

# 제10강 지질 및 지반 불확실성과 리스크 특성화

## - 프랑스 터널지하공간협회 리스크 평가 지침 -

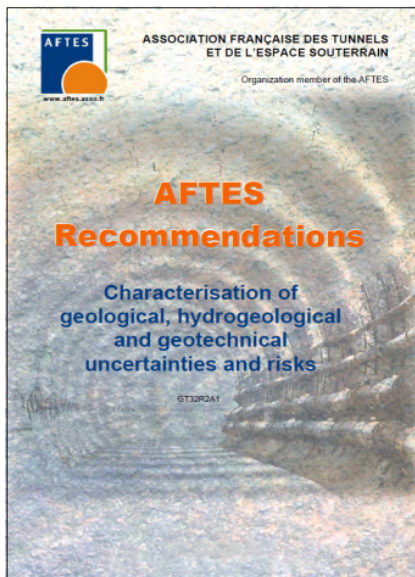
### Characterization of Geological and Geotechnical Uncertainties and Risks

## - AFTES 리스크 평가 지침 -



김영근  
(주)건화 기술연구소  
연구소장/공학박사/기술사

지하터널공사에서 지질 및 지반의 불확실성으로 인한 문제는 시공중 다양한 사고의 직접적인 원인이 되었고, 최종적으로는 공사비 증가가 공기지연으로 인해 발주자 및 시공자 모두에게 커다란 부담으로 작용하고 있다. 따라서 지하터널공사에서 지질 및 지반의 불확



**Recommendation on the characterisation of geological, hydrogeological and geotechnical uncertainties and risks**

Not submitted by Gilles-Marcel SIBON (SEA Consulting) and Jean-Pierre BRUYA, leaders of Working Group G232-2

Contributors:  
Alain ROBERT (CTIC) and Emmanuel GSA (BRM)

with additional material from:  
François ROBERT (Geoparc Consultants), Laurent BRUNO (ST), Gilbert GATIGNOL (EPF), Yves CHARRIERE (SCT), David COLLANGE (S&P), Corinne MICHAUD (Egis), Bernard GAZDAR (Egis), Thomas, Jean-Louis GAFFIER (National Geology), Patrick LACROIX (SCT), Bernard LE BISSONNAT (Formac), Mathieu MOURIN (EPT), Patrick PERON (CST), Christian PASC (Consult), Fabrice PERE (CTIC), Thierry-Alexandre SERRAULT (CTIC), Jacques TREPOD (Formac), Adrien SARTRE (Egis), Thomas, Hubert TOURNIER (Egis), Thomas, Philippe WINKLER (Consult), Christophe ROBERT (Cyrus & Sichel)

With thanks to assistance from the following members:  
Andrew BURKETT (Egis), Thomas, Roger COLLAB, Erwin de Meuse PARFITT, Jean-Louis SPANIEL (SCT), André-HUBERT (S&P), Jean-Sébastien MATHIEU (S&P), Georges SCHWENK (S&P) and Thierry VIG (Consult).

The work of AFTES on risk relating to underground space has affected members on the part of the French Committee for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique (CFMG), the French Committee for Rock Mechanics (Comité Français de Mécanique des Roches (CFMR) and the French Committee of Engineering Geology and the Environment (Comité Français de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement, CFGE). At their request, these three committees have also reviewed the recommendations and approved a number of changes. This is because while they recognise that the text has been drafted with "underground works" in mind, they also believe that it may easily be used or adapted for other types of situation for which risk relating to underground space is a preoccupation.

The French original of the following text was validated by AFTES' Technical Committee on 20/03/12.  
AFTES welcomes all suggestions relating to this text.

Summary	
<b>1 - Purpose of the Recommendation</b> ..... 216	<b>4.2 - General conduct of studies</b> ..... 329
1.1 - Review of the current situation ..... 216	4.3 - Preliminary studies phase (P1) ..... 329
1.2 - Scope of the Recommendation ..... 216	4.4 - Preliminary design phase (P2) ..... 329
1.3 - Objectives of the Recommendation ..... 216	4.5 - Project phase (P3) ..... 331
<b>2 - Terminology</b> ..... 216	4.6 - Studies with increasing confidence at each phase (P13) ..... 331
2.1 - Terminology used ..... 216	4.7 - Case of design / construction or other release assignment ..... 332
2.2 - Concepts ..... 216	<b>5 - Bibliography</b> ..... 333
<b>3 - Risk assessment methodology</b> ..... 321	<b>6 - Appendixes</b> ..... 334
3.1 - Relationship with existing texts ..... 321	6.1 - Relationship with existing texts ..... 334
3.2 - Review of Geotechnical Knowledge and Uncertainties ..... 323	6.2 - Quality of data and reliability of interpretations ..... 336
3.3 - Geotechnical risk assessment ..... 328	6.3 - Development of the geotechnical model and geological representation of uncertainties ..... 341
3.4 - Risk breakdown ..... 327	6.4 - Hydrogeological risks and uncertainties ..... 349
<b>4 - Application of risk analysis to each phase of the project</b> ..... 328	6.5 - Uncertainties and risks relating to geotechnical parameters ..... 350
4.1 - Correspondence between geotechnical engineering releases and the French Public Works governmental law (RP) ..... 328	6.6 - Summary of risk assessment ..... 351
	7 - Methods used to quantify risks ..... 353
	8 - Acronyms and abbreviations ..... 353

Characterization of geological, hydrogeological and geotechnical uncertainties and risks (AFTES, 2012)

실성을 보다 공학적으로 분석하고 정량화함으로써 리스크를 최소화하고 안전한 터널공사를 이루고자 하는 기술적 노력이 각국의 터널 협회들을 중심으로 진행되었다.

본 고에서는 프랑스 터널지하공간협회(AFTES)에서 발간한 지질 및 지반 불확실성과 리스크 특성화에 관한 권고지침을 소개하고자 하였다. 본 지침은 ISO 기준을 바탕으로 터널공사에 적용할 수 있는 리스크 관리 방법론을 중심으로 2012년에 만들어졌다.

## 1. 본 권고지침의 목적(Purpose of the recommendations)

### 1.1 현재 상황 검토(Review of the current situation)

AFTES(프랑스 터널지하공간협회)는 1990년대 후반부터 지질, 수리지질 및 지반공학적 불확실성(uncertainty)이 지하공사에 미치는 영향에 대해 상당한 관심을 가지고, 최종적으로 이를 세 개의 작업 그룹으로 설정했다.

- **GT1(임반 특성화)** 지하공사의 관점에서 임반 형성의 세미정량적 설명을 위한 방법을 확립했으며, 권고지침은 2003년에 발표
- **GT32(지반 불확실성의 방법론)** 입찰 서류(DCE)의 지질 및 지반불확실성을 고려하기 위한 방법론을 제시하였으며, 2004년에 발간된 권고지침(GT32-1)에 책 A, B, C로 발표
- **GT25(리스크의 컨트롤 및 계약화)** 공사비를 컨트롤할 수 있는 모든 사항을 검토했으며, 2007년 모든 이해관계자에게 권고지침을 제시

그러나 실제로는 지하공간과 관련된 불확실성, 예측하지 못한 상황 및 리스크의 특성화와 관련된 모든 측면에서 여전히 만족스럽지 못한 것으로 나타났다.

- 지질 횡단면에 대한 지질 및 지반 불확실성의 그래픽 표현은 불안정하거나 모호하거나 완전히 결여된 경우가 많다.
- 지반 보고서에서 불확실성에 대한 설명은 종종 불충분하다. 즉, 지반공학적 특성(분산, 위치(단층 교차), 예측할 수 없는 현상의 빈도(카르스트 공동 교차)와 관련이 있는지에 대한 설명
- 지하구조물 프로젝트의 주요 시공자는 공사 계약을 개발하고 관리하는 데 필수적인 요소인 충분한 지반공학적 역량을 갖추지 못하는 경우가 종종 있다.
- 소위 “리스크 분석” 보고서에는 이러한 불확실성을 고려하기 위한 명확한 방법론이 없다. 이는 터널 프로젝트의 공통사항으로 국제 터널보험그룹(참조 ITIG, 2006)의 경우 사실상 의무화되었다(참조 ITIG, 2006)
- 계약화에 대한 새로운 방법은 초기 시공자와의 협의를 통해 계약 당사자가 시공자에게 지하에서의 리스크의 대부분을 이전할 수 있거나 심지어는 조사 노력도 줄일 수 있다는 착각을 불러일으킬 수 있지만 사실 이것은 그렇지 않다. 즉 사전 협의의 경우에도, 철저한 지반조사에 근거한 것 외에는 심도 있는 분석과 공정한 리스크 분배를 진행할 수 없기 때문이다.

이를 바탕으로 AFTES는 2009년에 지하공사와 관련된 불확실성을 적절히 식별하고 나타내며, 이로부터 리스크를 분석하고 대처하기 위한 방법론을 확립하기 위하여 기술위원회 GT32를 재구성하였다.

## 1.2 본 권고지침의 범위(Scope of the Recommendation)

본 권고지침은 지질, 수리지질, 지반공학적 불확실성 및 리스크와 관련이 있다. 이 세 가지 용어는 터널 프로젝트에서 리스크 분석은 지구 과학과 물리 과학(지질학, 지질공학, 수리지질, 토질역학, 임반역학 등)의 만남의 지점에 놓여 있는 다양한 전문 지식을 요구해야 한다는 사실을 강조하기 위해 의도적으로 제목에 붙여졌다. 그러나 “지반공학적 리스크”는 지하공간과 관련된 모든 측면을 다루는 “지반공학”의 넓은 영어 의미로 사용되었다.

계획 또는 시공중인 지하구조물을 주변에 기존 구조물(파일, 수직구, 지하공동 및 오래된 인프라 등)에 의한 문제들은 위치, 상태 및 거동 때문에 해결하기 어려운 불확실성도 수반하기 때문에 유사한 절차가 필요하다. AFTES는 기존 구조물과 “인위적 리스크”는 지반공학적 리스크에 대해 제안된 것과 동일한 방법론을 사용하여 다룰 수 있다는 의견이다.

본 권고지침의 접근법은 주변 환경과 관련된 불확실성 및 리스크에도 적용되어야 한다. 이것은 용어는 인접 구조물 및 건물과 기초를 의미한다. 지반공학적 영향범위(Zone of Geotechnical Influence, ZGI)에 위치한 구조물은 시공예정인 구조에 영향을 미칠 수 있으며(예를 들어 균일성을 방해하거나 하중분포에 영향), 또한 기존 구조물의 침하 또는 균열, 진동 등과 같이 더 많은 영향을 미칠 수 있다. 이러한 접근방식은 AFTES 기술위원회 GT16에 의해 작성되고 있는 권고지침(“기존 구조물에 대한 침하 및 진동의 영향”)에 의해 유용하게 보완될 수 있다.

마지막으로, 본 권고지침은 계약상 리스크 관리나 공사중에 금전적으로 공유하거나 보상할 수 있는 방식에는 해당하지 않는다. 이러한 측면은 GT25(“계약화”)의 권한내에 있으며, 이러한 작업은 GT32(방법론)의 권한에 따라 진행되었다.

## 1.3 본 권고지침의 목적(Objectives of the Recommendation)

지하공사 프로젝트에 영향을 미치는 지반공학적 리스크와 불확실성은 가능한 한 빨리 객관적으로 식별하고 나타내고 평가되어야 한다. 이러한 요인의 영향을 제어하기 위해, 시공 방법과 지급 방법은 입찰 서류(DCE)에 상세히 기술되어야 하며, 공사 계약 서명 전에 양 당사자에 의해 검증되어야 한다. 목표는 모든 이해 관계자에게 사전에 지반공학적 사고에 대비하는 데 필요한 자원과 절차를 제공하도록 장려함으로써, 이러한 상황이 발생할 경우 해당 공사의 공사비 및 공기 초과에 최소한의 영향을 미칠 수 있도록 하는 것이다.

이 목표를 위해 GT32 권고지침은 주로 다음을 달성하는 것을 목표로 한다.

- 지하공간과 관련된 불확실성 및 리스크 측면에서 용어를 명시한다(2장 참조).
- 리스크를 조사하기 위한 방법론을 확립한다(3장).
- 사전 설계작업부터 입찰도서(DCE)의 준비까지 MOP법(공공 공사 조달)의 적용을 받는 정상적인 프랑스 절차에 따라, 프로젝트 과정에서 리스크 평가의 위치를 식별한다.
- 지반조사의 신뢰성 분석, 지질 단면에 대한 불확실성의 그래픽 표현 등 필요한 실무 툴을 개선하기 위한 목적으로 제안한다(참조 부록).

부록 1에서 7까지는 권고지침의 본문에서 다루지 않은 특정 사항과 관련된 사항을 통합하여 본 권고지침에 포함하였으며, 부록은 본문에 제시된 일반적인 접근 방식에 간섭되지는 미치지 않지만, 이를 적용하는 데 유용한 도구로 사용해야 한다. 부록은 다음과 같다.

- 부록 1 - 기존 문헌과 본 권고지침과의 관계
- 부록 2 - 데이터의 품질과 해석의 신뢰도
- 부록 3 - 지질 모델의 개발과 불확실성의 그래픽 표현
- 부록 4 - 수리지질 리스크 및 불확실성
- 부록 5 - 지반 매개변수와 관련된 불확실성과 리스크
- 부록 6 - 리스크 발생원의 요약
- 부록 7 - 리스크 정량화에 사용되는 방법

## 2. 용어(Terminology)

### 2.1 사용된 용어(Vocabulary used)

각 엔지니어는 불확실성, 예상치 못한 사건, 리스크 등과 같은 용어에 대한 특정한 이해를 가지고 있어, 자신의 이해력이 다른 모든 사람의 이해와 동일하다고 확신하면서 일상 언어를 바탕으로 이러한 용어들에 대해 대략적으로 의미를 부여하지만, 이는 사실과 거리가 멀고 이 부분에 대한 오해가 끊이지 않고 있다.

따라서 가능한 한 광범위하게 사용되는 매우 엄격한 참고 리스트를 채택하는 것이 필수적으로 보인다. 이러한 이유로, 국제적으로 널리 인정받고 있는 ISO 정의를 사용하기로 합의하고, 본 권고지침의 본문에서는 ISO 표준 및 가이드에 정의된 용어를 엄격하게 사용하였다.

- ISO 31000: 2009 - "Management of Risk- Principles and guidelines"
- ISO: Guide 73: 2009(E/F) - "Risk Management - Vocabulary"

**위험도** : 불확실성이 목표에 미치는 영향

- 노트 1 : 영향은 예상되는 양 및/또는 음의 편차
- 노트 5 : 불확실성은 정보의 부족 또는 부분적인 상태
- 노트 2 : 목표는 다양한 측면(예: 재무, 보건 및 안전, 환경 목표)과 다른 수준(전략, 조직 전체, 프로젝트, 제품 또는 프로세스)에서 적용가능
- 노트 3 : 리스크는 종종 잠재적인 사건 및 결과 또는 이들의 조합에 의해 특징
- 노트 4 : 리스크는 종종 사건의 결과(상황 변화 포함)와 발생 가능성의 조합으로 표현

**위험도 발생원** : 단독 또는 조합으로 리스크를 발생시킬 수 있는 고유한 잠재력을 가진 요소

**위험도 평가** : 리스크 식별 및 리스크 평가의 전반적인 프로세스

**위험도 식별** : 리스크를 발견, 인식 및 설명하는 프로세스

- 노트 1 : 리스크 식별은 리스크 발생원, 사건, 원인 및 잠재적 결과의 파악 포함
- 노트 2 : 리스크 식별은 과거 데이터, 이론적 분석, 전문가의 의견 및 이해관계자의 요구가 포함될 수 있음

**사건** : 일련의 특정한 상황의 발생 또는 변경

- 노트 1 : 사건은 하나 이상 발생할 수 있으며, 여러 가지 원인이 있을 수 있음
- 노트 2 : 사건은 일어나지 않는 것으로 구성할 수 있음

**위험도 분석** : 리스크의 특성을 파악하고 리스크 수준을 결정하는 프로세스

- 노트 1 : 리스크 분석은 리스크 평가와 리스크 처리에 대한 의사결정 근거를 제공

**위험도 수준** : 리스크 또는 리스크 조합의 크기로, 결과 및 발생가능성의 조합으로 표현

**결과** : 목표에 영향을 미치는 이벤트의 결과

- 노트 1 : 사건 발생은 결과의 범위에 이룸
- 노트 2 : 결과는 확실하거나 불확실하고, 목표에 긍정적 또는 부정적 영향을 미칠 수 있음
- 노트 3 : 결과는 정량적으로 또는 정성적으로 표현할 수 있음
- 노트 4 : 초기 결과는 연쇄반응 효과를 통해 확대될 수 있음

**가능성** : 어떤 일이 일어날 가능성

- 노트 1 : 리스크 관리용어에서 “발생가능성”라는 단어는 정의, 측정 또는 주관적으로, 질적으로 또는 정량적으로 정의되거나, 질적으로 또는 정량적으로 어떤 일이 일어날 가능성을 나타내기 위해 사용되며, 일반 용어나 수학적으로(예: 주어진 기간 동안의 확률이나 빈도) 사용하여 기술
- 노트 2 : “발생가능성”라는 용어대신 “확률(probability)”과 동등한 용어가 종종 사용. “확률”은 종종 수학 용어로 좁게 해석되므로 리스크 관리 용어에서 발생가능성은 “확률”이라는 용어와 동일한 넓은 해석을 가져야 한다는 취지로 사용

**위험도 평가** : 리스크 및/또는 리스크 크기가 허용 가능한지 또는 감내할 수준인지를 결정하기 위해 리스크 분석 결과와 리스크 기준을 비교하는 프로세스

- 노트 1 : 리스크 평가는 리스크 처리에 관한 의사결정에 도움이 됨

**위험도 기준** : 리스크의 중요성을 평가하는 기준

- 노트 1 : 리스크 기준은 조직 목표, 외부 및 내부 내용을 기반으로 함
- 노트 2 : 리스크 기준은 표준, 법률, 정책 및 기타 요구사항에서 도출할 수 있음

**리스크 처리** : 리스크를 수정하는 프로세스

- 노트 1 : 리스크 처리에는 다음이 포함
  - 리스트를 초래하는 활동을 시작/계속하지 않기로 결정함으로써 리스크를 회피
  - 리스크 발생원을 제거
  - 발생가능성을 변경
  - 결과를 변화
  - 다른 당사자와 리스크를 공유(계약 및 리스크 자금조달 포함)
  - 정보에 입각한 의사결정을 통해 리스크를 유지
- 노트 2 : 부정적인 결과를 다루는 리스크 처리는 어떤 때는 “리스크 완화”, “리스크 제거”, “리스크 예방” 및 “리스크 감소”라고 불림.

**잔류 위험도** : 리스크 처리 후에도 남아있는 리스크

- 노트 1 : 잔류 리스크는 “보유 리스크”라고도 할 수 있음

## 2.2 코멘트(Comments)

### 2.2.1 리스크 사례 : 경암반에서의 TBM터널

용어의 정의는 매우 직관적이지 않으며 익숙해지기 위해서는 어느 정도의 사용이 필요하다. 이러한 용어를 학습하는 데 도움이 되도록, 기본 용어 사용을 나타내는 간단한 리스크 예를 아래에 제시하였다.

절리가 없는 경암으로 구성된 단일 지질단위에서 TBM을 이용해 굴착하는 터널이 그 예이다. TBM설계는 부분적으로 암석의 단축 압축강도(UCS)값에 따라 달라지게 되며, 이는 암석코어시료에 대해 수행된 실험실 시험을 통해 결정된다.

중요한 리스크 발생원은 단축압축강도(UCS)값을 과소평가하는 것이다. 문제는 단축압축강도가 예상보다 훨씬 높기 때문에 커팅에 대한 저항이 예상보다 훨씬 더 어려운 구간이 여러 구간에서 발생한다는 것이다. 이와 같은 예상과 관련하여 본 사건의 결과는 주로 다음과 같다.

- 굴진속도의 저하
- 커터의 마모 및 파손이 증가하여 소모량이 증가
- 굴진 시간이 길어짐
- 과도한 커터의 소비와 긴 굴진시간으로 인해 추가 비용이 발생

이러한 결과는 단축압축강도가 높은 구간이 많고 실제 값과 예측 값의 차이가 클 때 악화된다.

리스크의 발생가능성(하나 이상의 구간에서 프로젝트에 사용된 값보다 단축압축강도 값이 더 높을 확률)은 다음과 같은 여러 요인에 따라 달라지게 된다.

- 프로젝트 구간에서의 암석코어샘플의 수와 분포
- 실시된 시험의 수(확률적 모집단)

- 지질 단위를 형성하는 암반의 균일성
- 측정값의 편차

발생가능성은 다음과 같은 경우 모두 낮아지게 된다.

- 해당 지질단위를 형성하는 암반이 매우 균일한 경우
- 많은 지반조사가 프로젝트를 따라 적절히 시행되는 경우
- 모든 보어홀에도 잘 분포된 많은 수의 실험을 수행하는 경우
- 측정값의 통계 분포가 매우 균일한 경우(가우스 곡선)

### 리스크 처리

예비 검토단계에서는 지질 특성이 개략적으로만 알려져 있고 불확실성이 매우 높기 때문에 리스크 수준이 높다. 이 단계에서 리스크 처리 대책은 정리된 지질 모델을 작성하기 위한 초기 지반조사계획으로 구성된다. 프로젝트가 완료될 때까지 검토단계에서 리스크 처리는 샘플 수와 강도 측정을 증가시켜 리스크 발생가능성을 줄이는 것을 목표로 한다.

공사 계약서를 작성할 때 리스크 처리는 다음과 같이 구성될 수 있다.

- 단축압축강도에 대한 추정과 관련된 신중한 선택: 최대 측정값, 평균값과 표준편차
- 또한, 최대 단축압축강도에 대한 추가 여유율을 고려한 신중한 TBM 설계
- TBM 굴착을 포기할 가능성

## 2.2.2 불확실성

ISO 문서에서 불확실성(uncertainty)은 “사건, 그 결과 또는 발생가능성과 관련된 정보, 이해 또는 지식이 부족한 상태”로 정의된다. 본 권고지침에서 “불확실성”이라는 용어는 위에서 정의한 불확실성의 결과, 즉 사건의 발생(수와 위치) 및 관련 지질 조건이 이 불확실성 상태에 의해 영향을 받는 사건을 지칭하는 데 사용된다.

## 2.2.3 다른 문헌과 비교

부록 1은 이전 GT32-1, AFNOR NF X 50-117, ITIG “Code of Practice”, RFF Book for Risk Control 및 ITA/AITES 가이드라인 (2004)와 같은 리스크 고려 방법을 다루는 여러 문서에 사용된 용어들의 비교를 제시한다.

부록에 제시된 용어의 표는 서로 다른 문서 간의 일관성이 상당히 양호하다는 것을 나타내지만, 때때로 다른 의미로 중요한 용어가 사용되기도 한다. 이에 따라 단일 참고문헌을 채택할 필요가 있어 “ISO 31000 용어”의 엄격한 사용을 선호하고자 본 권고지침에서 이를 선택하였다.

또한 GT32.R2F1은 ISO 31000에 의해 제안된 용어를 포함되지 않지만, 결과의 크기를 설명하기 위해 수용되는 “심각함”이라는 용어를 사용할 것을 제안하였다.



〈사진 1〉 터널링에서의 빈번한 리스크 : 막장면에서의 낙반

### 3. 리스크 관리 방법론(Risk management methodology)

#### 핵심 노트

리스크 관리 방법론을 지하구조물의 설계 프로세스와 연계하여 리스크의 이슈를 완전히 통합한 단일 설계 절차를 구성해야 한다. 모든 다양한 문제(기하구조, 지질 공학, 시공 방법, 공사비, 공기, 계획 및 계약 등)를 포함하여 이러한 설계 절차를 수행하기 위해서는 다음이 필요합니다.

- 설계 검토를 담당하는 “설계자”은 필요한 모든 기술을 갖춘 단련된 팀으로 구성되어야 한다.
- 설계 검토는 분야별 임무의 구분없이 글로벌하고 수반적이며 상호 작용적인 방식으로 수행되어야 한다.
- 설계 검토 완료시까지 반복 프로세스를 적용해야 한다.

설계자는 구조물을 굴착하는 주변 지반이 구조물 자체의 일부이며, 구조물을 시공하는 동안 추가된 구조 요소(지보, 라이닝 등)도 마찬가지로 사실을 항상 명심해야 한다. 즉, 주어진 기능적 기하구조(예: 전형적인 단면형상)의 경우, 시공 방법 및 구조물의 치수 결정은 프로젝트 기간 동안 임반의 공학적 특성과 밀접하고 직접적인 관련이 있다는 것을 의미한다.

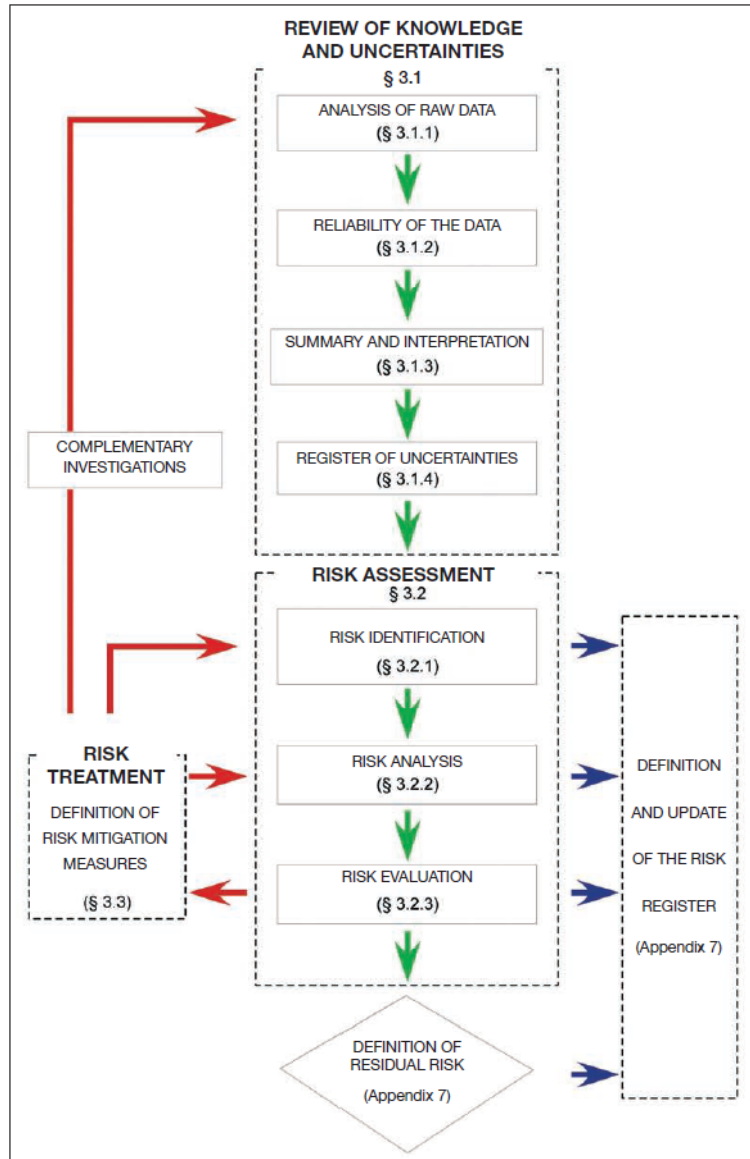
실제로 만나는 지질 조건과 관련하여 시공 방법이 적합하지 않을 경우 매우 해로운 결과를 초래할 수 있다. 이것이 터널 프로젝트를 위한 검토를 하는 동안 토목공학적 측면은 지질 측면으로부터 분리될 수 없고 결코 분리되어서는 안 되는 근본적인 이유이다. 두 측면은 반드시 예비 검토와 밀접하게 관련되어 있다.

AFTES가 적용하도록 권장하는 지반공학적 리스크 관리 방법론은 크게 세 단계로 구성된다.

- 지질, 수리지질 및 지반공학적 데이터를 다루는 지식 검토의 수행(3.1절)
- 데이터 요약을 기반으로 한 지반공학적 리스크 평가. 이 단계는 리스크 식별, 분석 및 평가의 세 단계로 구성(3.2절)
- 지반공학적 리스크 처리(3.3절)



이러한 모든 과정은 [그림 1]의 흐름도에 나타나 있다. 여기서 제시된 리스크 관리 절차는 프로젝트의 모든 단계에 적용 가능하며, 검토 프로세스 전체에 걸쳐 수행되어야 하는 반복 프로세스라는 점을 강조해야 한다.



〈그림 1〉 리스크 관리 방법론의 흐름도

### 3.1 지반공학적 지식과 불확실성 검토

지질, 수리지질, 지반공학적 지식과 불확실성에 대한 검토는 AFTES GT32-1 권고지침에 설명된 바와 같이 “요약 보고서에 지질 데이터의 표시” 단계에 해당한다고 볼 수 있다. 이 과정은 다음 4단계로 구성된다.

- 이용가능한 원데이터를 제시
- 신뢰도 평가
- 요약 및 해석
- 불확실성의 요약과 지식에서의 특별한 차이

#### 3.1.1 이용가능한 원데이터의 제시

첫 번째 단계에서는 가능한 한 완전한 목록을 작성해야 하며, 지질, 수리지질, 지반공학적 자료와 유사한 지반에서 수행된 공사와 관련된 목록을 포함하여야 한다. 또한 프로젝트를 위해 수행된 특정 지반조사의 결과는 이러한 데이터에 추가되어야 한다.

이용가능한 데이터의 특성 및 수량, 데이터의 분포, 출처 및 획득 날짜를 명확하게 명시해야 한다. 예를 들어, 부록 3에 제시된 권고 지침에 따라 작성된 노두 지도와 지질도는 고려하여야 할 원데이터의 필수적인 부분을 구성한다.

지반공학적 매개변수와 관련하여, 그리고 암반의 특성화와 관련된 AFTES GT1 권고지침을 참조하여, 이러한 원데이터는 조사에 의해 제공된 중요한 값에 해당한다(‘중요한 값’은 대표적이지 않은 값을 제거된 후 시험에 의해 측정된 값을 의미한다).

데이터를 표시하는 방법이 중요하다. 예를 들어 동일한 암중에 대한 데이터를 표시하는 데는 표와 막대 차트 형식의 표현을 선호한다. 일반적으로 각 변수에 대한 총 측정 횟수를 항상 지정해야 한다. 요약에 추가하여, 대표값이 아닌 것으로 분류된 값을 포함하여 모든 원데이터를 나타낼 수 있어야 한다.

#### 3.1.2 데이터 신뢰성

두 번째 단계는 원격 탐사이미지, 현장 조사, 시추공, 지구 물리탐사, 실험실 및 현장 테스트, 수직구 또는 시험공동의 조사, 인접 구조물의 경험 피드백 등과 같은 다양한 유형의 이용가능한 데이터의 품질에 대한 중요한 평가를 수행하는 것으로 구성된다. 이 단계는 지질, 수리지질, 지반공학적 모델을 도출하는 데 있어 이러한 데이터의 기여를 올바르게 정의하는 것이 좋다. 지식 차이의 정도, 즉 “알 수 없는 것”을 평가하는 것이 적절하다.

이 평가는 정성적, 세미정량적 또는 정량적 유형일 수 있다. 신뢰성을 평가하는 데 고려해야 할 요소중에 국지적 지질특성의 복잡성, 지반조사 작업의 특성과 물리적 분포 및 공간 밀도를 언급할 수 있다(참조 부록 3).

이 단계에서는 특정 데이터를 유지하지 않도록 선택할 수 있으며, GBR(Geotechnical Baseline Report, 지반조사 기준보고서)에서 이러한 결정에 대한 적절한 이유를 제공해야 한다.

#### 3.1.3 요약 및 해석

세 번째 단계는 지질, 수리지질 및 지반공학적 모델을 작성하는 것으로 구성되며, 이 단계에서 이용가능한 지식을 바탕으로 지질 특성과 예상되는 건설 환경에 대한 설계자의 아이디어를 보여준다. 이 모델은 지반조사가 진행됨에 따라 보다 구체적이고 상세하게

되도록 설계된다. 이 모델의 표현에는 두 종류의 문서를 만드는 작업이 포함된다.

- 설계자가 모든 데이터의 분석에 기초하여 가장 가능성이 높다고 간주하는 가설을 상세히 기술하는 보고서이다. 이 보고서에는 지질, 수리지질 및 지반공학에 대한 명확하고 상세한 장이 포함되어야 한다.
- 그래픽 문서: 지질 및 수리지질 모델, 특히 지반공학적 종단 프로파일과 더불어 필요한 만큼 많은 단면 및 필요한 경우 프로젝트의 수평 단면도 포함된다.

특히 그래픽 요소(참조 부록 3)에서 해석과 관련된 불확실성을 지적해야 한다. 지반공학적 종단 프로파일은 AFTES GT1 권고지침을 준수하여 설계, 치수화, 시공 방법 등의 다양한 용도의 관점에서 전체 길이를 따라 균일하다고 간주되는 부분 또는 지질 하위 섹션으로 구조물을 구분한다. 또한 종단 프로파일에는 다음과 같은 각 하위 섹션 내 변수의 변동성에 대한 정보도 포함되어야 한다.

- 매개변수를 분산시켜 방법의 최종화(굴착, 버력처리, 임시 지보 등)를 가능하게 함
- 다양한 지반공학적 크기에 대해 선택된 특성값(GT1에서 정의됨). 이러한 값은 고려 중인 이슈(굴착, 임시 지보, 내공변위, 침하 등)에 따라 다를 수 있다.
- 주요 매개변수가 변화하는 범위 내에서 한계

지질 불확실성이 상당히 다른 지질 모델로 이어질 가능성이 있는 경우, 가장 대조적인 가설과 일치하는 두 개의 잠정적인 종단 지질프로파일을 제안해야 하며, 불확실한 영역에서 실제 상황은 아마도 그 사이에 위치했을 것이다. 리스크 검토는 두 가지 잠정적인 종단 지질 프로파일에 대해 수행될 것이다. 필요한 경우 지질 특성을 적절히 이해하는 데 유용한 것으로 간주되는 설명 도표로 지질 종단프로파일을 보완할 수 있다.

### 3.1.4 지반공학적 불확실성의 등록부

네 번째 단계는 이전 과정 종료시 파악된 불확실성을 요약하고 “불확실성 등록부(Register of Uncertainties)”에 통합하는 것으로 구성된다. 이를 설명하기 위해 다음의 필수 목록은 이 등록부에서 특징지어질 수 있는 주요 불확실성을 설명한다.

- 지질, 수리지질 및 지반공학적 지식의 격차에 해당하는 불확실성: 이는 지식수준이 신뢰할 수 있는 모델을 제공하기에 불충분한 영역과 관련이 있다.
- 특정 사건의 위치와 관련된 불확실성, 예를 들어 지질 형성사이의 접촉대 그리고 단층, 전단대 등과 같은 단일 영역 등
- 지반공학적 조건(분포 범위, 구성 재료의 특성 등)과 관련된 불확실성으로 특정 사건과 위치에 연관(예: 다른 측면에서 특이구간으로 식별된 영역: 단층 등)
- 잘 알려지지 않은 불확실한 사건(가능성 및 개연성 있는 사건)의 발생에 관한 불확실성으로 개수, 위치, 지반공학적 조건을 알 수 없다. 예를 들어 특이 구간(단층 등), 높은 지하수 유입 지역, 석회암 공동, 석영층 등
- 지반 특성의 자연적인 분산(변동성)으로 인한 불확실성

## 3.2 지반공학적 리스크 평가

고려중인 각 리스크에 대해 리스크 평가단계에는 세 가지 단계가 포함된다.

- 리스크 식별
- 리스크 분석
- 리스크 평가

### 3.2.1 리스크 식별

ISO 31000 표준: 2009(제5.4.2조: 리스크 식별)에서 발췌한 내용은 다음과 같다.

“...이 단계의 목적은 목표 달성을 유발, 강화, 방지, 저하, 가속화 또는 지연시킬 가능성이 있는 사건을 바탕으로 종합적인 리스크 목록을 작성하는 것이다... 리스크 식별에는 연쇄 및 누적 효과를 포함하여 특정 결과에 대한 연쇄반응검사가 포함되어야 한다. 리스크의 원인이나 원인이 명확하지 않더라도 광범위한 결과도 조사해야 한다. 일어날 수 있는 일을 식별하는 동안, 잠재적인 결과의 가능한 원인과 가설을 조사해야 한다. 모든 중대한 원인과 결과를 조사해야 한다.

조직은 리스크 식별 도구와 기술을 목표와 적성, 그리고 리스크에 적합하도록 사용하여야 한다. 리스크 식별에 사용되는 모든 정보는 관련성이 있고 최신 정보여야 하며, 가능한 경우 항상 해당 문서를 백업해야 한다. 적절한 지식을 가진 사람들이 리스크 식별에 참여해야 한다.”

따라서 리스크 식별을 위해서는 불확실성을 분석하여 예상 결과에 미치는 영향을 분석해야 한다. 일반적으로 모든 불확실성은 리스크의 발생원이지만, 그 중 일부는 사실상 전혀 영향을 미치지 않을 수 있다. 한 가지 예는 지질학적으로는 구별되지만 지반공학적으로 유사한 지층과 관련된 불확실성으로, 이러한 구간은 시공 계획을 변경할 필요가 없으며 그 위치는 불확실하지만 목표 달성과는 관계가 없다.

따라서 지질 및 수리지질 모델(잠정적 지질 종단프로파일)과 관련하여 유발된 차이가 현저한 결과를 초래할 수 있을 만큼 충분히 유의미한 불확실성만을 리스크로 식별해야 한다. 이러한 변화는 프로젝트에 도움이 되는 기회가 되거나 해로운 경우가 되는 리스크가 될 수 있다.

따라서 리스크 식별단계는 열거된 불확실성 중 어떤 것이 지질/수리지질 모델 및 잠정적 지질 종단프로파일에 고려된 결과와 관련하여 상황 변화를 구성하는 사건의 발생으로 이어질 수 있는지를 확인하는 것으로 구성된다.

식별된 불확실성에 대해 다음과 같은 몇 가지 가설이 형성될 수 있다.

- 주어진 사건에 대하여 것으로 발생 횟수가 다양하거나, 위치가 다르거나 또는 그 이상 또는 그 이하의 심각한 결과를 초래
- “지질 지식의 부족”에 대한 것으로 지질 특성에 대한 다양한 구성 가설

리스크 식별에 도움이 되도록, 지반 및 환경 조건이 매우 유사하거나 매우 근접하게 시공된 지하공사에서 얻은 경험 피드백에 대한 자료조사를 실시하는 것이 매우 유용하다. 조사시 지질 모델과 잠정적 지질 종단프로파일에 대한 상세한 설명이 제공됨에 따라 경험 피드백에 대한 검토 및 분석이 수행된다. 이러한 접근방식은 더 나은 리스크 식별을 위해 효과적일 뿐만 아니라 적용 방법의 관련성을 판단하고 수행할 지반조사를 계획하는데 있어 매우 유용하다.

### 3.2.2 리스크 분석

ISO 31000 표준에서 발췌한 내용은 2009(제5.4.3조: 리스크 분석)이다.

“...리스크 분석은 리스크를 평가하고 처리 여부를 결정하는 데 필요한 데이터를 제공하며, 가장 적절한 처리 전략과 방법을 선택할 수 있도록 지원한다. 또한 리스크 분석은 선택이 필요하거나 선택이 다양한 유형과 수준의 리스크를 수반할 때 의사결정에 기여할 수 있다.

리스크 분석에는 리스크 원인과 발생원이 고려되고, 긍정적 부정적 결과 및 이러한 결과의 발생 가능성이 포함된다. 결과 및 발생가능성에 영향을 미치는 요인과 리스크의 다른 속성을 확인해야 한다. 사건은 여러 결과를 초래할 수 있으며 여러 목표에 영향을 미칠 수 있다. 기존의 리스크 컨트롤 방법은 효율성과 성능 또한 고려해야 한다.

결과 및 발생가능성이 표현되는 방식과 리스크 수준을 결정하기 위해 결과를 조합하는 방식은 리스크 유형, 이용가능한 정보 및 리스크 평가 목표에 부합해야 하며, 리스크 기준과의 일관성이 보장되어야 한다. 서로 다른 리스크와 리스크 발생원의 상호의존성을 고려하는 것도 중요하다.

리스크 수준 결정에 대한 신뢰도 및 이전 조건과 가설에 대한 민감도를 리스크 분석에서 고려해야 한다. 의사결정자 뿐만 아니라 필요한 경우 다른 이해관계자도 이것을 알아야 한다. 전문가 의견의 차이, 불확실성, 관련 정보의 이용성, 품질, 수량, 타당성 그리고 모델링의 한계와 같은 요인을 언급하거나 강조해야 한다.

리스크 분석은 리스크, 분석 목적, 이용가능한 정보, 데이터 및 출처에 따라 서로 다른 수준의 세부 정보로 수행될 수 있다. 리스크 분석은 상황에 따라 정성적, 반정량적 또는 정량적 유형일 수도 있고, 세 가지 유형의 조합일 수도 있다”

리스크 분석 단계에는 다음 세 가지 과정이 포함된다.

- 리스크로 식별된 사건에서 발생하는 결과를 정량화
- 사건 및/또는 결과의 발생가능성을 정량화
- 결과 및 발생가능성을 조합하여 리스크 수준(리스크의 중요도)을 결정

#### 3.2.2.1 사건으로부터 일어나는 결과의 정량화

리스크 평가를 계속 진행하려면 설계자는 식별된 각 사건에 대해 하나 이상의 가설을 작성해야 하며, 사건의 발생으로 인한 상황을 설명해야 한다. 이러한 상황 설명은 모든 결과를 적절하게 평가할 수 있도록 충분히 상세해야 한다. 동일한 사건의 결과는 여러 가지 목표와 각각의 목표마다에 다른 방식으로 영향을 미칠 수 있으므로 각 사건에 대해 각 목표에 대한 결과 분석이 수행되어야 한다.

사례에 따라 공사비, 공기지연, 환경, 안전, 성능, 법적 문제, 이미지 등 다양한 목표가 있을 수 있다. 실제로 지반공학적 리스크에 가장 관련성이 높은 일반 목표는 현장 안전, 공사비, 공기지연, 성능 및 환경이다. 일반적으로 결과는 발생한 사건을 처리하는 데 필요한 건설 공사에 요구되는 추가 비용 및/또는 추가 시간이라고 평가된다. 결과를 정량화는 방법의 예는 부록 7에 나타나 있다.

### 3.2.2.2 사건의 발생가능성의 정량화

다음 단계는 식별된 사건 또는 그 결과의 “발생가능성” 결정하는 것으로 구성된다. 발생가능성은 사건 및 그 결과와 관련이 있을 수 있으며, 또는 그 결과에만 관련될 수 있다.

- 첫 번째 사례의 한 예는 가능한 것으로 확인된 사건이며, 사건이 발생할 경우 발생할 수 있는 결과의 범위이다. 결과의 심각성에 따라 여러 가지 발생 가설을 예상해야 한다.
- 두 번째는 사건은 확실하지만 그 결과는 확실하지 않는 경우이다, 단층의 경우로 발생은 확실하지만 위치 및/또는 심각성은 정확히 알려져 있지 않다.

사건 자체의 발생가능성은 지식수준을 특징짓는 여러 요인에 따라 달라진다. 설계자는 다음을 분석해야 한다.

- 지반조사 작업의 수행량, 관련성(조사대상 상황에 적합한 조사방법) 및 수행품질
- 지반조사의 구조물에 대한 지리적 근접성
- 지질 특성의 복잡성

간단히 말하면, 발생가능성은 본질적으로 지질 모델의 질과 실재를 적절히 나타내고 가능한 한 실제에 근접할 수 있는 정도에 달려 있다. 다음 표는 확률의 형태로 발생가능성 대한 정성적 또는 정량적 결정을 제공한다. 발생가능성 값을 결정하는 데 사용할 수 있는 몇 가지 접근 방법이 부록 2에 설명되어 있다.

〈표 1〉 발생가능성의 정량화

Matrix Score	Likelihood Scale	Indicative Probability to be adjusted according to the project being studied
4	Possible	1/5=20%
3	Unlikely	1/20=5%
2	Highly Unlikely	1/50=2%
1	Improbable	1/200=0.5%

### 3.2.2.3 리스크 수준의 결정(리스크의 중요도)

리스크 수준은 리스크의 중요성을 평가하는 것으로 일반적으로 발생가능성과 결과를 조합하여 표현된다. 두 가지 모두 설계자가 평가한다. 발생가능성 및 결과의 조합은 상황에 따라 정성적, 반정량적, 정량적 또는 세 가지 조합일 수 있다.

리스크 수준은 각각의 목표 또는 전체 목표에 대하여 다른 목표에 미치는 결과의 영향을 합산하여 결정할 수 있다. 리스크 수준은 리스크 매트릭스(결과 및 발생 가능성)의 형태로 매우 자주 제시된다.

### 3.2.3 리스크 평가

#### a) 참고문헌

표준 ISO 31000(제5.4.3)에서 발췌한 내용은 다음과 같다.

“ 리스크 분석결과에 기초하여, 리스크 평가의 목적은 의사결정자들이 처리와 처리 시행의 우선순위를 결정해야 하는 리스크를 결정하는 데 도움을 주는 것이다. 리스크 평가는 분석 과정에서 결정된 리스크의 수준과 배경을 설정할 때 확립된 리스크 기준을 비교하는 것으로 구성된다. 이러한 비교를 바탕으로 처리 필요성을 검토할 수 있다.

어떤 경우에는 리스크 평가를 통해 보다 철저한 분석을 실시하기로 결정할 수 있다. ”

#### b) 설계자 및 프로젝트 발주자의 역할

리스크의 허용성을 평가하기 위해 사용할 기준을 설정하는 것은 프로젝트 발주자의 책임이다. 이러한 기준과 지정된 임계값은 예상 목표에 따라 다를 수 있다. 예를 들어 다음과 같은 경우가 있을 수 있다.

- 최대 비용(또는 더 많을 가능성이 매우 적을 경우) - 절대값 또는 총 추정금액의 백분율로 표시
- 최대 시간(또는 더 많을 가능성이 매우 낮음) - 절대값 또는 구조물의 인수일과 같은 마감일 또는 총 시간의 백분율로 표현.
- 허용할 수 없는 것으로 간주되는 프로젝트 이미지에 미치는 나쁜 영향(예: 허용할 수 없는 환경 영향)

동일한 리스크에 대해 리스크 기준은 각 예상 목표에 대해 모아진 결론과도 관련이 있을 수 있다.

그런 다음 설계자는 프로젝트 발주자가 표명한 리스크 기준과(발생가능성과 결과를 조합하여) 해당 리스크 수준을 비교함으로써 리스크 평가를 진행한다. 각 리스크에 대해 프로젝트 발주자는 다음과 같은 두 가지 태도를 취할 수 있다.

#### 1) 리스크를 거부하고 설계자에게 요청

- 프로젝트를 수정하여 리스크 발생원을 완전히 제거(예: 계획 노선 및/또는 종단 선형 수정).
- 리스크 수준을 보다 정확하게 판단하기 위해 발생가능성 및 결과 값의 정확한 식별을 목적으로 더 많은 조사작업을 수행

#### 2) 리스크 처리 또는 처리없이 리스크를 수용

- 첫 번째 경우, 프로젝트 발주자는 리스크의 영향을 줄이기 위해 설계자에게 리스크의 처리를 요청
- 두 번째 경우, 설계자가 추산한 공사비와 공사기간 증가 가능성을 배제하고, 프로젝트 발주자는 리스크를 감수

#### c) 리스크 매트릭스

프로젝트 발주자의 결정을 돕기 위해 설계자의 리스크 평가 보고는 리스크 매트릭스의 형태를 취하여 리스크 수준에 따른 허용성 기준을 설정할 수 있다. 다음 표에 제시된 리스크 매트릭스는 리스크 평가를 설명하기 위한 목적으로만 제공된다. 이 예제에서는 네 가지 리스크 수준을 발생가능성 측면에서 정의하고 결과를 곱한다.

각 프로젝트와 프로젝트 발주자는 각자의 리스크 매트릭스를 가지고 있다. 그 사용성은 의사 결정의 도움에만 관련되기 때문이다. 또한 중앙 위치를 피하기 위해서는 짝수 수 발생가능성 범주와 결과 범주를 추천한다.

<표 2> 리스크 매트릭스의 예

Risk Matrix 리스크 매트릭스					
Likelihood 발생가능성	발생할 수 있음 Possible	4	8	12	16
	발생할 것 같지 않음 Unlikely	3	6	9	12
	매우 일어날 것 같지 않음 Highly Unlikely	2	4	6	8
	일어날 가능성 거의 없음 Improbable	1	2	3	4
		경미 Slight	보통 Medium	중대 Significant	높음 High
Consequences 결과					

<표 3> 리스크 수준의 정의와 정량화의 설명 예

리스크 수준 RN Index	리스크 수준에 대한 프로젝트에 따라 수정되는 조치사항 Indicative qualification of the level of risk to be adjusted according to each project	
NR<2	무시 / 사소한 리스크 Negligible / minor risk	조치가 필요하지 않으며, 리스크 요인은 절차를 통해 특정 모니터링을 실시하여야 함
2<NR<5	중요한 리스크(허용 가능한) Significant risk (but in principle acceptable)	공사 시작 가능. 리스크 요인은 절차를 통해 특정 모니터링을 실시하여야 하며, 프로젝트는 시공중에 조절을 받을 수 있는 일련의 사전 정의된 조치로 보완될 수 있음
5<NR<10	심각한 리스크(모니터링 필요) Major risk(to be monitored)	리스크를 줄이거나 제거할 때까지 공사를 시작할 수 없으며, 프로젝트를 크게 변경하지 않고도 해결이 가능함
NR>10	허용 불가능한 리스크 Unacceptable risk	리스크를 줄이거나 제거할 때까지 공사를 시작할 수 없음 리스크를 제어할 수 없는 경우 프로젝트가 포기되거나 변경될 수 있음

각 리스크는 개별적으로 허용 가능한 것으로 간주되지만, 여러 리스크의 존재가 전체적으로 허용 불가능한 것으로 간주되는 리스크 수준으로 이어질 수 있다는 점을 강조해야 한다. 또한 리스크 매트릭스는 의사결정에 도움이 되는 하나의 요소이기 때문에 각 사례를 재평가하여 확인하거나 그에 따른 리스크 수준의 분류에 대해 확인해야 한다.



### 3.3 리스크 처리

#### 3.3.1 참고 자료

ISO 표준 31000에서 발췌한 내용 : 2009(제5.5절 : 리스크 처리)은 다음과 같다.

##### 5.5.1 개요

리스크 처리는 리스크를 수정하기위한 하나 이상의 옵션의 선택과 실현을 의미한다. 일단 실현되면, 리스크 처리는 리스크 제어 리소스를 생성하거나 수정한다. 리스크 처리는 반복적인 프로세스를 의미한다.

- 리스크 처리를 평가
- 잔류 리스크 수준이 허용 가능한지 여부를 결정
- 수용할 수 없는 없는 경우에 새로운 리스크 처리를 생성
- 리스크 처리의 효과를 평가

리스크 처리옵션은 반드시 상호 배타적이지 않으며 모든 상황에 적합한 것은 아니다. 이러한 옵션에는 다음이 포함될 수 있다.

- 리스크의 거부 : 리스크와 관련된 활동을 개시하거나 추진하지 않기로 한 결정에 의한
- 기회를 추구하기 위해 리스크를 감수하거나 증가
- 리스크 발생원을 제거
- 발생가능성을 변경
- 결과를 변경
- 다른 당사자와의 리스크를 공유(계약 및 자금지원을 포함)
- 합리적인 선택을 바탕으로 리스크를 유지

##### 5.5.2 리스크 처리 옵션의 선택

가장 적절한 리스크 처리 옵션의 선택은 법적 의무와 규제 의무 그리고 사회적 대응의 타당성 및 자연 환경보호와 같은 기타 요건을 고려하여 얻은 이익과 관련하여 실현 비용과 노력을 비교하는 것을 포함한다. 또한 경제적 관점에서 리스크 처리를 정당화할 수 없는 리스크도 고려해야 한다(예, 발생가능성이 낮지만 매우 높은 부정적인 결과를 가져올 수 있는 어떤 심각한 리스크).

#### 3.3.2 리스크 처리 조치

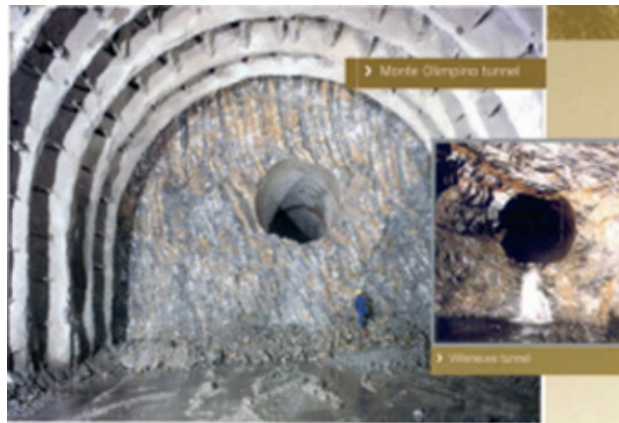
리스크 처리는 리스크의 중요성을 줄이거나 리스크를 완전히 제거하는 것을 목표로 합니다. 가능한 조치에는 다음이 포함될 수 있다.

- 리스크 발생원 제거, 특정조사를 수행하여 불확실성을 국지적으로 제거
- 발생가능성 변경, 지질 모델을 더욱 명확히 할 수 있도록 추가조사 실시
- 완료상황에 대한 사건의 결과 감소, 예방적 기술 조치 실시 또는 시공방법 변경
- 사건 발생을 위한 조기 감지방법 및 보완 기술조치의 실시

이러한 조치를 적용한 후, 각 리스크에 대한 새로운 평가가 수행된다. 처리 조치에도 불구하고 리스크를 수용할 수 없는 상태로 유지하면 새로운 “리스크 처리” 프로세스가 시작된다. 설계단계 동안 대부분의 처리 작업은 불확실성의 감소 또는 공정 자체를 조정하기 위한 조사로 이루어지며, 이러한 불확실성의 결과에 대해 가능한 견고하게 만들려는 목적으로 이루어진다. 리스크 처리는 공사 단계에서 예상 조치(진행 중 조사) 및 사전 정의된 구체적인 시공 절차의 형태를 취한다.

전체 리스크 관리 프로세스의 추적성을 확보하기 위해서는, 부록 7의 프레임워크를 제한하는 「리스크 등록부」를 책정하는 것이 적당하다. 이 등록부는 리스크 감소 측면에서 실시된 모든 처리 조치와 진행 중인 검토 단계에서 결정된 조치 및 후속 설계단계에서 실현될 조치의 종합적인 목록을 제공해야 한다.

서로 다른 프로젝트 단계에서 설정된 리스크 등록부의 연속 버전은 리스크 분석의 변경에 대한 추적성을 보장하기 위해 프로젝트 발주자에 의해 유지되어야 한다.



〈사진 2〉 조사 갤러리는 거의 모든 지질학적 불확실성을 제거

참고문헌

**AFTES Recommendations**

1. AFTES (2003) – GT1 recommendations: Caractérisation des massifs rocheux utile à l’étude et à la réalisation des ouvrages souterrains. Revue Tunnels & OS, no. 177, pp. 138–186.
2. AFTES (2004) – GT32–1 recommendations: Prise en compte des risques géotechniques dans les DCE. Revue Tunnels & OS, no. 185, pp. 316–327.
3. AFTES (2007) – GT25 recommendations: Comment maîtriser les coûts de son projet. Revue Tunnels & OS, no. 201, pp. 128–168.

**Standards, regulatory texts and other recommendations**

4. MOP law – Amended law 85–704 of 12 July 1985 relating to public sector contracting and its relationship with private project management.

5. Swiss standards:
  - SIA 197 – Tunnel projects; general basis
  - SIA 199 – Study of surrounding rock formations for underground works
  - SIA 118/198 – General conditions for underground constructions
6. AFNOR – Documentary fascicle no. FD X 50–117 (April 2003): “Management de projet – Gestion du risque”
7. ITA/AITES, Working Group No. 2 (2004) – Guidelines for Tunneling Risk Management – Tunneling & Underground Space Technology, No. 19, p. 217–237
8. AFNOR standard no. NFP 94–500 (Dec. 2006) – Geotechnical engineering A missions, classification and specifications.
9. ITIG (2006) – Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works. Recommendations of the International Tunneling Insurance Group, English and French versions published in Tunnels & OS, no. 214, Nov. 2009, pp. 188–224.
10. ISO 31000 standard: 2009 (F) – Management du risque; principes et lignes directrices
11. ISO standard Guideline 73: 2009 (E / F) – Risk management; vocabulary [12] Ministry of Ecology – Fascicle 69 (Travaux en souterrain) of CCTG–Travaux – New version (introducing the principle of a Risk Management Plan). To be published in 2012.

#### Other publications

13. Piraud, J. (1996) – Vers une meilleure maîtrise de l’incertitude propre aux coupes géologiques prévisionnelles, AFTES study days, Chambéry, pp. 245–250. Editions Spécifique.
14. Lombardi G. (2002) – Les risques géotechniques dans l’évaluation financière des tunnels non urbains, Revue Tunnels & Ouvrages souterrains, no. 173, pp. 321–325.
15. Bianchi, G.W, Perello P, Venturini G., Dematteis A. (2009) – Determination of reliability in geological forecasting for tunnel projects: the method of the R-index and its application on two case studies, Proc. ITA–AITES World Tunnel Congress, Budapest, pp. 23–28.
16. Bieth, E., Gaillard C., Rival F., Robert, A. (2009) – Geological Risk: a methodological approach and its application to 65 km of tunnels under the French Alps – AITES/ITA World Tunnel Congress, Budapest.
17. Robert, J. (2009) – L’accompagnement géotechnique indispensable pour la réussite d’un projet – 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Alexandria, vol. 3, pp. 2711–2714.
18. Gaillard C., Humbert E., Rival F., Robert A., (2011) Le management des risques géotechniques est-il toujours pertinent? – AFTES International congress, Lyon – 17–19 October 2011.

## ■ 제10강을 마치면서

이상으로 프랑스터널지하공간협회(AFTES)에서 제시한 “지질 및 지반공학적 불확실성과 리스크 특성화”에 대한 권고지침을 살펴본 것이다. 본 권고지침은 국제 리스크 관리기준을 기본으로 하여 프랑스에 적용하기 위하여 관련 내용을 수정 보완한 리스트 관리 지침이라고 할 수 있다.

본 권고지침에서는 불확실성과 리스크에 대한 다양한 사례와 자료를 부록으로 담아 리스크 평가에 익숙하지 않은 터널기술자들에게 실무적으로 참고가 되도록 하였다. 특히 본 권고지침과의 기존의 다른 기준이나 지침과의 상관성을 설명하고, 지반조사 자료에 대한 품질과 해석의 신뢰도 문제, 지질 모델의 개발과 불확실성의 그래픽 표현방법, 수리지질 리스크 및 불확실성 그리고 지반 매개변수와 관련된 불확실성과 리스크에 대하여 상세히 설명함으로써 지질 및 지반의 불확실성을 어떻게 특성화하며 정량화하는지를 보여 주었다. 또한 리스크 발생원과 리스크 정량화에 사용되는 방법을 기술하여 리스크의 분석방법을 자세히 기술함으로써 리스크의 특성

화 및 정량화에 대하여 이해를 돕고자 하였다.

지하터널공사에서 지질 및 지반의 공학적 특성을 알고자 하는 노력이 충분히 요구되지만, 이를 시공전에 완전히 파악하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 터널공사는 시공중에 이러한 불확실성을 포함하기 때문에 많은 리스크가 분명히 존재하는 것은 사실이다. 현대 터널공사시스템은 이러한 리스크를 어떻게 프로젝트 전 단계에 걸쳐 공학적으로 다룰 것인가 하는 것으로, 터널공사의 이해당사자인 발주자와 시공자를 포함한 제3자에 대한 이해의 통로서 사용하기위하여 보다 객관적이고 공학적인 평가방법을 적용하고 관리하도록 하고 있다. 이것이 바로 터널공사의 리스크 관리방법론의 핵심이며, 현재 선진국에서는 이를 법과 제도로써 규정하고 이를 준수하도록 하고 있다.

제10강을 포함한 이전의 강좌에서 살펴본 바와 같이 현재 세계 각국에서는 각국의 건설관련법과 기준 및 지침을 바탕으로 ISO 표준 및 ITA 지침 등을 참고로 하여 자국만의 터널 리스크 평가 및 관리방법을 만들어 이를 터널현장에 의무적으로 적용하고 운영하고 있음을 확인할 수 있다.

이제는 우리도, 우리학회도, 우리나라도 우리만의 기준과 지침을 만들어야 할 때가 되었다고 생각한다. 각국의 기준과 지침을 공부하고 분석하면서 터널기술관련 협회/학회를 중심으로 터널기술관련 기준과 지침이 지속적으로 만들어지고 공유된다는 점에서 참으로 배워야 할 본받아야 할 점이라고 생각한다. 우리학회를 중심으로 기술중심의 기술서비스를 국가와 사회 그리고 회원들에게 제공해줌으로 터널기술의 전문가 리딩그룹으로의 책임과 역할을 해야 한다고 굳게 믿으면서 제 10강을 마칩니다.

[본 기사는 저자 개인의 의견이며 한국터널지하공간학회의 공식입장과는 무관합니다.]