

광산 갱도 주변 암반에서의 지하수 유동 평가

윤용균^{1)*}

Evaluation of Groundwater Flow through Rock Mass around Development Openings of Mine

Yong-Kyun Yoon

Abstract To design the drainage system of a mine, it is very important to evaluate the groundwater inflow to the mine workings. In this study, continuous steady state flow through rock mass around mine openings developed in Sungok area of Gagok Mine was analyzed. Saturated only model and Saturated/unsaturated model were used as material models of rock mass. Groundwater quantities flowing into Sungok 160 level which is 1216 m long are computed as $1450 \text{ m}^3/\text{day}$ in case of a saturated model and as $1071 \text{ m}^3/\text{day}$ in case of a saturated/unsaturated model. An effect that hydraulic conductivity has on inflow turned out be greater than precipitation and inflow increased linearly with increase of hydraulic conductivity. It was found that change of hydraulic conductivity ratio and orientation have an impact on the variation of inflow and water table.

Key words Drainage system, Groundwater inflow, Saturated only model and saturated/unsaturated model, Hydraulic conductivity ratio

초 록 광산 배수시스템을 설계하기 위해서는 채굴적이나 갱도 내로 유입되는 지하수량을 평가하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 가곡광산 선곡구에 개설된 갱도 주변 암반에서의 지하수 유동을 평가하기 위해서 정상류 해석을 실시하였다. 암반의 포화 특성 모델로는 포화모델과 포화/불포화모델을 사용하였다. 길이가 1216 m인 선곡 160갱내로 유입되는 지하수량은 포화모델을 사용한 경우 $1450 \text{ m}^3/\text{day}$, 포화/불포화모델을 적용한 경우 $1071 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 나타났다. 투수계수가 갱도 내 유입량 변화에 미치는 영향이 강수량 보다 큰 것으로 나타났다. 투수계수를 증가시키는 경우 유입량도 선형적으로 증가하였다. 또한 투수계비와 투수계수 방향의 변화도 유입량과 지하수위에 영향을 미치는 것으로 평가되었다.

핵심어 배수시스템, 지하수 유입량, 포화모델과 포화/불포화모델, 투수계수비

1. 서 론

지하 채굴을 통해 채광을 하는 경우 갱도나 채굴적에 유입되는 지하수를 광산 외부로 배수할 필요가 있다. 진입갱도(Adit) 상부에 있는 광체를 채굴하는 경우에는 자연배수에 의해 지하수를 배수할 수 있지만 진입갱도 하부 갱도들에서 유출되는 지하수는 유출량을 고려하여 최하부 갱도로부터 일정간격으로 집수장을 설치하

고 적정 토출량과 양정고를 갖는 펌프를 이용해 양수를 하게 된다. 강수량이 많거나 퇴적암 지층으로 이루어진 장소에 개발된 광산의 경우 갱도 내 유입량이 많은 관계로 펌프의 빈번한 가동에 따른 전기 사용이 증가하게 된다. 남아프리카공화국에서 생산된 전기의 18%를 광산에서 사용하였고, 광산에서 소비된 전기 중의 40%가 펌프 가동에 소비되었다(Rautenbach and Kleingeld, 2007). 가곡광산의 전신인 영풍광업 제2연화광업소가 가행하던 당시 생산원가 중에 전기비가 차지하는 비중이 약 25% 였으며 전기 소비의 많은 부분이 펌프 가동에 의해 발생하였을 것으로 추정된다(대한광업진흥공사, 1984, 윤용균과 조영도, 2011).

지속적인 채광작업이 유지되기 위해서는 계절적인 지

¹⁾ 세명대학교 소방방재학과 교수
* 교신저자 : yoon63@semyung.ac.kr
접수일 : 2011년 10월 6일
심사 완료일 : 2011년 10월 27일
게재 확정일 : 2011년 10월 27일

하수 유입량의 변화와 단전이나 펌프의 파손 및 돌발적인 유입량의 증대에 대처할 수 있도록 펌프시스템을 설계해야 된다. 펌프시스템을 설계하는데 있어 가장 중요한 것은 갱도 내로 유입되는 지하수량을 정확하게 평가하는 것이다(Bridgwood et al., 1983). 현지암반에서의 지하수 유동은 주로 불연속면을 통해 이루어질 것으로 예상되기 때문에 개별균열망모형을 사용하여 지하수 유동 해석을 실시하는 것이 적합하지만 개별 불연속면에 대해 각각의 물리적 특성을 부여하는 것이 어려운 관계로 실제 적용하기에는 곤란한 점이 있다. 최근 들어서는 불연속면이 분포한 대표체적에서의 등가수리전도도를 구하여 연속체해석을 통해 수리 유동을 실시하는 경우도 많아지고 있다(박정욱 외, 2008).

본 연구에서는 갱도 내로 유입되는 지하수량의 평가뿐만 아니라 갱도 주변 암반에서의 지하수 유동 특성을 해석하기 위하여 Geo-Slope사에서 개발한 SEEP/W 프로그램을 이용한 연속체해석을 실시하였다. SEEP/W는 연속체 매질에서의 유동이 층류라는 가정 하에 Darcy 법칙을 기반으로 하여 지하수 유동을 해석한다. 해석대상은 강원도 삼척시 가곡면에 위치한 가곡광산이다. 가곡광산 선곡구에 개설된 갱도망을 대상으로 해석을 실시하였으며, 지반 재료 모델로는 포화모델과 포화/불포화모델을 적용하였다. 선곡구 최하부 수평갱도인 선곡 160갱(-240 m)에 유입되는 지하수량을 평가하여 실제 양수량과 비교를 하였다. 또한 투수계수의 증가와 투수계수의 이방성 및 방향이 갱도 내 유입량 및 지하수위 변화에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 가곡광산 개요

2.1 지질구조 및 채광법

가곡광산 부근의 지질구조를 살펴보면 선캄브리아기에 생성된 화강편마암을 기저로 하여 그 상부에 양덕통의 장산규암층과 묘봉슬레이트층, 대석회암층의 풍춘석회암층, 화절층, 동점규암층 및 두무동층이 분포하며 이들을 화강반암 및 석영반암이 관입한 상태다. 광체들은 화강암의 분포와 관련이 깊으며 월곡광체, 선곡광체, 금곡광체로 이루어져 있다. 월곡광체는 화강반암과의 접촉부에 발달되었으며, 선곡광체는 화강반암의 관입방향, 풍춘석회암층과 묘봉슬레이트층 내의 석회암, 화강반암 내에 발달되어 있다. 금곡광체는 화강반암의 상반 풍춘석회암층과 묘봉슬레이트층의 석회암 내에 분포되어 있다. 채광은 45° 이상의 광체에 적용한 Shrinkage 채광법과 30° ~ 45°의 광체에 적용한 Room & pillar 채광법이 사용되었으며 주로 Room & pillar 채광법이 사

용되었다. 수평 채준(채광준비) 갱도의 크기는 2.5 × 2.5 m, 2.2 × 2.2 m이고 수직 채준 갱도의 크기는 3.0 × 1.5 m이다(대한광업진흥공사, 1983).

2.2 배수 현황

과거 영풍광업 제2연화광산으로 가행했을 당시에는 금곡구와 선곡구 내 갱내수는 수갱을 통해 기계배수 하였고, 월곡구 갱도의 갱내수는 자연배수를 하였다. Fig. 1은 광산 단면도로써 개발 갱도와 광체가 표시되어 있다.

현재 가곡광산을 재개발하기 위한 타당성 작업을 진행하면서 선곡 수갱에 차있던 갱내수를 모두 배수한 후 새로운 배수시스템을 설치한 상태이다. 0 m 상부에 있는 갱도들에서 출수되는 지하수는 모두 자연배수 하고 있고, 0 m 레벨 이하 금곡구와 선곡구 갱도들에서 나오는 갱내수는 선곡 수갱을 통해 외부로 양수하고 있다. 선곡 160갱에 설치된 150마력의 펌프(2대)의 가동시간을 보면 갈수기인 2010년 10월 13일에는 6.4시간을 가동하여 총 1382 m³/day의 갱내수를 선곡 280갱으로 양수하였으며, 많은 비가 온 2011년 5월 2일에는 11시간을 가동하여 총 2376 m³/day의 갱내수를 선곡 280갱으로 양수하였다. 펌프는 선곡 160갱 집수장(저수 용량 : 164 m³)에 설치되어 있는 데 집수장에 저수된 지하수의 높이에 따라 자동으로 작동은 하지만 가동시간이 자동 기록되지 않는 관계로 광산 관계자가 옆에서 지켜보면서 가동시간을 기록해야 하기 때문에 측정 자료가 많지 않아 그 중에서 작동시간이 가장 짧은 경우와 많은 경우를 갈수기와 우수기의 대표 측정치로 채택하였다.

3. 경계조건 및 요소망

선곡구 광체에 굴착된 갱도 내로 유입되는 지하수량을 평가하기 위하여 정상류해석을 실시하였다. 지반의 함수 특성 모델로 포화모델과 포화/불포화모델을 적용

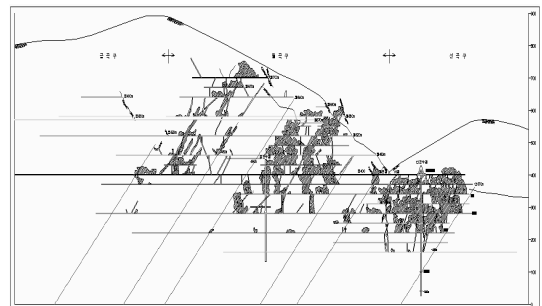


Fig. 1. Development openings and ore bodies of Gagok Mine

하였다. 포화모델은 지하수위가 지표까지 상승한 것으로 가정한다. 포화/불포화모델은 지하수면이 지중에 있는 것으로 생각하여 지하수면 상부는 불포화층으로, 지하수면 하부는 포화층으로 가정한다. 불포화층을 통해 지하수가 흐르는 경우 유동속도가 낮아지기 때문에 불포화층이 형성될 것으로 예상되는 지반에 포화모델을 적용하는 경우 유동량이 과대 평가되는 결과가 나타날 수 있다(Geo-Slope International Ltd, 2009). 해석대상 지역의 단면도와 요소망이 Fig. 2에 나타나 있다.

수리유동해석에서 가장 중요한 입력자료는 투수계수와 같은 현지 암반의 수리특성이다. 포화모델을 사용하는 경우 측정된 투수계수를 입력상수로 사용하면 되지만 불포화모델을 적용하는 경우 해석대상 지반에 대한 불포화 투수계수함수를 정의하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 SEEP/W 프로그램과 함께 제공되는 불포화 투수계수함수를 이용하였다.

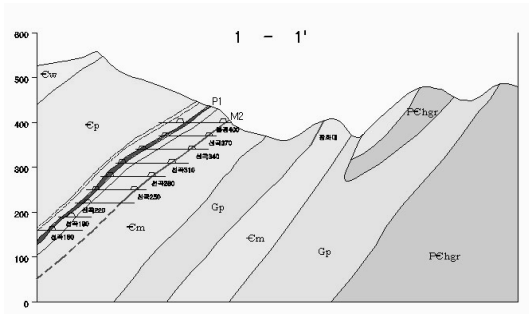
한국지질자원연구원이 월곡 400갱과 금곡 400갱 주변에서 실시한 Lugeon test 결과 석회암의 투수계수가 $2.52 \times 10^{-7} m/s$ 로 나타나 이를 입력자료로 사용하였다 (한국지질자원연구원, 2009, 2010). 경계조건으로 강수량 조건을 부여하기 위하여 가곡광산과 가장 최근거리에 있는

태백관측소의 지난 10년간(2001-2010년) 평균강수량을 조사한 결과 1349.31 mm/yr로 나타났고, SEEP/W 프로그램에서 단위를 통일하기 위하여 이를 $4.28 \times 10^{-8} m/s$ 로 환산하여 사용하였다. 물수지분석법에 따르면 강수량 중 18% 정도가 지반으로 침투하는 것으로 알려져 있기 때문에 평균강수량의 18%인 $7.7 \times 10^{-9} m/s$ 를 강수 경계조건으로 하였다. 해석영역의 좌우와 밑바닥은 No-flow 조건을 부여하였다.

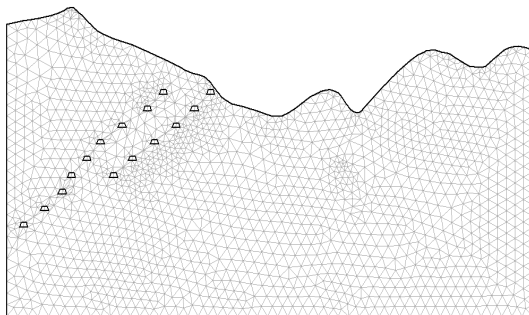
4. 해석 결과

4.1 갱도 내 유입량 평가

Fig. 3에는 포화모델과 포화/불포화모델을 적용한 경우의 지하수면과 유동벡터 분포가 표시되어 있다. 그림에서 화살표는 유동 벡터를 나타내고 크기는 10^8 배로 확대한 것이다. 포화모델과 포화/불포화모델에서의 최대유동속도는 각기 6.5×10^{-7} , $5.9 \times 10^{-7} m/s$ 로 나타났다. 유동 벡터의 방향을 보면 최하부 갱도인 선곡 160갱을 향해 지하수가 흐르고 있음을 알 수 있다. 포화모델의 경우 지하수면 상부에서도 지하수의 유동속도가 상당히 큰 것으로 나타난 반면에 포화/불포화모델의 경우에는 지하

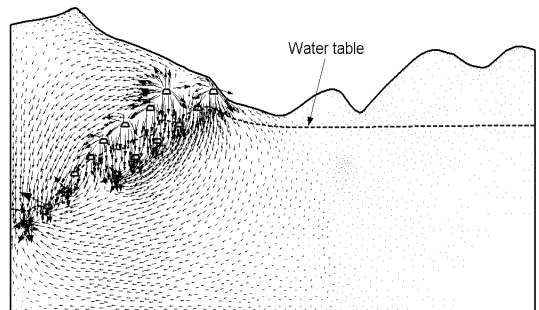


(a) Cross section

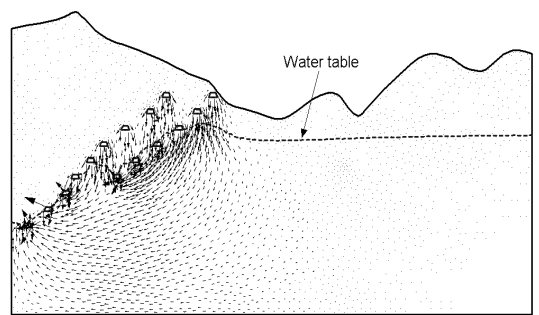


(b) Finite element mesh

Fig. 2. Cross section and finite element mesh of Sungok area



(a) Saturated model



(b) Saturated/unsaturated model

Fig. 3. Distribution of flow vector and water table

수면 상부에서의 지하수 유동이 아주 느린 것으로 나타났다. 지하수면 분포 양상을 보면 포화모델의 경우가 포화/불포화모델 보다 지하수면이 더 높게 형성됨을 알 수 있는데 이는 포화모델의 경우 유동속도가 더 커서 유동량도 더 많기 때문인 것으로 생각된다. 선곡 160갱으로 유입되는 갱내수는 포화모델의 경우 $1.38 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 이고, 포화/불포화모델의 경우 $1.02 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 인 것으로 평가되었다. 선곡 160갱의 길이가 1216 m 임을 고려하면 전 갱도 길이에 유입되는 갱내수는 포화모델 및 포화/불포화모델에 대해 각각 1450, 1072 m^3/day 이다. 우기 시에는 연속적으로 지표에서 지중으로 강수가 유입되기 때문에 포화모델을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단되고, 건기 시에는 강수가 있다 하더라도 지중의 공극을 포화시키지 않은 상태로 지하수가 유동할 것으로 예상되기 때문에 포화/불포화모델을 적용하는 것이 적절할 것으로 생각된다. 선곡 160갱에서의 양수량이 건기 시 1382 m^3/day , 우기 시 2376 m^3/day 였다는 점을 고려하면 해석결과가 실제 양수량과 차이를 보이는 것으로 나타난다. 해석결과와 실제 양수량과의 차이는 강수 경계조건과 투수계수의 차이에 발생할 수 있기 때문에 어느 요인이 해석 결과에 많은 영향을 미치는 지를 평가하는 것이 필요하다. 강수량과 투수계수가 선곡 160갱에서의 유입량에 미치는 영향을 평가하기 위하여 평균 강수량의 2배인 $1.5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ 을 강수 경계조건으로 한 경우와 투수계수를 원래의 2배인 $5.04 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 로 한 경우를 포화모델로 해석하였다. 강수 경계조건을 2배로 한 경우 유입량은 $1.40 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, 투수계수를 2배로 한 경우는 $2.74 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 나타나 강수량이 증가해도 유입량에는 별 변화가 없지만 지반의 투수계수를 증가시키는 경우 유입량 변화에 큰 영향이 나타남을 알 수 있다. 본 연구에서 사용한 투수계수는 Lugeon test를 통해 얻어진 것으로 상대적으로 공벽이 양호한 구간에서 시험을 수행하기 때문에 현지 암반을 대표하

는 투수계수 값이라 할 수 없다. 현지 암반을 대표할 수 있는 투수계수 값을 얻는 경우 실제와 유사한 해석을 수행하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

투수계수의 증가에 따른 지하수위 분포와 선곡 160갱 내로의 유입량 변화를 평가하기 위하여 투수계수를 2, 3, 4배로 증가시켜 포화모델로 해석한 결과 유입량은 각각 2.74×10^{-5} , 4.09×10^{-5} , $5.45 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ 로 나타나 유입량도 2, 3, 4배로 증가하는 것으로 평가되었다. Darcy 법칙에 따르면 유출량과 투수계수는 비례하기 때문에 투수계수를 증가시키는 경우 투수계수 증가량에 비례하여 갱도 유입량도 동일하게 증가할 것으로 예상할 수 있는데 상기 해석 결과도 Darcy법칙과 일치하는 것으로 나타났다.

4.2 투수계수의 이방성 및 방향의 영향

4.1 절에서 갱도 유입량 평가 시 투수계수가 등방성임을 가정하여 투수계수비(K_y/K_x)를 1로 하여 해석을 하였으나 현지 암반의 투수계수는 불연속면의 방향성을 따라 이방성을 나타내는 것이 일반적이다. 투수계수의 이방성이 갱도 유입량 변화에 미치는 영향을 평가하기 위하여 투수계수비를 $K_y/K_x = 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4$ 로 하여 해석한 결과가 Table 1에 표시되어 있다. 지반을 포화/불포화모델로 가정하는 경우 반복 계산에 의해 해를 구하는 관계로 투수계수비 변화의 영향이 감소될 수 있어 지반을 포화모델로 가정하여 해석을 실시하였다. 투수계수비를 감소시킬 때와 증가시킬 때의 영향을 동일한 기준에서 비교하기 위하여 기준 투수계수는 $2.52 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 로 하였다. 예를 들면 $K_y/K_x = 1/4$ 과 $K_y/K_x = 4$ 인 경우 $K_x \times K_y$ 는 동일한 값을 갖도록 하여 유입량에 미치는 영향이 수직방향 투수계수가 크지 아니면 수평방향 투수계수가 크지를 평가하였다. Fig. 4를 보면 투수계수비가 1보다 작아질 때나 커질 때 유입량이 증가하는 것으로 나타났으며 증가 정도는 거의 선형

Table 1. Hydraulic conductivity ratio and quantity of groundwater flowing into Sungok 160 level

K_y/K_x	K_x (10^{-7} m/s)	K_y (10^{-7} m/s)	Inflow ($10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$)
1/4	4×2.52	2.52	2.43
1/3	3×2.52	2.52	2.18
1/2	2×2.52	2.52	1.85
1	2.52	2.52	1.38
2	2.52	2×2.52	1.98
3	2.52	3×2.52	2.41
4	2.52	4×2.52	2.77

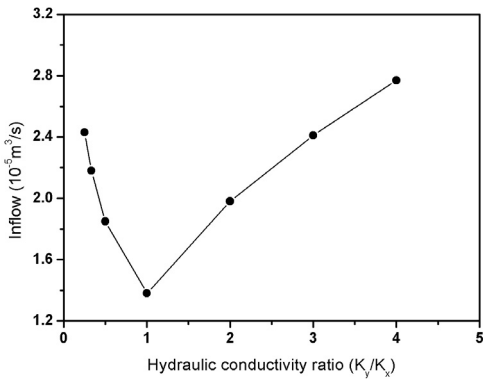


Fig. 4. Change of inflow with hydraulic conductivity ratio

성을 나타낸다. 그림을 보면 투수계수비가 1보다 커질 때 1보다 작을 때보다 유입량의 증가 정도가 더 큰 것으로 나타났다. 이로부터 수직방향 투수계수가 큰 경우가 수평방향 투수계수가 큰 경우 보다 갱도 유입량에 더 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. Fig. 5에는 투수계수비의 변화에 따른 지하수위의 변화가 나타나 있다. 투수계수비가 1일 때의 결과는 Fig. 3(a)에 표시되어 있기 때문에 Fig. 5에는 나타내지 않았다. 그림을 보면 투수계수비가 증가함에 따라 대체적으로 지하수위가 증가하는 것으로 나타나지만 갱도가 있는 부분과 갱도가 없는 우측 지역과는 변화 양상이 다름을 알 수 있다. 투수계수비가 낮을수록 갱도가 있는 부분의 지하수

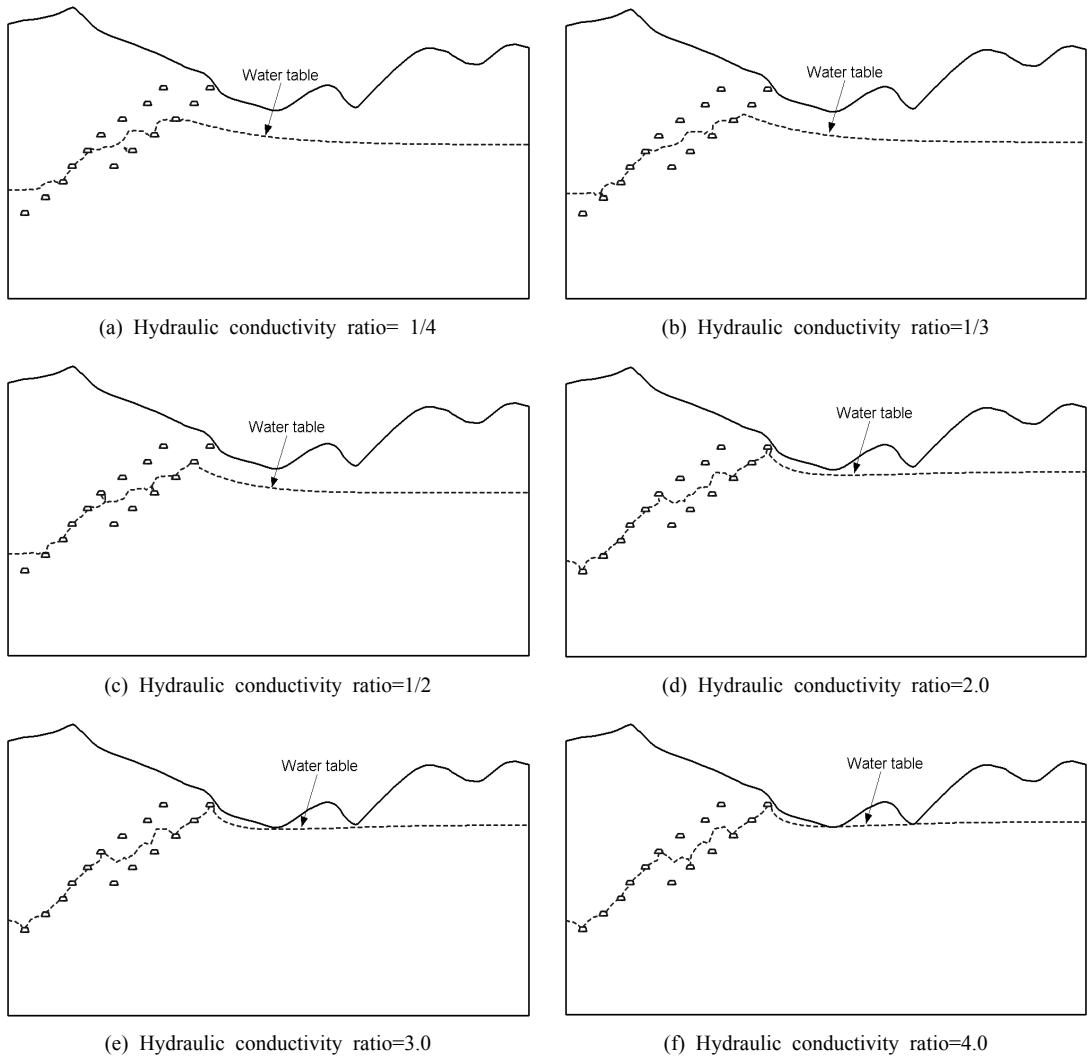


Fig. 5. Variation of water table according to change of hydraulic conductivity ratio

위는 전반적으로 높으며 반대로 갱도가 없는 우측 부분의 지하수위는 낮다는 것을 알 수 있다. 투수계수비가 커지는 경우 반대의 경향을 나타낸다.

상기의 해석에서는 주절리의 방향이 전체좌표계와 평행한 것으로 가정하여 K_x 의 경사가 0° 인 것으로 해석을 했지만 실제적으로는 절리의 방향이 전체좌표계와 일정한 경사를 이루는 경우가 일반적이라 할 수 있다. 투수계수비를 1로 하는 경우 투수계수의 방향에 따른 영향을 받지 않고 갱내 유입량이나 지하수위가 일정하게 나타나기 때문에 투수계수비를 4로 하고 포화모델 해석을 실시하였다. 수평방향 투수계수가 시계반대방향으로 20° , 40° , 60° , 80° 경사진 것으로 하여 해석한 결과 선곡 160갱내로의 유입량은 각기 2.18×10^{-5} , 1.82×10^{-5} , 1.73×10^{-5} , $2.10 \times 10^{-5} m^3/s$ 로 나타났다. 투수계수의 방향이 0° 에서 60° 로 증가함에 따라 갱도 내 유입량은 감소하지만 경사가 90° 로 증가함에 따라 다시 유입량이 증가하는 양상을 나타내는 해석 결과는 주절리의 경사에 따라 절리암반의 유동특성이 달라진다는 윤용균(2010)의 연구결과와 일치한다. Fig. 6에는 투수계수 방향의 경사에 따른 지하수위와 유선의 분포 변화가 나타나 있다. 그림에서 실선은 유선을 나타낸다. 경사가 커질수록 지하

수위가 낮아지는데 이는 경사가 커질수록 수직방향 투수계수가 수평방향으로 향하여 투수계수비가 1보다 작은 경우와 유사한 결과를 나타낸다고 할 수 있다. 유선의 경우 경사가 커질수록 유선의 연장이 길어짐을 알 수 있다.

5. 결론

재개발 가능성을 평가하기 위하여 탐사와 배수를 진행하고 있는 가곡광산에 대해 수리유동 해석을 실시하였다. 선곡수갱을 통해 배수를 하고 선곡갱도에 펌프가 설치되어 있는 관계로 선곡구 갱도망을 해석대상으로 하였다. 연속체 해석 프로그램을 이용하여 해석하였으며 지반 유동 모델로는 포화모델과 포화/불포화모델을 적용하였다. 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 선곡160갱 전 갱도 길이에 유입되는 지하수량은 포화 모델 및 포화/불포화모델에 대해 각기 1450, 1072 m^3/s 로 나타났다.
2. 강수량보다는 지반의 투수계수가 갱도내로의 유입량에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, Darcy

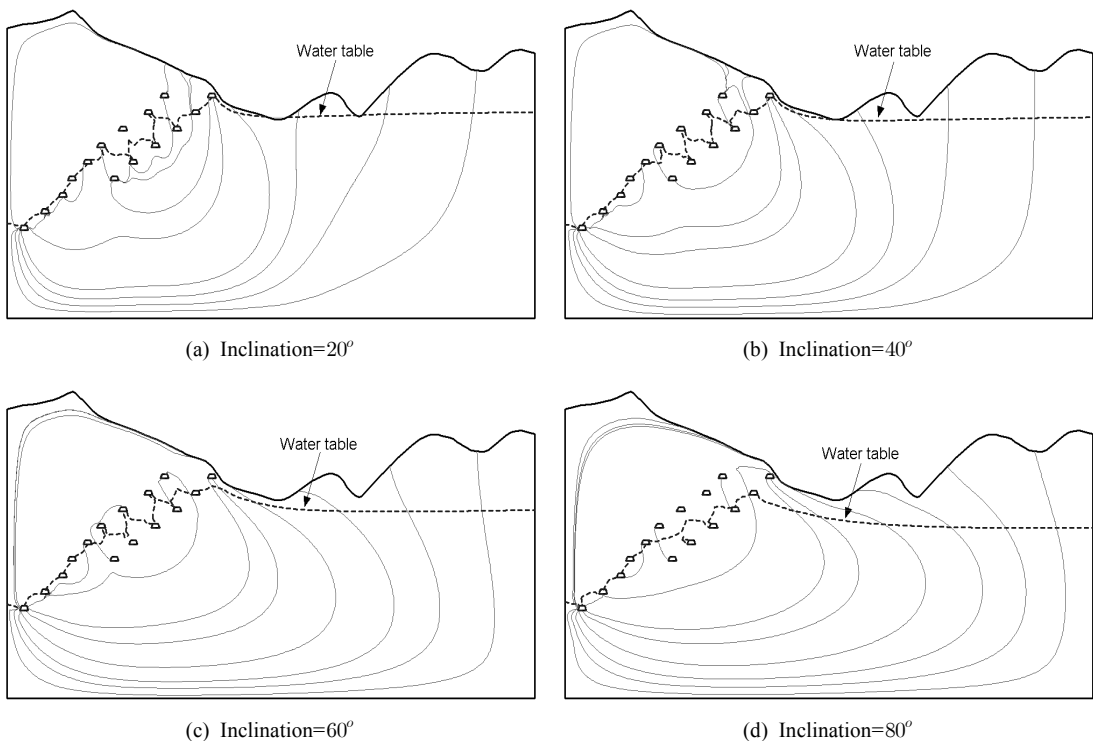


Fig. 6. Changes of water table and flow path with inclination of hydraulic conductivity field

법칙에 따라 투수계수가 증가함에 따라 유입량도 선형적으로 증가하였으나 지하수위는 하강하는 것으로 평가되었다.

3. 투수계수비(K_y/K_x)를 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4로 변화시켜 해석한 결과 투수계수비가 1보다 큰 경우가 1보다 작은 경우보다 갱도 내 유입량이 더 큰 것으로 나타나 수직방향의 투수계수가 수평방향의 투수계수보다 유입량 변화에 많은 영향을 미치는 것으로 해석되었다.
4. 투수계수비가 1인 경우 투수계수의 방향이 갱도 내 유입량 변화에 영향을 주지 않는 것으로 나타났으나, 투수계수비를 4로 하여 갱도 내 유입량 변화에 미치는 영향을 평가한 결과 수평방향 투수계수의 방향이 0°에서 60°로 증가함에 따라 유입량이 감소하였으며 60°에서 90°로 증가함에 따라 다시 증가하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 대한광업진흥공사, 1984, 제2연화광산 광산평가조서, 대한광업진흥공사, pp. 6-8.
2. 박정욱, 손봉기, 이정인, 송재준, 2008, 불연속 암반에서의 터널굴착에 따른 지하수체계 변화에 대한 수치해석적 연구, 터널과 지하공간(한국암반공학회지) 18.1, pp. 44-57.
3. 윤용균, 2010, GSI 및 절리의 방향이 수리전도도 변화에 미치는 영향, 터널과 지하공간(한국암반공학회지) 20.3, pp. 225-232.
4. 윤용균, 조영도, 2011, 갱도 주변 지하수 유동 해석, 2011 한국암반공학회 추계 총회 및 창립 30주년 기념 심포지엄, pp. 137-140.
5. 한국지질자원연구원, 2009, 가곡광산 암반조사를 위한 시추공사 및 지반조사, 한국지질자원연구원, pp. 9-10.
6. 한국지질자원연구원, 2010, 가곡광산 암반조사를 위한 시추공사 및 지반조사, 한국지질자원연구원, pp. 8-9.
7. Bridgwood, E.W., R.N. Singh and A.S. Atkins, 1983, Selection and optimization of mine pumping system, Int. J. Mine Water 2.2, pp. 1-19.
8. Geo-Slope International Ltd, 2009, Seepage modeling with Seep/W 2007, Geo-Slope International Ltd, pp. 75-76.
9. Rautenbach, J.W. and M. Kleingeld, 2007, Engineering a novel automated pump control system for the mining environment, Ph. D. Dissertation, North West University.

윤용균



1985년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1987년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 1992년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학박사

Tel: 043-649-1318

E-mail: yoon63@semyung.ac.kr

현재 세명대학교 소방방재학과 교수