

# 석회암 공동발달유형에 따른 터널지보패턴의 표준화에 대한 연구

## Standardization of tunnel supporting system in karst formation

김상환\*<sup>1</sup>

Kim, Sang-Hwan

### Abstract

In karst formation area, the tunnel support system is an important factor for the tunnel safety during operation. It is also not easy to determine the tunnel supporting system in the design stage. Therefore, it is necessary to standardize the tunnel supporting system in uncertain ground condition. This paper presents the standardization of the tunnel supporting systems to be adopt in karst formation. For the tunnel planned in the project area, karst features and the expected scenarios in the tunnel area were developed based on the results of the geological and geotechnical assessment. In order to provide specific supporting system and construction details for a wide range of possible karst features, the generalized typical support systems are developed according to the classification of karst features. In addition, the initial support systems and construction sequence for each karst feature are also presented in this paper.

**Keywords:** Tunnel support system, classification of karst features

### 요 지

일반적으로 석회암 공동발달지역의 터널지보는 터널의 안정성을 좌우하는 매우 중요한 요소중에 하나이다. 이를 위하여 설계단계에서 석회암 공동발달지역과 같은 불확실성 지반조건에서 터널의 지보패턴에 대하여서는 용이하게 결정 할 수 없을 것이다. 따라서 석회암 공동발달지역에서의 일반적으로 제시할 수 있는 터널지보패턴에 대한 표준화가 요구되어진다. 이 논문은 석회암공동발달지역에서의 터널지보패턴의 표준화기법에 대한 연구 결과를 제시하였다. 이 연구는 국내의 석회암 공동발달지역의 불확실한 지반조건에서의 터널지보 System에 대한 간편화 기법에 대하여 기술하였다. 특히, 석회암공동발달지역에 대한 지반의 등급화기법 뿐만 아니라 이에 따른 터널지보패턴 간편화 기법에 대하여서도 제시하였다. 또한, 석회암 공동지반등급과 지보패턴별 요구되는 보강 및 보조공법에 대하여서도 상세 서술하였다. 이 연구를 수행하기 위하여 석회암 공동이 발달되어 있는 OO지역에 계획되었던 터널에 대하여 실질적으로 설계과정을 통하여 지보패턴의 형식선정기법의 적용에 대한 연구를 실시하였다. 이 연구 결과를 통하여 향후 석회암 공동발달지역 뿐만 아니라 이와 유사지반에서의 터널지보 설계에 적용 하므로써 터널기술향상을 도모할 것이다.

**주요어:** 터널지보시스템, 카르스트분류법

\*1 정희원, 호서대학교 기계건축토목공학부 토목전공교수 (kimsh@office.hoseo.ac.kr)

## 1. 서론

일반적으로 석회암 공동발달지역의 터널에 있어서 표준지보패턴의 결정은 설계상에서 매우 어려운 작업이라는 것은 이미 알고 있는 사실이다. 이는 일반 지반조건보다는 석회암 공동발달지역내 공동의 분포상태, 크기, 및 형상등이 지역적으로 다르고 불확실하여 지역별로 터널의 지보패턴을 선정하는데 어려움이 따르기 때문이다. 이러한 경우 터널지보패턴의 설계는 일반적인 방법으로는 해결하기보다는 새로운기법을 이용한 간편 지보패턴 선정기법이 요구되어 진다.

이에 따라, 이 연구는 국내의 석회암 공동발달지역의 불확실한 지반조건에서의 터널지보 System에 대한 간편화 기법에 대하여 기술하였다. 특히, 석회암공동발달지역에 대한 지반의 등급화기법 뿐만 아니라 이에 따른 터널지보패턴 간편화 기법에 대하여서도 제시하였다. 또한, 석회암 공동지반등급과 지보패턴별 요구되는 보강 및 보조공법에 대하여서도 상세 서술하였다.

이 연구를 수행하기 위하여 석회암 공동이 발달되어 있는 OO지역에 계획되었던 터널에 대하여 실질적으로 설계과정을 통하여 지보패턴의 형식선정기법의 적용에 대한 연구를 실시하였다. 이 연구 결과를 통하여 향후 석회암 공동발달지역 뿐만 아니라 이와 유사지반에서의 터널지보 설계에 적용하므로써 터널기술향상을 도모할 것이다.

연구 지역은 국내 석회암 공동발달지역으로 널리 알려진 OO지역으로 그림 1에서 보여주는 것과 같이 총 연장 4km로 계획된 철도이설공사의 노선 상에 계획된 11개의 터널들 중에 공동발달이 심한 지역에 계획된 OO터널로

서 연장 약 1150m인 노선 상 가장 긴 터널을 대상으로 수행하였다.

## 2. 지질 및 지반 평가

본 연구 대상지역은 전반적으로 백악기 화강암질 (Cretaceous Granitic) 지역으로 오르도비스기 석회암 (Ordovician Limestones)과 백운암 (Dolomites) 등이 발달되어 있는 지역이다. 특히 이 지역은 지질 구조적으로 단층대가 발달되어 있으며, 이 지역에 분포되어 있는 화강암의 경우는 상당히 풍화되어 있으며, 연구 대상터널 지역의 경우 석회암과 백운암이 단층대를 경계로 주로 발달되어 있다. 이 OO단층의 동쪽방향으로는 백운암이 발달 분포되어 있다. 또한 이 지역은 지표면과 시추공 그리고 물리탐사 등의 자료 등을 통하여서도 이 지역이 석회암 분포지역의 전형적인 카르스트지역임을 알 수 있다.

이 지역에 분포되어 있는 암종별 광물성분분석 결과를 요약 정리하면 표 1과 같다.

대상지역을 광역적으로 인접지역에 노출되어 있는 암반의 노두 (Outcrops)에 대한 Scan line 및 Window mapping 등을 통하여 이 지역의 불연속면에 대한 분석을 실시하였다. 분석결과에 따라 지역적으로 분포되어

표 1. 광물성분분석

암종류	CaO (%)	MgO (%)	CO <sub>2</sub> (%)
Limestone	47.3	2.5	50.2
Dolomite	30.1	20.5	49.4

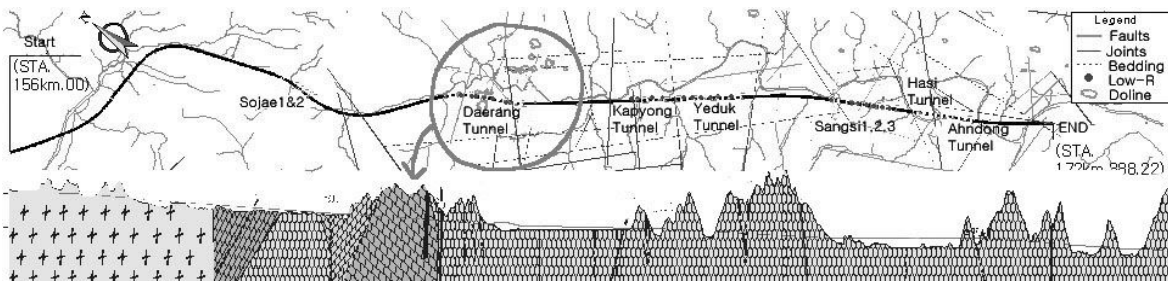


그림 1. 평면노선계획 및 지층단면

있는 불연속면들의 특성에 따라 6개의 군으로 분류하여 지역적인 지질학적 특성을 파악하였다. 이 결과에 의하면, 대상지역의 터널의 경우, 터널건설에 있어 매우 불리한 불연속면의 특성을 보이는 지역임을 알 수 있었다. 이 지역의 Joint Set에 대한 주향은 NW-SE (분류 상 3 또는 4군)로 발달되어 있으며, 터널 노선상 매우 불리한 조건으로 나타났다. 이러한 경우에는 터널굴진 공사 시 터널의 Crown 및 Side wall부분에 상당한 여굴이 발생될 것으로 예측할 수 있다. 또한 심한 과쇄대 및 낮은 상재토피 구간들에 대하여서는 특별한 지보형식 적용만이 이러한 문제점을 해결 할 수 있다.

수리지질학적인 측면에서 이 지역내의 석회암 분포지역은 조사시 조사심도 즉, 터널 계획저면고 심도 까지도 지하수위는 형성되어 있지 않았으나, 백운암 지역의 경우 동쪽방향지역은 계획된 터널의 Crown상부 10m위에 지하수가 분포되어 있는 것으로 조사되었다. 또한, 기록된 자료에 의하면 2001년 봄에는 터널 양 갱구부에서 지표면으로부터 3에서 4m 밑에 지하수위가 분포되어 있었던 것으로 조사되었다. 따라서, 이지역의 경우 지하수위는 계절적으로 많은 영향을 받는다고 예측할 수 있다.

### 3. 카르스트 형태 특성 및 시나리오

카르스트 지형은 노출된 암석 표면, 토사에 접해 있는

암석 경계부 그리고 암석내부 등에서 암석이 용해되어 형성되는 것이 일반적이다. 이와 같은 용해는 매우 선택적으로 발생되며, 대부분의 절리면에서 Fissures, Sinkhole 및 Caves 등의 형태로 공동을 생성시킨다. 이와 같은 공동은 강하고 풍화되지 않은 암석을 제외하고 공기, 물 또는 토사 등으로 채워져 있으며, 특히 석회암지역에서 지반조건에 따라 생성 형태가 매우 서로 다르게 형성된다. 일반적으로 카르스트지역은 얇은 토피 및 노두, 그리고 함수비가 낮은 계곡, Sinkholes, Caves, 지하배수 등의 특징을 보이는 석회암지역에 발달되어있다. 이상과 같은 생성과정을 통해 형성된 대표적인 카르스트지형을 모식도로 나타내면 그림 2와 같다.

#### 3.1 카르스트 형태 예측 및 조사기법 개발

일반적으로 시추조사자료와 지역적 과거기록들은 Sinkhole (Dolines)과 Caves의 위치를 규명하는데 유용한 자료로 활용된다. 암중 경계면 및 단층지역에는 돌리네 (Doline)와 공동 (Cave)들이 집중적으로 분포되어 있을 가능성이 높다. 석회암 내부에 발달되어 있는 공동 (Cave)을 예측하는 것은 매우 어려운 일이며, 지표면을 통하여서는 통상적으로 불가능하다고 말할 수 있다. 이들 공동의 입구는 대부분 토피로 덮여 있거나 작은 불규칙적인 균열틈으로부터 시작되어 지표면에서 그 상태를 추정하기는 매우 힘들다.

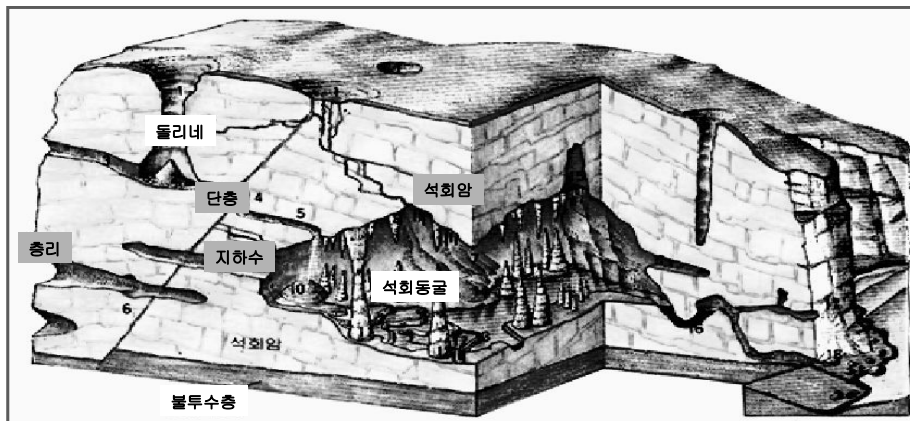


그림 2. 카르스트지형에 대한 모식도

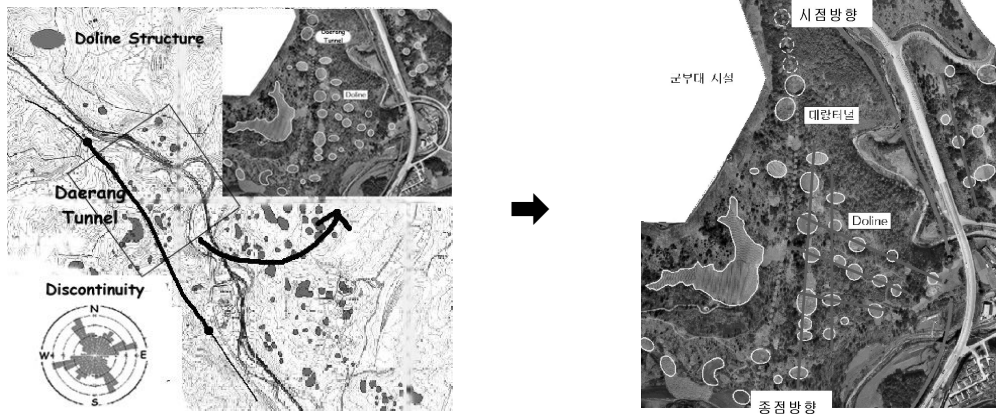


그림 3. 터널지역 지표면에서 조사된 카르스트 지형

그림 3에서 보여주는 것과 같이 본 연구 대상지역의 경우 Doline 또는 Sinkhole들의 규모는 최소 30m에서부터 최대 100m의 지름으로 구성되어 있다.

그림에서 보여주고 있는 Doline 또는 Sinkhole들은 모두 입구부가 토사 등으로 덮여 있는 상태로 조사 되었으며, 주로 석회암 분포구역에 발달되어 있다. 이 그림에서 보여주는 결과와 같이 본 연구대상지역에 대하여서는 카르스트에 대한 시나리오의 예측이 요구하며, 이에 따른 새로운 터널지보패턴의 체계적인 선정방법이 제시되어야 할 것이다.

### 3.2 카르스트 형태에 대한 조사자료 평가방법

카르스트 형태는 불연속면상의 경미한 용해작용으로 형성된 것부터 넓게 용해작용이 발생된 것, 그리고 0.5m 이하 폭으로 발달되어 있는 Tube 및 Slot, 또한 점토로 채워져 있는 2.0m이하의 폭으로 발달되어 있는 소규모의 Cave등의 형태로 구분 할 수 있다. 본 대상지역에서는 계획터널 노선 직상부에 비교적 규모가 큰 2개이상의 돌리네 (Doline)들이 발달되어 있는 것으로 조사되었다. 이러한 돌리네들은 물리탐사를 통하여 터널 저면 위치까지 발달되어 있다는 것을 간접적으로 예측할 수는 있었다. 결과적으로 시추조사, 3차원 전기비저항, 수질분석 결과로부터 대상지역은 카르스트 공동 존재가능성이 매우 높은 지역이라는 것을 알 수 있다.

### 3.3 카르스트 Type 분류기준 설정

상기 언급내용을 근거로 본 석회암지역에 가능한 카르스트 형태에 대하여 예측하였다. 비록 백운암지역의 경우 지표면에 카르스트에 대한 형태가 나타나지는 않았지만 단층 및 파쇄대 지역에는 분포되어 있을 가능성은 배제할 수 없다. 일반적으로 지표지질조사시 비록 지하수위를 발견하지 못하였다고 하여도 터널공사 시에는 Cave내가 비어 있는지, 부분적으로 물이 채워져 있는지 지하수가 어떻게 존재하는 할 것이지 규명이 필요하다. 이는 계절적으로 또는 강우량, 해빙량 등에 따라 그 양상은 서로 다를 것으로 예측된다. 이상과 같이 카르스트형태의 크기와 모양의 복잡성 때문에 정확한 카르스트의 형태예측은 불가능하다고 말 할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 이와 같은 불확실성에 대한 체계적인 자료분석을 통하여 추정 가능한 특별 지보패턴과 이에 따른 보강 및 보조공법에 대하여 제시하였다. 이를 위하여 우선적으로 카르스트지반에서 예측 가능한 공동시나리오에 대한 추정 분석이 요구되어 진다. 카르스트형태의 분류에 있어서 적용되어진 기본적인 기준을 요약 정리하면 표 2와 같다.

터널구조물과 연계하여 공동의 존재하는 위치별로 카르스트 Type에 대하여 요약 정리하면 표 3과 같다.

본 연구에서는 터널 단면과 연계하여 공동발달형태에 따라 그림 4와 같이 6가지로 카르스트지형을 세분화하여 복잡한 카르스트 형태를 구분하는데 적용하였다.

여기서 카르스트 Type의 분류는 기존자료 및 대상지역의 지반조건을 근거로 예측 가능한 공동발달형태들을 분석하여 터널공사 시 굴착이나 구조물에 경미한 영향을

주는 경우를 제외하고 대표적으로 형태만을 제시한 것이다. 따라서 향후 타 지역에 적용 시에는 해당지역에서 조사된 카르스트 형태를 추가로 분석하여 그림 4에서 제

표 2. 카르스트 공동 구분

카르스트공동	정의	
Caves	폭 0.5m 이상	
Tubes	폭 0.5m 이하 (Open)	
Karstic Slot	폭 0.5m 이하 (불연속면의 Karstic 용해, 2차원적 발달)	
Karstic Solution	5cm 이하, Joint 와 Bedding plane에서의 초기용해	

표 3. 카르스트 Type

Karst Types	내용
KT1	공동이 터널 Crown에 존재하는 경우
KT2	공동이 터널 Side Wall에 존재하는 경우
KT3	공동이 터널 Invert에 존재하는 경우
KT4	Enlarged Joints, Tubes, Slots (절리면을 따라 용해)
KT5	공동이 터널보다 큰규모의 경우
KT6	붕괴되어 입구가 박힌 Doline 또는 Cave

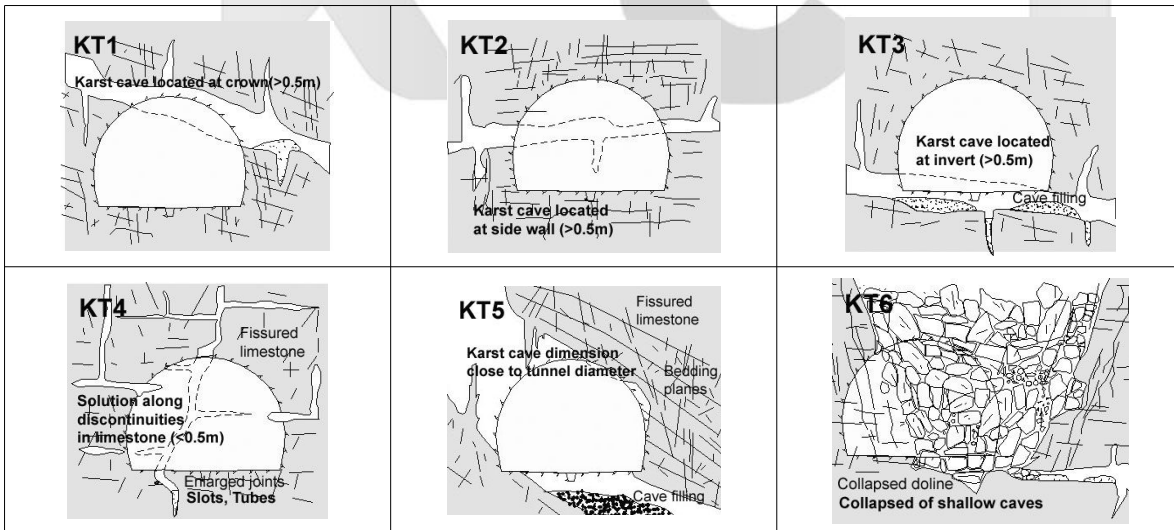


그림 4. 카르스트 Type 분류

시된 분류형태의 수정 및 추가가 필요하다.

쇄대 발달상황 등을 검토 분석하여 선정되어진 것이다.

### 3.4 구간별 카르스트지형의 세분화 및 적용

상기 언급내용을 근거로 본 석회암지역에 가능한 카르스트지역에 대하여 평가하고, 그 결과에 따라 카르스트 Type의 적용기법에 대한 사례를 요약 정리하면 그림 5와 같다.

그림 5에 제시된 적용사례는 우선적으로 본 지역과 관련하여 조사된 지반자료의 분석을 통하여 크게 4개의 구역으로 구분하고 구역별로 해당되는 예상 카르스트 Type을 선정하여 적용한 것이다. 카르스트 Type의 예상은 그림 5에서 제시된 지반조건과 같이 구역별로 발달되어 있는 지반에 대한 암석종류, 주 절리에 대한 Orientation, 단층과 파

## 4. 터널 지보패턴 표준화 기법 개발

### 4.1 카르스트 분류 기법

카르스트 형태의 위치, 크기, 종류 및 형상과 관련하여 앞장에서는 광역적으로 서로 다른 여러 카르스트형태에 대한 시나리오들을 간단하고 예측 가능한 형태로 분류하는 기법에 대하여 제시되었다. 이와 같이 카르스트를 분류하는 목적은 해당된 카르스트 Type에 가능한 터널 지보의 종류를 사전에 규정하기 위함이다. 또한 각 지보 형식들은 표준지보패턴에 추가적으로 적용되는 것이다.

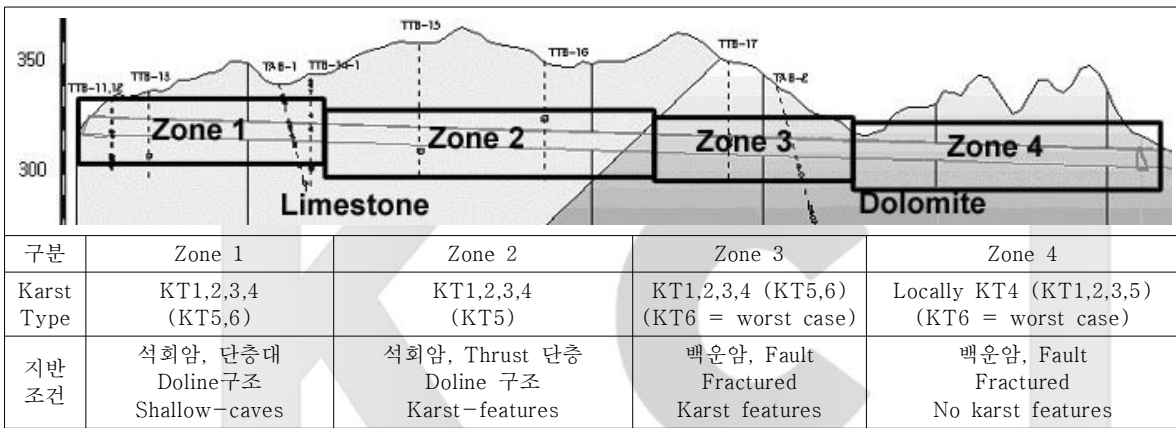


그림 5. 구역별 카르스트 Type 적용

표 4. 카르스트 형태의 세부분류법

형상	공 동(CAVES)			확장절리 (ENLARGED JOINTS/SLOTS/TUBES)					돌 리 네 (COLLAPSED DOLINE)			피 나 울 (PINNACLE)																						
	경미함			심각함			없음	경미함		심각함		심각함																						
지하수 유입																																		
위 치	천단	측벽	인버트	천단	측벽	인버트	천단 / 측벽	인버트	천단 / 측벽	인버트	천단	천단 / 측벽	천단 / 측벽	인버트																				
제 음	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N																
지보형식	1	2	3	4	5	5	6	2	7	8	9	9	10	11	12	13	14	11	12	13	15	16	12	17	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19
카르스트 TYPE	TYPE 5						TYPE 1,2,3,4						TYPE 6			TYPE 7																		

표 5. 지보 System에 대한 추가세부항목

Nr. SUPPORT CATEGORY	카르스트 TYPE 5 공동(CAVES)									카르스트 TYPE 1,2,3,4 확장절리 (ENLARGED JOINTS/SLOTS/TUBES)							카르스트 TYPE 6 돌리네 (COLLAPSED DOLINE)					카르스트 TYPE 7 피나클 (PINNACLE)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	11	12	13	15	16	12	17	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19
1 래티스거더	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2 휘폴링, 래깅(LAGGING)	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4 스틸밴드	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5 와이어 메쉬	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6 록볼트	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7 숏크리트	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8 구조용 콘크리트	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9 채움 콘크리트	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10 자갈채움	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
11 시멘트 그라우트	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
12 주입그라우트	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
13 파이프 루프	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
14 폼필러(FOAM FILLER)	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
15 배수관	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
16 FEELER HOLES	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
17 RELIEF HOLES	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
18 분할굴착	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
19 SCAFFOLDING	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
20 PROPS	■	■	■	■	■	■	■	■	■													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

따라서 본 연구에서 제시한 카르스트 분류는 암반분류와 직접적으로 연계되는 것은 아니지만, 지보형식과 관련된 내용으로 터널 설계시 적용되는 것이다. 따라서 각 지보 형식들에 대하여서는 실질적으로는 설계 시 카르스트 분류에 해당되는 기본지보패턴을 적용하는 것을 원칙으로 하고 시공 시 지반조건에 따라 구체적인 시공방법을 규정하여 보강 및 보조공법이 병행되도록 하는 개념의 설계 간편화 기법이라고 말할 수 있다. 이상과 같은 언급 내용에 따라 카르스트 형태에 대한 세부 분류 기법에 대한 도표를 제시하면 표 4와 같다.

상기 카르스트 형태에 대한 분류에 따라 추가적으로 요구되는 지보 System에 대한 추가세부 항목을 요약 정리하며 표 5와 같다.

상기 카르스트 분류기법과 추가적으로 요구되는 세부 항목을 근거로 상세 지보 System과 관련된 지보재에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

### 4.2 지보설계기법 및 기준

카르스트지형에 있어서는 터널의 영구라이닝에 부가되는 수압에 대한 방수 및 배수 System과 저토피구간의

문제점등에 대한 터널 안정성과 연계된 문제점에 대하여서는 설계시 철저한 검토 및 분석이 수행되어야 한다. 특히 카르스트지형에서의 터널설계에 있어서는 영구라이닝 설치전 1차지보에 대하여서는 터널의 장기적인 안정성을 좌우하는 매우 중요한 공종이다. 따라서 불확실성과 복잡한 지반조건을 보이는 카르스트지형에서는 1차지보에 대한 설계기법 및 기준을 사전에 설정하여 보수 및 보강대책이 수립될 수 있도록 보강개념에 대한 계획이 수립되어야 할 것이다. 본 연구에서는 카르스트 형태 분류법에 의하여 분류된 카르스트 형태 (Karst Type)별 1차 표준지보 System과 이에 대한 보강개념에 대하여 기법화 기법의 개발연구이다. 그림 6은 Karst Type에 따른 표준지보형식 및 보강패턴도를 나타낸 것이다.

표 6에 제시된 Karst Type별 표준지보형식과 이에 대한 보강개념도는 실질적으로 카르스트지형에 있어서도 제한되어 적용되어야 할 것이다. Slots 또는 Fissures와 같은 경미한 카르스트 공동의 경우에는 공동을 채운 후 국부적으로 지보를 보강하는 것이 경제적이라고 말할 수 있다.

그림 7은 상기 표준 지보형식 이외에 카르스트지역내의 단층 또는 파쇄대구간, 특히 붕괴된 돌리네 (Doline)

그림 6. Karst Type별 표준지보형식 및 보강패턴도

Karst Type (지보등급)	보강개념도	특기사항
<p>KT 1 (등급 I) (공동이 천단을 지나는 경우)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공동벽면 : 숏크리트와 록볼트 설치</li> <li>• Karst Slot : 숏크리트로 막고, 배수관 설치하여 수압 영향 제거</li> <li>• 공동 교차 터널 라이닝부 : 철제거푸집 설치 후 라이닝 타설</li> <li>• 터널천단-공동바닥 사이의 굴곡부 : 채움관 설치하여 콘크리트 뒷채움</li> </ul>
<p>KT 2 (등급 II) (공동이 측벽을 지나는 경우)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 측벽부 공동의 폭이 작은 경우 : 숏크리트 플러그로 충전</li> <li>• 측벽부의 공동의 폭이 큰 경우 : 철제거푸집 활용 → 숏크리트 타설이 가능하도록 함</li> <li>• 터널 주변 하향 Karst Slot : 뒷채움 실시</li> </ul>
<p>KT 3 (등급 III) (공동이 바닥을 지나는 경우)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공동 바닥과 터널 바닥과의 사이에 뒷채움 실시 → 터널의 지지층 확보</li> <li>• 뒷채움재 하부에 배수 유공관 설치 : 공동내부를 흐르는 지하수 배수</li> <li>• 공동 교차 터널 라이닝부 : 철제거푸집 설치 후 라이닝 타설</li> </ul>
<p>KT 4 (등급 IV) (다수의 확장절리지역 통과시)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널단면 교차 확장절리 : 모두 숏크리트를 활용하여 막음</li> <li>• Karst Slot : 전체를 숏크리트로 반드시 충전</li> </ul>
<p>KT 5 (등급 V) (공동의 규모가 큰 경우)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공동벽면 : 숏크리트와 록볼트 설치</li> <li>• 기초슬래브구조물 설치 → 터널의 지지층 확보</li> <li>• 필요시 기초슬래브의 안정을 위해 앵커록볼트 설치</li> <li>• 터널단면과 공동과의 배면공극 : 뒷채움 또는 숏크리트를 이용하여 충전</li> </ul>
<p>KT 6 (등급 VI) (돌리네 하부 통과시)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 돌리네의 붕괴위험 : 선진보강 그라우팅을 수행하거나, 지표에서 터널 천단부 지반을 사전에 보강하는 공법 적용</li> </ul>



지역등 특수지역의 터널 굴진시 안정성 확보를 위한 지보보강패턴도를 나타낸 것이다.

그림 7에서 보여주는 것과 같이 추가적인 보강 방법에 대하여서는 Forepoling과 그라우팅등을 병행하는 방법에 대하여 제시되어 졌다. 이 방법은 추가적인 공동의 보강으로 초기 지보재의 형성을 원활하게 형성 시킬 수 있어 안정성확보 및 영구라이닝의 설치를 용이하게 할 수 있을 것이다. 이 지보형식들은 그라우팅량, 보강위치, 보강방법은 정확한 지반공학적 판단에 의하여 결정되어야 하며, 터널 심도에서 보강시에는 최소 5m 전 에서 보강이 수행되어야 할 것이다.

그러나, 공동 또는 파쇄대의 실질적인 규모에 대한 불확실성으로 터널굴진시 안전에 상당한 문제점을 야기 시

킬 가능성을 대비하여, 추가적인 특별 지보 보강계획과 영구 라이닝 구조물 보강 및 Bridge-like 구조물등 추가적인 보강등을 통하여 안정성을 도모하여야 할 것이다.

터널시공과 지보설치에 있어서 본연구에서 제시된 표준지보등급 I, II, III에 대하여서는 전단면 굴착으로 굴진 가능 할 것으로 판단된다. 그러나, 지보등급 IV, V, VI에 대하여서는 상하반 분할굴착으로 굴진하여야 할 것이며, 등급 VII의 경우는 3등분이상의 분할굴착으로 터널굴진이 실시하는 것이 바람직 할 것이다. 이상과 같이 제시된 지보등급별 설계기준을 요약 정리하면 다음의 표 6과 같다.

상기 언급된 지보형식은 카르스트지역에서 적용 가능한 지보패턴들로써 총 7등급의 표준패턴을 나타낸 것이

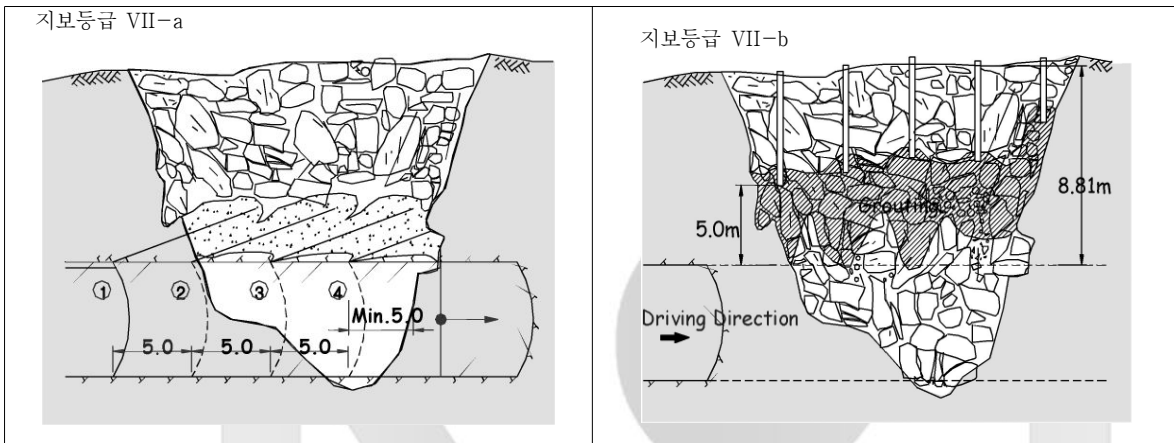


그림 7. 붕괴된 돌리네 통과구간에 대한 지보형식

표 6. 지보등급별 설계기준

지보패턴등급		등급 I	등급 II	등급 III	등급 IV	등급 V	등급 VI	등급 VII (인버트패합)
굴진장 (m)	상반	3.5	3.5	2.0	1.5	1.2	1.0	1.0
	하반	3.5	3.5	2.0	1.5	1.2	1.0	1.0
굴진방법		전단면	전단면	전단면	상하분할	상하분할	상하분할	상하분할
숏크리트(SFRS, cm)		5(일반)	5	8	12	16	16	20
록볼트	길이(m)	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	간격	Random	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0	1.0
	종횡	Random	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0
강지보 간격(m)		-	-	-	1.5	1.2	1.0	1.0
Con'c라이닝(cm)		30	30	30	30	30	40	30

다. 따라서, 카르스트 매우 큰 공동이 발달되어 있는 구간에 대하여서는 실질적인 지반조건에 따라 특별하게 추가적인 지보보강 방법 및 라이닝의 보강이 병행되어야 할 것이다.

### 4.3 배수 System 설계 기법 제안

카르스트지역에서의 터널공사에서는 터널내로의 지하수유입에 대한 예측은 복잡하며, 시공성에 많은 영향을 준다. 따라서 시공시 배수계획의 수립은 매우 중요하다. 터널내 침투수가 나오는 구역 대하여서는 Pipe, Hose 및 집수정 또는 Drainage channels 그리고 pumping 등을 통하여 침투수를 처리하여야 하며 또한 이 침투수는 가설 오탕수 정화시설로 보내 처리하여 환경오염에 대비하여야 한다. 이러한 정화시설의 규모는 수문학 및 지하수학적 분석 및 검토를 통하여 시공시 유출되는 물의 양을 예측하여 계획을 수립하여야 한다. 특히, 터널내의 물의 유입은 터널막장의 안정성 및 Rock 볼트의 안정성에 있어서도 영향을 주기 때문에 막장에 길이가 긴 배수 Hole을 설치하여 유도배수를 실시 문제가 없도록 하여야 할 것이다. 막장에 설치된 Hole이 자립성이 부족할 경우에 있어서는 PVC-pipes등을 설치하여 굴진한 Hole이 붕괴되지 않도록 조치를 해야 할 것이다. 이러한 배수구는 카르스트 Slot와 Cave의 경우에 있어서도 활용 할 수 있다. 이러한 Pipe 또는 Hose 들은 Shotcrete 타설전에 설치하여야 하며, 양단부에 대하여서는 망 (Net) 또는 이와 유사한 방법으로 설치하여 막힘이 없도록 관리계획을 수립하여야 할 것이다. 지하수의 배수는 기초저면의 양측배수 및 배수관등을 설치하고 주 배수 System과 연결하여 처리되도록 설계한다.

### 4.4 시공시 필수 조사 계획

NATM에 있어서 안전시공을 위하여서는 기본적으로 예측되어진 지반조건에 대하여 시공시 정확한 지반특성을 파악하여 시공 시 적용하는데 있다. 특히 카르스트지역과 같이 지반상태가 불확실한 경우에 있어서는 더욱더 시공 시 조사계획에 대하여 세밀한 검토가 요구된다. 따라서 필수적으로 터널 시공시 요구되는 3가지 사항으로

는 1)실질적인 지반상태 규명을 위한 조사, 2)예측한 지반상태의 정확한 위치 규명조사, 그리고 3)예측지반에 대한 지속적인 분석 및 검토 등에 대한 철저한 계획수립이 요구된다. 아울러 이러한 조사자료들은 향후 시공 위험도에 대한 분석뿐만 아니라 예기치 못한 문제점에 대한 대책 뿐만아니라 시공관리에 있어서도 활용성이 매우 크다고 할 수 있다.

## 5.결론 및 제언

본 연구는 국내의 석회암 공동발달지역의 불확실한 지반조건에서의 터널지보 System 설계의 간편화 기법에 대한 연구결과를 기술하였다. 특히, 석회암공동발달지역에 대한 지반의 등급화기법 뿐만 아니라 이에 따른 터널지보패턴 선정기법에 대하여서도 제시하였다. 또한, 석회암 공동 발달 지역에 대한 지반등급과 지보패턴별 요구되는 보강 및 보조공법에 대하여서도 상세 서술하였다. 이 연구를 수행하기 위하여 석회암 공동이 발달되어 있는 OO지역에 계획되었던 터널에 대한 설계시 적용함으로써 본 연구에서 제시한 간편화 기법의 현실적인 적용성에 대하여서도 분석 검토하였다. 이들로부터 얻어진 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

석회암지역에 대하여서는 지역 및 지형적으로 차이는 있지만 일반적으로 카르스트 공동의 존재에 대하여 면밀한 검토가 요구된다. 또한, 카르스트 공동의 정확한 규모 및 위치에 대하여서는 지반조사시 어려움이 따르고, 불규칙적이고 불확실하기 때문에 사전에 세밀한 분석을 통하여 터널 건설시 야기 될 수 있는 카르스트와 터널구조물과의 연계되는 시나리오의 작성이 필수적이라고 판단된다. 시나리오의 작성은 해당 카르스트지역에 대한 조사자료를 근거로 광역적인 분류를 수행하여야 할 것이며, 본 연구에서 제시한 카르스트 형태 분류별로 지보패턴 및 보강개념에 대한 간편화된 기준을 수립하여야 할 것이다. 끝으로, 이 연구 결과를 통하여 향후 석회암 공동발달지역 뿐만 아니라 이와 유사지반에서의 터널지보 설계에 적용함으로써 터널기술향상을 도모할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 오스트리아 Geo-consultant사 Dr. Peter Stefko와 Mr. Robert Polzinger와 함께 이루어진 연구의 일부로써 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Kim, S. H. and Jun, D. C. (2001), "Tunnel design report for Jecheon-Dodam Railway Project in

Korean".

2. Waltham, A. C. (1989), "Karst, caves and engineering-The British experience", 3rd Multidisciplinary Conference on Sinkholes, St. Petersburg Beach, Florida, p.1-8.

3. Marinos, P. G. (2001), "Tunnelling and mining in karstic terrane: an engineering challenge", Geotechnical and Environmental Applications of Karst Geology and Hydrology, Beck & Herring (eds), Swets & Zeitlinger, Lisse, p.3-16.

4. Klaus Mussger, "Karst problems at the Plabutsch Expressway Tunnel".

K C I



### 김상환

호서대학교 기계건축토목공학부 토목  
전공교수  
kimsh@office.hoseo.ac.kr