

축소모형실험을 통한 편간 불일치 필라의 안정성 연구

김종관, 양형식*

Stability Analysis of the Inclined Pillars by Scaled Model Test

Jong-Gwan Kim, Hyung-Sik Yang*

Abstract In this study, we compared the stability of the pillars by using room and pillar mining method with the four models with different stiffness and pillar overlap ratio. The experimental models consist of two plaster models (overlap ratio 0%, 100%) and two cement models(overlap ratio 0%, 100%). The soft and hard rocks are modeled by plaster and cement models respectively. In these experiments, the model materials with strength values reflecting the calculated scaled factors not been used, so it is not a true scaled model test that reproduces in situ state in the laboratory. Experimental results show that the different overlap ratio pillars are one of the factors that can affect the stability of the mine.

Key words Pillar safety, Pillar overlap ratio, Scaled model test, Room and Pillar mining, Underground mine

초 록 본 연구에서는 필라의 강성도와 필라의 중첩률이 다른 4가지 모형에 대한 축소모형실험을 통하여 주방식 채광 광주의 안정성을 비교하였다. 실험모델은 석고 모델 2개(필라 중첩률이 0%, 100%)와 시멘트 모델 2개(필라 중첩률이 0%, 100%)이다. 필라의 강성도는 석고 모델은 연암, 시멘트 모델은 경암을 모델링하였다. 본 연구에서 실시한 실험은 계산된 축소율이 반영된 강도 값을 갖는 모형재료를 사용하지 않았기 때문에 현장상태를 그대로 실험실에서 재현한 진정한 의미의 축소모형실험은 아니다. 실험을 통해 주방식 채광법을 적용한 광산에서 편간 불일치 필라가 광산의 안정성에 어느 정도 영향을 줄 수 있는 인자 중의 하나임을 확인하였다.

핵심어 필라 안정성, 필라 중첩률, 축소모형실험, 주방식 채광, 지하광산

1. 서 론

석회석은 연간 생산량이 93,052 천톤(2015년 기준)에 달하며, 국내 광산물 생산액의 71.3%를 차지하고 있는 대표적인 비금속광물이다(KIGAM, 2016). 석회석은 광체의 부존 형상에 따라 노천채광이나 지하채광 방식으로 개발되며, 지하채광의 경우에는 주방식채광법(room and pillar mining method)이 주로 적용된다. 이 채광법은 개발되는 갱도를 안전하게 유지하기 위해 적절한 간격으로 필

라(pillar)를 남겨두고 광체를 채광하는 것으로 채광된 광석의 비율이 다른 채광법에 비해 낮은 편이나, 갱도의 안정성은 높은 방법이다. 일반적으로 현장조사를 기초로 한 채광설계를 통해 갱도 규격, 필라의 폭, 필라의 간격 등을 정한 후에 채광을 하게 된다. 그렇지만 채광 중의 지질학적 조건 등 여러 요인에 의해 갱도 규격도 일정하지 못 하며, 필라의 폭이나 간격도 설계 대비 달라질 수 있다. 특히 석회석 광체는 불규칙적인 형상으로 부존하며, 보통 크라운 필라를 사이에 두고 여러 개의 편으로 개발하게 된다. 광산 전체적인 채광 시의 단면을 보게 되면, 위편의 필라와 바로 하부의 아래 편 필라간의 배열이 일치하지 않고, 엇갈리는 경우도 있기 때문에 안정성에 영향을 줄 수도 있다.

본 연구에서는 주방식 채광 필라의 안정성을 정성적으로 검토하기 위하여 축소모형실험(scaled model test)을 실시하였다. 실험모델은 필라의 강성도와 중첩률이 서로 다른 4가지 모형으로서, 석고 모델 2개(필라 중첩률 0%, 100%)와 시멘트 모델 2개(필라 중첩률 0%, 100%)이다.

Received: Dec. 6, 2016

Revised: Dec. 26, 2016

Accepted: Dec. 27, 2016

*Corresponding Author: Hyung-Sik Yang

Tel) +82625301724, Fax) +82625301729

E-Mail) hsyang@jnu.ac.kr

Department of Energy & Resources Engineering, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea

이 중에서 석고 모델은 필라의 강성도가 작은 경우로서 연암을 모델링한 것이고, 시멘트 모델은 필라의 강성도가 큰 경우로서 경암을 모델링한 것이다. 본 연구에서 실시한 실험은 다소 부적절한 모형재료를 사용하였기 때문에 현장 상태를 그대로 실험실에서 재현한 축소모형실험은 아니지만, 실험을 통해 주방식 채광법을 적용한 광산에서 발생할 수 있는 편간 불일치 필라의 안정성을 검토하였다.

2. 실험모형

2.1 차원해석

현지암반의 변형거동을 연구하기 위하여 축소모형실험을 실시할 때 현장성을 충분히 재현할 수 있도록 하기 위해서는 현장의 모든 제반요소들에 대한 차원해석을 실시하여 축소율을 산정하고 이에 따른 적합한 모형재료를 사용하여 축소모형을 제작하여야 한다(Kim et al., 2004).

세 가지 기본 차원을 길이[L], 시간[T], 질량[M]이라고 할 때 축소율을 산정하기 위해서는 우선 길이에 대한 축소율을 결정하고 나서 이를 이용하여 시간, 밀도, 질량, 강도 등의 축소율을 산정하게 된다(Hobbs, 1969). 특정한 실험목적에 의해 1 : 1 또는 특정한 축소율을 고려하여 상사법칙을 유도해야 한다. 일반적인 상사법칙은 질량 기준의 상사법칙, 시간 기준의 상사법칙이 있으며, 물리량을 기준으로 가속도 기준의 상사법칙이 있다(Kumar et al., 1997). 축소율을 결정하는 Hobbs의 이론은 물체에 작용하는 중력가속도는 언제나 일정하게 작용한다는 가정 하에 중력가속도의 축소율을 1로 하고 시간의 축소율을 산정하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 고려된 석회석 광산의 주방식 채광장

의 모식도로 갱도의 폭과 높이는 각각 10m로 하였는데, 이는 국내 석회석 광산의 갱도 폭(10 m)과 높이(5~15 m)를 고려한 것이다. 축소모형에서의 갱도 폭과 높이를 각각 5 cm로 하였다. 이와 같이 본 실험에서 길이[L]에 대한 축소율은 1/200로 하였다. 다음으로 중력가속도[LT⁻²]는 현장과 실험실에서 모두 같으므로 시간[T]의 축소율은 1/14.14가 된다.

국내 석회암의 물성은 Table 1과 같이 밀도 2.72~2.74 g/cm³이며, 강도 55~151 MPa이다(Korean Geotechnical Society, 2009). 국내 석회암의 강도는 이와 같이 넓은 범위를 가지므로, 석회암은 경우에 따라 연암 또는 경암으로 존재할 수 있기 때문에 본 연구에서는 연암 및 경암 지반을 각각 모델링하였다. 모형재료는 석고와 시멘트를 이용하였고, 석고는 연암, 시멘트는 경암을 모델링하는 것으로 가정하였다. 본 실험에서 사용한 모형재료의 밀도는 석고 1.40 g/cm³, 시멘트 2.13 g/cm³이므로 밀도[ML⁻³]에 대한 축소율은 각각 1/1.94, 1/1.29이며, 이로부터 질량[M]의 축소율을 산정하였다. 이와 같이 산정된 길이[L], 시간[T], 질량[M]의 축소율을 근거로 하여 암반의 강도[ML⁻¹T⁻²]에 대한 축소율을 구하면 연암모델 1/388, 경암모델 1/258이다. 연암모델과 경암모델의 길이, 시간, 질량, 밀도, 강도에 대한 축소율은 Table 2와 같다.

2.2 모형재료 선정

축소모형실험을 할 때 사용되는 모형재료는 실제 지반의 물리적인 특성을 충분히 대변할 수 있는 것으로 선정해야 한다(Kim et al., 2004). 강도와 변형계수를 모두 고려하여 모형재료를 선정하여야 하나, 실제 암반의 변형계

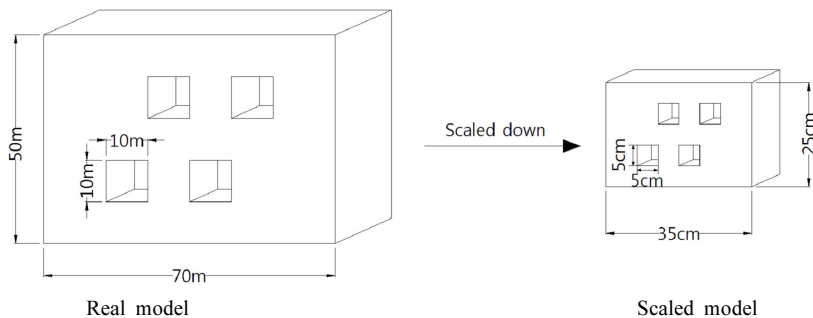


Fig. 1. Real model and Scaled model

Table 1. Assumed physical properties of rocks

Rock type	Density (g/cm ³)	Compressive strength (MPa)
Soft rock	2.72	55
Hard rock	2.74	151

Table 2. Scale factors of models

Physical properties	Dimension	Soft rock	Hard rock
Length	[L]	1/200	1/200
Time	[T]	1/14.14	1/14.14
Mass	[M]	$1/(3.10 \times 10^9)$	$1/(2.06 \times 10^9)$
Density	$[ML^{-3}]$	1/1.94	1/1.29
Strength	$[ML^{-1}T^{-2}]$	1/388	1/258

Table 3. Physical properties of plaster for various mixing ratios

No.	Sand : Plaster : Water	Plaster/Water	Compressive strength (MPa)	Reference
1	3.0 : 1.0 : 2.0	0.5	0.28	Kim et al. (2004)
2	3.3 : 0.7 : 2.0	0.35	0.18	"
3	3.1 : 0.9 : 2.0	0.45	0.35	"
4	1.0 : 1.0 : 3.0	0.33	0.10	Ahn et al. (2011)
5	3.0 : 1.0 : 2.0	0.5	0.31	"
6	1.0 : 1.0 : 2.5	0.4	0.28	Ahn et al. (2008)
7	1.0 : 1.0 : 1.0	1.0	2.19	Chae (2004)
8	1.1 : 0.9 : 1.0	0.9	1.64	"
9	1.2 : 0.8 : 1.0	0.8	1.28	"
10	1.3 : 0.7 : 1.0	0.7	1.03	"
11	1.4 : 0.6 : 1.0	0.6	0.91	"
12	1.5 : 0.5 : 1.0	0.5	0.53	"

Table 4. Physical properties of cement for various mixing ratios (O et al., 2000)

No.	Sand : Cement : Water	Water/Cement (%)	Compressive strength (MPa)
1	1.0 : 1.0 : 0.25	25	80.2~97.1
2	1.3 : 1.0 : 0.30	30	71.1~76.0
3	1.5 : 1.0 : 0.35	35	61.2~67.9
4	1.6 : 1.0 : 0.40	40	54.5~55.4
5	2.5 : 1.0 : 0.50	50	34.6~37.0
6	3.2 : 1.0 : 0.60	60	22.9~24.5
7	3.5 : 1.0 : 0.70	70	14.5~18.3

수를 축소율로 환산할 경우에는 그 값이 매우 작아지게 되는 문제점이 있다. 이러한 경우에는 모형의 저항력이 너무 작아 축소모형실험 조건별로 저항력이 큰 차이가 나지 않기 때문에 모형실험의 정확한 효과를 기대하기는 어렵다. 본 연구대상의 압축강도는 Table 1과 같이 연암 55 MPa, 경암 151 MPa이며, 연암과 경암의 강도 축소율인 1/388, 1/258을 각각 적용하면, 모형재료의 강도는 연암모형은 0.11 MPa, 경암모형은 0.16 MPa이다.

모래: 석고: 물의 배합비에 따른 석고모형의 강도는 Table 3과 같이 0.18~2.19 MPa로, 축소율에 따라 계산된 연암 및 경암모형의 강도는 석고를 이용하여 충분히 구현할 수 있을 것으로 판단되었다. 반면에 모래: 시멘트: 물의 배합비에 따른 시멘트모형의 강도는 Table 4와 같이 14.5~97.1 MPa로 석고에 비해 매우 큰 값을 보여주었다.

연암모형과의 대비를 위한 경암모형의 계산된 강도 축소율이 적용된 값을 갖는 재료는 석고이며, 시멘트로는 경암모형

의 강도인 0.16 MPa를 구현하는 것이 불가능함을 문헌을 통해 알 수 있었다. 그러나 본 연구에서는 주방식 채굴공동의 안정성에 영향을 미치는 주된 변수 중의 하나가 필라의 강성도라고 생각하였기 때문에 연암모형의 강도와 차이가 크게 나는 시멘트를 경암모형의 재료로 이용하여 강성에 따른 실험모형의 거동을 평가하고자 하였다.

3. 축소모형 제작

3.1 모형재료의 물성실험

모형재료와 배합비에 따른 모형지반의 적합성과 일정한 강도 특성을 보이는지 검증하기 위해서 공시체를 제작하여 물성실험을 실시하였다. 석고 공시체의 배합비는 Table 3에서 압축강도가 0.10 MPa일 때의 1 : 1 : 3을 사용하였다. 배합비에 따라 모래 8 kg, 석고 8 kg, 물 8 kg을 혼합하여 $\Phi 100 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 크기의 몰드에서 양생하여 단위중량이 1.40 g/cm^3 이 될 때 압축실험을 실시하였다. 시멘트 공시체는 Table 4에서 물/시멘트비가 가장 낮은 70%일 경우의 배합비 3.5 : 1.0 : 0.70을 적용하여 모래 14 kg, 시멘트 4 kg, 물 2.8 kg을 혼합하여 제작하였다. 실험에 사용된 모래는 K.S.L 5100 규격품으로 주문진 표준사, 석

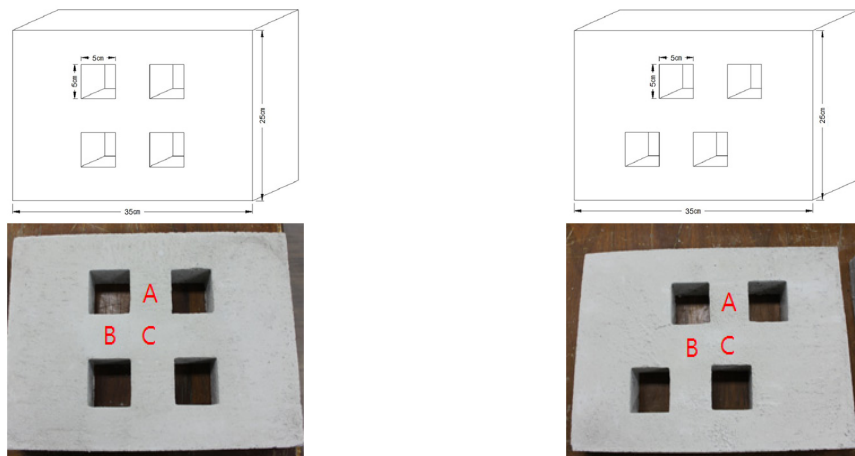
고는 도자기 형재용으로 사용되는 K.S.L. 9001 규격품, 시멘트는 국내에서 생산되는 (주)유니온의 초속경시멘트를 사용하였다.

공시체를 각각 3개씩 제작하여 물성 실험을 하였고, 각 물성의 평균값은 Table 5와 같다. 일축압축실험 결과 석고의 강도는 평균 3.3 MPa, 시멘트는 20.5 MPa로 Table 3과 Table 4에서 기존 연구자들이 제시한 배합비에 따른 압축강도에 비해 약간 높은 값을 나타내었다. 이는 물성실험을 하기 위한 공시체의 개수가 제한적이고, 석고와 시멘트 양생과정에서 양생시간, 양생온도, 재료의 종류 등이 동일하지 않기 때문에 재현성이 높지 않은 것으로 판단된다.

Kim et al.(2004)은 축소모형재료를 개발하는 것은 쉬운 일이 아니며 모형실험 분야의 중요한 연구과제로서 향후 이에 대한 지속적인 요구가 요망된다고 하였으며, Jeon et al.(2003)은 이론적인 축소율에 따른 목표 강도 값이 작게 나와 실험에 어려움이 예상되어 목표 강도 값을 임의로 높게 설정한 경우도 있었다. 또한 석고와 시멘트의 배합비에 따른 강도 값을 추정하기 위해 물과 석고 또는 시멘트의 비에 따른 압축강도의 상관관계식을 통해 적합한 물과 석고 또는 시멘트의 비를 산정하기도 한다. 예를 들어 Table 3에서 1, 5, 12번은 석고와 물의 비율이 0.5로 동일하나, 압

Table 5. Physical properties for modelling materials

Rock type	Modelling materials	Mixing ratio (sand:material:water)	Density (g/cm^3)	Compressive strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio
Soft rock	Plaster	1.0 : 1.0 : 3.0	1.39	3.3	2.5	0.24
Hard rock	Cement	3.5 : 1.0 : 0.7	2.13	20.5	14.2	0.20



(a) Overlap ratio 100%

(b) Overlap ratio 0%

Fig. 2. Scaled models with two different overlap ratios

Table 6. Experimental cases

Experiment Case	Case A	Case B	Case C	Case D
Rock type	Soft rock	Soft rock	Hard rock	Hard rock
Pillar overlap ratio (%)	100	0	100	0

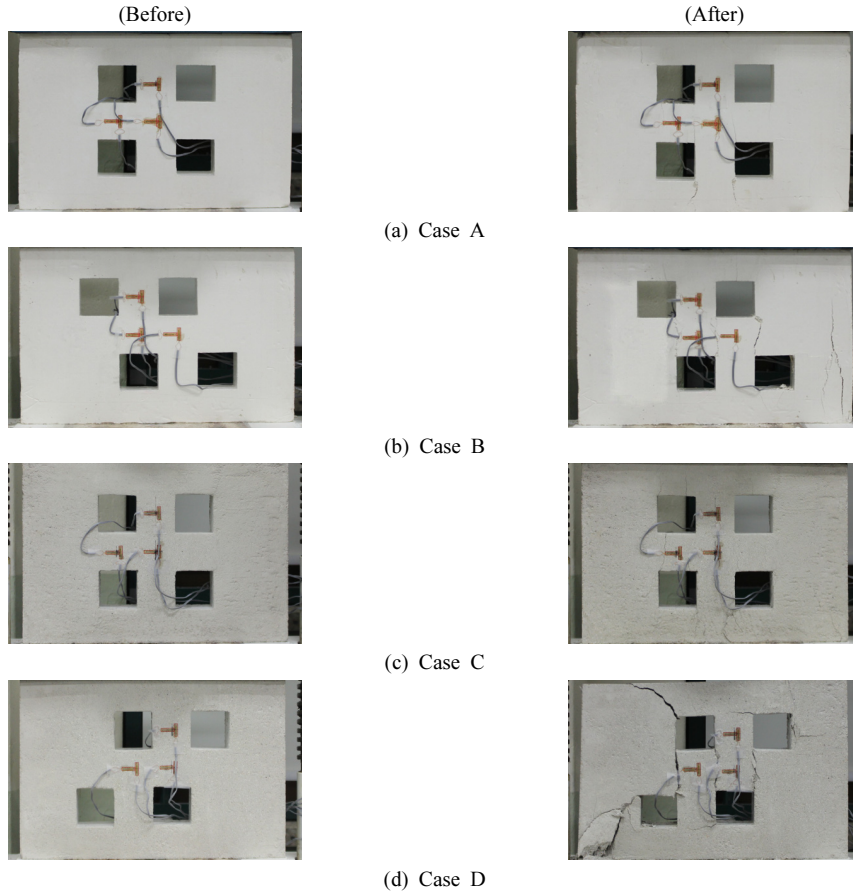


Fig. 3. Experimental results

축강도는 각각 0.28, 0.31, 0.53으로 차이가 있음을 알 수 있다. O et al.(2000)의 물/시멘트(%)에 따른 압축강도는 범위 값으로 특정한 압축강도 값을 재현하는 것이 쉽지 않음을 알 수 있다(Table 4).

따라서 본 연구에서는 전술한 바와 같이 모형재료의 강도 값이 계산된 축소율에 따른 값이 아니므로 현장상태를 그대로 실험실에서 재현한 진정한 의미의 축소모형실험은 아니지만, 실험을 통해 필라의 안정성을 검토하였다.

3.2 축소모형 제작

축소모형실험에 이용된 모형지반은 35 cm(가로) × 25

cm(세로) × 5 cm(두께)의 크기로 Fig. 2와 Table 6과 같이 재료의 강성도와 필라의 중첩률을 달리하여 총 4가지 모형을 제작하였다.

4. 실험결과 및 검토

실험방법은 제작된 축소모형에 변형률게이지(strain gauge)를 부착하여 압축시험기에서 일정한 하중을 가하면서 하중재하에 따른 변형률을 측정하였다. 변형률게이지는 Fig. 2와 같이 필라(A 지점), 크라운 필라(B 지점), 필라와 크라운 필라의 교차점(C 지점)의 3곳에 부착을 하였으나, 본 연구에

서는 필라의 거동을 파악하기 위해 필라에서 측정된 변형률을 결과 분석에 이용하였다.

실험결과는 하중 재하에 따라 육안으로 관찰되는 파괴양상과 측정된 변형률로부터 필라에 가해지는 응력집중도를 산출하여 각 케이스를 비교하였다. 축소모형의 상부에 하중이 증가함에 따라 발생하는 균열발생 양상을 조사하였다(Fig. 3). Case A는 하중이 증가할수록 크라운 필라 부분에 수직 방향으로 발생하였던 미세 균열이 점점 확장되어 파괴되었고, 최종 파괴 직전에 하부의 중앙 필라를 기준으로 좌, 우측으로 수직방향의 균열이 발생하였다. Case B는 중앙 필라를 기준으로 위, 아래 림 방향으로 균열이 발생하였고, 이후 하중이 증가함에 따라 균열이 확장되었다. 최종 파괴 직전에 우측면 부근에 큰 균열이 발생하면서 파괴되었다. Case C는 하중이 증가할수록 처음 균열이 발생하였던 크라운 필라 부분의 균열이 미세하게 확장하면서

파괴되었고, Case D는 필라를 기준으로 위, 아래 림 방향으로 발생하였던 균열이 계속적으로 확장하면서 큰 파괴양상이 나타났다.

Fig. 4는 Fig. 2 A지점(필라)의 응력-변형률 선도를 도시한 것이다. 여기서 필라 중첩률이 100%인 경우는 0%인 경우에 비하여 동일 응력수준에서의 변형률이 작게 나타났다. 경암 모형은 연암 모형에 비하여 파괴 강도가 크게 나타났다. 따라서 필라 중첩률과 강성도는 주방식 채굴공동의 안정성에 영향을 미치는 주요 변수로 판단된다.

필라 중첩률에 따라 필라 지점에 가해지는 응력집중도를 계산하였다. 응력집중도는 Fig. 5와 같이 모형에 작용하는 전체 하중(P_{total})에서 A-A' 단면의 필라부에 작용하는 하중 값으로부터 계산된 응력 값과 동일 지점에서 측정된 변형률과 축소모형의 변형계수를 통해 구해진 응력 값을 대비하는 것이다. 이 때 Fig. 5의 오른쪽 그림처럼 빨간색

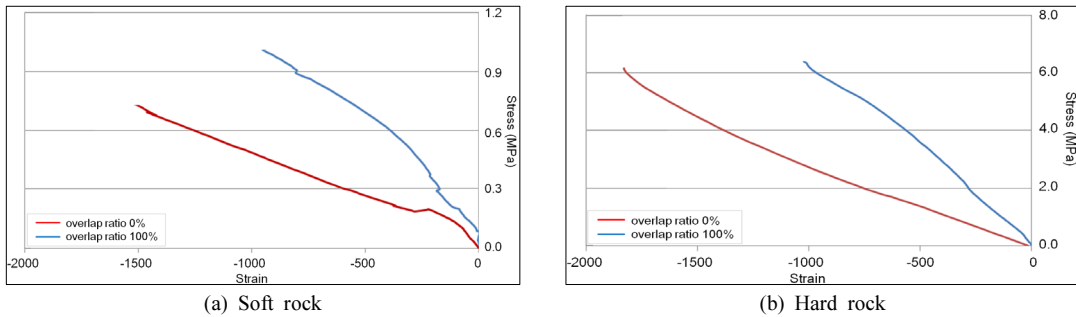


Fig. 4. Stress-strain curve

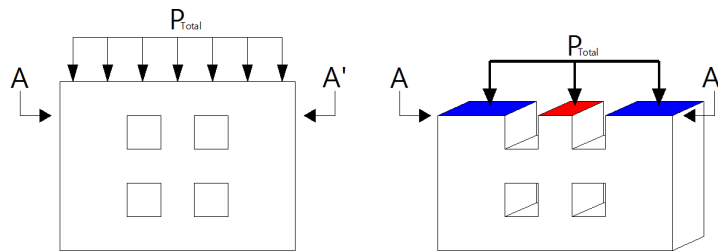


Fig. 5. Stress on pillars

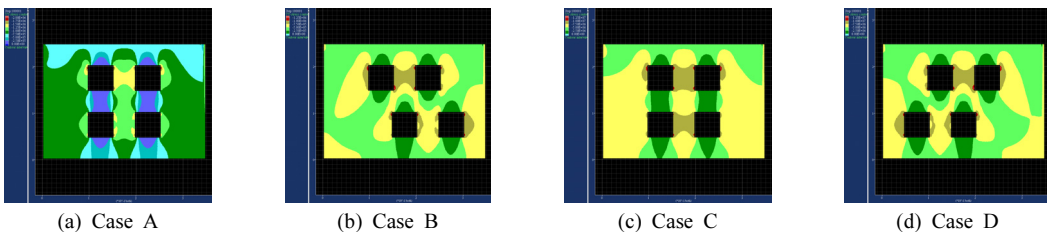


Fig. 6. Numerical analysis

Table 7. Stress concentration

Experimental case	Scaled model test			Numerical analysis			Stress concentration (A/B)
	Young's modulus (GPa)	Strain at failure	Stress at failure (MPa) (A)	Failure load (N)	Area (m ²)	Stress at failure (MPa) (B)	
Case A	2.5	952	2.38	36.12	0.025	1.32	1.81
Case B	2.5	1,550	3.88	22.14	0.025	0.81	4.79
Case C	14.2	1,024	14.54	235.71	0.025	8.61	1.69
Case D	14.2	1,830	25.99	223.78	0.025	8.20	3.17

으로 표시된 지점에 작용하는 P_{Total} 의 분력은 수치해석을 통해 확인된 값을 적용하였다.

수치해석에 사용된 프로그램은 FLAC 2D로 입력물성과 수치모델 제한은 Table 5와 Table 6의 값을 이용하였으며, Fig. 3의 실험모델과 동일한 수치모델을 적용하였다. 수치해석 입력물성에서 점착력(c)과 내부마찰각(ϕ)은 Korean Geotechnical Society(2009)를 참고하여 연안과 경암모델에 대해 1.45 MPa, 3.09 MPa, 38.1°, 54.1°을 각각 적용하였다. 수치해석 결과는 Fig. 6과 같이 수직방향의 응력분포이며, 필라부에 작용하는 응력 값을 Table 7에 반영하였다.

Table 7의 응력집중도는, 석고 축소모형의 중첩률 100%인 경우는 1.81, 중첩률 0%인 경우는 4.79로 중첩률 0%일 때 필라에 가해지는 응력집중도가 2.98 높게 나타났다. 시멘트 축소모형의 중첩률 100%인 경우는 1.69, 중첩률 0%인 경우는 3.17로 중첩률 0%일 때 필라에 가해지는 응력집중도가 1.48 높게 나타났다. 이를 통해 실험모델과 횡수가 제한적이기는 하지만 필라 중첩률과 강성도가 안정성에 영향을 줄 수 있는 인자들임을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 주방식 채광장의 안정성을 검토하기 위해 4개의 실험모델을 제작하여 축소모형실험을 실시하였다. 주방식 채광법의 설계인자 중 필라 강성도와 중첩률에 따른 영향을 검토하기 위해 강성도는 모형재료를 달리하여 적용하였고, 중첩률은 필라의 배열이 일치하는 경우와 그렇지 않은 경우로 비교하였다. 필라 중첩률과 필라 강성도에 따른 전체 모형지반의 정량적 및 정성적인 거동 특성을 확인하는 방법으로 수행하였으며, 실험모델에 가해지는 하중에 따라 필라부의 응력집중도를 산출하여 필라의 중첩률 변화에 따른 안정성을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 제작된 모델에 하중을 가하여 필라 지점에서의 응력변형률 선도를 도출하였고, 동일 응력수준에서 변형률은 중첩률이 100%인 경우에 낮은 값을 나타내어 필라

중첩률이 안정성에 영향을 줄 수 있는 인자 중의 하나임을 보여주었다.

2. 필라부의 응력집중도는 중첩률 0%인 Case B, D의 값이 4.79, 3.17로 중첩률이 100%인 Case A, C에 비해 각각 2.98, 1.48 크게 나타났다. 절댓값은 아니지만, 필라의 배열이 어긋난 경우에 더욱 많은 응력이 필라부에 집중됨을 알 수 있으며, 상대적으로 강성도가 낮은 석고를 모형재료로 사용한 경우에 응력이 집중되는 정도가 높음을 알 수 있다.
3. 이를 통해 필라 중첩률과 강성도가 안정성에 영향을 줄 수 있는 인자들임을 확인하였다.

References

1. Ahn, H.H., J.I. Choi, S.W. Lee and S.H. Shim, 2008, A study on the behavior of a closely-spaced tunnel by using scaled model tests, Proceedings of Korean Geotechnical Society, 189-198.
2. Ahn, S.J., T.H. Jeong, D.J. Choi, S.H. Lee, S.G. Kim, D.S. Lee, S.W. Lee, 2011, Fault zone, influence of pillar width using scaled model test, Proceedings of Korean Society of Rock Mechanics, 163-169.
3. Chae, H.M., 2004, Simulation of blasting demolition by scaled model test and particle flow analysis, Master thesis, Seoul National University.
4. Hobbs, D. W., 1969, Scale model study of strata movement around mine roadways. Apparatus, technique and some preliminary results, Int. J. of Rock Mech. Min. Sci., 5, 237251.
5. Jeon, S.W., J.W. Kim, C.W. Hong and Y.K. Kim, 2003, Effect of a karstic lime cavern on the stability of tunnel-A scaled model test, Journal of the Korean Society for Geosystem Engineering, 40, 3, 147-158.
6. KIGAM, 2016, 2015/2016 Mineral commodity supply and demand, 14.
7. Kim J.W., J.Y. Park, 2004, A study on the deformation behaviors around twin tunnels using scaled model tests, TUNNEL & UNDERGROUND SPACE, 14, 5, 381-390.
8. Kim, J.W., S.K. Jeon and Y.H. Suh, 2004, A study on the effect of underground openings on the stability of surface structures using scaled model tests, TUNNEL &

- UNDERGROUND SPACE, 14, 1, 43-53.
9. KOREAN GEOTECHNICAL SOCIETY, 2009, Geological and rock engineering for geotechnical engineers, 156.
10. Kumar, S., Y. Itoh, K. Saizuka and T. Usami, 1997, Pseudodynamic testing of scaled models, Journal of Structural Engineering, 123, 4, 524-526.
11. O, S.H., H.S. Kim, B.A. Jang and M.C. Suh, 2000, A comparative study on dynamic & static elastic modulus of cement mortar specimens, Journal of the Korean Geophysical society, 3, 2, 127-138.



김 종 관

2003년 전남대학교 자원공학과 학사
 2008년 전남대학교 지구시스템공학과 석사
 2014년 전남대학교 에너지자원공학과 박사

Tel: 033-736-5514
 E-mail: jkkim@kores.or.kr
 현재 한국광물자원공사 신사업기획팀 과장



양 형 식

1979년 서울대학교 자원공학과 학사
 1981년 서울대학교 자원공학과 석사
 1987년 서울대학교 자원공학과 박사

Tel: 062-530-1724
 E-mail: hsyang@jnu.ac.kr
 현재 전남대학교 에너지자원공학과 교수
