

## 제 2절. 암반사면 녹화식물의 개발

절개 비탈면 및 훼손지는 식생의 생육기반이 불량하여 자연의 힘에 의하여 복원되기 위해서는 오랜 기간이 소요되기 때문에 이들 비탈면에는 초기 식생피복 및 녹화의 목적으로 파종 및 식재 등의 방법을 이용하고 있으며 특히 급경사로 이루어져 있는 암절개 비탈면의 녹화를 위해서는 기계력을 이용한 종비토뽑어붙이기공법이 광범위하게 적용되고 있다. 하지만 지금까지 국내에 시공되고 있는 종비토뽑어붙이기공법은 사용재료인 토양자애의 부족 및 불량으로 시공 토층의 균열 및 붕괴, 토양 및 수질오염 등의 문제가 발생되고 있는 것이 사실이다. 또한 녹화시공지에서는 초기 식생피복을 위하여 사용되고 있는 외래도입초종의 번무에 따른 이질적인 경관, 주변 식생과의 생태적 불연속성 등의 문제도 제기되고 있다. 하지만, 암반사면의 경우에는 일반 절개비탈면 및 훼손지와는 달리 식생기반재가 전혀 존재하지 않으며 대부분의 암반사면이 경사가 아주 급하기 때문에 종비토뽑어붙이기 공법을 적용하는 것도 현실적으로 천공을 통한 부분적인 녹화 이외에는 힘든 상황이다. 일본에서는 무토양 암석비탈면의 녹화공법에 대한 연구가 많이 수행되어 왔으나 석산개발로 인해 발생하는 급경사지를 대상으로 한 녹화를 위한 천공녹화 공법과 토사재해 저감대책에 대한 연구는 아직 수행되지 않고 있다. 또한 초본류 중심에서 벗어나 목본식물 종자와의 혼파 및 주변의 환경조건을 고려하고 비탈면 주변에 자생하고 있는 식물종을 이용한 녹화효과에 대한 연구도 아주 미비한 실정이다. 식생기반재가 존재하는 일반 비탈면을 대상으로 한 다양한 녹화공법이 개발되어 있음에도 불구하고 현행 비탈면 녹화분야에 있어서는 비탈면녹화에 대한 인식부족, 조기녹화위주의 공사 진행, 예산 적용의 형평성 문제로 인한 저예산 공법적용, 관련분야의 종합적 연구부족, 녹화목표의 미설정 등과 같은 문제점들이 대두되고 있다. 그리고 인위적으로 발생된 암반사면에서의 식물의 생장은 암반의 균열, 굴곡부분에 토양이 퇴적되거나 인공적인 생육기반인 토양층이 존재하여야만 가능하기 때문에 이러한 현실을 감안할 때 석산개발로 인해 발생하는 사면을 대상으로 한 연구는 국내·외에서도 아직 뚜렷한 결과가 제시되지 못하고 있는 실정이다.

유럽 등지에서는 채석개발과 동시에 생태복원사업을 진행시키기 위해 경관적인 위해요소를 줄이려고 하는 노력이 활발하게 이루어지고 있다. 개발 시 채취된 식생, 토

사 등은 이 지역의 복원을 위해 곧바로 이용되기 때문에 훼손지로 노출된 지역이 크게 확대되지 않아 시각적인 영향을 크게 완화시킬 수 있으며 생태적인 측면에서도 회복속도가 빠르고 효과도 우수한 것으로 나타나고 있다. 하지만 이러한 효과를 극대화하기 위해서는 국내와 같이 채석장을 지면과 거의 직각으로 해서는 불가능하기 때문에 잔벽면을 계단부와 경사면으로 구분하여 가장 효과적인 방법을 강구하고 있다.

## 제 3장. 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제 1절. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발

#### 1. 암반사면 입지환경 조사 및 녹화기반재 개발

##### 가. 석산개발지의 입지환경분석

##### 1) 지형조사

조사지역에 있어서 석산개발 지역의 위치는 도심지역에 위치한 3개소가 전면 가시 되는 지역이므로 통행하는 통행자나 차량에서 전면 가시 되어 경관상 대단히 불량하다. 국도 변이나 지방도 등 도로 주변에 위치한 석산개발지는 49개소로 도로에서 35%가 가시 되고, 14%가 부분적으로 가시 되는 것으로 나타났다. 산간오지에 위치한 석산개발지는 전체 조사지 중 25개소로서 주변 임도나 마을에서 가시 되어 경관미는 불량하지만 도심에서나 주변국도 및 지방도에서는 가시 되지 않기 때문에 석산개발에 따른 경관상의 문제는 크게 없는 것으로 나타났다. 석산개발지가 있는 산지의 경사도는 평균 31°로서 비교적 급한 지역이었으며, 잔벽의 평균경사는 69°로서 석산개발 허가신청서에 첨부된 구적도 상의 경사도보다 훨씬 급경사를 이루고 있었다.

채석장의 잔벽은 사면상부 비탈면에서 유입되는 지표수는 적지만 오랜 세월동안 비, 바람, 풍설에 의하여 물리, 화학적 변화를 일으켜 잔벽의 상단부는 시꺼멓게 물길의 흔적이 여전히 남아 있다. 이것이 절리면을 따라 풍화를 촉진시킬 것으로 보인다. 지하수의 흐름은 주로 불연속면에 의하여 결정되고, 대부분 화강암의 풍화는 네모형의 절리에 따라 균열이 진행되면서 양파모양으로 풍화되어 마사토로 변하고 있으며, 불연속면에 침투한 침투수량에 따라 균열의 결합력이 약해지거나, 동결에 의하여 균열이 확대되면서 잔벽은 블록상의 낙석붕괴가 일어날 위험성이 있다. 석산개발지의 잔벽 경사는 60°이상 되는 곳이 43개소로 86%에 달해 대부분의 석산개발지 잔벽이 거의 수직에 가깝게 절취되고 있는 것으로 나타났다. 잔벽의 경사가 매우 급하기 때문에 낙석 및 암반사면의 붕괴원인이 되고 있다. 또한 암반 비탈면은 복구 및 녹화하기가 매우 어려워 석산개발지 잔벽은 안정·녹화가 불가능한 상태에 놓여 있

다. 조사 대상 석산개발지 잔벽의 사면길이는 50m 이하인 지역이 38개소(73%), 50 ~ 100m인 지역이 12개소(23%), 100m 이상인 지역이 2개소(4%)였고, 평균 석산개발지 잔벽의 사면길이는 54m이었다. 일본의 경우 석산개발지 잔벽의 최대 사면길이는 약 150m 되는 것도 있지만, 대개 50%정도는 약 50m 정도였다. 경암과 연암에 따른 암질구분 및 석산개발지 잔벽의 규모는 석산개발지 복구·녹화에 어느 정도 가능한가를 판단할 수 있는 중요한 요인이 될 수 있다.

절취한 원석이나 석재 및 쇄골재를 채취한 후 나온 폐석을 쌓아 둔 폐석퇴적지의 경사도는 평균 35°이었으며, 21°이상의 폐석퇴적지가 39개소로 대부분이 비교적 급한 물매를 갖고 있어 퇴적장이 안정을 유지할 수 있는 최대 물매 29°를 넘고 있으므로 현재에도 사면상에 누구침식이 계속되고 있다. 강우시에 붕괴위험성이 있으므로 퇴적장의 안정에 문제점도 있어 보인다.(표 1).

표 1. 석산개발지 잔벽, 산지 경사 및 퇴적장의 사면정보

잔벽경사 (°)	개소수 (개소)	비율 (%)	산지경사 (°)	개소수 (개소)	비율 (%)	퇴적장경사 (°)	개소수 (개소)	비율 (%)
0 - 45	4	5	0 - 20	10	19	0 - 20	13	25
45 - 60	5	9	21 - 40	35	67	21 - 40	23	44
60 - 이상	43	86	41이상	7	14	41이상	16	31
평균경사	69		평균경사	31		평균경사	35	

특히, 경남은 2005년도 8월 현재 57개소의 지역이 허가되어 채석이 진행되고 있다. 그 내용은 표 2와 같다. 경남의 시·군중에서도 거창군은 18개소가 밀집되어 건축공예 용도로 개발되고 있으므로 경남지역에 대한 설명은 거창군을 대표지역으로 정하여 복구작업이 완료된 고려석재 및 거창석재를 중심으로 지황, 임황 및 기상요인 등을 분석하였다. 거창지역의 석산개발지역에서는 채석작업으로 인하여 발생된 고려석재 잔벽의 정상부(641m)와 바닥의 채석작업과의 높이(576m)는 약 65m 정도이고, 거창석재 잔벽의 정상부(555m)와 바닥의 채석작업과의 높이(512m)는 약 43m로 나타났다. 양 지역 채석장 잔벽의 경사는 수직을 이루며, 표토의 토심은 대체적으로 산정

부에서는 20cm 내외로서 얇으며, 산복 및 산록에 퇴적이 되어 있는 곳은 약 100cm 두께의 풍화토(마사토+실트질토)로 구성되어 있다.

고려석재나 거창석재 퇴적장 하단부 사면 석축의 평균크기가 1.1×1.4×1.6m 내외이며, 사면의 총 수평거리는 각각 66.2m 및 47.8m, 전체의 사면의 높이는 각각 48.3m 및 51m로서 산모양의 형상을 하고 있다.

표 2. 경남지역 채석지 현황

번호	시군	재 산 소 제 지			허 가 및 복 구 내 역							비고
		읍면	리동	번 지	허가 면 적 (ha)	물량 (천m <sup>3</sup> )	허가 년월일	복구비 예치액	용 도	허 가 기 간	수허가자	
1	창원	북	무동	산2외1	6.40	1,216	'01. 7.23	1,114	쇄골재	'01. 7.23~ '07.12.31	지원종합개발(주) 장희철	채석
2	창원	북	무동	산16외9	10.20	793	'03.8.1	1,676	쇄골재	'03.8.1~ '09.6.30	다주건설(주) 박원규	채석
3	마산	진북	망곡	산13-1	2.70	384	'04.8.3	567	쇄골재	'04.8.3~ '10.8.2	(주)대풍산업 이성숙	채석
4	마산	진북	망곡	산2외6	9.00	2,530	'04.11.1	1,914	쇄골재	'04.11.1~ '13.10.30	(주)경신 김진규	채석
5	진주	진성	가진	산176외4	3.80	1,450	'00.1.14	808	쇄골재	'00.1.14~ '07.1.13	(주)정암산업 최지호	채석
6	사천	사천	금곡	산44외2	2.20	610	'02.6.11	769	쇄골재	'99.5.20~ '07.4.30	(주)동양개발 김영수	채석
7	사천	사남	사촌	산107-1외1	4.30	568	'99.10.2	774	쇄골재	'99.10.2~ '05.8.30	(주)송암산업 임덕규	채석
8	김해	생림	나전	산131-1외3	7.00	2,561	'95.3.20	2,561	쇄골재	'95.3.20~ '06.8.19	경부공영 박사익	채석
9	김해	생림	봉림	산196외4	86.80	45,163	'97.7.16	2,487	쇄골재	'97.7.16~ '06.7.30	김해시장	채석
10	김해		삼계동	산98외5	9.00	3,147	'94.12.1	664	쇄골재	'94.12.1~ '05.8.19	김해시장	채석
11	김해	상동	우계	산328외5	9.52	587	'04.7.16	2,260	쇄골재	'04.7.16~ '07.12.31	동양산업 현종원	채석
12	김해	생림	봉림	산194외1	4.80	1,230	'02.5.7	767	쇄골재	'02.5.7~ '07.5.30	(주)대동레미콘 환중기	채석
13	거제	장북	장북	산86외7	6.50	507	'02.9.19	849	토목용	'02.9.19~ '05.9.18	보성산업(주) 송영수	채석
14	거제	하청	덕곡	산7외5	3.70	877	'02.10.11	530	토목용	'02.10.11~ '06.1.18	동영개발(주) 박세광	채석
15	양		어곡	산385-1외			'05.4.29		쇄골재	'05.4.29~	(주)홍진 천	채석

	산			1	8.70	576		2,256		'07.4.28	무업	
16	의령	부림	경산	산139	4.90	495	04.3.15	675	토목용	'04.3.15~ '06.12.31	(주)동산개발 이종명	채석
17	의령	지정	마산	산86외1	3.51	496	04.4.19	616	토목용	'04.4.19~ '08.12.31	(주)의성산업 개발 박문환	채석
18	함안	대산	옥렬	산75-1외1	5.80	477	'03.5.29	1,147	쇄골재	'03.5.29~ '06.5.28	(주)삼보산업 윤병고	채석
19	함안	철원	무기	산22외4	9.40	320	'05.4.14	1,917	쇄골재	'05.4.1~ '06.6.30	(주)신우공업 신용운	채석
20	창녕	성산	후천	산6외2	4.50	323	'04.02.04	716	쇄골재	'04.2.4~ '06.12.31	(주)수성실업 이상호	채석
21	고성	하이	봉원	산117외1	4.90	1,288	'98.6.18	1,100	쇄골재	'98.6.18~ '07.5.31	정암레미콘 (주) 최승호	채석
22	고성	거류	용산	산42외3	1.60	309	'99.10.18	361	쇄골재	'99.10.18~ '07.5.30	고성아스콘 (주) 김오현	채석
23	고성	거류	용산	산46외1	3.60	1,218	'00.5.30	670	쇄골재	'00.5.30~ '09.4.30	고성아스콘 (주) 김오현	채석
24	고성	하이	덕호	산189-1외 8	7.40	797	'03.10.24	1,371	토목용	'03.10.24~ '11.5.30	삼천포화력 본부장	채석
25	고성	마암	보전	산1외8	3.00	162	'03.11.3	-	토목용	'03.11.3~ '06.8.31	농업기반공 사	채석
26	고성	거류	용산	산41외1	0.50	286	'03.12.30	109	토목용	'03.12.30~ '12.10.30	고성아스콘 (주) 김오현	채석
27	하동	진교	양포	산120-1외 1	5.20	1,006	'96.5.6	444	쇄골재	'96.5.6~ '06.2.28	벽산산업(주) 심규섭	채석
28	하동	금남	송문	산57외1	7.80	1,197	'03.3.24	1,748	쇄골재	'03.3.24~ '07.12.31	유림산업(주) 정홍제	채석
29	하동	금성	가덕	산31	2.40	253	'03.7.12	446	토목용	'03.7.12~ '05.7.11	성보개발(주) 조무현	채석
30	하동	금남	노량	산9-12외2	3.40	680	'03.10.10	550	토목용	'03.10.10~ '06.10.9	하남석산 노기현	채석
31	하동	진교	백련	산39-4외3	2.10	135	04.11.29	284	토목용	'04.11.29~ '05.10.30	(주)경성 문 회석	채석
32	산청	신등	사정	산21외1	4.50	1,109	'02.11.15	1,006	쇄골재	'02.11.15~ '11.11.14	(주)한진개발 김수환	채석
33	함양	안의	도립	산82외1	3.00	159	'01.10.18	658	건축공예	'01.10.18~ '05.9.17	도립산업 정신복	채석
34	함양	마천	창원	산41-3외2	3.30	407	'02.12.10	735	건축공예	'02.12.10~ '12.12.9	마천석재 박종근	채석
35	함양	서상	상남	산148-10	6.60	918	'03.10.24	1,463	건축공예	'03.10.24~ '06.10.23	(유)백두산 업 김병인	채석
36	함양	서하	다곡	산108-5외			'03.7.1		쇄골재	'03.7.1~	(주)석준공영	채석

	양			1	4.50	173		849		'06.6.30	최동규	
37	거창	주상	완대	산172외4	2.10	236	'00.12.8	318	건축공예	'00.12.8~ '05.11.16	금류사업개발 김중환	채석
38	거창	위천	황산	산31외1	3.10	294	'01.11.21	440	건축공예	'01.11.21~ '06.11.21	태영석제산 업(주) 경규 태	채석
39	거창	웅양	산포	산103-1외 2	4.10	214	'05.3.8	591	건축공예	'05.3.8~ '10.3.7	아림석재 도성호	채석
40	거창	주상	내오	산52외4	3.70	278	'04.6.25	656	건축공예	'04.6.25~ '09.6.24	김경현	채석
41	거창	위천	상천	산35	3.10	184	'04.6.18	489	건축공예	'04.6.18~ '09.5.31	양승만	채석
42	거창	웅양	산포	산196-3	4.90	105	'02.1.10	736	건축공예	'02.1.10~ '07.1.9	동경산업 최경숙	채석
43	거창	주상	내오	산162외4	8.50	1,152	'02.11.11	1,119	건축공예	'02.11.11~ '09.11.10	주상기업 임원재	채석
44	거창	남하	대야	산199-1	5.00	1,268	'02.12.6	608	쇄골재	'02.12.6~ '08.4.8	(주)제일산업 배동일	채석
45	거창	주상	내오	산43외4	2.90	81	'02.3.8	403	건축공예	'02.3.8~ '07.3.7	명보실업 이희균	채석
46	거창	주상	연교	산87외2	4.30	512	'04.3.30	569	건축공예	'02.7.4~ '07.7.3	동국석재 박동욱	채석
47	거창	위천	모동	산6-1외2	8.50	1,080	'02.8.20	1,127	건축공예	'02.8.20~ '11.8.19	모동기업 강종희	채석
48	거창	위천	모동	산6-1외2	0.50	143	04.2.12	94	건축공예	'04.2.12~ '11.8.19	모동기업 강종희	채석
49	거창	웅양	군암	산111-6	1.30	280	'96.11.30	44	건축공예	'96.11.30~ '06.11.30	태흥석재 이상도	채석
50	거창	주상	내오	산116외1	3.00	372	'97.5.29	554	건축공예	'97.5.29~ '08.3.25	쌍신건설 김관태	채석
51	거창	위천	모동	산127-2외 1	7.90	236	'04.5.12	1,130	건축공예	'04.5.12~ '10.5.10	(주)한국대리 석 서기선	채석
52	거창	주상	내오	산72	4.30	981	04.3.30	692	토목용	'04.3.30~ '10.5.11	나행덕	채석
53	거창	주상	내오	산106외4	3.10	273	04.5.11	489	건축공예	'04.5.11~ '09.5.10	경일석재 이정순	채석
54	거창	웅양	산포	산97-6	4.30	1,268	03.5.13	742	건축공예	'03.5.13~ '08.5.12	안병태	채석
55	합천	용주	성산	산64-1'	4.20	474	05.4.22	495	토목용	'05.4.22~ '10.3.31	이원희	채석
56	합천	대양	대목	산54외2	4.10	240	'05.5.6	383	쇄골재	'05.5.6~ '06.3.17	진성개발(주) 조영기	채석
		묘산	반포	산24외2			'05.5.3		쇄골재	'05.5.3~	동양개발(주)	채석

57	합 천				8.50	1,500		1,048		'10.3.31	강호진	
----	--------	--	--	--	------	-------	--	-------	--	----------	-----	--

2) 녹화수종 및 공종

석산개발지에 있어서 복구녹화시 가장 많이 사용한 수종은 현재 녹화가 되어가고 있는 식생을 조사하여 보면 알 수 있다. 석산개발지에 사용된 녹화 수종은 주로 리기다소나무, 산(물)오리나무, 아까시나무, 이태리포플러, 싸류, 새류 등으로 현재까지도 많이 자라고 있다. 비교적 석산개발지는 산간 오지에 있고 주변 토양이 척박하여 석산개발지 복구시 충분히 복토하여 녹화수종을 식재한 것이 아니기 때문에 이에 잘 견디는 수종들이 많았다고 생각된다.

석산개발지의 잔벽과 폐석퇴적지 등을 포함한 조사 대상 석산개발 녹화지에서의 식생피복도는 46개소가 60% 이하로 식생피복이 매우 불량한 것으로 나타났다(표 3).

표 3. 조사지의 식생 피복도(%)

피복도(%)	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	계
개소 수(개)	39(75)	6(11)	3(6)	2(4)	2(4)	52(100)

\* ( )안의 숫자는 %로 환산한 비율임.

석산개발 지역 중 복구 및 녹화가 완료된 곳의 식생피복도가 80% 이상인 곳은 조사대상 석산개발지에서는 2개소로 나타났다. 이는 석산개발지 안정·녹화를 시작한지 8년 이상이 경과되고, 위치로는 산간오지에 있어 주변 식생의 침입으로 자연천이가 진행되었기 때문이다. 석산개발지 복구·녹화지에서 대부분의 식생피복도가 60% 이하로 대개 낮은 것은 석산개발지의 안정·녹화시 충분한 식생을 복구 및 녹화를 하지 않고 있으며, 자연적으로 고사하는 식생도 많지만 지속적인 관리를 하지 못하기 때문인 것으로 보인다.

조사 대상지에서도 잣나무나 리기다소나무 등이 50% 이상 고사되는 석산개발지가 많이 조사되었는데, 이를 방지하기 위해서는 보다 완전한 유지관리에 대한 대책이 강구되어야 할 것이라 생각된다. 특히, 조사지역 중 복구 및 녹화 시에서는 산(물)오리나무만 대체로 식생 피복 상태나 생육상태가 양호하였으므로 앞으로 척박한

석산개발지의 복구 및 녹화시 반드시 고려되어야 할 수종으로 생각된다.

특히, 거창지역의 석산개발지역 중 고려석재 복구지에 채용된 주요 복구공종으로는 총 부지면적 30,636㎡에서 전석 쌓기, 돌 조공, 토사성토 사면의 전석 쌓기 및 돌 조공상에 뒷채움, 초류종자 줄 파종, 사면보호공으로서 담쟁이(3치풋트), 오리나무(1-1), 아까시(1-1) 묘목을 식재하였다. 전체 복구면적에 비하여 비교적 공종이 단순하며, 산지사면 상단부에서 잔벽아래 평지부 및 퇴적장 사면상에 이르기 까지 배수 시설이 전혀 없어 사면에 누구침식이 많이 발생하고 있다. 이로 인하여 물이 사면상으로 유출되면서 전석 쌓기 뒷채움상의 토사도 돌틈사이로 많이 유실되고 있고, 파종된 초류종자도 많이 흘러내리고 있다.

거창석재 복구지에 채용된 주요 복구공종으로는 총 부지면적 21,866㎡에서 비탈다듬기, 전석 쌓기, 돌 조공, 오리나무(1-1)와 담쟁이(3치풋트), 암괴운반, 초류종자 살포, 새심기, 잣나무(2-2-3)를 식재하였으며, 사면보호공으로서 7급 줄떼공 890m, 폐수로 4지점에 113m를 실시하였다. 고려석재보다 공종은 많으나 역시 사면 상단부 및 평지부의 배수시설이 미비하여 사면상의 표층붕괴 등 복구후의 문제점이 노출되고 있다.

### 3) 기상요인 분석

조사 대상 석산개발지는 전국에 걸쳐 조사가 되었으며, 강우 및 기온 자료는 1993년부터 2002년까지 10년간의 조사 자료를 조사대상 석산개발지에서 가장 가까운 기상측후소에서 관측한 강수량 자료를 분석하였다. 지난 10년간(1993 ~ 2002) 각 관측소에서 관측한 강수량의 평균을 보면 대부분이 1,000mm 이상이 되고, 특히 경상도 지역의 주변 측후소에서 조사한 자료는 1,155.1mm로 가장 낮게 나타났다. 이와 같은 강수량은 석산개발지 안정·녹화시 안정·녹화지역의 침식, 암석의 풍화 등에 영향을 많이 미치고 있다. 따라서 석산개발지는 여름의 집중강우에 의한 토사침식 등 재해발생에 유의하여야 할 것이다.

석산개발지의 기온은 경상도지역의 측후소인 포항에서 35.9℃로서 최고기온을 보였고, 최저기온은 수원측후소가 -14.1℃로서 가장 낮았다. 또한, 최고기온과 최저기온의 차를 나타낸 값은 충청지역의 청주측후소에서 49.2℃로 가장 차이가 커 충청지역의 암석풍화에 큰 영향을 미치고 있음을 보여 주고 있다. 10년간 최고·최저 기온의 차가 가장 낮은 지역은 전라남도 지역의 여수관측소에서의 관측치로 41.4℃, 최고·최저기온은 가장 높은 청주관측소의 값 보다 7.8℃ 차로 크게 나타나 지역에 따라

기온 차가 크다는 것을 알 수 있어 매년 암석의 풍화가 많이 일어나 토사 침식도 심각함을 나타내고 있다.

특히, 거창군의 기상요인은 거창관측소에서 관측한 과거 10년간(1993-2002년) 기상요소별(기온, 강수량, 상대습도, 일조시간 및 풍속) 관측 자료를 이용하여 분석하였으며, 그 결과는 표 4와 같다.

(가) 기온

연평균기온은 11.6℃, 여름의 최고기온은 34.2℃, 겨울의 최저온도는 -13.9℃로 조사되었다.

(나) 강수량

거창지역의 10년간의 평균강수량은 1,318.2mm로 나타났다.

(다) 상대습도

연평균 상대습도는 66.9%이며 여름철에 74.3%로 가장 높은 것으로 조사되었으며, 봄철에는 59.9%로 가장 낮은 분포를 보이고 있다.

(라) 일조시간

연간 총 일조시간을 살펴보면 2,319.1hr이며 월별로는 5월에 239.8hr로 가장 긴 것으로 나타났으며, 계절별로 봄철에 676.9hr로 가장 긴 일조시간 분포를 나타내고 있다.

(마) 풍속

본 조사지역의 연평균 풍속은 1.2m/sec로서 월별 최고 풍속은 4월에 1.49m/sec, 최소 풍속은 9월에 0.89m/sec로 나타났다. 또한 계절별 풍속 분포는 봄철에 1.42m/sec로 최대를 보이고 있는 것으로 조사되었다.

표 4. 거창군의 최근 10년간 기상요소별 자료

구 분	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	전 년	
기 온 (°C)	평균	10.6	11.9	10.8	11.2	12.0	12.6	11.8	11.6	11.6	12.1	11.6
	최고	32.2	37.8	35.4	36.2	35.7	33.6	33.3	34.2	35.0	28.8	34.2
	최저	-15.2	-18.9	-13.9	-14.6	-15.0	-13.4	-14.3	-12.7	-15.8	-5.3	-13.9
강 수 량 (mm)	1,395.2	811.6	824.1	944.4	1,363.7	1,802.4	1,552.0	1,595.4	1,124.7	1,768.6	1,318.2	
상대 습도 (%)	69.7	64.3	64.2	69.8	71.6	70.2	62.8	62.8	64.1	69.8	66.9	
일조 시간 (hr)	2,057.5	2,408.2	2,385.7	2,282.9	2,418.9	2,035.5	2,185.2	1,783.5	2,654.5	2,979.0	2,319.1	
풍속 (m/sec)	0.98	1.19	1.16	1.13	1.38	1.03	1.24	1.35	1.25	1.4	1.2	

나. 임황 및 지황조사

1) 식생분포

경남지역의 식물상 분포는 ‘전국자연환경조사보고서’ 경남 거창·산청(환경부,1999)의 자료를 참고하였으며, 현지조사는 채석장을 중심으로 주변 산림을 직접 도보로 이동하면서 조사하였고, 상층을 우점하고 있는 대표종과 식생을 조사하였다.

문헌조사에 의하면 거창군 일대를 중심으로 출현·조사된 식물상은 92과, 293속, 418종, 1아종, 55변종, 3품종 모두 477종이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 반면, 본 채석장 주변지역은 소나무림, 일부 리기다소나무림이 광범위하게 분포하고 있는 지역으로, 경작과 조림 등 임상개발에 의한 인위적인 간섭이 지속적으로 진행되어 오던 지역이다.

현재 기존의 채석장으로 복구가 완료된 두 지역의 퇴적장 사면은 일부 잣나무 등으로 식재를 하였으나 대부분 고사하고 나출지의 상태로 분포하고 있다. 그러나 오리나무 등의 주변식생이 퇴적장 사면에 적어도 10년 전부터 침입하여 자라고 있는

것으로 보아 나출화된 지역은 부분적으로 초분류 및 오리나무 등이 곧 침입할 것으로 보인다.

채석장 주변의 수종은 산정, 산복 및 산록에 광범위하게 분포하는 소나무림이 우점종이다. 산록이나 계곡주변의 토심이 깊은 지점에는 잣나무와 낙엽송이 조립되었으며, 일부 지점에 리기다소나무가 식재되었으며, 계곡주변에는 은사시나무와 밤나무 등이 식재되어 분포하나 매우 협소한 면적을 차지하고 있다.

교목층은 수고 10-14m, DBH 12-20cm로 생육상태는 양호하며, 소나무, 잣나무, 졸참나무, 굴참나무, 낙엽송, 리기다소나무 등 수령 15-26년생이 주요 우점종으로 형성되어 있다. 하부식생의 출현은 적은 편으로 관목류로 싸리나무, 아카시나무, 신갈나무, 산초나무, 산철쭉 등이 분포하고 있으며, 초분류로는 참취, 관중, 산거울, 김의털, 거북꼬리, 산오이풀, 등굴레, 억새, 양지꽃, 망초, 까치수영 등이 주요 출현종으로 분포하며, 산정부쪽의 능선주변으로는 등굴레가 소규모 군락지를 이루고 있으며, 일부 소나무군락지역에서는 보다 다양한 식물들이 출현하고 있다.

## 2) 토양

본 채석장의 지역의 토양은 흑운모화강암에서 풍화된 사질양토로서 매우 조립질로 비만 오면 토양침식이 우심하다. 계곡주변의 산록에는 토심도 깊어 약 1m 이상이 되는 곳도 있다. 이러한 장소는 잣나무나 낙엽송이 조립이 되어 있다. 산정이나 산복은 비교적 많은 침식작용을 받아 30cm내외의 얇은 토심으로 이루어져 있다. 토양형은 갈색산림토양이며, 조립이 되어 있는 곳은 부식층이 두껍게 형성되어 식물들의 영양공급원으로서 매우 양호한 역할을 하고 있다. 표토층 및 풍화잔류토는 10m 미만으로 얇게 분포하며 대부분은 사질토로서 투수성이 양호하다. 그 하부는 박층의 풍화대와 석재로 채석되고 있는 신선한 화강암 암반으로 구성되어 있다.

## 다. 지표지질조사

### 1) 지질

우리나라의 대표적인 암석은 화성암, 퇴적암 및 변성암으로 구분되어 있다. 변성암은 전 국토 면적의 약 26.3%로 가장 넓게 분포하고 있고, 화성암 25%, 퇴적암 20.9%를 차지하고 있다. 또한, 화성암 가운데 약 75%가 화강암류이고, 변성암 가운데 화강편마암류는 약 78%로 분포면적은 각각 185만ha에 이르고, 전 국토 면적에

대해 화강암류가 18.8%, 화강편마암류가 20.5%를 차지하고 있다. 산개발지가 많이 분포하고 있는 전라도와 경상도에서 전라도는 전국에서 화강암의 분포 면적비가 가장 크고, 전라남도의 화강암류 및 화강편마암류의 면적비는 각각 약 30%, 45%에 이른다. 경상도는 퇴적암이 넓게 분포하고 있고, 화강암류와 화강편마암류의 분포비가 각각 약 1.2%에 불과하다. 조사 대상 석산개발지역에 대한 암질 및 암석의 종류는 표 5와 같다.

표 5. 석산개발지의 암질 및 암석 구분

조사지역 (개소)	암 질		암 석			
	경암석산개발지 (개소)	연암석산개발지 (개소)	화강암 (개소)	퇴적암 (개소)	천연슬레이트(개소)	섬록암 (개소)
52	45	7	43	6	2	1

본 조사지역에서는 화강암의 석산개발지가 43개소(83%)로 가장 많았으며, 천연슬레이트, 퇴적암, 기타 석산개발지가 9개소(18%)로 나타났고, 경암은 43개소로 전체의 86%를 차지하며 대부분의 암질은 경암이고, 연암은 7개소(14%)로 전체 조사지 가운데 차지하는 비중은 작았다. 일본의 경우 석산개발지 잔벽의 암질에 있어서는 경암 85%, 연암 15%이었다.

경남지역의 거창군의 채석장지역은 소백산맥의 영향을 받아 대체로 험준한 지형을 이루고 있으며, 행정구역상 경남 거창군 위천면 상천리 산 9번지외 1필지에 소재하고 있다. 위천면은 덕유산의 서남부 능선에 위치하여 험준하며 북부와 서부도 산지가 발달해 있으나 중남부의 거창읍 일대는 평야를 이루고 있어 거대한 분지상 지형을 이루고 있다. 본 지역의 북서부와 서부지역의 산릉은 북서와 남동으로 연장하는 주능과 이에 직교하는 방향의 지능을 무수히 분지시키고 있으며 최고봉인 금원산(△1,350m), 기백산(△1,330m) 등 많은 고지가 덕유산(△1,594m)과 연결되어 있다. 또한, 북동부와 동부지역은 희대미산(△1,019m), 보혜산(△911m), 금귀산(△790m) 등을 연결하는 주능과 거의 남북방향으로 발달하고 있으며, 지능은 동서방향으로 발달하고 있다. 중남부지역은 거창읍을 중심으로 평야를 이루며, 본 채석장이 위치하고 있는 동부, 북부 및 서부지역에는 산지가 발달해 있다. 하천은 덕유산 산지에서 발원하

여 북상면, 위천면, 마리면을 관류하는 위천과 고제면에서 발원하여 도평리, 거창읍을 관류하는 하천들이 거창읍 중간에서 합류하여 흐르고 있다.

본 거창군 위천면 채석장지역 일대에 분포하는 암석은 선캄브리아기 변성암류를 기반으로 하여 이를 관입한 중생대의 화성암류를 주체로 하며 시대미상의 각섬석 화강암과 섬록암과 제4기 충적층이 소규모로 분포하고 있다. 선캄브리아기의 변성암류는 주로 서북부와 동부에 분포하나 타 지역에도 소규모 분포하고 있는데, 이와 같은 분포상태는 백악기에 있었던 화성활동에 의해 상호분리 된 것으로 보인다. 본 지역과 동남부에 넓게 분포하는 흑운모화강암은 현미경관찰에 의하면 석영, 흑운모, 정장석 및 미사장석이 주 구성광물이다.

본 채석장내에서 산출되는 화강암 원석은 중립등립질 입상석리를 갖고 사장석, 석영, 정장석, 흑운모로 구성되며 타 지역의 화강암에 비하여 입도가 작아 기념비석과 건축석으로 혼용이 가능하고 사장석의 함량이 많이 담백한 색상을 나타냄과 동시에 암석 전체로 보아 경도가 낮으므로 절단시 공임이 적게 소요되며, 비교적 절리가 적어 대피로 산출되고 철분이 적어 비교적 고가로 판매되고 있으나, 부분적으로 절리가 나타나며 흑운모 반점(거정)이 희소하게 나타나고 있다.

본 채석장지역 일대의 표토층 및 풍화잔류토는 10m 미만으로 얇게 분포하며 대부분은 사질토로서 투수성이 양호하다. 그 하부는 박층의 풍화대와 석재로 채석되고 있는 신선한 화강암 암반으로 구성되어 있다.

## 2) 암반의 분리면 특성

조사지역 중 건축용의 채석지역인 주로 화강암지역에서 나타나는 분리면들의 특징을 보면 절리 및 층리면은 대체로 신선하며 풍화가 거의 되지 않은 상태로 나타나고 있다. 절리면의 거칠기는 평탄하거나 가끔 계단상을 보이며, 미소 거칠기는 조금 거친 수준이다. 절리의 간극은 0.1mm 이하로 매우 작고, 절리의 연장성은 매우 좋게 나타나고 있다. 그러나 쇄골채용의 채석지역은 퇴적암 및 변성암지역이 많으므로 절리 및 층리면은 비교적 풍화가 많이 되어 매우 거칠며, 계단상을 보이고 있다. 또한, 절리의 간격도 매우 크며, 연장성도 불량하다. 잔벽면은 곳곳에 지하수의 영향으로 누수가 발생하여 오랜 세월동안 물길이 지나면서 시꺼멓게 변색이 되어 낙석의 위험도 관찰할 수 있었다.

#### 라. 석산개발에 따른 피해저감

석산개발지는 암반의 붕괴 및 낙석에 의한 사고 등으로 인하여 공사 인부의 사망도 계속 발생하고 있는 실정이므로 재해나 안전사고를 방지하기 위한 대책도 절실하다. 또한 개발 작업 중 발생하는 소음, 진동, 수질, 비산먼지 및 토사유출 등으로 인하여 많은 공해도 유발시키고 있는 것으로 나타나고 있다. 채석에 따른 지형의 변화와 수질, 비산먼지 및 토사유출은 원거리에 있는 인근 주민들에게 직접적인 영향을 미치고 있다. 특히, 전북과 경남이 경계가 되고 있는 함양군의 마천지역에서는 수질 오염으로 하천에 심각한 악영향을 미치고 있으며, 대다수의 석산개발지는 오염 및 공해를 유발시킬 수 있으므로 철저히 저감할 수 있도록 하여 인근주민이나 자연경관에 대한 피해를 최소한으로 줄일 수 있도록 채석허가 시에 충분히 고려하여야 할 것이다. 특히, 조사를 수행하던 중 국도 변에서 전면 가시 되며, 주변에 강이 흐르는 지역, 산림청장의 허가가 있는 특별한 경우를 제외하고는 석산개발지 허가가 불가능한 지역에 석산개발작업이 진행 중인 개소도 있어 석산개발지 허가 시에 충분히 고려하여야 할 것으로 생각한다. 폐석·폐토의 퇴적장은 강수 등으로 붕괴·유실되지 않도록 안정적인 물매를 유지하여 보다 완전한 안정녹화가 될 수 있도록 하여야 할 것이다.

#### 마. 석산개발지의 채석타당성 평가

석산개발을 실시할 때에는 각종 석산개발 설비비 및 제품생산원가를 계산하고, 채산성의 내용에 대하여 면밀하게 검토할 필요가 있다. 이 때에는 구체적인 자료에 기초를 두어야 하는데, 채석설비비 항목과 생산원가에 대한 내용을 검토해야 한다.

조사 대상 석산개발지의 표고는 대부분 해발 100m 이내에 위치하고 있다. 이와 같이 해발고가 낮은 이유는 채취한 석재나 원석을 운반하여 가공공장까지 가려면 운반하기가 편리하여야 하기 때문이다. 즉, 주변 도로에서 쉽게 운반을 할 수 있는 위치에 석산개발지가 있어야 교통비, 운반비 등의 비용이 낮아 수지가 맞게 되는데, 이를 위하여 대부분의 표고는 낮게 나타나고 있으며, 산간에 있는 석산개발지까지는 진입로를 개통해야 하므로 그곳에 사용되는 경비가 많이 들면 곤란하기 때문에

너무 높은 산악지에 석산개발지가 있으면 운반비 등 제반 경비가 많이 들게 되므로 (-)경영이 되기 쉽기 때문이다. 또한, 매장된 암의 질과 종류에 따라 많은 영향을 받게 되므로 채석 전에 충분히 암질의 상태를 조사하여야 한다. 방위는 채취방향에 따라 채취된 원석이 빨리 건조되도록 하고, 겨울에도 기온 저하로 인한 작업능률의 저하를 방지하는데 중요한 인자로 작용하므로 가능하면 남향으로 채취방향을 정하는 것이 일반적이다.

조사된 52개 지역의 방위는 남사면이 24개 지역이고, 북사면이 25개, 서사면의 1개소, 동사면의 2개소로 채취방향을 고려하여 설정하지 않는 것으로 생각된다. 그러나 채취된 석재의 건조시간의 감소, 겨울에 석산개발작업의 효율화를 고려하여 가능하면 채취방향을 남사면이 될 수 있도록 석산개발작업시 채취방향을 고려하여야 할 것이고, 석산개발지 안정·녹화시 겨울에 안정·녹화작업을 수행할 경우에도 채취방향이 남사면이 될 수 있도록 하여 안정·녹화공사가 수월하도록 하여야 할 것이다. 그러나 식생조성면에서는 남사면은 건조가 심하므로 북동사면이 유리할 것이다.

#### 바. 녹화기반 배양토 조제

암반사면 비탈면에 대해 배치상태, 각도, 크기 및 깊이 등을 일정하게 암반사면내의 형상을 그대로 유지하면서 천공하게 된다. 녹화를 위하여 산림부식토, 일반상토, 산림표층토 및 혼합토 4가지 배양토를 조제하였고, 종자조합과 그에 따른 미생물 및 토양안정제처리 예비실험도 실험실에서 수행하였다.

#### 사. 암반용 화분 및 목재 플랜터 개발

암반사면에 수목생육을 위하여 천공부분에 이용될 암반용 화분 및 목재플랜터를 고안하였다. 2차년도에서는 암반용 화분을 이용하여 실험하였다. 3차년도에서는 암반용 화분과 목재플랜터를 병용하여 실험을 실시하게 된다. 특히, 제작된 암반용화분과 목재플랜터에 산림부식토, 일반상토, 산림표층토 및 혼합토를 넣어 녹화기반재 활용 녹화공법을 서로 비교 실험하게 될 것이다. 이 암반사면용 화분은 천공입구에서부터 약간 돌출하게 되어있어 강우에 의한 물의 집수도 가능하도록 설계가 되었다.

## 2. 암반사면 천공녹화공법 개발

### 가. 암반사면 천공특성 평가

#### 1) 천공기의 종류 및 특성

채석장에서 사용되는 천공기에는 크롤러 드릴, 싱커(Sinker or Jack hammer), 핸드 드릴(Hand drill), 스톱퍼(Stopper)등이 있으며, 그 중 크롤러 드릴이 가장 많이 사용되고 스톱퍼나 잭 햄머는 일부 경사면 채굴장에서 사용되고 있다. 크롤러드릴은 1960년대에 개발되어 계단식 채굴법을 주로 채택하는 석회석 광산에서 많이 사용되면서 급속히 발전되어 현재 착암기의 주종을 이루고 있다. 크롤러 드릴은 종래의 압축 공기식과 근래에 개발된 유압식이 있으나, 최근에는 유압식 크롤러 드릴을 많이 사용하고 있다.

소형착암기에서도 착암기의 종류에 따라 표 6과 같이 천공능력이 다르다.

표 6. Drifter , jack hammer , leg drill의 성능 비교

기종	천공가능장(m)	비트직경(mm)	평균천공속도(cm/min)
드리프터	30	50~90	60~100
잭해머	15	34~42	30~70
레그드릴(大形)	10	30~40	35~40
레크드릴(中型)	7	30~40	35~45
레크드릴(小型)	5	26~30	40~45

#### 가) 압기식(압축공기식) 크롤러 드릴

압기식(압축공기식) 크롤러 드릴은 크롤러 대차, 유압 붐(Boom), 체인 휘드 셸(Chain Feed Shell), 드리프터(Drifter)등으로 구성되어 있다. 크롤러 대차는 압기 모터에 의하여 구동되는 자주식 대차로서 이동식 공기 압축기를 연결하여 운행하는 것이 일반적이다. 착암기는 중량급 드리프터가 많고 사용 공기압 5~7kg/cm<sup>2</sup>, 공기 소비량 10~20cm<sup>3</sup>/min 정도의 것이 많으며 로드(Rod)는 32~46mm까지의 6각이나 원형으로 되

어 있다. 사용되는 비트(Bit)의 직경은 50~125mm까지의 다양하게 있으나 일반적으로 65~75mm 규격이 많이 채택되고 있다.

비트의 천공 속도는 암석의 물리적 성질, 비트의 직경과 사용 공기압에 따라 큰 차이가 있으나 착암기가 대형이고 비트의 게이지(Guage)가 작을수록 능률이 증가한다. 천공 능력의 향상은 착암기, 비트와 로드의 개선 및 천공 기술을 개선함으로써 이룩할 수 있다.

천공율은 공심에서 6m까지를 100%로 보면 6~12m까지로 70%, 12~18m까지는 약 50% 정도이다. 최근 석회석 광산에서는 대공경 발파가 실시됨에 따라 착암기가 대형화되므로써 압축 공기의 압력이 증가 되고 있다. 사용 공기압의 증가는 천공 능력을 향상시키는 반면 부품의 마모가 크고 배관등의 문제가 있다.

비트와 로드는 소모품으로서 굴착비중 차지하는 비중이 크므로 신중히 선택하여 사용 기간을 연장하도록 하여야 한다. 천공시 로드와 비트의 소모량은 암석의 강도에 의하여 좌우되며 강한 암석과 약한 암석의 소모량 차이는 약 10배 정도이다.

#### 나) 유압식 크롤러 드릴

최근에는 압기식 크롤러 드릴 보다 유압식 크롤러 드릴이 많이 사용되고 있다. 유압식은 디젤 엔진을 정착하여 유압 펌프에 의하여 자동적으로 변속되며, 에어 블로(Air Blow)용으로 용량 3.5m<sup>3</sup>/min 정도의 소형 공기 압축기가 정착되어 있다. 유압식은 압기식보다 에너지 효율이 3~4배가 높고 천공능력도 2배 정도 높을 뿐아니라 방진과 방음의 효과가 뛰어나므로 사용이 많이 증가 하고 있는 실정이다. 압기식에서는 사용압력이 유압식에 비해 훨씬 낮기 때문에 피스톤의 단면적이 크게 되며 rod의 직경에 따른 단면형상의 변화가 매우 크게 발생된다. 이 때 충격파는 단면형상이나 체적이 변화되는 부근에서 반사되어 불균일한 충격파가 비트에 전달된다. 그러나 유압식에서는 충격피스톤이 rod와 같은 직경으로 되어 있고 착암기가 타격하는 동안 일정한 압력을 계속해서 공급함으로써 최대충격파를 줄이면서도 타격에너지를 증대시켜 동력전달 효과를 증가시킨다 또한 압기식은 비트에 전달되는 에너지의 크기가 시간에 따른 변화가 있어 응력파의 최대크기는(A+B)로 발생되어 과도한 응력으로 인하여 비트의 수명과 rod의 수명이 단축하게 된다. 그러나 유압식은 비트에 전달되는 충격파의 최대크기가 일정하므로 타격에너지를 크게 해도 rod에 전달되는 응력의 변화가 없다.

본 연구지역 채석장에 사용한 드릴은 유압식 크롤러드릴로서 모델은 HCR12- D형이다. 동력은 엔진식과 전동식의 2가지가 있으며 7~8톤 중량의 것이 많이 사용된다. 반면에 유압식 크롤러 드릴의 단점으로는 기계가격이 비싸므로 제반 여건을 충분히 분석한 뒤 채택 여부를 결정해야 한다.

압기식과 유압식 착암기의 비교는 표 7과 같다. 표 7에서 보면 유압식이 비용 면에서 약 13% 정도 낮은 것으로 나타났고, 특히 연암보다 경암에서 효과가 크며 중심이 깊어져도 천공 능력이 현저하게 떨어지지 않은 장점이 있다. 또한 작업 환경측면에서도 집진기(Cyclone Bag Filter)에 의하여 분진을 약 96%까지 포집하며, 압기식과는 달리 천공 속도가 증가해도 분진의 발생이 적은 것이 특징이다. 이와 같이 천공능률, 경비, 소음 및 분진 방지등의 장점이 있지만 이를 채택하기 위해서는 암석의 종류, 암반의 성질 및 제반 경비등을 세밀히 검토한 후 결정해야 한다.

표 7. 압기식과 유압식 착암기의 비교

구분		압기식	유압식	비고
<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 사용압력</li> <li>◦ 출력(효율)</li> <li>◦ 소음</li> <li>◦ 천공속도</li> </ul>		5kg/cm <sup>2</sup>	100kg/cm <sup>2</sup> 이상	유압식은 배관이 불필요하고, 시계가 선명하며 자동제어장치가 있다. 장공에 최적이다.
능률	1공정소요시간	5시간 36분	4시간 9분	
	굴진장(M/교대)	1.3M	1.7M	
비용 (원/M)	동력비(원/M)	5,709	852	
	빋트	4,480	2,240	
	감가상각비	8,330	11,380	
	인건비	43,033	38,815	
	계	61,552	53,287	

## 2. 잔벽의 녹화용 천공기술

### 가. 암반의 파괴특성

채석장 잔벽에 bit가 접촉하여 충격을 가하게 되면 암석은 탄성변형을 일으키게 된다. 이 때 bit 이빨의 각도(bottom clearance angle)가 휘어져 있으므로 켜기작용을 하게 된다. 암반의 기본파괴 과정은 켜기작용(wedging) - 분사유체(fluid injection)의 한 침식작용(Erosion) - 마모작용(grinding) 및 깎음작용(scraping) - 충격 또는 압축 작용 - 비틀림 작용(twisting, torsion)을 거쳐 파괴된다. 특히, bit 작용상태에 따른 천공 및 굴진특성은 다음과 같다

1) bit에 하중(load)이 가해지면 bit와 암석표면(surface)이 접촉하게 된다. 비트가 암석을 타격하면 충격파가 전파하게 되며 비트와 암석사이에 발생된 전체힘은

$$F = (\sigma_i + \sigma_r)A + F_0 \text{로 표시된다.}$$

F : 전체힘,  $\sigma_i$  : 초기응력,  $\sigma_r$  : 반사응력, A : 로드의 단면적

2) bit에 암석이 충격을 줄때 발생하는 충격응력(impact stress)은 암석에 탄성변형을 일으키게 되고 이때의 충격응력의 크기는  $\sigma_p = \rho cv$  로 된다.

$\sigma_p$  : 충격응력,  $\rho$  : 타격체의 밀도(강철의 경우  $\rho=7,850\text{kg/m}^3$ )

c : 타격체의 탄성파속도, v : 충격속도(강철의 경우  $c=5,000\text{m/s}$ )

이때 bit의 이빨각(teeth, cutting edge) 주변에 응력이 집중되며 주로 크게 v자(veeshape)모양의 켜기상태가 된다. 다이아몬드 비트(diamond bit)의 경우 작용하는 응력의 크기는 암석의 강도보다는 크고 다이아몬드의 강도보다는 작아야 할 것이다. 즉, 암석이 파괴되기 위해서는  $G \leq P/da \leq D$  식이 성립되어야 한다.

G : 암석의 강도, D : diamond의 강도, P : bit의 급압(하중)

d : 다이아몬드의 수, a : 다이아몬드의 접촉면적

3) bit의 중앙부의 켜기부분의 암석은 파쇄 되어 가루상태 즉 분말로 된다.

4) 하중이 점차로 증가됨에 따라 켜기상 파쇄대내의 분쇄된 암석이 주변 암석에 횡

압력을 가하게 되고, 전단응력이 암석의 전단강도보다 초과하게 되면 암석은 파괴된다.

5) 파쇄된 암편들은 파괴면을 따라 쉽게 분리된다. 압력이 너무 크게 되면 암석파편들간의 마찰력과 하향압력 때문에 분리가 잘 안되기도 한다.

6) 새로운 면에 대하여 bit가 연속적으로 작용함에 따라 상기과정이 반복하게 된다.

취성-연성전이압력 이하의 봉압(Confining pressure)이 작용시 암석과 썬기와의 사이의 상호작용을 살펴보면 썬기각도의 1/2인  $\beta$ 는 다음과 같은 관계가 있다.

$$\beta = \tan^{-1} \frac{\pi - 2\mu}{2 + \pi\mu} \quad \text{여기서 } \mu : \text{암석의 마찰계수이다.}$$

$\beta$ 가 작으면 암석표면에 균열만을 형성하게 되고  $\beta$ 가 크면 많은 양의 암편이 분쇄된다.

수직력은  $F = 2bhS_0(f = \tan\beta)$ 이다.

F : 수직력, b : 썬기접촉 길이, h : 관입깊이,

S<sub>0</sub> : 암석의 일축압축강도, f : 마찰계수

암석의 파괴가 Mour-Coulomb의 기준을 따른다고 할 때  $\beta > 1/2\pi - \phi$ 이면 취성파괴의 발생이 중지된다. 여기서,  $\phi$  : 암석의 내부마찰각이다. 대부분의 암석은 내부마찰각이 대략 30° 이므로 전체 썬기 각도는 75° ~ 90°이어야 암석이 분쇄된다.

#### 다. 채석장 잔벽의 천공특성

채석장 사면상에 암석의 특성에 따라 미치는 영향이 다르므로 착암기의 종류를 다르게 선정하여야 한다. 암석강도가 증가하면 굴진속도는 저하되며, 착암기 bit의 회전속도도 감소되어 로드(steel)의 파손이 있게 된다. 마모도가 큰 암석일수록 bit의 마모도 크다. 암반내의 균열은 로드(steel)를 기울어지게 하여 재밍(jamming)현상을 유발하며, 연암은 공내붕괴(孔內崩壞, flushing problems)가 있어 문제를 야기하게 된다. 천공에 대한 암석의 저항력으로서 천공율이란 용어를 사용하며, 천공율은 bit의 시간당 천공속도를 의미한다. 공면적이 크면 천공속도는 반비례하며, 천공속도는 착암기의 출력동력에 직선적으로 비례하여 증가한다.

암반내의 녹화공간을 만들기 위해서는 먼저 암반을 굴착하지 않으면 안된다. 채석장 잔벽의 녹화를 위한 천공은 석산개발 업자가 보유하고 있는 착암기(rock drill)로

천공하면 되므로 녹화용 천공의 깊이, 각도, 크기 및 모양 등은 사용되는 착암기와 비트의 종류에 따라 쉽게 해결할 수 있다. 천공녹화공법을 앞으로 많이 활용하기 위해서는 일정한 규모의 녹화용 천공규정을 정할 필요성이 있다. 천공속도(穿孔速度)에 영향을 주는 요소는 광물조성, 지질구조, 입도, 풍화도, 암석의 강도, 착암기의 종류, steel의 재질 및 길이, bit의 직경, bit의 재질 및 형상, 압기압, 수압, 추력 등이 있다. 천공속도는 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$V_r = \alpha(C_1 \times C_2) \times V$$

여기서  $V_r$  : 천공속도  $\alpha$  : 전 천공 시간에 대한 순 천공시간의 비율(보통 0.65),

$C_1$  : 표준암(화강암)에 대한 대상암의 저항력 계수

$C_2$  : 암석의 상태에 대한 작업조건 계수

$V$  : 표준암을 천공하는 순천공속도(cm/min)이다

채석장 잔벽의 천공에 대한 일반적인 특성은 다음과 같다.

#### 1) bit의 재질(才質)과 형상(形狀)에 의한 특성

비트는 재질에 따라 탄소강, 경합금, 텅스텐카바이드 비트 등으로 구분되며 천공속도는 탄소강 재질인 비트보다 경합금이 빠르고 텅스텐카바이드 비트가 이들 중에서 제일 천공속도가 빠르다. 가격면에서는 텅스텐카바이드 비트가 제일 비싸지만, 수명 등을 감안한 천공전체 가격면에서는 경제적이다. 비트의 형상은 insert type에는 일자형(straight bit), 십자형(cross bit), 십자형(crodd bit), 로제트타입(rodette type)등이 있다. 버튼비트(Button bit)는 insert type보다도 주변부에 텅스텐카바이드가 많으므로 회전속도와 타격수가 적어도 동일 심도를 천공할 수 있다. 또한 내마모성도 크므로 천공속도는 insert type보다도 10 - 20% 빠르다. 공기압축력과 추력이 같을 때에는 비트의 날개수에 따라 천공속도가 달라지며 다음의 식이 사용된다.

$$V = \frac{N \cdot A \cdot f_v}{\pi D} \quad V : \text{천공속도} \quad N : \text{날개수} \quad D : \text{비트의 직경} \quad f_v : \text{타격수}$$

비트의 날개가 많으면 암석에 접촉되는 면적이 많아서 많은 양의 파쇄암(破碎岩)을 생산한다. bit날이 너무 무디면 굴진속도가 저하된다. 그러나 너무 예리하면 사용

즉시 마멸될 뿐만 아니라 파손된다. 따라서 비트를 측정하여 재 연마한다.

본 연구지역 채석장의 천공에 이용한 비트는 버튼비트(Button bit 또는 Button cutter 또는 button pick)이다. 특수비트의 한 종류로서 텅스텐카바이드(Tungsten carbide)로 제조되었다. 초경합금이 코어를 채취하지 않은 논코어링비트(Noncoring bit)이다. 채석장 잔벽에 강한 압축력(즉, 충격력)이 가해지면 bit 저부 직하부에는 파쇄대가 형성되고 이 파쇄대 접촉부에는 먼저 1차균열이 발생된다. 1차균열중 수평방향의 균열과 연결되면 2차균열이 발생되고 이 2차균열이 암편(chip)을 만들게 된다. 여러 개의 button이 회전 시에는 bit의 회전장이 증가하게 되므로 천공이 된다. 형상은 단추모양이며, 지하수 관정시추시에도 많이 사용된다. 마모된 bit 즉, 평편해진(flattness) 비트를 사용하면 텅스텐카바이드(Tungsten carbide)량의 손실이 증가되고 추력을 증가시켜야 굴진이 계속된다.

## 2) bit의 직경에 의한 특성

비트는 직경이 클수록 천공속도가 느리고 bit직경의 제곱에 반비례한다. 비트게이지를 작게하면 착암기의 경량화, 천공속도의 상승, 비트 및 로드의 경비절감, 압기비용의 절감 효과가 있다.

$$V = K \cdot \frac{1}{D^2} \quad V : \text{천공속도}, D : \text{bit의 직경}, K : \text{계수}$$

## 3) 추력에 의한 특성

착암기의 반동력을 추력이라 하며, 추력이 증가하면 천공속도는 증가하나 과도하게 증가하면 오히려 저하된다. 급압이 너무 작으면 충격에너지가 암석에 전달되지 않고 bit가 마모되며 로드의 연결부 나사가 마모된다. 수평분력  $F_h$  와 연직분력  $F_v$ 는 다음과 같이 성립한다.

$$F_v = F \cdot \sin\theta$$

$$F_h = F \cdot \cos\theta \quad F : \text{피스톤의 지지력}, \theta : \text{레그의 경사각}$$

#### 4) 지질구조에 따른 천공 특성

가) 단층대: bit가 jamming되기 쉽다. 또한 과파쇄현상(over break)이 발생된다.

나) 절리대: 절리면은 응력파가 반사되어 암석내에 응력파가 전파시 간섭현상을 일으킨다. 따라서 절리부분만 파괴되어 대괴(큰구멍)를 만들기 쉽다. 절리면내 큰 공간이 있으면 천공구멍이 때로는 파괴되기도 한다. 특히 퇴적암 중 사암 및 혈암 등 비교적 연암인 경우 암반표면에 절리 및 파쇄대가 있는 부위는 천공이 되고 난 후 파괴되어 돌부스러기가 녹화화분에 모여들어 식물의 성장에 방해가 되었다. 녹화공법이 시공된 상부 잔벽상에 남아 있는 돌부스러기들도 강우에 의한 유수와 함께 녹화화분에 들어와 식물성장에 방해 요소로 작용하였다. 또한, 채석장 잔벽면은 표면이 울퉁불퉁하므로 녹화공법이 적용되었을 때 절리대가 있거나 약간 오목한 부위는 비가 오면 쉽게 절리대 및 잔벽표면으로부터 수분을 확보하기 쉬운 장점이 있다. 절리가 많은 잔벽 또는 오목한부위에 천공이 된 지점은 수분확보가 용이하여 식물성장에 많은 도움이 되었다.

다) 층리, 편리 : 층리와 편리는 암석의 강도를 저하시키므로 그 간격이 조밀하면 천공효과가 증대된다. 그 간격이 넓으면 대괴(옥석)를 발생한다. 층리간격이 작으면 층리면에 평행하게 천공시 공방향은 굴곡 된다. 층리가 발달한 지층에서는 계단바닥면이 그 지역에서 가장 우세한 층리면이 되도록 계단고를 정한다. 층리면이 잘 발달된 지층에서는 subdrilling을 하지 않도록 된다. 퇴적암에서는 천공방향이 지층의 주향 방향과 평행하게 하는 것이 좋고 화성암이나 절리방향에 평행하게 천공하는 것이 좋다. 절리가 교차하는 사면은 절리방향과 평행하게 천공하면 울퉁불퉁한 단면을 만든다.

암석의 강도는 표 8과 같은데, 같은 종류의 암석이라도 지방에 따라서 크게 다르게 나타나고 있다. 특히, 상당한 측압이 작용하고 있을 때의 내압강도는 4~5배로 증가하고, 전단강도는 일반적으로 내압강도의 1/2 정도이므로 파쇄대의 전단강도는 예상외로 약화된다. 채굴면 암석강도는 시간이 경과함에 따라 강도가 약화되어 변형이 증가하게 된다. 이와 같은 현상으로 혈암은 파괴직전에 변형이 급히 증가하면서 파

괴를 예상할 수 있으나 사암은 파괴한계의 압력 하에서 갑자기 파괴를 하게 된다. 어떤 물체든지 외부에서 작용하는 힘(force)에 의하여 강성적 반응(reaction of elastic)과 소성적 반응(reaction of plastic)을 나타낸다. 암석이 파괴되는 힘의 종류에 압축응력(compression stress), 전단응력(shearing stress), 인장응력(tension stress)이 있다. 그 중 암석은 압축응력에 대하여 가장 강하고 인장응력에 대하여 가장 약하다. 건조상태일때 암석의 강도 비율은 압축응력 : 전단응력 : 인장응력 = 10 : 5 : 1 = 12000kg/cm<sup>2</sup> : 600kg/cm<sup>2</sup> : 120kg/cm<sup>2</sup> 이므로 습윤 상태에서도 강도는 그 비율로 저하하게 된다.

표 8. 암석의 강도(단위 : kg/cm<sup>2</sup> )

암 석	S <sub>c</sub> 내압강도		S <sub>t</sub> 인장강도		S <sub>b</sub> 굽힘강도		S <sub>s</sub> 전단강도		S <sub>c</sub> ' 측압하의 내압강도
	습	건조	습	건조	습	건조	습	건조	
사 암 (sand stone)	600	1,200	20	50	55	~120	300	~600	4,000
혈 암 (shale)	400	1,000	40	100	50	~140	200	~500	3,500
안 산 암 (andesite)		1,090		60		100		550	5,000
화 강 암 (granite)		1,720	50	150		140		860	6,000
석 회 암 (limestone)	500	1,200	30	90			250	600	
점 판 암 (slate)		1,400		190				700	
석 영 (quartz)		2,400						1,200	

채석장 잔벽의 천공을 위해서는 기존에 공학적인 목적으로 암반을 분류하여 놓은 자료를 이용하면 별 무리가 없을 것으로 평가된다. 표 9는 한국기술용역협회에서 작성한 암석분류를 나타낸 것이다. 암반에 따라 공학적 판단의 구별을 할 필요성이 생겨 시추로 얻어진 시료(core)에 대한 각종 시험, 시출 갱의 육안적 관찰, 탄성과 탐사, 일축압축강도 및 몇 개의 원취치 시험 등의 결과를 종합하여 구해진 것이다. 이와 같은 분류의 결과를 이용하여 천공녹화 지역에 비트의 선정 등 채석장 잔벽의 천공 시에 좋을 것으로 판단된다.

표 9. 한국기술용역협회의 암석분류

암반분류	시추굴진사항	암반의 성질					탄성과속도 (km/sec)	일축강도 qu (kg/cm <sup>2</sup> )
		풍화변질상태	균열상태	코아상태	함마타격	집수시험		
풍화암	Metal crown bit로 용이하게 굴진가능하며 때로는 무수보링도 가능	암내부까지도 풍화진행. 암의 구조 및 조적이 남아 있음	균열은 많으나 점토화의 진행으로 거의 밀착상태임	세편상 암편이 남아 있고 손으로 부수면 가루가 되기도 함. 원형코아가 없음	손으로 부서짐	원형보존이 거의 불가능하며 세편상으로 분리됨	<1.2	<125
연암	Metal crown bit로 용이하게 굴진 가능한 암반	암내부의 일부를 제외하고는 풍화진행 장식 운모등 변색, 변질	균열은 많이 발달 균열간격은 5cm이하이고 점토함제함	암편상-세편상(각력상)원형 코아가 적고 복구곤란	함마로 치면 가볍게 부서짐	세편상으로 분리되고 암피로 분리됨	1.2-2.5	125-400
중경암	Metal crown bit로 굴진가능하나 Diamond bit를 사용하면 코아의 회수율이 양호한 암반	균열을 따라 다소 풍화진행. 장식 및 유색광물 일부 변색됨	균열발달 일부는 점토를 협제함.세편상 태로 잘 부서짐, 균열간격은 10cm내외	대암편상-단주상 10vm이하이며 특히 5cm내외의 코아가 많음. 원형복구 가능	함마로 치면 현저한 소리를 내고 부서짐	암피로 분리하나 입자의 분리는 거의 없고 변화하지 않음	2.5-3.5	400-800
경암	Diamond bit를 사용하지 않으면 굴진하기 곤란한 암반	대체로 석회 균열을 따라 약간 풍화 변질됨.암내부는 신선함	균열의 발달이 적으며 균열간격은 5~15cm, 대체로 밀착상태이나 일부는 open됨	단주상-봉상태 체로 20cm이하 1m당 5-6개 이상	함마로 치면 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 튀는 경향을 보임	거의 변화하지 않음	3.5-4.3	800-1,200
극경암	Diamond bit의 마모가 특히 심한 지반 및 경암의 파쇄대로서코아의 막힘이 많은암반	대단히 신선하고 풍화 변질되지 않음	균열의 발달이 적으며 그 간격은 20~50cm로 밀착(mosaic 상태의 균열이 발달 그 간격은 50cm이하)	봉상-장주상 완전한 형태를 보유 1m당 5~6개(암편상-각력상으로 원형 코아가 적음)	함마로 치면 금속음을 내고 잘 부서지지 않으며 튀는 경향을 보임	거의 변화하지 않음	4.5이상	>1,200

다. 채석장 잔벽의 천공녹화공법

산지가 채석장으로 개발되기 전에는 수자원, 수질, 대기, 자연경관 등의 보존이 잘 되어 있으나 채석장으로 개발된 이후에는 이들 환경이 파괴되고 산지의 지형이 변하게 된다. 이와 같은 자연 파괴 및 훼손된 지역에 산림을 원상으로 회복하는 것은 불가능하지만 가능한 산림을 복구하기 위하여 녹화를 실시하는 것은 채석장의 개발이 완료된 후 대단히 중요한 조치이다. 산이 채석으로 인하여 평지가 되므로 지역사회에 기여하는 경우도 있을 수 있으나 대부분의 경우는 복구를 하지 않으면 안된다. 채석장은 채굴이 완료되면 반드시 크고 작은 사면이 남는다. 이와 같은 사면을 잔벽이라 하며 채석장의 특성으로 보아 이들 잔벽은 거의 수직 벽으로 남아 있는 경우가 많다. 일반적으로 잔벽의 구배는 채석업자의 경영적인 측면에서 가능한 많은 채석을 위하여 거의 수직으로 형성하고 있다. 잔벽의 형성에 따른 조치는 잔벽이 붕괴되지 않도록 토류 시설을 하고 낙석의 위험이 있는 지역에는 보호망을 설치하도록 해야 한다. 잔벽의 근본적인 조치는 소단을 만들어 나무를 심고 녹화를 유도하여 자연경관을 유지하면서 붕괴를 방지하는 데 있다.

녹화의 관점에서 보면 소단의 폭이 2m이하이면 나무를 심기가 어려우므로 무엇보다도 소단의 경사를 45° 이하로 유지하고 폭을 넓게 하여 높이는 가능하면 5m 정도로 하는 것이 이상적이다. 그러나 채석업자의 입장에서는 가능한 많은 채석을 위하여 거의 수직으로 잔벽을 남기다 보니 소단의 형성에 부정적인 견해가 많다. 채석장의 개발 시 경영에 무리가 없고 잔벽의 녹화에 큰 지장을 주지 않는 범위 내에서 소단의 폭을 정하여 산림을 복구 및 녹화하는 기술의 개발이 꼭 필요하다.

천공녹화공법은 채굴이 완료된 후 한꺼번에 녹화를 하는 것이 아니고 맨 위 정상부부터 채굴이 끝난 잔벽에 대하여 천공을 하여 단계별로 녹화를 실시하는 방법을 말한다. 일시에 자연 상태로 복구 되는 것이 아니고 충분한 시간을 두고 자연 상태로 회복되기 때문에 경영상의 무리도 별로 없다. 이 천공녹화 공법의 시행순서는 상부로부터 내려오면서 벤치 커트(Bench Cut)에 의하여 채굴을 하고 난 후 계획된 최종 잔벽에 천공을 하여 녹화를 시키고, 또 그 아래사면에서 채굴이 끝나면 최종 잔벽상에 천공을 하고 단계별로 서서히 녹화를 진행시켜 모든 잔벽에 대하여 녹화효과를 점진적으로 시공하는 스텝다운(Step-down)식 천공녹화 공법이다.

본 공법은 잔벽에 깊이 20 - 30 Cm 정도 깊이로 천공을 하고, 녹화화분을 만들어 화분에 여러 가지 침식방지제, 토양개선제 등으로 배양토를 조제하여 종자, 비료, 미생물을 잘 섞어 식생을 유도하여 잔벽을 녹화시키는 공법이다. 특히, 암반비탈면에

생육이 좋은 식생을 선발하여 조기에 잔벽면을 녹화할 수 있는 새로운 공법이라 할 수 있다.

따라서 현재의 소단에 의한 채석장 녹화지침은 그대로 두고 잔벽면의 녹화가 별도로 되지 않고 있기 때문에 경제적이면서 쉽게 활용할 수 있는 새로운 공법의 개발이 필요하다. 가능한 소단의 폭을 적게 하면서 잔벽에 나무나 식생을 형성하여 녹화를 유도하고, 앞으로 천공녹화공법을 활성화하기 위하여 녹화용 천공의 깊이, 각도, 크기, 간격 및 모양 등 일정한 규모의 녹화용 천공규정을 정할 필요성이 있다.

## 1) 잔벽의 천공녹화공법 현장실험

### 가) 실험구의 조성

#### (1) 실험구의 설치

실험지역 선정을 위하여 여러장소를 대상지역으로 채석장 사업주와 협의를 하였으나 채석작업에 방해가 되므로 실험지 조성에 부정적이었고, 또한 안전상의 문제로 실험을 할 수 있도록 쉽게 동의를 해주지 않았다. 본 실험지역은 진주시 명석면에 위치하고 있는 석산개발지역을 선정하고 채석장 잔벽에 직경 105mm 규격의 비트를 이용하여 천공을 하고 녹화기반을 조성하였다. 진주지역은 실험지의 관리 및 조사에 유리하므로 진주지역을 선정하였다.

실험구는 일조량과 사면 위치에 따른 실험의 오차를 줄이기 위하여 완전임의 배치 하였으며, 실험구의 천공간격은 40cm 및 70cm 간격으로 상, 중, 하로 나누어 48개소 (3반복 x 2간격 x 4처리구 x 2방위 = 48)가 2004년 4월과 5월 사이에 조성이 되었다. 파종 및 식재에 의한 천공녹화공법의 1차실험은 2004년 6월에 실시되었다.

#### (2) 공시 식물의 선정

천공녹화공법의 실험에 사용되어진 파종식물은 자생초본류 3종(구절초, 안고초, 비수리), 자생목본류 2종(참싸리, 낭아초), 한지형잔디류 2종(Tall fescue, Perennial ryiguass)이었으며, 덩굴성 식물 1종(담쟁이)으로서 총 8종의 식물을 선정하였다. 특히, 자생 초·목본류인 비수리, 참싸리, 낭아초를 사용함으로써 질소를 고정하여 토

양의 개선효과를 기대하였다.

### (3) 과중량 산정

천공녹화공법의 실험에 사용된 종자의 과중량은 녹화화분의 돌출된 부분의 크기가 적으므로 과중한 종자는 종자별 10개씩 과중하였으며, 3치엽을 갖는 담쟁이는 화분별 2주를 식재 하고, 각 배양토의 발아상태 및 특성을 비교 분석하였다.

### (4) 배양토의 조성

천공녹화공법의 실험에 사용된 배양토는 산림부식토(A), 일반상토(B), 산림표층토(C) 및 혼합토(D)로 처리하였다. 혼합토는 산림부식토, 산림표층토, 일반상토를 3:3:1의 일정한 중량비율로 섞어 조제하였다. 각 처리구에는 미생물제제, 토양침식 안정제 및 토양정균제를 권장사용량에 따라 혼합 처리하였다.

실험에 사용된 산림부식토는 거창군 위천면 소재 석산개발지역 주변 잣나무림 조림지 내에서 낙엽층을 제거한 후 부식토를 채취하였고, 산림표층토는 진주시 명석면 소재 석산개발지역 주변 산림에서 낙엽층을 제거한 후 표토 5cm 깊이에서 채취하였다. 채취한 토양은 운반하여 토양내 들어 있는 잠재종자의 발아로 각 실험에 영향을 미칠 수 있으므로 잡초 등의 종자를 제거하고 살균하기 위하여 약 150℃에서 4시간 동안 훈증처리를 하였다.

### (5) 실험구 관리

각 실험구는 주변 학생들로 인한 훼손의 염려가 있어 주기적인 관찰을 하고 있으며, 2004년 7월 중 기온이 높은 시기에 고온으로 인한 발아식물의 유지관리를 위하여 3회의 관수작업을 하였다. 주변으로부터 침입한 식생은 아직 나타나지 않았다.

### (6) 녹화화분의 제조

석산개발지역의 잔벽상에 천공녹화 공법을 개발하기 위하여 녹화기반을 조성하는 것이 필요하다. 무엇보다 식물이 생육하기 위해서는 흙을 담을 수 있는 용기가 필요하다. 천공의 크기에 맞추어 녹화화분(사진 7참조)을 조제하고, 본 실험에 이용하였다. 아직 녹화화분의 재질은 정하지 못하였으나 경제적이고 식물의 생육에 지장이 없는 용기이면 무난할 것으로 생각된다.

### (7) 조사 및 분석

과종식물의 조사는 파종후 3주후(7월 12일), 5주후(7월 26일) 및 7주후(8월 12일) 등 약 2-3주간격으로 토양처리별 발아본수, 발아율을 조사하였으며, 높이(수고, 초고) 및 폭(수관폭, 초폭)은 완전히 성장을 하고 있는 것을 대상으로 조사를 할 것이다. 외래초종인 양잔디는 조사 시작 7주까지는 식물종을 구분할 수 없어 통합하여 조사하였다.

#### 나. 천공녹화공법의 효과

##### 1) 토양처리별 발아본수 및 발아율

녹화용 식물종자의 발아상태를 측정하기 위하여 조제하여 사용한 각 토양의 이화학적 성질은 표 9와 같다. 표 10에서 보면 산림부식토(A)가 유기물함량이 제일 높고, 산림표층토(D)가 가장 적으며, 양이온 치환용량에서 일반상토(B)가 다른 처리토양보다 높은 것이 특징이다. 토양처리별 녹화용 식물종자의 발아상태를 측정한 결과는 표 10과 같다. 파종 후 2주까지는 산림표층토(D) 15%, 산림부식토(A) 12.5%, 혼합토(C) 11.1% 및 일반상토(B) 7.4%의 순으로 처리토양에 따른 발아율의 차이를 보였다. 그림 1에서 보는바와 같이 산림표층토(D) 및 혼합토(C)의 처리구는 3회의 조사에서 발아상태가 좋아지는 경향을 보였지만 산림부식토(A)와 일반상토(B)는 초기에는 발아를 하였으나 오히려 시간이 지남에 따라 점점 감소하는 경향을 보였다. 이는 산림표층토(D) 및 혼합토(C)에 비하여 유기물함량과 보습성이 뛰어난 산림부식토(A)와 배합상토(B)는 흙의 성질이 비교적 부드러워 돌출된 녹화화분 위에 강우로 인한 우적침식과 잔벽에서 흘러내리는 유수의 영향으로 토양이 유실되고, 잔벽 상부로부터 조그마한 돌 부스러기도 유출되어 녹화화분내에 침입되므로서 종자발아에 장애요인으로 작용을 하였으며, 또한 여름철의 고온과 동시에 녹화화분 내의 수분부족 때문에 발아초종들이 시들어서 말라 죽는 것으로 생각된다. 산림부식토(A)와 일반상토(B)는 토양침식안정제의 처리를 다소 많이 하여서 토양유실을 방지할 필요성이 있는 것으로 보인다.

표 10. 처리토양의 이화학적 성질

토성	pH H <sub>2</sub> O(1:5)	OM (%)	T-N (%)	Av-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	Ex-cation(mg/kg)				
						K	Na	Ca	Mg	
A	사질식양토	4.88	10.14	0.56	24.3	9.90	0.18	0.04	0.89	0.21
B	배합상토	5.05	9.10	0.56	54.0	13.4	15.2	21.5	21.1	6.62
C	사양토	4.93	6.00	0.35	57.2	9.24	1.85	2.28	3.17	0.99
D	사양토	5.26	0.72	0.14	38.9	3.52	0.15	0.05	1.16	0.21

A: 산림부식토, B: 일반상토, C: 혼합토(부식토+일반상토+표토), D: 산림표층토

표 11. 토양처리에 따른 과종종자의 발아본수와 발아율

처리구	I		II		III	
	α	β	α	β	α	β
A	105	12.5	87	10.4	69	8.2
B	62	7.4	56	6.7	33	3.9
C	93	11.1	83	9.9	101	12.0
D	126	15.0	136	16.2	146	17.4

A : 산림부식토, B : 일반상토, C : 혼합토( 부식토+일반상토+표토), D : 산림표층토

I : 7월 16일 II : 7월 26일 III : 8월12일

α : Germination(No.) β : Germination rate(%)

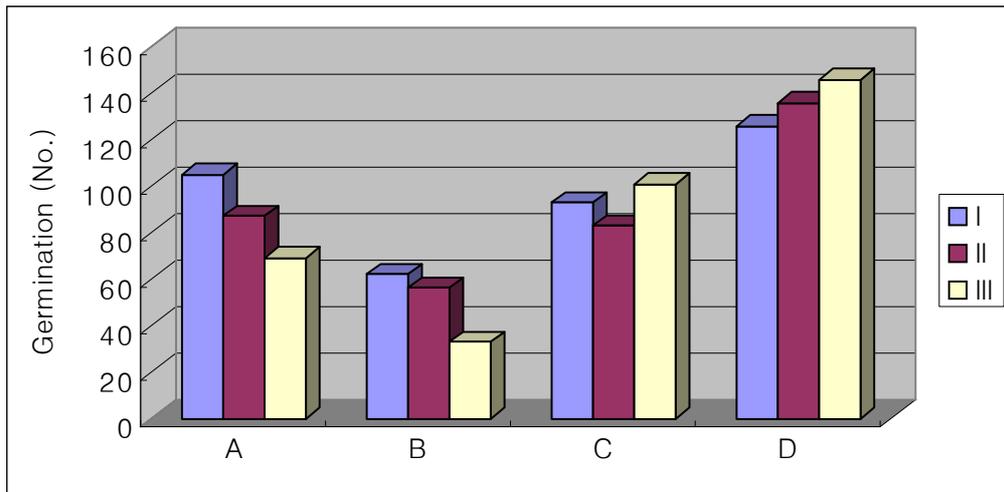


그림 1. 토양처리에 따른 과종종자의 발아본수

## 2. 과종종자별 발아특성

과종식물은 자생초본류 3종(구절초, 안고초, 비수리), 자생목본류 2종(참싸리, 낭아초), 한지형잔디류 2종(Tall fescue, Perennial ryiguass)이었으며, 덩굴성 식물 1종(담쟁이)으로 총 8종이었다. 종자별 발아 및 품종의 특성은 표 12 및 13과 같다. 특히 외래초종(톨웨스큐 및 페레니얼)은 실험실내에서 녹화화분에 파종 후 1일째에도 발아하는 경우도 있었다. 표 14 및 그림 2를 보면 톨웨스큐 및 페레니얼은 산림표층토(D)에서 가장 많이 발아 하였으며, 다음은 산림부식토(A), 혼합토(C) 및 일반상토(B)의 순으로 발아를 하였다. 재래초종들은 비교적 내건성 및 내서성이 좋은 참싸리, 낭아초, 안고초 및 구절초의 순으로 처리된 모든 토양에서 다소 발아를 하였다. 안고초도 산림표층토(D)에서 가장 많이 발아 하였으며, 구절초는 혼합토(C), 낭아초는 산림부식토(A), 참싸리는 모든 처리토양에서 비교적 고르게 발아를 하였다. 반면에 비수리는 산림표층토(D) 및 혼합토(C)의 처리구에서 각각 8본과 6본만 발아되어 조금 더 장기적인 관찰이 필요한 것으로 보인다. 초종별로는 외래종인 톨웨스큐 및 페레니얼이 가장 많이 발아하였으며, 재래종은 참싸리 낭아초, 안고초, 구절초의 순으로 발아율이 높았다.

식재수종인 담쟁이는 활착이 잘되어 암벽변에 부착이 된 것도 있으며, 또는 수분 부족으로 시들어 지는 것도 있으나 뿌리에서 새잎이 돋아나 성장하고 있어 비교적 잘 적응하는 것으로 보인다.

표 12. 파종한 외래초종의 품종과 특성

구분	초종	품종	종자표준						생육특성		
			순도 (%)	발아율 (%)	입수 (1g당)	표준발아온도	성장최적온도	발아일수	초장 (cm)	발아정착속도	성장습성
한지형	틀웨스큐	Kentucky31	95	80	500	15~30	15~27	8~10	50~80	보통	다발형
	페레니얼라이그라스	보통종	90	90	450	20~30	16~24	5~8	40~70	빠르다	다발형

표 13. 파종한 재래초종의 특성과 환경적응성

구분	품명	종자의 특성				형태 특성	환경적응성			토양적응성				최적과종적기
		순도 (%)	발아율 (%)	입수 (1g당)	최적발아온도		내한성	내서성	내염성	내건성	내습성	내산성	내염성	
초본류	구절초	50	50	3,000	20~30	다년생	○	◎	○	◎	○	◎	×	3~7월
	안고초	70	30	2,500	”	”	○	◎	△	◎	○	◎	○	3~6월
	비수리	90	70	600	20~35	비료초목	△	○	△	◎	○	○	×	”
목본류	참싸리	90	50	130	20~30	비료목	△	○	△	◎	○	△	×	”
	낭아초	95	60	210	”	”	△	○	△	◎	△	△	○	”

◎ : 최상 ○ : 양호 △ : 약함 × : 아주약함

표 14. 토양처리에 따른 수종별 발아본수와 발아율

		톨훼스큐+ 페레니얼		안고초		구절초		비수리		참싸리		낭아초	
		a	β	a	β	a	β	a	β	a	β	a	β
A	I	70	29.2	5	4.2	2	1.7	0	0	12	10	16	13.3
	II	50	20.8	5	4.2	1	0.8	0	0	16	13.3	15	12.5
	III	29	12.1	5	4.2	1	1.7	0	0	20	16.7	13	10.8
B	I	34	14.2	2	1.7	3	2.5	0	0	13	10.8	10	8.3
	II	27	11.3	4	3.3	3	2.5	0	0	14	11.7	8	6.7
	III	11	4.6	2	1.7	0	0	0	0	12	10	8	6.7
C	I	57	23.8	8	6.7	3	2.5	6	5	10	8.3	9	7.5
	II	43	17.9	10	8.3	4	3.3	0	0	14	11.7	12	10
	III	50	20.8	13	10.8	4	3.3	0	0	16	13.3	18	15
D	I	84	35	10	8.3	2	1.7	8	6.7	16	13.3	6	5
	II	87	36.3	20	16.7	2	1.7	0	0	15	15.5	12	10
	III	74	30.8	37	30.8	3	2.5	0	0	14	11.7	18	15

A : 산림부식토, B : 일반상토, C : 혼합토(부식토+일반상토+표토), D : 산림표층토

I : 7월 12일, II : 7월 26일, III : 8월12일,

■ : Germination(No.), ▨ : Germination rate(%)

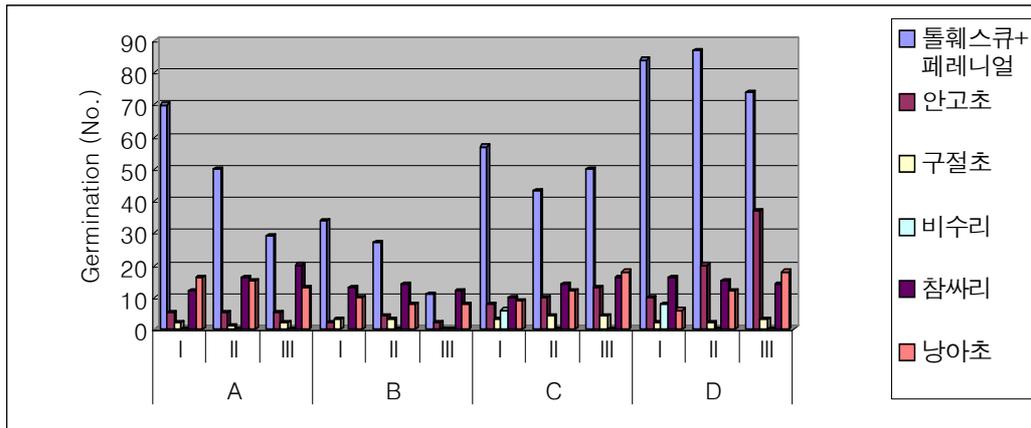


그림 2. 토양처리에 따른 수종별 발아본수

### 3. 천공녹화 시공현장

천공녹화공법을 실험하기 위한 여러 가지 준비 및 처리는 사진에서 볼 수 있으며, 또한 현장에서 시공된 각 처리별 식생의 성장모습도 사진에서 볼 수 있다.

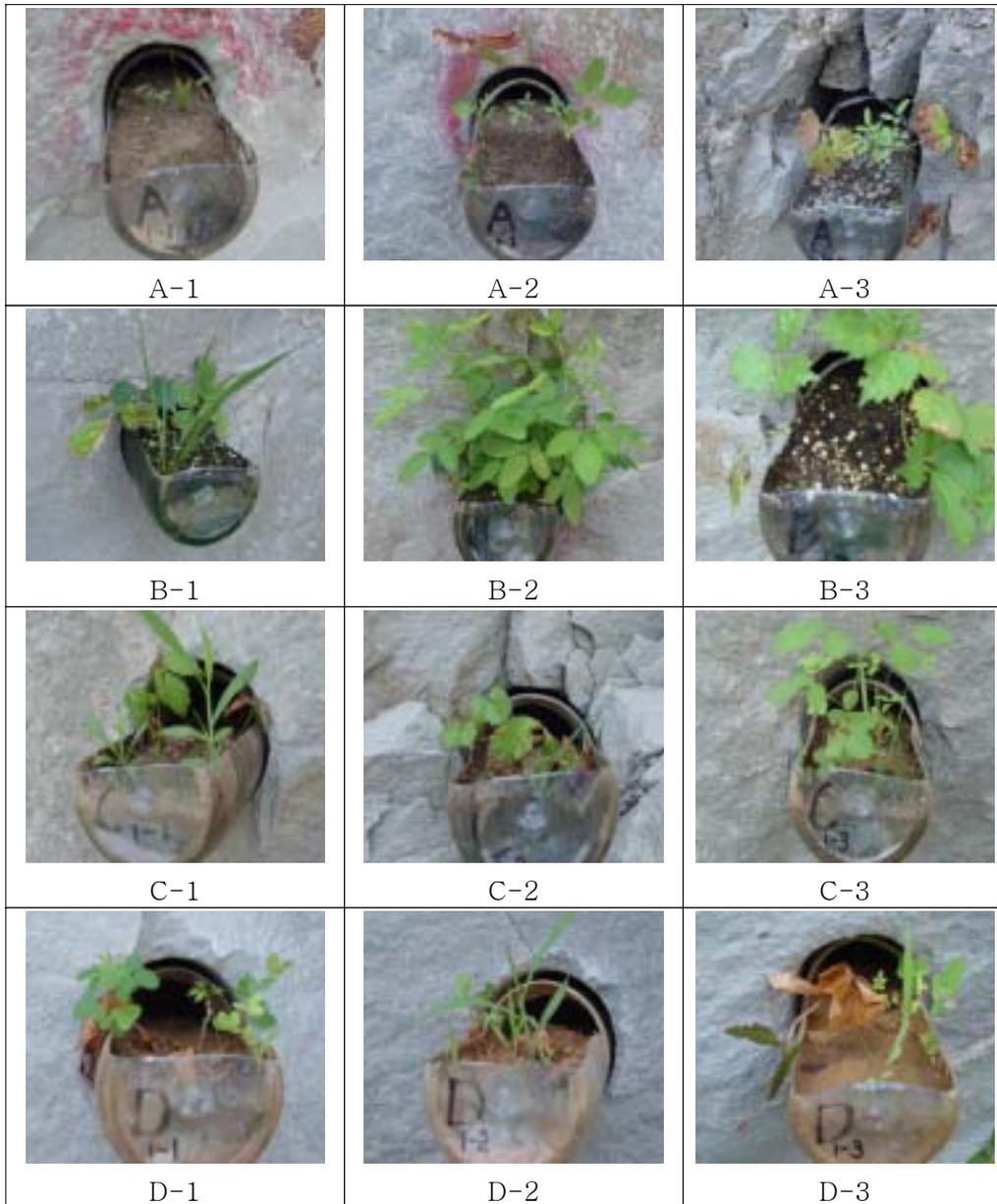


사진 1. 천공녹화공법에 의한 식물성장 모습(40cm 간격)

(A: 산림부식토, B: 일반상토, C: 혼합토( 부식토+일반상토+표토), D: 산림표층토)

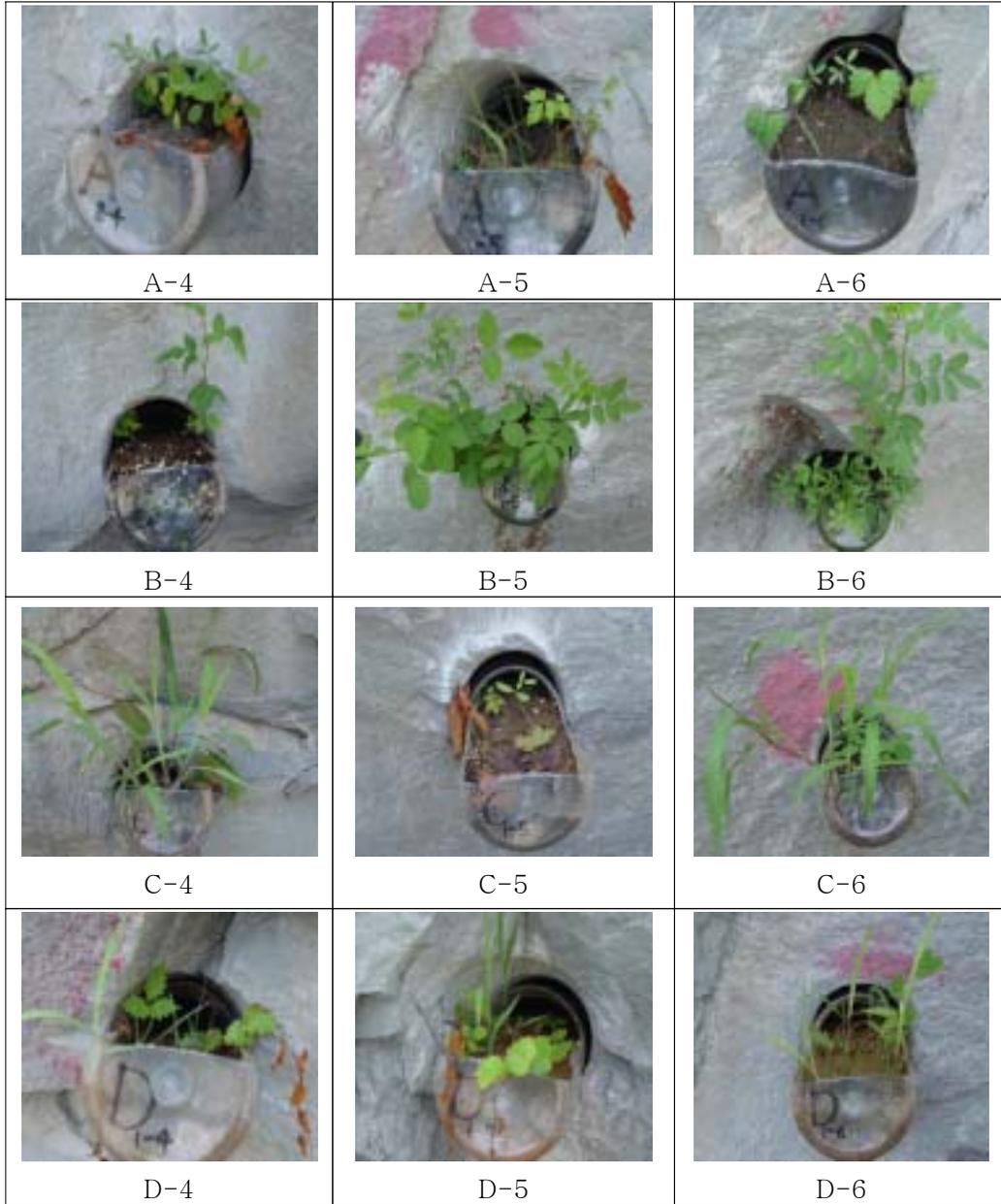


사진 2. 천공녹화공법에 의한 식물생장 모습(40cm 간격)

(A: 산림부식토, B: 일반상토, C: 혼합토( 부식토+일반상토+표토), D: 산림표층토)

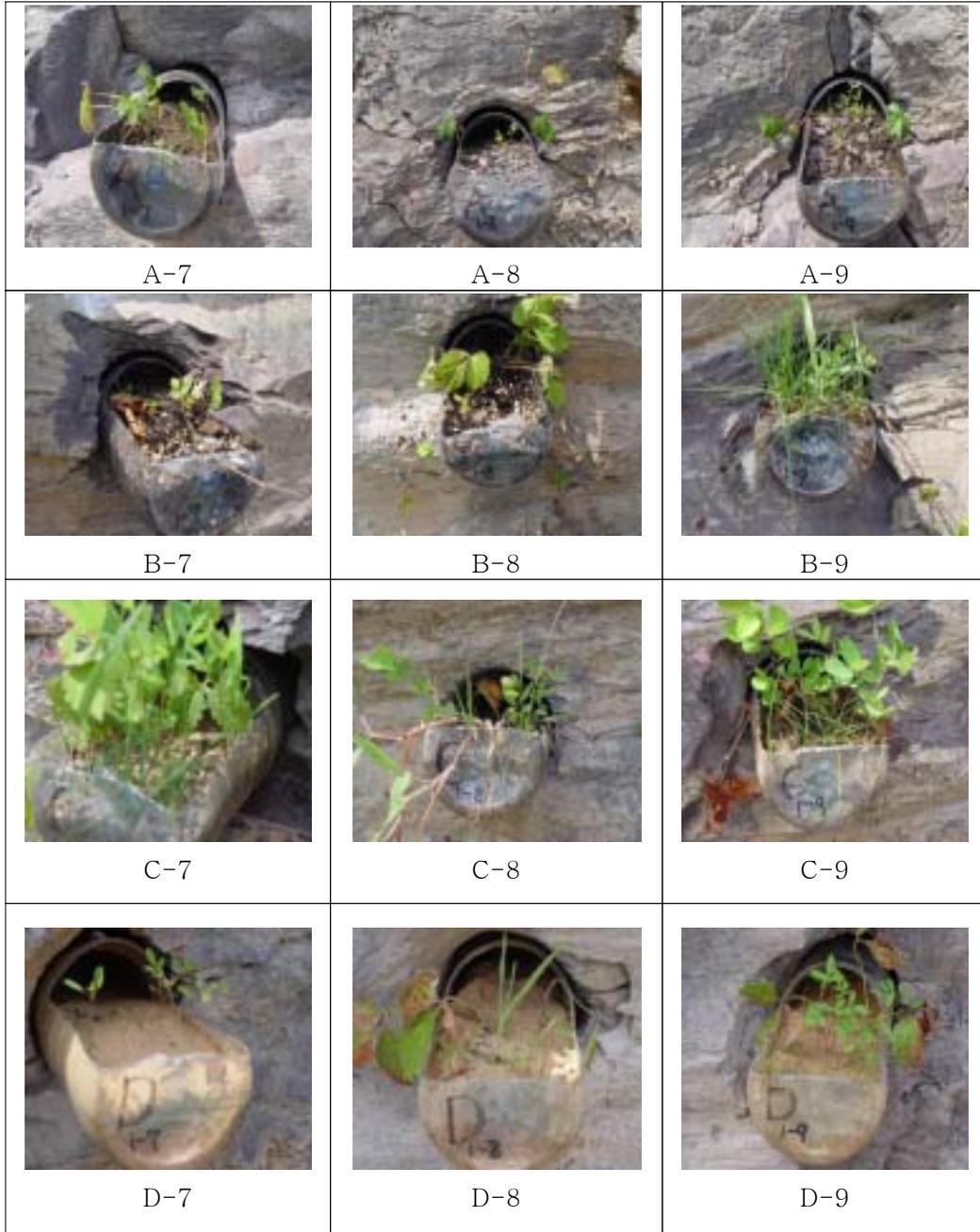


사진 3. 천공녹화공법에 의한 식물생장 모습(70cm 간격)

(A: 산림부식토, B: 일반상토, C: 혼합토( 부식토+일반상토+표토), D: 산림표층토)

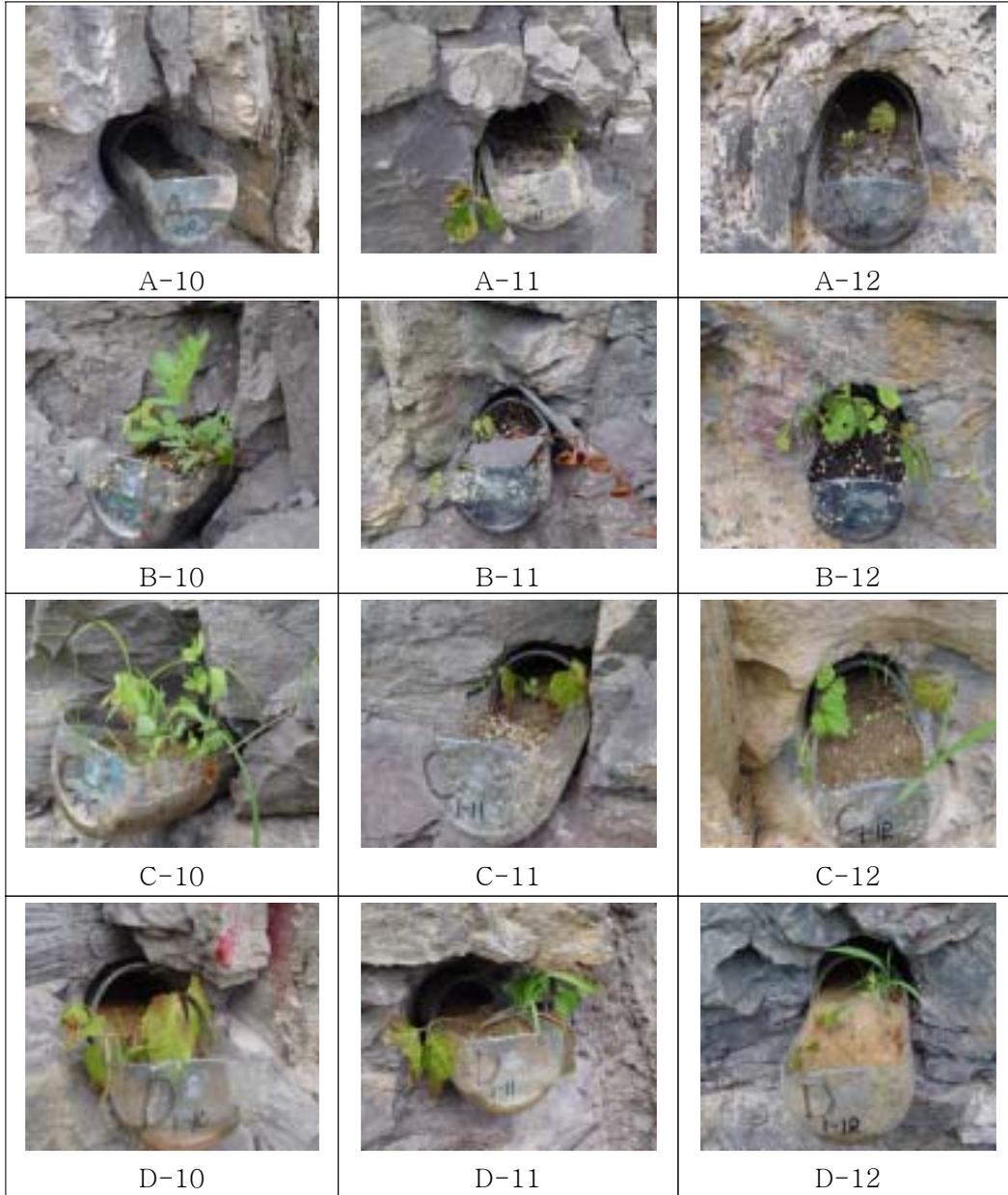


사진 4. 천공녹화공법에 의한 식물생장 모습(70cm 간격)

(A: 산림부식토, B: 일반상토, C: 혼합토( 부식토+일반상토+표토), D: 산림표층토)



사진 5. 석산개발 친환경화공법 실험지 측면 및 전경



사진 6. 산림부식토 채취, 시료조제 및 녹화화분 파종작업



사진 7. 종자파종 및 완성된 녹화화분

### 3. 암반사면 천공녹화공법의 특성 분석

#### 가. 생육특성조사

##### 1) 실험구의 설치

실험구는 일조량과 사면 위치에 따른 실험의 오차를 줄이기 위하여 완전임의 배치 하였으며, 본 실험지역은 진주시 명석면에 위치하고 있는 석산개발지역으로서 채석장 잔벽에 직경 105mm 규격의 비트를 이용하여 천공을 하고 녹화기반을 조성하였다. 2차 실험에 사용된 진주지역 실험구는 천공간격 40cm 및 70cm 간격으로 상(미생물처리), 중(미생물+멸칭처리), 하(무처리)로 나누어 총 48개소 (3(상,중,하) x 4반복 x 4(배양토) = 48)를 2005년 4월에 조성하였다.. 파종 및 식재에 의한 천공녹화공법의 발아실험은 2005년 4월과 5월에 걸쳐 주 1회 총 4회 조사하였다. 개체수와 생장량은 4월부터 9월까지 매월 조사하였다.

##### 2) 공시식물의 선정

천공녹화공법의 실험에 사용되어진 파종식물은 자생초본류 3종(구절초, 바랭이, 비수리), 자생목본류 2종(참싸리,낭아초), 한지형잔디류 2종(Tall fescue, Perennial ryegrass)과 식재수종으로서 덩굴성 식물 1종(담쟁이)을 포함하여 총 8종의 식물을 선정하였다. 특히, 자생 초·목본류인 비수리, 참싸리, 낭아초를 사용하여 질소고정 효과를 통하여 토양의 개선을 기대하였다.

##### 3) 파종량 산정

천공녹화공법의 실험에 사용된 종자의 파종량은 녹화화분의 돌출된 부분의 크기가 적으므로 녹화화분당 각 종자 10개씩 파종하였으며, 식재수종인 담쟁이는 3치엽 2주를 식재하여 토양처리에 따른 발아상태 및 생장특성을 비교 분석하였다.

##### 4) 배양토의 조성

천공녹화공법의 실험에 사용된 배양토는 산림부식토(A), 일반상토(B), 혼합토(C) 및 산림표층토(D)를 조제하여 이용하였다. 혼합토는 산림부식토, 산림표층토, 일반상토를 3:3:1의 일정한 중량비로 섞어 조제하였다.

실험에 사용된 산림부식토는 거창군 위천면 소재 석산개발지역 주변 잣나무림 조림지 내에서 낙엽층을 제거한 후 부식토를 채취하였고, 산림표층토는 진주시 명석면 소재 석산개발지역 주변 산림에서 낙엽층을 제거한 후 표토 5cm 깊이에서 채취하였다. 채취한 토양은 운반하여 토양내 들어 있는 잠재종자의 발아로 각 실험에 영향을 미칠 수 있으므로 약 150℃에서 4시간동안 훈증처리를 하였다.

#### 5) 배양토의 미생물 및 멸칭 처리

천공녹화공법의 실험에 사용된 배양토 4종류, 산림부식토(A), 일반상토(B), 혼합토(C) 및 산림표층토(D)에 3가지 처리, 즉 미생물구, 미생물+멸칭구, 무처리구를 각각 처리 하였다. 2004년도 1차실험에서 잔벽면의 물이 많이 흘러내리는 지점에서는 녹화화분 내의 배양토가 유실되거나 돌부스러기가 들어오는 등 발아 및 식물생장에 방해요소가 많아, 이를 개선하고자 황마를 멸칭제로 사용하여 직사일광, 바람등에 의한 토양내의 수분증발, 건조의 방지와 우작침식에 의한 토양유출을 억제하여 생육환경을 개선하고자 하였다.

토양미생물제제는 트리코델마 하지아눔(*Trichoderma harzianum*)을 사용하였으며 첨가 중량은 각 배양토 중량의 1%를 첨가하였다.

#### 6) 조사 및 분석

과종공 및 식재공의 현장실험에 대한 결과를 주기적으로 조사하여 토양처리별 수종에 따른 발아율과 초기식물생장을 조사하였다. 식물의 발아량 조사는 과종후 매주 1회 총 4회를 조사였으며, 한달간격으로 토양처리별 개체수 및 성장량을 조사하였다.

#### 나. 처리별 효과 모니터링

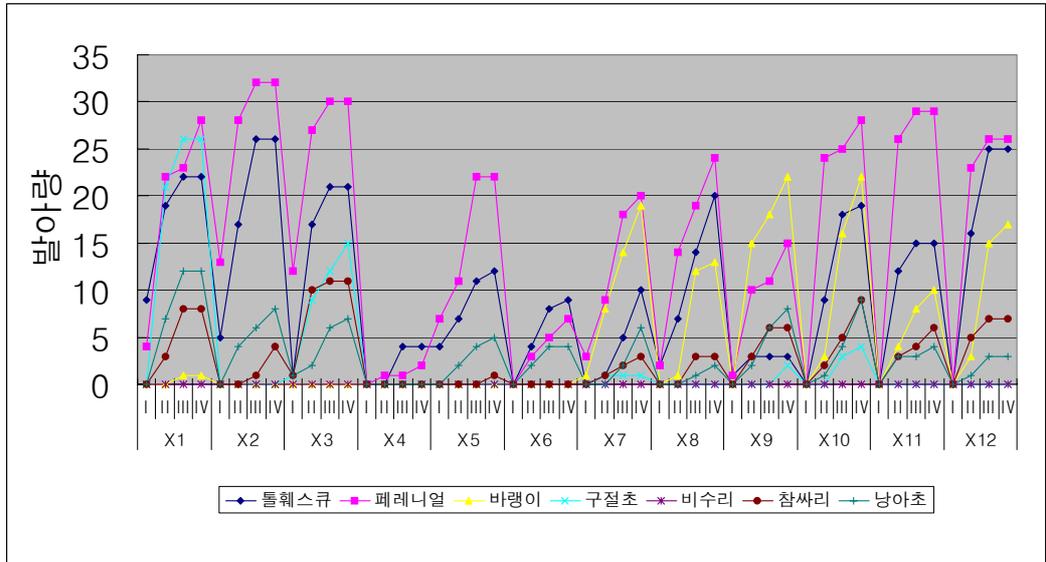
##### 1) 배양토 및 처리별 발아본수

배양토 및 처리에 따른 과종종자의 발아본수는 표 15, 그림 3과 같다.

표 15. 배양토 및 처리별 파종종자의 발아본수

배양토	조사시기	톨웬스큐	페레니얼	바랭이	구절초	비수리	참싸리	낭아초
산림부식토	X1	I	9	4	0	0	0	0
		II	19	22	0	21	0	3
		III	22	23	1	26	0	8
		IV	22	28	1	26	0	8
	X2	I	5	13	0	0	0	0
		II	17	28	0	0	0	0
		III	26	32	0	0	0	1
		IV	26	32	0	0	0	4
	X3	I	1	12	0	1	0	1
		II	17	27	0	9	0	10
		III	21	30	0	12	0	11
		IV	21	30	0	15	0	11
배합상토	X4	I	0	0	0	0	0	0
		II	0	1	0	0	0	0
		III	4	1	0	0	0	0
		IV	4	2	0	0	0	0
	X5	I	4	7	0	0	0	0
		II	7	11	0	0	0	0
		III	11	22	0	0	0	0
		IV	12	22	0	0	0	1
	X6	I	0	0	0	0	0	0
		II	4	3	0	0	0	0
		III	8	5	0	0	0	0
		IV	9	7	0	0	0	0
혼합토	X7	I	0	3	1	0	0	0
		II	1	9	8	1	0	1
		III	5	18	14	1	0	2
		IV	10	20	19	1	0	3
	X8	I	2	2	0	0	0	0
		II	7	14	1	0	0	0
		III	14	19	12	0	0	3
		IV	20	24	13	0	0	3
	X9	I	1	1	0	0	0	0
		II	3	10	15	0	0	3
		III	3	11	18	0	0	6
		IV	3	15	22	2	0	6
산림표층토	X10	I	0	0	0	0	0	0
		II	9	24	3	0	0	2
		III	18	25	16	3	0	5
		IV	19	28	22	4	0	9
	X11	I	0	0	0	0	0	0
		II	12	26	4	0	0	3
		III	15	29	8	0	0	4
		IV	15	29	10	0	0	6
	X12	I	0	0	0	0	0	0
		II	16	23	3	0	0	5
		III	25	26	15	0	0	7
		IV	25	26	17	0	0	7

note) X1 : 부식토 + 미생물    X2 : 부식토 + 미생물+망    X3 : 부식토 + 무처리  
 X4 : 배합상토 + 미생물    X5 : 배합상토 + 미생물+망    X6 : 배합상토 + 무처리  
 X7 : 혼합토 + 미생물    X8 : 혼합토 + 미생물+망    X9 : 혼합토 + 무처리  
 X10 : 산림표토 + 미생물    X11 : 산림표토 + 미생물+망    X12 : 산림표토 + 무처리



note) X1 : 부식토 + 미생물    X2 : 부식토 + 미생물+망    X3 : 부식토 + 무처리  
 X4 : 일반상토 + 미생물    X5 : 일반상토 + 미생물+망    X6 : 일반상토 + 무처리  
 X7 : 혼합토 + 미생물    X8 : 혼합토 + 미생물+망    X9 : 혼합토 + 무처리  
 X10 : 산림표토 + 미생물    X11 : 산림표토 + 미생물+망    X12 : 산림표토 + 무처리

그림 3. 배양토 및 처리별 과중종자의 발아본수

그림 3에서 보면 배양토별 발아량은 산림부식토(A), 산림표층토(D), 혼합토(C) 및 일반상토(B) 순으로 차이를 보였다. 특히, 산림부식토(A)와 산림표층토(D), 혼합토(C)는 4회의 조사에서 발아상태가 점점 좋아지는 경향을 보였으나 배합상토(B)는 초기부터 발아가 나빠 상대적으로 저조한 경향을 보였다.

2004년도 1차실험의 경우 강우에 의한 우적침식으로 토양유실이 초기생장에 많은 영향을 주었으므로 이를 개선하고자 멀칭처리도 하였다. 각 배양토별 멀칭제가 처리된 녹화화분이 미생물 처리와 무처리 녹화화분보다 좋은 결과를 나타내고 있다. 배양토별 발아는 4개중 산림부식토(A)에서 가장 높았으며, 처리별 발아량은 3개처리 구중 미생물+망이 처리된 녹화화분에서 가장 높게 나타났다.

## 2) 과종종자별 발아특성

과종식물은 자생초분류 3종(구절초, 바랭이, 비수리), 자생목분류 2종(참싸리, 낭아초), 외래초종 2종(Tall fescue, Perennial ryegrass)으로 총 7종이었다. 과종종자별 발아특성은 그림 3과 같다.

그림 3을 보면 톨헤스큐 및 페레니얼 라이그라스는 산림부식토(A)에서 가장 많이 발아 하였으며, 다음은 산림표층토(D), 혼합토(C) 및 일반상토(B)의 순으로 발아를 하였다. 재래초종들은 구절초, 낭아초, 참싸리의 순으로 처리된 모든 토양에서 다소 발아를 하였다. 특히 구절초의 경우 산림부식토(A)의 미생물처리에서 가장 많이 발아 하였다. 낭아초와 참싸리는 모든 처리토양에서 비교적 고르게 발아를 하였다. 반면에 비수리는 전체적으로 발아되지 않았다. 초종별로는 외래종인 페레니얼 라이그라스, 톨헤스큐가 가장 많이 발아하였으며, 재래종은 낭아초, 구절초, 참싸리의 순으로 발아율이 높았다.

3) 배양토 및 처리에 따른 월별 발아 개체수의 변화

표 16. 배양토에 따른 월별 개체수의 변화

배양토	4월	5월	6월	7월	8월	9월
산림부식토	47	236	247	224	146	142
일반상토	11	57	65	60	54	50
혼합토	10	130	176	152	89	87
산림표층토	0	203	212	155	103	100

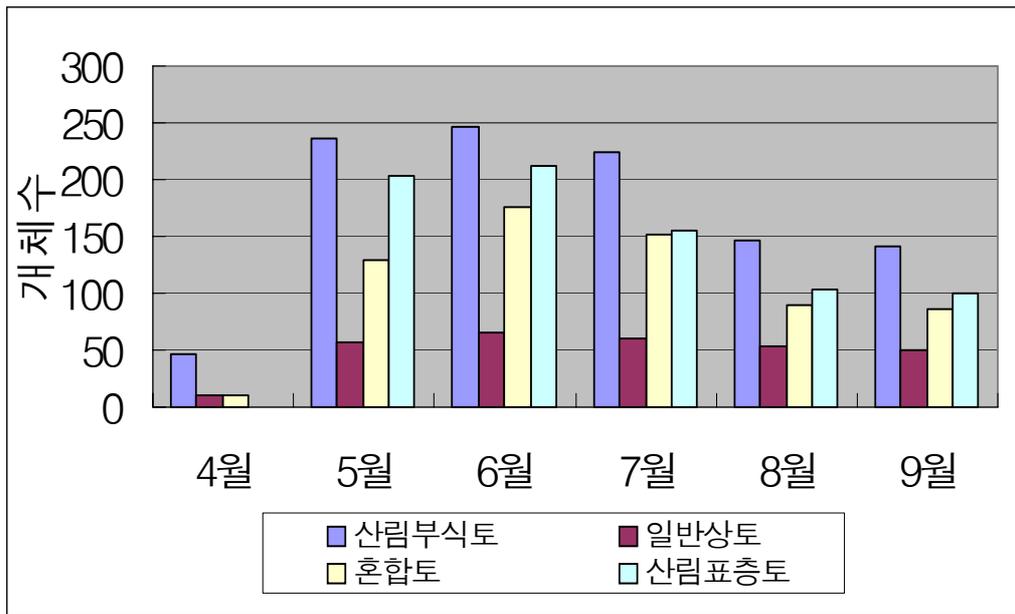


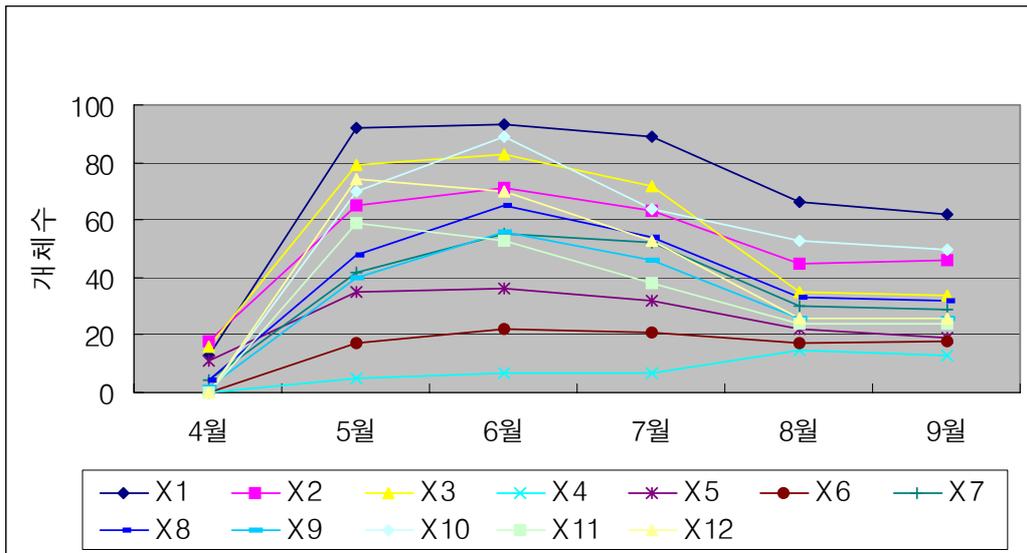
그림. 4 배양토별 월별 발아 개체수의 변화

배양토에 따른 월별 발아 개체수의 변화는 표 16, 그림 4와 같다. 그림4에서 보면 월별 개체수 변화는 산림부식토, 산림표층토, 혼합토, 일반상토의 순으로 나타났으며 산림부식토는 배합상토보다 약 3배 이상의 차이를 보이고 있다.

표. 17 배양토 및 처리에 따른 월별 발아 개체수의 변화

배양토		4월	5월	6월	7월	8월	9월
산림 부식토	X1	13	92	93	89	66	62
	X2	18	65	71	63	45	46
	X3	16	79	83	72	35	34
일반 상토	X4	0	5	7	7	15	13
	X5	11	35	36	32	22	19
	X6	0	17	22	21	17	18
혼합토	X7	4	42	55	52	30	29
	X8	4	48	65	54	33	32
	X9	2	40	56	46	26	26
산림 표층토	X10	0	70	89	64	53	50
	X11	0	59	53	38	24	24
	X12	0	74	70	53	26	26

note) X1 : 부식토 + 미생물    X2 : 부식토 + 미생물+망    X3 : 부식토 + 무처리  
 X4 : 일반상토 + 미생물    X5 : 일반상토 + 미생물+망    X6 : 일반상토 + 무처리  
 X7 : 혼합토 + 미생물    X8 : 혼합토 + 미생물+망    X9 : 혼합토 + 무처리  
 X10 : 산림표토 + 미생물    X11 : 산림표토 + 미생물+망    X12 : 산림표토 + 무처리



note) X1 : 부식토 + 미생물    X2 : 부식토 + 미생물+망    X3 : 부식토 + 무처리  
 X4 : 일반상토 + 미생물    X5 : 일반상토 + 미생물+망    X6 : 일반상토 + 무처리  
 X7 : 혼합토 + 미생물    X8 : 혼합토 + 미생물+망    X9 : 혼합토 + 무처리  
 X10 : 산림표토 + 미생물    X11 : 산림표토 + 미생물+망    X12 : 산림표토 + 무처리

그림 5. 배양토 및 처리에 따른 월별 발아 개체수의 변화

배양토 및 처리에 따른 월별 발아 개체수의 변화는 표 17 및 그림 5와 같다. 배양토 및 처리에 따른 월별 발아 개체수의 변화는 산림부식토(A)중에서 미생물이 처리된 X1구와 산림표층토(C)중에서 미생물이 처리된 X10구는 6월에 각각 93개체 및 89개체가 발아하여 최고치를 보였다. 전반적으로 배양토 및 처리에 따른 월별 발아 개체수는 산림부식토, 산림표층토, 혼합토 및 일반상토의 순으로 나타났으며, 7월 이후부터는 수분부족 및 여름철 하고현상으로 점점 쇠퇴하는 경향을 보였다.

산림부식토(A)에서는 X1, X3, X2의 순으로 나타났으며 X1은 전체처리구에서 가장 높은 개체수를 나타내었다. 일반상토(B)는 전체적으로 개체수의 변화가 낮으며 X5, X6, X4의 순으로 나타났다. 특히, 4월과 5월의 개체수는 미생물+망처리구인 X5가 X4, X6보다 높게 나타났다. 혼합토(C)는 X7, X8, X9 모두 비슷한 경향을 보였으며, 이중 7월 이후 무처리구인 X9의 개체수가 급격히 감소하였다. 산림표층토(D)는 X10, X12, X11의 순이며 X11은 6월 이후 개체수가 감소하는 경향을 보이고 있다.

각 배양토 및 처리별 개체수 변화에서 미생물구는 산림부식토, 산림표층토, 혼합토, 일반상토 순이며, 미생물+망구는 산림부식토, 혼합토, 산림표토, 일반상토로 나타났다. 무처리는 미생물구와 같이 산림부식토, 산림표층토, 혼합토, 일반상토로 나타났다. 따라서 산림부식토와 미생물처리가 발아 개체수의 변화에 많은 영향을 미치고 있음을 알수있다.

#### 4) 처리에 따른 월별 발아 개체수의 변화

처리에 따른 월별 발아 개체수의 변화는 그림 6과 같다. 그림 6에서 보면 초기발아는 미생물+망처리구가 차광효과로 조기 발아가 잘되는 외래초종의 많은 발아 때문에 미생물구와 무처리구보다 높게 나타났다. 전체적으로 보면 월별 개체수의 변화는 미생물, 미생물+망, 무처리구의 순으로 나타나고 있으며, 7월 이후는 개체수가 점점 쇠퇴하는 경향을 보이고 있다.

처리구별 월별 발아 개체수의 변화는 그림 7, 8, 9와 같다. 그림 7에서 미생물처리구의 월별 발아 개체수의 변화는 산림부식토, 산림표층토, 혼합토 및 일반상토의 순으로 나타났으나, 그림 8을 보면 미생물+망처리구의 월별 발아 개체수 변화는 미생물처리구보다 높게 나타났다. 특히, 배양토에서도 혼합토가 6월 이후부터는 산림표층토보다 발아 개체수가 높게 나타났다.

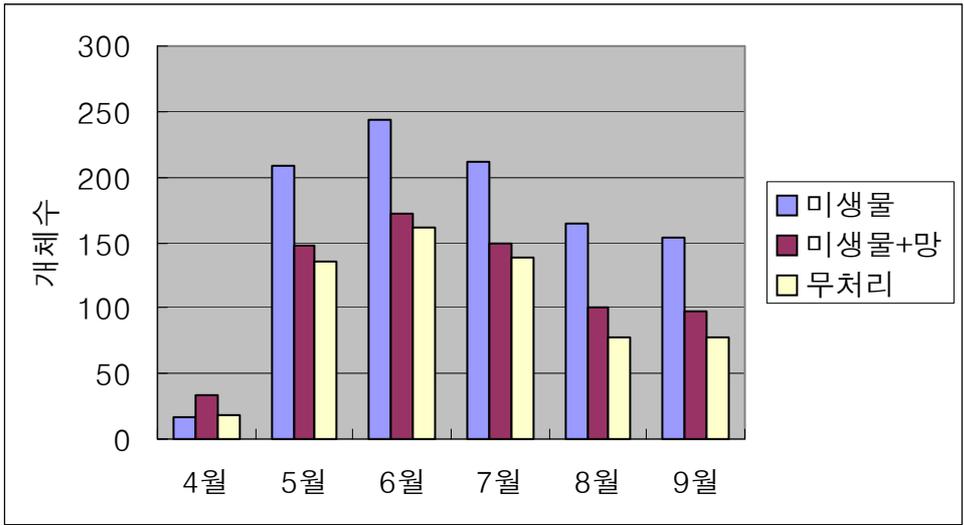


그림 6. 처리에 따른 월별 개체수 변화

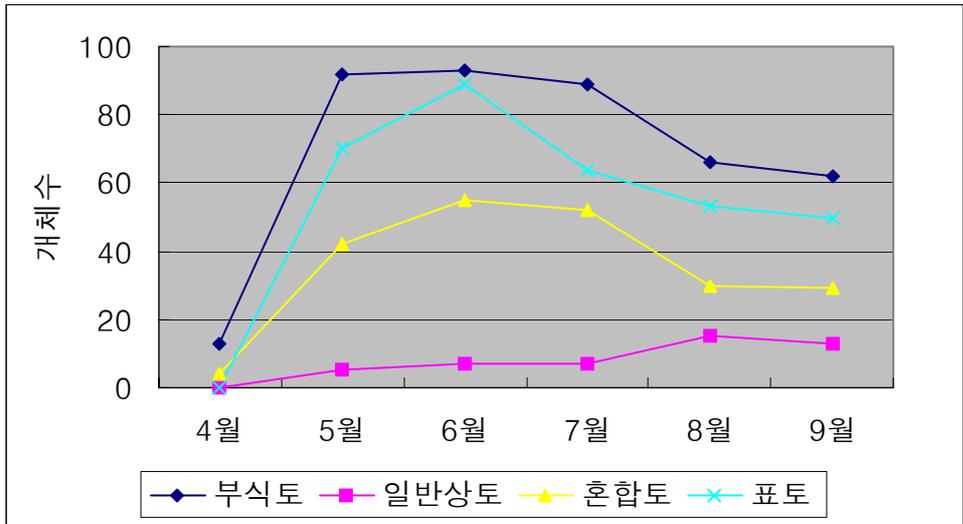


그림 7 미생물처리구의 월별 개체수 변화

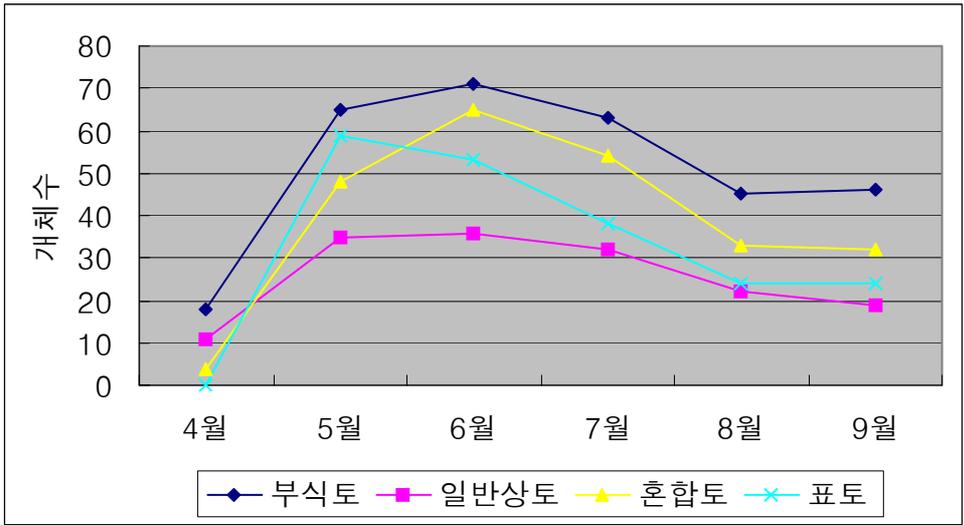


그림 8. 미생물+망치리구의 월별 개체수 변화

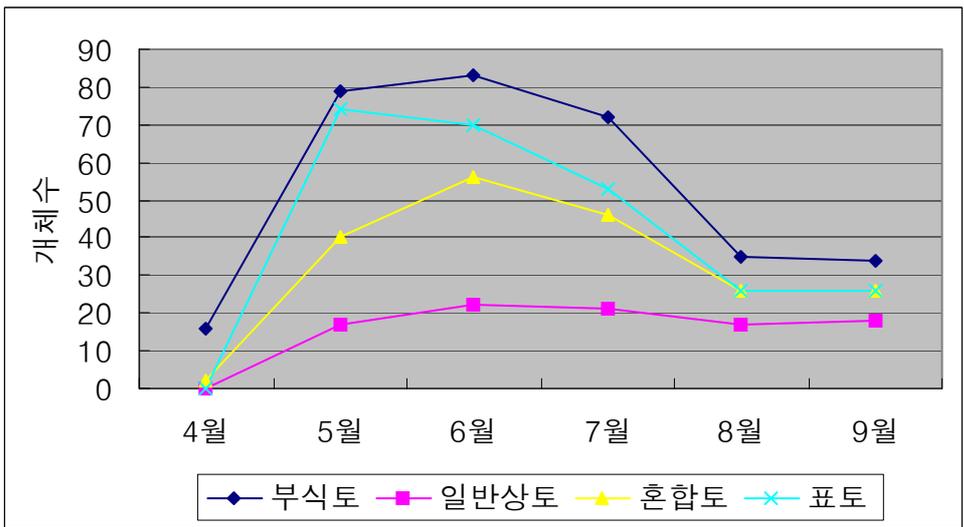


그림 9. 무처리구의 월별 개체수 변화

5) 초종별 발아 개체수의 변화

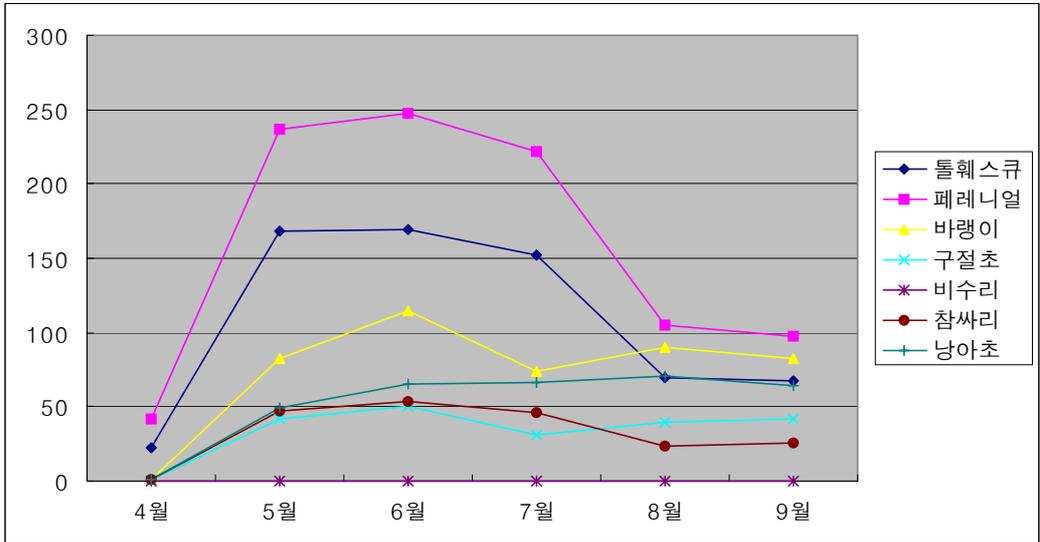


그림 10. 초종별 발아 개체수의 변화

초종별 발아 개체수의 변화는 그림 10과 같다. 그림 10를 보면 페레니얼, 툤희스큐, 바랭이, 낭아초, 참싸리, 구절초 순으로 나타났다.

배양토에 따른 초종별 발아 개체수의 변화는 표 18, 19, 20 및 21과 같다. 외래초종인 툤희스큐와 페레니얼 라이그라스는 산림부식토, 산림표층토, 혼합토, 일반상토의 순으로 개체수가 높게 나타났으며, 미생물처리구와 미생물+망처리구에서 많이 나타났다.

바랭이는 혼합토의 무처리구에서 가장 많이 나타났다. 구절초는 산림부식토에서 가장 많은 개체수가 발아하여으나, 일반상토에서는 발아가 되질 않았다. 특히, 비수리는 모든 배양토에서 발아가 되질 않아 비교적 당년에는 발아가 잘 되지 않는 것으로 나타났다. 참싸리와 낭아초는 모든 배양토에서 골고루 발아가 되었다. 참싸리는 산림표층토, 낭아초는 산림부식토에서 가장 많이 나타났다.

식재수종인 담쟁이는 활착이 잘되어 암벽변에 부착이 된 것도 있으며, 또는 수분부족으로 시들어 지는 것도 있으나 뿌리에서 새잎이 돋어나 성장하고 있어 비교적 잘 적응하고 있는 것으로 보인다.

표 18. 산림부식토에서 초종별 개체수변화

		툼웨스큐	페레니얼	바랭이	구절초	비수리	참싸리	낭아초
4월	미생물	9	4	0	0	0	0	0
	미생물+ 망	5	13	0	0	0	0	0
	무치리	1	12	0	1	0	1	1
5월	미생물	22	23	1	26	0	8	12
	미생물+ 망	26	32	0	0	0	1	6
	무치리	20	30	0	12	0	11	6
6월	미생물	22	27	1	26	0	8	9
	미생물+ 망	26	32	0	1	0	3	9
	무치리	20	30	0	16	0	11	6
7월	미생물	22	27	0	20	0	8	12
	미생물+ 망	24	29	0	0	0	2	8
	무치리	20	29	0	8	0	8	7
8월	미생물	10	14	2	19	0	2	15
	미생물+ 망	12	18	0	4	0	2	11
	무치리	7	6	1	11	0	6	8
9월	미생물	11	14	1	19	0	4	13
	미생물+ 망	13	17	0	5	0	3	8
	무치리	6	1	0	12	0	6	9

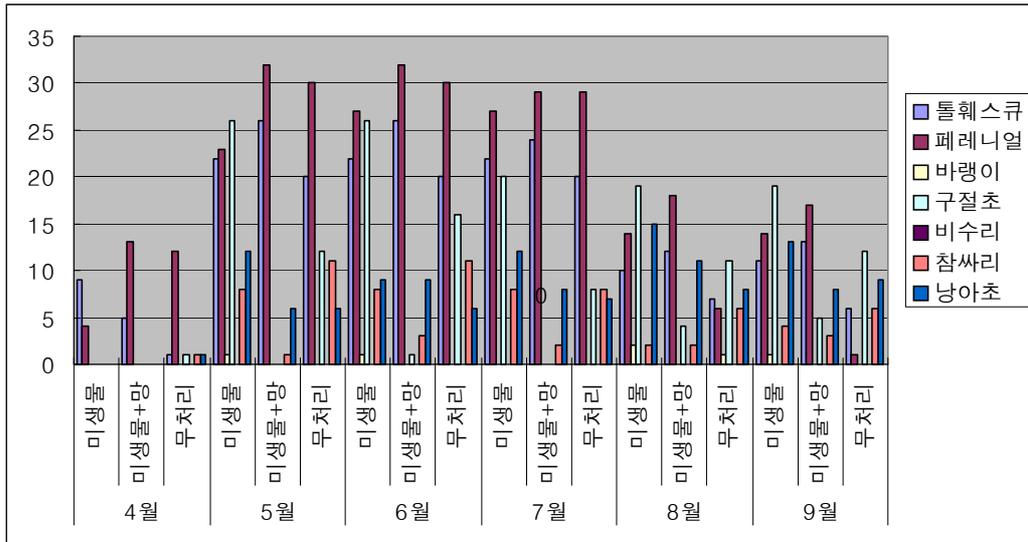


그림 11. 산림부식토에서 초종별 개체수변화

표 19. 일반상토에서 초종별 개체수 변화

		톨웬스큐	페레니얼	바랭이	구질초	비수리	참싸리	낭아초
4월	미생물	0	0	0	0	0	0	0
	미생물+망	4	7	0	0	0	0	0
	무처리	0	0	0	0	0	0	0
5월	미생물	4	1	0	0	0	0	0
	미생물+망	11	22	0	0	0	0	2
	무처리	8	5	0	0	0	0	4
6월	미생물	4	3	0	0	0	0	0
	미생물+망	11	18	0	0	0	1	6
	무처리	9	10	0	0	0	0	3
7월	미생물	4	3	0	0	0	0	0
	미생물+망	8	17	0	0	0	1	6
	무처리	9	9	0	0	0	0	3
8월	미생물	5	6	1	0	0	1	2
	미생물+망	10	9	1	0	0	0	4
	무처리	5	9	0	0	0	0	3
9월	미생물	5	5	0	0	0	1	2
	미생물+망	5	9	1	0	0	0	4
	무처리	5	10	0	0	0	0	3

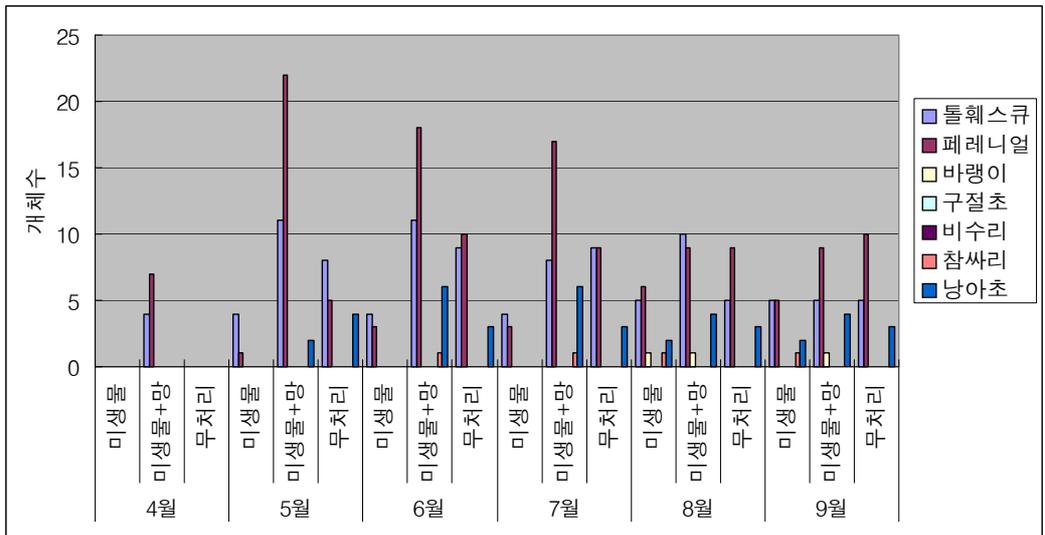


그림 12. 일반상토에서 초종별 개체수 변화

표 20. 혼합토에서 초종별 개체수 변화

		틀웬스큐	페레니얼	바랭이	구절초	비수리	참싸리	낭아초
4월	미생물	0	3	1	0	0	0	0
	미생물+망	2	2	0	0	0	0	0
	무처리	1	1	0	0	0	0	0
5월	미생물	5	18	14	1	0	2	2
	미생물+망	14	18	12	0	0	3	1
	무처리	0	10	18	0	0	6	6
6월	미생물	8	18	20	0	0	3	6
	미생물+망	18	24	16	1	0	3	3
	무처리	0	14	29	2	0	4	7
7월	미생물	7	18	19	0	0	3	5
	미생물+망	11	23	14	1	0	2	3
	무처리	6	7	23	0	0	3	7
8월	미생물	0	8	17	0	0	2	3
	미생물+망	5	5	18	2	0	2	5
	무처리	0	1	20	1	0	1	3
9월	미생물	0	7	17	0	0	2	3
	미생물+망	5	5	14	2	0	2	4
	무처리	0	1	20	1	0	1	3

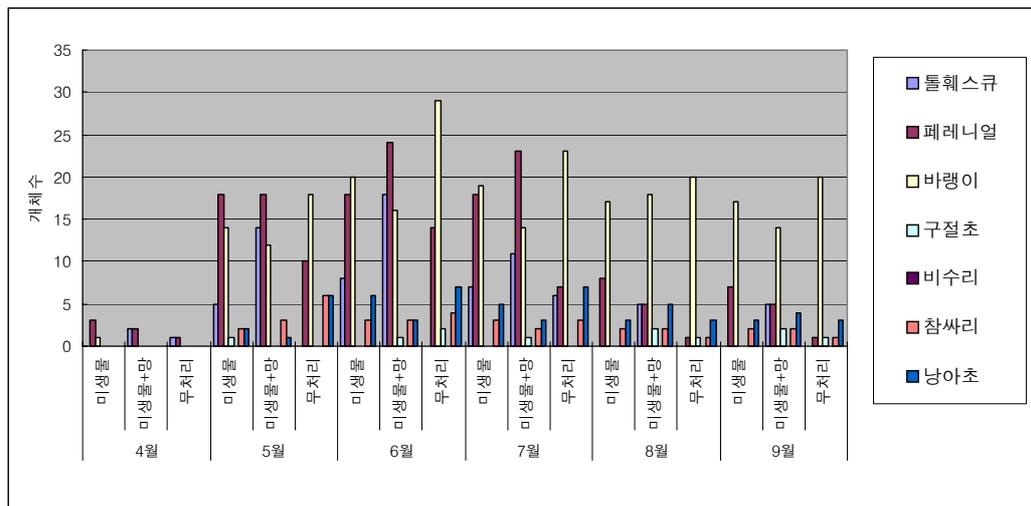


그림 13. 혼합토에서 초종별 개체수 변화

표 21. 산림표층토에서 초종별 개체수 변화

		톨웨스큐	페레니얼	바랭이	구절초	비수리	참싸리	낭아초
4월	미생물	0	0	0	0	0	0	0
	미생물+망	0	0	0	0	0	0	0
	무처리	0	0	0	0	0	0	0
5월	미생물	18	25	15	3	0	5	4
	미생물+망	15	29	8	0	0	4	3
	무처리	25	24	15	0	0	7	3
6월	미생물	19	28	21	4	0	8	9
	미생물+망	11	22	10	0	0	6	4
	무처리	21	21	18	0	0	7	3
7월	미생물	16	26	5	2	0	8	7
	미생물+망	8	18	3	0	0	4	5
	무처리	17	16	10	0	0	7	3
8월	미생물	8	16	15	3	0	4	7
	미생물+망	1	8	6	0	0	1	8
	무처리	7	5	9	0	0	3	2
9월	미생물	8	15	13	3	0	4	7
	미생물+망	3	8	7	0	0	0	6
	무처리	7	5	9	0	0	3	2

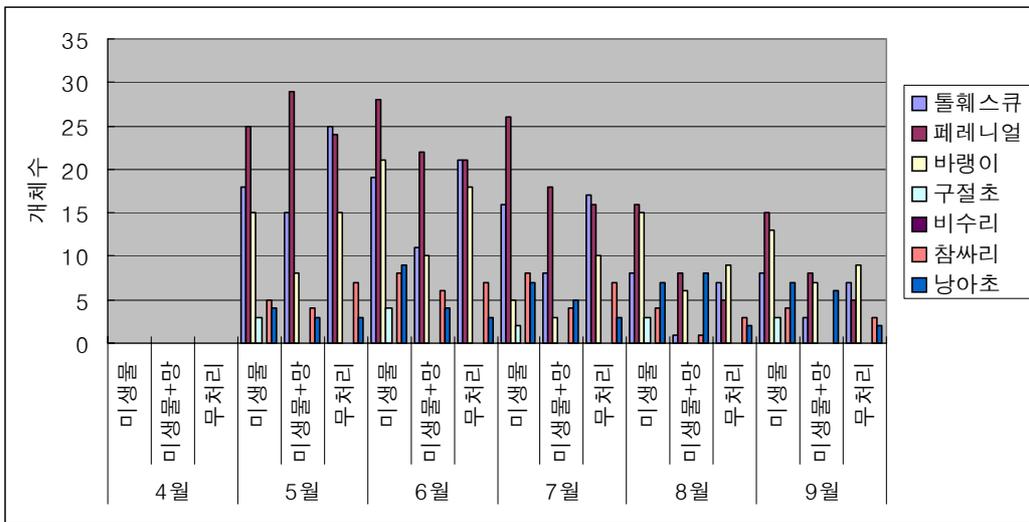


그림 14. 산림표층토에서 초종별 개체수 변화

표 22. 처리에 따른 초종별 개체수 변화

		톨웨스큐	페레니얼	바랭이	구절초	비수리	참싸리	낭아초
4월	미생물	9	7	1	0	0	0	0
	미생물+망	11	22	0	0	0	0	0
	무처리	2	13	0	1	0	1	1
5월	미생물	49	67	30	30	0	15	18
	미생물+망	66	101	20	0	0	8	12
	무처리	53	69	33	12	0	24	19
6월	미생물	53	76	42	30	0	19	24
	미생물+망	66	96	26	2	0	13	22
	무처리	50	75	47	18	0	22	19
7월	미생물	49	74	24	22	0	19	24
	미생물+망	51	87	17	1	0	9	22
	무처리	52	61	33	8	0	18	20
8월	미생물	23	44	35	22	0	9	27
	미생물+망	28	40	25	6	0	5	28
	무처리	19	21	30	12	0	10	16
9월	미생물	24	41	31	22	0	11	25
	미생물+망	26	39	22	7	0	5	22
	무처리	18	17	29	13	0	10	17

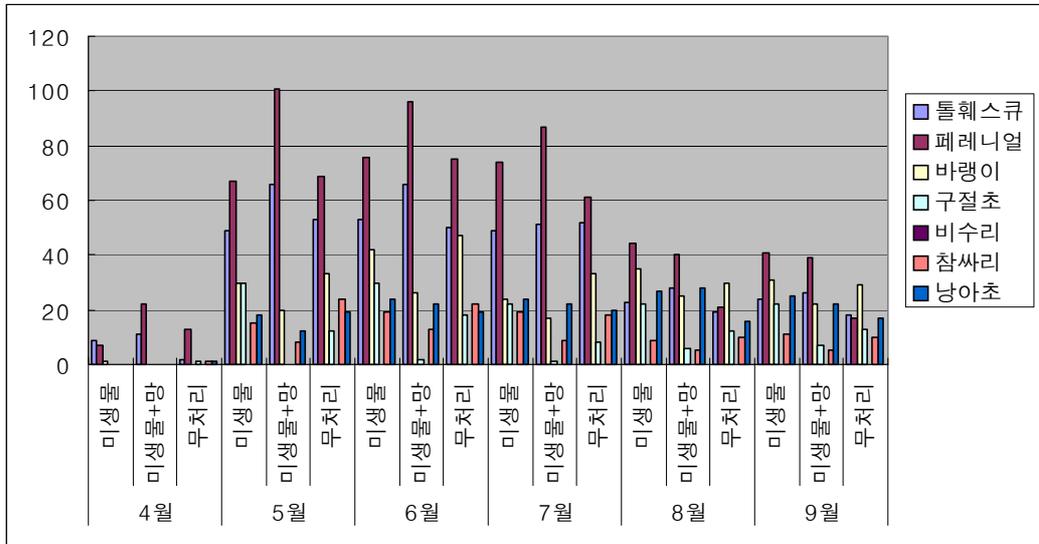


그림 15. 처리에 따른 초종별 개체수 변화

6) 성장량 변화

표 23. 산림부식토(A)에서의 초종별 성장량 변화

		톨웨스큐	페레니얼	바랭이	구절초	비수리	참싸리	낭아초
4월	미생물	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	미생물+망	1.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	무처리	0.2	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
5월	미생물	5.3	4.6	0.0	0.4	0.0	1.4	1.7
	미생물+망	4.4	5.7	0.0	0.0	0.0	0.5	0.8
	무처리	4.3	4.5	0.0	0.4	0.0	1.1	1.0
6월	미생물	7.8	6.9	0.1	1.6	0.0	3.3	3.5
	미생물+망	9.1	10.2	0.0	0.2	0.0	2.3	3.6
	무처리	8.3	8.3	0.0	1.0	0.0	3.5	3.0
7월	미생물	8.6	7.6	0.0	1.8	0.0	3.7	4.5
	미생물+망	10.3	11.5	0.0	0.0	0.0	1.9	3.0
	무처리	9.1	9.3	0.0	1.3	0.0	2.9	2.7
8월	미생물	10.2	7.3	3.6	2.7	0.0	2.1	9.0
	미생물+망	14.4	10.7	0.0	1.2	0.0	3.6	15.7
	무처리	6.6	2.9	7.1	1.6	0.0	3.1	13.8
9월	미생물	17.4	9.9	4.3	3.3	0.0	4.7	11.4
	미생물+망	17.4	11.2	0.0	2.1	0.0	5.8	21.5
	무처리	8.7	3.1	0.0	2.1	0.0	1.7	17.8

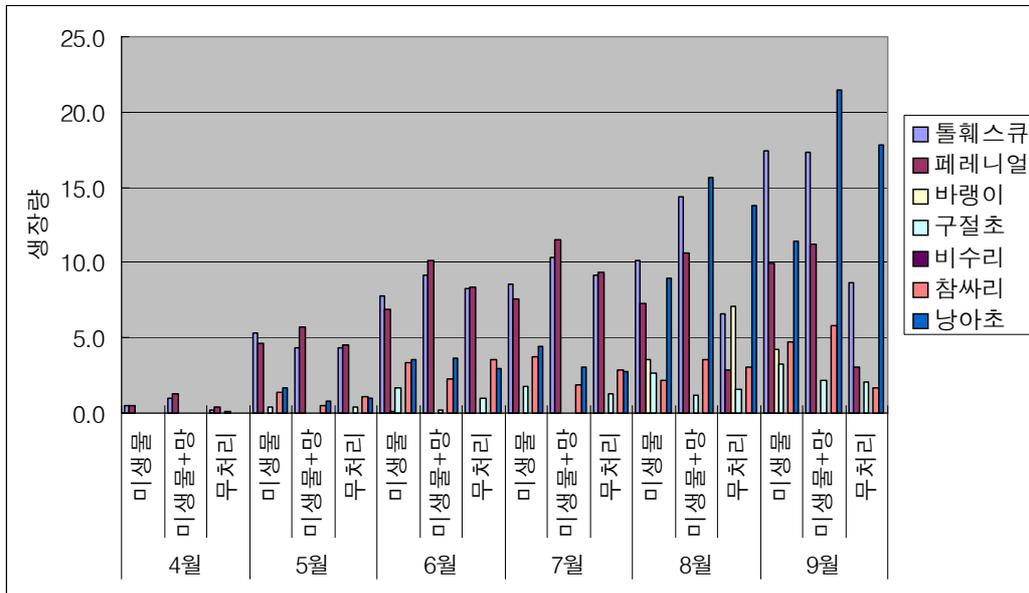


그림 16. 산림부식토(A)에서의 초종별 성장량 변화

표 24. 일반상토(B)에서의 초종별 성장량 변화

		틀웬스큐	페레니얼	바랭이	구절초	비수리	참싸리	낭아초
4월	미생물	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	미생물+망	0.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	무처리	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5월	미생물	0.6	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	미생물+망	2.3	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
	무처리	2.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
6월	미생물	1.8	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	미생물+망	5.2	5.2	0.0	0.0	0.0	0.8	3.1
	무처리	6.2	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1
7월	미생물	2.2	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	미생물+망	6.9	6.2	0.0	0.0	0.0	0.9	4.4
	무처리	6.4	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
8월	미생물	7.2	9.3	4.3	0.0	0.0	9.5	14.9
	미생물+망	16.7	6.5	5.0	0.0	0.0	0.0	18.5
	무처리	3.4	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3
9월	미생물	12.2	11.1	0.0	0.0	0.0	13.5	17.8
	미생물+망	22.4	7.2	6.1	0.0	0.0	0.0	31.2
	무처리	3.7	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5

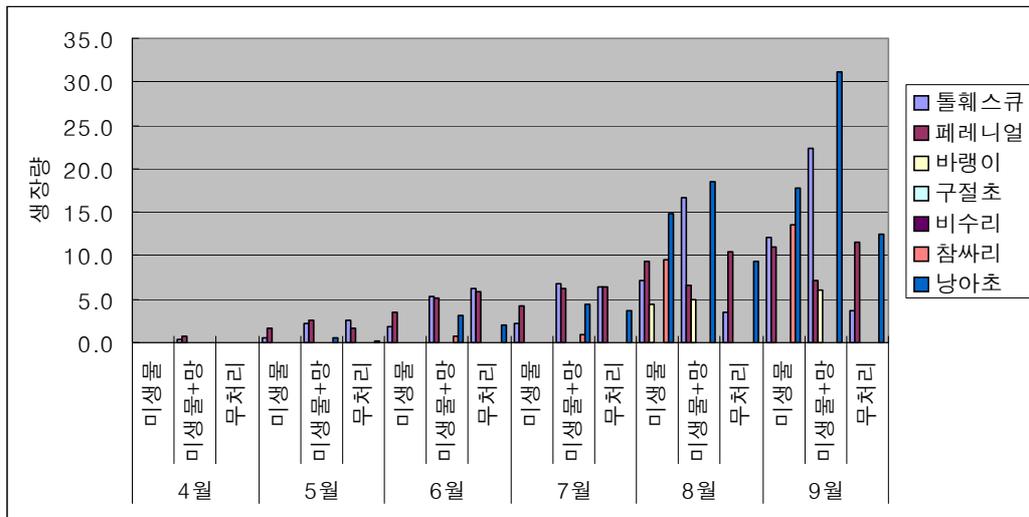


그림 17. 일반상토(B)에서의 초종별 성장량 변화

표 25. 혼합토(C)에서의 초종별 성장량 변화

		톨훼스큐	페레니얼	바랭이	구절초	비수리	참싸리	낭아초
4월	미생물	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	미생물+망	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	무처리	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5월	미생물	1.6	2.5	1.6	0.1	0.0	0.6	0.2
	미생물+망	2.2	3.4	0.8	0.0	0.0	0.7	0.6
	무처리	0.0	3.8	1.0	0.0	0.0	0.6	0.9
6월	미생물	4.6	4.9	3.7	0.0	0.0	1.9	1.6
	미생물+망	6.4	7.6	1.9	0.3	0.0	2.6	2.1
	무처리	0.0	5.3	2.3	0.3	0.0	1.8	2.1
7월	미생물	4.7	5.7	5.7	0.0	0.0	2.2	2.0
	미생물+망	6.5	8.7	2.8	0.5	0.0	2.6	2.3
	무처리	3.1	5.2	5.1	0.0	0.0	3.1	3.2
8월	미생물	0.0	2.7	15.7	0.0	0.0	1.9	10.2
	미생물+망	6.2	2.1	17.1	1.3	0.0	7.5	11.5
	무처리	0.0	1.0	25.1	0.4	0.0	1.6	13.4
9월	미생물	0.0	3.4	29.8	0.0	0.0	2.7	12.7
	미생물+망	10.9	2.7	32.1	2.4	0.0	10.5	15.3
	무처리	0.0	1.1	51.6	0.5	0.0	2.1	15.6

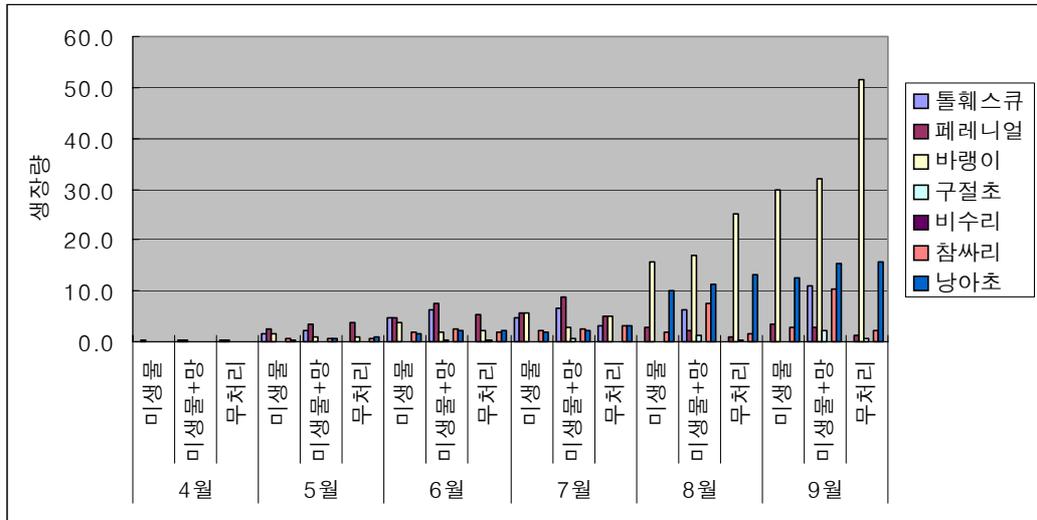


그림 18. 혼합토(C)에서의 초종별 성장량 변화

표 26. 산림표층토(D)에서의 초종별 성장량 변화

		톨웨스큐	페레니얼	바랭이	구절초	비수리	참싸리	낭아초
4월	미생물	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	미생물+망	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	무처리	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5월	미생물	1.8	3.0	0.4	0.1	0.0	0.9	0.6
	미생물+망	2.4	3.6	1.4	0.0	0.0	0.5	0.7
	무처리	3.1	3.4	0.6	0.0	0.0	0.4	0.6
6월	미생물	4.9	6.0	0.9	0.1	0.0	1.7	1.4
	미생물+망	3.9	4.7	2.0	0.0	0.0	0.9	2.5
	무처리	4.0	4.6	1.3	0.0	0.0	1.3	1.2
7월	미생물	5.3	7.0	0.8	0.1	0.0	1.9	1.7
	미생물+망	4.4	5.4	0.8	0.0	0.0	1.1	3.0
	무처리	3.8	4.5	0.7	0.0	0.0	1.3	1.6
8월	미생물	5.6	8.3	19.7	0.4	0.0	8.1	12.7
	미생물+망	7.9	4.3	19.2	0.0	0.0	0.0	23.9
	무처리	5.7	3.9	17.0	0.0	0.0	3.3	6.3
9월	미생물	7.7	9.1	27.6	0.7	0.0	10.3	18.5
	미생물+망	9.6	4.8	26.4	0.0	0.0	0.0	32.1
	무처리	7.0	5.0	21.7	0.0	0.0	4.3	9.1

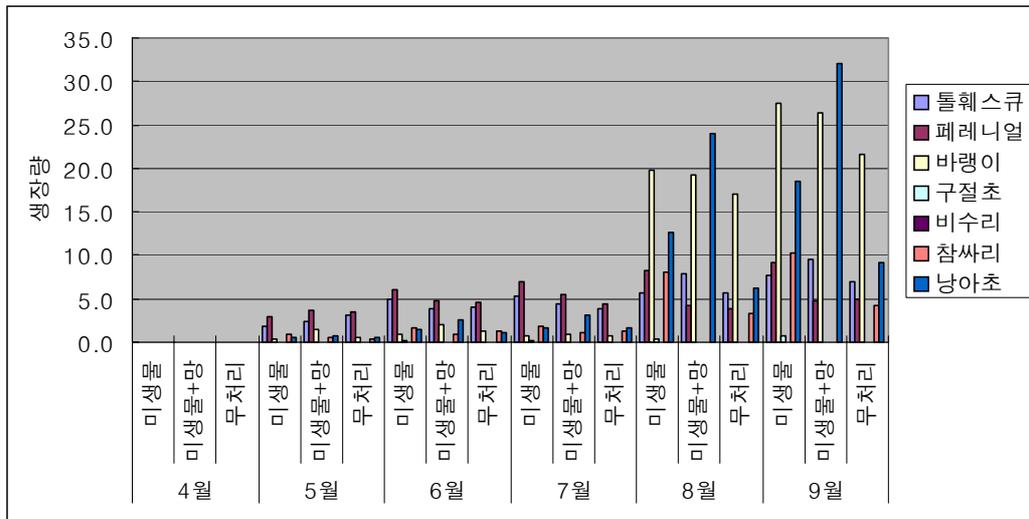


그림 19. 산림표층토(D)에서의 초종별 성장량 변화

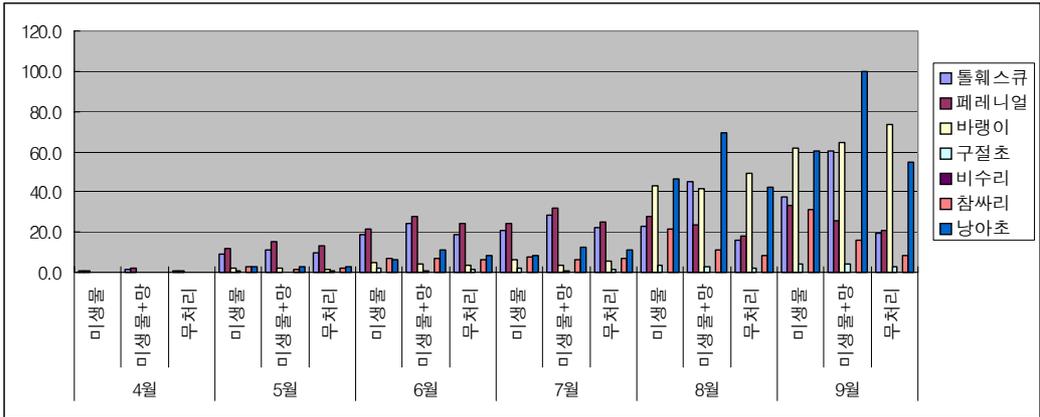


그림 20. 처리에 따른 초종별 성장량 변화

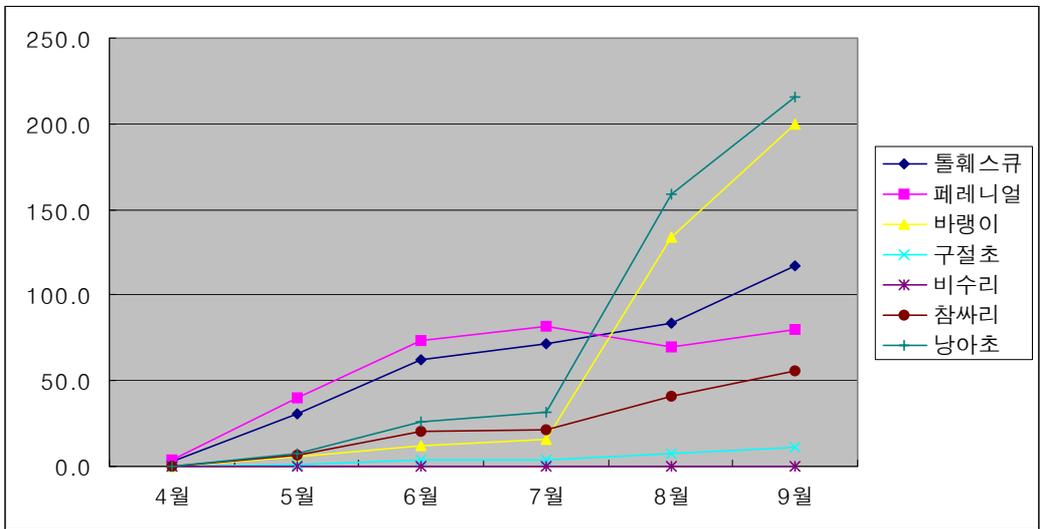


그림 21. 초종별 성장량 변화

배양토중 산림부식토(A)의 성장량 변화는 표 23, 그림 16과 같다. 표 23을 보면 4월과 7월에 톨웬스큐, 페레니얼이 많이 성장하였으나 8월이후 페레니얼의 성장량이 감소 하였다. 7월 이후 낭아초가 급격히 성장하였다.

미생물처리구의 경우 톨웬스큐와 낭아초, 미생물+망처리구는 낭아초가 많이 성장하였다. 일반상토(B)의 성장량 변화는 표 24, 그림 17에서 보는 바와 같이 대체적으로 성장량이 적었으나 7월이후 미생물+망처리구에서 낭아초가 급격히 성장하였다. 처리별 성장량은 미생물+망처리구>미생물처리구>무처리구 순으로 나타났으며 7월 이전까지는 페레니얼과 톨웬스큐가 많았으나 7월 이후 낭아초가 많은 성장을 하였다. 혼합토(C)의 성장량 변화는 표 25, 그림 18과 같다. 그림 18에서 보는바와 같이 바랭이가 모든 처리구에서에서 많이 성장하였으며 7월이후 많이 성장하였다. 산림표층토(D)는 표 26, 그림 19와 같다. 산림부식토(A)와 같이 7월이전까지는 외래초종의 생장이 좋았으나 이후 바랭이와 낭아초의 생장이 급격히 증가하였다. 특히 미생물+망처리구에서 낭아초가 급격한 성장을 하였다.

그림 21에서 초종별 월별 성장량의 변화를 보면 4월부터 7월까지는 페레니얼, 톨웬스큐, 낭아초, 참싸리, 바랭이, 구절초순으로 일정한 성장패턴을 보였으나, 7월까지 가장 많은 성장을 하였던 페레니얼은 성장량이 감소하기 시작하였다. 특히, 7월 이후 낭아초 및 바랭이의 생장은 급속하게 증가하였고, 참싸리와 톨웬스큐도 9월까지 꾸준하게 성장을 하고 있는 것으로 나타났다.

이상과 같이 석산개발지역의 천공녹화 실험결과 배양토는 산림부식토>산림표층토>혼합토>일반상토, 처리는 미생물+망처리구>미생물구>무처리구 순으로 양호하게 나타났다. 초종별로는 페레니얼>톨웬스큐>바랭이>구절초>낭아초>참싸리 순으로 나타났다. 산림부식토의 유기물과 미생물, 그리고 망 처리에 의한 수분유지와 햇빛의 차단이 초기 발아에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 월별 개체수에서 배양토는 발아량의 실험과 같이 산림부식토, 산림표층토, 혼합토, 일반상토 순으로 나타났으며 6월까지는 개체수가 증가하다가 서서히 감소하는 경향을 보였다. 처리별로는 미생물처리>미생물+망처리>무처리 순으로 나타났다. 성장량 조사결과 미생물처리와 미생물+망처리구에서 7월까지 톨웬스큐가 많은 성장을 하였다. 특히 미생물 +망처리구에서 낭아초가 급격한 성장을 보였다.

#### 다. 공법특성 평가

산지가 채석장으로 개발되기 전에는 수자원, 수질, 대기, 자연경관 등의 보존이 잘 되어 있으나 채석장으로 개발된 이후에는 이들 환경이 파괴되고 산지의 지형이 변하게 된다. 훼손된 지역의 산림을 원상으로 회복하는 것은 불가능하지만 가능한 산림을 복구하기 위하여 녹화를 실시하는 것은 채석장의 개발이 완료된 후 대단히 중요한 조치이다. 산이 채석으로 인하여 평지가 되므로 지역사회에 기여하는 경우도 있을 수 있으나 대부분의 경우는 복구를 하지 않으면 안된다. 채석장은 채굴이 완료되면 반드시 크고 작은 사면이 남는다. 채석장의 특성으로 보아 이들 잔벽은 거의 수직벽으로 남아 있는 경우가 많다. 일반적으로 잔벽의 구배는 채석업자의 경영적인 측면에서 가능한 많은 채석을 위하여 거의 수직으로 형성하고 있다. 녹화의 관점에서 보면 소단의 폭이 2m이하이면 나무를 심기가 어려우므로 무엇보다도 소단의 경사를 45° 이하로 유지하고 폭을 넓게 하여 높이는 가능하면 5m 정도로 하는 것이 이상적이다. 그러나 채석업자의 입장에서는 가능한 많은 채석을 위하여 거의 수직으로 잔벽을 남기다 보니 소단의 형성에 부정적인 견해가 많다.

채석장의 개발 시 경영에 무리가 없고 잔벽의 녹화에 큰 지장을 주지 않는 범위 내에서 소단의 폭을 정하여 산림을 복구 및 녹화하는 기술의 개발이 꼭 필요하다. 잔벽의 형성에 따른 근본적인 조치는 소단을 만들어 나무를 심고 녹화를 유도하면서 자연경관을 유지하고 잔벽이 붕괴되지 않도록 토류 시설을 하고 낙석의 위험이 있는 지역에는 보호망을 설치하도록 해야 한다.

천공녹화공법은 채굴이 완료된 후 한꺼번에 녹화를 하는 것이 아니고 맨 위 정상 부분부터 채굴이 끝난 잔벽에 대하여 천공을 하여 단계별로 녹화를 실시하는 방법을 말한다. 일시에 자연 상태로 복구 되는 것이 아니고 충분한 시간을 두고 자연 상태로 회복되기 때문에 경영상의 무리도 별로 없다.

천공녹화공법은 채석지의 잔벽면 또는 연암 및 경암의 암반사면을 대상으로 하여 녹화하는 공법으로서 채굴이 끝난 채석지 잔벽면이나 암반사면의 표면에 천공기로 깊이 10cm, 직경10cm 내외의 구멍을 뚫어 녹화화분에 배양토를 넣어 점적인 방법으로 조기에 녹화 할수 있는 공법이다.

식생기반재인 배양토(산림부식토, 산림표토)를 만들어 녹화종자를 넣고 미생물을 첨가하여 식생활착에 최상의 조건을 만들어 주며, 식생기반재를 특수하게 만든 녹화화분에 담안 암반비탈면의 천공 내에 넣어 조기에 녹화를 유도하게 된다.

특히 채굴이 끝난 채석지 잔벽면에 위에서부터 아래로 단계적으로 시공하므로 채굴 중이더라도 자연친화적으로 녹화를 하면서 채석작업을 할 수 있는 공법적 특징을 가진다.

천공녹화공법은 과중공법으로 분류할수 있으며 초본, 관목을 사용하여 암반사면을 녹화할수있다. 암반사면경사 45°미만, 45~60°, 60°이상의 모든 경사에 사용할 수 있으며 또한, 토양경도, 사면높이, 방위에 제한을 받지 않는 공법이다.

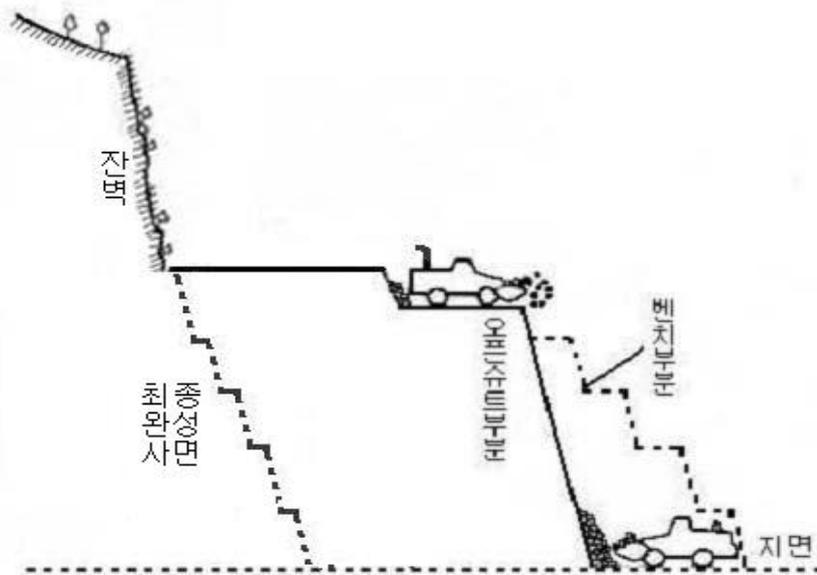


그림. 22 천공녹화공법에 의한 단계별 녹화진행 모식도

이 천공녹화 공법의 시행순서는 그림 22와 같이 상부로부터 내려오면서 벤치 커트 (Bench Cut)에 의하여 채굴을 하고 난 후 계획된 최종 잔벽에 천공을 하여 녹화를 시키고, 또 그 아래사면에서 채굴이 끝나면 최종 잔벽상에 천공을 하고 단계별로 서서히 녹화를 진행시켜 모든 잔벽에 대하여 녹화효과를 점진적으로 시공하는 스텝다운(Step-down)식 천공녹화 공법이다.

본 공법은 석산개발회사에서 가지고 있는 천공기를 이용하여 잔벽상에 가로 및 세로 방향으로 여러 가지 모양으로 깊이 15~20 Cm 정도 깊이로 천공을 한다. 녹화화분상에 여러 가지 침식방지제, 토양개선편제 등으로 배양토를 조제하여 종자, 비료, 미

생물을 잘 썬 후, 잔벽상에 천공된 부위에 이 녹화화분을 넣어으므로 식생을 유도하여 잔벽을 녹화시키는 공법이다. 특히, 암반비탈면에 생육이 좋은 식생을 선발하여 조기에 잔벽면을 녹화할 수 있는 새로운 공법이라 할 수 있다.

일반적으로 토사, 경질토사 등에는 줄떼·평떼심기와 Seed Spray에 의한 조기녹화 방식을 적용하여 왔으나, 최근에는 침식을 방지할 수 있는 천연섬유망을 피복하거나 종자가 부착된 네트나 매트, 식생대 등의 공법들이 사용되고 있다. 주연부의 현장여건에 적합한 공법들이 사용되어야 하는데, 조기녹화에만 치중하지 말고 주변 식생의 침입을 저해하지 않는 복구방법이 적용되어야 한다.

특히, 암반비탈면에는 새집공법, 암반부분녹화공법, 식생기반재뿌어붙이기공법 등을 적용하고 있으며, 비탈면 주연부의 리핑 및 풍화암지역에는 개량 Seed Spray 공법을 적용하여 녹화를 해 오고 있다. 식생기반재뿌어붙이기는 시공방식과 기계에 따라 건식과 습식으로 구분한다. 건식 식생기반재뿌어붙이기는 급경사 암반 잔벽에 적용하며, 습식 식생기반재뿌어붙이기는 요철이 있는 암반 비탈면에 적용한다. 식생기반재뿌어붙이기로 녹화하는 식생은 외래 도입초종보다는 자생 초·목본 종자를 중심으로 배합하여 가급적 주변 식생구조와 유사한 식생구조로 복구하여야 한다. 암반비탈면에 많이 적용하고 있는 일반적인 공법들을 설명하면 다음과 같다.

#### 1) 건식 식생기반재뿌어붙이기공법

##### 가) R/S녹생토공법

경암의 비탈면에 시공하는 공법으로 전면적인 속성 녹화를 목표로 한다. 암반경사도 및 면적에 따라 취부 두께와 소요 경비가 산출되므로 사전 조사를 철저히 하여야 한다. 비탈면의 불필요한 부분을 정리한 후 공장에서 배합된 토양자재와 미생물혼합자재를 비탈면에 운반하여 현지에서 종자와 혼합하고 사람이 직접 비탈에 매달려 고압분사기에 장착된 노즐로 분사하는 건식 식생기반재뿌어붙이기를 한다. 시공 후에도 균열이 많이 생겨 붕락 및 붕괴의 우려를 보완한 R/S녹생토공법이 주로 이용되고 있다. 현재 R/S녹생토공법 외에도 정수슬러지를 이용하는 등 유사한 기술들이 많이 개발되어 사용되고 있다.

#### 나) 연속장 섬유공법(Texol)공법

경암의 급경사 비탈면에 적용한다. 프랑스 국립도로 및 교량연구소에서 개발된 것을 국내 실정에 적합하도록 응용한 기술이다. 모래를 압축공기로 타설하면서 동시에 폴리에스터 화학섬유를 고압수로 뿌린 후 잘 다지면 모래와 실이 뒤엉켜 모래 입자들이 흐트러지지 않는 점착강도를 발휘하면서 텍솔구조물이 형성된다. 텍솔의 강도는 모래의 입도와 실의 특성에 의해 결정되며, 텍솔 1m<sup>2</sup>당 2~4kg의 연속장섬유가 소요된다.

#### 다) 프로피아 그린(Propia Green) 공법

유기질 부속비료와 선별토양의 혼합배양토에 Propia Green(녹화토양안정제)를 혼합하여 고화 수화물생성과 포조란 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.

#### 라) PEC4 공법

유기재 인공토양을 뿔어붙이기하는 공법으로 바크를 주 식생기반재로 이용한다. 식물 생육을 위한 식생기반재를 부착시키기 위하여 PVC코팅 능형망을 앵커핀으로 고정한 후 PEC 식생기반재를 50~100mm 두께로 뿔어 붙인다. 능형망을 설치하여 낙석 방지효과를 도모하고 식생의 생육기반에 없는 암반지역의 녹화도 가능하다. 염기치환용량이 높아 질소, 칼륨 등의 비료성분을 전기적으로 결합하여 토양구조를 개선시키며, 토양중 유해물질 또는 수소 이온의 농도가 편중되어 있는 경우 식물의 생리장해를 완화하는 완충능력을 가지고 있다.

#### 마) 한국형 암반부분녹화공법

절개된 암벽비탈면에 균열부나 흠 등을 이용하여 식생을 도입하는 공법으로 균열이 없는 경우에는 직경 10cm 내외의 구멍을 천공하거나 폭약을 이용하여 발파를 하여 생긴 요철부를 식생 생육기반으로 하며, 암반 식생천이 후기에 나타나는 자생 암반수종의 종자 또는 파종립을 직파조립하는 부분녹화공법이다. 이 공법은 균열이 있

는 경암비탈면에 주로 적용되며, 연암비탈면은 낙석 및 붕락의 우려가 있으므로 주의해서 적용하여야 한다.

## 2) 습식 식생기반재뿔어붙이기공법

### 가) 자연표토 복원공법

산림토양의 토양단면을 층별로 재현함으로써 훼손된 자연지역을 주변식생과 생태적, 경관적으로 조화되게 복구하는 공법이다. 약간의 굴곡이 있는 암반이나 리핑·풍화암, 경질토사, 산성토지 등 녹화가 곤란한 지역에 식물의 생육에 가장 적합한 고차원의 단립구조(團粒構造)를 지닌 자연표토를 유기질과 점토를 포함한 식양토를 이용해 재생하는 친환경적인 환경복원기술이다. 주로 목본류의 식생정착을 위해 종자를 이용하여 조성하는 공법이며, 산림토양의 토양단면을 층별로 재현함으로써 훼손된 자연지역을 주변식생과 생태적·경관적으로 조화되게 복구하는 공법으로 발전하고 있다. 침식되지 않도록 뿔어붙인 식생기반재의 토양 경도가 식생침입이 용이한 25mm 이하로 유지되는 특성이 있어 훼손지 주연부에 시공하면 목본의 자연침입이 용이한 장점이 있을 것으로 판단된다.

### 나) ASNA 공법(비탈면 배토습식공법)

Artificial Soil Net Agglutination의 약칭으로 암반에 식생매트를 접착시켜 지속적인 식생대가 형성되도록 특수 개발된 인조토양(Artificial Soil)에 식물성접착제를 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 셀룰로이스, 비료분, 침식방지제를 섞어 식물이 생육할 수 있도록 기반재를 조성하는 공법이다. 요철, 균열이 심한 암절취면, 세굴이 발생하는 절토면에 시공하며, 토질과 시공시기에 따라 시공두께를 달리하여 적용하는 습식 중비토뿔어붙이기공법이다.

### 다) NGR 녹화공법

NGR(Native Groundcovers Restoration)공법은 한국의 자생식물을 주요 식물소재로 사용하는 경관생태적인 환경복원녹화 공법을 의미하며, “자생식물 녹화공법”으로 부른다. 도로공사나, 골프장을 비롯한 리조트단지의 암절개지, 암벽, 토사절개지, 도

로변, 화단 등 녹화대상지에 따라 선구종 향토식물과 산림형 목본식물 그리고 특수 처리된 자생식물 영양체(Sprigs, Roots, Plantets)를 혼합하여 시공함으로써 도로 및 리조트단지 등의 비탈면, 도로변, 고수호안과 호안블럭 나대지 등을 조기에 녹화함과 동시에 자연스럽게 아름다운 경관이 조성될 수 있도록 개발된 경관생태적인 녹화공법이다.

타 공법과의 특성 및 분류항목별 적용성 평가에 의한 공법 비교는 표 27, 표 28과 같다.

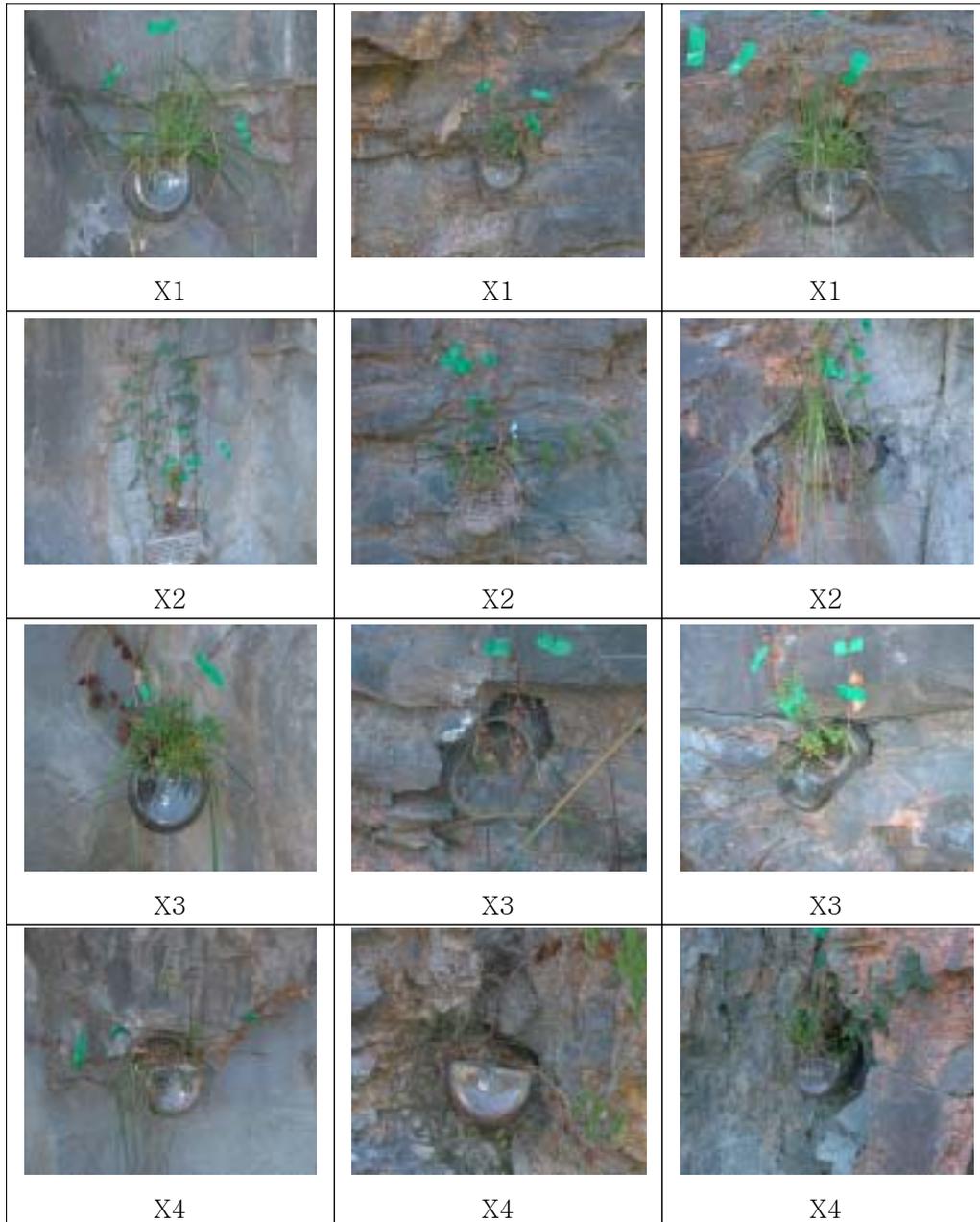
표 27. 암반 비탈면 녹화공법의 비교

공법	적용지역	특징
녹생토	경암지역 발파암지역	-암절개지의 전면적인 속성녹화를 목표 -배합토의 경화효과가 빠르고 집중호우시 사면보호효과가 우수함 -주변식생의 천이가 잘 이루어지지 못하고 하자율이 높은 단점을 가짐
SF녹생토	균열이 있는 암사면, 경질토사, 모래땅, 점토비탈면, 산성토지	-산림토양의 토양단면을 층별로 재현함으로써 훼손된 자연지역을 주변 식생과 생태적 · 경관적으로 조화되게 복구하는 공법 -자연표토를 유기질과 점토를 포함한 식생토를 이용해 재생하는 복원기술로 주로 목본류의 식생정착을 유도하는 공법
텍솔 (TEXSOL) 연속 장섬유	급경사의 암반비탈면, 표층붕괴우려와 침식과 세굴이 예상되는 사암 및 마사토면에도 적용가능	-모래를 압축공기와 타설하면서 동시에 폴리에스터 화학섬유를 뿌린 후 잘다지면 모래와 실이 뒤엉켜 모래입자들이 흐트러지지 않는 정착강도를 발휘하여 전단강도를 증가시키는 연속장섬유 보강토 공법 -암절취사면의 낙석방지 및 풍화를 방지하고, 강우시 토사유출을 방지하며 우수한 녹색환경 제공
원지반 식생정착 (CODRA)	요철이 많은 발파암 풍화암 및 리핑암 이하 토사비탈면	-조기녹화는 물론 자연천이의 촉진을 통한 생태계 형성 및 이전 생태계로의 신속한 복귀를 위해 개발한 공법 -인위적인 시설물이나 재료(망, 인공토양)의 도입을 억제하고 자연이 지닌 복원력을 이용하여 지반에 직접 식물을 정착시키는 방법 -유기질 자재를 주로 사용하는 공법으로 취부두께를 2cm이하로 설계
PEC	경암, 풍화암, 리핑암	-천연소재인 바크퇴비와 접착제 등을 식생기반재로 사용 -암반 비탈면을 녹화하고 미생물의 증식을 촉진시켜 식생 정착에 최상의 조건을 만들어줌 -식생기반재: 바크퇴비, 코코피트, 황토, 발효뽕짚, 왕겨 등
법면녹화 배토습식	연암, 풍화암, 발파암	-암절토부의 표면풍화지역과 세굴낙석방지 등 노출부위의 연소적인 녹화를 위한 공법 -결성토 지역 및 암절토부에 P.V.C코팅망(능형망), 보조양카, 주양카로 지반을 안정시킨 후 식생대가 형성되도록 개발한 배토습식 녹화
부분녹화	경암비탈면	-식재가능지를 부분적으로 선택하여 식재공을 조성한 후 배양토로 덮채움하고 인위적으로 육묘된 강건묘를 식재 -강건묘목을 묘포에서 채배하여 암반비탈면에 이식하거나 폭파 식재하는 공법 -시공시 인부가 비탈면에 직접 올라가 시공하므로 위험성이 높고 단기간의 녹화효과를 떨어지는 편임
새집	암석을 채굴하고 깎아낸 요철이 많은 암절토부	-테라스 소단 포켓공법 -점적인 식생효과 -암벽표면 요철부에 석재 등으로 제비집 모양과 같은 반원형 구축물(길이 2m내외, 높이 0.5~1m내외 돌담)을 설치 후 식재
천공녹화 공법	채석지 잔벽면 또는 연암 및 경암의 암반사면	-채굴이 끝난 채석지 잔벽면이나 암반사면의 표면에 천공기로 깊이 15cm, 직경 10cm내외의 구멍을 뚫어 녹화화분에 배양토를 넣어 점적인 방법으로 조기에 녹화를 할 수 있는 공법 -식생기반재인 배양토(삼립부식토, 산림표토)를 만들어 녹화종자를 넣고 미생물을 첨가하여 식생활착에 최상의 조건을 만들어 줌 -식생기반재를 특수하게 만든 녹화화분에 담아 암반비탈면의 천공 내에 넣어 조기에 녹화를 유도하게 됨 -특히 채굴이 끝난 채석지 잔벽면에 위에서부터 아래로 단계적으로 시공하므로 채굴중이더라도 자연친화적으로 녹화를 하면서 채석작업을 할 수 있는 공법임

표 28. 국내 사면녹화공법에 대한 분류항목별 적용성 평가에 의한 공법 설정표

구분	녹화공법	녹화목표			토질 조건		사면경사					토양경도		사면높이			방위	
		초본	관목	수림	암반	토사	암반사면			토사 사면		25° 미만	25° 이상	20m 미만	20~40m	40m 이상	북동방향	남서방향
							45° 미만	45~60°	60° 이상	35° 미만	35° 이상	25° 미만	25° 이상	20m 미만	20~40m	40m 이상		
초식공법	떼붙이기공법 (평떼붙이기)	○	×	×	×	○	-	-	-	○	×	×	○	○	△	○	△	
	NET잔디공법	○	×	×	×	○	-	-	-	○	△	△	○	△	△	○	△	
과중공법	Seed Spray	○	×	×	×	○	-	-	-	○	△	△	○	○	○	○	△	
	그물망공법	○	×	×	△	○	○	△	×	○	△	△	○	○	△	○	○	
	NET+ 종자분사파종 공법 (coirnet, jute net)	○	×	×	△	○	○	△	×	○	△	△	○	○	△	○	△	
	Straw Spray공법 (벗길거적덮기)	○	×	×	×	○	-	-	-	○	△	△	○	△	×	○	△	
	종자매트공법 (론생벚짚, 론생네트)	○	△	×	×	○	-	-	-	○	△	○	○	△	△	○	○	
	객토Spray공법	○	△	×	×	○	-	-	-	○	△	○	○	△	×	○	○	
	NGR공법 (자생식물녹화공법)	○	△	×	△	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	△	
	원지반식생정착공법 (CODRA)	○	△	×	△	○	○	△	×	○	△	○	○	○	○	○	△	
	PEC1,2,3공법	○	△	△	△	○	○	△	×	○	△	○	○	○	○	○	△	
	PEC4공법	○	○	△	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	△	○	△	
	녹생토공법 (R/S녹생토공법)	○	△	×	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	△	○	△	
	SF분사녹화공법 (자연표토복원공법)	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	△	
	텍솔공법	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	
	법면녹화배토 습식공법 (ASNA공법)	○	△	△	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	△	
	<b>천공녹화공법</b>	○	○	△	○	×	○	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	
	식재공법	덩굴식물 식재공법	○	×	-	○	-	○	○	○	-	-	-	○	○	○	○	○
차폐수벽공법		×	○	△	○	-	○	○	○	-	-	-	○	△	×	○	○	
소단상 객토식재공법		×	○	×	○	-	○	○	○	-	-	-	○	○	○	○	○	
암반사면부분녹화공 법		×	○	△	○	-	○	△	×	-	-	-	○	△	△	○	○	
새집붙이기공법		×	○	×	○	-	○	△	×	-	-	-	○	△	△	○	△	

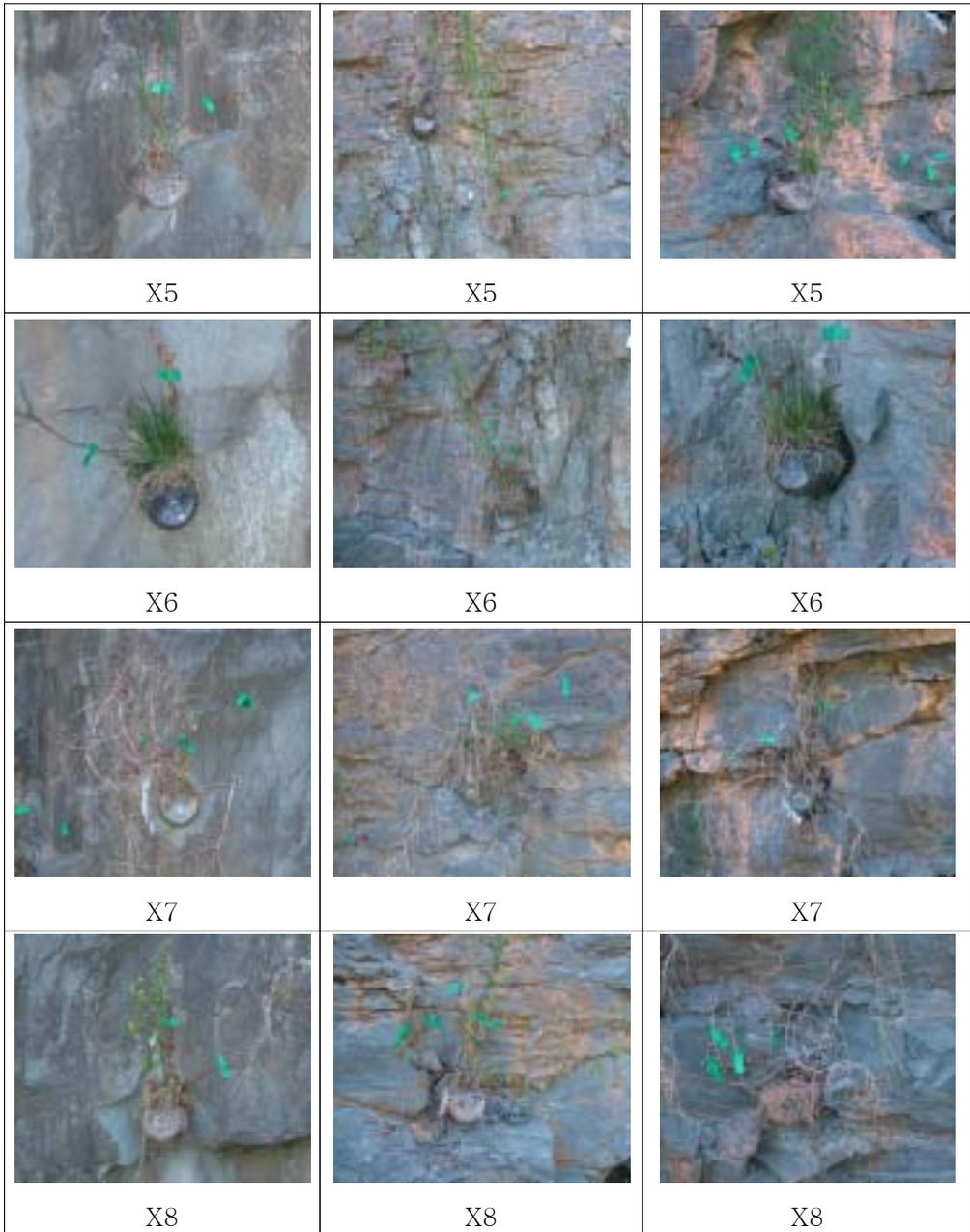
7) 천공녹화 시공현장



X1 : 부식토 + 미생물    X2 : 부식토 + 미생물+망    X3 : 부식토 + 무처리

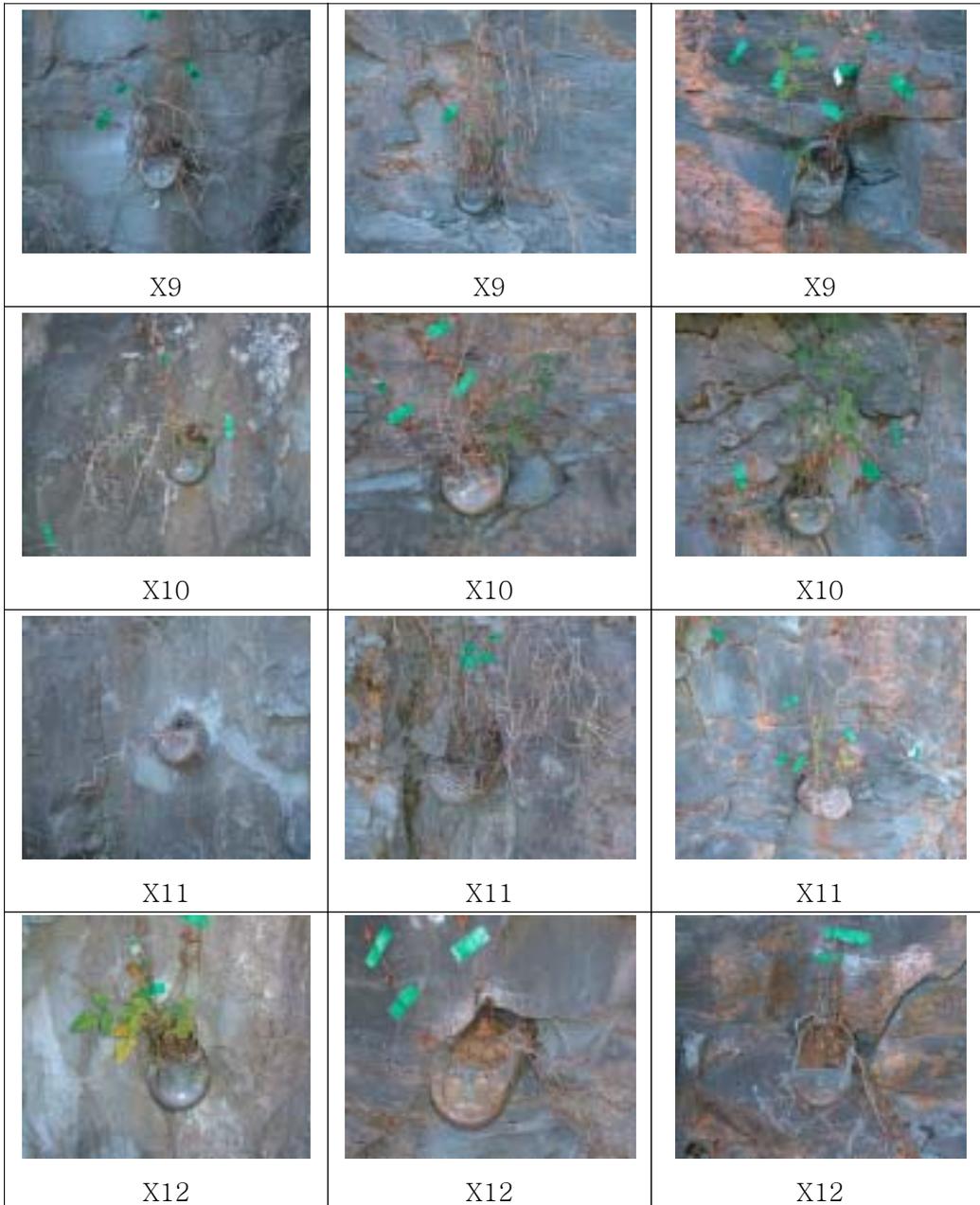
X4 : 일반상토 + 미생물

사진 8. 천공녹화공법에 의한 식물생장 모습



X5 : 일반상토 + 미생물+망 X6 : 일반상토 + 무처리 X7 : 혼합토 + 미생물  
X8 : 혼합토 + 미생물+망

사진 9. 천공녹화공법에 의한 식물성장 모습



X9 : 혼합토 + 무처리    X10 : 산립표토 + 미생물    X11 : 산립표토 + 미생물+망

X12 : 산립표토 +무처리

사진 10. 천공녹화공법에 의한 식물생장 모습

## 제 2절. 암반사면 녹화식물의 개발

### 1. 암반사면 식물의 생육특성 분석

#### 가. 암반사면 및 채석장 주변의 식물조사

조사대상지는 현재 채석이 진행 중이거나 채석완료 후 복구공사가 이루어진 거창 군지역을 중심으로 조사하였다. 암반사면에 자생하는 식물의 조사는 채석장 잔벽의 요부나 절리 틈새에 침입하여 자라는 수종들을 조사하였고, 채석장주변의 식물조사는 5개의 시험대상지에서 각각 5개의 방형구(10\*10m)를 설정하여 방형구 내에 출현하는 모든 수종을 기록하였다. 층위구분은 상층은 수고 6m 이상, 하층은 2m 이하, 그 사이의 수목군을 중층으로 구분하였다. 석산개발로 인한 암반사면은 경사가 심하고 그 물리적 특성상 풍화가 많아 파쇄 되어 있어 초본류나 수목의 식재가 이루어지더라도 식물의 정착과 생육을 어렵게 하며 강우 시에는 절리 및 층리 틈새에 물이 침투하여 표면침식과 붕괴가 빈번히 발생하고 있다.

암반사면의 환경조건은 수목이 성장하는데 부적합하여 수목의 활착기회가 낮고, 활착하더라도 성장하는데 오랜 시간이 걸리지만 암반사면에서 활착하여 성장하는 수목은 특이한 자연적 조경미를 갖고 있기 때문에, 장기적인 측면에서 조경가치에 중점을 두고 다수의 수종을 선정해야 한다.

석산개발 지역의 암반사면 녹화공법에서 추구하는 식재 수목의 기능은 사면안정, 영구적 자연미의 제공, 주위 삼림 생태계의 보호기능에 있다. 이러한 기능을 발휘하기 위하여 식재 수목은 생리 생태적 특성(내건성, 내열성, 내척성, 내한성, 내음성, 공생성), 자연미의 조경적 특성(자생종의 개성과 조화성), 조림학적 특성(인위적 번식과 조림의 용이성)을 갖추어야 한다.

암반사면에 자생하는 목본식물로는 소나무, 오리나무, 붉나무, 싸리 및 나무딸기 등이 많았고, 초본에 있어서는 겨이삭과 국화과식물들이 자라고 있었으나 피복상태는 불량하였다. 그러나 아카시 나무가 밀집하는 지역에서는 초본의 종 다양도가 높았다.

표 29. 채석장 주변의 식물상(목본류)

Layer	Common name	Scientific name	I.V
Upper	소나무	<i>Pinus densiflora</i>	108.6
	리기다소나무	<i>P. rigida</i>	47.4
	신갈나무	<i>Quercus mongolica</i>	37.3
	물오리나무	<i>Alnus hirsuta</i>	28.7
	잣나무	<i>Pinus koraiensis</i>	21.0
	낙엽송	<i>Larix leptolepis</i>	14.2
	줄참나무	<i>Quercus serrata</i>	9.6
	아카시아나무	<i>Robinia pseudoacacia</i>	9.5
	상수리나무	<i>Quercus acutissima</i>	7.9
	서어나무	<i>Carpinus laxiflora</i>	6.2
	밤나무	<i>Castanea crenata</i>	6.2
물푸레나무	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	3.5	
Total			300.0

Layer	Common name	Scientific name	I.V
Middle	소나무	<i>Pinus densiflora</i>	74.0
	물오리나무	<i>Alnus hirsuta</i>	55.7
	신갈나무	<i>Quercus mongolica</i>	33.7
	줄참나무	<i>Quercus serrata</i>	31.6
	박달나무	<i>Betula schmidtii</i>	28.2
	아카시아나무	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	19.5
	사방오리나무	<i>Alnus firma</i>	11.2
	쇠물푸레나무	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	10.0
	서어나무	<i>Carpinus laxiflora</i>	9.1
	잣나무	<i>Pinus koraiensis</i>	5.7
	개웃나무	<i>Rhus trichocarpa</i>	5.3
	정금나무	<i>Vaccinium oldhami</i>	4.4
	다릅나무	<i>Maackia amurensis</i>	3.4
	때죽나무	<i>Styrax japonica</i>	3.4
	노간주나무	<i>Juniperus rigida</i>	2.7
	철쭉	<i>R h o d o d e n d r o n schlippenbachii</i>	2.7
Total			300.0

방형구내에 출현한 목본식물은 상층 12종, 중층 15종, 하층 47종으로 조사되었다. 전체 시험대상지에 있어서 공사 완료 후에 자연적으로 침입한 목본식물은 리기다소나무, 물오리나무, 소나무, 싸리, 진달래, 박달나무, 버드나무, 아카시아나무, 사방오리나무, 갯버들 등 10종인 것으로 조사되었다. 이들 수종 중에서 성장이 가장 양호하게 나타난 것은 물오리나무였다. 또한, 채석장에서 발생하는 분진으로 인해 소나무, 신갈나무의 일부 개체가 성장이 쇠퇴되는 것을 육안으로 확인할 수 있었다.



사진 11 암반사면 및 채석장 주변 사진



사진 12 암반사면 주변 사진

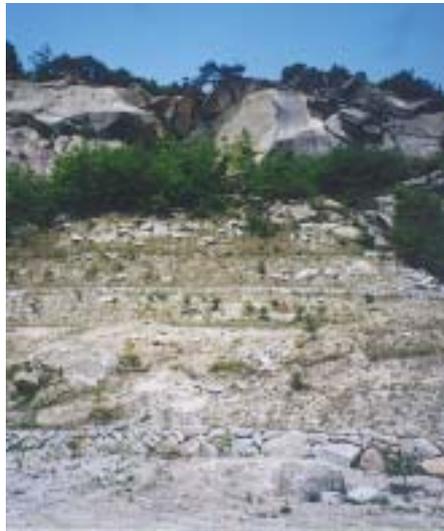


사진 13. 채석장 주변 사진



사진 14. 암반사면 및 채석장 주변 사진



사진 15. 암반사면 및 채석장 주변 사진



사진 16. 채석장 주변 사진



사진 17. 채석장 주변 사진

표 29. 계속

Layer	Common name	Scientific name	I.V
Lower	싸리	<i>Lespedeza bicolor</i>	14.7
	진달래	<i>Rhododendron mucronulatum</i>	14.1
	산초나무	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	11.5
	졸참나무	<i>Quercus serrata</i>	11.5
	개웃나무	<i>Rhus trichocarpa</i>	10.3
	노간주나무	<i>Juniperus rigida</i>	10.3
	산철쭉	<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i>	10.3
	물오리나무	<i>Alnus hirsuta</i>	9.5
	쇠물푸레	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	8.9
	산딸기	<i>Rubus crataegifolius</i>	7.7
	아카시아	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	7.0
	국수나무	<i>Stephanandra incisa</i>	6.4
	병꽃나무	<i>Weigela subsessilis</i>	5.7
	생강나무	<i>Lindera obtusiloba</i>	5.7
	조록싸리	<i>Lespedeza maximowiczii</i>	5.1
	철쭉	<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	5.1
	소나무	<i>Pinus densiflora</i>	4.9
	청가시덩굴	<i>Smilax sieboldii</i>	3.9
	상수리나무	<i>Quercus acutissima</i>	3.2
	서어나무	<i>Carpinus laxiflora</i>	3.2
	다릅나무	<i>Maackia amurensis</i>	2.6
	박달나무	<i>Betula schmidtii</i>	2.6
	밤나무	<i>Castanea crenata</i>	2.6
	정금나무	<i>Vaccinium oldhami</i>	2.6
	조팝나무	<i>Spiraea prunifolia</i> var. <i>simpliciflora</i>	2.6
	화살나무	<i>Euonymus alatus</i>	2.6
	갈참나무	<i>Quercus aliena</i>	2.6
	개비자나무	<i>Cephalotaxus koreana</i>	1.3
	개암나무	<i>Corylus heterophylla</i> var. <i>thunbergii</i>	1.3
	고추나무	<i>Staphylea bumalda</i>	1.3
	노린재나무	<i>Symplocos chinensis</i> var. <i>pilosa</i>	1.3
	땅비싸리	<i>Indigofera kirilowii</i>	1.3
	매죽나무	<i>Styrax japonica</i>	1.3
	떡버들	<i>Salix hallaisanensis</i>	1.3
	리기다소나무	<i>Pinus rigida</i>	1.3
	보리수나무	<i>Elaeagnus umbellata</i>	1.3
	북분자딸기	<i>Rubus coreanus</i>	1.3
	붉나무	<i>Rhus chinensis</i>	1.3
	사방오리나무	<i>Alnus firma</i>	1.3
	산수국	<i>Hydrangea serrata</i> for. <i>acuminata</i>	1.3
	신갈나무	<i>Quercus mongolica</i>	1.3
	은사시나무	<i>Populus tomentiglandulosa</i>	1.3
	작살나무	<i>Callicarpa japonica</i>	1.3
	취뽕나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i>	1.3
	찔레	<i>Rosa multiflora</i>	1.3
청미래덩굴	<i>Smilax china</i>	1.3	
층층나무	<i>Cornus controversa</i>	1.3	
	Total	200.0	

표 30. 채석장 주변의 식물상(초본류)

빈도계급	초종명	귀화식물
A	개망초, 닭의장풀, 양지꽃, 원추리, 주름조개풀, 갈퀴꼭두서니, 거북꼬리, 구절초, 넓은잎외이썩, 돌콩, 맑은대썩, 은대난초, 패랭이, 고추나물, 기린초, 꼭두서니, 노루발풀, 노루오줌, 달맞이꽃, 담쟁이, 참당귀, 대사초, 더덕, 등굴래, 망초, 바위솔, 병아리난초, 비짜루, 산괴불주머니, 산오이풀, 송이풀, 애기나리, 애기현호색, 영경귀, 여뀌, 은방울꽃, 잔대, 죽도리, 죽대, 짚신나물, 파리풀, 별등골나물,	개망초, 달맞이꽃, 망초
B	삼주, 제비꽃, 질경이, 참취, 까치수영, 도라지, 마, 매화노루발, 비비추	
C	억새, 고사리, 썩, 씌바귀	
D	산거울,	
E		

빈도계급은 A: 20% 이하, B: 21~40%, C: 41~60%, D: 61~80%, E: 81~100%로 구분



사진 18. 채석장 주변 전경 사진

초본식물은 총 56종이 출현하였으며 이 중 귀화식물은 개망초, 달맞이꽃, 망초의 3종으로 조사되었다. 공사 후에 자연적으로 침입한 초종은 억새, 달맞이꽃, 쑥, 질경이, 비짜루, 썸바귀, 개망초, 패랭이꽃, 매듭풀 등으로 나타났다. 암반사면의 절리부분에 나타나는 초본식물은 구절초, 억새, 썸바귀, 질경이, 산거울 등이었다.

지금까지의 사면녹화는 단지 조기녹화 달성이라는 목적으로 주로 외래초종 위주로 녹화되었기 때문에 ①주위 경관과의 부조화를 초래(이필재, 1994), ②시일이 경과함에 따라 외래초종들의 소멸과 쇠퇴로 인한 재시공의 문제점이 대두(우, 1978), ③시공 당시에 재래초종들에 대한 문제를 고려하지 않아 침입과 생육에 지장을 초래(이필재, 1994), ④사면이 초본위주이기 때문에 시각적으로 단조로움을 주는 것 등이 문제점으로 지적되고 있다. 특히, 암반채취를 위한 암반사면을 녹화시키기 위해서는 작업 등이 일반 사면보다 더욱 힘들 수밖에 없다. 따라서, 채석장 주변의 나타나는 자생종 위주로 종자배합 기술 등을 통해 암반사면에 적절한 녹화식물을 개발해야만 할 것이다.

나. 산림토양의 이화학성 분석

토양용적 밀도와 삼상 측정을 위한 토양시료는 각 조사지별로 100cc 스테인레스 원통을 이용하여 채취하였다. 현지에서 채취된 토양분석용 시료는 실내에서 건조된 토양시료 중 10mesh와 40mesh체를 통과한 것을 사용하였다. 분석 항목 중 토양 pH는 pH meter를 이용하여 측정하였으며, 토성은 비중계법, 토양입자밀도는 Pycnometer법, 유기물함량은 Tyurin법, 전질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법, Ca과 Mg은 EDTA적정법, K과 Na은 염광분석법으로 측정하였다.

본 조사지인 거창 석산개발지역 산림토양의 물리적 특성은 표 31과 같다. 모래의 함량은 전 조사지에서 24.9~27.8%, 미사함량은 39.8~48.4%, 점토함량은 24.8~33.3%의 범위에 있는 것으로 나타났다. 수목생육 시 식물 뿌리의 호흡이나 수분공급에 중요한 역할을 하는 것으로 알려지고 있는 토양 삼상의 경우 전 지역이 고상(38.3%)>기상(33.4%)>액상(28.4%)로 나타났다. 본 조사지역의 삼상분포는 우리나라 산림토양 A층의 기상(41.5%)>고상(34.5%)>액상(24%)와는 다른 경향이였다. 토양용적밀도의 경우 본 조사지역은 평균 0.92g/cm<sup>3</sup>로 우리나라 산림토양 A층의 용적밀도 0.88g/cm<sup>3</sup>보다 약간 높은 것으로 조사되었다. 토양입자밀도는 일반적으로 2.65g/cm<sup>3</sup>을 사용하고 있으나 본 조사지는 2.02g/cm<sup>3</sup>로 나타나 약간 낮은 값을 보이고 있다.

표. 31 각 조사지 산림토양의 물리적 특성

조사지*	No. of sample	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Solid (%)	Gaseous (%)	Liquid (%)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Particle density (g/cm <sup>3</sup> )
위천면 황산리a	7	27.8	46.9	25.3	33.1	31.2	35.7	0.87	2.14
주상면 내오리a	7	24.9	41.8	33.3	39.7	38.4	21.9	0.71	1.97
위천면 상천리1b	7	29.4	39.8	30.8	34.9	34.6	30.5	0.94	2.04
위천면 상천리2b	7	26.8	48.4	24.8	40.5	29.8	29.7	1.02	1.91
위천면 황산리b	7	25.9	44.5	29.6	43.1	32.8	24.1	1.04	2.05
평균	7	27.0	44.3	28.8	38.3	33.4	28.4	0.92	2.02

\* a 지역은 현재 석산채취지역이고, b 지역은 석산채취가 종료된 후 어느 정도 복구공사가 완료된 지역

산림토양의 pH는 평균 5.1로 조사되었다. 대부분의 침엽수의 생육범위가 토양 pH 4.8~5.5라는 것을 감안하면 본 조사지역은 상층과 중층에 걸쳐 소나무가 우점하고 있다는 것이 이를 뒷받침한다고 할 수 있다. 토양유기물과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 알려지고 있는 전질소의 경우 전 조사지가 0.09~0.13%의 범위에 있으며 평균 산림토양 중 전질소 함량은 0.11%로 조사되어 우리나라 산림토양의 전질소 평균 함량 0.19%보다 낮은 것으로 분석되었다. 유효인산 함량은 평균 12.3ppm으로 조사되었다. 유효인산 함량의 경우 토양 pH와 밀접한 관련이 있으며 pH가 낮을 경우 인산의 난용성화에 기인하여 유효인산의 함량이 낮은 것으로 알려지고 있는데 본 결과는 그러한 일반적인 경향과는 일치하지 않는 것으로 나타났다. 유효인산과 마찬가지로 토양 pH와 밀접한 관계가 있는 치환성양이온 함량은 전 조사지에 있어서 Ca 1.22cmol/kg, Mg 0.62cmol/kg, K 0.13cmol/kg, Na 0.08cmol/kg로 조사되었으며 pH가 낮은 지역의 치환성양이온 함량도 낮은 것으로 분석되었다.

표. 32 거창지역 각 조사지 산림토양의 화학적 특성

조사지*	No. of sample	pH (H <sub>2</sub> O)	Moisture (%)	SOM (%)	TN (%)	A. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	Exch. cation(cmol/kg)			
							Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
위천면 황산리a	7	4.8	19.5	2.8	0.12	11.2	1.11	0.59	0.12	0.08
주상면 내오리a	7	5.1	21.4	3.9	0.11	12.9	1.27	0.64	0.14	0.07
위천면 상천리1b	7	4.9	22.5	3.5	0.09	10.4	1.16	0.48	0.13	0.09
위천면 상천리2b	7	5.3	18.6	4.1	0.13	9.4	1.31	0.71	0.12	0.08
위천면 황산리b	7	5.5	23.4	3.9	0.12	17.8	1.25	0.68	0.12	0.06
평균	7	5.1	21.1	3.6	0.11	12.3	1.22	0.62	0.13	0.08

#### 다. 암반사면 자생식물의 번식 및 양묘기술 개발

석산 개발지 암반 비탈면 녹화용 식물의 선정을 위해 암반사면에서 생육이 가능하며 종자과종이 용이한 식물을 우선 발아 시험에 이용하였다. 선정된 식물은 목본 식물로는 아카시아, 리기다소나무, 회화나무, 등나무, 자귀나무, 쯤목형, 참싸리, 소나무, 개쉬땅나무, 담쟁이, 자작나무, 가죽나무, 사방오리의 13종을 선정하였고, 초본식물은 비수리, 별노랑이, 자운영, 금계국, 안고초, 패랭이, 낭아초, 억새, 달맞이꽃, 코스모스, 산국, 쑥, 구절초, 민들레, 까치수영, 쑥부쟁이, 끈끈이대나물, 샴스타데이지, 루드베키아, 기생초, 알팔파, 잇꽃, 타래붓꽃, 봉선화, 수염패랭이, 꿀풀 등 26종을

선정하였다.

### 1) 시험식물의 종자발아 pot 실험

종자 발아 시험과 함께 일부수종을 추가 선택하여 상온에서 pot를 이용하여 발아율을 조사하였다. 종자발아 pot 실험에 사용된 수종은 수레국화, 봉선화, 기생초, 마타리, 알팔파, 메밀, 벌노랑이, 해송, 나팔꽃, 까실쑥부쟁이, 유채, 패랭이, 쪽싸리, 코스모스, 잇꽃, 참싸리, 잔잎바디, 아카시아, 슬패랭이, 비수리, 루드베키아, 샬스타데이지 22종을 실험하였다.

### 2) 종자발아율 실험

종자발아율 실험은 Growth Chamber(DLI-112:DAE LIM)내에서 수행하였다. 온도는  $(20\pm 1)\sim 30^{\circ}\text{C}(\pm 1)$ 로 변온상태에서 종자 발아 경향을 파악하기 위해 주/야간 각 10/14시간으로 조절하여 처리하였다.

종자는 Petridish(87×5mm)에 filter paper(ADVANTEC NO.2, 90mm : Toyo Roshi Kaisha, Ltd.)를 2장 깔고 그 위에 종자를 선별하여 각각 50粒 씩 넣은 후 1차 증류수를 filter paper가 충분히 젖을 정도로 공급해주고 발아상에 치상하였다. 실험은 3회 반복으로 완전임의 배치하였다. 또한 발아율 조사는 유근이 2mm 이상 나온 것을 발아된 것으로 간주하였고, 치상 후 20일간 매일 조사하였다.

### 3) 종자발아율 조사 결과

Growth Chamber 내에서 실시한 변온에서 온도별 발아율은 종자별 차이를 보이는 것으로 나타났다. 파종 후 10~15일부터 발아되기 시작하였는데, 목본류는 다른 종자들에 비해 발아되는 속도가 대체적으로 늦은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 목본류 종자는 외피가 두껍고 딱딱해 다른 종자들에 비해 종자내로 수분이 흡수되는데 다소 시간이 많이 소요되어 발아가 늦어지는 것으로 생각된다. 배양기 내에서의 각 종자별 발아율은 표 33 및 34와 같다.

표 33. 배양기를 이용한 발아율 조사결과

분류	품종명	발아율 (%)	분류	품종명	발아율 (%)	분류	품종명	발아율 (%)
초본 식물	비수리	92	초본 식물	민들레	70	목본 식물	아카시아	96
	별노랑이	84		까치수영	36		리기다소나무	82
	자운영	100		쑥부쟁이	66		회화나무	52
	금계국	66		끈끈이대나물	96		등나무	80
	안고초	30		샤스타데이지	98		자귀나무	36
	패랭이	80		루드베기아	62		좁목형	60
	남아초	78		기생초	96		참싸리	65
	억새	40		알팔파	92		소나무	80
	달맞이꽃	54		잇꽃	68		개취땅나무	31
	코스모스	60		타래붓꽃	12		담쟁이	40
	산국	34		봉선화	100		자작나무	48
	쑥	70		수염패랭이	94		가죽나무	20
	구정초	50		꿀풀	12		사방오리	52

표 34. pot를 이용한 발아시험 결과

식물명	발아율(%)	식물명	발아율(%)
수레국화	50	패랭이	90
봉선화	90	쪽싸리	70
기생초	90	코스모스	60
마타리	70	잇꽃	40
알팔파	60	참싸리	80
메밀	75	잔잎바디	30
별노랑이	40	아카시아	30
해송	30	술패랭이	95
나팔꽃	85	비수리	50
까실쑥부쟁이	30	루드베기아	55
유채	40	샤스타데이지	75

일부 수종의 경우에는 배양기와 pot상에서의 발아율은 차이가 나타났다. 앞으로 이 부분에 대해서도 그 원인을 파악하여 암반사면에 이용할 수 있는 식물종의 선정에 유의하여야 할 것이다.

암반사면에서 자생하고 있는 식물조사를 통해 출현한 초종들을 번식방법에 따라 정리하면 다음과 같다.

가) 종자번식이 가능한 초종 : 씬바귀, 질경이, 참취, 제비꽃, 도라지, 삼주, 마, 비비추, 닭의장풀, 원추리

나) 분주번식이 가능한 초종 : 쑥, 도라지, 제비꽃, 참취, 비비추, 원추리

다) 삽목이 가능한 초종 : 쑥

라) 뿌리꽃이가 가능한 초종 : 제비꽃

## 2. 암반사면의 파종 및 종자배합기술 개발

### 가. 종자파종 및 발아촉진 연구

#### 1) 종자파종 방법

온도의 변온에 따른 종자별 발아실험은 Growth chamber(DLI-112:DAE LIM)를 이용하여 수행하였다. 온도는 15°C/25°C, 20°C/30°C로 조절하여 변온상태에서의 종자 발아 경향을 파악하였다. 종자는 petridish(87x5mm)에 filter paper(ADVANTEC No. 2, 90mm:Toyo Roshi Kaishya. Ltd)를 2장 깔고 그 위에 정선된 종자를 각각 50알씩 넣은 후 1차 증류수를 이용하여 filter paper가 충분히 젖을 정도로 공급해주고 growth chamber 내에 치상하였다. 발아의 판단은 유근이 2mm 이상 나온 것으로 간주하였고 치상 후 20일간의 발아율을 조사하였다. 실험은 3회 반복으로 실시하였다. 노지 발아율은 1m x 1m 크기의 실험구 내에 10cm x 10cm의 조사틀을 이용하여 10반복 조사하였다. 본 실험에 사용된 식물 종은 초종으로 수레국화, 쑥, 쑥부쟁이, 민들레, 새, 벌노랑이, 패랭이, 구절초, 도라지로서 9종, 관목으로는 좁목형, 참싸리, 비수리, 낭아초, 개쉬땅나무, 짚레로서 6종, 교목으로는 해송, 소나무, 리기다소나무, 아까시나무, 물오리나무, 사방오리, 자작나무, 자귀나무로서 8종을 공시 식물 종으로 하였다.

생장 상에서의 온도별 변온 및 노지에서의 각 종자별 발아율은 표 35와 같다. 각 종자의 최초 발아시기는 식물 종에 따라 약간의 차이가 나타났는데, 초본류인 패랭이꽃, 수레국화, 쑥부쟁이 등과 관목류인 낭아초, 참싸리와 비수리는 파종 후 7일부터 발아가 시작되었다. 이에 비해 교목류는 상대적으로 다른 종자들에 비해 최초 발아시기가 늦은 것으로 나타났다. 이는 교목류 종자의 외피가 두꺼워 다른 종자들에 비해 종자 내로 수분이 흡수되는 시간이 더 많이 소요되어 발아가 지연되는 것으로 보여진다(김남춘 등, 2002). 실험실의 생장 상에서의 발아율은 초본식물의 경우, 15°C/25°C에서 패랭이, 벌노랑이, 새의 순으로 발아율이 높았으며, 관목은 참싸리와 비수리가 상대적으로 높은 발아율을 나타내었으며 교목은 리기다소나무가 가장 높은 것으로 나타났다. 20°C/30°C에서는 초본은 쑥, 민들레, 교목은 아까시나무, 자작나무, 자귀나무가 15°C/25°C에 비해 높은 발아율을 나타내었다.

노지과중에 의한 각 종자별 발아율 실험에서 초본인 쑥만이 growth chamber를 이용한 실험실 내에서의 발아율보다 조금 높게 나타났으며 그 외의 모든 종자는 발아율이 낮은 경향이였다. 이것은 고온과 강한 일사량 등의 환경의 영향인 강하게 작용한 것으로 추정된다.

표 35. 배양 상에서의 온도별 변온 및 노지에서의 발아율

구분	식물명	학명	발아율 (%)		
			실험실 (생장상)		노지 평균
			15°C/25°C	20°C/30°C	
초본	수레국화	<i>Centaurea cyanus</i>	73	67	61
	쑥	<i>Artemisia montana</i>	53	56	62
	쑥부쟁이	<i>Aster yomena</i>	67	71	73
	민들레	<i>Taraxacum mongolicum</i>	42	45	36
	새	<i>Arundinella hirta</i>	76	64	61
	별노랑이	<i>Lotus corniculatus</i> var. <i>japonicus</i>	81	64	68
	패랭이꽃	<i>Dianthus sinensis</i>	98	88	90
	구절초	<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>	63	62	53
	도라지	<i>Platycodon grandiflorum</i>	56	49	41
	관목	좁목형	<i>Vitex negundo</i> var. <i>incisa</i>	58	49
참싸리		<i>Lespedeza crytobotrya</i>	87	83	62
비수리		<i>L. cuneata</i>	78	69	46
낭아초		<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>	72	66	48
개취땅나무		<i>Sorbaria sorbifolia</i> var. <i>stellipila</i>	48	36	42
쨍레	<i>Rosa multiflora</i>	57	46	38	
교목	해송	<i>Pinus thunbergii</i>	41	38	21
	소나무	<i>P. densiflora</i>	80	71	64
	리기다소나무	<i>P. rigida</i>	75	57	38
	아까시나무	<i>Robinia pseudoacacia</i>	52	56	43
	자작나무	<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	38	41	32
	사방오리	<i>Alnus firma</i>	32	23	29
	물오리나무	<i>A. hirsuta</i>	26	19	16
자귀나무	<i>Albizzia julibrissin</i>	45	57	60	

2) 종자채집, 저장, 발아세 검정

본 조사지역인 경남 거창군 석산개발 지역에 자연적으로 침입한 식물(소나무, 패랭이, 도라지, 사방오리, 물오리나무, 참싸리, 찔레, 리기다소나무, 구절초, 쭉, 아까시나무 등 11종)에 대해 2003년 6월부터 11월에 걸쳐 현지에서 종자를 채집하였다. 본 실험에 사용된 그 외의 종자들은 시중에서 유통되고 있는 종자를 구입하여 사용하였다. 석산개발 후 자연 침입하여 현지에 자생하고 있는 식물들은 표 36과 같다. 순도는 각각의 종자 1g를 가지고 g당 입수를 계산한 후 불순물을 제거한 상태에서 순수한 종자만의 무게를 다시 측정하여 처음 무게와의 차이를 백분율로 나타내었다(산림청, 1981)

표 36. 자생식물종의 발아율 및 순도

식물명	학명	발아율(%)	순도(%)
소나무	<i>Pinus densiflora</i>	81	86.0
리기다소나무	<i>P. rigida</i>	75	92.5
사방오리	<i>Alnus firma</i>	32	88.0
물오리나무	<i>A. hirsuta</i>	26	86.5
아까시나무	<i>Robinia pseudoacacia</i>	52	98.2
패랭이	<i>Dianthus sinensis</i>	98	99.6
도라지	<i>Platycodon grandiflorum</i>	56	86.2
참싸리	<i>Lespedeza crytobotrya</i>	87	98.6
찔레	<i>Rosa multiflora</i>	57	96.0
구절초	<i>Chrysanthemum zawadskii</i> var. <i>latilobum</i>	63	96.5
쭉	<i>Artemisia montana</i>	53	82.0

또한, 종자 저장방법에 따른 발아율의 차이를 파악하기 위하여 관목과 교목류의 종자를 대상으로 건조저장법(상온저장)과 보습저장법(노천매장)으로 구분하여 8개월 정도 저장한 후 Growth chamber를 이용하여 실험실에서 발아율의 차이를 분석하였다. 관목 및 교목류 종자의 저장방법에 따른 발아율의 차이는 표 37과 같다. 표 37에서 보는 바와 같이 대부분의 식물종자에 있어서 상온저장과 노천매장에 따라 발아율에 차이가 있는 것으로 나타났다. 소나무, 해송, 리기다소나무와 같은 침엽수

중은 건조저장을 하는 것이 보습매장보다 발아율이 촉진되는 것으로 나타났으며, 그 외의 활엽수종은 건조저장보다 보습매장이 발아율을 촉진시키는데 보다 효과적인 것으로 나타났다. 이는 침엽수의 경우 종자를 저장하는데 있어서 건조해지면 종자의 수명이 길어져 발아율이 어느 정도 촉진되는 반면, 활엽수종은 건조해지면 발아력이 저하된다는 것을 짐작할 수 있다(天命 등, 1992)

표 37. 저장방법에 따른 종자 발아율

구분	식물명	학명	발아율 (%)		
			실험실	건조저장	보습매장
관목	좁목형	<i>Vitex negundo</i> var. <i>incisa</i>	58	52	66
	참싸리	<i>Lespedeza crybotrya</i>	87	69	89
	비수리	<i>L. cuneata</i>	78	73	84
	개쉬땅나무	<i>Sorbaria sorbifolia</i> var. <i>stellipila</i>	48	46	56
	찔레	<i>Rosa multiflora</i>	57	54	61
교목	소나무	<i>Pinus densiflora</i>	80	88	77
	해송	<i>P. thunbergii</i>	41	57	44
	리기다소나무	<i>P. rigida</i>	75	86	72
	아까시나무	<i>Robinia pseudoacacia</i>	52	48	63
	자작나무	<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	38	32	42
	물오리나무	<i>Alnus hirsuta</i>	26	21	28
	사방오리	<i>A. firma</i>	32	19	41
	자귀나무	<i>Albizia julibrissin</i>	45	48	53

## 2) 식물종별, 유형별 종자배합비율 구명

### 가) 수종별 배합비 조사

종자배합은 실제 사면녹화 공사에 많이 이용되고 있고(김남춘, 1997; 이재필, 1994) 또한, 암반사면 녹화용으로 사용될 가능성이 있다고 판단되는 식물 종을 대상으로 하였다. 자생목본식물은 초기생장이 빠른 것, 2~3개월 후부터 생장이 빨라지는 것 등을 적절히 혼합하되 수목의 생육특성을 고려하면서 배합하였다. 식물배합은 '조기 녹화용 식물배합(조기녹화용)', '경관녹화용 식물배합(경관녹화용)' 그리고 '조기 녹화 및 경관녹화용 식물배합(조기녹화 및 경관녹화용)' 으로 구분하여 목본식물을 배합하였으며(김남춘 등, 1998), 현지에 자생하고 있는 초본들만을 이용한 '자생초종 식물배합' 으로 구분하였다.

'조기녹화용' 에는 훼손지 등에 선구적으로 침입하여 성장속도가 빠르다고 알려지고 있는 콩과식물의 아까시나무, 자귀나무, 낭아초, 참싸리, 비수리 등 5종을 사용하였다(표 38). '경관녹화용' 에는 조기녹화용으로 사용된 식물들을 배제하고 관목(좁목형, 개쉬땅나무, 짚레)과 교목(소나무, 리기다소나무) 5종으로 설계하였다. '조기녹화 및 경관녹화용' 에는 질소고정능력이 있는 콩과와 오리나무과에 속하는 관목(참싸리, 비수리) 및 교목(아까시나무, 사방오리, 자귀나무)의 선구식물들 5종으로 배합하였다. 그리고, 석산개발 현지에 자연적으로 침입하여 자생하고 있는 초종인 패랭이, 도라지, 구절초, 쑥의 4종만으로 배합하여 파종 후의 피복율을 분석하였다.

표 38. 조기녹화용 식물배합

처리	종 수	종자배합율	계
조기녹화용	5	아까시나무(20) + 자귀나무(20) + 낭아초(20) + 참싸리(20) + 비수리(20)	100
경관녹화용	5	좁목형(20) + 개쉬땅나무(20) + 짚레(20) + 소나무(20) + 리기다소나무(20)	100
조기녹화 및 경관녹화용	5	참싸리(20) + 비수리(20) + 리기다소나무(20) + 사방오리(20) + 자작나무(20)	100
자생초종	4	패랭이(25) + 도라지(25) + 구절초(25) + 쑥(25)	100

\* ( )안의 숫자는 %로 환산한 비율임.

본 실험은 수종별 배합비를 파악하는 것이 목적이므로 1m x 1m 크기의 식생별 단과실험구를 조성한 다음 파종 후의 생육상태를 3개월간 조사하고 그 결과를 비교 분석하여 수종별 적정 배합비를 구명하고자 수행하였다. 결과적으로 초종과 목본식물 종자를 혼과한 실험구를 조성하지 않았기 때문에 수종별 초본류와 목본류의 경쟁 관계나 초본류에 의한 피음 효과 등을 이번 실험에서는 밝힐 수 없었다. 추후 보다 상세한 연구가 필요한 부분이다. 그림 1은 식생별로 배합한 후 실험구에 파종하고 2주 간격으로 피복율을 분석한 결과이다. 파종은 2004년 4월에 실시하였다.

그림 23에서 알 수 있는 바와 같이 파종 후 시간이 경과함에 따라 모든 배합구에서 피복율이 증가하는 경향을 볼 수 있다. 상대적으로 다른 식생배합에 비해 조기녹화용 식생배합의 실험구에서 3개월 동안 가장 높은 피복율을 나타내었으며, 이어 조기녹화 및 경관녹화용 식생배합, 자생초종 식생배합, 경관녹화용 식생배합 순으로 높은 피복율을 나타내었다. 조기녹화용 식생배합은 파종 후 2주만에 20% 이상의 피복율을 나타내어 비교적 빠른 녹화효과를 보였고, 파종 3개월 후에는 89%의 높은 피복율을 나타내었다. 질소고정능력이 있는 식물종만으로서의 배합도 앞으로 사면의 조기녹화용 종자배합으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 보다 정확한 정보를 얻기 위해서는 생육에 따른 중간 경쟁 등 앞으로도 세밀한 monitoring이 절실히 요구된다 할 수 있겠다. 경관녹화용 식생배합은 다른 식생배합에 비해 가장 낮은 피복율을 기록하였다. 파종 3개월 후의 피복율은 31%로 조사되어 조기녹화용 식생배합의 파종 2주후의 피복율(34%)보다 낮은 것으로 나타났다. 경관녹화라는 측면에서는 효과적일지 모르나 암반사면이라는 지형적인 특성을 고려한다면, 이 부분에 대해서는 수고생장이나 발아율이 높은 식물 종을 위주로 한 식생배합이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 특이한 것은 현지에 지연적으로 침입하여 자생하고 있는 패랭이, 도라지, 구절초, 쑥 만으로 배합하여 파종한 실험구에서 예상외로 파종 3개월 후의 피복율이 43%로 높은 피복율을 기록한 것이다. 이 부분에 대해서는 보다 상세한 분석이 필요하겠지만, 이들 초종들이 현지 환경에 잘 적응한 결과와 중간경쟁의 영향이 그다지 강하게 작용하지 않은 것으로 추정된다.

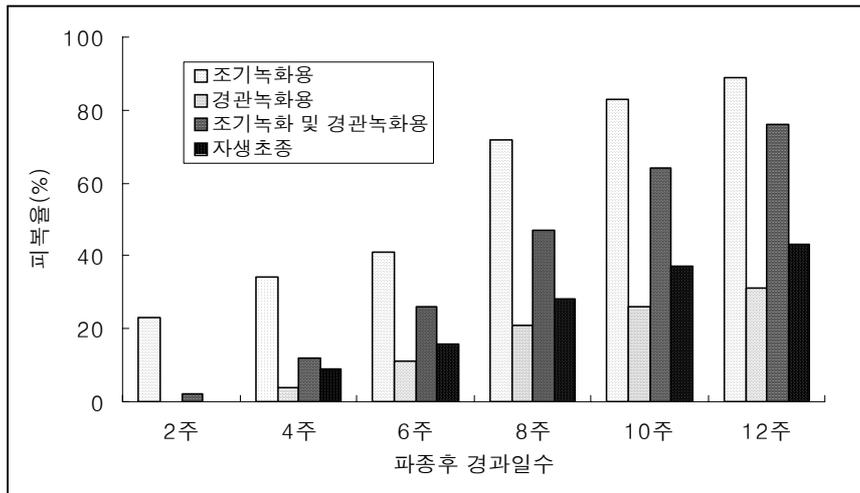


그림 23. 식생배합별 파종후의 피복률

나) 배양토 조제(비료, 종자 및 토양)

암반사면의 효과적인 녹화를 위해 미생물 재료인 *Bacillus*속 미생물 배양액, 기존 유기질 비료, 토양입단화재료, 토양정균제를 조합하여 처리하였으며 각 재료의 특징은 다음과 같다.

(1) 미생물

본 실험에 사용된 미생물은 *Bacillus*속으로 식물생육에 미치는 작용은 유기태질소의 무기화, 미생물간의 길항작용, 안정응집체의 생성 또는 입단의 생성, 성장촉진물질로 알려져 있다. 실험에 사용한 균주는 *Bacillus subtilis*(KCTC 3006)로 생명공학연구원 유전자원센터로부터 분양받아 사용하였다. 균주는 YPD broth에 접종하여 37°C에서 overnight시킨 후 그 배양액 0.5ℓ를 fresh YPD 배지에 접종하여 2시간 동안 배양하였다. 상기 배양액 10ml는 다시 일정량의 YPD 배지에 접종하여 2일동안 배양한 후 실험에 사용하였다.

(2) 기존 유기질 비료 $\alpha$ (광비: Super Nutrient)

광합성 미생물을 농축, 혼합시킨 정제형 복합 미생물 제재비료로서 사용이 간편하고 광합성 미생물의 증식, 활동을 증진시킬 수 있는 골분, 유박 등의 유기물이 배합되어 토양 내에서도 미생물이 쉽게 증식되고, 배합된 유기물은 미발효물로서 광합성 미생물의 증식시 필수원소가 지속적으로 생성되는 지효성 유기물 복합비료이다.

(3) 토양정균제 $\beta$ (토정:Soil Cleaner)

토양의 조기침투기능을 가진 미량요소인 토정은 정균, 정화능력으로 연작장해, 염류집적, 인산고정 경감, 토양선충, 역병, 입고병 등 토양에서 발병이 예상되는 병해에 효과가 있으며, 강력한 침투작용으로 농약과 혼용시 노균, 흰가루, 곰팡이, 총채, 응애, 진드기를 효과적으로 방제하는 제재이다

(4) 토양입단화제 $\gamma$ (토왕: Super Soil)

單粒구조의 토양을 團粒구조로 빠른 시간 내에 물리적인 성질을 변화시켜 배수가 좋고, 보습력이 우수하며, 토양 내 산소량의 극대화로 작물의 뿌리 발달과 미생물 활동을 증가시킨다. 이러한 재료들을 미생물과 기존 비료와의 비교와 재료의 특성에 맞게 조합하여 처리하였으며, 처리 조합은 표 39와 같다.

표 39. 본 실험에 사용된 재료간 조합

A	B	C	D	E	F
<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus</i>			
	$\alpha$		$\alpha$		
	$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\beta$	-
	$\gamma$	$\gamma$	$\gamma$	$\gamma$	

\* *Bacillus* : *Bacillus subtilis*(KCTC 3006),  $\alpha$  : Super Nutrient

$\beta$  : Super Soil,  $\gamma$  : Soil Cleaner

각 처리구별 피복효과를 파악하기 위하여 무처리한 실험구를 대조구(F)로 설정하고 *Bacillus*만을 처리한 실험구를 A처리구, *Bacillus*+ $\alpha$ + $\beta$ + $\gamma$ 의 B처리구, *Bacillus*+ $\beta$ + $\gamma$ 의 C처리구,  $\alpha$ + $\beta$ + $\gamma$ 의 D처리구,  $\beta$ + $\gamma$ 의 E처리구로 조합하여 처리하였다. 각 조합에 사용된 재료들의 사용량은 *Bacillus*와  $\beta$ 는 1,000배 용액을 사용하였고,  $\gamma$ 는 500배 용액을 사용하였으며  $\alpha$ 는 m<sup>2</sup>당 0.02 l 를 처리하였다.

본 실험에 사용한 종자는 상기의 수종별 배합비 조사에서 다른 식생배합보다 상대적으로 피복율이 높게 나타난 조기녹화용 식생배합인 우수한 아까시나무, 자귀나무, 낭아초, 참싸리, 비수리를 동일한 비율로 혼합하여 실험실 내에서 1m x 1m의 표준틀을 만들어 각 처리구별로 파종한 후의 피복율을 나타내었다. 본 실험에 대한 종자 파종은 2004년 6월에 실시하였다. 종자 파종 후의 피복율을 2주 간격으로 측정하였다. 각 처리구별 시간 경과에 따른 피복율의 변화는 그림 24와 같다.

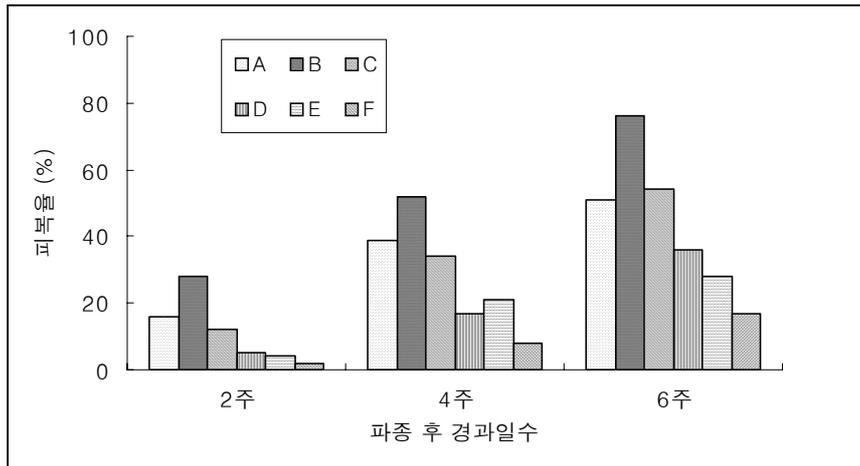


그림 24. 처리구별 피복율의 변화

파종 후 6주 동안의 각 처리구별 식생피복율을 살펴보면, 무처리한 대조구(F)의 식생피복율은 17%로 나타나 다른 처리구에 비해 가장 낮은 피복율을 기록하였다. 전체 처리구중 *Bacillus*+*a*+*b*+*c*의 B처리구에서 76%이 피복율을 보여 가장 높은 것으로 나타났다. *Bacillus*속만을 처리한 A처리구도 51%의 피복율을 나타내어 미생물 처리만으로도 피복율 촉진이라는 측면에서는 충분한 효과를 기대할 수 있을 것으로 짐작된다. 하지만, 이 부분에 대해서는 하나의 종자배합만으로 이루어진 것이고 야외가 아닌 실험실 내에서 이루어졌다는 것을 고려하면 아직은 뚜렷한 결론을 도출할 수는 없다고 판단된다. 추후 다양한 식생배합과 장기간의 식물종의 생육상황 등을 분석하여야만 할 것으로 사료된다.

#### 다. 암반사면 파종실험 조사

암반사면을 조기에 녹화시키기 위해 식생별 생육량을 분석하여 앞으로 식물종간의 경쟁에서 우점종이 어떻게 진행될 것인가에 대한 정보를 얻고자 함이 본 실험의 목적이다. 본 연구지인 거창지역의 석산개발로 인하여 조성되는 암반사면은 사면이 지면과 거의 직각으로 이루어져 있어 다른 도로 절개지나 임도변에 조성되는 사면과는 달리 식생기반재가 전혀 존재하지 않는다는 특징을 지니고 있다. 이 부분이 현실적으로 가장 접근하기 힘든 부분이라 생각된다.

석산개발 지역의 암반사면을 녹화시키고자 공시 식물종(참싸리, 비수리, 새, 물오리나무, 자귀나무, 아까시나무)에 대한 발아 후의 생육상황(초장, 분얼경수, 피복율)을 조사하였다. 사면 녹화 공사시 자생종을 주로 활용하는 것은 사면의 안정을 얻는 효과와 더불어 생태적으로도 건강한 식생형을 조성하여 자연스러운 식생천이를 유도하고자 하는 또 다른 목적이 있다고 할 수 있다(김남춘, 1997). 조성 초기의 선구식물의 역할에 의해 식생천이는 다른 양상으로 이루어질 수 있기 때문에 초기의 선구식물종의 선정에는 각별한 주의가 요구된다. 가장 이상적인 선구식물은 질소고정 능력을 가진 콩과식물과 비콩과식물이 토양조건을 개량한 후 뒤에 침입하는 식물들의 활착과 생육을 돕는 것을 예로 들 수 있을 것이다. 하지만, 본 실험에서는 식생기반재인 토양이 거의 존재하지 않는 암반사면을 대상으로 녹화가 이루어져야 할 것이기 때문에 암반사면에 대해 천공을 통해 식생기반재를 인위적으로 조성한 후에 녹화식물로 활용할 수 있다고 판단되는 초종·목본식물을 이용하여 녹화를 시도하여야 할 것이다.

암반사면 파종실험은 암반은 아니지만 식생기반재(토양)가 거의 없는 곳을 대상으로 배양토(Dynamics:Nongkyung, Parat:Samson)를 이용하여 각 실험구당 20cm 정도의 깊이로 인위적으로 조성하였다. 각 실험구의 크기는 50cm x 50cm 규모의 단파 실험구를 3반복으로 배치하였다. 파종량은 각 실험구당 초본류 100본, 관목 50본 그리고 교목류는 30본을 기준으로 하였다. 암반사면에 대한 파종후의 생육상황을 분석하기 위한 실험구는 파종 직후 종자의 유실방지를 위해 섬유(fiber)를 1cm 정도로 피복하고, 그 위에 차광막을 덮어주었으며 파종 후 2주간은 인위적으로 관수를 실시하였다. 본 실험의 공시수종은 새, 수레국화, 참싸리, 비수리, 물오리나무, 자귀나무, 아까시나무의 7종이었다. 파종은 6월에 실시하였으며 그 후 2주, 4주, 6주에 해당하는 시점의 수고와 분얼경수, 피복율을 각각 조사하였다.

수고(초장)는 사면녹화의 피복율에 영향을 미치는 요소로서 표준격자틀(10cm x 10cm) 안에 있는 각 공시 초·목본 중에서 수고(초장)가 가장 긴 5개씩을 선택하여 측정 후 그 평균값으로 나타내었다. 분얼경수도 수고(초장)와 마찬가지로 표준격자틀 내에서 분얼경이 많은 것으로 판단되는 5개씩을 대상으로 측정하여 그 평균값으로 나타내었다. 피복율은 각 실험구를 slide 촬영한 후 실험실에서 모눈종이를 이용하여 그 면적을 피복율로 환산하였다.

본 실험에 사용된 공시식물종의 6월 파종 후의 생육상황(수고, 분얼경수, 피복율)을 분석한 결과는 표 38과 같다. 새는 지금까지 포기심기 및 종자파종의 방법으로 임지의 사방녹화공사와 도로사면의 녹화에 많이 이용되어 왔는데(우보명 등, 1993), 6월에 파종하여 6주 후의 피복율은 29.7%를 보였다. 김남춘(1997)은 새의 경우 5월 파종으로 8주 후에 64.0%의 피복율을 나타내었고, 6월 파종시 8주후에 초장이 7.5cm, 피복율 40.0%를 나타내어 새는 5월과 6월이 파종적기라고 보고한 바 있다. 본 실험결과와는 조사기간에 따른 약간의 차이가 있지만, 새는 파종시기에 신중을 기해야만 외래초종에 버금가는 사면녹화효과가 나타나기 때문에 사용 시 많은 주의가 있어야 할 것으로 보여진다.

수레국화의 경우 실험실과 노지에서의 발아율이 높은 경향이었으나 6월 파종에서 6주 후의 피복율이 10.1%에 그쳤다.

참싸리는 본 실험에서 가장 높은 피복율(39.4%)을 나타내었다. 다른 연구결과(김남춘, 1997)에 비하면 조금 낮은 피복율이지만, 다른 외래초종에 버금갈 수 있는 녹화수종으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

비수리는 콩과식물로서 사면 등에 빠르게 군집을 형성하는 장점을 가지고 있고 종자가격이 상대적으로 비싼 참싸리의 대용식물로 적극 활용되고 있는 식물이다(주영규, 1991). 본 실험에 사용된 참싸리 다음으로 수고(6.7cm)와 피복율(30.9%)이 높게 나타났다. 비수리의 경우 가을 파종은 적합하지 않다는 보고(이재필, 1994)를 고려하면 새와 마찬가지로 파종시기에 보다 신중을 기해야 할 것으로 짐작된다.

물오리나무, 자귀나무, 아까시나무 등의 교목류는 질소고정능력이 있어 황폐지나 절개지 사면 등에 강한 적응력으로 선구식물로도 충분히 활용할 수 있을 것이나, 본 실험에서는 파종시기가 조금 늦어져 충분한 결과를 얻을 수는 없었다. 또한, 최초발아에서부터 다른 식물종에 비해 시간이 더 소요된다(김남춘 등, 2002)는 측면을 고려하여 암반사면 등에 녹화식물로 활용코자 한다면 앞으로도 지속적인 관찰이 이루어져야 할 것이다.

표 40. 관목 및 교목류의 생육특성

과종 시기	식물명	2주후			4주후			6주후		
		수고 (cm)	분얼경 (개)	피복율 (%)	수고 (cm)	분얼경 (개)	피복율 (%)	수고 (cm)	분얼경 (개)	피복율 (%)
6월	새	0.6	0.3	3.3	2.3	1.2	10.5	6.4	1.9	29.7
	수레국화	0.7	0.6	0.9	2.2	0.8	3.8	5.2	1.2	10.1
	참싸리	2.4	3.1	9.8	5.6	3.4	17.4	12.7	4.2	39.4
	비수리	1.3	1.6	2.9	2.8	1.8	9.2	6.7	2.8	30.9
	물오리나무	0.2	0.2	0.0	0.5	0.3	0.7	2.9	0.9	3.6
	자귀나무	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4	1.9	2.1	0.7	4.7
	아까시나무	0.0	0.0	0.0	0.6	0.4	1.6	1.9	0.5	3.1

### 3. 암반사면의 녹화식물 선발

#### 가. 생육특성 조사

##### 1) 암반사면 파종식물(초본 및 목본) 생육비교

암반사면을 조기에 녹화시키기 위해 식물종별 생육량을 분석하여 앞으로 식물종간의 경쟁에서 우점종이 어떻게 진행될 것인가에 대한 정보를 얻고자 함이 본 실험의 목적이다. 본 연구지인 거창지역의 석산개발로 인하여 조성되는 암반사면은 사면이 지면과 거의 직각으로 이루어져 있어 다른 도로 절개지나 임도변에 조성되는 사면과는 달리 식생기반재가 전혀 존재하지 않는다는 특징을 지니고 있다. 2년차 연구에서도 이와 유사한 연구가 진행되었으나 그것은 암반사면과 같이 식생기반재가 거의 없는 곳이 아니고 석산 개발 주변 지역의 산림토양을 이용하여 조사한 것이다. 본 조사는 지면과 거의 직각으로 이루어져 있는 암반사면을 연구대상지로 할 수 없어 석산개발지와 인접하면서 식생기반재인 토양이 거의 없고 석력함량이 높은 곳을 대상으로 하였다. 석산개발 지역의 암반사면을 녹화시키고자 공시 식물종(참싸리, 비수리, 새, 물오리나무, 자귀나무, 아까시나무)을 2005년 3월에 파종상의 크기를 30cm x 30cm로 하여 종자의 수는 각각 30개를 파종하여 발아 후의 생육상황(초장, 분얼경수, 피복율)을 식물종별로 2달 간격으로 조사하였다. 수고(초장)는 사면녹화의 피복율에 영향을 미치는 요소로서 표준격자틀(30cm x 30cm) 안에 있는 각 공시 초·목본 중에서 수고(초장)가 가장 긴 5개씩을 선택하여 측정 후 그 평균값으로 나타내었다. 분얼경수도 수고(초장)와 마찬가지로 표준격자틀 내에서 분얼경이 많은 것으로 판단되는 5개씩을 대상으로 측정하여 그 평균값으로 나타내었다. 피복율은 각 실험구를 slide 촬영한 후 실험실에서 모눈종이를 이용하여 그 면적을 피복율로 환산하였다.

새, 수레국화, 참싸리, 비수리, 물오리나무, 자귀나무, 아까시나무의 파종 후의 생육 상황은 표 39와 같다. 먼저 파종 후 2개월째인 5월의 생육상황을 살펴보면, 대부분의 공시수종이 발아하였다는 것을 알 수 있다. 수종별 수고는 새 2.6cm, 수레국화 3.5cm, 참싸리 5.1cm, 비수리 1.7cm, 물오리나무 1.8cm, 자귀나무 1.6cm, 아까시나무 2.1cm로 참싸리의 생장이 우수한 것으로 나타났다. 7월의 생육상황도 수종별 특성은 5월과 유사한 것으로 나타났으며 참싸리의 수고가 14.6cm로 가장 우수한 생장을 보였으며 아까시나무 7.6cm, 자귀나무 5.7cm, 물오리나무 4.6cm의 수고를 나타내었다. 9월은 참싸리 32.9cm, 비수리 29.7cm, 물오리나무 19.8cm, 수레국화 19.4cm, 아까시나무 16.7cm, 자귀나무와 새가 15.4cm로 나타났다. 목본과 초본을 비교하면 참싸리를 제외한 물오리나무, 자귀나무, 아까시나무의 파종 후 4개월째의 수고가 새나 수레국화의 간고와 큰 차이가 없으며 비수리보다는 오히려 수고가 낮은 것으로 나타나 생육이 다소 느린 수종이라는 것을 알 수 있다. 피복율도 수고와 전체적인 유사한 경향을 나타내었다. 2년째에 수행되었던 일반 산림토양을 대상으로 파종실험한 결과와 비교하면 생장이 좋지 않은 것으로 나타났는데 이는 대상토양의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

표 41. 관목 및 교목류의 생육특성

파종 시기	식물명	5월			7월			9월		
		수고 (cm)	분얼경 (개)	피복율 (%)	수고 (cm)	분얼경 (개)	피복율 (%)	수고 (cm)	분얼경 (개)	피복 율 (%)
3월	새	2.6	0.3	2.4	7.7	3.6	18.6	15.4	5.9	36.9
	수레국화	3.5	0.6	4.2	8.8	2.1	16.7	19.4	5.3	38.9
	참싸리	5.1	3.8	2.4	14.6	3.9	35.4	32.9	6.8	52.4
	비수리	1.7	1.1	1.8	10.2	1.8	21.5	29.7	4.1	48.5
	물오리나무	1.8	0.6	3.1	4.6	1.1	14.9	19.8	4.9	21.6
	자귀나무	1.6	0.5	2.9	5.7	1.3	14.2	15.4	5.7	19.8
	아까시나무	2.1	0.5	3.5	7.6	1.1	16.7	16.7	5.9	24.5

## 2) 식물배합별 생육특성

암반사면을 대상으로 파종한 식물들의 생육을 비교하기 위한 식물배합은 조기 녹화용 식물배합(아까시나무, 자귀나무, 낭아초, 참싸리, 비수리), 경관녹화용 식물배합(좁목형, 개취땅나무, 짚레, 소나무, 리기다소나무) 그리고 조기녹화 및 경관녹화용 식물배합(참싸리, 비수리, 아까시나무, 사방오리, 자귀나무)으로 구분하여 목본식물을 배합하였으며, 현지에 자생하고 있는 초본들만을 이용한 자생초종 식물배합(패랭이, 도라지, 구절초, 썩)으로 구분하였다. 2년차 연구에서는 암반사면이 아닌 토양을 대상으로 조사한 것이었고 본 조사는 실제로 암반사면에서의 생육상황을 비교하기 위한 것이다. 본 조사를 위한 식물종자 파종은 2005년 3월에 수직 암반사면 옆의 거의 나지상태로 존재하는 곳을 대상으로 하였으며 파종 후의 피복율을 1mx1m의 틀 내에서 2달 간격으로 조사하였다.

조기녹화용, 경관녹화용, 조기녹화 및 경관녹화용 그리고 자생초종으로 구분하여 암반사면에 파종한 종자배합의 피복율은 그림 25과 같다. 전체적으로는 조기녹화용이 가장 피복율이 우수한 것으로 나타났다. 월별 변화를 살펴보면 파종 후 2개월 후인 5월에는 조기녹화용 22%, 경관녹화용 12%, 조기녹화 및 경관녹화용 14%, 자생초종 11%로 낮은 피복율을 나타내었으며 4개월째인 7월에는 각각 28%, 18%, 19%, 26%로 경관녹화용과 조기녹화 및 경관녹화용은 5월과 비교하여 큰 차이가 나타나지 않았다. 파종 후 7개월째인 9월에는 조기녹화용 47%, 경관녹화용 22%, 조기녹화 및 경관녹화용 39%, 자생초종 31%의 피복율을 나타내었다.

4가지 종자배합은 일반 토양을 대상으로 조사한 피복율보다 아주 낮은 수치를 나타내었는데 본 결과는 토양은 거의 존재하지 않고 석력함량이 아주 높은 암반사면의 특성에 기인한 것으로 판단된다. 앞으로도 지속적으로 생육상황과 피복율 등을 조사하여야 할 것이다.

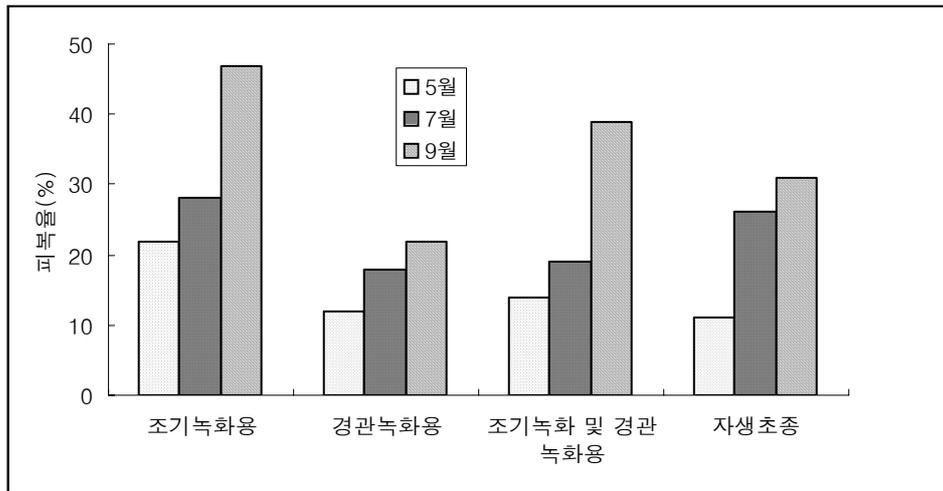


그림 25. 암반사면을 대상으로 한 식물의 피복율

#### 나. 경관생태 조사

##### 1) 파종식물과 침입식생 조사

식물종별로 4가지로 배합하여 종자를 파종한 것과 초본식물 3종, 목본식물 4종을 암반사면과는 제 특성이 다르지만 식생기반재인 토양은 적고 석력함량이 높은 암반사면과 인접한 곳에 파종하여 전체적인 생육상황을 생육특성 조사에서 살펴보았다. 식물종별로 파종한 7개 식물은 전체적으로 암반사면 주위에 자연적으로 침입한 수종들이었고, 종자배합은 기존의 연구결과를 바탕으로 자생초종을 중심으로 한 배합이 추가되었다. 1년차 현지조사 시 자연적으로 침입한 식물종은 참싸리, 물오리나무, 아까시나무 등이었는데 3년차에도 침입종의 변화는 거의 없었으며 인위적으로 복구수종으로 식재된 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무 등은 생육이 아주 불량한 것에서부터 고사직전에 있는 것이 대부분이었다. 현지에 파종된 식물들의 생육상황을 파악하는 것은 3년차 초에 파종되었기 때문에 시간적인 여건상 충분하지 않지만, 파종 7개월 후의 파종식물은 생육이 양호하며 표준격자틀 밖으로 나오려고 하는 식물도 나타났기 때문에 생육여건이 아주 불합리한 암반사면의 잔벽면을 대상으로 천공하여 인위적으로 뿌리를 내릴 수 있는 식생기반재만 제공한다면 암반사면 잔벽면의 녹화를 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 이를 위해서는 식물종에 따른 천공의 깊이, 토양의 깊이, 토양유실 등에 대해 추후 보다 상세한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 2) 암반사면 경관생태 분석

채석장의 경관에 대한 고려에서는 경관이 어떠한 기능을 하는지, 무엇이 경관을 훼손하는지 그리고 인위적으로 파괴된 경관을 되살릴 수 있는지 하는 것이다. 또한 경관의 관점과 함께 고려되어야 하는 것은 훼손된 지역에 대한 식생회복 방법 및 목표설정이다. 폐석장과 같이 인위적이면서 대단이로 자연경관이 변형되고 파괴된 상태에서 교란 이전의 원상채로 돌리기 위한 복원은 현실적으로 거의 불가능에 가깝다. 따라서 완벽한 복원의 개념보다 원래의 상태와 유사하며 경관적인 피해를 최소화하기 위한 복구라는 것을 목적으로 하여야 한다. 따라서 본 조사에서는 암반사면의 경관을 분석하기 위하여 경남 지역에 산재하고 있는 17개의 채석장을 중심으로 잔벽면의 수직고, 폭, 경사, 자연침입 식생 유무, 절리를 통한 식생복원 등을 조사하였다. 아직도 공사가 진행 중인 곳은 접근이 어려워 망원경 등을 통해 조사하였다.

대부분의 채석장은 지면과 거의 직각인 형태로 존재하고 있었고 잔벽면의 수직고는 평균 80m 이상이였다. 인위적인 아닌 자연적인 상태에서 조성된 절리를 통해서 물오리나무, 참싸리, 붉나무, 리기다소나무 등이 침입하여 자연적인 식생복원이 이루어지는 곳도 있었고 부분적으로 식생기반재가 조금이나마 존재하는 곳에는 새, 쭉, 비수리, 비짜루가 자라고 있는 곳도 있었다. 하지만 이들로서는 잔벽면의 식생복원을 기대하기 어려운 상황이었다. 또한 현재도 공사 중인 곳은 이들 식물의 생육상황도 좋지 못한 것을 확인하였다. 앞 부분에 분진이 쌓여 있거나 수형이 잔벽면을 피하다 보니 자연상태에서의 수형을 그대로 유지하고 있는 식물종은 거의 없었다. 그리고 주변 산림에 자생하고 있는 식물들도 채석작업에 따른 피해를 확인할 수 있었다. 경남 지역의 채석장은 보통 90° 정도의 경사를 가지기 때문에 잔벽면을 계단면과 경사면으로 하지 않는 이상 환경여건상 식생복구가 어렵다. 따라서 주변 산림지역의 생태적 연결고리가 단절된 상태로 남아 있게 되며 경관의 개선도 매우 어려운 상태로 존재하게 된다. 외국의 경우처럼 잔벽면을 계단부와 경사면으로 조성한 채석장은 국내에서는 볼 수 없다. 그러므로 식생기반재가 존재할 수 없어 자연적인 식생복원은 기대할 수 없는 것으로 조사되었다.

## 다. 녹화식물 개발

### 1) 녹화식물의 특성평가

본 연구는 지금까지 사면녹화용으로 주로 이용되어 왔던 외래도입초종 위주가 아니라 조사대상지 주변에 자생하고 있는 식물종을 녹화식물로 활용하기 위한 것이다. 그러므로 조사대상지 주변 식물조사에서 자생하고 있는 것으로 나타난 식물종 중에서 기본 조사를 통하여 녹화식물로 활용할 수 있을 것으로 판단되는 목본식물 4종(참싸리, 물오리나무, 자귀나무, 아까시나무)과 초본식물인 새와 수레국화를 대상으로 발아실험, 파종 후의 생육상황 등을 조사하였다.

녹화식물로 이용하고자 하는 식물종의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

새는 지금까지 포기심기 및 종자파종의 방법으로 임지의 사방녹화공사와 도로사면의 녹화에 많이 이용되고 있으며, 5월과 6월이 파종적기라고 보고한 바 있다. 그러므로 새의 경우는 파종시기에 신중을 기하면 외래초종에 버금가는 사면녹화효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 초기생장이 양호하기 때문에 조기녹화 효과는 높일 수 있겠으나 지속적인 녹화효과라는 측면에서는 목본식물과의 경쟁 등을 고려할 때 사용 시 많은 주의가 있어야 할 것으로 보여진다.

참싸리는 본 연구결과에서와 마찬가지로 일반 산림토양이나 석력함량이 높은 암반 사면지를 대상으로 파종 후의 생육상황도 가장 양호한 것으로 나타났으며 국내에서 사면녹화용 수종으로 사용되고 있는 대표적인 식물이다. 하지만, 종자가격이 상대적으로 비싸다는 단점을 가지고 있다.

비수리는 콩과식물로써 사면 등에 빠르게 군집을 형성하는 장점을 가지고 있고 종자가격이 상대적으로 비싼 참싸리의 대용식물로 적극 활용되고 있는 식물이다. 비수리의 경우 가을 파종이 적합하지 않다는 보고를 고려하면 새와 마찬가지로 파종시기에 보다 신중을 기해야 할 것으로 짐작된다.

물오리나무, 자귀나무, 아까시나무 등의 교목류는 질소고정능력이 있어 황폐지나 절개지 사면 등에 강한 적응력으로 선구식물로도 충분히 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 초기생장이 다소 느린 단점이 있지만, 적응력이 강하다는 측면에서 지속적인 사면녹화용으로 적극 활용할 수 있는 식물로 판단된다. 또한 본 조사대상지인 암반 사면의 절리 틈에 주변 산림으로부터 자연적으로 침입하여 생육하고 있는 것을 보면 식생기반재인 토양이 조금 존재하는 곳이라면 어디든 침입하여 녹화효과를 높일 수

있는 수종이라 생각된다.

## 2) 암반사면 최적 녹화식물 선발

도로절개지나 도로개발로 인해 발생하는 암반사면을 대상으로 기존의 단순히 조기 녹화라는 목적으로 이용되어 왔던 외래도입종이 아닌 자생식물을 이용하여 암반사면을 녹화시킬 수 있는 수종을 선발하기 위한 기초적인 정보를 제공하기 위해 경남 거창군에 위치하고 있는 다섯 개 채석장을 중심으로 암반사면 녹화를 위한 최적식물을 선발하기 위한 연구가 수행되었다. 식물종별로 파종한 실험에서 비록 초기생장이 느려 조기녹화는 기대할 수 없으나 시간이 지남에 따라 생장이 활발한 것으로 나타난 참싸리, 물오리나무, 아까시나무, 자귀나무와 자연적으로 암반사면에 침입하여 생육하고 있는 붉나무, 등나무 등도 암반사면을 녹화시킬 수 있는 수종이라 생각된다. 그리고 녹화효과를 높이기 위하여 식물종별로 배합한다면 식물배합에서 상대적으로 높은 피복율을 나타낸 조기녹화용 식물배합에 사용된 낭아초와 비수리 그리고 조기 녹화 및 경관녹화용 식물배합에 사용된 참싸리, 비수리, 아까시나무, 사방오리, 자귀나무 등을 암반사면 녹화식물로 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 한편 주변 산림에 자생하고는 있지만 암반사면으로의 자연침입 빈도가 낮은 패랭이, 도라지, 구절초, 쑥 등의 초본식물의 경우 발아율은 높아 조기녹화에는 효과적일 것으로 생각되나 지속적인 녹화와 주위 환경과의 조화라는 측면에서는 활용도가 낮을 것으로 판단된다.

암반사면에 적용 가능한 유형별 목초분류는 표 42와 같다.

표 42. 암반사면에 적용 가능한 유형별 목초분류

구분	사용 종자
초본형	-외래초분류: Tall fescue, Perennial ryegrass, Weeping lovegrass, Creeping redfescue, Italian ryegrass, Kentucky bluegrass, Redtop, Switchgrass 등 -재래초종: 새, 솔새, 개솔새, 잔디, 참억새, 수크령, 김의털, 그늘사초, 차풀, 실새풀, 매듭풀, 쭉, 제비쭉, 까치수영, 큰까치수영, 도라지 등 -야생화류
화본형	-외래종: 금계국, 기생초, 개망초, 금불초, 달맞이꽃, 루드베기아, 코스모스, 끈끈이대나물 등 -재래종: 구절초, 감국, 산국, 쭉부쟁이, 패랭이꽃, 민들레, 붓꽃, 타래붓꽃, 원추리, 제비꽃, 벌노랑이, 벌개미취, 등
관목형	-야생화류 -재래초분류: 비수리, 새, 솔새, 개솔새, 쭉 등 -수목류: 싸리류, 낭아초, 족제비싸리, 눈향나무, 짚레, 층꽃나무, 개쉬땅나무, 돌가시나무 등
삼림형	-야생화류 -재래초분류: 비수리, 새, 솔새, 개솔새, 쭉 등 -수목류: 사방오리나무, 산오리나무, 자작나무, 붉나무, 아까시나무, 소나무, 곰솔, 자귀나무, 졸참나무, 단풍나무 등
덩굴식물형	-담쟁이덩굴, 능소화, 칩, 송악, 등나무, 땃덩이덩굴, 등수국, 줄사철나무, 마삭줄, 인동덩굴 등

## 제 4장. 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

### 제 1절. 석산개발 지역의 환경친화적 천공녹화공법의 개발

암반사면 녹화식물을 개발하려는 당초의 목표는 별다른 차질없이 계획대로 진행되었다. 하지만 현장에 파종한 식물들의 생육특성을 관찰할 수 있는 기간이 약 2년 정도밖에 되지 않았다는 것이 본 연구의 한계였다. 앞으로 계속해서 생육상황을 면밀히 관찰해야 할 것이다.

본 연구결과는 거의 수직에 가까운 석산개발 적지를 대상으로 인공적으로는 녹화할 수 없다는 지금까지의 인식을 바꿀 수 있을 것이며 도로공사를 비롯한 각종 건설공사나 채석장에서의 채석을 위하여 암반의 발파 및 이에 따른 암반사면의 노출이 불가피하므로 경관적인 악영향을 최소화 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 암반의 절리 틈에는 주위의 식생이 자연적으로 침입하여 인공적으로 복구·녹화된 지역보다 생태적으로 더욱 효과가 높았으며, 복구를 위한 비용이라는 측면에서도 일정한 간격으로 절리를 인위적으로 조성한다면 자연적인 복구를 기대할 수 있을 것이다. 그러므로 관련 산업체의 앞으로의 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 자생종을 이용한 암반사면의 녹화공법 개발이 주위의 식물 생육환경을 고려한 녹화설계 및 객관적 측면을 고려한 암반사면 녹화를 가능하게 할 것이다.

#### 1. 암반사면 입지환경 조사 및 녹화기반재 개발(달성도 100%)

##### 가) 암반사면 입지환경 조사

- 1) 경남지역 암반사면 입지환경 조사를 통하여 석산개발 지역의 기상, 식생 및 토양 등을 조사하였고, 석산개발에 따른 문제점 및 피해 상태를 조사하였음.
- 2) 암반사면 지표지질 및 구조 조사를 통하여 암반의 풍화, 업종, 암질, 절리 및 층리상태를 분석하였음.

##### 나) 녹화기반 및 자재 개발

- 1) 녹화에 이용될 녹화기반재를 친자연적인 소재를 활용하여 암반사면상에 천공된 일정한 크기에 맞도록 설계하였음.
- 2) 녹화기반을 위하여 배양토 조제 및 종자조합과 그에 따른 미생물 및 토양안정제처리 기법 등도 이미 예비실험도 수행하였음.

다) 암반용 화분개발

- 1) 암반사면의 천공부분에 이용될 암반용 화분은 이미 고안되었음.
- 2) 제작된 암반용화분에 담은 자연표토를 넣은 대조구와 친자연적인 소재를 활용한 녹화기반재 활용 녹화공법을 서로 비교 실험.

2. 암반사면 천공녹화공법 개발(달성도 100%)

가) 암반사면 천공특성 평가

- 1) 암반의 역학적 특성
- 2) 암반별 천공특성 평가

나) 천공기술 개발(달성도 100%)

- 1) 천공 각도 및 모양
- 2) 천공 깊이 및 크기

다) 미생물이용 천공녹화공법 현장실험

- 1) 파종공 생육특성
- 2) 식재공 생육특성

3. 암반사면 천공녹화공법의 특성 분석(달성도 100%)

가) 녹화시험 및 생육조사

- 1) 녹화자재 및 녹화물질별 녹화시험
- 2) 파종종자별 생육특성 조사
- 3) 입지환경별(월별) 생육특성 분석

나) 처리별 효과 모니터링

- 1) 파종공 생육상황 및 효과분석
- 2) 식재공 생육상황 및 효과분석

다) 공법특성 평가

- 1) 각 공법별 식생의 생육특성 비교분석
- 2) 타 공법과의 경제성 및 환경적 효과분석

## 제 2절. 암반사면의 녹화식물 개발

### 1. 암반사면 식물의 생육특성 분석 (달성도 100%)

- 가) 석산개발 지역의 암반사면에서 자생하고 있는 식물들을 조사하고, 암반사면의 생육환경 조사를 통하여 식물의 생리적 및 생태적 특성을 분석하였음.
- 나) 암반사면 자생식물의 번식 및 양묘기술 개발(달성도 90%)
  - 1) 암반사면에서 자생하고 있는 식물들을 중심으로 앞으로 암반사면 녹화용으로 개발하기 위하여 번식 및 양묘실험을 수행하였음.

### 2. 암반사면의 파종 및 종자배합기술 개발 (달성도 100%)

- 가) 미생물이용 종자파종 및 발아촉진 연구
  - 1) 종자파종 방법(초종 및 임목)
  - 2) 종자채집, 저장 및 발아세 검정
- 나) 식물종별, 유형별 종자배합비율 규명
  - 1) 배양토 조제(비료, 종자 및 토양 등)
  - 2) 수종별 배합비 조사
- 다) 암반사면 현장실험
  - 1) 암반사면 파종식물(초본 및 목본) 시험
  - 2) 생육상황 분석(발아율, 피복율, 초장, 분얼수, 종간 경쟁 등)

### 3. 암반사면의 녹화식물 선발 (달성도 100%)

- 가) 생육특성조사
  - 1) 암반사면 파종식물(초본 및 목본) 생육 비교
  - 2) 식물배합별 생육특성
- 나) 경관 생태조사
  - 1) 파종식물과 침입식생 조사
  - 2) 암반사면 경관생태 분석

다) 녹화식물 개발

- 1) 녹화식물의 특성 평가
- 2) 암반사면 최적 녹화식물 선발

## 제 5장. 연구개발결과의 활용계획

### 제 1절. 경남지역 암반사면의 천공녹화 공법 개발

채석장으로 개발된 이후에는 이들 환경이 파괴되고 산지의 지형이 변하게 된다. 훼손된 지역의 산림을 원상으로 회복하는 것은 불가능하지만 가능한 산림을 복구하기 위하여 녹화를 실시하는 것은 채석장의 개발이 완료된 후 대단히 중요한 조치이다. 산이 채석으로 인하여 평지가 되므로 지역사회에 기여하는 경우도 있을 수 있으나 대부분의 경우는 복구를 하지 않으면 안된다. 일반적으로 절벽의 구배는 채석업자의 경영적인 측면에서 가능한 많은 채석을 위하여 거의 수직으로 형성하고 있다. 녹화의 관점에서 보면 소단의 폭이 2m이하이면 나무를 심기가 어려우므로 무엇보다도 소단의 경사를 45° 이하로 유지하고 폭을 넓게 하여 높이는 가능하면 5m 정도로 하는 것이 이상적이다. 그러나 채석업자의 입장에서는 가능한 많은 채석을 위하여 거의 수직으로 절벽을 남기다 보니 소단의 형성에 부정적인 견해가 많다. 채석장의 개발 시 경영에 무리가 없고 절벽의 녹화에 큰 지장을 주지 않는 범위 내에서 소단의 폭을 정하여 나무를 심고 녹화를 유도하면서 자연경관을 유지하고 절벽이 붕괴되지 않도록 토류 시설을 하고 낙석의 위험이 있는 지역에는 보호막을 설치하도록 해야 한다.

천공녹화공법은 채굴이 완료된 후 한꺼번에 녹화를 하는 것이 아니고 맨 위 정상 부부터 채굴이 끝난 절벽에 대하여 천공을 하여 단계별로 녹화를 실시하는 방법을 말한다. 일시에 자연 상태로 복구 되는 것이 아니고 충분한 시간을 두고 자연 상태로 회복되기 때문에 경영상의 무리도 별로 없다. 이 천공녹화 공법의 시행순서는 상부로부터 내려오면서 벤치 커트(Bench Cut)에 의하여 채굴을 하고 난 후 계획된 최종 절벽에 천공을 하여 녹화를 시키고, 또 그 아래사면에서 채굴이 끝나면 최종 잔벽상에 천공을 하고 단계별로 서서히 녹화를 진행시켜 모든 절벽에 대하여 녹화효과를 점진적으로 시공하는 스텝다운(Step-down)식 천공녹화 공법이다.

본 공법은 절벽 깊이 20 - 30 Cm 정도 깊이로 천공을 하고, 녹화화분을 만들어 화분에 여러 가지 침식방지제, 토양개선제 등으로 배양토를 조제하여 종자, 비료, 미생물을 잘 섞어 식생을 유도하여 절벽을 조기에 녹화할 수 있는 새로운 공법을 개발하였다.

가. 기술적 측면

- 1) 천공공법, 배양토 및 미생물을 이용하여 채석개발지역의 발아율과 활착률이 증대되어 조기녹화를 도모할 수 있음
- 2) 석산개발 지역의 암반사면에 친환경적 소재를 이용한 재해 방지 및 생태적 복구를 위한 새로운 친환경적 녹화기반재 개발
- 3) 석산개발로 인한 암반사면의 안정성을 평가하므로써 사면의 안정성을 증진
- 4) 석산개발에 따른 피해실태 분석을 통한 환경적 영향을 저감할 수 있음.
- 5) 석산개발 지역의 유효한 복구 및 복원공법을 개발하여 채석개발지의 GIB-DB 기반 구축에 활용
- 6) 석산개발지역의 비산먼지 및 퇴적토사로 인한 계류오염을 저감하여 호소 및 하천의 수질개선을 기할 수 있음.

나. 경제 · 산업적 측면

- 1) 채석지의 노출로 환경적으로 많은 피해를 받게 되므로 채석타당성 평가를 통하여 석산개발업자의 도산에 따른 미복구지역을 사전에 예방할 수 있음.
- 2) 새로운 친환경적 녹화자재의 산업화 및 실용화를 유도하여 훼손지의 보전 및 환경위해성 감소기술을 개발함으로써 환경복원 및 보전에 소요되는 막대한 정부예산을 절약할 수 있음.
- 3) 자연 및 인공훼손지를 생태적 · 환경적 · 경제적으로 적절하게 복구 · 녹화할 수 있는 방안을 제시함으로써 재해방지 및 경관적 기능을 증진할 수 있음
- 4) 수입에 의존해왔던 각종 친환경적 녹화자재(식생대 및 식생반 등)를 국산화함으로써 기술이전비 절약 등 막대한 수입대체 효과를 발휘할 수 있음.
- 5) 천공녹화공법은 일반적인 사면녹화 공법에 비하여 경비와 노동력이 적게 들고, 노동력을 분산시킬 수 있기 때문에 저비용 고효율의 효과를 얻을 수 있음.
- 6) 산림환경복원 및 복구기술을 석산개발지역 분야에 도입함으로써 개발로 인한 암반사면의 훼손지를 효과적으로 방지, 산림의 경제적 가치 증진 및 관련 산업 육성효과를 가져올 수 있음.
- 7) 석산개발지역의 비산먼지 및 퇴적토사로 인한 호소 및 계류의 수질개선 비용을 절감할 수 있음.

## 제 2절. 암반사면 녹화식물의 개발

인공훼손지를 생태적이면서 친환경적으로 적절하게 복구·녹화할 수 있는 방안을 제시함으로써 재해방지 및 경관적 기능을 증진할 수 있을 것이다. 암반비탈면을 대상으로 조사한 녹화식물의 생육특성은 지금까지 비탈면 녹화를 위해 주로 이용되어 왔던 외래도입초종보다 대상지 주변에서 자생하고 있으며 암반의 절리틈에 자연적으로 침입하여 자라고 있는 수종들의 생육이 우수한 것으로 나타났기 때문에 단순히 조기녹화만을 목적으로 하는 것이 아니고 주변 환경 및 식생과의 조화, 일시적이 아닌 영속적인 녹화를 고려한다면 자생식물종을 이용하는 것이 합리적이라는 하나의 지표로도 활용할 수 있을 것이다.

본 연구의 결과를 바탕으로 앞으로 자생식물을 이용한 암반사면 생태복원 녹화공법 및 기술연구, 다양한 암반사면별 생태천이 과정 조사 및 생태복원 시공 기술 향상을 도모한다면 앞으로도 지속적으로 발생될 수 있는 암반사면을 대상으로 한 합리적인 녹화공법을 확립할 수 있을 것이다.

## 제 6장. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

외국의 경우 채석활동으로 인해 발생하는 암반사면보다는 채광으로 발생하는 폐광상 지역에 대한 복원 연구가 활발하게 진행되고 있다. 프랑스의 경우 폐광산 지역에 대한 복구는 채광 후가 아니라 채광이 진행됨과 동시에 복구사업이 이루어지고 있다. 채광으로 인해 발생하는 식생이나 토양 등은 폐기하는 것이 아니라 다시 이 지역의 복구공사에 그대로 이용하기 때문에 잔벽면과 같이 훼손지로 노출된 지역을 최소화하고 생태적인 측면에서도 회복속도가 빠르고 그 효과 또한 우수한 것으로 평가되고 있다.

일본의 경우 지형복원과 생태복원을 동시에 추구하고 있다. 광산 개발은 상부로부터 진행하며, 최종 잔벽을 형성하면서 순차적으로 하단부를 채굴하여, 개발과 동시에 최종 잔벽을 녹화하는 방법을 적용하고 있는 것으로 조사되었다.

외국에서는 산업 활동으로 인해 발생하는 인위적인 훼손지에 대해 단순히 식생복원을 통한 녹화라는 개념보다는 경관적인 측면이 강조되고 있는 것으로 조사되었다. 경관적인 측면을 중시한 경관생태학(생태계의 공간적 분포 패턴에 관계되는 현상을 밝혀내는 것을 주 목적으로 하여 인간과 자연환경과의 관계를 생태학적 관점에서 분석·종합·평가하여 인간에게 보다 바람직한 지연환경을 보전·창출하는 방법을 연구하는 분야)이 유럽에서 시작되어 전 세계로 확산되고 있는 것으로 나타났다.

## 제 7장. 참고문헌

1. 김경훈. 1994. 林道 切土비탈면의 植生造成에 미치는 環境因자의 影響에 關한 研究. 서울대 大學院 博士學位論文. p 51.
2. 김남춘, 석원진, 남상준, 1998, 비탈면의 조기식생녹화를 위한 식물배합에 관한 연구. 한국임학회지. pp 8~18.
3. \_\_\_\_\_, 1991 綠化植生の 生育이 斜面綠化 및 景觀造成에 미치는 效果에 關한 研究. 서울대 대학원 박사학위논문. p 78.
4. \_\_\_\_\_, 1993. 도로비탈면 녹화에 사용되는 주요 초본 식물의 지하부 생육이 토양안정에 미치는 효과에 관한 연구. 한국조경학회지. 18(2) : 45-55.
5. \_\_\_\_\_, 1997. 주요 초본식물의 비탈면 파종적기에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지. 1(1):28-44.
6. 김동암, 김병호, 김창주 등. 1996. 초지학총론. 향문사. p 545.
7. \_\_\_\_\_, 외 15인. 1996. 草地學總論. 先進文化社. pp 134-179.
8. 김동필, 이기철. 1992. 최첨단의 녹화기술. 명보문화사. pp 11-22.
9. 김봉원 역. 2000. 경관생태학. 태림문화사. 114pp. Dramstad, W.E, J.D.Olson and R.T.TForman. Landscape ecology-Principles in landscape architecture and land-use Planning.
10. 김창주 등. 1995. 초지학개론. 향문사. p 406.
11. 김용철, 2001. 임도비탈면의 종자뿌어붙이기공법의 시공효과에 관한 연구. 경상대학교 대학원 석사학위논문. pp 12-16.
12. 김형기. 1994. 잔디학. 선진문화사. p 489.
13. 마호섭, 2000. 산림환경인자가 임도비탈면의 식생침입에 미치는 영향
14. \_\_\_\_\_, 2001. 산림환경 및 하천형태인자에 의한 유역안정성 평가. 한국환경복원녹화기술학회
15. 박문수. 1996. 임도구조 및 산림환경인자가 임도 비탈면의 식생침입과 토양침식에 미치는 영향. 경상대학교 대학원 박사학위논문. pp 26-30.
16. 서병수, 김세천, 이창현. 박종민, 이규완. 1990. 智異山 國立公園 道路 비탈면에 대한 調查. 韓國造景學會誌. 18(3):39-56.

17. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, 1991a. 智異山 國立公園 道路 비탈면에 관한 研究(I). 韓國造景學會誌. 19(2):75-91.
18. \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, 1991b. 智異山 國立公園 道路 비탈면에 관한 研究(II). 韓國造景學會誌. 80(3):265-278.
19. 우보명, 1983. 道路비탈면의 景觀安定을 위한 基本모델 選定에 관한 研究. 韓國林學會誌. 61:69-79.
20. \_\_\_\_\_, 권태호, 김남춘. 1993. 임도 비탈면의 자연식생 침입과 효과적인 비탈면 녹화공법 개발에 관한 연구. 한국임학회지 82(4):381-395.
21. \_\_\_\_\_, 손두식. 1980. 道路綠化 및 道路造景 技術開發에 관한 研究. 韓國林學會誌. 48:1-24.
22. \_\_\_\_\_, 1978. 비탈面造景. 建設部. p 250.
23. \_\_\_\_\_, 1989. 사방공학. 향문사. p 310.
24. \_\_\_\_\_, 김경훈. 1998. 암절취 훼손 비탈면에 대한 환경생태적으로 안정된 녹화공법에 관한 연구(I). 한국임학회지 87(3):383-390.
25. 류택규, 이천용. 1982. 巖盤露出地의 綠化方法에 관한 研究. 韓國造景學會地. 9(2):13-18.
26. 이경재. 1985. A Study on Vegetation Change of Burned Forest. 건국대학교. 36pp.
27. 이재필. 1995. 도로사면녹화를 위한 식생배합에 관한 연구. 건국대학교 대학원 석사학위논문. p 57.
28. 이천용. 1998. 산림환경토양학. 진성문화사. pp 64-72.
29. 이활진 등. 1992. 사료작물학. 향문사. p 406
30. 일본 도로협회. 1976. 도로녹화기술기준. 同解説. p 101.
31. 일본임업조사회. 1986. 천연림시업과 복증림시업. 398pp.
32. 전기성. 1999. 斜面 綠化用 外來草種과 在來木·草本植物의 適正 播種量 및 混播比에 關한 研究. 서울대 대학원 박사학위논문. pp 46-50.
33. 정원옥, 구소영, 강진택, 마호섭. 2000. 산림환경인자가 임도 비탈면의 토양침식과 사면 안정에 미치는 영향. 慶尙大 演習林研報. 10:48-54.

34. 조백현. 1995. 토양학. 향문사. pp 167-169.
35. 韓國道路公社. 1995. 高速道路 切土 비탈면 綠化工法 研究. pp 91-146.
36. \_\_\_\_\_, 1997. 導入草種侵入이 周邊植生에 미치는 影響에 關한 研究. pp 25-146.
37. 阿部 和時. 1984. 樹木根係の分布特性と斜面保護・安定効果. 綠化工技術. 10(1):1-9.
38. 江崎 次夫, 伏見知道. 1976. 日本産雜草類ののり面保護工に對する利用方法に關する研究(II). -林道切取りのり面での検討-. 愛媛大學農學部 演習林研究報告. 13:161-174.
39. \_\_\_\_\_. 1984. 林道ののり面の保全に關する研究. 愛媛大學農學部 演習林研究報告. 21:1-54.
40. 江崎 次夫, 藤久 正文, 山本 正男, 河野 修一. 1986. 林道ののり面の植生遷移に關する研究. 愛媛大學農學部 演習林研究報告. 24:111-128.
41. \_\_\_\_\_. 1984. 林道ののり面の保全に關する試験. 愛媛大演報 2(1):26-33.
42. 本間 晋. 1989. 林道法面小綠化の實態. 林道研究發表論文集 林道研究會. 24:23-30.
43. 堀江 保夫. 1962. 混播した治山用樹種の種間相互作用. 林業技術. 243:14-17.
44. 堀江 保夫. 1974. 郷土樹種の綠化工への適用. 綠化工技術(日本綠化工研究會).2(1):17-21.
45. 小畑 秀弘. 1974. 木と草の混播について. 綠化工技術(日本綠化工研究會). 2(1):53-56.
46. 小林 洋司, 山口裕子. 1988. 林道路線が景觀に興える影響. 日林誌. 70(8):351-361.
47. 小牧 利明. 1987. マサ土法面綠化における植生の推移と今後の對策. 林道研究發表論文集林道研究會. 22:135-138.
48. 倉田 益二郎. 1979. 綠化工技術. 森北出版. p 291.
49. 坂川 清. 1987. 法面保護工の一祭. 林道研究發表論文集 林道研究會. 22:145

50. 佐藤 重和. 1987. 頁岩地帯にあける切取法面緑化工法. 治山林道研究発表論文集. 22:139-143
51. 澤登 智. 1989. 法面保護工の適用に関する一老祭. 林道研究発表論文集 林道研 究會. 24:167-172.
52. 山田 守 等. 1995. 播種条件の違いが木本植物の發芽/初期生育に及ぼす影響について(I). 緑化工技術(日本緑化工研究會). 21(1):34-40.
53. 山本 正之. 1974. 植生ののり面侵蝕に関する試験. 緑化工技術 2(1):26-33.
54. 山寺 喜成. 1975. 木本植物と草本植物の混播に関する実験. 緑化工技術(日本緑化工研究會). 43(1):14-16.
55. 山寺 喜成. 1990. 急勾配斜面における緑化工技術の改善に関する實驗的研究. 緑化工技術(日本緑化工研究會). p 347.
56. Bradshaw, A.D, D.A.Goode and E. Thorp. 1986. Ecology and design in landscape. 24th symposium of The British Ecological society. Blackwell scientific publication. 463pp.
57. Bratton, S. P. 1982. The effects of exotic plant and animal species on nature preserves. Natural Areas Journal 2(3):3-13.
58. Crow, T. R. and E. E. Gustafson. 1997. Concepts and methods of ecosystem management. Lessons from landscape ecology. In Boyce. M. S. and A. Haney ed. Ecosystem management. p.53-76.
59. Crutzen, P.J., and J.G. Goldammer. 1992. Fire in the environment : the ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires. John Wiley & Sons. 400pp.
60. Harty, F. M. 1986. Exotics and their ecological ramifications. Natural Areas Journal 6(4):20-26.
61. Waldron, L. J. and S. Dakessian. 1982. Effect of grass legume and tree roots on soil shearing resistance. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:894-899.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.