

식생 방틀공법을 이용한 광산사면 보호공법에 관한 연구

최광수¹⁾, 김태혁^{1)*}, 권현호¹⁾

A Study on the Protection Method of Mine Site Slope Using Mine Green Framework

Gwang-Su Choi, Tae-Heok Kim, Hyun-Ho Kwon

Abstract This study presents Mine Green Framework(M.G.F) which can protect the slope of rock and tailings. M.G.F method provides the fiber frame which helps the growth of the plant in the barren site like mined rock slope. M.G.F system consists of the polyester fiber mat, soil, seeds and anchors for the attachment. The optimum rate of filling materials was figured out by many germination tests in order to improve the effect of filling materials and the optimum rate of filling materials was applied in four test sites individually. High rooting rate over 70% was confirmed in all field tests. Especially the moisturizer was the most important component of filling materials and it could make the better condition for the plants.

Key words M.G.F, Slope protection, Fiber mat, Rehabilitation, Optimum mixing rate

초 록 본 연구는 광산지역 암반사면이나 광물찌꺼기 적치 사면 등을 보호하기 위한 섬유 방틀공법에 관한 것이다. 섬유 방틀공법은 식생이 자라기 어려운 열악한 환경에서 섬유를 이용해 식생기반을 조성하여 식생이 활착할 수 있도록 도와주는 사면보호공법이다. 섬유 방틀공은 폴리에스테르 섬유매트, 토양, 종자, 사면에 부착을 위한 앵커부로 구성되어 있다. 섬유 방틀공의 무공상태에서 나타난 저조한 발아율을 V형 타공으로 개선하였으며 18개 초본류에 대한 실내발아시험 결과를 토대로 섬유 내 충전재의 최적 배합비를 산정하였다. 최적 배합비는 4곳의 현장 시험시공에 적용 되었으며 활착율이 낮은 현장에서는 보완된 현장시험 시공을 통해 시공된 섬유를 피복하는 식생 활착률이 70% 이상임을 확인하였다. 특히 시험시공 결과 토양보습제는 식생 활착을 위한 충전재 중 가장 중요한 요소로 작용하였다.

핵심어 섬유 방틀공, 사면보호, 섬유매트, 식생복원, 최적 배합비

1. 서 론

광산개발에 따라 발생하는 광해에는 여러 종류가 있으나, 토양 및 수질 오염과 함께 주요한 광해 요인 중 하나가 사면 파괴에 의한 산림훼손이다. 과거에 폐광된 노천광산 절개사면은 방치한 상태로 시간이 경과한 지 금도 자연적으로 식생이 회복되지 못하고 미관을 저해하는 요소로 남아있다. 이와 더불어 우기 시 강우에 의하여 폐석이 유실되어 수질과 토양을 오염시키고, 사면의 파괴와 산사태 등이 발생하여 주변 도로 및 주거지

역의 파손을 불러일으키기도 한다. 뿐만 아니라, 광물찌꺼기 적치장의 사면에서 광물찌꺼기가 강우에 의해 유실되거나 바람에 의해 비산하면서 인근지역까지 퍼져 2차적인 대기과 수질 오염의 문제도 발생시켜 인근 주민의 민원문제까지 번지고 있다. 이러한 문제는 결국 광산지역의 발전을 저해하는 요인으로 작용하고 있으며 이를 방지하기 위해서는 광산지역에 인위적으로 발생한 사면을 대상으로 생육기반을 조성한 후 자생식물로 녹화하여 복구하는 사면 보호공법의 개발이 필요하다.

우리나라에서는 여러 연구를 통해 폐광지역, 채석장, 임도 및 고속도로 사면에 대한 사면보호공법을 발달시켜왔다. 하지만 대부분의 공법은 경사가 완만한 사면이나 토층이 유실되지 않은 지역을 대상으로 하고 있으며, 급경사지에 시공이 가능한 공법도 종자 사용이 제한적이거나 식물 고사가 빠른 단점 등이 있었다(이천용, 2006).

¹⁾ 광해관리공단 기술연구소
* 교신저자 : shykth@mireco.or.kr
접수일 : 2009년 11월 27일
심사 완료일 : 2009년 12월 7일
게재 확정일 : 2009년 12월 18일

이와 더불어 광물찌꺼기 사면의 보호에 대한 연구는 현재 이루어지고 있지 않은 실정이기 때문에 광산지역의 급경사 암사면이나 광물찌꺼기 사면을 보호하고 녹화할 수 있는 공법에 대한 연구개발이 시급하다.

따라서 본 연구는 절개 사면과 암사면 및 광물찌꺼기 적치장 사면의 척박한 환경에서 식물이 생육할 수 있는 기반을 조성하고 녹화함으로써 광업활동으로 인해 생성된 인위적인 사면의 미관을 개선하고, 산사태와 토양 유실 및 광물찌꺼기 비산 방지를 통해 광산지역의 환경을 복원하고자 개발한 섬유 방틀공(M.G.F)의 개발 과정과 적용성 검토를 수행하였다.

2. 광산사면과 식생 특성

2.1 광산사면에 대한 섬유 방틀공법 적용방안

노천광산의 절개사면은 광산개발을 위해 인공적으로 조성된 사면을 의미하며, 법면의 형태는 산허리를 절개하여 형성된 경사면으로 토양은 식생이 자라기에 척박한 심토층이 드러나는 경우가 많기 때문에 대부분 식물 생육에 필요한 질소, 인과 같은 양분이 결여되어 있다. 광산의 특성상 절개사면은 채굴량을 최대화하기 위하여 법면이 급경사 형태로 조성되어 있으므로 나지 상태로 방치하면 여름철 집중강우 시 우수에 의한 침식이 발생하는 경우가 많고 겨울철 동결융해에 의한 침식이 발생되어 토사 유출 후 점차적으로 파괴에 도달하게 된다(백승운, 2003). 노천광산의 절개사면의 경우는 표면이 암사면이고, 경사도가 50° 이상인 경우가 대부분이며 이를 위한 절개사면 녹화공사는 침식의 발생을 예방하고, 방치된 나지의 미관을 아름답게 하기 위하여 심미성을 높이는 효과가 있다(안태봉, 1999).

절개된 급경사 암반층 사면은 본래의 식생이 자라던 위치와 같은 위치에 존재하므로 같은 식생을 요구하지만, 실제로는 토사층인 표면이 암반층으로 변화하였고, 경사면이 급경사로 변하여 식물이 살기엔 척박한 환경으로 변화하였으므로, 식물생장에 필요한 토사층의 두께와 수분의 조건, 바람의 영향들이 절개전의 환경조건과 달라져 주변의 기존사면과는 다른 미관을 가지게 된다(김남춘 1991). 노천광산 절개지의 경우 폐광 후 수십년이 경과한 후에도 주변의 식물의 침입에 의한 천이가 되지 못하고 암사면 형태로 미관을 저해하고 있다.

광산지역에서 나타날 수 있는 광산사면의 형태는 채굴에 의한 노출된 암반사면과 광물찌꺼기 적치에 의한 사면 그리고 폐석에 의해 형성된 폐석사면 등이 존재한다. 방틀공법을 적용하기 위해서 암반사면의 암반이 50° 이상의 급경사 지역으로 마찰저항력이 약하기 때문

에 락볼트 등을 이용하여 충분한 지지력을 발휘해야 하며 락볼트로 시공하기 전에 사면의 절리의 방향성, 크기 등 사면의 파괴에 대한 조사가 선행되어야 한다. 광물찌꺼기 사면의 경우는 자연사면으로 마찰저항력이 크고 비교적 오랜 기간동안 안정이 되었으므로 고정핀으로 고정이 가능하나 우기 시 홍수에 의한 함수율 증가로 나타나는 슬라이딩에 대비한 적치사면에 대한 검토가 필요하다. 폐석적치장은 오랜 기간동안 사면이 안정되어 있으나 물리적 구조상 하부가 폐석으로 쌓여있어 착지핀으로 고정하기 곤란하므로 복토를 30 cm 정도로 하고 다짐을 한 후 고정시키고 일반적으로 폐석 사면은 광물찌꺼기 사면보다 대규모 형태로 인위적 소단을 두고, 소단을 형성한 지역에 집중적으로 복토 및 착지핀으로 고정하는 방법이 우선적으로 고려되어야 한다.

2.2 광산사면의 녹화 식생특성

절토 사면 녹화용 식물은 초기 발아와 조기녹화가 잘 되고 척박한 환경에서 생존이 가능해야 하며, 사면녹화에 사용되는 식물로는 외래종 잔디류가 선호된다. 그 이유는 재래종 초본은 초기 발아 및 활착이 지연되고, 종자 구입 및 가격이 고가이기 때문이다. 최근에는 외래종 초본 위주의 사면녹화 공사의 생태적 혹은 경관적인 문제점이 부각되고 있어, 외래종과 재래종을 혼합하여 파종하는 식물 배합이 채택되고 있으나, 외래종이 우성을 띠는 경향으로 재래종 식물의 파종기와 생육특성에 영향을 주게 된다(우보명, 1998). 현재 외래종과 혼합 파종 후 식생간의 상호 경합으로 인한 식생의 천이와 관련하여 폐광지역 산림복구 시 비수리, 새, 썩, 안고초 등이 많이 사용되고 있다.

광산지역 사면의 녹화에서 주변 환경과 조화를 이루기 위해서는 목본류의 녹화가 필요하며, 목본류는 초본류에 비해 견고한 특성이 있고, 표면의 풍화에 대해 저항하는 효과도 있어 목본류에 의한 식재가 암사면의 녹화에는 중요한 요소이다. 하지만 암사면에 목본류의 식재가 쉽지 않고, 초본류 식재를 통해 목본류, 관목류로 천이하는 것을 기대하지만 암사면에서는 일반평지의 천이의 형태처럼 자연스러운 변화가 어려운 실정으로 급경사지의 흉물스러운 암사면의 미관을 아름답게 하고자 식재를 하는 경우는 대부분 초본류에 의한 피복에 의존하고 있다. 암사면 녹화에 사용하는 목본 수종은 족제비싸리, 탕자나무, 개나리, 참싸리, 아카시아, 병꽃나무, 조팝나무, 국수나무 등이 있다.

3. 섬유 방틀공 제작 및 발아시험

3.1 섬유 방틀공의 제작

대부분의 사면보호 공법은 경사가 완만한 사면이나 토층이 유실되지 않은 지역을 대상으로 하고 있으며, 섬유재질의 부직포로 제작되는 유사 토목섬유보다 섬유방틀공법은 급경사지에 시공이 가능하고 풍화, 동결 등에 강한 저항력을 가지고 있다. 적용된 섬유의 기능은 직사광선에서도 쉽게 풍화되지 않고 강도를 유지할 수 있어야 하며, 사면을 보호하고 침식을 방지할 수 있어야 한다. 또한 식물은 투과하되 종자와 토사는 유출되지 않는 특성을 가지고 있어야 한다. 특히 광산지역의 특성상 산성배수에 대한 강한 내성을 가져야 부식으로 인한 토사 유출을 막을 수 있다. 이를 감안하여 섬유방틀공의 재료는 상기조건을 만족시키고 산성에도 내구성이 뛰어난 폴리에스터(polyester) 재질로 선정하였다. 폴리에스터 재질은 수증 및 지중에서 산, 염기성, 기타물질에 의한 화학적 반응이 발생하지 않고 부식되지 않기 때문에 반영구적인 재질이다. 섬유 방틀공법은 또

한 무게가 가볍고 시공이 편리하며 동절기에 동해가 발생하지 않는 장점이 있다. Table 1은 현장시공에 사용된 섬유 방틀공의 재질을 한국광해관리공단에서 2008년 한국건자재시험연구원에 의뢰하여 분석한 물리적 특성에 대한 시험결과이다.

3.2 충전재의 구성요소

혼합토양은 토사, 석회석, 보습제, 퇴비, 종자를 혼합한 혼합물로 석회석의 기본물성은 석회석(탄산칼슘, CaCO₃) 100%와, 소석회(수산화칼슘, Ca(OH)₂) 74%, 생석회(산화칼슘, CaO)56%을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 보습제는 제조회사 K업체의 토양보습제를 사용하였으며 토양보습제는 외관상 부정형 입자의 상태를 나타내고 함수율이 10%이하 pH는 6~7의 중성의 성질을 가지고 있다. 사용 보습제 특징은 천연의 고분자 전해질과 고흡수성수지(Super Absorbent polymer) K-SAM의 구성으로 매우 효과있는 농/원예용 보수, 보습제로 약 200배에 달하는 물의 양을 보수할 수 있다. 퇴비는 농협에서 판매하는 숙성된 퇴비를 시험용으로 사용하였다.

Table 1. 섬유 방틀공의 재료 시험 결과(한국광해관리공단, 2008)

		시험 결과값
인장강도	FILTER POINT	2588.7 N
	GROUND	1803.5 N
인장신도	FILTER POINT	33.6%
	GROUND	31.5%
인열강도	웨일	1257.3 N
	코스	981.4
재 질		PET
중 량		413.7 g/m ²
두 께		0.41 mm
수직투수계수		2.6×10 ⁻² cm/s

3.3 섬유 방틀공 투과 시험

방틀섬유를 1.5 m×1.2 m 규격으로 재단하여 배합된 혼합토양을 건조한 상태에서 주입하고 초기에 관수 후, 자연 상태에서 발아여부를 시험하였다. 섬유에는 식물의 투과를 위한 별도의 천공을 하지 않는 섬유와 천공을 한 섬유의 투과시험을 Fig. 1과 같이 실시하였다.

혼합토양에 포함된 씨앗이 발아 후 직조된 섬유구멍을 통하여 발아여부를 확인하고자 실시한 시험으로 시험결과 잔디류의 투과는 빈도수가 보통이고, 화초류는 대부분 투과를 하지 못하였지만 인위적으로 몇 개소에 구멍을 낸 곳에서는 투과가 확인되었다. 발아 10일 후 일부구간에 천공을 하여 식물이 투과 여부를 관찰하였으나 잎이 성장하여 벌어진 상태이므로 투과에 도움이 되지 않았으며, 방틀공을 이용한 녹화시 초본류 및 목

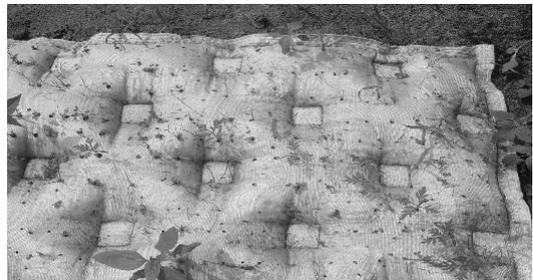


Fig. 1. 무공(좌)과 유공(우)에 따른 식생의 섬유투과 시험 결과(20일 경과)

본류의 투과를 위해 발아 전에 천공이 필요하다는 결과를 얻었다.

무공시험 결과에 의해 잔디류 외 식물의 원활한 투과를 위한 방안으로, 방틀섬유에 식물 투과를 위한 구멍을 천공(2,3,4,5,6,7,8,10 mm)하여 혼합토양을 주입하고 발아 및 투과 상태를 관찰하였다. Fig. 1의 우측과 같이 시험 실시 후 잔디와 초화류가 함께 투과되어 성장하기 시작하였고 무공상태보다 20일 후 전 면적에 고른 투과 양상을 보이며 성장하고 있음이 확인되었다. 30일 후에는 투과된 식물이 흑서기 태양 빛에 고사하지 않고 성장할 정도로 양호한 성장 상태를 보였다. 80일 이후에는 개화가 시작되었고 육안적으로 방틀섬유가 보이지 않을 만큼 원활한 성장을 보였다. 발아시험 결과 발아율이 가장 양호한 섬유타공 크기는 10 mm로 시험 40일이 경과한 시점에서 발아율이 70% 이상으로 나타났다. 천공의 직경이 20 mm 이상이면 섬유 방틀공 내부의 충전재가 유실되는 현상이 일부 발생하므로, 천공의 적정 직경은 10~20 mm가 바람직한 결과를 보였다. 타공 방법으로는 최초 섬유에 열을 가하여 원형 타공을 형성하는 방법이었으나, 열에 의한 영향으로 토피층의 종자가 고사하는 현상이 발생하였다. 또한 섬유 방틀공 내부에서 토피층보다 안쪽에 매립된 종자는 타공에 의한 영향이 미치지 못해 발아율이 저조하였다.

이를 보완하기 위해 Fig. 2와 같이 방틀섬유(M.G.F 섬유)에 V형 모양의 타공체로 타공한 구간은 그 면적만큼 토피층을 생성하여 충전재 안쪽에 매립된 종자까지 발아를 유도할 수 있었다.

3.4 실내 발아시험

발아시험을 위한 시료는 충북 음성군 금왕읍 사창리의 실험실 소유 부지에서 채취하였으며, 현장 시료를 손가락으로 비벼본 결과 점성이 미미하게 느껴지며, 육안으로 입자크기 식별이 가능한 것으로 점토가 소량 섞인 척박한 사질토로 통일분류법에 의해 SC, 비중은 2.57로 나타났다. 사질토 계열의 흙은 과다배합으로 인하여 경제성이 떨어지나 점토질 흙에서 발생하는 시공성 저하를 저감할 수 있다. 본 연구에서는 배합비에 따른 발아율을 관찰하기 위해 Table 2와 같이 토사, 석회석, 보습제의 양을 조절하여 육묘상자에 사면 녹화에 많이 사용되고 구입이 용이, 성장이 빠르고 광산지역 특성 중 하나인 산성 광산배수에 대한 피해가 적으며 내성이 강한 오차드, 자운영, 들잔디 등 18종의 재래종과 외래종을 혼합하여 파종 후 활착 및 성장을 조사하였다(Fig. 3). 종자의 발아일은 일정기간의 휴면상태를 걸치고 잎이 땅을 뚫고 올라오는 시점으로 하며 활착일은 육묘상자의 전면을 발아한 잎이 피복하는 시점을 기

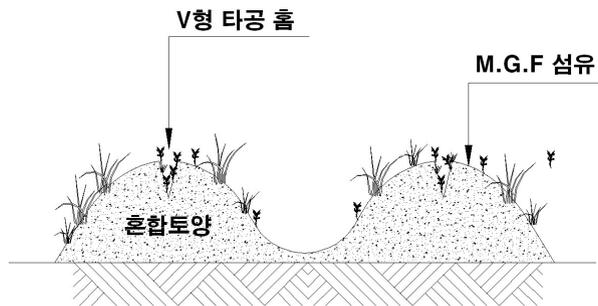


Fig. 2. 발아율 향상을 위한 방틀섬유의 V형 타공 모식도

Table 2. 실내발아 시험을 위한 적용 배합비

구 분	시험1	시험2	시험3	비고
토사	92	87	84	
석회석		5	5	
보습제			3	
퇴비	8	8	8	고정
계	100	100	100	



Fig. 3. 실내발아 시험3 결과(18개 수종)

준으로 조사하였고, 초본류 18개 수종을 3개의 조건으로 총 54개의 육묘상자에 대해 실시하였다.

발아와 활착의 상태는 주위 온도와 종자의 관리에 따라 차이를 나타내므로 이에 대한 조건을 동일하게 설정한 후 관찰결과, 시험1(흙+퇴비)은 수분부족으로 발아 및 생육상태 저조한 결과를 나타내었고, 시험2(흙+석회+퇴비)의 초기 발아 상태는 상대적으로 저조하나 시간 경과 후 활착이 좋은 양상을 보여 주었으며, 시험3의 경우(흙+석회+퇴비+보습제)는 초기발아 상태가 양호하고 시간이 경과할수록 다른 시험 대조구에 비해 우수한 활착을 나타내었다. 일반적으로 발아나 활착의 시기가 늦을수록 장애요인에 의한 피해와 발육상태가 불량할 수 있으며 발아와 활착이 빠를수록 식생이 양호한 성장을 보이는 경우가 많다. 식생 중에 따라 해바라기, 자운영, 쑥부쟁이 등은 발아와 활착이 양호하였고 꽃창포, 매발톱 등은 불량한 종으로 나타났다. Fig. 4에서 나타나듯이 시험3 조건에서 적용한 18개 수종 중 10개 수종으로 약 55%의 비율로 최초 발아일과 활착일이 빠름을 확인할 수 있었으나 레드크로바와 사스테리아에서는 최초

발아일과 활착일이 저조하게 나타났다. 특히 보습제를 첨가함으로써 향상된 수분 보유력으로 발아와 활착에 중요한 요소로 작용했지만 적정량의 배합과 경제성에 대한 고려가 필요하다.

4. 현장 시험시공

개발된 섬유 방틀공의 현장 적용성을 살펴보기 위해 광산현장과 관련된 암반사면, 광물찌꺼기 적치사면, 광물찌꺼기 적치장 콘크리트 벽체 등에 대해 여러 차례 시험시공을 실시하였다. 강원도 강릉시 석회석광산의 절개사면은 방틀공 고정방법의 효율성을 검토하기 위해 실시되었다. 실내 발아시험과 2007년도 강원도 원주에 인공절개사면에서 시험시공을 실시하였고 현장시험에는 Table 3과 같은 충전재의 최적 배합비를 선정하고 이후 모두 동일한 배합비를 사용하였으며 복사열과 광물찌꺼기의 영향을 많이 받은 콘크리트 블록사면에 대한 시험시공을 제외한 모든 지역에서 시공된 방틀섬유와 피복된 식생의 비로 나타난 활착률이 70% 이상으로

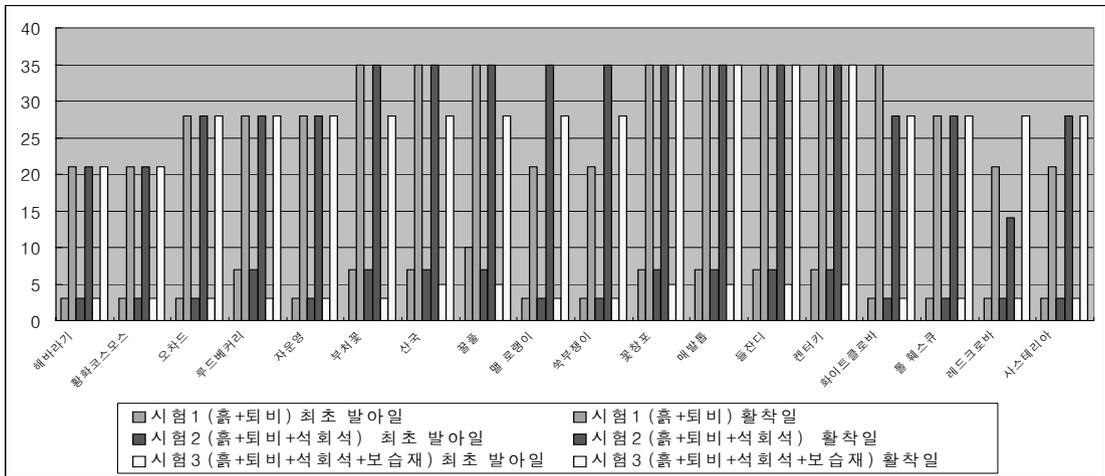


Fig. 4. 충전재 배합비에 따른 실내 발아시험 결과

Table 3. 현장시험에 적용된 충전재의 배합비

구분	현장적용 배합비(100 m ²)	
	중량	비율
토사	1142 kg	84%
석회석	68 kg	5%
보습제	41 kg	3%
퇴비	109 kg	8%
계	1320 kg	100%

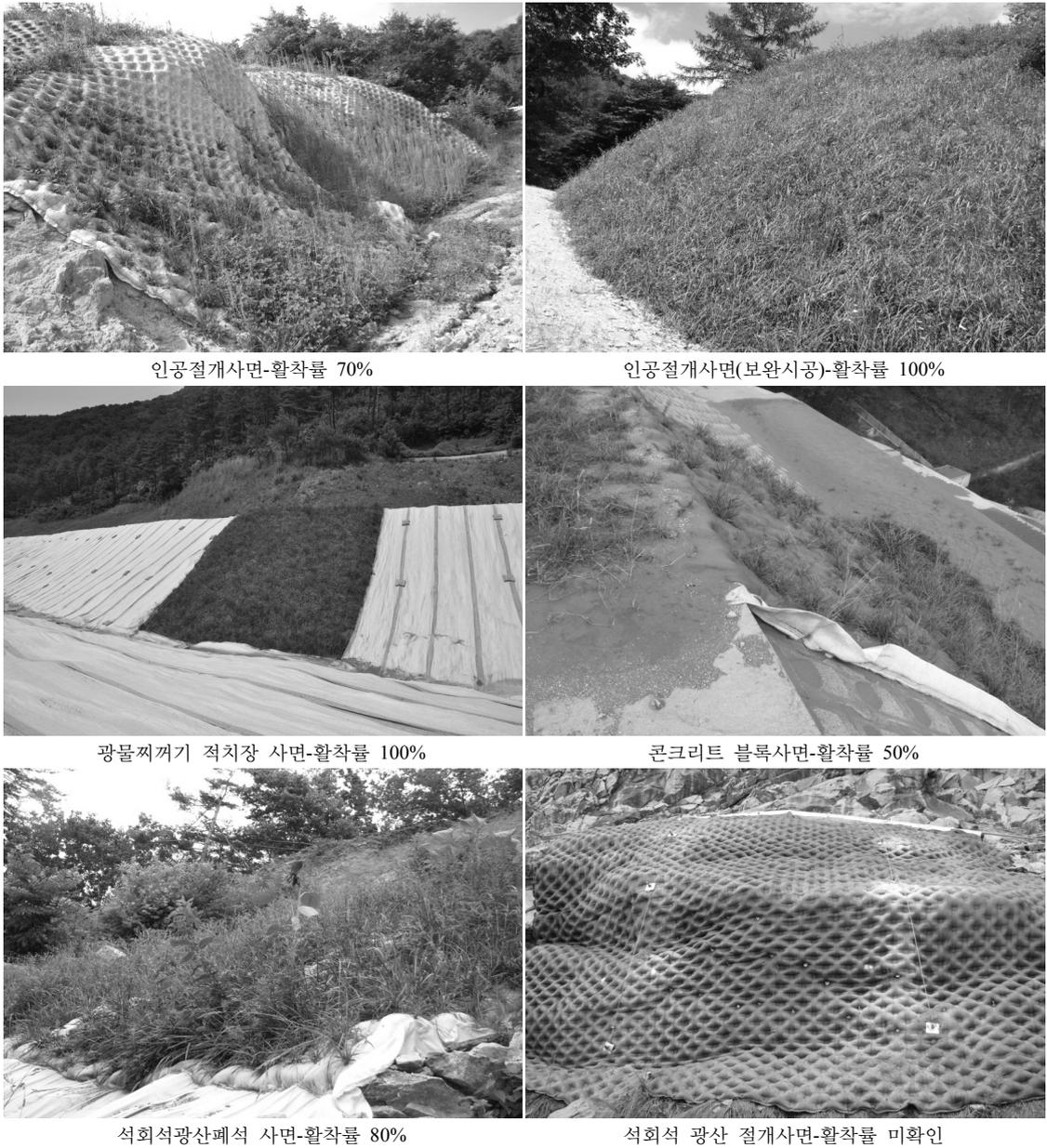


Fig. 5. 각 현장시험지에서의 식생활착률

양호한 식생을 나타냈다(Fig. 5).

4.1 강원도 원주 인공절개사면

실내에서 시험한 섬유 방틀공의 현장 적용성 검증을 위해 2007년 9월 4일 강원도 원주시 인근 지역에 인위적으로 조성된 절개사면에 시험시공을 실시하였다. 경사는 55~60° 정도로 충전재 종류에 따른 결과를 비교

하기 위해 약 100 m² 정도의 면적을 3구역으로 구분하여 실내시험과 마찬가지로 충전재를 배양토 + 양분, 배양토 + 양분 + 석회석, 배양토 + 양분 + 석회석 + 보습제로 구분하여 각각 시험시공하였다. 시공 후 5일까지는 발아가 진행되지 않았으나, 10일이 경과한 시점에서 일부 천공에서 발아가 관찰되었다. 식물의 생장이 가장 왕성한 8월에는 보습제 함유구간의 전 구간에서 발아와

생육이 왕성하였으나, 보습제 미 함유구간은 하단부 일부구간에서만 발아된 상태였다. 또한 섬유 방틀공을 들어 올려 살펴본 결과 뿌리 생장이 섬유를 투과하여 지면에 정착하는 것을 확인할 수 있었다. 2008년 4월 동일장소의 인근사면의 시험결과를 바탕으로 개량된 충전재를 사용하여 활착율을 높이기 위한 보완시험시공을 실시하였다. 시공 방법은 동일하며 섬유 방틀공에 목본을 도입하기 위해 주변에서 관찰된 관목수종인 개나리, 뽕나무, 생강나무 등을 섬유 방틀공에 삽목하여 생육상황을 관찰하였다. 삽목 수종의 생육상황을 관찰한 결과 섬유 방틀공에서 생육하는 초본에 비해 활착률이 떨어지는 것으로 관찰되었지만, 일부 수종은 활착 후 양호한 생장을 보이기도 하였다. 삽목의 경우 지속적인 관찰 및 추가 실험을 통해 적정 목본 수종 및 삽목 방법을 개발한다면 사면에 대한 목본 수종의 도입이 성공할 수 있을 것으로 기대된다.

4.2 강원도 영월군 광물찌꺼기 적치장 사면

국내에 산재되어 있는 광물찌꺼기 적치장 댐은 주로 콘크리트 블록으로 시공되어 있으며, 주기적인 보수에 의해 유지관리비용이 증가하는 단점이 있기 때문에 다른 대체방안이 필요하다. 특히 시험시공의 대상지인 강원도 영월군 광물찌꺼기 적치장은 시공된 콘크리트 피복블록에서 열화손상, 풍화 및 파쇄현상이 전구간의 전단에서 발생하여 피복블록의 교체 작업 및 보수공사로 인한 유지보수비용이 지속적으로 발생하고 있다. 따라서 본 시험시공은 대상지인 광물찌꺼기 적치장 사면에 대한 섬유 방틀공의 적용성 검토를 위해 실시하였다. 경사는 약 40°이며 2007년 10월에 실시 후 2009년도에는 피복된 섬유 방틀공사로 다년생 초본류가 다시 발아를 시작하였으며 하절기에는 섬유 방틀공 전면을 피복하였다. 본 시험시공지역의 상단부에는 기존에 녹생토와 시드스프레이 코어네트가 시공된 구간과 본 섬유 방틀공 시공 구간을 육안으로 비교 관찰한 결과 이들 공법에 비해 본 공법의 생육상황이 양호하고 토양유실방지 기능이 뛰어난도 확인되었다.

광물찌꺼기 적치장 인근 콘크리트 블록사면에 방틀공의 적용성을 알아보기 위해 추가시험을 시행하였으며 추가 실험은 콘크리트 블록구조물의 미관성을 향상시키는데 목적을 두었다. 시공면적은 20 m²로 동일 최적 배합비를 사용하였다. 그러나 콘크리트 블럭사면이 광물찌꺼기 적치 사면보다 식생의 활착률이 낮았으며 그 원인은 콘크리트 사면의 복사열로 인한 보습제의 기능 저하와 기계식 주입이 아닌 인력주입으로 인한 충전재의 조밀하지 못한 충전이 원인으로 판단된다. 2009년 4월에는

광물찌꺼기가 바람에 의해 방틀공 하부 식생피복지에 축적됨에 따라 하부는 생장이 불가능한 상태가 되었다.

4.3 강원도 영월군 석회석광산 폐석사면

광산지역에 형성되는 폐석사면은 장기간 세월이 경과해도 자연적인 녹화가 이루어지지 않을 뿐만 아니라 인위적인 녹화공법을 도입하는데 있어서도 많은 어려움이 존재하므로 강원도 영월군에 위치한 석회석광산의 폐석사면 대한 본 섬유 방틀공의 현장 적용성을 검토하고자 실시하였다.

2008년 3월경 관찰하였을 때는 아직 발아가 발생하지 않았으나, 6월경에는 섬유 방틀공의 약 30~40%에 해당하는 면적에서 식생이 생육하였고 7월 이후에는 섬유 방틀공의 약 80% 이상에서 식생이 활착하고 있었다. 사면이 폐석으로 이루어져 있기 때문에 섬유 방틀공과 폐석사면 사이에 공동층이 형성된 부위가 존재하는데 식생의 발아와 생육에는 영향을 미치지 않는 것으로 관찰되었다. 하지만 강원도 영월군 광물찌꺼기 적치장 시험시공지에 비해 발아 및 생육상황이 다소 불량한 원인은 폐석사면의 물리적 특성보다는 동절기에 시공을 하여 종자가 동해를 입었고 현장의 악조건에 따른 혼합토양의 균질한 주입이 어려웠기 때문이다.

4.4 강원도 강릉시 석회석광산 절개사면

국내 많이 존재하는 석회석광산의 암사면에 대해 섬유 방틀공의 고정방법에 대한 연구 일환으로 시행하였다. 적용면적은 100 m²에 기존 시험시공과 동일한 방법을 이용하고 고정방식을 앵커볼트를 이용한 방법과 락볼트를 이용한 방법으로 시공하였다. 급경사지의 경우 혼합토양의 순차적 주입 후 앵커볼트를 이용하여 사면과 섬유 방틀공과의 밀착을 유도하여 정착시켰다. 락볼트를 이용한 시공의 경우 천공장비의 진입과 시멘트 밀크 등의 충전으로 인한 작업효율이 떨어짐에 따라 사면의 보강이 특별히 요구되지 않는 한 앵커볼트를 이용한 고정법이 시공성과 경제성에서 효과적임이 확인되었다.

5. 결론

본 연구에서 광산사면의 보호와 녹화를 위한 방틀섬유 적용에 대해 실내외시험을 실시하였고 결과는 다음과 같다.

- 1) 건자재 시험연구원에 의뢰하여 분석한 섬유 방틀공의 재질은 직사광선이나 강우, 바람 등에 장시간 노출되어도 풍화되지 않고 광산지역의 특수성에 따른

산성에 대한 내성이 강한 폴리에스테르 재질의 섬유로 선정하였다.

- 2) 잎이 뾰족하고 날카로운 잔디류를 제외한 다른 수종의 발아율을 향상시키기 위해 실내에서 섬유 방틀공에 타공 실험을 한 결과, V형 천공이 직경 1~2 cm일 때 가장 효과적인 결과를 나타냈다.
- 3) 충전재의 배합비는 실내 발아실험을 한 결과, 보습제와 석회석이 포함된 배합비에서 발아율이 가장 양호하였으며, 섬유 방틀공 충전재의 최적 배합비를 산정 후 강원도 원주시 인공절개사면에서 1차 시험시공을 통해 현장에서도 동일한 결과를 얻었다.
- 4) 실내시험으로 산출된 최적 배합비를 통해 암 절개사면과 광산지역 광물찌꺼기 적치장 사면에 대한 현장 적용성 평가를 실시하였고 2년간 식생이 70% 이상 전면 피복함을 확인하였다.

이러한 결과를 바탕으로 본 연구를 통해 개발된 섬유 방틀공법은 광산지역의 암사면이나 광물찌꺼기 사면과 같이 식생 도입이 어려운 폐광지역의 미관을 친환경적

으로 개선하고 강우와 같은 침식이나 풍화를 방지하는 사면보호 공법으로써의 효과적인 녹화가 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 김남춘, 1991, “녹화식생의 생육이 사면녹화 및 경관조성에 미치는 효과에 관한 연구, 서울대학교 대학원”, pp. 3-18.
2. 백승윤, 2003, “절개지 보강사면의 녹화에 관한 연구”, 영남대학교, pp. 18-24.
3. 안태봉, 1999, “친환경적 암사면 녹화공법”, 한국건설기술연구원, pp. 38-45.
4. 우보명, 1998, “고속도로 비탈면 녹화용 도입초종의 생육 특성 분석”, 한국조경학회지, Vol. 26, No 1, pp. 12-20.
5. 이천용, 2006, “훼손산지 비탈면의 생태적 복구기술”, 국립산림과학원, pp. 43-67.
6. 한국광해관리공단, 2008, “식생을 이용한 노천광산 절개사면보호공법 개발”, pp. 52-101.
7. 한국광해관리공단, 2007, “상동광산 광미적치장의 항구적 처리방안 연구”, pp. 330-336.

최 광 수



2004년 전남대학교 공과대학 지구시스템 공학과 학사
2006년 전남대학교 공과대학 지구시스템 공학과 석사

Tel: 02-3702-6772
E-mail: gschoi@mireco.or.kr
현재 한국광해관리공단 광해기술연구소 연구원

김 태 혁



1992년 서울대학교 자원공학과 학사
1994년 서울대학교 대학원 자원공학과 석사
1999년 서울대학교 대학원 자원공학과 박사

Tel: 02-3702-6771
E-mail: shykth@mireco.or.kr
현재 한국광해관리공단 기술연구센터 암반공학파트장

권 현 호



1983년 삼척대학교 공과대학 자원공학과 공학사
2009년 강원대학교 공과대학 광해.지질 방재 공학석사

Tel: 02-3702-6650
E-mail: hyho@mireco.or.kr
현재 한국광해관리공단 광해기술연구소