

# 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
5. 운영 및 유지관리
6. 컨틴전시 프로그래밍

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

K-Risk

※ 상기 이미지를 클릭하면 원문 다운로드가 가능합니다.

## 3. 시스템 플래닝 Systems planning

### 3.1. 시스템 플래닝이란 무엇인가?

수명 주기의 시스템 플래닝 단계는 전반적인 지오 해저드 리스크 관리 프로세스를 지원하는 데 필요한 제도적 장치라는 활동을 다룬다. 본 핸드북은 시스템 플래닝의 세 가지 주요 측면을 다룬다.

- 리스크 식별 및 평가
- 리스크 평가
- 리스크 관리 계획

리스크 관리 관행에 대한 자세한 내용은 ISO 31000을 참조하라. Part III 사용 후의 성취는 다음과 같다.

- 도로 지오 해저드에 관한 리스크 식별 및 평가를 이해한다. 그리고
- 해저드 인식의 실천을 이해한다

핸드북 Part III에 대한 참조 문서에는 다음이 포함된다.

- 참조 조건 2(ToR 2), 리스크 평가 및 관리 계획(부록 A)은 기존 도로 선형(또는 전체 도로망에서 지오 해저드 리스크를 평가하거나 잠재적인 신규 도로 선형에서 지오 해저드를 식별하기 위한 표준 ToR이다. 여기에는 도로의 지오 해저드의 리스크 평가 및 리스크 관리 계획에 있어서 컨설팅 서비스를 위한 ToR 템플릿이 포함된다
- 참조 조건 3(ToR 3), 도로의 해저드 인식 및 파트너십 촉진을 위한 매뉴얼 개발(부록 A)
- 운영 매뉴얼 1(OM 1), 경제적 리스크 추정 및 비용 편익 분석(부록 B)은 잠재적 연간 경제적 손실로 리스크 추정 절차를 제시하고 분석을 위한 모델 스프레드시트를 제공한다.
- 일본의 도로 지오 해저드 리스크 관리 사례 연구(부록 C)는 일본의 리스크 평가 절차를 자세히 제시한다

### 3.2 도로 중요도(Road Criticality)

나중에 다루겠지만(섹션 3.6.3.1, "DMDU 방법론" 아래), 전체 도로망 내에서 도로 연결의 근본적인 중요도를 이해하는 것은 도로 지오 해저드에 관한 리스크 관리의 모든 측면에서 중요하다. 지오 해저드를 조사, 모니터링 또는 보수(선제적 또는 사후적)하는 데 드는 비용에 관계없이, 가장 리스크가 높은 도로 연결에 초점을 맞춰야 한다. 이 맥락에서 중요도는 해당 도로에 영향을 미칠 다양한 리스크에 관계없이 단일 임계값이 도로에 적용되어야 하기에 지오 해저드 리스크 관리를 넘어 확장된다.

도로 중요도는 국가 또는 지역을 표준으로 해야 하며 무역의 핵심 경로에 우선순위 지정과 같은 항목을 포함할 수 있다. 사회 및 정치 서비스에 대한 액세스; 비상 대피 및 접근 경로 등. 이것이 없으면 모든 대응(재해 전이든지 후이든지)은 정보를 얻지 못하고 식별된 우선 접근로 요구 사항에 집중하지 않을 리스크가 있다. 도로 중요도는 교통의 관점에서 도로와 거의 관련이 없고 도로가 제공하는 다른 서비스와 더 관련이 있을 수 있다는 점에 유의하는 것이 중요하다. 예를 들어, 교통량이 적은 도로는 도시의 수처리장으로 연결되므로 리스크로부터 보호하는 것이 최우선 과제이다. 유사하게, 주요 가스, 전력, 통신 또는 유사한 매설관이 제방 내에 묻혀 있는 작은 도로가 있을 수 있다.

따라서 도로 중요도는 모든 관점에서 도로를 조사하고 임계값을 할당할 수 있는 범정부 작업 그룹에 의해 가장 잘 결정된다. 이러한 작업 그룹은 뉴질랜드 라이프라인 위원회(NZLC)이다(Box 3.1).

#### Box 3.1 뉴질랜드 라이프라인 위원회(NZLC)의 목적과 기능

NZLC는 1999년에 설립되었으며 "인프라 회복탄력성을 개선하기 위해 기관 및 부문 경계를 넘어 라이프라인 유틸리티 조직의 연결성 향상"에 중점을 둔다.

NZLC는 인프라 회복탄력성에 대한 작업을 위해 세 가지 요구 사항을 정한다.

- 탄탄한 자산 또는 만족스러운 대체 서비스 준비

- 국가 및 지역 단계에서 사고 전후의 효과적 조정
- 현실적 최종 이용자 기대치로 이용자가 리스크를 인식하고 옵션을 더 잘 고려할 수 있다.

NZLC의 주요 기능은 다음과 같다.

- 다른 지역 프로젝트에서 방법론과 기타 학습 정보를 제공하여 새로운 프로젝트 장려 및 지원을 포함하여 다양한 활동 전반에 걸친 모범 사례에 대해 Lifelines Group에 조언
- Lifelines 활동과 같은 관련 정부 프로그램을 포함하여 민방위 및 비상 관리부(MCDEM) 내에서 작업하고 재무부 내에서 국가 기반 시설 계획을 포함하여 Lifelines 활동과 정부 간 연결
- 회복탄력성 관련 연구 홍보 및 보급
- 연례 National Lifelines Forum을 조직하여 Lifelines Groups 및 국가 유틸리티 대표에게 최신 개발 정보를 업데이트하고 일반적인 회복탄력성 관련 문제에 대한 입장을 개발할 기회 제공

NZLC에 다음이 포함된다.

- Spark NZ Ltd.(통신 회사)
- Transpower New Zealand Ltd.(국가 전력망 관리자)
- 뉴질랜드 교통국(주 고속도로 도로 당국 및 지방 도로 당국의 50% 자금 지원)
- Vector Limited(전력 및 가스 분배기)
- First Gas Limited(가스 전송 및 유통)
- 워터 뉴질랜드
- 민방위대책본부(MCDEM)
- 기업혁신고용부
- 지진위원회
- GNS 과학(지구, 지구과학 및 동위원소 연구 기관).

출처: "Overview of the New Zealand Lifelines Council (NZLC)," Lifeline Utilities, Ministry of Civil Defense & Emergency Management, New Zealand Government:

<https://www.civildefence.govt.nz/cdem-sector/lifeline-utilities/new-zealand-lifelines-council/>.

### 3.3 통합 정보 데이터베이스

고려해야 할 지오 해저드 관리의 한 측면은 분석할 수 있도록 모든 많은 데이터를 통합하는 방법이다. 예를 들어, 한 정부 부서에서는 수문학적 정보를 수집하고 보유하고 다른 부서에서는 토지 사용을, 또 다른 부서에서는 도로 정보를 수집하고 정부 부서 기록에 주요 사회 서비스 정보(병원, 학교 등에 관한)를 수집할 수 있다. 더욱이, 중앙 정부, 지방 정부 및 지방 정부 수준이 이러한 서로 다른 영역 각각에 관여할 수 있다. 즉, 발생하는 지오 해저드를 보다 효율적이고 효과적으로 관리할 수 있도록 정보를 통합하는 것이 지오 해저드 리스크 관리를 가능하게 하는 핵심 요소이다.

### 3.4 리스크 식별 및 평가

리스크 식별 및 평가는 리스크 관리 프로세스의 첫 번째 단계로 이는 두 단계로 구성된다.

- 1단계: 리스크 요소 식별
- 2단계: 리스크가 발생할 경우 가능한 결과 식별

그런 다음 이 두 단계를 통해 보다 자세한 평가 프로세스(아래에서 자세히 설명) 및 관련 완화 조치(4부 참조)를 보증하는 지오 해저드를 선택할 수 있다.

### 3.5 리스크 평가

#### 3.5.1 리스크 평가 책임

일반적으로 도로 관리 당국은 도로 시스템에 대한 관련 리스크를 평가할 책임이 있다. 따라서 당국은 일반적으로 (a) 리스크 평가를 위한 기술 매뉴얼 또는 지침을 개발하고, (b) 기존 도로에 대한 주문형 또는 주기적 리스크 평가 검사를 수행하기 위한 규칙 및 시간 프레임을 설정하는 주요 기관이다. 리스크 평가 검사는 일반적으로 도로 관리 당국과 계약한 직원, 전문가 또는 엔지니어가 수행한다.

#### 3.5.2 리스크 평가를 위한 정보 리소스

국제, 국가 및 하위 국가 수준의 부서 또는 기관은 리스크 평가의 정보 자원이다. 지오 해저드 리스크 평가를 위한 주요 정보 출처는 지오 해저드 관리(또는 Sabo, 퇴적물 관리)이다. 하천 관리; 지질학; 재난 리스크 관리; 대학 및 단과대학; 및 다음과 같은 기타 리소스:

- OpenDRI: 회복탄력성 이니셔티브를 위한 개방형 데이터, <http://opendri.org/>
- 회복탄력성 이니셔티브 현장 가이드를 위한 개방형 데이터, [https://www.gfdrr.org/sites/gfdrr/files/publication/opendri\\_fg\\_web\\_20140629b\\_0.pdf](https://www.gfdrr.org/sites/gfdrr/files/publication/opendri_fg_web_20140629b_0.pdf)

- ThinkHazard! <http://thinkhazard.org/>. 국제 온라인 리소스는 이 핸드북 파트 VII의 "웹 리소스"에 나와 있다.

### 3.5.3 지오 해저드 리스크 평가를 수행하는 방법

모든 지오 해저드 리스크 평가의 지리적 범위는 기존 도로에 대한 연구와 잠재적 신규 도로 선형에 대한 연구 간에 본질적으로 다르지만 기본 방법은 동일하다. 기존 도로의 경우 접근 방식이 단일 사이트, 단일 도로로 제한되거나 전체 도로망으로 확장될 수 있다. 새로운 도로 선형의 경우 접근 방식은 모든 잠재적 도로 선형을 완전히 포괄해야 한다.

기존 도로의 경우, 지오 해저드 리스크 평가 결과는 후속 완화를 위한 우선순위 사이트 목록을 개발하는 것이다. 새로운 도로의 경우 리스크 평가 프로세스는 비용 초과, 건설 지연, 비용이 많이 드는 운영 및 유지 관리 결과를 피하기 위한 적절한 계획을 위한 기반을 보장해야 한다. 또한 새로운 도로의 지역적 부정적인 사회적 및 환경적 영향을 관리하고 지역의 지오 해저드 완화 목표와 협력하여 새로운 도로 기능을 계획하는 데 도움이 될 수 있다.

지오 해저드 리스크 평가는 주로 지리 정보 시스템(GIS) 도구를 사용하여 상세한 리스크 매핑을 한다. 지오 해저드 리스크 평가 워크플로는 다음 섹션에서 자세히 설명하는 대로 5단계이다.

1. 연구의 지리적 범위 정의
2. 지오 해저드 식별 및 매핑
3. 지오 해저드의 사전 평가
4. 지오 해저드에 대한 상세한 평가
5. 지오 해저드의 광범위한 영향에 대한 평가.

새로운 도로 계획은 원칙적으로 다양한 선형의 장기-비용이 적절하게 평가되는 것을 목표로 하며, 일반적으로 리스크가 높은 위치를 피할 수 있다. 대조적으로, 기존 도로의 경우 리스크 평가 및 계획의 목적은 리스크를 완화하기 위한 자금의 우선순위를 적절하게 지정하고 리스크가 발생할 경우 비상 계획을 수립할 수 있도록 하는 것이다.

### 3.5.4 1단계: 연구의 지리적 범위 정의

명백하게 보일 수 있지만 연구 범위가 대규모 지오 해저드를 완전히 포괄할 수 있도록 도로 회랑(기존 또는 제안된)을 충분히 넘어 확장하는 것이 중요하다. 그 범위는 비교적 평평한 지형의 수십 미터에서 도로가 가파른 산골짜기에 있고 리스크가 도로 선형에서 잘 벗어난 곳에 위치할 수 있는 킬로미터에 이르기까지 다양할 수 있다.

연구 초점인 도로 축(기존 또는 신규) 정의에 따라 적절한 자격을 갖춘 지반 공학 엔지니어가 해당 지역을 빠르게 스캔하면 적절한 연구 지역을 선택할 수 있다. 이 단계에서 초점은 연구 지역 내에 존재할 수 있는 모든 리스크가 아니라 정의된 도로 축이 노출되는 리스크에 있다는 것을 기억하는 것이 중요하다. 연구 지역에 상당한 리스크가 남아 있을 수 있지만 조사 중인 도로 회랑에 영향을 미치지 않으면 반드시 보고되거나 관리되지 않을 것이다(그러나 해당 기관에 전달되는 것이 이상적이다).

### 3.5.5 2단계: 지오 해저드 식별 및 매핑

지오 해저드 식별에는 일반적으로 현장 기반 관찰과 데스크톱 분석 조합이 포함된다. 발생 빈도가 높은 지오 해저드(사건 간 10년 미만)의 경우 지오 해저드 리스크 지역의 존재(및 잠재적 규모)에 대한 상당한 제도적 지식이 있을 수 있다. 그러나 실패 빈도가 훨씬 낮은 지오 해저드의 경우, 잠재적 실패 사고의 규모는 말할 것도 없이, 리스크가 존재한다는 것을 인식하지 못할 가능성이 크다.

식별된 모든 지오 해저드를 도로 당국의 GIS 시스템에 코딩하여 결과 정보가 다른 지도 레이어 데이터(지형, 강우량, 도로 선형, 인구 데이터 등)와 쉽게 통합될 수 있도록 하는 것이 좋다. 위치, 개념적 크기, 지오 해저드 유형 등과 같은 기본 정보를 수집하여 후속 연구를 위한 자원의 우선순위를 정해야 한다.

첫 번째 계획은 알려진 모든 지오 해저드의 위치를 파악하는 것이다. 숙련된 도로 당국 직원, 컨설턴트, 계약자 및 인접 토지 소유자의 인터뷰는 그러한 데이터에 대한 좋은 기본 정보 소스이다. 신문 기록 및 유사한 출처 검색, 이전 사건의 발생 및 규모에 대한 정보를 제공하여 잠재적으로 붕괴 빈도에 대한 추정치를 제공할 수 있다. 기본적으로 이렇게 알려진 리스크는 일반적으로 100미터 미만 범위의 치수로 규모가 매우 국지적인 경향이 있으며 종종 도로 갭길에 쌓인 자재를 제거하는 일상적 유지 관리를 통해 관리할 수 있다(정기적으로 도로 교통 차선에 쌓인 물질은 안전에 훨씬 높은 영향이 있기 때문에) 작은 슬럼프 사이트 보충 등을 통해 추가 조사가 필요하다, 비록 국지적이지만, 이러한 리스크는 교통에 심각한 혼란을 야기하고 도로 이용자와 자재 제거 작업을 맡은 사람들에게 안전 리스크를 초래할 수 있다.

알려진 지오 해저드를 초기에 포착하면 다음 단계에서는 기술 전문가(파트 II, "인적 능력"에 대한 섹션 2.3.3 참조)가 알려지지 않은 지오 해저드를 식별하고 분류하기 위해 다양한 데이터 소스를 조사해야 한다. 이러한 맥락에서, 요구된 안전성에 너무 가파른 절토 경사 같은 지오 해저드는 인공적일 수 있다. 또한 기후 변화(특히 강우 강도가 증가하는 경향)가 이전에 리스크도가 낮았던 지오 해저드가 시간이 지남에 따라 리스크도가 높아지는 결과를 초래할 수 있는 것을 고려해야 한다. 이러한 지오 해저드는 정기적으로 붕괴하는 재해보다 규모면에서 훨씬 더 큰 경향이 있다. 게다가, 붕괴가 발생할 경우, 그 결과는 종종 해결해야 할 일상적인 유지 관리 계약을 넘어서고 적당한 기간(몇 시간이 아니라 며칠 또는 몇 주) 동안 도로(또는 차선) 폐쇄로 이어질 수 있다.

사진 3.1: 항공사진과 LiDAR 데이터를 결합한 예



사진은 뉴질랜드 북섬의 Round the Mountain Track(Tongariro 국립공원)에 있는 Whangaehu 강 계곡을 따라 내려가는 2007년 lahar의 경로를 보여준다. 수직 정사 사진(지상의 특정 지점과 관련된 왜곡이 제거된 항공사진)으로 덮인 LiDAR 측량에서 디지털 방식으로 개선된 지도 예시이다.

새로운 도로 계획에 필요한 상세한 리스크 지도(GIS에서 선호)는 소규모(1:10,000에서 1:50,000)로 제공된다. 연구 지역의 모든 오래되고 민감한 리스크 지역을 표시한다.

상세 리스크 지도의 목적은 연구 지역 전체에 어떤 유형의 지오 해저드가 존재하는지 보여주는 것이다. 지도 작성은 연구 지역의 리스크 특성에 따라 지반 공학, 수문학 또는 수력 공학 전문가가 수행한다. 상세한 리스크 지도는 역사적 사건 정보와 잠재적인 지리 리스크를 포함하여 모든 유형의 리스크가 발생하기 쉬운 위치를 보여준다. 매핑은 대부분 등고선 지도, 항공 사진 및 위성 이미지의 해석에 의해 공식화되며, 역사적 지오 해저드 사건에 대한 가용 정보가 추가된다. 현장 정찰과 현장 탐문(지오 해저드로 인한 과거 지오 해저드 사건 및 현재 이상에 대한 데이터 수집)이 부수적으로 수행된다.

위험한 도로의 위치는 지오 해저드 리스크 관리 계획 프로세스를 초기화하기 위해 식별된다. 이 프로세스는 제 3부 나머지 부분에 요약되어 있고 표 3.1에 요약되어 있는 방법을 사용하여 지각된 지오 해저드 리스크 수준을 기반으로 수행된다. 더 높은 수준의 식별 방법을 사용하면 잠재적으로 해저드하기 쉬운 추가 위치를 식별할 수 있다. 그러나 이러한 상위 수준의 방법은 예산이 부족한 국가에서는 실용적이지 않을 수 있다. 따라서 이들 국가의 경우 일부 고도로 중요한 도로 구간을 제외하고는 기본 방법을 권장한다. 상세한 리스크 매핑(고급 방법)은 그러한 투자를 감당할 수 있는 국가에서 사용하거나 기본 방법이 추가 조사가 필요한 문제를 식별하는 영역으로 제한될 수 있다.

표 3.1: 리스크 수준별 지오 해저드가 발생하기 쉬운 도로 위치 식별 방법

예산 능력	식별된 지오 해저드 리스크	
	낮음	중간내지 높음
낮음	기본방법	
중간내지 높음	중급방법	고급방법

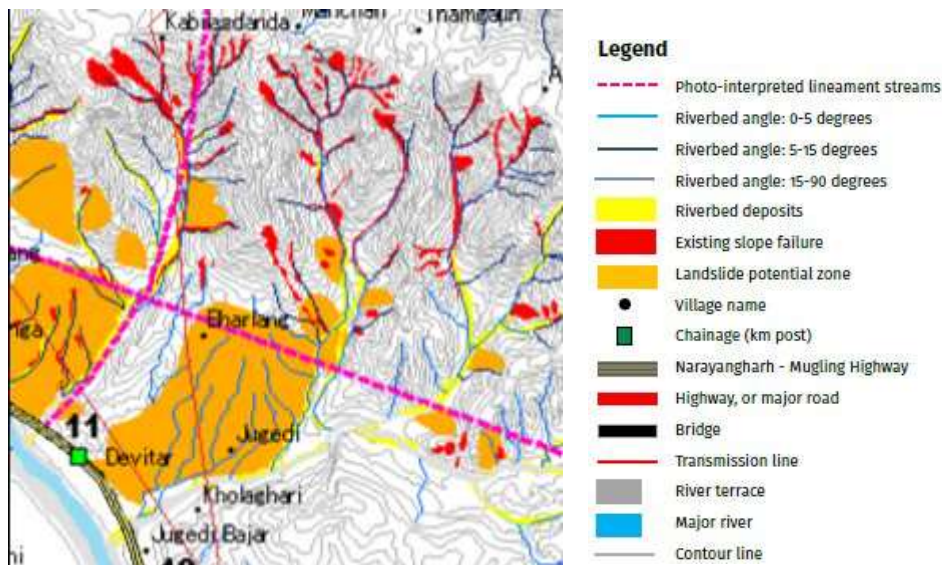
지오 해저드가 많은 도로 위치 식별은 기본에서 고급으로 갈수록 정확해 지지만 비용도 더 많이 든다. 다음 텍스트에서 각 수준별 방법에 대해 자세히 설명할 것이다.

**기본 방법 : 현장 육안 검사 및 도로 이용자 정보.** 도로정비요원은 정비경험과 현장 육안검사, 도로이용자가 제공한 정보를 바탕으로 도로 이상이나 변형을 파악한다.

**중급 방법 : 인지 조사.** 지반 공학 전문가는 과거 지반 피해 사건 데이터를 수집하고, 현장 관찰을 통해 리스크가 많은 도로 위치를 선별하고, 인벤토리 시트를 작성하여 해저드가 많은 도로 위치를 식별 조사한다. 인벤토리 시트에는 다음이 포함된다. (a) 위치 유형(예: 산비탈 미끄럼 경사, 계곡 측 경사 또는 강이나 개울을 건너는 부지) (b) 경관, 지표면 상태, 이상 또는 변형 및 기존 구조적 조치와 같은 단순 관찰 결과; 그리고 (c) 스케치 및 사진. 리스크 많은 도로 하위 섹션의 길이는 일반적으로 1-10km이고 도로 위치는 길이가 1km 미만이므로 인벤토리 시트에는 해저드가 많은 도로 위치 내에서 도로 섹션의 전략적 중요성을 설명하는 공간도 포함된다. (전략적 중요성에는 예를 들어 심각한 재난에 대한 대피 및 비상 수송 경로로 지정, 주요 항구에서 대도시 지역으로의 물류 통로로서의 중요성 또는 대체 우회 도로가 없는 인구 밀집 지역에 대한 중요성이 포함될 수 있다.)

**고급 방법 : 자세한 해저드 매핑.** 엔지니어링 지질학 전문가는 중급 방법(지오 해저드 식별 조사)과 함께 상세한 리스크 매핑을 수행한다. 등고선 분석을 통해 해저드 지역 식별을 위한 상세 리스크 지도를 작성하고, 항공사진 또는 위성영상을 이용하여 해석한다. 드론 또는 기타 기술의 LiDAR 데이터는 프로젝트 또는 도로망 수준에서 점점 더 저렴해지고 있으며 일정 기간 동안 도로망 안팎의 토지 변화를 식별하는 데 사용할 수 있는 매우 상세한 데이터 세트를 제공할 수 있다. 기존 도로에 대한 상세 해저드 맵(Map 3.1) 샘플에서 매핑 데이터는 리스크 평가의 정확성에 기여한다.

지도 3.1: 네팔의 기존 도로에 대한 상세 해저드 지도 샘플  
a. 관련 지질학적 특징을 나타내는 지도 샘플





b. 샘플 맵을 구성하는 데 사용되는 위성 이미지



출처: JICA 2009. ©일본국제협력단(JICA). JICA의 허가로 복제됨. 재사용시 추가 권한 필요.

참고: 네팔의 Narayangharh-Mugling 고속도로(JICA 2009)의 재해 리스크 관리 연구를 위해 준비된 이 지도에서 엔지니어링 지질학자 그룹은 토석류의 공급원이 퇴적된 불안정한 경사와 미끄럼을 식별했다. 매핑은 강변에서 산비탈 풍경 생태계(도로 포함)까지의 현장 정찰과 위성 이미지 해석을 통해 이루어졌다.

### 3.5.6 3단계: 지오 해저드 예비 평가

상세 평가 전 초기 평가를 수행하여 제한된 조사 및 완화 자원을 가장 잘 배치해야 하는 위치를 식별해야 한다.

초기 평가를 위해 리스크 사고가 발생할 가능성과 결과 모두에 대해 정량적 평가를 하기 보다 단순한 정성적 평가가 사용될 수 있다. 도로 당국 지침이 가능성과 결과를 정의하는 경우, 이는 또한 지오 해저드 등급의 기초로 사용되어야 한다. 지침 문서가 없는 경우 문서화된 사례 연구 및 저자 경험을 기반으로 아래 정의를 사용할 수 있다.

가능성은 다음과 같이 발생 확률("반환 기간"이라고도 함)의 관점에서 정의될 수 있다.

- 낮음: 사고 발생 사이 20년 이상
- 중간: 사고 발생 사이 5~20년
- 높음: 사고 발생 사이 간격이 5년 미만

결과는 다음과 같이 손상의 기간과 크기로 정의할 수 있다.

- **낮음:** 위급한 상황이 아닌 도로를 최대 3개월 폐쇄하거나 위험한 도로를 2일 이내로 폐쇄한다. 사고 기간이나 사후 수습 기간에 인명 손실을 초래하거나 심각한 안전 문제를 야기하지 않을 것으로 예상된다.
- **중간:** 위급한 상황이 아닌 도로를 최대 12개월 폐쇄하거나 위험한 도로를 1개월 이내로 폐쇄한다. 사고 기간에 인명 또는 기타 중요한 안전 문제에 영향을 미칠 수 있다.
- **높음:** 위급한 상황이 아닌 도로를 12개월 이상 폐쇄하거나 위험한 도로를 1개월 이상 폐쇄한다. 또는 사고 동안 인명에 상당히 부정적인 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다(예: 혼잡한 고속도로의 산사태).

분석가는 위의 지침을 적용할 때 다양한 지오 해저드 형태를 고려해야 한다. 예를 들어, 불안정한 기울기는 가능성이 낮고 결과가 높은 사건 가능성뿐만 아니라 중간 가능성, 낮은 결과 사고가 많을 수 있다. 그러한 시나리오에서는 가장 높은 리스크 등급(표 3.2)을 산출하는 조합이 채택되어야 한다. 또한 평가는 폐쇄를 고려할 필요가 있다. 갓길 상실 여부(자전거 타는 사람과 보행자에게 중요하지만 운전자에게 반드시 중요한 것은 아님); 다중 차선 도로에서 단일 차선 상실; 전체 차도의 손실; 또는 완전한 폐쇄?

식별된 지오 해저드 가능성과 결과가 평가되면 표 3.2를 사용하여 결과 "리스크 등급"을 정할 수 있다. 초기 정성적 평가의 중요성은 세부 사항에 지나치게 집착하는 것이 아니라 초기 정성적 평가의 목적, 즉 보다 상세한 평가의 최우선순위를 보장하는 리스크를 식별하는 데 중점을 둔다.

표 3.2: 기본 리스크 매트릭스

CONSEQUENCE (impact) if risk occurs	LIKELIHOOD (probability) of risk occurring		
	LOW	MEDIUM	HIGH
HIGH	Medium	High	High
MEDIUM	Low	Medium	High
LOW	Low	Low	Medium

이 초기 리스크 식별 및 평가 프로세스 결과는 평가된 가능성, 결과 및 리스크 등급과 함께 모든 지오 해저드의 위치를 보여주는 레지스터(및 관련 지도)여야 한다. 레지스터에는 또한 어떻게 평가되었는지 짧은 설명이 포함되어야 하므로 보다 자세한 평가(낮은 리스크는 향후 몇 년 동안 수행되지 않을 수 있음)를 기반으로 작업할 수 있다.

이 단계에서 도로 당국은 각 옵션의 지오 해저드에 대한 추가 조사가 필요한지 여부를 결정해야 한다. 리스크가 낮게 평가되었고 예산이 제한된 경우 추가 조사에는 자금이 투입되지 않을 수도 있다. 이러한 리스크는 특정 작업 및 유지 관리 계획에 따라 잘 처리될 수 있다. 반대로 높은 리스크는 추가 연구가 필요하거나 선호 옵션 프로세스를 선택하여 장애 요인으로 제거할 수 있다(섹션 3.7 참조).

### 3.5.7 4단계: 지오 해저드에 대한 상세한 평가

보다 상세한 평가가 필요한 리스크 경우 전문가는 일반적으로 각 지오 해저드 지역에 존재하는 실제 리스크 수준을 결정하기 위해 다양한 현장 연구와 일부 형태의 모델링을 해야 한다. (잠재적으로 실험실 테스트, 시추 굴착 로그, 모니터링 장비 설치, 토지 조사 등)

자세한 리스크 평가의 목적은 사건 확률(또는 특정 강우 사건과 같은 사건의 가능한 트리거)과 사건의 결과(예: 도로축의 외부 산사태의 흐름 경로)를 더 잘 이해하는 것이다. 이러한 요소를 더 잘 이해하면 섹션 3.5.6에서 논의한 대로 리스크 등급을 조정할 수 있다.

많은 경우, 상세한 리스크 평가를 수행하는 사람들은 또한 지오 해저드 리스크를 완화하기 위한 잠재적 옵션의 범위에 대해 동시에 조언할 수 있다. 따라서 이 세부적인 리스크 평가 단계와 3.7.1의 옵션 개발 작업 사이에는 강한 연관성이 있다.

리스크 평가는 제한된 예산으로 최대 효과를 생성하기 위해 식별된 해저드 도로 위치의 우선순위를 지정해야 한다. 아래 텍스트는 해저드 도로 위치의 리스크 평가를 위한 기본, 중급 및 고급 방법을 설명한다. 기술적인 어려움, 비용 및 평가의 정확성은 모두 방법 수준에 따라 증가한다. 예산이 네트워크 수준에서 레벨 3 방식을 적용하는 것을 허용하지 않는 경우 레벨 1 또는 레벨 2 접근 방식을 적용하여 가장 리스크 사이트를 식별해야 한다. 그러면 더 높은(레벨 2 또는 레벨 3) 방식에 초점을 맞출 수 있다.

**레벨 1:** 기본 방법. 앞서 설명한 대로(섹션 3.5.6), 수준 1은 리스크 평가에 간단한 매트릭스 접근 방식을 적용한다.

**레벨 2:** 중간 방법-리스크 도로 위치의 리스크 등급 결정 (저예산, 중규모 국가). 레벨 2 방식은 점수가 할당된 여러 하위 범주에 대한 피해 가능성과 규모를 평가하여 레벨 1 접근 방식을 기반으로 한다. 그런 다음 이러한 점수를 곱하여 다음과 같이 리스크 전체 점수를 낸다.

$$\text{리스크 수준 점수} = \text{도로 손상 가능성 점수} \times \text{도로 손상 영향 규모 점수}$$

가능성이나 규모의 점수는 등급이 지정된 항목의 각 범주에 할당된 점수의 합계일 뿐이다(표 3.3). "가능성" 등급 항목에는 지오 해저드 활동 (도로 및 노변 경사면에 경미한 손상 또는 변형의 존재 및 진행), 과거 지오 해저드 영향 및 기존 대응책과 같은 요소가 포함된다. '규모' 등급 항목에는 도로의 전략적 중요성, 교통량, 도로 폐쇄 시 우회 거리와 같은 요소가 포함된다. 상대적으로 높은 등급 점수는 지오 해저드 영향의 가능성 또는 규모를 증가시키는 범주에 할당된다.

표 3.3에 포함된 예를 참조하여 다음 사항에 유의해야 한다 :

- 예는 토지 이동형 지오 해저드 평가를 위해 설계되었다. 다른 유형의 지오 해저드(예: 홍수의 영향)의 경우, 표는 적절한 요소와 점수 범위를 통합하기 위해 적절하게 수정되어야 한다.
- 표 3.3에서 긍정적인 점수가 더 높은 요소는 미래 사건의 높은 리스크를 나타내는 것으로 간주되는 반면, 부정적인 점수는 미래 사건의 리스크를 줄이는 요소를 나타낸다. 예를 들어, 지난 10년 동안 4개 이상의 사건은 미래의 추가 사건(+6점)을 나타내는 것으로 간주되는 반면, 흙 제방을 유지하기 위한 뿌리 깊은 식물의 존재(도로 위 또는 아래)는 완화 요인으로 간주된다(-1점).
- 완화 조치의 경우 이 조치가 이전 사건을 예방하는 데 효과적이지 않다고 판단되는 경우를 제외하고 조치에 따라 둘 이상의 요소가 선택될 수 있다. 예를 들어, 초목이 육지 이동과 함께 이동했다면 그 효과는 중립적일 수 있다(0점).
- 완화 조치에 대한 점수를 부여할 때 이 조치의 유지 관리가 적절하지 않거나 효과적이지 않았다는 증거가 있는 경우 더 작은 음수 값(즉, 덜 효과적임을 나타냄)이 사용된다. (즉, 완화 조치가 구현된 이후 사고 빈도에 변화가 없음).
- 이 접근 방식의 문제는 각 등급 범주에 점수를 할당하는 것이다. 이를 위해 전문가로 구성된 기술 위원회가 참여하는 것이 좋다. 다양한 기술이 필요하다는 점에도 유의해야 한다.
- 피해 규모를 평가하기 위해 차량 우회 경로가 훨씬 더 긴 경우에도 리스크 지역을 지나는 보행자의 존재 여부를 (가능한 경우) 고려해야 한다. 도보 통행이 가능하고 포터가 폐쇄된 부분의 양쪽에 있는 임시 셔틀 버스로 물품(및 사람)을 이동할 수 있다면, "우회 거리" 또는 "우회 없음" 등급에 대한 점수는 그에 따라 감소된다. (즉, 특정 차량이 반드시 통과해야 하거나 포터가 짧은 거리로 물품을 운송할 수 없는 경우를 제외하고는 더 긴 차량 접근 시간으로 우회로를 평가하지 않고 추가 이동 시간으로 평가한다.)
- 이 예에서 6, 3 및 -1의 점수가 세 가지 가능성 요소 각각에 할당되어 전체 가능성 점수가 8이 되었다. 손상에 대해 6, 2 및 1의 점수가 할당되어 9의 점수를 산출했다. 그런 다음 이 두 값을 곱하여 전체 리스크 점수 72를 산출한다.

표 3.3: 도로 위치에 대한 지오 해저드 피해의 가능성 및 규모에 대한 샘플 등급

a. 지오 해저드로 인한 피해 가능성 평가 항목

등급 카 테 고 리	지오 해저드로 인한 손상 역사		경미한 손상 또는 변형		마지막 사고 이후 적용된 완화 조치	
	확인/설명/점수		확인/설명/점수		확인/설명/점수	
X	지오 해저드로 인해 지난 10년 동안 4번 이상 도로 폐쇄	6	도로에서 경미한 손상 이나 변형이 분명하고 분명하게 진행	6	길가 제방에 흙을 받 쳐주는 식생(생물공 학) 작업	-1
	지오 해저드로 지난 10년 동안 도로 폐쇄 가 1~3번 발생.	3	도로에서 경미한 손상 이나 변형이 약간 진 행	3	토양의 수분을 낮추기 위해 배수 작업 설치	-2
	지난 10년 동안 지오 해저드로 인한 도로 폐쇄는 없었고 교통 속도만 감소	1	경미한 손상이나 변형 은 인식되지만 도로에 서는 휴면 상태	1	구조적 조치는 도로 서비스 시간 동안 지 오 해저드를 방지하거 나 보호하도록 설계	
선택한 등급 카테고리의 점수		6		3		-1
총점: 선택된 등급 카테고리의 점수 합산		8				

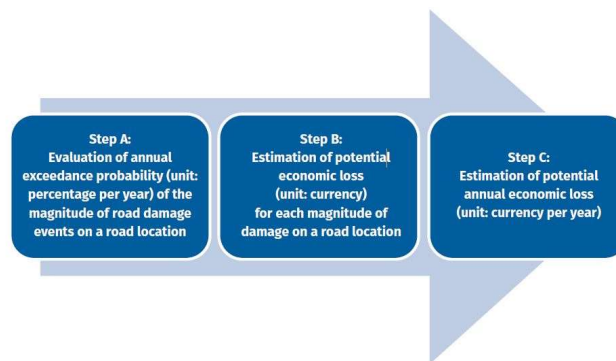
b. 지오 해저드 피해 규모에 대한 항목 평가

	도로 전략적 중요성		도로 교통량		잠재적 우회 거리			
	확인/설명/점수		확인/설명/점수		확인/설명/점수			
등급 카 테 고 리	X	전천후 도로는 재난 시 긴급 수송 또는 대피를 위해 지정	6		높은 트래픽 볼륨	3	장거리 우회(지오 해저드를 지나 여행하는 사람들의 경우 평균 총 여행 길이의 30% 이상)	9
		전천후 도로는 재난 시 긴급 수송이나 대피를 위해 지정되지 않음	3	X	적당한 트래픽 양	2	중간 거리 우회(지오 해저드를 지나 여행하는 사람들의 경우 평균 총 여행 길이의 10-30%)	3
		전천후 도로는 존재하지 않음	1		낮은 트래픽 볼륨	1	X 단거리 우회(지오 해저드를 지나 여행하는 사람들의 경우 평균 총 여행 길이의 10% 미만)	1
선택한 등급 카테고리 점수		6			2		1	
총점: 선택된 등급 카테고리 점수 합산		9						

표 3.3과 같은 표에서 사용할 관련 요인 및 점수 설정은 사례별로 개발되어야 한다. 예를 들어, 지진으로 인한 대규모 낙석과 관련된 지오 해저드가 있는 국가에서 완화 조치로 식생 또는 배수 설치의 높은 강우량 및 슬립으로 어려운 토양이 있는 지역의 동일한 완화 요인에 비해 최소화된다. 비슷하게, 손상(또는 영향)의 결정은 다음과 같은 많은 유형을 포함한다. 사회, 경제, 환경, 정치, 안전 관련, 액세스 관련 및 연결 관련. 영향 측면에서 고려하기에 충분히 중요한 요소를 결정하는 것은 리스크 평가의 일부이다. 예를 들어, 다양한 도로 정렬 옵션은 자동차를 부수거나 민감한 동식물을 멸종시키거나 중요한 농업 지역에 대한 접근을 방해하거나 정치인의 집에 대한 접근을 제한할 수 있는 제방 미끄러짐에 취약할 수 있다. 표의 값을 설정할 때 도로 당국은 각 요소의 상대적 중요성을 결정하고 해당 정보를 사용하여 선호하는 선형 또는 처리를 식별해야 한다.

**레벨 3: 고급 방법 - 리스크 추정치는 잠재적인 연간 경제적 손실로 계산된다.** 레벨 3 분석의 초점은 잠재적 리스크 사고의 스펙트럼을 평가하고 각 리스크 사건 규모에 대해 가능성(확률) 및 경제적 결과(영향)를 평가하는 것이다. 그런 다음 전체 리스크 평가 결과를 산출하는 리스크 사건 스펙트럼 합산이다. 잠재적 연간 경제적 손실은 연간 예상되는 금전적 손실로 표시되는 높은 리스크 평가 지표이며 리스크에 처한 도로 위치에 대해 우선순위를 지정할 수 있다(그림 3.1). 계산된 잠재적 연간 경제적 손실은 개념 및 설계 단계에서 비용-편익 분석을 완료할 때 리스크 완화 조치를 추정하는 데 사용할 수 있다.

그림 3.1: 도로 위치의 잠재적 경제적 손실 추정을 위한 워크플로



### 3.5.8 5단계 : 지오 해저드의 광범위한 영향 평가

지오 해저드 리스크 관리 프로세스는 지오 해저드 프로세스가 다른 전문가가 작업에 사용할 산출물(특히 환경 및 사회 보호 전문가 및 경제학자)을 생성한다. 그 자체로 전문가인 엔지니어와 수문학자가 다른 평가를 수행할 것이라고 기대하지 않는다.

선호하는 옵션을 선택하는 방식에 따라(섹션 3.7 참조), 도로 안전 담당자, 비용 전문가, 구조 설계자, 경제학자 등의 전문가들이 지오 해저드 분석 결과를 필요로 할 것이다.

## 3.6 DMDU 하에서 도로망 수준 분석 또는 의사 결정

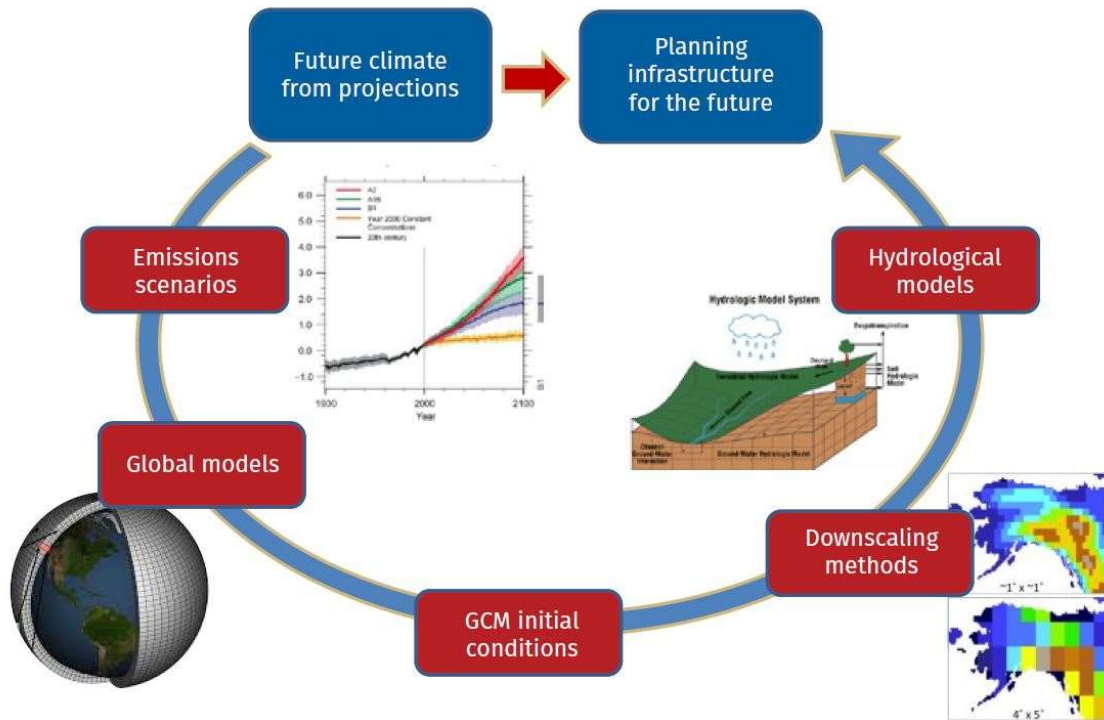
### 3.6.1 DMDU란 무엇인가?

DMDU(Decision Making Under Deep Uncertainty)는 불확실성이 높을 때 결정을 내리기 위한 분석 프레임워크를 제공하는 것으로 비교적 최근의 분석 방식이다. 이러한 결정은 의사 결정자에게 다음과 같은 어려움을 준다. 아래는 Espinet(2018)의 설명이다.

- 문제의 본질을 이해하기 어려움
- 인프라를 변화하는 기후에 적응시키기 위한 미래 표준 정의의 어려움
- 미래의 기상 현상에 대비한 최선의 전략 선택 어려움

Espinet(2018)은 계속해서 기후 영향과 관련하여 인프라 계획과 관련된 많은 불확실성을 설명한다(그림 3.2). 지오 해저드가 기후만 관련된 것은 아니지만, 지오 해저드 리스크 및 관련 의사결정의 특성은 위의 DMDU 설명과 밀접하게 일치한다. 그는 DMDU 하에서 의사 결정 프로세스가 일반적인 "예측 후 행동" 방법론(시나리오 식별, 솔루션 개발, 솔루션 민감도 테스트)에서 다양한 전략을 개발하고 각 전략의 취약점을 파악하고 마지막으로 취약점을 줄이기 위한 전략 적응을 식별한다.

그림 3.2 : 기후 영향에 관한 기반 시설 계획의 잠재적 불확실성



### 3.6.2 지오 해저드 리스크 관리에 대한 DMDU 적용

리스크 범위가 제한적인 새로운 도로 또는 상대적으로 짧은 기존 도로망의 경우 비용-편익 분석(도로 당국 비용 또는 이전 섹션 3.5.7에서 논의한 바와 같이 경제적 손실 고려 사항을 통합하는 것은 비교적 간단하고 효과적이다. 그러나 길이가 수십에서 수백 킬로미터인 더 긴 도로 구간이나 도로망의 경우 지오 해저드 리스크 평가를 위해 비용-편익 접근법을 적용하기가 훨씬 더 어렵다.



그림 3.2의 예에서와 같이 도로망 수준의 지오 해저드 리스크 관리는 설계할 미래 시나리오를 정확하게 정의하는 것을 실질적으로 불가능하게 만드는 다양한 불확실성으로 구성된다. 다양한 요인(기후, 구조, 인공 등)에는 모두 발생 확률과 사건 규모의 분포가 있다. 그런 다음 이러한 사건은 위치 및 규모 측면에서 다양한 지오 해저드를 유발할 수 있으며, 이는 도로 이용자와 인접 토지 소유자에게 영향을 분산시킨다. 이러한 미지의 범위는 DMDU 접근 방식에 이상적이다.

### 3.6.3 DMDU 방법론

DMDU 적용에는 5단계 프로세스가 있다(Espinet et al, 2018).

1. 도로 연결의 중요도 결정
2. 지오 해저드 사건에 대한 도로 연결 노출 결정
3. 지오 해저드 사건에 대한 도로 연결 취약성 결정
4. 인프라에 대한 리스크 결정 (인프라에 대한 연간 예상 피해)
5. 도로 연결 결과 우선순위 계산.

#### 3.6.3.1 1단계: 도로 연결의 중요도 결정

임계도를 결정하는 첫 번째 측면은 임계도의 척도가 무엇인지 정의해야 한다. 여기에는 다음과 같은 측면이 포함될 수 있다.

- 고속도로 개발 및 관리 버전 4(HDM-4)와 같은 분석 도구에서 계산된 총 도로 이용자 비용의 변화.
- 총 이동 킬로미터;
- 총 이동 시간;
- 가장 가까운 학교 또는 병원까지의 총 이동 시간;
- 도로 당국이 중요도를 정의하는 데 사용하려는 기타 도로망 수준 메트릭(또는 메트릭의 조합).

중요도를 결정하는 접근 방식은 먼저 모든 도로 링크가 완전히 작동한다는 가정 하에 도로망을 분석한 다음, 분석에서 연결을 하나씩 제거하고 이용자가 차선책으로 우회할 것이라고 가정하고 메트릭을 다시 계산하는 것이다. 이 분석에서 "**도로 연결**"은 분석가가 고려하고자 하는 모든 길이의 도로이다. 결정되는 중요도는 단일 도로, 도로의 하위 도로망 또는 도시 간의 주요 경로와 같은 기타 조합의 중요도일 수 있다.

각 도로 연결에 대해 "**완전히 작동하는**" 결과와 "**연결되지 않은**" 결과 간의 메트릭 차이는 영향이 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음 또는 매우 높음을 정의하는 데 사용된다. 이러한 등급의 정확한 정의는 절대 값보다 상대값에 더 가깝기 때문에 그다지 중요하지 않다. 그러나 도로 당국은 중요도에 대한 기존 정의를 갖고 있을 수 있으며 가능한 경우 이를 사용해야 한다.

임계값을 할당하기 위한 위의 분석 방법에 대한 대안으로, 미리 정의된 기준에 따라 채점 시스템이 사용될 수 있다. 이것은 소량의 시골 도로 또는 위에서 제안한 교통 모델링 기반 방식에 지출할 자금이 제한된 국가에 더 적합할 수 있다. 예를 들어, 뉴질랜드 교통국(New Zealand Transport Agency)은 통제하는 도로의 중요도 평가(AECOM 2016) 개발에 대한 연구를 완료했으며, 그 결과 다음 세 가지 요소를 통합하는 중요도 프레임워크를 채택하라는 권고가 나왔다.

- ONRC(One Network Road Classification)
- 구멍줄 유틸리티 또는 구멍줄 대피 경로 이용
- 필수 서비스 이용.

AECOM(2016)은 각 기준에 동일한 가중치를 부여하는 채점 시스템을 제안했다(표 3.4).

표 3.4: 뉴질랜드 교통청, 도로 중요 요소 제안

표준	논평 또는 근거	점수	잠재적 데이터 소스
하나의 도로망 도로 분류 (ONRC)	ONRC는 트래픽 양, 경제적 기준, 접근성, 연결성 등을 포괄하는 확립된 기능적으로 분류한다.	4 - 전국 또는 대량 3 - 지역 또는 간선 2 - 기본 또는 보조 수집기 1 - 로컬 또는 액세스	ONRC 평가
구멍줄 시설 이용 또는 구멍줄 대피 경로	지역이 자연 재해로부터 복구하려면 물, 폐수, 전력 및 통신과 같은 다양한 주요 유틸리티가 자산에 접근하여 검사 및 보수를 수행할 수 있어야 한다. 이 범주에는 대중에 대한 서비스 연속성을 유지하기 위해 액세스가 필요한 변전소와 같은 물리적 유틸리티 자산과 항구 및 공항과 같은 중요한 교통 허브에 대한 액세스가 포함된다. 여기에는 대피에 필수적인 것으로 간주되는 모든 경로도 포함된다.	다음과 같이 경로에 있는 총 유틸리티 수와 중요도를 기준으로 한다. 4. - 지역적으로 중요한 유틸리티 자산 5개 이상, 지역적으로 중요한 자산 3개 이상 또는 하나 이상의 국가적으로 중요한 자산 3 - 3~4개의 지역적으로 중요한 유틸리티 자산, 하나 이상의 지역적으로 중요한 자산 또는 필수 대피 경로 2 - 지역적으로 중요한 유틸리티 자산 1개 또는 2개 1 - 유틸리티 액세스 불가	유틸리티 자산 정보

표 3.4: 뉴질랜드 교통청, 도로 중요 요소 제안(계속)

표준	논평 또는 근거	점수	잠재적 데이터 소스
필수 서비스 이용	자연 재해 발생 시 대응 및 복구에 필요한 필수 서비스. 7가지 우선순위 영역 제안. <ul style="list-style-type: none"> <li>• 병원 및 대형 노인요양시설</li> <li>• 구급차, 소방서, 경찰, 긴급 구조 센터</li> <li>• 주요 유틸리티 제어 센터</li> <li>• 복지관</li> <li>• 주요 소매점(철물점, 건설 자원 및 슈퍼마켓)</li> <li>• 학교 및 부문 게시물</li> <li>• 주요 산업.</li> </ul>	주어진 경로에서 액세스한 모든 우선순위 서비스를 기반으로 계산된 총 "우선순위 점수"를 기반으로 합니다(자세한 내용은 메인 보고서 본문 참조). 4 - 5점 이상 3 - 3-4의 점수 2 - 1-2의 점수 1 - 1 미만의 점수	필수 서비스 자산 정보

3.6.3.2 2단계 : 도로 연결의 노출을 결정하라

다음 단계는 다양한 규모의 사건이 도로망에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 노출은 강우, 지진 또는 기타 지오 해저드 사건의 유발과 관련될 수 있다. 일반적인 분석에서는 고려 중인 각 지오 해저드 리스크 범주(예: 강우, 지진 등)에 대해 5-10개의 서로 다른 노출 수준을 고려해야 한다. 더 많은 노출 수준을 분석할수록 결과는 이후에 도로 연결의 리스크 등급을 결정할 때 더 신뢰할 수 있다.

이상적으로는 가장 낮은 노출 수준이 도로망에 거의 손상을 주지 않아야 한다. 가장 낮은 노출 수준에 대한 취약성 계산(DMDU 프로세스의 3단계)이 다르게 표시되면 그러한 시나리오가 발견될 때까지 새로운 낮은 노출 수준을 고려해야 한다. 또는 이 분석의 목적을 위해 1년에 1번의 강우와 같은 높은 노출 사고가 기반 시설에 영향 제로(낮은 취약성)를 가정할 수 있다.

예를 들어, 노출은 5년에 1회 사건에서 1,000년에 1회 사건에 이르기까지 다양한 복귀 기간 강우 사건 영향에 대해 평가할 수 있다. 각 노출 시나리오에서 각 도로 연결은 도로 건너편 표고 측면에서 측정된 이러한 사건이 특정 도로 연결에 미칠 영향에 대해 평가된다. 임계값 분석과 마찬가지로 수심은 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음 또는 매우 높은 노출 수준 범위로 그룹화된다.

3.6.3.3 3단계 : 도로 연결의 취약성 확인

각 도로 연결이 노출될 수준 범위를 식별한 후 손상을 보수하기 위해 도로 당국에 주어진 재정적 비용을 기반으로 취약성을 평가한다. 노출 분석과 마찬가지로 분석되는 각 반환 기간에 대해 취약하다. 실제 적용을 위해 도로망 전반에 걸쳐 쉽게 적용될 수 있는 다양한 노출 수준의 가능한 영향에 대한 가정이 필요할 수 있다.

예를 들어, "매우 낮은" 영향의 경우 노출 사고는 도로의 비포장 부분에 최소한의 손상만 유발한다고 가정할 수 있다. 반면 "매우 높은" 노출은 포장된 표면의 손실을 초래할 수 있다.

도로 연결을 기반으로 분석하고 도로는 도로를 따라 다른 위치에 따라 다르게 영향을 받기 때문에 취약성 평가는 각 도로 연결을 따라 발생한 취약성의 산술적 합계이다. 예를 들어, 앞서 언급한 강우량의 예를 사용하여 도로 연결의 취약성은 "매우 낮은" 충격의 도로 길이에 경미한 보수를 수행하기 위한 단위 비율을 곱한 값에 기초하여 추정이 가능하다. 또한 "낮은" 영향이 있는 도로 길이에 단위 비율 등을 곱하는 등의 작업을 수행할 수 있다.

3.6.3.4 4단계: 인프라에 대한 리스크 결정

주어진 도로 연결에 대한 리스크는 노출 수준과 취약성 비용의 조합을 기반으로 한 예상 연간 손실 (EAL)이다(Espenit et al, 2018). 이것은 사고 확률이 반환 기간의 역수인 사다리꼴 규칙을 사용하여 계산된다. 따라서 각 도로 연결에 대한 EAL의 공식은 다음과 같다.

$$EAL = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_{i+1}} \right) (D_i + D_{i+1}),$$

- 여기서 n은 분석 중인 노출 사건의 수이다.
- i는 분석된 노출 사고에 해당하는 1과 n-1 사이의 정수
- T<sub>i</sub>는 i번째 반환 기간 그리고
- D<sub>i</sub>는 T<sub>i</sub>에 해당하는 기반 시설의 손상이다.

결과 EAL을 기반으로 도로 연결 리스크는 매우 낮음, 낮음, 중간, 높음 또는 매우 높음으로 분류된다. 다시 말하지만, 이러한 범주의 정확한 정의는 도로 연결 간의 상대적 리스크 수준을 결정하는 것보다 더 가깝기 때문에 그렇게 중요하지 않다.

3.6.3.5 5단계 : 도로 연결의 우선순위 계산

마지막 단계는 중요도와 리스크 등급을 결합하여 각 도로 연결의 우선순위를 계산하는 것이다. 이것은 매트릭스를 사용하여 수행된다(표 3.5).

표 3.5 : DMDU 접근 방식에 따른 우선순위 결정

		RISK RATING				
		VERY LOW	LOW	MEDIUM	HIGH	VERY HIGH
CRITICALITY	VERY LOW	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Low
	LOW	Very Low	Low	Low	Low	Medium
	MEDIUM	Low	Low	Medium	Medium	High
	HIGH	Medium	Medium	High	High	Very High
	VERY HIGH	Medium	High	High	Very High	Very High

각 도로 연결의 우선순위가 결정되면 가장 높은 등급의 연결이 추가 세부 분석을 받게 된다. 도로 연결의 초기 정의가 비교적 긴 길이의 도로(또는 도로의 하위 도로망)인 경우, 각 도로 연결을 여러 개의 작은 연결로 분할하여 우선순위가 높은 도로 연결에서 DMDU 분석을 다시 실행하는 것이 적절할 수 있다. 그러면 후속 노력에 집중할 도로망의 가장 좋은 부분에 대한 추가 지침이 제공된다. 어떤 단계에서 DMDU 접근 방식은 섹션 3.7에서 설명한 대로 특정 위치에서 특정 솔루션을 조사해야 할 필요로 이어질 것이다.

3.7 프로젝트 수준 옵션 선택

상태가 좋지 않은 도로는 쉽게 보수할 수 있지만 위치가 좋지 않은 도로는 쉽게 수정할 수 없다. 열악한 도로에 대한 대부분 투자는 회수할 수 있지만 열악한 위치에 있는 경우 과도한 유지 관리 비용이 발생하며 도로를 포기하게 될 수도 있다. 따라서 도로 선행의 마무리에 적절한 시간과 비용 투자가 필요하다.

3.7.1 옵션 개발

도로 지오 해저드 리스크 관리는 다음과 같은 일반적 경우와 같이 때때로 부정적인 영향을 미치거나 도로 이용자 및 지역 이해 관계자에게 상쇄 영향을 미친다.

- 길가의 하천 침식은 때때로 강의 흐름의 변화로 인해 강둑 반대편의 범람 리스크를 증가시킨다. 그들은 또한 길가에 설치된 침식 방지 구조물로 인해 좁아진 하천 수로로 인한 유량을 증가시킬 수 있다.

- 예방적 도로 폐쇄는 도로 이용자의 생명을 구하는 것과 교통과 관련된 손실(우회, 대기 및 여행 취소)을 발생시키는 상충 관계에 있으며 지역에서 불편을 일으키거나 심지어 고립될 수 있다.

(a) 도로 안전과 신뢰성, 그리고 (b) 도로 안전과 신뢰성 개선 비용 사이에서 균형을 맞춰야 한다. 이러한 문제 및 기타 중요한 항목은 이해 관계자의 의견을 수용하면서 결정되어야 하며, 지오 해저드는 전체 도로 프로젝트 평가 프로세스에 대한 하나의 입력에 불과하다는 점을 인식해야 한다. 대안 경로가 리스크 지역을 통과하는 덜 신뢰할 수 있는 경로에 비해 훨씬 더 비싸거나 바람직하지 않은 경우 상대적으로 높은 지오 해저드 리스크도 충분히 수용할 수 있다.

지오 해저드 리스크 관리 정책은 1부 1.5절에 명시된 대로 도로 유형을 고려해야 한다. 기본 아이디어는 교통량이 적은 경우 도로의 지오 해저드 리스크 관리에 대한 투자 수준과 예상되는 리스크 수준 간 균형을 고려할 때 도로 지오 해저드 리스크 관리에 대한 투자가 상대적으로 낮을 수 있다. 반대로 교통량이 많은 도로 또는 주요 전략적 목적지를 제공하는 도로의 경우 리스크 완화 조치에 대한 더 높은 수준의 투자와 함께 높은 수준의 도로 회복탄력성이 필요하다. IV부에서 사진 4.4는 지오 해저드 사건에 대한 다양한 수준의 회복탄력성을 보여주는 강 횡단 솔루션을 비교한다.

전천후가 아닌 시골도로나 교통량이 적은 도로에 대한 지오 해저드 리스크 관리 접근 방식은 실용적이지만 비정상적인 기상 조건에서 일시적인 도로 폐쇄를 허용해야 한다. 한 가지 예는 홍수 동안 흩어 있는 물이 도로 차도를 지나갈 수 있도록 설계된 저비용 포드 강 횡단을 건설하는 것이다. 도로가 침수되어 홍수 중에는 사용할 수 없다. 그러나 지오 해저드의 특성이 드물고 이용자의 수가 적기 때문에 이러한 접근성 손실은 교량에 비해 상당한 건설 비용을 절감할 수 있다. 여울 설계에 대한 자세한 내용은 IV부 섹션 4.4.4에서 다룬다. 전략은 교량 건설 비용, 잠재적 연간 경제적 손실, 임시 도로 폐쇄 및 홍수 후 제거 가능한 모래 및 잔해를 고려한 유지 보수 비용의 비용 편익 분석에 의해 결정된다.

이용자에게 경고하고 인명 손실을 방지하기 위한 적절한 운영 및 유지 관리 시스템과 홍수 시스템이 필요하며 그 복잡성은 국가마다 다르다. 홍수 직후 여울에 쌓인 잔해를 치우기 위해 폭우 시 대기 기계와 직원을 배치하는 것이 중요하다.

저예산 국가의 소규모 도로에 대한 지오 해저드 리스크 관리 전략은 수년 내에 지오 해저드 피해 통제가 완료될 수 있도록 낮은 초기 투자를 고려해야 한다. 예를 들어, 산비탈 경사면은 전체 절단 대신 작은 절단 작업을 수행하고 자연 붕괴에 의해 완만한 기울기로 안정될 때까지 몇 년을 기다리는 것으로 할 수 있다.

저용량 국가의 경우 지오 해저드 식별 및 평가가 어려우며 다양한 리스크에 처한 도로 위치에 대한 과소평가로 이어질 수 있다. 잘못된 평가는 비용이 많이 드는 지오 해저드 리스크 관리를 초래할 수 있다. 구조적 조치를 위해 초기 투자를 작게 유지하는 것이 실용적인 전략이다. 새로운 도로 건설 후 몇 년 동안은 리스크에 처한 도로 위치를 육안으로 식별할 수 있으며, 더 심각한 피해가 발생하지 않도록 (균열 방지 등 설계가 필요 없는 경미한 손상 부분에 대한 작업 등) 조기 개선 조치를 적용할 수 있다.

중간 및 높은 지오 해저드 리스크 위치를 피함으로써 적절한 신규 도로 선형 계획을 수립하면 상당한 생애주기비용을 절감할 수 있으며, 비용 초과, 비용소모적 시공 지연 및 후속 유지보수 비용을 피할 수 있다(사진 3.2 참조). 지오 해저드에 대한 대체 선형 계획은 도로 양쪽에 있는 지형(즉, 도로 위와 아래의 경사)

을 고려해야 한다. 특히 경로가 평평한 지역을 통과할 때 침수 리스크에 주의해야 한다.

그림 3.3은 새로운 도로 선형을 위해 준비된 상세한 리스크 지도를 보여준다. 우선 선형(주황색 선)은 미끄럼 경사와 하천 침식에 민감한 경사를 피하기 위해 선택된다. 이 예는 많은 경우 새로운 경로를 선택하여 지오 해저드 리스크를 줄일 수 있지만 모든 리스크를 제거하는 것은 불가능하다는 것을 보여주기 때문에 의미가 있다. 이러한 상황에서 옵션 평가는 "가장 덜 나쁜" 결과를 선택하는 것이다.

그림 3.3: 신규 도로에 대한 상세 리스크 지도 샘플

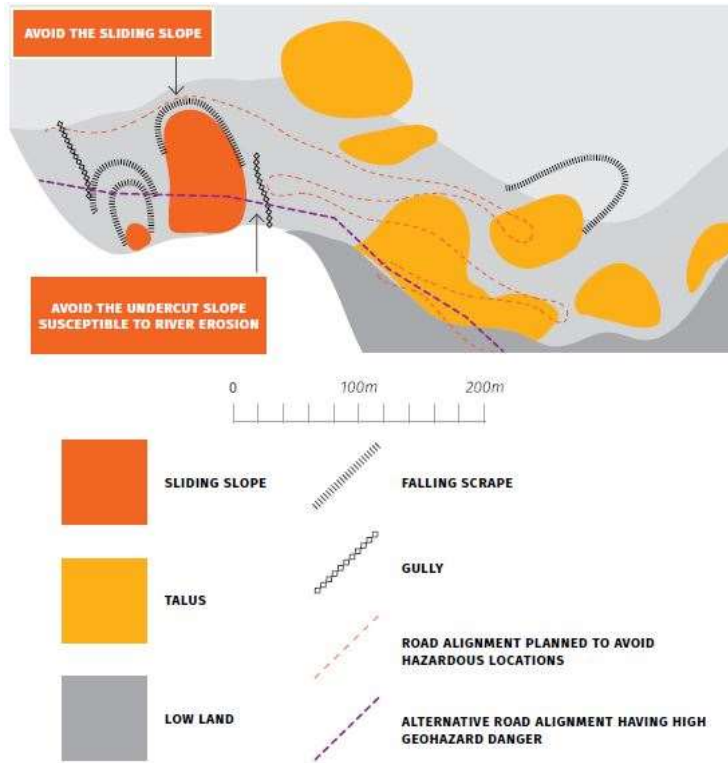
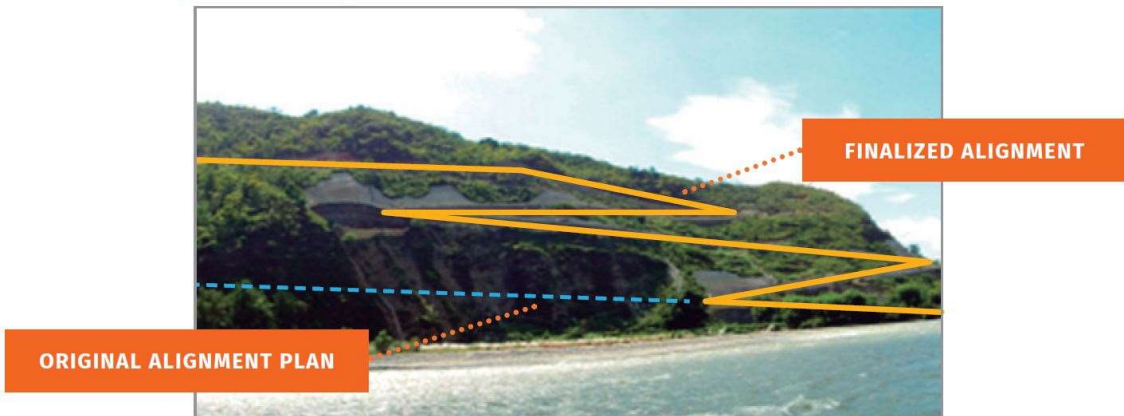


사진 3.2 : 지오 해저드를 피하는 도로 선형 계획의 예



네팔의 Sindhuli 도로 선형은 불안정한 붕괴형 지오 해저드 지역과 하천 침식에 취약한 언더컷 사면을 피하기 위해 산 위로 이동되었다. 도로의 전체 길이는 더 길지만 상당한 수명 주기 비용을 절약할 수 있다.

출처: ©도로국(DOR), 국토교통부, 네팔 정부. DOR의 허가를 받아 복제했다. 재사용을 위해 추가 권한이 필요하다.

### 3.7.2 평가 접근법

선호하는 옵션을 선택하는 첫 번째 단계는 평가 접근 방식을 정의하는 것이다. 그림 3.4는 적절한 방법론을 결정하는 방법에 대한 개요를 제공한다. 보통 기존 도로의 경우 각 옵션이 도로 이용자에게 동일한 이점을 광범위하게 제공한다는 가정 하에 수명 주기 비용 분석을 사용하여 다양한 옵션을 비교할 수 있다. 가장 낮은 비용으로 어떤 솔루션을 제공할 수 있는지에 대한 결정은 주로 기술적인 것이다.

새로운 도로 선형의 경우 일반적으로 비용(초기 건설 및 지속적인 유지 관리)과 같은 많은 비지오 해저드 요소를 포함한 여러 요소가 결정에 포함된다. 안전, 사회적 및 환경적 영향; 재산 영향; 문화적 문제; 차량 운영 비용; 등등. 이러한 시나리오의 경우 도로 당국은 종종 다중 기준 분석(MCA) 또는 유사한 기술사용으로 되돌아간다. 그런 다음 선호하는 옵션이 선택되는 기준을 결정하면 3단계 평가 프로세스를 구현할 수 있다(그림 3.5).

그림 3.4 : 옵션 선택에 대한 적절한 평가 접근 방식 결정

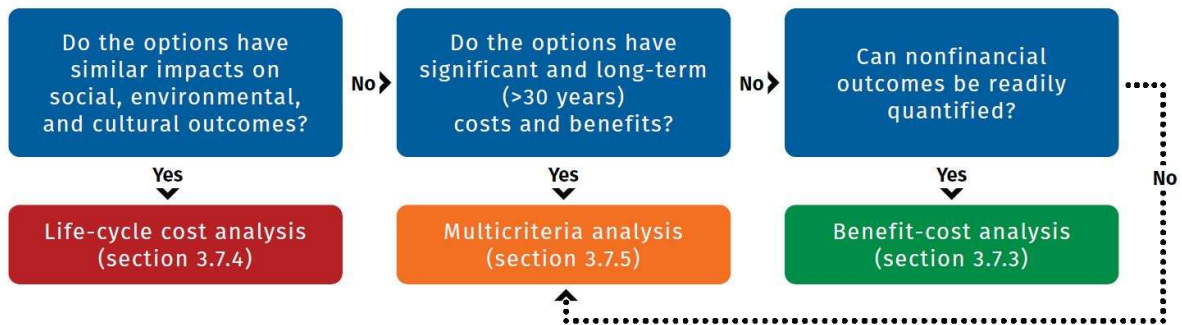
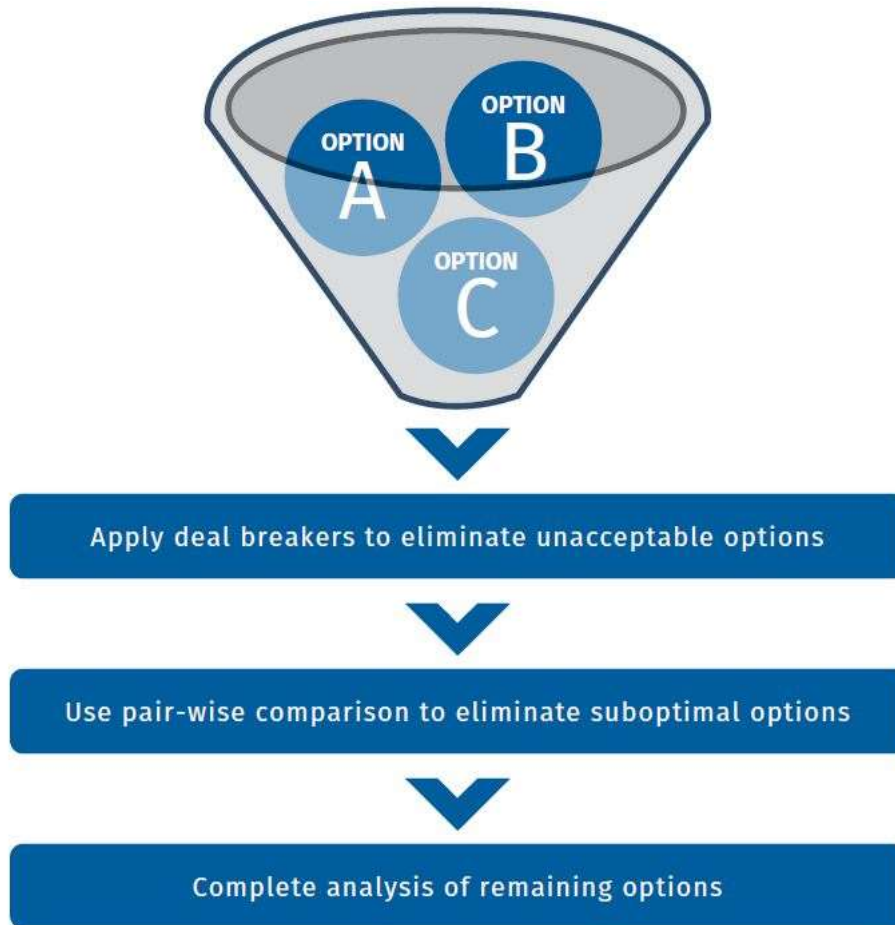




그림 3.5 : 선호 옵션 선택 프로세스



출처: NAMS 2004. ©National Asset Management(NAMS) 운영 그룹. NAMS Steering Group의 허가를 받아 복제. 재사용시 권한 필요

평가된 리스크, 비용, 이점 및 기타 요소와 함께 옵션의 초기 심사는 종종 하나 이상의 범주(종종 성사 장애요인이라고 함)에서 허용되지 않는 솔루션을 식별한다. 하천에 인접한 중간 정도의 지오 해저드 리스크를 피하는 것과 같은 한 가지 부정적인 요소를 피하면 가치 있는 농지에 도로가 위치하여 더 큰 사회적 불이익을 초래할 수 있기 때문에 여러 전문 분야의 팀이 필요하다.

성사 장애요인(deal breaker)을 적용함에 있어 한 전문가의 입장에서 바람직하지 않다는 이유만으로 옵션을 제거하지 않는 것이 중요하다. 그리고 절대적인 거래 차단기만 사용하는 것도 중요하다. 예를 들어, UNESCO(유엔 교육 과학 문화 기구) 보호 지역을 통과하는 조정은 장애요인으로 간주될 수 있다. 반면 지오 해저드 리스크가 약간 더 높은 선행은 다른 요소가 강력하게 선호하는 경우 여전히 허용될 수 있다.

일반적으로 분석은 "새로운 도로 없음"의 기존 상황을 제안된 각 선형과 비교한다. 프로젝트의 각 구성 요소에 대해 전문가가 주어진 옵션이 더 이상 고려되지 않아야 하는 이유를 정당화할 수 있도록 충분히 분석해야 한다. 이러한 허용되지 않는 옵션은 추가 고려 사항에서 제외될 수 있다. 이 거래 차단 단계에서는 비지질적 리스크 특성을 포함하여 고려중인 모든 요소에 대한 옵션을 제거할 수 있다.

두 가지 허용 가능한 옵션에 대한 후속 쌍별 비교를 통해 기존 대안이 고려하는 모든 요소에서 더 우수하기 때문에 제거 가능한 추가 옵션이 나올 수 있다. 예를 들어, 선형 A가 건설 및 유지 관리 비용이 더 저렴하고 낮은 사회적, 환경적 영향과 함께 지오 해저드 리스크가 낮지만 선형 B보다 더 나은 경제적 결과를 제공하는 경우 선형 B는 선형 여부에 관계없이 추가 분석에서 제거될 수 있다. B는 아직 정렬 C, D 및 E와 비교되었다.

그런 다음 나머지 정렬은 일반적인 국가 의사 결정 관행에 따라 개발, 협의 및 기타 옵션 평가를 받아야 한다. 그런 다음 지오 해저드 고려 사항은 전체 비용, 경로의 신뢰성(및 관련 이점), 더 광범위한 사회적, 환경적 영향의 일부로 고려된다.

### 3.7.3 편익-비용 분석(BCA)

BCA 접근 방식은 분석 기간 동안의 편익과 비용을 모두 금전적 용어로 변환하여 다음 지표를 계산할 수 있는 기능을 제공한다.

- Net present value(NPV) = 편익의 현재 가치-비용의 현재 가치
  - NPV가 \$0보다 크면 투자 가치가 있으며 양수 값이 클수록 투자 수익이 더 크다. NPV는 큰 이익이 실현될 수 있는 대규모 투자를 선호하는 경향이 있다.
- 비용 대비 편익 비율(BCR) = 편익의 현재 가치 / 비용의 현재 가치
  - BCR이 1보다 크면 투자 가치가 있다. BCR은 상당히 다른 비용의 투자를 비교하는 데 더 적합하다.
- 내부수익률(IRR) : 편익의 현재 가치가 비용의 현재 가치와 동일한 할인율이다. IRR이 높을수록 더 나은 프로젝트이다. 더 짧은 기간에 "자체적으로 수익을 낼 것"이기 때문이다.

이를 결정하려면 옵션의 더 넓은 경제적 이점을 고려해야 한다. 지오 해저드로 인한 경제적 손실 계산은 비교적 복잡하기 때문에 운영 매뉴얼 1(부록 B)에서 별도로 다룬다.

이러한 접근 방식은 도로망 수준에서 사용할 수 있지만 서로 다른 투자 옵션이 서로 다른 편익 흐름을 제공하는 개별 프로젝트 수준 분석에 더 적절하게 적용된다. 많은 지오 해저드 솔루션의 경우 혜택 흐름이 매우 유사하며 솔루션의 비용만 크게 달라지므로 아래에서 설명하는 것처럼 단순화된 생애주기 비용(LCC) 평가 비교를 사용할 수 있다.

### 3.7.4 생애주기비용(LCC) 평가

최소한 모든 옵션은 LCC 기준으로 비교되어야 한다(NAMS 2004). LCC에는 해당 연간 유지 보수비용과 함께 각 옵션의 초기 투자비용이 포함된다. LCC를 결정하기 위한 평가 기간은 일반적으로 15년에서 50년 사이의 도로 당국 내 확립된 관행과 일치해야 한다. 국가 내에서 분석 기간에 대한 지침이 제공되지 않는 경우 가장 좋은 방법은 가장 긴 수명 옵션의 기대 수명을 고려하는 것이다.

LCC 평가를 결정하려면 다음 입력 데이터가 필요하다.

- 옵션에 대한 투자비용
- 옵션에 대한 연간 유지 보수비용
- 평가 기간 내에 필요한 경우 옵션에 대한 주기적인 갱신 비용
- 비용-편익 분석을 위한 할인율.

각 옵션의 LCC는 할인된 비용의 합계이며 이 값은 옵션 비용을 비교할 때 사용된다. LCC는 다음 공식을 사용하여 계산된다(투자비용이 첫 해에 발생한다고 가정)(NAMS 2004).

$$LCC = InvCost + \sum_{n=1}^P (AMC_n + PRC_n) \times \frac{1}{(1+DR)^n}$$

여기에서 LCC는 옵션의 현재 가치(또는 할인된) 수명 주기 비용.  
 InvCost는 옵션의 초기 투자비용.  
 n은 분석 연도  
 P는 분석 기간  
 AMC는 n년의 연간 유지보수 비용  
 PRC는 n년의 정기 갱신 비용  
 DR은 소수점 이하 할인율(예: 6퍼센트 = 0.06)을 의미한다.

각 옵션에 대한 LCC를 계산한 후 이점이 대체로 유사하다는 가정 하에 LCC가 가장 낮은 옵션이 구현에 적합한 솔루션이다. LCC 접근 방식의 목적은 초기 투자비용과 지속적인 유지 관리 비용이 상당히 다를 수 있는 서로 다른 솔루션 간의 절충을 가능하게 한다.

민감도 분석은 적절한 범위 내에서 각 입력 매개변수를 변경하고 최소 비용 옵션 결정의 변경 사항을 기록하여 수행해야 한다. 각 요소가 변경된 후에도 동일한 옵션이 선호되는 경우 프로젝트는 강력한 것으로 간주된다. 민감도 분석의 영향으로 가장 비용이 적게 드는 옵션이 변경되면 변수의 민감도 테스트 범위를 낮추기 위해 추가 분석이 필요할 수 있다.

### 3.7.5 다기준 분석(MCA)

솔루션 간의 장점 또는 단점이 유사하지 않은 경우 비용 이외의 기준으로 비교해야 한다. MCA는 도로의 중요도를 정의하는 방법에 대한 결정이 수행되는 것과 거의 동일한 방식으로 다양한 이용자 정의 요소에 걸쳐 옵션의 순위가 매겨지는 비교를 가능하게 한다. (섹션 3.6.3.1 참조).

MCA를 적용할 때의 도전은 평가되는 서로 다른 요소들 간의 상대적 가중치를 결정하는 것이다 (NAMS 2004). 평가 기준이 설정되면 각 옵션은 기준과 합산된 기준의 합계(종종 가중치)에 점수가 매겨진다. LCC는 일반적으로 기준으로 포함되지만 앞서 섹션 3.7.4에서 언급한 개별 구성 요소 : 투자, 연간 유지 보수 및 정기 비용으로 분리될 수 있다.

MCA는 프로젝트 수준의 지오 해저드 리스크 평가에 자주 사용되지 않을 것이기 때문에 이 핸드북에서 더 이상 논의하지 않겠다.

## 3.8 리스크 평가 과정의 결과

도로망 수준 분석이든 프로젝트 수준 분석이든 리스크 평가 프로세스의 목적은 리스크 완화 조치의 후속 적용을 위해 해저드 도로 위치의 우선순위를 지정하는데 있다(파트 IV, V 및 VI 참조). 평가 결과는 다음과 같은 선택적 다음 단계를 위한 초기 의사 결정 프로세스에 사용된다.

- 복구 조치(크랙 봉인과 같은 설계 없이 수행된 경미한 손상 부분에 대한 작업);
- 사전 예방적 리스크 관리 조치를 위한 엔지니어링 연구;
- 정기적인 육안 검사만 가능하다. 또는
- 우선순위가 낮은 리스크의 경우 추가 조치가 없다.

## 3.9 선택된 자원

다음 주석 목록은 특히 3부에서 다루는 주제와 관련된 리소스를 제공한다.

에이컴. 2016. "도로망의 중요도를 결정하는 방법 검토." 뉴질랜드 타우랑가에 있는 AECOM New Zealand Ltd.가 뉴질랜드 교통국을 위해 작성한 보고서.

Deoja, B., M. Dhital, B. Thapa 및 A. Wagner, eds. 1991년. "산악 리스크 엔지니어링 핸드북." 네팔 카트만두: 통합 산악 개발을 위한 국제 센터(ICIMOD). 20, 22 및 23장의 지오 해저드 리스크 등급 절차를 포함하여 도로 지재해 리스크 평가 절차를 제공.

Espinet, X. 2018. "변하는 홍수 리스크 및 기타 깊은 불확실성 하에서 모잠비크의 남플라 및 잠베지아에서 도로 개입의 우선순위 지정." PowerPoint 프레젠테이션, World Bank, Washington, DC.

Espinet, X., J. Rozenberg, K. S. Rao, S. Ogita. 2018. "교통 운영의 불확실성에서 도로망 분석 및 의사 결정 사용: 변화하는 홍수 리스크 및 기타 깊은 불확실성 하에서 모잠비크의 시골 도로 프로젝트 준비 및 평가." Policy Research Working Paper 8490, World Bank, Washington, DC.

GESU-DOR(지리 환경 및 사회 단위, 물리적 계획 및 작업부, 네팔 정부). 2007. "길가의 지반 공학 문제: 해결 방법에 대한 실용 가이드." 지침 문서, GESU-DOR, 카트만두, 네팔. 도로에 대한 간단한 다 기준 위험 평가 절차 제공.

Highland, Lynn M., Peter Bobrowsky. 2008. "산사태 핸드북 - 산사태 이해를 위한 안내서." Circular 1325, U.S. Geological Survey, Reston, VA. 부록 B에서 매핑을 포함한 산사태 평가 도구 제공.

Hughes, J. F., K. Healy. 2014. "교통 인프라의 회복탄력성 측정." 연구 보고서 546, AECOM New Zealand Ltd. 보고서는 뉴질랜드 타우랑가에 있는 AECOM New Zealand Ltd.에서 뉴질랜드 교통국을 위해 준비.

NAMS(국가자산관리지원). 2009. 최적화된 의사 결정 지침. 뉴질랜드 템스: 국가 자산 관리 운영 그룹.

OAS(미주 기구). 1991년. "통합 지역 개발 계획에서 자연 재해 관리에 대한 입문서." 참조 문서, 지역 개발 및 환경부 경제 및 사회 사무국 집행 사무국, OAS, 워싱턴 DC. 위험 평가에 대한 일반적인 설명을 제공.

Winter, M. G., F. Macgregor 및 L. Shackman, eds. 2005. "스코틀랜드 도로망 산사태 연구". 에든버러: 스코틀랜드 임원. 특히 파편 흐름에 대한 자세한 위험 평가 절차를 제공.