

절토사면의 보호 및 녹화공의 문제점과 개선방향

Improvement Prospect and Problems of Revegetation Method in the Cutting Slope

전기성¹⁾, Gi-Seong Jeon, 유병옥¹⁾, Byung-Ok You, 황영철¹⁾, Young-Cheol Hwang, 김태수²⁾, Tae-Su Kim

¹⁾한국도로공사 도로연구소 책임연구원, Chief Researcher, HRC, Korea Highway Corporation

²⁾한국도로공사 도로연구소 연구원, Researcher, HRC, Korea Highway Corporation

개요(SYNOPSIS) : 절토사면 보호·녹화공의 개념과 분류체계가 아직까지 확립되어 있지 않으며, 현장에서 공법의 선정과 시공도 여러 가지 적절하지 못한 경우가 자주 발생하고 있다. 이러한 것을 해결하기 위해서는 이 분야에 대한 지속적인 투자와 관심, 그리고 관련회사의 사면의 환경특성을 고려한 성실시공이 수반되어야 한다. 또한, 절토사면의 장·단기적인 유지관리를 위해서 사면의 분포현황, 사면녹화공의 시공·관리상태, 환경특성 등의 자료를 조사하여 종합적인 사면유지관리시스템과 연계해야 할 것이다.

주요어(Key words) : 녹화공법(Revegetation measures), 기반재 취부공법(Hydroseeding measures with seed, fertilizer and soil materials)

1. 서론

우리나라가 경제개발 5개년계획을 성공적으로 추진하면서 급속한 경제성장을 이룩하게 됨에 따라 도로건설도 활발하게 이루어 졌다. 1999년 1월 현재 한국의 도로현황을 살펴보면, 도로 총연장이 85,070km로서 고속도로 1,991.1km('98 기준), 국도 12,459km, 특별(광역시)도 17,243km, 지방도 17,089km, 시도 14,546km, 군도 21,742km이며, 포장율은 74%(62,868km)로 포장도로의 81.1%가 2차로 이하로 51,010km에 달하고 있다.

우리나라는 경부고속도로를 건설할 당시에는 도로사면의 보호·녹화에 오늘날과 같이 기계화에 의한 녹화가 되지 않고 고속도로 연변식재, 중앙분리대 식재, 사면의 붕괴방지식재 등에 주력하였다. 그후 고속도로를 일반국민이 많이 이용하게 되면서 많은 물량이 건설됨에 따라 새로운 식재에 의한 계획, 안전성의 확보, 주위와의 경관적 조화 등의 문제가 제기되었다.

한국에서 고속도로 사면녹화에 대한 사항이 언급된 것은 영동고속도로(신갈-새말) 개통 무렵인 1971년 무렵이었다. 이전까지만 하여도 비탈면을 사방공법적인 방법으로 녹화하고 가로수를 식재하는 것 정도의 수준이었다. 국내최초로 2억원을 들여 정부에서 새마을 사업으로 채종한 들잔디씨앗을 약제처리후 인터체인지, 토사비탈 등에 파종을 시행하여 녹화사업이 본 궤도에 오르게 되었다.

1975년에는 들잔디에 의한 절토부녹화 취부과중공법 연구를 시행하여, 비탈면을 잔디에 의한 녹화를 본격적으로 시도하였고, 지금의 기계화된 시공방법의 원조인 취부과중방법으로 시공하였다.

현재는 절토사면을 크게 발파암, 리핑암, 토사로 구분하여 비탈면을 분류하고 있으며, 이에 대한 녹화공법이 주로 씨드스프레이에 의한 시공을 하고 있고, 비교적 경비를 적게 들이는 공법만을 채택하여 시

공하고 있다. 또한, 암반사면은 지질, 암반절리 및 균열상태, 주변환경, 사면 경사도 등을 고려하지 않고 시공되고 있는 것이 사실이다.

따라서, 이 연구에서는 녹화공법의 종류와 특성을 소개하고, 고속도로 암반사면에 시공된 공법과 기존 연구자료를 기초로 하여 녹화공법의 적용성과 문제점 등을 분석하여 개선방향을 제시 하고자 한다.

2. 녹화공법의 특성과 분류

도로 절개지 비탈면은 도로라는 특수성 때문에 부득이 하게 기반암까지 노출되는 경우가 대부분이며, 이러한 기반암 노출은 주행자 및 인근주민에게 나쁜경관을 제공할 뿐만 아니라 비탈면의 불안정으로 기인한 붕괴의 우려까지 내포하고 있는 경우도 있다.

도로 비탈면 안정을 위한 공법을 보면, 비교적 붕괴위험이 적은 비탈면은 콘크리트 격자틀붙이기, 힘줄박기, 블록붙이기, 돌쌓기, 돌망태쌓기, 지오웹, 옹벽, 슛크리트, 낙석방지망덮기 및 낙석저지책세우기 등이 시공되고 있으며, 비탈면이 불안정하고 붕괴위험이 높은 비탈면은 앵커박기공법, Soil Nail공법, FRP공법, 약액주입공법, 말뚝공법 등 토목공학적인 공법으로 시공하여 안정을 기하고 있다.

비탈면 환경복원은 여러 가지 목적으로 인하여 훼손된 비탈면을 안전하게 녹화하여 침식붕괴를 방지하고 경관을 조기에 회복시키며, 단절된 자연환경과 생태계를 복원함으로써 야생동식물의 서식공간을 조성하는 역할을 하기도 한다.

도로 비탈면의 녹화는 인건비 및 기타 자재비의 상승으로 주로 기계를 이용한 시공방법을 택하고 있으며, 도로를 이용하는 주행자 및 이용객들에게 보다 친숙하고, 환경친화적인 느낌과 경관을 제공하고자 시공되고 있다. 그러나 비탈면의 녹화는 안정성과는 별개로써 경관적인 측면이 많이 고려되고 있으며, 노선보다는 휴게소 주변 비탈면의 녹화시에 더욱 주의를 기울이고 있다.

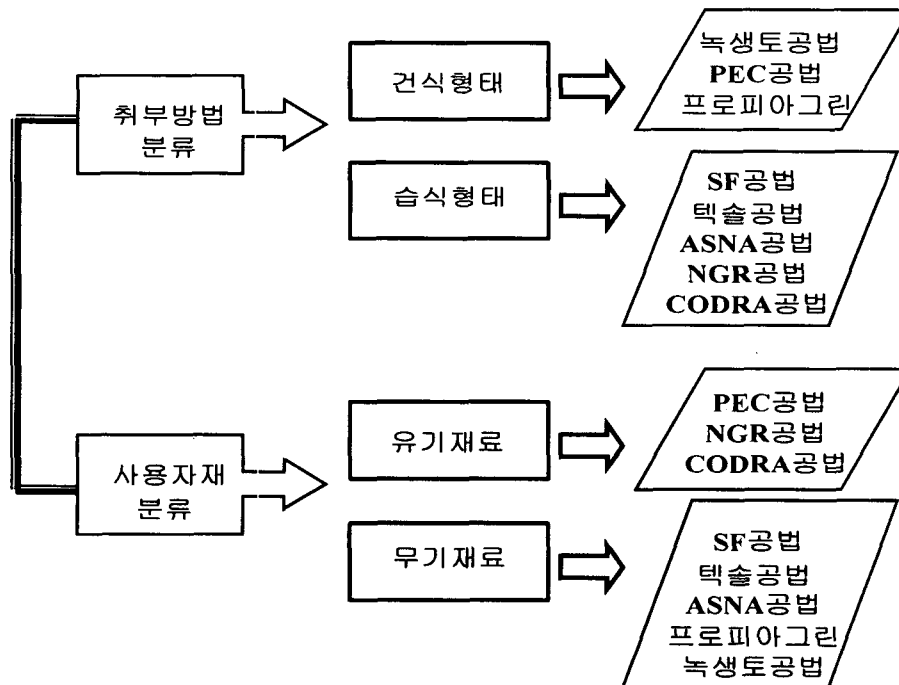


그림 1. 암반사면 보호·녹화공의 분류

우리나라의 경우, 과거에는 대부분 비탈면의 보호 및 녹화공법이 외국기술을 도입하거나 공동연구에 의해 개발된 기술이 대부분으로 공법과 공종이 비교적 단순하고 외국기술을 모방하는 단계였다. 그러나

90년대에 들어 대기업의 환경개발 부문에서 신공법을 개발하고 투자하여 많은 신기술과 신공법을 개발하였다. 개발된 각 공법은 최근 현장에서 활발히 시공되고 있으나 아직 널리 알려지지 않은 부분이라 일반인들과 토목기술자들이 잘 모르는 경우가 많이 있다.

암반사면은 주로 기반재 취부녹화공법류에 의해 시공되고 있는데, 기반재취부녹화공(種肥土吹付工, hydro-seeding measures with seed, fertilizer and soil materials)은 주로 암절토부 및 채석장 잔벽의 전면적인 속성 녹화를 목표로 시공하는 암절토부 녹화공종으로서 여러 가지 공법들이 활용되고 있다.

시공배합의 주요 재료는 물, 초본·목본류 식물종자, 비료, 비토(흙 또는 유기질이 많은 대용 토양), 섬유류, 색소, 전착제, 양생제, 기타 토양미생물제 등으로 구성되며, 두꺼운 두께로 부착하기 위해 철사망(부착망), 착지핀, 앵커핀(접지핀), 고정 와이어로프(또는 철근) 등이 사용되기도 한다.

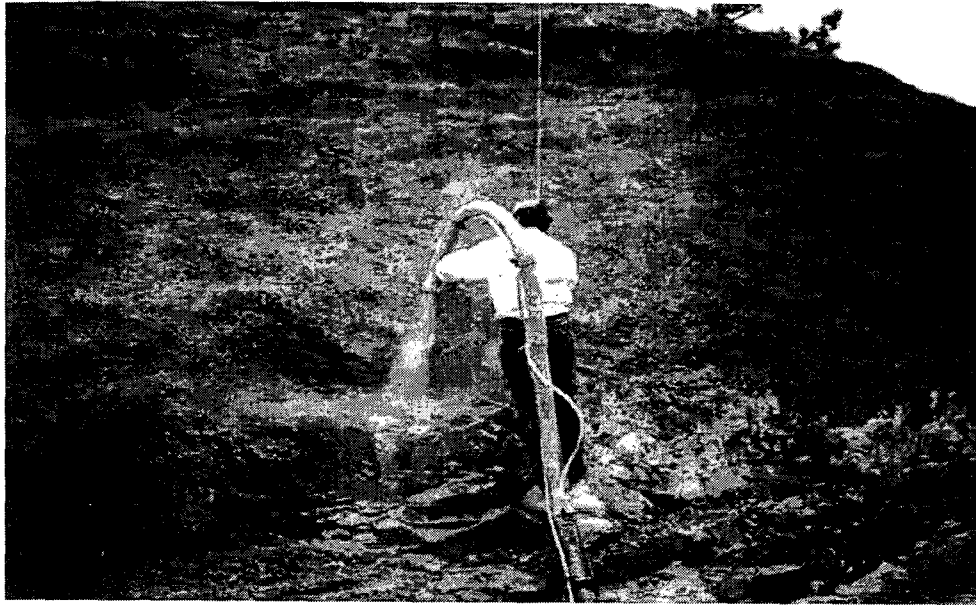


그림 2. 프로피아 그린공법의 무철망 시공 모습

고속도로 절토사면에 적용된 녹화공법을 분류하여 정리해 보면, 크게 암반사면 녹화용 공법(녹생토공법, 아스나공법, 프로피아 그린, 텍솔공법, SF공법, CODRA공법 등), 씨드스프레이공법류(seedspray, coir-net, coir-mesh, jute-net, jute-mesh, 벗짚거적덮기공법, 객토뿜어붙이기 등), 덩굴식물식재공법류, 떼붙이기류, 수목식재공법류 등으로 대별할 수 있다.

이것을 시공방법에 따라서는 비탈 식재녹화공법류, 비탈 파종녹화공법류로 분류할 수 있고, 파종공법 중 암반사면용은 건식과 습식형태의 공법으로 분류할 수 있다. 그리고, 뿜어붙이는 두께와 공정에 따라 두꺼운 층 기반재 취부녹화공법, 얇은 층 기반재 취부녹화공법으로도 구분할 수 있다.

고속도로 경암비탈면은 주로 90년대 초까지는 녹생토공법이 주로 시공되었으나 최근에는 공법의 다양화로 선진국에서 기술도입된 습식공법의 일종인 SF공법, 원지반식생정착공법(CODRA), 아스나(ASNA) 공법, 특수배양토에 장섬유를 혼합하여 목·초본류와 같이 취부하는 텍솔(Texol)공법 등이 개발되어 시공되고 있다. 또한 기반암이 안정된 지역은 암반 본래의 자연미와 경관미를 고려하여 담쟁이덩굴, 등나무를 이용한 덩굴식물 식재공법을 시공하여 녹화하거나 암반원형을 그대로 보존하는 암반원형찾기공법이 시공되기도 한다.

일반적인 토사비탈면이나 성토비탈면에는 외국에서 수입한 천연재료인 코코넛이나 야자열매의 섬유질을 이용한 넷(net)나 그물망을 덮는 공법들이 비탈면의 유실방지나 기계파종시 보습효과 및 생육촉진을 위하여 대규모로 시행되거나 떼붙이기 등이 적용되고 있다. 일부 비탈면에서는 넷트잔디공법이나 새집공법 등이 적용되고 있으나 비탈면의 자연환경과 입지환경에 따라 다르게 시공하고 있다.

일반적으로 비탈면의 녹화방법은 토질조건과 환경조건에 부합되는 공종·공법이 채택되고 비탈면의 토양 및 암질에 따라 적합한 식물을 선정하여 녹화하게 된다.

암반사면 녹화공법의 주요 자재는 다음 표 1과 같다.

표 1. 암반사면 녹화공법의 주요 자재

자재의 종류	재료 예	특 징
생육기반재	자연토양 유기물	보비·보수성 및 응집성이 있으며, 경량 피트모스, 바크퇴비 등 장기적 양분공급원
접합재	시멘트 합성수지	강도증대용, 과다시 알카리 장애와 고결화 우려 기반의 접착성을 증가시킴, 침식방지제
보조자재	PH 완충제 지효성 비료 단립화제 보수제 보강섬유	시멘트 알카리 장애의 완화 장기적 양분 공급 사용토사의 단립화 아크릴 수지, 피어라이트 등 보수력 향상 사질계 토사의 안정화, 침식방지 효과
지지구조자재	철망류 앵커 락볼트 수평보 Net류	생육기반의 이탈방지 철망을 고정 철망을 고정 철망을 고정 기반재 부착유지

표 1에서와 같이 생육기반재는 주로 식생의 발아와 생육에 장기적인 양분공급원으로서의 역할과 지지 역할을 해야 하므로 일반적인 자연토양을 쓰는 경우가 대부분이며, 여기에 유기물을 첨가해서 기반재로 이용된다. 특히, 유기물은 최근에는 짚, 왕겨 등의 전통자재를 이용하는 경우가 많아졌으며, 음식물찌꺼기 등도 가공하여 활용되고 있다.

시공배합의 주요 재료는 물, 초본·목본류 종자, 비료, 배양토(흙 또는 유기질이 많은 대용 토양), 섬유류, 색소, 전착제, 양생제, 기타 토양미생물제 등으로 구성되며 두꺼운 부착을 위하여 철망(부착망), 착지판, 앵커핀(접지판), 고정 와이어로프(또는 철근) 등이 사용된다.

재료는 반드시 KS 제품을 사용하고, 철망은 PVC 코팅이 되어 있는 것이나 알루미늄 망으로 하여야 한다.

이러한 녹화공법에는 주로 외래초종인 orchardgrass(오리새 ; *Dactylis glomerata*), perennial ryegrass(다년생호밀풀 ; *Lolium perenne*), tall fescue K 31F(목장개미털 ; *Festuca arundinacea*), timothy(*Phleum pratense*), weeping lovegrass(사랑울음풀 ; *Eragrostis curvula*), kentucky bluegrass(왕포아풀 ; *Poa pratensis*) 등의 외래종이 녹화용으로 이용되고 있으며, 이외에도 italian ryegrass(*Lolium multiflorum*), creeping red fescue(*Festuca rubra*) 등이 있다.

비탈면 녹화에 많이 사용되는 재래종자는 싸리류, 새(안고초), 비수리, 달맞이꽃, 억새, 산딸기류 등으로 매우 적은 종에 제한적으로 이용되고 있는 실정이다.

최근에는 휴게소 및 영업소 등 경관을 요하는 지역이나 비탈면에는 2~3년전부터 외래잔디(한지형잔디)중심의 녹화에서 꽃이 피는 초화류를 도입하기 시작하였으며, 초화류 도입종으로는 개양귀비, 코스모스, 금계국, 루드베키아, 알팔파 등을 전체 종자량의 5~6%를 혼합하여 시공하고 있다.

현재 암반비탈면에 적용되는 취부녹화공법에서는 외래초종 74g, 재래종 46g 으로 m²당 120g을 파종하고 있으나 지역에 따라 난지형잔디를 더 많은 비율로 파종하고 재래초종의 비율을 높혀 외래종 67g, 재래종 53g으로 m²당 120g으로 개선중에 있다. 또한, Seedspray시공시에도 m²당 외래종 20g, 재래종 10g을 파종하고 있으나 1997년부터 외래종 15g, 재래종 15g으로 재래종의 비율을 높혀 시공하고 있다.

3. 녹화공법의 적용성 및 문제점

3.1 사면보호 · 녹화 목표 부적정

최근에 택지개발 및 토지이용의 다양화로 인한 비탈면이 늘어남에 따라 통기, 배수 및 보수성의 불량(과습), 토양의 고결, 유효토심의 부족, 자갈 및 유해물질의 과다, 유효수분의 부족, 토양양분의 부족 등 식물의 생육저해 요인의 토양환경압을 가지는 열악한 녹화공간이 증가하고 있다.

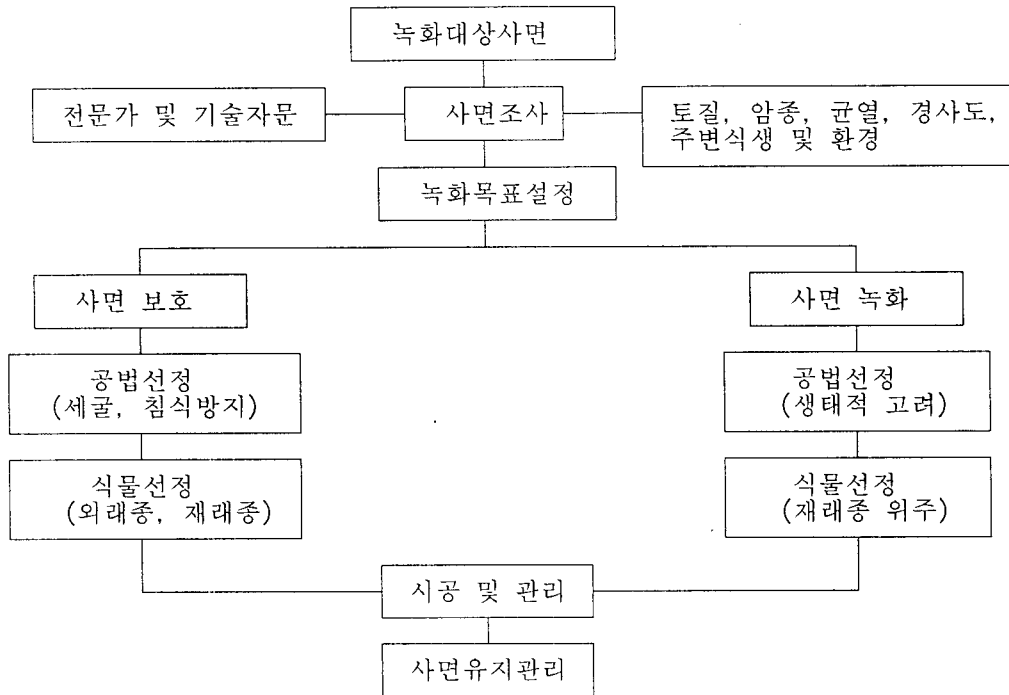


그림 3. 절토사면 보호 녹화공의 시공관리 흐름도

녹화공간에 있어서 식물의 건전한 생육을 위하여 사전에 토양조사를 실시하고, 표 2와 같은 개량목표치를 중심으로 토양의 개선대책을 세울 필요성이 있다.

표 2. 절토사면 기반토양 개량목표치

항 목	개량목표치	항목	개량목표치
토양경도	山中式토양경도계 지표경도 23mm 이하	유효인산	10mg/100g 이상
투수계수	10 ⁻⁴ cm/sec 이상	염기치환용량	6me/100g 이상
유효수분	80 l/m ³ 이상	친화성석회	2.5me/100g 이상
고상율	화산회토 30% 이하 비산회토 50% 이하	염소이온	0.2% 이하
pH(H ₂ O)	5.0~7.5	전기전도도	1.5m μ 이하
전질소	0.06% 이상	부식	3.0% 이하

비탈면 녹화는 토양침식을 예방하거나 복구하기 위한 기술로서 종래에는 주로 사방공작물을 설계하거나 시공시 그 안전도에만 큰 비중을 두었지만 최근에는 안정성 뿐만 아니라 경관조성 및 복구에 이르기까지 조경적·환경보전적 개념이 많이 포함되고 있다. 비탈면 녹화환경의 개선은 주로 자연적인 산비탈의 산지침식 및 산사태재해 예방과 인위적으로 만든 여러 가지 절토사면이나 성토사면 및 각종 개발 훼손지에 대한 복구, 안정, 녹화, 경관조성 등에 중점을 두면서 종래의 사방기술에 경관조성기술을 더하여 환경보전 및 경관회복을 위하여 토목학적 시공기술과 식물학적 녹화기술의 조화가 중요하다.

녹화식물을 위한 토양개량의 목표치가 정해지면, 사면의 경우 사면환경, 암반상태, 토질, 주변식생 등을 고려하여 녹화복원목표를 정해야 한다. 특히, 사면의 환경이 열악할수록 사면의 녹화목표를 단순히 사면환경을 보호할 것인지, 아니면 인공토양을 취부하여 생태적으로 녹화할 것인지 등 여러 가지 다각적인 방법을 고려하여 목표를 정해야 한다. 그러나 지금까지 절토사면 녹화는 단순히 식물종자만을 취부하는 형태의 부대공종으로만 취급되어 다양한 복원형태로 녹화할 수 없었다.

그림 3에서와 같이 복원녹화대상 비탈면이 있으면, 사면안정 및 녹화전문가들이 현장조사를 통해 대상비탈면의 토질, 암중, 절리 및 층리 등 균열, 경사도, 향, 주변식생 및 환경 등을 조사한후 이 자료를 기초로하여 비탈면의 복원목표를 설정해야 한다.

도로사면의 경우는 일반적인 절토사면과는 달리 이용고객의 안전을 우선 고려해야 하므로 사면의 복원목표를 설정할 때 보호할 사면과 생태적인 녹화를 필요로 하는 사면을 구분하여 공법을 선정해야 할 것이다.

사면보호를 목적으로 할 경우는 녹생토, 프로피아 그린공법 등 기반토양을 부착하여 사면표층의 침식과 세굴방지를 우선시해야 한다. 사면의 지질, 토질 및 암중 등이 불량할 경우 침식으로 인한 토사유출로 사면주변의 환경과 농경지가 피해를 받을 경우가 발생하거나 여름철의 집중호우 등에 의해 침식이 진행되어 사면안정에 까지 영향을 줄 수 있다.

사면복원녹화를 목적으로 하는 경우는 토사사면 또는 완경사의 리핑암사면을 대상으로 하여 공법을 선정하되 기반재를 함께 취부하는 공법을 선정하며, 주로 재래종을 활용하여 사면을 관목과 초본형의 군락으로 조성하는 것을 목표로 해야 한다.

공법의 선정과 시공이 끝난후에는 점검을 실시하고 단기적인 관리목표와 장기적인 관리목표를 설정하여 장기적인 사면유지관리에 연계하여 관리한다.

3.2 사면녹화공법 이해 부족

절토사면은 지금까지 다양한 형태로 조성되어 왔으며, 이러한 사면은 다양한 환경의 영향을 받는 경우가 많다. 특히, 우리나라의 경우 여름철에 강우가 집중할 때에는 사면의 토사유실과 침식발생은 심각하다.

그림 4와 같이 비탈면을 단순히 조밀한 코아메트형태로 피복하여 과중한 종자의 발아·생육이 근본적으로 차단된 형태로 사면녹화공법을 시공한 것이 일반적인 형태이다. 아니면 비탈면을 그대로 방치하거나 Seedspray만을 하여 여름철 강우시 많은 침식과 세굴이 발생하여 이듬해 봄에 재시공하거나 또는 다른공법을 추가시공하는 경우가 많다.

일반적으로 현장에서 시공되는 각종 녹화공법은 다양한 특성과 재질을 가지고 있으나 현장관리자, 시공사 등의 관심과 이해부족으로 다양한 공법들이 적재적소에 시공되지 못하고 엉뚱한 비탈에 적용되어 시공후 식생생육이 불량하여 경관을 저해하거나 사면의 침식이 발생하는 경우가 자주 발생한다.

그림 5에서와 같이 토사비탈면의 경우, 단순히 일명 “그린망”이라는 각종 네트망만을 사면에 덮어 피복하는 경우가 대표적인 사례로 시공후에도 강우가 침투되어 토사유출이 발생하여 궁극적으로 대형침식까지 발생하는 경우이다. 망과 망의 연결부가 이탈되거나 또는 망이 지면과 밀착되지 못하고 떠서 본래 역할을 하지 못하는 경우가 많다. “그린망”은 녹화공법도 아니고 하나의 합성재료일 뿐으로 이러한 식의 사면피복은 가능한 자제하는 것이 시공비와 노력을 절감할 수 있다.



그림 4. 절토사면에 피복한 코아매트



그림 5. 사면녹화공 대응으로 망피복후 토사유출 현상

3.3 사면 보호 · 녹화공법 적용 기준 미흡

비탈면 녹화기준을 보면 현재까지 고속도로 설계기준('98. 9), 도로공사 전문시방서('98. 6), 건교부 서울지방국토관리청 공사시방서('98), 건교부의 환경친화적 도로건설 지침('97) 등 다양한 지침과 기준이 나와 있지만, 아직까지 현장감독, 녹화업체들과 일선 실무자들이 설계, 시공, 관리 등을 하기에는 미비한 실정이다.

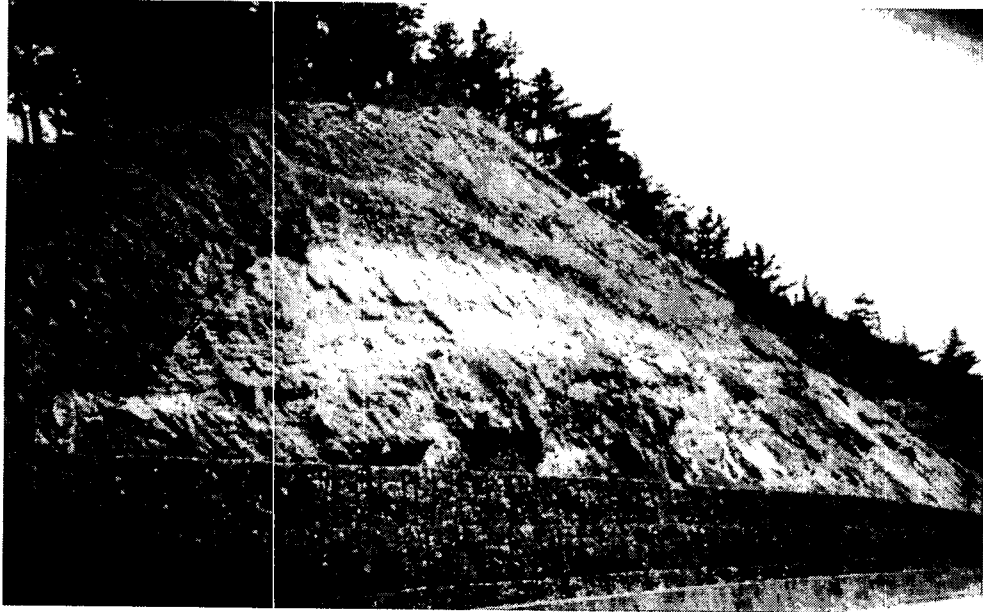


그림 6. 포항지역 절토사면 침식발생에 의한 사면유실 전경



그림 7. 절토사면의 침식 진행 현상

고속도로 설계기준('98.9)에 의하면, 비탈면 보호공은 식생공을 원칙으로 하며, 식생만으로 비탈면의 안정을 확보할 수 없을 때는 지질, 구배안정, 경제성, 미관, 유지보수, 기타 현재상황을 충분히 고려한 후 적절한 보호공을 시공하는 것으로 마련되어 있으며, 미관이 요구되는 I/C, 터널갱구부 등의 암사면에서는 암반사면 녹화공을 실시한다. 성토사면에는 줄때를 기본으로 하며, 토사비탈면은 평때, 리핑암비탈은 씨앗뿌어붙이기로 시공하여 녹화하는 것으로 정하고 있다.

건교부의 서울지방국토관리청 공사시방서('98)에서는 건식형태의 암반사면 녹화공은 비탈면중 자연적으로 식물이 자랄 수 없는 암절개면, 건조척박지에 적용하며, 시공두께는 5cm, 7cm, 10cm, 15cm로 다양하게 시공하는 것으로 정하고 있다.

씨드스프레이(Seedspray)는 토층, 리핑암구간의 비탈면 보호목적으로 시공하고, 비탈면 보호용 격자블

록, 비탈면 보호용 록 앵커 보강, 비탈면 보강용 록 볼트 공, 쇼트크리트 공을 시공하여 비탈면 안정을 도모하는 것으로 정하고 있다.

조경공사는 수목식재, 잔디붙임, 잔디과중, 초지씨앗 과중과 붙임 등으로 구분하여 정하고 있으며, 도로공사 전문시방서의 기준도 상기의 건교부 기준에 준하여 시행하고 있다.

건교부의 환경친화적 도로건설 지침('97)에 도로녹화편에는 도로녹화, 계획, 설계시공, 관리 등을 규정하고 있으며, 설계, 시공에서 야생동물 이동통로 조성(지하통로 이용, 지하수로, 생태교량), 비탈면 녹화(경사와 경도, 식생공법의 선정) 등에 많은 고려를 하고 있으나 자연환경을 보호하고 사면을 생태적으로 복구하는 데는 아직도 부족한 편이다.

3.4 사면녹화공법의 분류 체계 미정립

비탈 녹화공종·공법들은 여러 가지 목적에 의해 인위적으로 훼손된 비탈들을 빠르고 안전하게 피복하여 침식 및 붕괴현상을 방지하고, 경관미를 조속히 회복시키며, 야생동물의 서식처와 이동통로로 이용되거나 밀원식물의 서식처로서의 역할을 하도록 하는데 목적을 두고 시공되고 있다.

일반적으로 사면녹화공의 분류체계가 정립되어 비탈의 토질과 환경조건에 가장 맞는 공종·공법이 채택되고, 토양 조건에 적합한 녹화식물이 선정되면 강우차단, 표면유출량의 조절, 토양내 침투율의 증가, 심도층 유출 등이 원만하게 이루어지게 되어 표면침식이 억제되고, 점진적으로 토양의 물리성과 화학성이 개량되어 주변 식생의 원활한 침입이 이루어지게 되는 효과가 나타난다. 또한, 강우 뿐만 아니라 바람에 의한 지표면 토양침식을 억제하며, 소음경감 효과도 발휘되어 쾌적한 환경조성에 이바지 하게 된다.

국내의 비탈녹화공종·공법들은 기술적으로 개선되어야 할 부분이 아직도 많은 상태이며, 보다 발전된 녹화공종·공법들이 개발될 필요가 있다. 지금도 갖가지 토질 조건과 형상을 갖는 비탈들을 녹화하기 위한 공법 개발이 진행되고 있으며, 우리나라 산야에서 느껴지는 아름다운 산비탈의 자연식생군락을 인공비탈면에 재생하고자 하는 자생식물에 대한 연구도 이루어지고 있다.

현재, 국내 비탈녹화공종·공법에서는 녹화식물로써 초기 발아세가 우수하여 빠르게 지표면을 피복하는 외래도입초종들을 주로 활용하고 있는데, 이들 외래도입초종들은 여름철에 병충해에 약하고, 고온에 약하여 황변하는 단점이 있으므로 우리나라 자생식물의 적극적 이용이 추천되고 있다. 앞으로 초기 녹화속도가 느린 우리나라 자생초본과 목본들이 원만하게 발아하고 생육할 수 있는 녹화공종·공법들이 개발되어야 하겠으며, 기계의 접근이 어려운 대형 비탈들과 오지, 고산의 한랭지대에 위치한 침식지들을 효과적으로 녹화할 수 있는 새로운 녹화공법의 개발도 시급히 이루어져야 하겠다.

3.5 사면녹화공법의 불량 시공

건설공사로 인해 조성되는 비탈면은 주변 경관과는 매우 이질적인 모습으로 인식되고, 그대로 방치되면, 침식 및 붕괴현상을 수반하게 된다. 대체로 성토 비탈면들은 다짐이 부족한 상태로 시공되면 침하와 붕괴가 발생되고, 절토 비탈면들은, 성토 비탈면 보다는 강우에 의한 침식이 적지만, 지표면의 토양경도가 매우 높고, 모암층이 그대로 노출되기도 하기 때문에 녹화가 곤란한 경우가 많다. 현재, 모암층이 노출된 비탈면들은 인공토양을 취부하여 식물 생육의 기반을 제공하는 특수공법으로 녹화되고 있다.

이러한 특수공법들은 앞에서 언급한 시공배합의 주요 재료는 물, 초본·목본류 종자, 비료, 인공토양, 섬유류, 색소, 전착제, 양생제, 기타 토양미생물제 등을 고압으로 취부하여 사면에 부착시키는데 사용되는 재료의 품질에 따라 녹화효과가 다르게 나타난다.

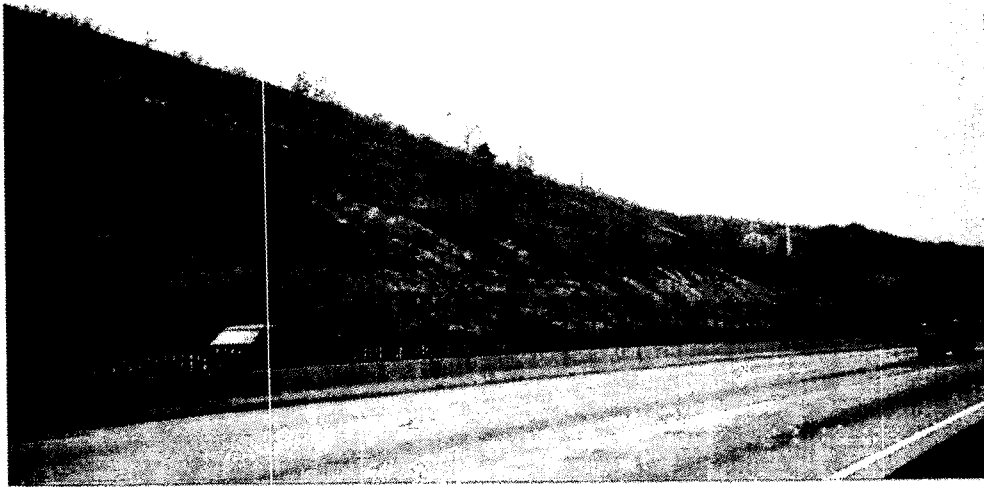


그림 8. 암반사면 녹화공의 불량 시공후 재료가 유실된 전경

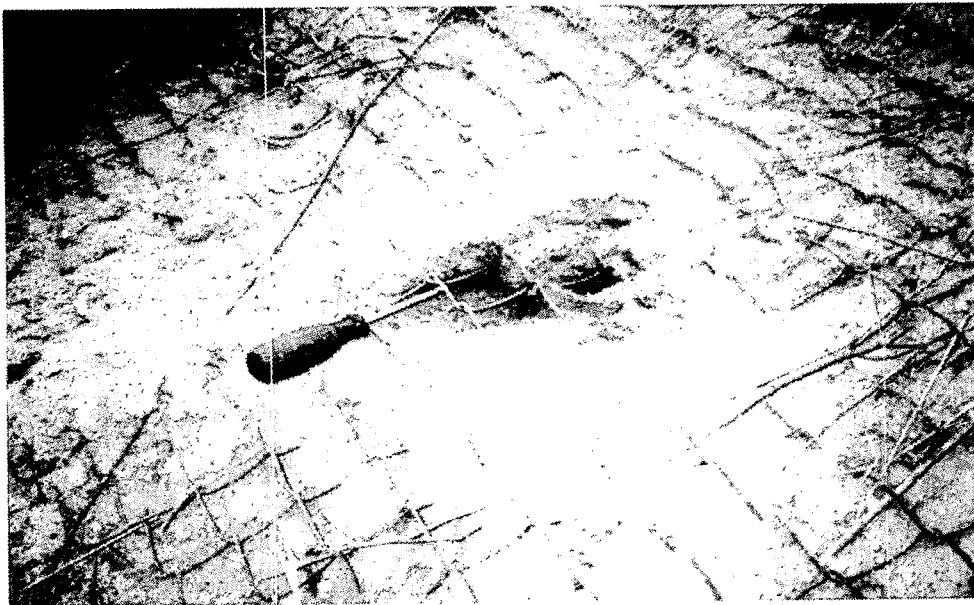


그림 9. 암반사면 녹화공 시공후 불량 재료 전경

사용되는 자재가 양호하고 품질이 우수한 재료이면 식생의 발아와 생육에 영향을 주지만 그렇지 않으면 식생이 발아하지 못하거나 고사한다. 또한, 시공후 일정기간이 지난후에 부착된 인공토양이 그림과 같이 모래와 같이 유실되어 식생이 자라지 못한다.

녹화에 이용되는 기반토양의 불량 뿐만 아니라 전문기술자의 부족에 따른 불량시공이 자주 발생하고 있는데 아무리 자재가 우수한 재료를 사용하더라도 전문기술인력이 없는 상태에서는 바람직한 시공이 될 수 없다.

5. 절토사면 보호 및 녹화의 개선방향

도로건설사업을 수행함에 있어 환경친화적 도로(Ecoroad)를 건설하고 장기적인 절토사면의 유지관리를 위해서는 사면의 조사·계획·설계단계의 계획이 중요하다.

도로건설에 의해 자연이 훼손될 우려가 있는 경우에는 사전에 충분한 조사를 하여 노선계획단계에서부터 그 저감방안 및 그 대책 등을 고려하는 것이 중요하며, 우선적으로 사업지역의 자연생태계를 파악하여 환경친화적 건설사업계획을 수립하여야 한다.

생태계 전체를 중시하고 생물의 다양성을 보전하는 등 생태계에 대한 전반적인 이해를 해야 하며, 사면녹화를 설계할때부터 지역환경특성을 중시하고 자연소재 및 기존생물종을 활용하며, 소생태계(Biotop)를 확보하는 계획을 수립하여야 한다.

사면 보호·녹화는 사람이 바라보는 시각을 중시한 아름다움과 쾌적함을 강조한 반면, 소생태계(Biotop)는 생물의 특성과 서식환경에 맞는 공간확보로 녹화보다 자연에 친화적이라 할 수 방법이다.

도로건설은 대형 절토사면이 불가피하게 형성되므로 도로와 사면주변과의 추이대(Ecotone)는 수역과 육역사이의 수변, 삼림과 초원사이의 지역, 복수의 환경요소가 중첩되는 환경을 말하며, 추이대는 계획·설계단계에서 하나의 선으로 표현되고 있으나 실제로 폭을 지닌 부분으로 명확히 선을 그을수 있는 부분이 아니다.

도로건설이 갖는 사회경제적 편익을 고려, 그 계획단계에서의 기술적 경제적 검토와 아울러 환경적으로 개발에 따른 지역적 환경피해를 최소화하며, 그 개발목적을 충족시킬 수 있는지 여부를 다음사항을 중심으로 분석한다. 이러한 사전 입지분석은 노선별 대안 평가로서도 활용되어야 한다.

친화적 도로건설을 위해 검토되어야 할 내용은 친화적공법의 채택 가능성 여부와 친화적 재료의 사용으로 구분할 수 있다.

도로건설에 있어 지형의 변화 및 식생의 파괴를 하지 않는 설계 및 공법을 취할 필요가 있다. 부득이 절토사면 등으로 된 부분에는 기존식생의 구성종으로 되는 그 식생에 유사한 구조를 가지는 식재를 하여 개발지역의 생태계의 변화를 최소한으로 억제할 수 있어야 한다.

표 3. 비탈면의 구배와 녹화목표

구배(°)	녹화목표	비고
30	교목과 중·저목이 균형있게 조성된 식물군락 복원	
45	주로 중·저목으로 구성된 식물군락의 복원	
60	저목이나 초본류로 구성된 식물군락의 복원	

현재 토양은 물리적으로 생물의 생존에 기초가 되는 통기성, 보수성을 가지고 있으며, 화학적으로는 토지의 생물을 양육하는데 적합한 유기물이나 기타 유효성분을 포함하고 있다. 또한 생물적으로는 지역적인 특성을 가지고 있는 토양생물, 식물종자, 동물의 알을 많이 포함하고 있다. 따라서 현재 지반을 변화시키는 경우, 이러한 표토를 보존해 두고 건설공사가 끝난후 비탈의 표층에 사용하는 것이 바람직하다.

절토사면부분을 포함하여 도로주변에 본래의 모습에 가까운 안정된 생태계가 형성되기 위해서는 식재 등의 관리는 기본적으로 자연의 천이에 맡기는 것이 좋다.

시행된 각종 환경오염방지시설, 환경창조, 복원시설, 환경보전대책 등의 유지관리 및 그 효과를 분석 평가하며, 이용단계에서의 환경변화요인의 감시·감독(Monitoring)을 실시하고 계획단계에서의 시행착오 등을 점검한다. 최종적으로 각종 행정적인 관리, 보고 등을 이행한다.

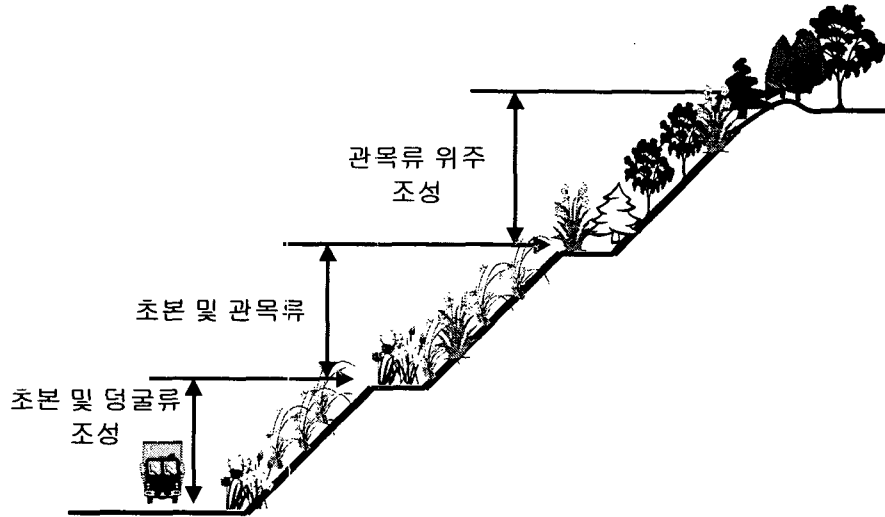


그림 10. 절토사면의 녹화공 적용 모식도

그림 10에서와 같이 절토사면의 녹화 모형의 기본은 절토부 하단 도로변에 있는 사면은 대부분 경암 및 리핑암종류이므로 기반재와 초본류 위주의 식생조성이 필요하며, 때로는 덩굴식물을 식재하여 녹화를 유도할 필요가 있다. 사면의 중간부분은 초본류를 주구성종으로 하되 관목류를 포함하여 조성하는 것이 바람직하고, 사면의 상단부분은 주변의 산림과 인접부분이므로 연계성을 고려하여 관목류를 주구성종으로 하고 하층에 초본류를 도입하는 녹화방법이 필요하다.

일반적으로 도로사면은 대형절토부의 노출이 불가피하므로 사면의 안정을 우선시하는 점이 중요하지만 사면을 녹화복원하는 공법의 시공과 도입도 환경보전과 생태계복원차원에서 매우 중요한 일이다. 단순히 사면녹화를 위해 외래종위주의 Seedspray를 하거나 망으로 피복하는 것은 가능한 자제를 하고 재래종위주의 환경친화적인 공법의 도입을 고려해야 한다.

사면의 보호·녹화는 다른 토목공종과는 달리 적은 투자로도 효과를 극대화 할 수 있는 방법으로 이 분야에 대한 지속적인 관심과 투자가 병행되어야 할 것이다.

6. 결 론

도로사면의 보호·녹화사업은 건설산업과 밀접하게 연관되어 있으므로 각종 개발사업의 기본설계단계에서 참여하여 날로 발전하고 있는 복원녹화분야의 선진기술과 공법을 적극 반영하는 노력이 필요할 것이다.

특히, 사면보호·녹화공의 분류체계가 시급히 정립되어야 하며, 이와 관련된 녹화공법의 선정 및 시공 기준 등이 조속히 확립되어 다가오는 각종 개발에 의한 자연환경과 생태복원에 적극적으로 참여하는 계기가 되어야 할 것이다.

사면보호·녹화공은 현재의 복원녹화분야의 설계기준이나 지침에 의한 설계로서는 환경친화적이고 영속적인 생태환경의 복원과 녹화가 될 수 없다. 또한, 일선 실무진 및 시공사도 이에 대한 관심도 낮아 적극적이고 성의 있는 시공이 되지 않으므로 조속한 시일내에 이에 대한 합리적인 시공기준과 관리기준이 마련되어야 한다.

비탈면 녹화에 사용되고 있는 녹화초종은 주로 외래종 중심으로 되어 있는데 이 부문에서도 도로이용자의 다양한 욕구를 충족하기 위한 야생초화류의 도입이라든가 우리나라 지형과 자연에 맞는 자생초·목본류에 의한 녹화공법이 활발하게 개발 시공되어야 한다.

비탈면 녹화사업에 대한 이러한 문제점을 조속히 해결하기 위해서는 이 분야에 대한 지속적인 투자와 관심, 그리고 관련회사의 사면의 환경특성을 고려한 성실시공이 수반되어야 한다. 또한, 절토사면의 장

· 단기적인 유지관리를 위해서 사면의 분포현황, 사면녹화공의 시공·관리상태, 환경특성 등의 자료를 조사하여 통일시대의 슈퍼하이웨이의 건설에 따른 종합적인 사면유지관리시스템을 시급히 구축해야 할 것이다.

7. 참고문헌

1. 건설교통부(1997), 환경친화적 도로건설지침.
2. 건설교통부 서울지방국토관리청(1998), 공사시방서.
3. 유병옥(1997), 암반절취면의 안정성 평가 및 대책에 관한 연구. 한양대학교 대학원 박사논문.
4. 한국도로공사(1980), 한국도로공사 10년사.
5. 한국도로공사(1989), 한국도로공사 20년사.
6. 한국도로공사(1995), 고속도로 절토비탈면 녹화공법 연구.
7. 한국도로공사(1998), 고속도로공사 전문시방서.
8. 정태건(1999), “비탈면 녹화현황의 문제점과 대책”, 환경과조경. 130호, pp.106~113.