

## 석회암 지역에서 터널 시공시 고려하여야 할 사항 (“김시격 등, 석회암공동 분포지역에서의 터널 시공사례”를 중심으로)

김용일 (대우건설 부장)

### ■ 우리나라의 석회암지대 특성

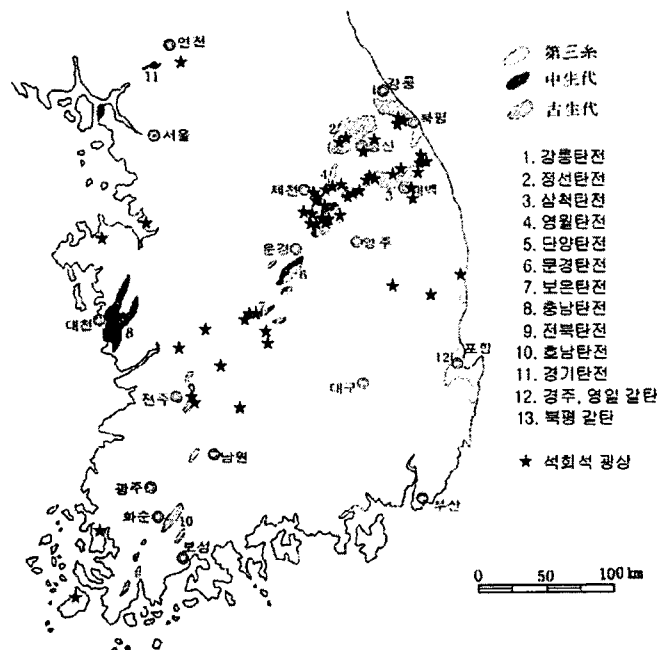
다음은 국내에 소개된 석회암지대의 특성과 관련된 내용을 기술한 것이다.

#### ● 우리나라의 석회석 분포특성

- 우리나라의 석회석은 경상남도와 제주도를 제외한 전국에서 산출되고 석회석 광상은 전 국토에 분포함
- 고품질의 석회석 광상은 강원도 중부, 남부 및 충북 북부에 집중됨 <그림 1-1>
- 우리나라 석회석 광상의 생성시기와 관련된 특징은 다음과 같음 <표 1-1>

<표 1-1> 우리나라 고생대 석회석 광상의 특성 (대한지질학회, 1998)

특 성	조선누층군 석회석 광상	평안누층군 석회석 광상
지 층	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대석회암층군(풍촌석회암, 막동석회암)</li> <li>• 삼태산층(영월지역)</li> <li>• 정선석회암, 석병산석회암(정선지역)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 만항층, 금천층</li> <li>• 갑산층</li> </ul>
지질분포	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 캄브로-오르도비스기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 석탄기 말</li> </ul>
분포지역	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 강원도 중부와 남부, 충북 북부 지역</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 충북 제원군, 제천시</li> <li>• 강원도 영월군 남면, 북면, 영월읍</li> </ul>

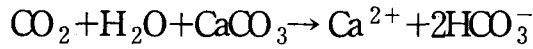


<그림 1-1> 우리 나라에 발달하는 주요 석회석 광상과 탄전의 분포

## ☉ 석회 공동에 의한 지반침하

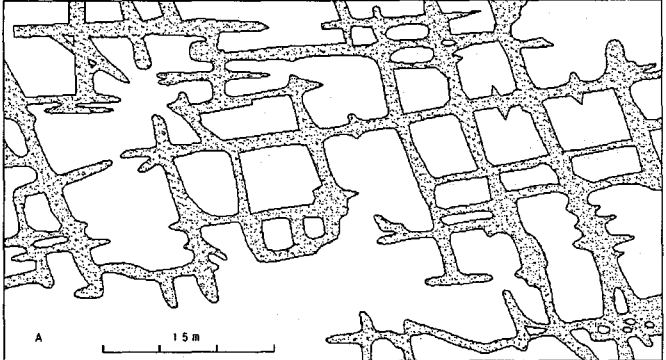
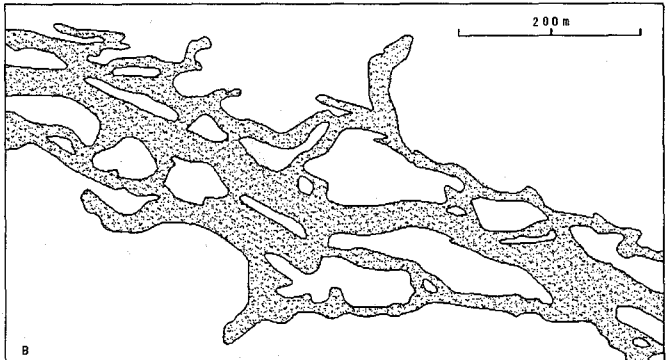
### ① 석회 공동의 생성

- 석회암 용식에 의한 공동은 Calcite(  $\text{CaCO}_3$  ), 지하수, 이산화탄소(  $\text{CO}_2$  )의 반응이 원인임



- 상기 화학반응의 역반응은 석회 공동내의 중유석, 석순 등을 생성하게 함
- 대부분의 석회공동은 피상의 석회암내에 형성되고 공동의 규모 및 형태는 석회암내의 균열 및 기타 불연속면의 발달상태에 의해 결정됨
- 지질구조는 주로 층리의 방향과 단층 등 불연속면의 발달상태의 규제를 받음
- 층리의 방향은 석회공동의 진행방향을 제어하고 단층 등 불연속면, 특히 고경사의 불연속면은 싱크홀의 형성을 용이하게 함
- 이로 인해 지하수 유입의 통로역할이 가능하고 지하수 유동을 증가시킴으로 석회암 용식에 영향을 미침
- 암석내에 용해성 광물이 비용해성 광물보다 많이 포함되어야 석회공동 생성이 용이함
- 이런 관점에서 대석회암층군의 풍촌층이나 막골층이 피상의 암석으로 석회석의 순도가 높아 석회암 용식에 유리
- 피상 석회암내 발생하는 석회암 공동의 형태에 따른 분류는 다음 <표 1-2>와 같음

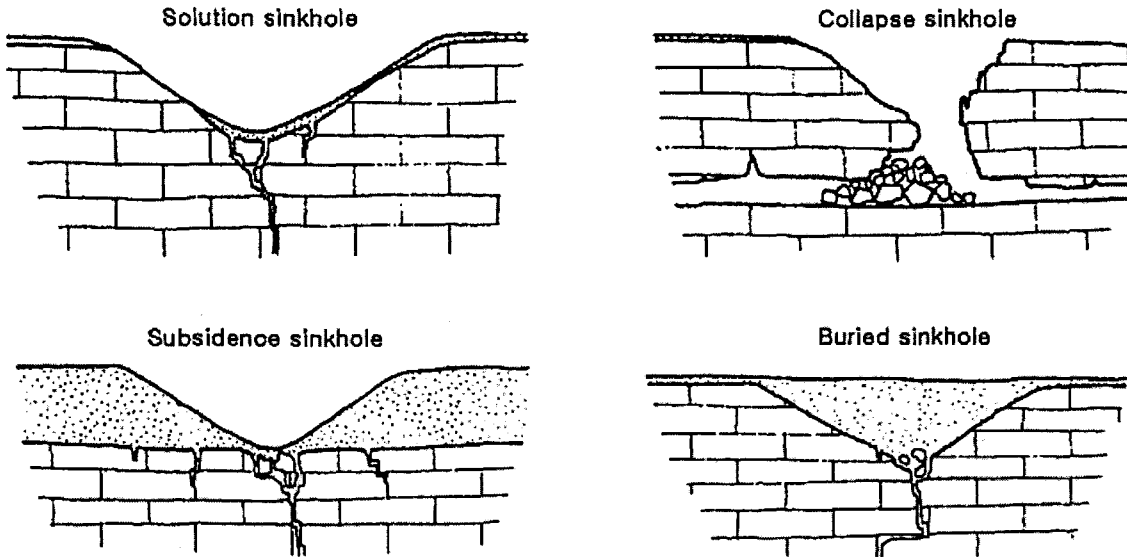
<표 1-2> 공동형태에 의한 분류 (Waltham, 1989)

구분	분포특성	
망상형 공동	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 석회암내의 불연속면(단층, 절리, 층리 등)을 따라서 유동하는 지하수의 용식작용으로 확장되는 구조이며 좁은 간격의 망상구조</li> </ul>	
대규모 공동	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 망상형의 공동이 지하수 유동으로 확장되어 형성되며 폭이 수백미터에 이르는 공동이 형성되기도 함.</li> <li>■ 상재하중 증가, 지하수위 저하시 붕괴가능</li> </ul>	

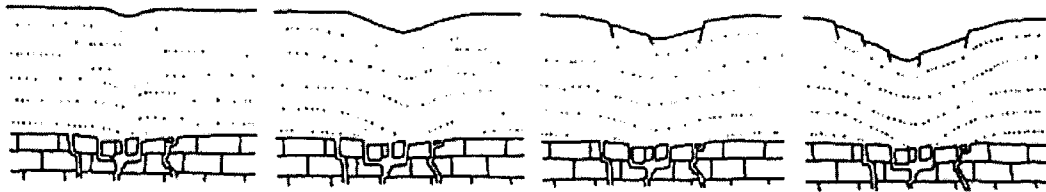
발표 논문에서 보고된 지역은 큰 규모의 공동과 망상형 공동이 복합적으로 발달된 것으로 판단된다.

② 석회암 지역에서의 싱크홀의 분류동의 생성

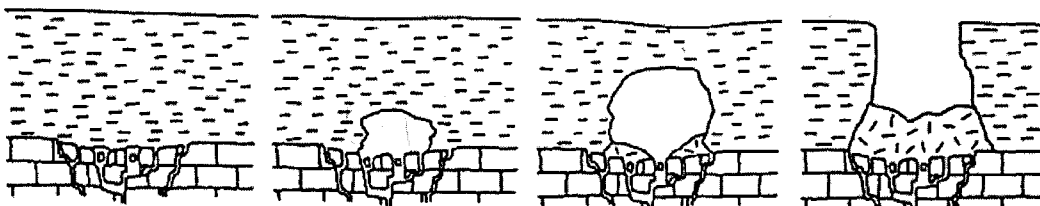
- 석회암 지역의 싱크홀 발생 형태는 다음 <그림 1-2>와 같이 분류됨
- 이 가운데 Subsidence 싱크홀은 표토가 하부 석회암을 두껍게 피복하고 있는 경우로써 침하 유형 중 가장 흔한 유형이고 이는 <그림 1-3>과 같이 두 가지 유형으로 구분됨



<그림 1-2> 싱크홀의 생성 유형 (Culshaw & Waltham, 1987)



㉠ 사질토 지반에서의 점진적인 침하



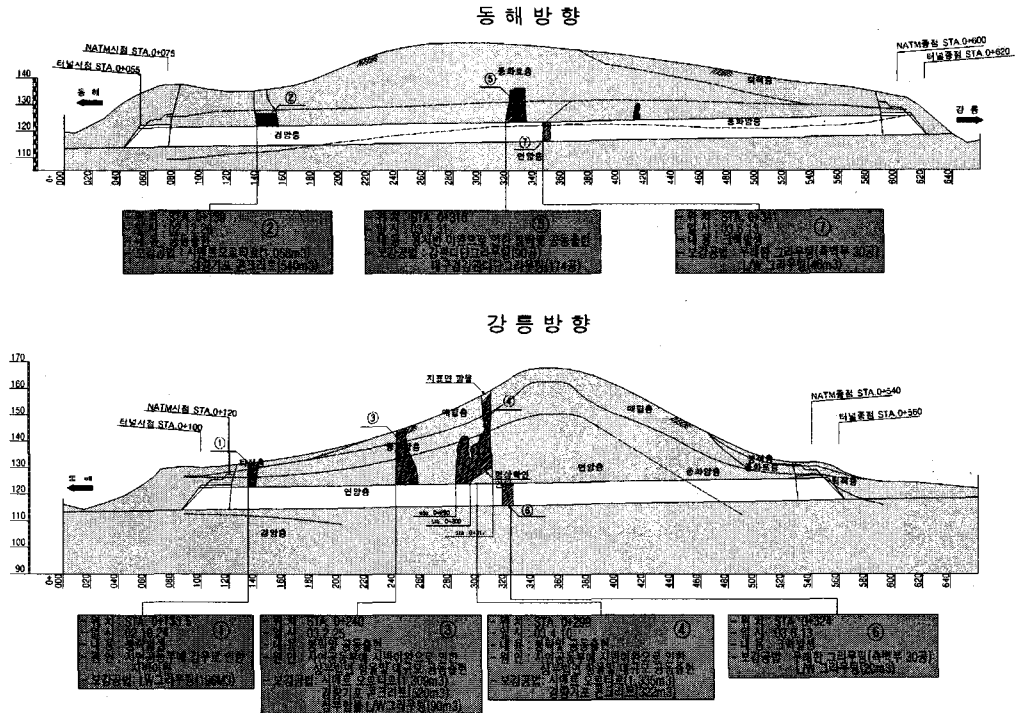
㉡ 점성토 지반에서의 급격한 침하

<그림 1-3> Subsidence 싱크홀의 두 가지 유형 (Culshaw & Waltham, 1987)

발표 보고된 지역에서 석회암 용식공동들에 대한 적절한 대처가 미흡했을 때, 싱크홀 유형의 지반침하를 불러 일어 킬 수 있을 것이다.

## ■ 발표논문 에 대한 고찰

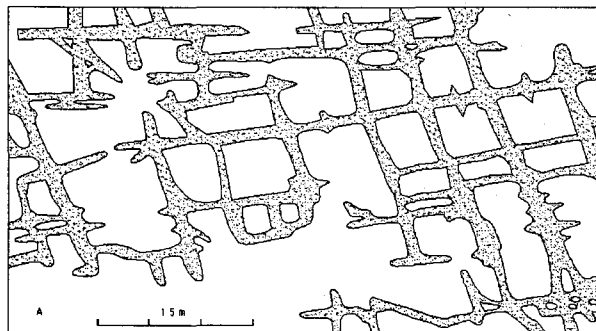
- 논문에 의하면 확인되거나 붕락된 공동에 대해서만 시멘트모르타르 및 경량기포콘크리트 충전 등을 통한 보강공법을 시행한 것으로 되어 있습니다.



〈그림 1-4〉 공동 분포 현황 및 보강 공법 적용

그런데, 석회암공동은 보여지는 큰 규모의 공동 외에도 망상형(NetWork) 형태의 Lense상 공동으로 더 많이 발달되어 있는 것으로 알려져 있습니다. 이에 따라 이러한 작은 공동들이 터널주변에 산재되어 있을 것으로 판단되는데 특히, 본 터널이 배수형임을 고려할 때 물의 흐름이 계속 이루어지므로 이러한 공동들은 연속해서 확장될 것이고 터널 배수구에는 화학적 침전물이 계속 쌓일 것입니다. 그러므로 이러한 작은 공동들에 대한 대책도 필요하다는 생각이 듭니다.

또한 공동이 터널 모서리부에 위치할 때 터널에 가장 위험한 것으로 알려져 있으므로 이러한 공동의 조사 및 보강대책도 필요하다고 생각합니다.

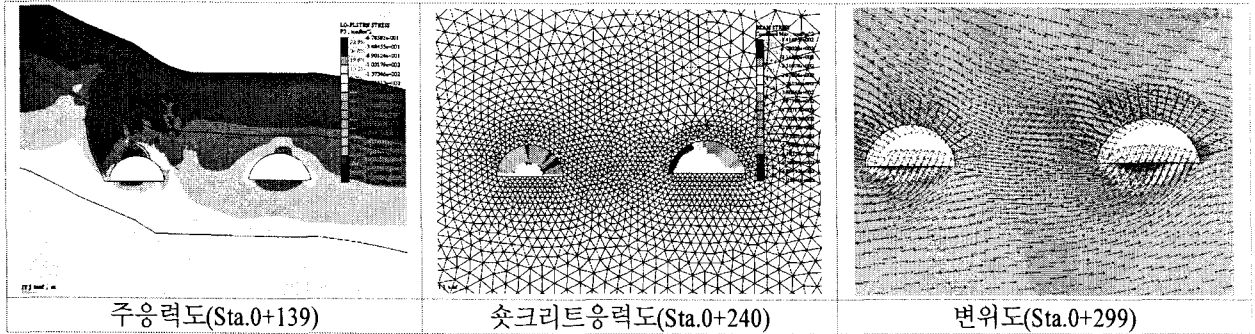


〈그림 1-5〉 망상형(Net Work)형의 Lense상 공동

- 공동보강에 따른 안정성검토는 수치해석만을 통하여 파악하였는데 이를 시공 완료후 계측결과와 비교·검토하여 적절한 수치해석기법을 제시하였으면 하는 아쉬움이 있습니다.

〈표 1-3〉 수치해석 결과

구 분	STA.0+139		STA.0+240		STA.0+299		허용치
	동해	강릉	동해	강릉	동해	강릉	
천단변위(mm)	-2.179	-5.348	-14.246	-15.096	-14.345	-10.663	-
Rock Bolt 축력 (ton)	2.33	2.07	7.62	6.10	2.72	1.60	8.7
Shotcrete 휨압축응력	455.8	321.1	725.9	580.9	814.0	546.9	840
Shotcrete 전단응력	3.186	3.367	6.971	6.097	8.475	6.373	35.4



〈그림 1-6〉 수치해석 결과도

- 인버트콘크리트 설치기준을 내공변위 10cm로 하였는데 정량적인 기준설정 근거가 미흡하며, 추후 이러한 공사시 기준이 될 수 있도록 좀더 정량적인 판정을 통한 내공변위 기준을 설정하였으면 하는 아쉬움이 있습니다.  
또한 인버트콘크리트는 오히려 퇴적암 구간에 많이 설치되었으므로 이 보강공법은 석회암 공동과 연계된 보강공법과는 별개의 문제다 하는 생각이 듭니다. 끝

〈표 1-4〉 현장 계측 결과

< 동해방향 계측결과 >

(단위:cm)

구 간	변 위				비 고
	내공변위	천단침하	좌측대각	우측대각	
0+139~0+154	0.6	- 1.6	0.4	- 0.1	공동 및 붕락발생구간 인버트 설치 필요 없음
0+340~0+350	- 12.2	- 9.0	- 6.4	- 5.8	강지보재 변형 및 shotcrete 크랙 발생구간 인버트 설치 필요
0+400~0+425	- 0.5	- 0.3	- 0.7	- 0.3	공동 및 붕락 발생구간 인버트 설치 필요 없음
	- 0.5	- 1.3	- 2.4	-	

< 강릉방향 계측결과 >

(단위:cm)

구 간	변 위				비 고
	내공변위	천단침하	좌측대각	우측대각	
0+320~0+330	- 13.5	-4.2	- 1.0	- 5.1	강지보재 변형 및 shotcrete 크랙 발생구간 인버트 설치 필요
0+360~0+385	- 3.4	- 8.8	- 1.5	- 13.7	강지보재 변형 및 shotcrete 크랙 발생구간 인버트 설치 필요
0+505~0+535	- 10.7	-2.4	- 2.7	- 4.1	강지보재 변형 및 shotcrete 크랙 발생구간 인버트 설치 필요
	- 10.4	-3.3	- 2.4	- 2.7	

“끝”.