

도로의 지오 해저드에 관한 리스크 관리 핸드북

K-Risk 발간편집 위원회



**ROAD GEOHAZARD
RISK MANAGEMENT
HANDBOOK**

GFDRR THE WORLD BANK

목차

1. 도로의 지오 해저드에 관한 리스크 관리 (가을호)
2. 제도적 역량 및 조정 (겨울호)
3. 시스템 기획 (봄호)
- 4. 엔지니어링 및 설계 (여름호)**
5. 운영 및 유지관리 (가을호 예정)
6. 컨틴전시 프로그래밍

※ 본 기사는 좌측 문헌의 단순 번역기사로서 K-Risk의 견해를 반영하는 것은 아니다.

K-Risk

※ 상기 이미지를 클릭하면 원문 다운로드가 가능합니다.

4. 엔지니어링 및 설계

4.1 엔지니어링 및 설계 솔루션의 개요

본 IV부에서는 공학적(또는 구조적) 조치를 사용하여 도로 지오 해저드 리스크 관리 프로세스를 설명한다. 정의, 도로 건설 및 구조적 조치의 일반적인 흐름, 구조적 조치의 공학적 조사, 지오 해저드 유형에 따라 고려해야 할 구조적 조치 및 건설 관리 프로세스를 제시한다. 공학적 또는 구조적 조치의 다음 측면을 설명한다.

- 엔지니어링 조치, 구현 단계, 엔지니어링 조사 및 연구;
- 지오 해저드 유형별 구조적 조치 및 설계 고려 사항 유형.

파트 IV를 사용한 후의 업적은 다음과 같다.

- 구조적 조치에 대한 조사 및 연구의 구현 단계를 이해한다. 그리고
- 지오 해저드 유형에 따른 기본적이고 일반적인 구조적 조치와 그 설계 고려사항을 이해하고 최근에 개발된 구조적 조치를 위한 재료로서 지반신소재(geosynthetics)의 응용을 이해한다.

핸드북의 파트 IV에 대한 참조 문서에는 다음이 포함된다.

- 참고사항 4(ToR 4), 구조적 조치의 설계(부록 A)는 공학적 조사 및 연구의 구조적 조치 설계, 예비 설계 및 상세 설계의 표준적인 참고사항이다.
- 일본의 도로 지오 해저드 관리 사례 연구(부록 C)는 일본의 구조적 조치의 예를 보여준다.

4.2 대책공의 정의

공학적(또는 구조적) 대책공은 지오 해저드로 인한 도로 손상을 방지하거나 보호하기 위한 공학적 솔루션이다. 여기에는 다음과 같이 시행되는 조치가 포함된다.

- 지오 해저드 파괴의 리스크를 낮추기 위해 시행된 예방적(사전적) 조치;
- 엔지니어링 설계의 대상이 되는 매우 민감한 지역 또는 지오 해저드 발생 시 비상 작업; 그리고
- 2차 피해 보호로 수행되는 복구 또는 엔지니어링 설계 대상인 재해 후 단계의 복구 작업.

공학적 조치를 구현하기 위한 계기가 다를 수 있고 예산 및 시간 제약도 크게 다를 수 있지만, 근본적인 접근 방식은 종종 유사하다. 특히 구현할 솔루션이 콘크리트 옹벽과 같이 수명이 긴 솔루션인 경우에는 더욱 그렇다. 기능적으로 효율적인 지오 해저드 방지 시스템을 갖춘 잘 설계된 도로는 거의 무시할 수 있는 취약성을 갖는다. 같은 도로가 잘못 설계되고 건설되면 100% 취약할 수 있다. 즉, 취약성은 노출 수준, 취약성 및 준비 정도에 따라 다르다.

이 핸드북에서 구조적 측정에는 콘크리트 또는 모르타르, 강재, 목재, 아스팔트, 지반신소재, 흙, 식생 또는 생태공학으로 만들어진 구조물과 그 합성물이 포함된다. "지반신소재(geosynthetics)"는 지오텍스 타일(투수성 재료) 및 지오멤브레인(불투수성 재료)과 같이 붕괴 또는 침식에 대해 지반을 보강하는 데 사용되는 일반적인 합성 재료를 의미한다. 흙 구조물에는 인공사면(깎기 사면 또는 제방 사면) 또는 활동사면 상부의 자중 제거로 수행되는 깎기(절토) 프로세스와 활동사면 선단부의 압성토로 사용되는 제방이 포함된다.

공학적 조치는 도로의 견고성을 높일 수 있다. 일반적으로 도로의 위험지역에서 요구되는 대책의 우선순위에 따라 도로건설 및 운영 및 유지관리 단계에서 시행된다. 그것들은 지오 해저드 리스크 관리를 위한 조치이지만 재해 복구 조치로 시행될 수도 있다. 환경 및 사회적 영향 평가(ESIA)는 일반적으로 신규 도로 건설의 개념 설계 단계에서 또는 기존 도로에 대한 공학적 조치를 계획하는 동안 필요하다 (필요하지 않더라도 수행해야 함).

4.3 대책공을 위한 공학적 조사 및 연구

구조적 조치를 설계하려면 특정 위치의 관련 지리학적, 지질학적, 지반공학적, 수문학적 및 수리학적 조건에 대한 조사 및 분석이 필요하다. 조사 방법은 지오 해저드 유형과 계획된 구조적 조치에 따라 다르다. 구조적 조치의 설계를 지원하기 위해 일반적으로 여러 유형의 연구 또는 조사 방법이 수행된다 (표 4.1).

표 4.1: 구조적 조치의 설계를 지원하기 위한 연구 또는 조사 방법

연구 또는 조사 유형	절차 및 출력
지형 또는 등고선 매핑	기본 지도는 위험지역의 규모에 따라 1:100에서 1:5,000의 축척으로 생성된다.
상세한 설계도면 작성	지도 또는 종단면도(1:100 ~ 1:5,000 축척)은 지오 해저드, 흙 및 암석 유형, 지질 구조, 샘 및 침투, 배수, 구조, 역사적 홍수 지역 및 고도, 사면 붕괴(사면 경사의 변경선).
토질 및 암반의 공학적 평가	현장답사, 시추 및 코어 샘플링, 시험굴 및 트렌치, 지구 물리탐사, 현장 및 실내시험이 이용된다. 평가는 토질 종류와 암석 균열 밀도 및 풍화의 분류를 사용하여 수행된다. 강도 및 침투에 대한 내구성의 공학적 특성을 평가한다. 암반의 불연속면(절리와 같은)의 밀도와 방향성 패턴이 평가된다.
활동형 지오 해저드에 대한 사면안정성 계산	한계평형방법은 더 현실적이지만 더 복잡한 분석 절차에 비해 단순하기 때문에 도로 경사에 대해 세계에서 주로 적용된다. 안전율은 불안정에 대한 저항력을 불안정 유발력으로 나눈 결과이다. 1.0보다 큰 안전율은 사면이 안정적임을 나타낸다.
수문 계산	수문학적 계산의 결과는 강이나 개울의 도로 교차 지점에서 홍수 또는 잔해 또는 토류의 양이다. 또는 도로 위치의 침수 깊이 - 강우 및 용해수의 여러 반환 기간(년 단위 발생 확률)을 입력하여 얻는다.
유량 계산	강변 도로 제방, 교대 교대 또는 교각의 유량은 강우 및 해빙수의 다양한 재현기간(년 단위 발생 확률)을 입력하여 계산된다.
세굴 예측 계산	도로 강변 제방 기단, 교대 또는 교각의 세굴 예측 깊이는 강우 및 용해수의 다양한 재현기간(년 단위 발생 확률)을 입력하여 계산된다.

대책공의 설계 연구를 지원하기 위한 연구 또는 조사 방법에 대한 좋은 참고자료는 다음과 같다: Mountain Risk Engineering Handbook(Deoja et al, 1991), 특히 (a) 제9장("토질역학") 토질 및 암반의 공학적 평가, 제10장("암반역학") 및 제11장("지구물리학"), (b) 제13장("사면의 안정성 해석")의 활동 (slide)형 지오 해저드에 대한 사면 안정성 계산.

지오 해저드 리스크와 기후 변화 적응 관점에서 수문학을 이해하는 것은 배수 및 구조적 대책공의 설계에 중요하다. 예를 들어, 표 4.1은 여러 재현기간을 가진 도로 위치의 침수 깊이와 같은 엔지니어링 조사의 일부로 수행되어야 하는 수문 및 수리 비율 계산 유형을 나타낸다. 많은 엔지니어는 표준 재현기간의 강우 이벤트와 간단한 공식을 기반으로 배수로 및 암거의 크기를 결정하기 위해 간단한 수문학적 계산을 수행할 수 있다. 그러나 일부 조건에서는 과거 데이터를 사용한 보정 및 검증이 필요한 모델링 소프트웨어를 사용하여 상세한 수문 및 수리 계산을 해야 한다. 이러한 상황에는 홍수가 발생하기 쉬운 하천과 강의 교차로가 포함될 수 있다; 주요 구조물 투자(교량, 대형 암거, 하천제방 보호공 또는 침수 우려되는 옹벽); 또는 파괴의 결과가 도로 사용자 또는 인접 토지 사용자에게 중대한 경우. 이러한 상세한 분석은 관련 교육을 받은 전문가가 수행해야 한다.

4.4 구조적 대책공의 유형 및 설계 고려사항

구조적 대책공의 종류는 도로의 지오 해저드 유형에 따라 선정된다. 지표 배수 및 식생(생태공학적)을 사용한 토공사는 항상 각 유형의 지오 해저드에 대해 고려해야 할 기본 대책이다. 시공방법과 재료에 따라 경제적 효율성, 건설재료 및 장비의 가용성, 사회적 또는 환경적으로 부정적인 영향, 유지관리의 문제를 고려해야 한다.

필수적인 목적물에 대한 기본적인 구조적 대책공은 주로 토공, 지표 배수 및 식생이다. 중간 수준의 목적물에 대한 일반적인 구조적 대책공은 모두 본 장에 나와 있다. 고급의 구조적 대책공은 보다 대규모의 지오 해저드를 관리할 수 있는 강도 높은 사양의 대책공이다(예: 고에너지 낙석보호공).

4.4.1 산사태 또는 붕괴에 대한 구조적 대책공

산사태나 붕괴에 대한 구조적 대책공은 사면안정대책과 보호대책으로 구분된다(표 4.2). 사면의 파괴나 붕괴의 경우 불안정한 암반과 토사를 깎기(절토)하거나 제거하는 과정이 필수적이다(그림 4.1). 사면 배수는 하천이나 하천이 도로 또는 인근 부지의 사면 불안정을 야기시키는 것을 방지해야 한다.

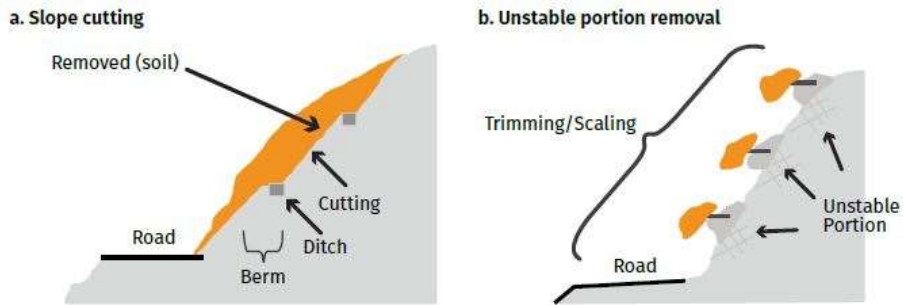
사면의 깎기 경사(연직:수평)는 재료의 지반공학적 특성에 따라 1:0.3에서 1:1.5 범위이다. 각 국가나 현지 국가(중미 등) 또는 고소득 국가 조직의 도로 건설 또는 사면 설계에 대한 지침을 참고로 사용한다. 토석의 유형 및 특성에 따라 권장되는 깎기 경사를 정의하는 이러한 지침은 모든 작업의 기초로 사용해야 한다.

식생은 사면 침식과 사면 지반으로의 물 침투를 경감시키므로 사면 안정성에 상당한 효과가 있다. 경사가 완만한 사면에서는 급경사면에 비해 상대적으로 강우효과가 감소하기 때문에 배수 및 식생공이 가장 효과적이다. 사면 중간의 소단(그림 4.1, 패널 a)은 사면 안정성에 기여하고, 낙석의 채집(collector) 역할을 하거나, 낙하에너지를 흡수하며, 측구의 설치를 위한 작업 공간 또는 사면의 점검 또는 유지관리용 통로를 제공한다.

표 4.2: 사면 파괴 또는 붕괴에 대한 일반적인 구조적 대책공

기본 카테고리	2차 카테고리	3차 카테고리	컨셉 디자인 레이아웃 절차
사면 안정화 대책	불안정한 암석 및 토괴의 깎기 또는 제거(그림 4.1)	사면 깎기 (그림 4.1, 패널 a)	사면 내의 불안정한 암석이나 흙은 육안조사를 통해 식별되어 평면도 및 종단면도에 표시된다. 깎기 또는 제거를 위한 부피와 사면의 추가적으로 매입이 필요한 용지를 추정한다. 사면을 깎거나 규모를 조정하는 작업은 그 자체로 지오 해저드를 유발할 수 있으므로 적절한 자격을 갖춘 지반공학 엔지니어의 감독 하에 수행해야 한다.
		트리밍(trimming) (그림 4.1, 패널 b)	
		스케일링(scaling) (그림 4.1, 패널 b)	
	침식 또는 사면 불안정 방지	사면 배수 식생 또는 생태공학 적 대책공	흙 사면에 대한 배수 및 식생공을 계획한다. 유출수 부분 또는 확인된 침식 현상의 경우, 호우 시 해당 유출수 또는 지표수를 안전하게 배수할 수 있도록 배수 시설을 배치해야 한다.
사면 보강		록볼트(그림 4.2, 패널 a) 또는 쏘일네일 슛크리트 (그림 4.2, 패널 b)	사면의 불안정한 토괴나 암석의 영역은 육안조사를 통해 식별되고 평면도 및 종단면도에 표시된다. 사면 보강 면적의 부피를 추정한다.
		피칭 작업	
		사면 격자공 (격자 보)(그림 4.3)	
		부벽(버트레스) (공동채움)	
위험 도로에 대한 보호대책	충격에 대한 저항 또는 흡수	옹벽 및 흉벽 완충용 측구	사면으로부터 선단부까지의 단순한 거리로 직접 또는 여러 번의 튕김으로 도로에 부딪힐 가능성을 판단한다. 가능한 최대 낙석 크기를 결정하고 타격 에너지를 계산한다. 보호대책은 에너지 흡수를 통한 충격에너지로부터 내구력을 가지거나, 추락 또는 붕괴를 위험도로 외부 방향으로 유도하는 방식으로 계획된다.
		방호벽(방호펜스, 벽) (그림 4.4, 패널 a)	
		암석 또는 토괴 채집 역할의 사면 중간 벤치(소단) (그림 4.1, 패널 a)	
	철망(낙석망) (그림 4.4, 패널 b)		
	산사태 또는 붕괴 방향을 도로 외부로 유도	가이드 벽	
		셸터(그림 4.5)	
터널			

그림 4.1: 사면 파괴 또는 붕괴에 대한 사면 깎기 또는 제거



식생 및 식생기반작업(생태공학적)은 (a) 물과 강우 영향으로 인한 표면 침식 감소 (b) 빗물의 침투 감소; (c) 지중 토양을 뿌리 시스템과 결합(사진 4.1); 및 (d) 깎기 사면의 경관 개선의 경우 효과적이다. 식생은 종종 구조적 대책공과 함께 사면 안정화 방법으로 채택된다. 식재 또는 파종할 식생의 종류를 선택할 때 강우량, 온도, 사면 기울기 및 토양 특성과 같은 요소를 충분히 고려해야 한다. 사면이 침식되기 쉬운 경우, 녹생토를 지지하기 위해 식생을 위한 기반작업이 제공된다. 이후 토양의 지원 역할로 인해 어린 식물 또는 묘목이 자라고, 뿌리 시스템이 지중의 토양을 묶고, 식생기반재(천연재료 또는 토목섬유)가 부식되면 식생 기반이 완성된다.

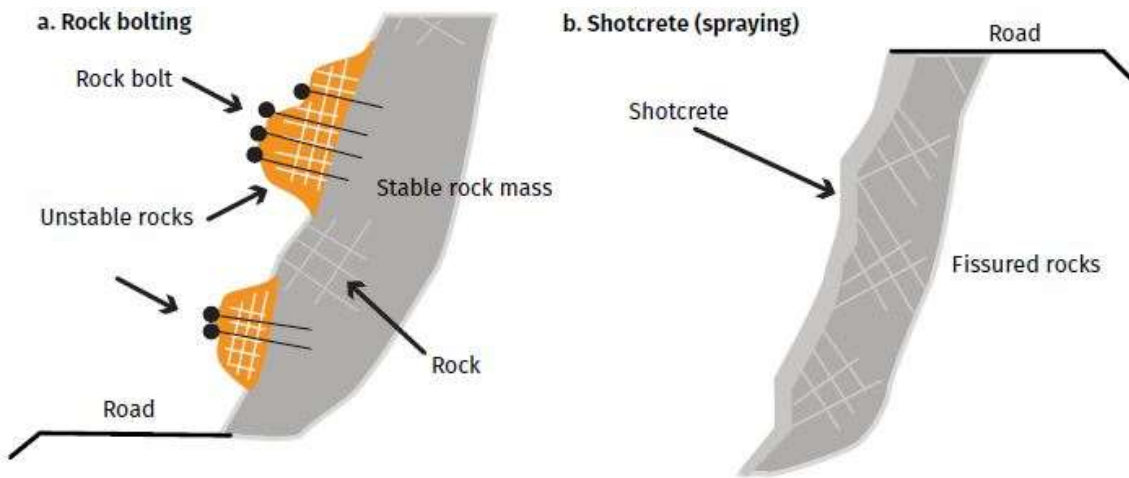
사진 4.1: 도로 사면의 식생



2016년 8월 엘살바도르의 산악도로 사면에는 11개월 동안 심은 베티베르 글라스가 전시되어 있다. 긴 뿌리는 잘 알려진 토양 결합효과를 제공한다. 암반 사면의 경우 록볼트와 슛크리트가 사용된 일반적인 사례이다(그림 4.2). 도로 상부와 하부 모두에 동일하게 적용 가능한 대책공이다. 록볼트는 안정된 암반으로부터 분리되는 불안정한 암석에 적용된다.

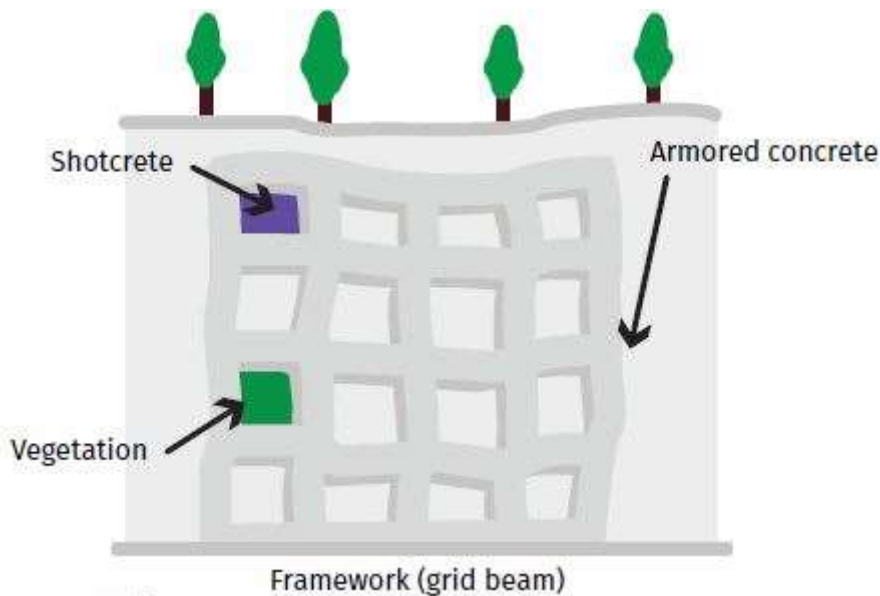
파쇄된 암반 사면에 슛크리트 또는 격자작업(격자보)을 적용한다. 슛크리트는 격자보다 내구성이 작고 암반면에서 물이 스며드는 사면에 적용하기 어렵다. 생성된 수압으로 인해 슛크리트가 파괴되지 않도록 슛크리트 배면에 배수를 위한 수발공이 필요하다.

그림 4.2: 낙석 또는 붕괴에 대한 사면 보강을 위한 록볼트 및 슛크리트



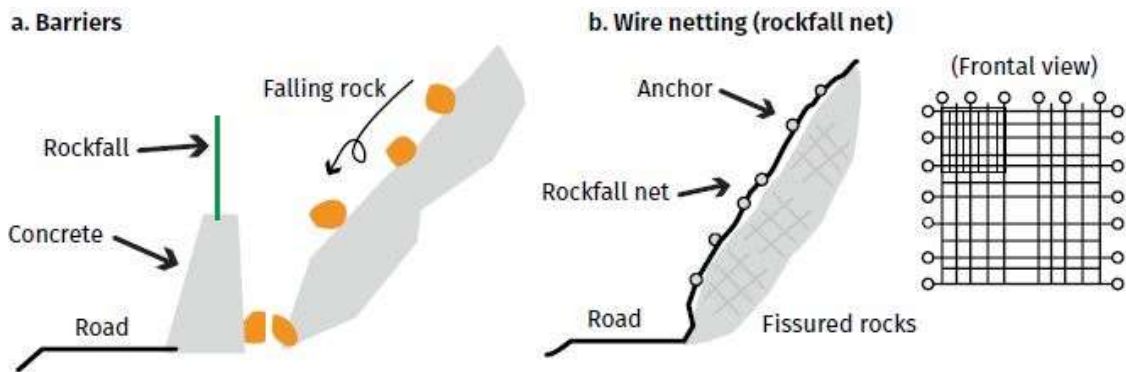
사면에 격자블록(격자보) 또는 모르타르나 콘크리트를 이용한 격자보를 시공하는 것은 사면의 안정성을 보강하기 위한 공법이다. 슛크리트를 사용할 수 없는 약한 암반이나 용출수가 있는 극도로 파쇄된 암반에 설치할 수 있다. 그 목적은 표면 붕괴를 방지하는 것이며 어스앵커의 반력 구조로 사용할 수 있다. 격자의 노출된 공간은 식생으로 덮을 수 있다(그림 4.3).

그림 4.3: 낙석 또는 붕괴에 대한 사면 보강을 위한 격자블록(격자보)



낙석이나 붕괴로 위험에 처한 도로에 대한 몇 가지 보호 조치가 있다. '충격에 대한 저항 또는 흡수'와 '위험도로 외부로 낙하 또는 붕괴 방향 유도'로 세분화된다. 방호벽은 벽, 울타리 또는 벽과 울타리의 조합 형식의 충격에 대한 저항 수단이다(그림 4.4, 패널 a). 철망(낙석망)을 이용한 방법은 낙석 충격을 흡수하기 위해 설치되며 덮개형(그림 4.4, 패널 b)과 포켓의 역할을 하는 걸림형으로 구분된다.

그림 4.4: 낙석 또는 붕괴로 인한 충격에 대한 저항 또는 흡수의 예



낙석 또는 붕괴 방향을 위험도로 외부로 유도하는 일반적인 방법은 셸터(shelter)를 이용하는 것으로 구성된다(그림 4.5). 산비탈에서의 낙석이나 붕괴는 셸터의 지붕에 의해 포착되어 도로의 계곡 쪽 사면으로 향하게 된다. 이 접근법은 눈사태 위험에 처할 수 있는 산악도로와 매우 느슨한 재료에 일반적으로 사용된다.

그림 4.5: 사면의 낙석 또는 붕괴 위험이 있는 도로를 위한 셸터 예



4.4.2 계곡부 붕괴 또는 하천 침식에 대한 구조적 대책공

계곡부 붕괴 또는 하천 침식은 도로 기초의 붕괴를 유발할 수 있으며, 기능을 완전히 복원하는 복구 시간은 며칠 또는 몇 달이 걸리는 경우가 많다. 붕괴에 대한 사면 안정화 대책은 일반적으로 낙석 또는 붕괴에 대한 대책과 동일하다. 많은 경우 빗물이나 눈이 녹는 물이 도로의 계곡부 사면으로 유입되거나 침투하면 도로 기초가 붕괴된다. 따라서 설계자는 강우강도-강우시간-빈도(IDF)에 대한 공식 또는 곡선을 사용하여 수문학적 계산을 기반으로 적절한 배수 시스템을 설계해야 한다.

도로 하천 침식은 또한 계곡 측 붕괴와 도로 기초 붕괴를 유발한다. 하천 침식에 대한 대책은 제방 도로 침식에 대한 보호뿐만 아니라 도로 반대편에 대한 영향검토가 필요하다. 흐름 방향 변경, 하천 폭 감소로 인한 유속 증가 또는 제방 측 도로변 침식 방지공으로 인한 높은 홍수위로 인해 침수 또는 침식 위험이 증가한다. 이 모든 것은 하천변 보호공의 의도하지 않은 결과일 수 있다.

강바닥의 황폐화 및 퇴적은 도로 하천변 붕괴의 위험을 증가시킬 수 있으며 이러한 현상을 방지하기 위한 조치가 필요하다(표 4.3).

표 4.3: 도로 하천변 침식에 대한 일반적인 구조적 대책공

기본 카테고리	2차 카테고리	3차 카테고리	컨셉 디자인 레이아웃 절차
제방보호		호안(그림 4.6)	경미한 손상 부분에 대한 보호 범위를 결정한다. 구조 유형은 예상 유량을 고려하여 결정된다.
		호안 선단부 보호 (에이프런)(그림 4.7)	
		스퍼(spurs) 또는 그로인(groins) (그림 4.7)	
		하천 흐름을 위한 가이드월(그림 4.7)	
채집기반 퇴적물 관리시설	도로 하천변 침식을 유발하는 기능저하 대책 (바닥보호공)	하상 거들(girdle)(그림 4.8)	도로변 하천의 침식을 유발할 수 있는 세굴 및 하상 황폐화로부터 보호하기 위해 배치한다.
		낙차공(그림 4.8)	도로변 하천의 침식을 유발할 수 있는 세굴 및 기능저하로부터 보호하기 위해 배치하거나 하천 굴곡부에서 하천류가 도로 계곡측 경사면과 충돌하는 부분을 배치한다.
	도로 하천 침식을 유발하는 퇴적에 대한 대책	경관 생태시스템에서 상류부의 사면안정화 공사 또는 조림(식생, 식생기반공)(그림 4.8)	하상 황폐화로 인해 도로 하천 침식이 발생할 수 있는 경관 생태시스템에서 사면 안정화 작업을 배치한다.

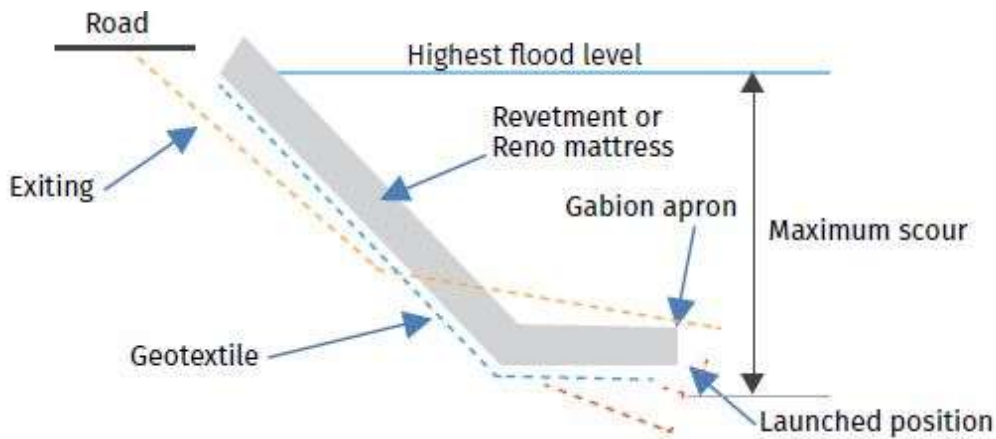
계곡부를 위한 구조적 해법을 설계하거나 하천의 침식 문제를 해결할 때, 단순히 굴착된 재료를 계곡 쪽에 투기하는 대신 포장층, 제방시공 및 보호공에 다량의 하천 자갈 및 암석, 낙석, 사면 폐기물, 산사태 잔해를 사용해야 하는 경우가 많다. 이러한 접근 방식은 계곡 측과 도로 제방의 손상을 방지하고 제방에 부정적인 영향을 줄 수 있는 정상적인 하천의 흐름의 변화를 최소화한다.

하천 호안은 하천 도로 침식에 대한 가장 일반적인 제방 보호 대책공이다(그림 4.6). 그림 4.6은 돌을 제자리에 고정하기 위해 개비온 바스킷을 사용하는 것을 보여주지만 많은 상황, 특히 하천의 유속이 암석을 제거하기에 충분하지 않은 경우 개비온 바스킷이 없는 암석 호안이 실용적일 수 있다. 물의 에너지를 분산시키기 위해 도랑의 댐을 점검하고 경사가 급한 지역의 도랑의 세굴을 점검하는 것이 제방 보호 대책공의 동반 조치이다.

옹벽 대신 또는 옹벽과 함께 사용할 수 있는 대체공법에는 다음이 포함된다.

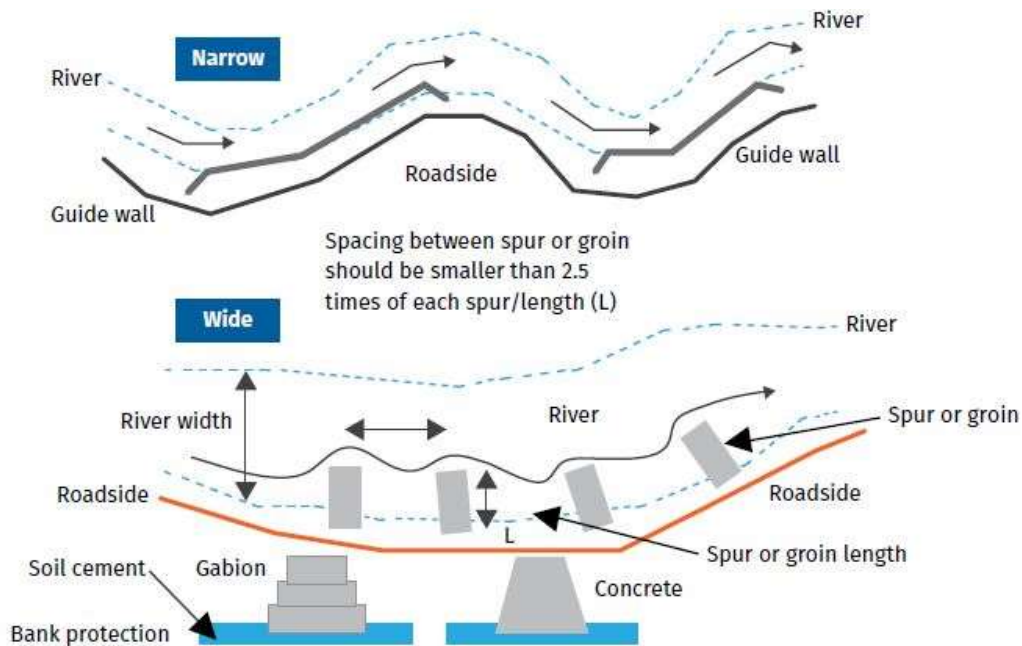
- Reno 매트리스는 약 200mm 두께의 와이어 매트리스로 묶인 작은 암석으로 구성되며 암거 배출구나 수위면 또는 측면 배수구에서 에이프런으로 더 일반적으로 사용된다.
- 돌망태 옹벽(일반적으로 1m x 1m x 2m로 짜여진 철망 돌망태에 넣은 작은 암석)은 제방 옹벽의 한 형태이다. 그리고
- 돌망태는 유연하고(하천 중앙을 향해 아래쪽으로 기울어질 수 있음) 호안을 파괴하거나 그 아래에 세굴 구멍을 만들지 않고 호안의 기초 역할을 한다.

그림 4.6: 도로 하천 침식에 대한 제방 보호의 예(호안)



빠른 흐름이 제방을 공격하는 경우 하천 흐름 가이드 월과 스퍼(spurs) 또는 그로인(groins)을 설치하여 물 흐름으로부터 에너지를 유도하거나 흡수할 수 있다(그림 4.7). 대부분의 사례에서 돌망태를 사용하는 이유는 암석재료를 쉽게 구할 수 있는 지역에 대한 저비용 대책공이며 작업성 및 시공 효율이 좋기 때문이다. 그러나 돌망태는 내구성이 떨어지며 구조물 바닥의 세굴 때문에 물 흐름 보호에 이상적으로 적합하지 않다. 제방을 위한 돌망태 기초로는 쓰일시멘트와 같은 방법을 사용하여 기초와 돌출부를 일체화해야 한다.

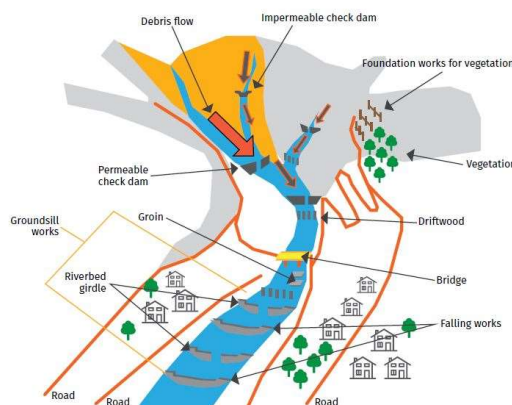
그림 4.7: 도로 하천 침식에 대한 제방 보호의 예



채집 기반 퇴적물 관리 시설은 또한 약한 침식 상황에서 하천 도로 침식을 완화하는 데 적합하다. 경관 생태시스템 관리는 도로 구간 자체에 영향을 미칠 뿐만 아니라 물 흐름의 둔화를 통해 인근의 다른 시설물에 대한 하천 침식 리스크를 완화한다.

채집 기반 퇴적물 관리는 강바닥의 훼손 또는 축적에 대한 대책공으로 세분화된다. 하상 훼손에 대한 대책공에는 하상 거들과 낙차공으로 구분되는 바닥보호공이 포함된다(그림 4.8). 하상 거들은 크라운(구조물의 가장 높은 표면)이 강바닥과 같은 높이에 있는 구조이다. 하상을 보호하는 가장 경제적인 방법이다. 이에 반해 낙차공은 유속을 줄이기 위해 강바닥보다 크라운이 더 높다. 하상 훼손 대책은 수로의 유속을 유지하여 토석류, 범람 등의 흐름 유형의 지오 해저드를 완화하는 것을 목적으로 한다. 조경 생태시스템의 생태공학은 식생과 기반공으로 구성되어 강우 유출을 줄인다. 이는 흐름 유형의 지오 해저드 또는 침식량(퇴적물 산출량) 및 하상 훼손을 감소시킨다.

그림 4.8: 도로 하천 침식 및 흐름형 지오 해저드를 완화하기 위한 채집 기반 퇴적물 관리 시설



4.4.3 활동형(slide-type) 지오 해저드에 대한 구조적 대책공

활동형 지오 해저드에 대한 대응책은 세 가지 주요 유형의 리스크 완화로 세분화된다(표 4.4).

- 지역 회피
- 슬라이딩 활동력 감소
- 슬라이딩에 대한 저항력 증가

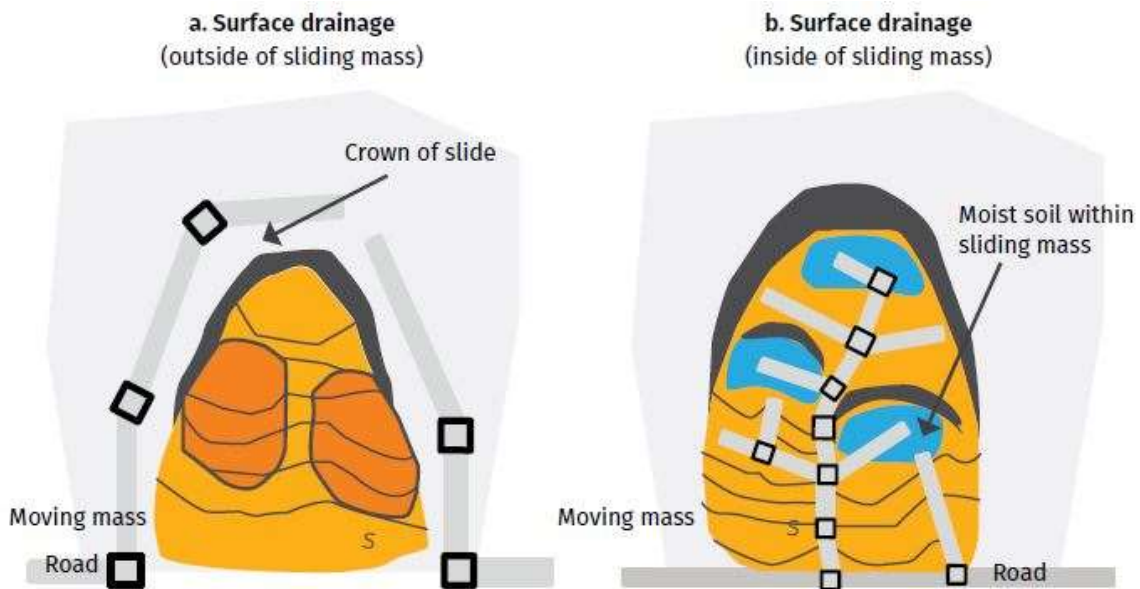
슬라이딩이 쉬운 지형(토공)의 머리 부분을 제거하여 슬라이딩의 추진력을 줄일 수 있다. 슬라이딩에 대한 저항력의 강화는 내부 마찰 강도를 증가시키기 위해 원위치에 배수 또는 침투 방지가 있는지 확인하는 것과 함께 압성토(토공)를 사용하여 수행할 수 있다.

표 4.4: 활동형 지오 해저드에 대한 일반적인 구조적 조치

기본 카테고리	2차 카테고리	3차 카테고리	컨셉 디자인 레이아웃 절차
슬라이딩 영역 회피		활동에 의한 리스크를 피하기 위한 도로 선형 선정 또는 재조정	용지보상이 현실적이라면 선형으로 배치
슬라이딩 활동력 감소	토공	자중을 줄이기 위해 상부의 암석이나 흙을 제거	사용 가능한 토지 사용에서 토공의 레이아웃을 계획하는 것이 우선순위
		슬라이딩 선단의 압성토	사용 가능한 토지 사용에서 토공의 레이아웃을 계획하는 것이 우선순위
슬라이딩에 대한 저항력 강화	내부 마찰 강도를 높이기 위한 배수 또는 침투 방지	지표면 배수(그림 4.9)	보다 깊은 지반에 침투하거나 슬라이딩 면의 수압을 증가시키지 않도록 지표수 및/또는 지표 지하수를 배수하도록 배치한다.
		지표면 배수를 병행한 지표-지하수 집수 도관(프렌치 배수)(그림 4.10 및 사진 4.2)	
		지하 배수(배수공)(그림 4.11 및 사진 4.3)	슬라이딩 면에 영향을 미치는 수압을 줄여 슬라이드의 잔류 저항력을 높인다. 배수공 배치는 일반적으로 20-50미터의 배수공 길이로 모든 활동토괴를 수평으로(일반적으로 위쪽으로 5-10도) 포함한다.
		식생 또는 생태공학(그림 4.9)	보조공으로 강우의 침투를 줄이는 것이 있다.
외부 저항력 설치		그라운드 앵커(그림 4.12)	다른 공법이 사면안정성 요구사항을 충분히 충족하지 못할 경우 그라운드 앵커 및 말뚝을 추가로 계획한다.
		말뚝	
		크립월 또는 보강토 등의 옹벽	
		토목섬유 보호 또는 사면 메쉬 설치	

지표면 배수는 그림 4.9에 나와 있다. 왼쪽 그림(패널 a)은 지표수가 슬라이딩 영역 외부에서 내부로 유입되는 것을 방지하기 위한 지표 배수를 보여준다. 오른쪽 그림(패널 b)은 슬라이딩 영역 내부에서 외부로 지표수를 배수하는 방법을 보여준다. 지하 배수의 실용성은 더 많은 토지 이동으로 인해 배수구가 막혀 추가 배수공이 필요할 리스크가 있기 때문에 숙련된 전문가의 검토가 필요하다.

그림 4.9: 활동형 지오 해저드의 지표면 배수



교통 기반시설에 영향을 미치지 않지만 뉴질랜드의 Cairnmuir Landslide(던스턴 호수 표면에서 50m 높이에 있고 클라이드 댐에 의해 저지됨)는 이러한 표면 배수 접근 방식의 좋은 예를 제공한다. Cairnmuir Landslide는 느리게 움직이는(연간 300mm 미만) 산사태로 호수로 흘러들어가 Clyde 댐(100미터 높이의 콘크리트 수력 발전 댐)을 넘을 리스크가 있는 것으로 간주되었다. 리스크를 줄이기 위해 산사태의 지표면은 약 14,000제곱미터의 면적에 방수 코팅과 표면 배수로 덮여 있었다. 산사태 자체 내에서 지하수면을 낮추고 경사면을 더욱 안정시키기 위해 약 18km의 배수 터널을 뚫었다. 산사태를 안정화하는 데 드는 총 비용은 현재 기준으로(2019년 기준) 10억 달러에 가깝다.

프렌치 배수(French Drain)라고도 하는 지표 배수가 있는 지표 지하수 집수 도관은 강우에 반응하여 상승하는 민감한 지하수 수위와 집중 강우에 의한 슬라이딩 활동력을 제어하는 표준 관행이다(그림 4.10). 지표 지하수는 투수성 섬유(지오택스타일)로 덮인 유공 파이프인 유공 배수관을 통해 쇄석으로 만들어진 도관 섹션으로 수집된다. 도관 부분의 바닥과 측면은 지하로 누출되는 것을 방지하기 위해 불투수성 시트(지옴브레인)로 둘러싸여 있다. 수집된 지표 지하수는 배수관을 따라 수십 미터를 흘러내려 캐치피트의 개방 공간으로 흘러들어가서 개방된 도랑으로 배수된다(사진 4.2).

그림 4.10: 지표 배수가 있는 지표 지하수 집수 도관

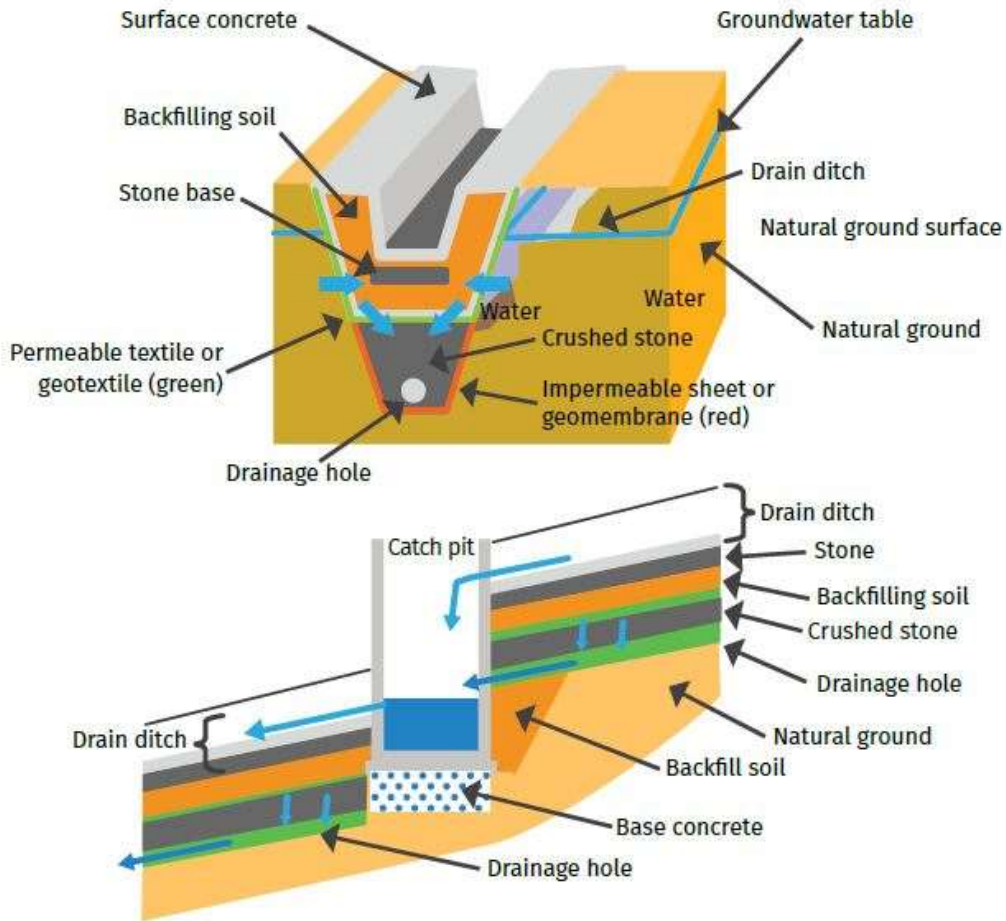


사진 4.2: 집수정에서 지표면 배수가 있는 지표 지하수 집수 도관



본 현장은 2014년 8월 네팔의 Sindhuli-Bardiabas 도로 구간이다.

사진은 도관 배수관에서 배수되고 집수된 지표 지하수를 보여준다.

지하 배수공은 또한 지하수위를 더 급격하게 낮추고 활동면에서 간극수압을 낮추며 지하 표면의 활동면에서 내부 마찰 강도를 증가시키는 일반적인 관행이다. 가장 일반적인 관행은 5~10°의 각도로 도로에서 산비탈 방향으로 수평 배수공을 설치하는 것이다(그림 4.11). 가장 긴 실제 길이는 대부분의 상황에서 100미터이다. 파이프의 출구에서 수집된 지하수의 배수가 활동체의 외부 또는 지오 해저드의 영향을 받지 않는 구역까지 확장되는 것이 중요하다. 배수 장치를 설치하려면 각 구멍의 정확한 간격과 길이를 결정하는 전문 기술과 장비가 필요하며, 그 효과를 보장하고 산사태 리스크를 악화시키는 것을 방지할 수 있다. 천공 후 일반적으로 파이프(지오텍스타일로 싸여 있음)를 설치하여 물을 모아 표면으로 이동시킨다. 앞서 언급한 바와 같이 뉴질랜드의 케언뮤어 랜드사이드(Cairnmuir Landside)에는 18km 이상의 지하 배수 시설이 설치되었다. 추가 예는 사진 4.3에 나와 있다.

그림 4.11: 지하 배수공

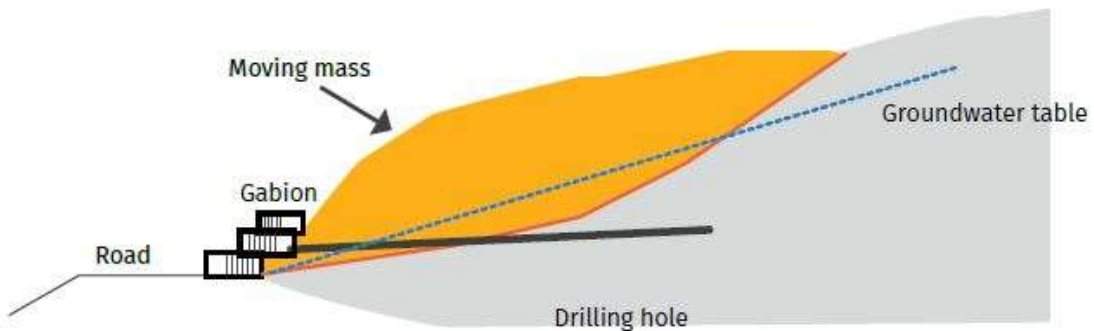


사진 4.3: 도로 활동사면에서 배수된 지하수

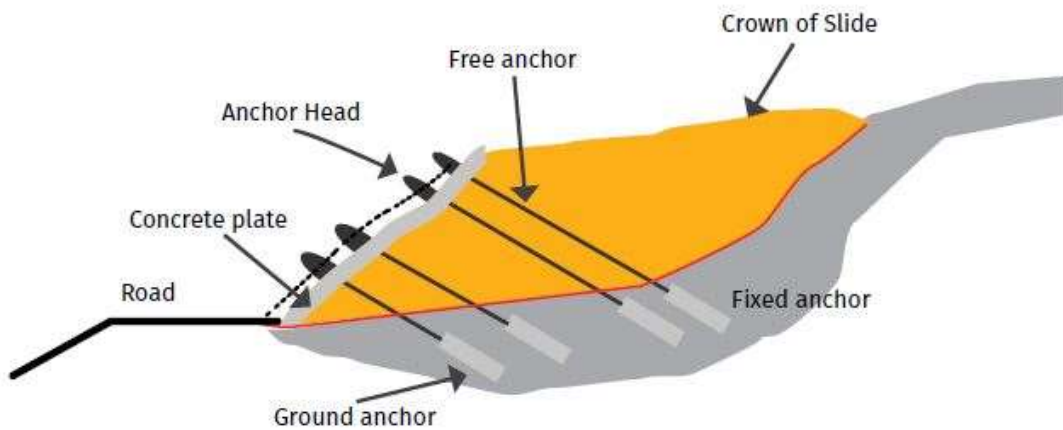


엘살바도르의 이 시추 작업은 2013년 4월 JICA 기술 협력 프로젝트 팀에서 관리했다.

그라운드 앵커의 사용은 활동형의 지오 해저드에 대해 외부 저항력을 적용하기 위해 도로 사면에서 또 다른 일반화된 방법이다. 이러한 외부 저항력을 '억지공'이라고 하며, '억제공'(토공 및 배수공)이 완료된 후 규정된 요건에 따라 시행한다.

그라운드 앵커(그림 4.12 참조)는 활동면에 외부 저항력을 가하도록 설계된 장치이다. 고정식 앵커(안정된 지반에 그라우팅으로 고정), 프리앵커(인장력 전달용), 콘크리트 플레이트가 있는 앵커 헤드(표면 부분에서 반력을 받음)의 세 부분으로 나뉜다.

그림 4.12: 활동형 지오 해저드에 대한 외부 저항력으로서의 그라운드 앵커



수년 동안 지반신소재는 구조적 대책공의 성능을 향상시키기 위해 적용되었다. 지반신소재는 다음과 같이 지오 해저드 대책공을 지원하는 데 사용되었다.

- 망상 지오그리드를 사용한 성토사면 보강
- 불투수성의 토목섬유를 사용하여 깎기(절토) 사면에서 모래와 세립토의 토사유출 방지 및 투수성 지반의 배수
- 불투수성의 지오멤브레인으로 지표수 및 지하 빗물의 침투 방지
- 지오컴퍼지트 배수로 깎기 사면의 식생기반 배면 재료의 배수
- 토목섬유로 감싼 유공관

시장에서 사용할 수 있는 다양한 지반신소재와 다양한 용도, 설치 요구사항 및 기능을 감안할 때 이에 대한 자세한 내용은 본 매뉴얼에 포함되어 있지 않다.

4.4.4 흐름형(flow-type) 지오 해저드에 대한 구조적 대책공

계획자 또는 설계자는 대책 유형의 선택 및 흐름형 지오 해저드(토석류, 토류 및 돌발 홍수)에 대한 설계를 위해 강우의 강도-지속시간-빈도(IDF)를 사용하여 수문학적 및 수리학적 계산을 수행해야 한다. 흐름의 성분 비율(돌, 흙, 물의 함량)과 같은 흐름의 속성은 흐름 경로가 쉽게 막히지 않도록 구조적 대응책을 설계할 때 배수 구조가 넘침으로써 도로가 침식되거나 홍수가 인접 토지로 전환되지 않도록 고려하는 것도 중요하다.

흐름형 지오 해저드에 대한 대책은 세 가지 주요 유형으로 세분화된다. 즉, 도로를 가로지르는 수로를 위한 적절한 흐름 구조, 지연 또는 보호 구조, 경관 생태시스템 보전(표 4.5)이다.

표 4.5: 흐름형 지오 해저드에 대한 일반적인 구조적 대책공

1차 범주	2차 범주	컨셉 디자인 절차
횡단수로의 적절한 흐름 구조물	도로교	흐름형 지오 해저드에 대비하여 적절한 용량의 수로 구조물을 배치한다.
	도로횡단 암거	
억제 구조물	얕은 하천 횡단: 홍수와 흙 또는 암석의 흐름을 허용하여 노면을 통과하는 일종의 교량 또는 암거 (그림 4.13)	경관 생태시스템 보전을 위한 보호구조물은 침투유량을 줄이기 위해 하천 상류나 하천횡단 상류에 일시적인 수위저하를 위해 토지를 이용할 수 있도록 개념적으로 설계하였다.
	모래 주머니 우수 저장, 지연 유역	
보호 구조물	토석류 사방댐 (그림 4.14)	이것은 일반적으로 지역 흐름형 지오 해저드 제어를 위해 계획이다(특정 도로 위치뿐만 아니라).
	홍수 조절 댐	
경관 생태시스템 보전	빗물 유출을 줄이기 위한 사방공사 또는 재조림(그림 4.8)	
	바닥보호공(그림 4.8)	

수로 횡단을 위한 구조물은 수중의 흙, 암석 및 기타 잔해의 영향을 적절하게 고려하면서 적절한 목표 재현기간을 적용하여 설계해야 한다. 낮은 용량의 도로 또는 전천후 접근을 제공할 필요가 없는 도로에 대한 저비용 대책공으로 포드 강 횡단이 설계되었다. 얕은 하천의 횡단은 흐름형의 지오 해저드 요소(홍수 및 토석 흐름)가 도로 표면을 건너 통과할 수 있도록 하는 일종의 교량 또는 암거이다. 얕은 하천을 위한 적절한 흐름 구조는 구조물 또는 수로 외부의 인접 도로에 범람하지 않으며 하천을 가로지르는 흐름형 지오 해저드에 의해 파괴되지 않는다. 홍수와 토석은 콘크리트 도로 표면에 횡방향으로 흐르고 홍수 기간 동안 도로가 폐쇄된다.

얇은 하천의 횡단 구조물(사진 4.4 및 그림 4.13)은 충돌하는 돌의 충격에 강하고 고유량 기간 동안 침식을 방지하기 위해 철근 콘크리트로 만들어졌다. 일반 도로 구간의 상류측에 방호벽을 설치하여 흙이나 돌을 포함한 물이 도로 포장(얇은 하천 구조물 외부)에 도달하는 것을 방지한다. 물의 양에 따라 얇은 하천을 가로지르는 컬버트 관은 정상적인 기상 조건에서 강의 흐름을 처리하기에 충분한 용량으로 설치될 수 있으며 대안은 얇은 하천을 가로질러 깊이 200mm 미만의 항상 영구적인 물의 흐름이다.

사진 4.4: 얇은 하천 횡단 방법의 예



a. 암거 없는 얇은 하천 횡단

이러한 횡단방법은 홍수 동안에만 수위로 문제가 되는 강을 위한 것이다. 얇은 하천 횡단은 범람한 물의 흐름이 차도를 건너도록 하는 일종의 교량이다. 하천의 경사가 완만한 하천에서 사용된다



b. 암거가 있는 얇은 하천 횡단

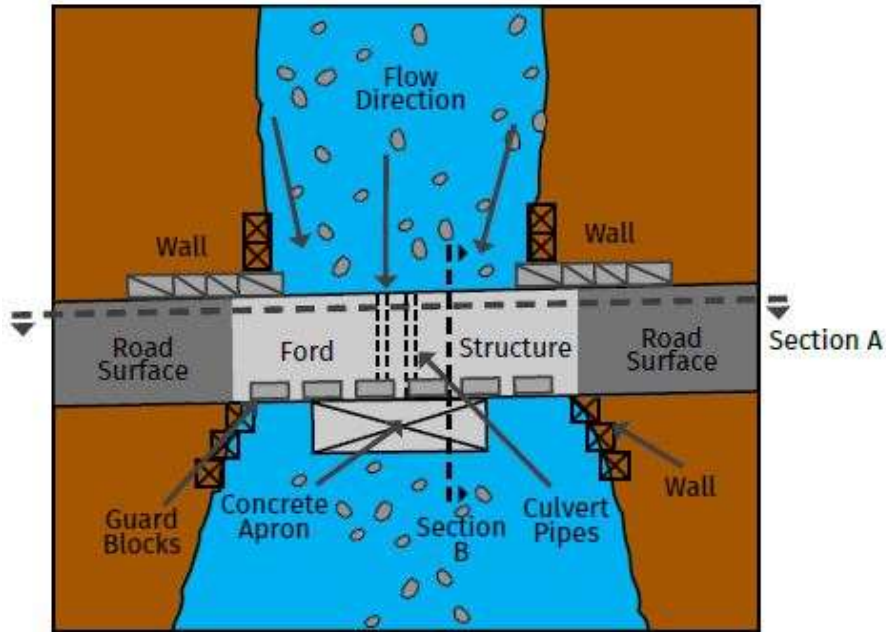
이러한 얇은 하천 횡단은 홍수 시 뿐만 아니라 평상시에도 물이 흐르는 하천용이다.



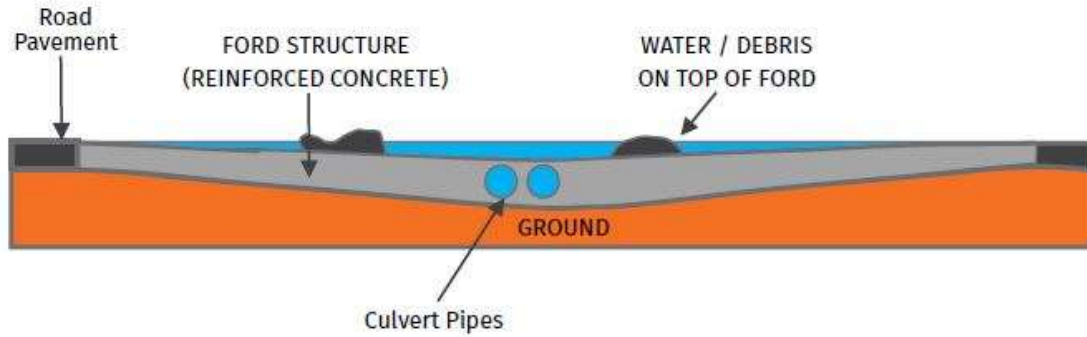
c. 연속형 박스 유형의 얇은 하천 횡단

기술적으로 얇은 하천은 아니지만 이러한 유형의 횡단은 유속이 큰 하천에 적용된다. 차도 위로 물이 범람할 수 있도록 설계되었다.

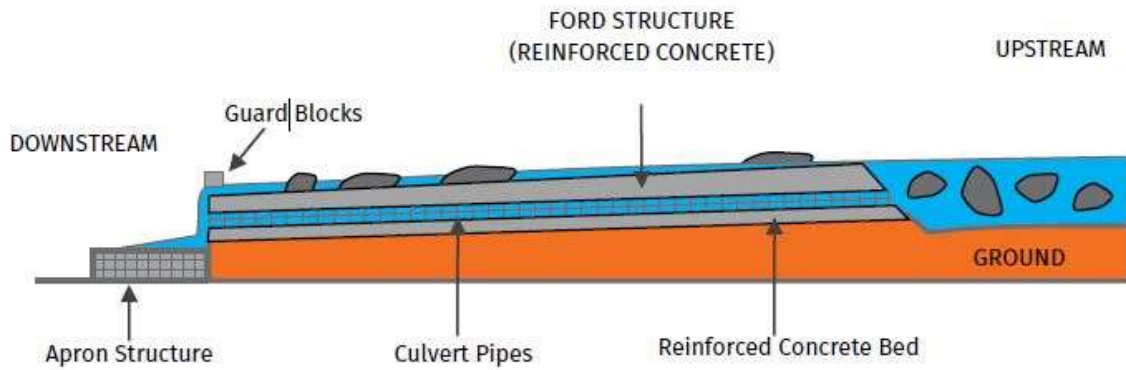
그림 4.13: 얇은 하천 횡단(샘플)



SECTION A



SECTION B



사방댐(그림 4.14)은 흐름형의 지오 해저드로부터 도로 및 기타 기반 시설을 보호한다. 출구 유도관이 있는 콘크리트형의 사방댐은 일반적으로 홍수 조절에 사용된다(그림 4.14, 패널 b). 돌망태형 사방댐은 콘크리트 솔루션에 대한 저렴한 옵션이며 세굴로부터 기초를 보호하기 위해 쏘일시멘트와 같은 기초 처리가 필요하다(그림 4.14, 패널 a). 돌망태로 만든 것과 같은 투수성 사방댐은 자연수와 퇴적물의 흐름을 방해하지 않는다는 장점이 있다. 홍수가 발생하는 동안 큰 바위 돌이나 유목에 대해서만 보호한다(그림 4.14, 패널 c). 사방댐은 일반적으로 도로 배수로의 침식 및 퇴적을 제어하는 데 사용된다. 그들은 물의 흐름을 늦추고(배수구의 침식을 줄임) 퇴적물이 각 사방벽 뒤의 댐 지역에서 해산되도록 한다. 시스템을 잘 유지 관리하지 않으면 효율성을 잃는다.

그림 4.14: 흐름형 지오 해저드에 대한 보호 구조물

