

# Final Exam with answers

December 6, 2010

- Describe the Voussoir beam model used for roof design of excavations in a stratified rock mass by Diederichs and Kaiser and give an explanation of the following graphs (Fig.A & B) related to the model.

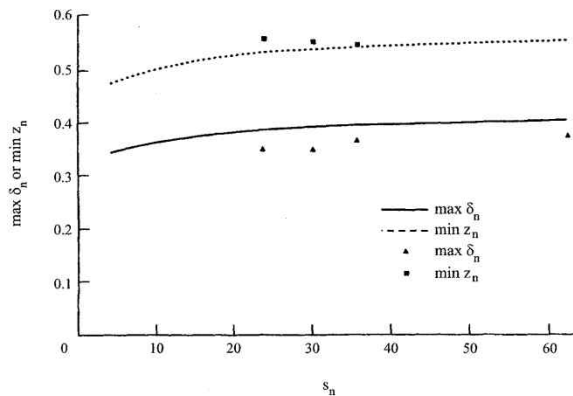


Fig. A

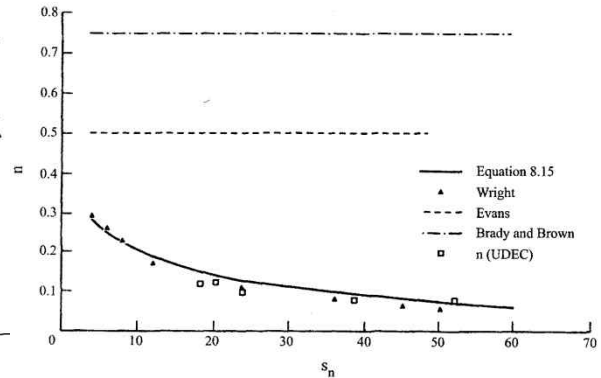


Fig.B

Answer: 좌우수직경계면의 수평변위가 고정된 빔에 자중에 의한 수직하중이 작용할 때의 빔의 처짐과 내부에 형성되는 parabolic arch 현상을 설명하는 모델이다. 이 모델에서 수직방향하중으로 인해 빔의 내부에 (균일분포나 직선형이 아닌) arch형 lateral load (thrust)가 형성된다는 것이 핵심이다.

Fig.A는 normalized span (span /thickness)의 증가에 따른 normalized deflection과 normalized arch lever arm의 변화를 보여주는 것이다. 이때 arch lever arm은 lateral thrust의 빔 양단에서의 평균작용점과 빔 중앙에서의 평균작용점의 수직 거리이다.

Fig.B는 normalized span의 증가에 따른 normalized arch thickness 변화를 보여주는 것으로 Evans나 Brady and Brown은 빔의 span 증가에 따른 thrust arch의 두께변화가 없다고 가정하였지만 Wright 와 UDEC을 이용한 수치해석결과에서는 span 증가에 따라 arch의 두께가 감소함을 보였다.

- Categorize the nine underground mining methods into three groups according to supporting methods, and describe each of the four mining methods indicated by the following figures.

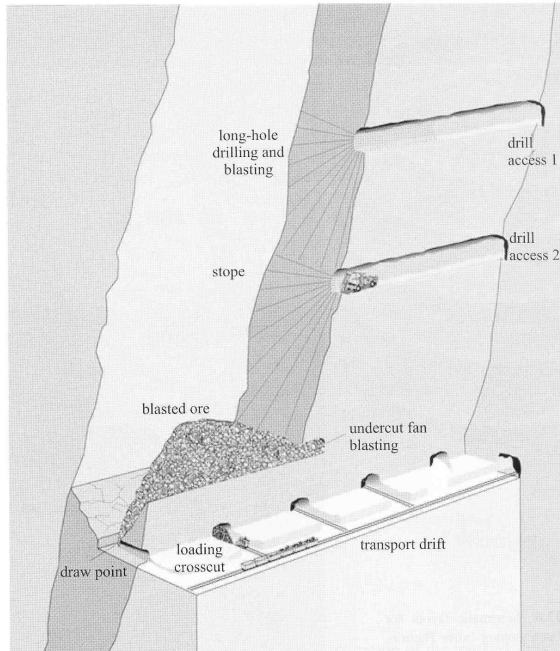


Fig. A

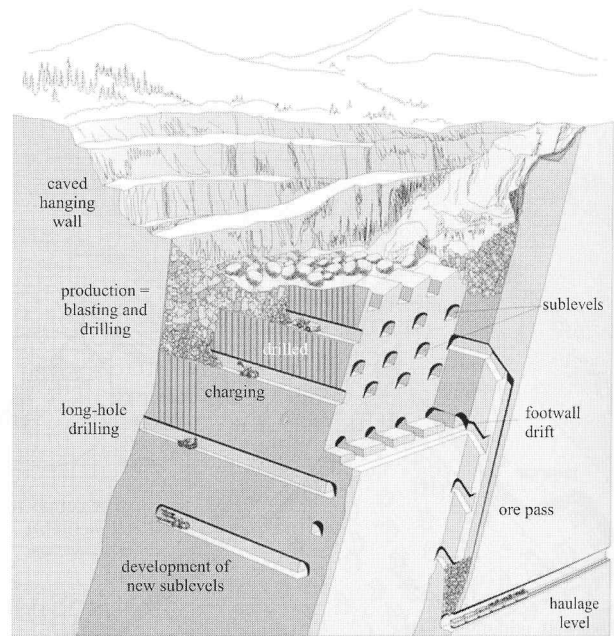


Fig. B

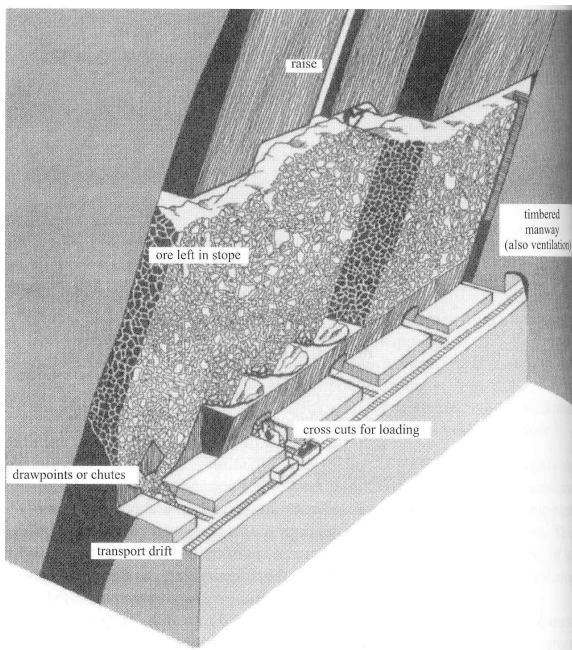


Fig. C

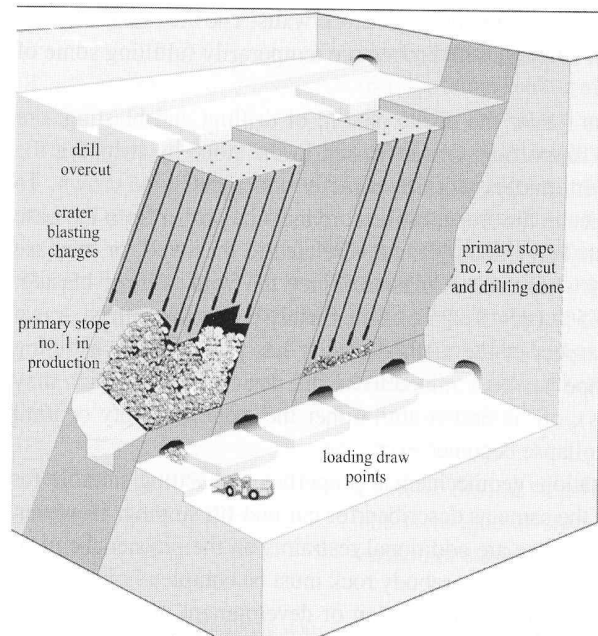


Fig. D

Answer:

Pillar supported – room and pillar, sublevel and (longhole) open stoping

Artificially supported – bench and fill stoping, cut and fill stoping, shrink stoping, VCR (Vertical Crater Retreat) stoping

Unsupported – Longwall mining, sublevel caving, block caving

Fig. A – Sublevel open stoping: 광체는 ring-drilled 또는 long parallel 발파공 발파를

이용하여 분쇄한다. 채광장규모가 커질수록 큰 직경의(140~165 mm) 장공발파를 실시하며 sublevel의 간격을 40 m 에서 60 m로 늘린다. Massive하거나 급경사를 이루는 판상 광체에 적용하며 이때 경사각은 파쇄암의 안식각보다 커야한다. 광체와 모암의 강도가 커서 막장과 주변벽면, 그리고 천정이 안정적으로 유지될 수 있어야 한다. 선별채광(selective mining)은 일반적으로 곤란하다. 광체폭이 6m 이상 되어야 천공오차에 의한 채광장벽 굴착으로 인한 광체의 dilution을 피할 수 있다.

Fig. B – Sublevel caving: 광체상부 모암의 붕락이 발생한다. 상향으로의 천공 및 발파에 의해 광체와 모암의 파쇄가 발생한다. 화약소비량이 크므로 최근에는 sublevel의 간격과 drawpoint 규모를 증가시킨다. 하향식 채광이 진행됨에 따라 sublevel은 위에서부터 차례대로 제거된다. 수평 headings이 천공갱도 및 운반갱도로 사용된다. Dilution이 20% 이상인 경우에도 경제성을 가질 수 있도록 광체의 품위가 높은 급경사 광체에 적합하다. 지표의 교란정도가 큰 채광법이다.

Fig. C – Shrink (shrinkage) stoping: 수직 또는 수직에 가까운 광체에 적용한다. 파쇄광석은 작업장 플랫폼과 임시지보의 두가지 역할을 한다. 천공발파→광체인출(채취) →부석 제거 및 지보. 각 발파작업후 30~35%의 파쇄암을 채광장 하부에서 인출하는데 이는 생산성면에 있어 불리한 요소이다. 광체를 모두 발파한 이후에는 파쇄광석을 모두 인출하거나 dilution이 특정수준이상인 되기 전까지 인출한다. 광체는 산화, 가수분해, 용해, cementation 등의 특성이 없고 잘 분쇄되지 않아야 한다. 노동강도가 큰 채광법으로 sublevel stoping, VCR, cut-and-fill 채광법보다 생산성이 낮다.

Fig. D – VCR stoping: Shrink stoping이 가능하나 광체폭이 좁아(< 3m) 곤란하거나 sublevel 채광법의 적용이 어려운 경우 사용한다. 채광장에 작업자가 들어가는 대신 급경사의 장 발파공을 이용한다. 매 발파 후 다음번 발파에 필요한 공간을 만들기 위해 광체를 충분히 인출한다.

3. A flat-lying coal seam 4 m thick and 100 m below ground surface has been mined with 6.0 m rooms and 3.0 m long rib pillars, over the lower 2.5 m of the seam. The strength of square pillars, of width  $w_p$  and height  $h$ , is given by

$$S = 8.1 h^{-0.67} w_p^{0.5}$$

where  $S$  is in MPa, and  $h$  and  $w_p$  are in m. The unit weight of the overburden rock is  $25 \text{ kNm}^{-3}$ . Determine

- 1) Pre-mining vertical stress
- 2) Average axial pillar stress
- 3) Pillar strength
- 4) Safety factor

- 5) Pillar width to achieve the factor of safety of 1.6 when an extra 0.5 m of coal is stripped from the roof.

Answers:

- 1)  $P_{zz} = 100 \text{ m} \times 25 \text{ kNm}^{-3} = 2.5 \text{ MPa}$
- 2)  $\sigma_p = 2.5 \text{ MPa} \times (6+3)/3 = 7.5 \text{ MPa}$
- 3)  $S = 8.1 \times 2.5^{-0.67} \times (2 \times 3)^{0.5} = 10.74 \text{ MPa}$
- 4)  $S.F. = S/\sigma_p = 1.43$
- 5)  $1.6 = 8.1 \times 3^{-0.67} \times (2 \times W_p)^{0.5} / (2.5 \times (6 + W_p)/ W_p) \rightarrow W_p = 3.68 \text{ m}$

4. Describe three kinds of undercut strategy of the block caving method.

Answer:

Post-undercut: Conventional undercut이라고도 불리운다. Extraction level을 건설한후 undercut 을 위한 천공발파를 실시한다. Undercut을 만들기 전에 cones, drawbells, 또는 trough등의 광체인출통로를 만든다. 장점은 Undercut을 만들면 곧 광석 인출이 가능하므로 생산속도 면에서 유리하고 광석더미가 compacting 될 확률이 작다는 것이고 단점은 undercut과 extraction level 사이 암반에 높은 응력이 작용하므로 지보/보강을 필요로 한다.

Pre-undercut: Extraction level을 만들기 전에 undercut을 만든다. 선진 undercut과 extraction level 사이의 수평거리는 최소 두 층 사이의 수직거리로 설정한다 (45도 법칙). 장점은 extraction level이 de-stressed 환경에서 건설되므로 지보의 필요성이 작다는 것과 파쇄된 광석이 rock fill 역할을 한다는 것이다. 단점은 extraction level에서 broken rock이 있는 undercut level을 향하여 상향으로 굴착하여 drawbell을 만들어야 한다는 것과 ore compaction이 일어나기 쉽다는 것이다.

Advanced undercut: extraction level을 부분적으로 개발한 상태에서 undercut을 설치한다. 최근의 block and panel caving 방법으로 채택되고 있다. Post-undercut과 pre-undercut을 절충하여 속도와 안정성 면에서 이점이 있다.

5. Explain following terms

- 1) Crown holes
- 2) Chimney caving
- 3) Plug subsidence
- 4) Critical/subcritical/supercritical area
- 5) Angle of draw

Answers:

- 1) Crown holes: 천부에 위치한 폐광산공동의 상부에서 일어나는 침하의 형태로 왕관형태의 단면을 보인다.
- 2) Chimney caving: piping, funneling, 또는 sinkhole이라고도 불리며 지하공동으로부터 상부지표까지 점진적인 파괴/이동이 발생하여 생성되는 침하이다. 원통형 단면을 보인다.
- 3) Plug subsidence: 급경사의 단층이나 관입체의 영향으로 갑작스럽게 (일시에) 발생하는 chimney 침하의 일종이다.
- 4) Critical/subcritical/supercritical area: critical area란 연속형 침하에서 최대침하를 일으키는 공동의 최소폭을 가리키며 subcritical은 이보다 작은 값으로 침하의 최대값이 해당 현장에서 나타날 수 있는 최대 침하보다 작은 경우이다. Supercritical area는 critical area보다 더 큰 공동의 폭을 가리킨다.
- 5) 지하공동의 경계를 통과하는 수직선과 공동(광체층) 경계점으로부터 침하가 시작되는 지점까지이른 직선사이의 각도이다. 이 값이 작으면 strong rock을 의미한다.