

지하침출용액이동과정모의를 위한 한가지 방법

최 광 우

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학연구기관들에서는 지질탐사에 대한 기초과학리론을 더욱 완성하며 지구화학탐사를 비롯한 앞선 탐사방법을 받아들이는데 필요한 현대과학리론을 깊이 연구하여 현장일군들의 실천활동에 도움을 주어야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제14권 507페이지)

지하침출에 의한 광물채취는 투자가 적게 들고 생산원가가 적으며 지표환경오염이 적은것으로 하여 우리 나라와 세계 여러 나라들에서 연구사업이 광범히 진행되고있다.[1, 3]

논문에서는 지하침출에 의한 광물채취에서 중요한 침출용액이동과정에 대한 수학모형을 연구하고 각이한 지질조건에서 침출용액의 이동과정을 모의하였다.

1. 지하침출용액이동과정에 대한 수학모형

지하침출과정은 주수추공을 통하여 침출용액이 지하로 주입되어 광석과 화학반응을 일으키도록 하고 반응산물이 취수추공을 통하여 지표로 배출되는 과정이다.

주수추공을 통하여 주입되는 침출용액(류산용액)의 함수함광층에서 이동방정식은 다음과 같다.[1]

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} = \theta \left(\frac{\partial(C \cdot v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(C \cdot v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(C \cdot v_z)}{\partial z} \right) - \theta \left(D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) + f_c$$

여기서 $C = C(x, y, z, t)$ 는 지층속에서 류산의 농도, θ 는 지층의 공극도, D_x, D_y, D_z 는 각각 x, y, z 방향에서 류산의 대류확산계수, $f_c = f_c(x, y, z, t)$ 는 주수 또는 취수추공에서 침출용액의 농도이다. 그리고 v_x, v_y, v_z 는 x, y, z 방향에서 침출용액의 흐름속도로서 다음과 같이 표시된다.

$$v_x = k_{xx} \frac{\partial H}{\partial x}, \quad v_y = k_{yy} \frac{\partial H}{\partial y}, \quad v_z = k_{zz} \frac{\partial H}{\partial z}$$

여기서 $H = H(x, y, z, t)$ 는 함수층의 수두이며 k_{xx}, k_{yy}, k_{zz} 는 각각 x, y, z 방향에 따르는 투과계수이다.

함수함광층에서 침출용액의 흐름은 다음과 같이 표시된다.

$$S_s \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial H}{\partial z} \right) - W$$

여기서 W 는 주수 및 취수추공에서 침출용액의 흐름량이다.

2. 지하침출용액이동과정모의

지하침출용액의 이동과정모의단계는 다음과 같다.

① 추공자료에 기초하여 함수함광층의 상반 및 하반위치와 광체상반 및 하반의 형태를 3차원적으로 결정한다.

② 주수 및 취수추공을 설정하고 러파기의 웃면과 밑면깊이, 침출용액의 흐름속도를 입력한다.

③ 3차원지층 및 광체모형작성결과를 3차원살창모형으로 변환하고 정수위자료, 매 추공에서 침출용액의 흐름속도, 계차방정식풀이방법들을 설정한다.

④ 흐름모의체계[2]를 리용하여 추공들에서 침출용액의 흐름특성을 평가한다.

⑤ 광체에 대한 류산용액의 적심도를 평가한다.

지하침출과정모의에서 중요한것은 광체에 대한 류산용액의 적심도를 평가하는것이다. 적심도란 주수량에 비하여 취수량이 많은 조건에서 침출용액에 의한 총적심면적과 광체적심면적의 비를 말한다. 적심도는 침출률에 큰 영향을 미치는데 추공배치가 합리적인가 그렇지 않은가를 결정하는 중요한 지표의 하나이다.

우리는 지하침출용액이동과정모의단계에 기초하여 모형계산실험을 하였다.

먼저 9개 추공자료에 기초하여 지층모형을 작성하였다.(그림 1)

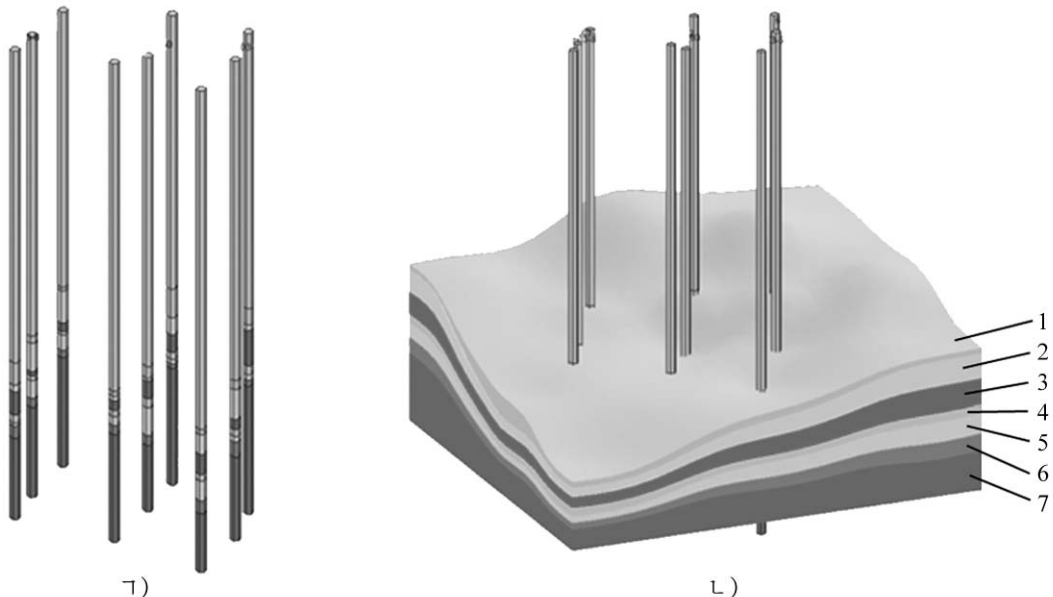


그림 1. 추공(Γ)과 지층모형작성결과(L))

1—니암층, 2—1번 사암층, 3—1번 광체, 4—분사암층, 5—2번 사암층, 6—2번 광체, 7—화강암층

다음으로 주수 및 취수추공을 설정하고 러파기의 웃면과 밑면깊이, 침출용액의 흐름속도자료들을 입력하였다. 이때 지층의 특성을 고려하여 9개의 추공에 설치할 러파기들을 표와 같이 설계하였다.

표. 러파기설계결과

| 추공 번호 | 지표면 해발높이/m | 상부층의 두께/m | 러파기 아웃 깊이/m | 러파기 밀면 깊이/m | 함수층 두께/m | 추공설정 |
|----------|---------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------|------|
| 1 | 41.84 | 36.9 | 4.94 | -20.96 | 25.90 | 주수추공 |
| 2 | 44.56 | 50.1 | -5.54 | -31.74 | 26.20 | 주수추공 |
| 3 | 45.26 | 44.9 | 0.32 | -24.64 | 24.95 | 주수추공 |
| 4 | 47.33 | 62.2 | -14.87 | -40.47 | 25.60 | 주수추공 |
| 5 | 49.41 | 76.8 | -27.35 | -52.39 | 25.04 | 취수추공 |
| 6 | 52.42 | 72.1 | -19.68 | -45.28 | 25.60 | 주수추공 |
| 7 | 54.05 | 82.0 | -27.95 | -53.75 | 25.80 | 주수추공 |
| 8 | 56.29 | 88.6 | -32.31 | -58.01 | 25.70 | 주수추공 |
| 9 | 61.74 | 100.1 | -38.34 | -64.66 | 26.32 | 주수추공 |

우리 나라의 지질학적조건들을 고려하여 세가지 경우의 모형계산실험을 진행하였다.

먼저 지하침출의 표준조건에 맞게 상반에 불투수층이, 하반에 순수한 화강암이 놓여있는 경우 침출용액은 광체구역을 충분히 적시면서 취수추공으로 이동한다.(그림 2의 ㄱ))

다음으로 풍화작용을 받은 화강암 즉 러파결수가 큰 화강암들이 존재하는 경우 침출용액은 광체를 충분히 적시지 못하고 화강암쪽으로 이동한다.(그림 2의 ㄴ))

또한 광체구역에 니질사암들이 많이 분포되어 침출용액이 연속적으로 이동되지 못하는 경우를 고려하여 1번 광체구역과 화강암층의 러파결수를 작게 주고 모형계산실험을 한 데 의하면 침출용액은 1번 광체층의 일부 구역들을 적시지 못하고 화강암쪽으로 이동하므로 2번 광체도 역시 충분히 적시지 못한다.(그림 2의 ㄷ))

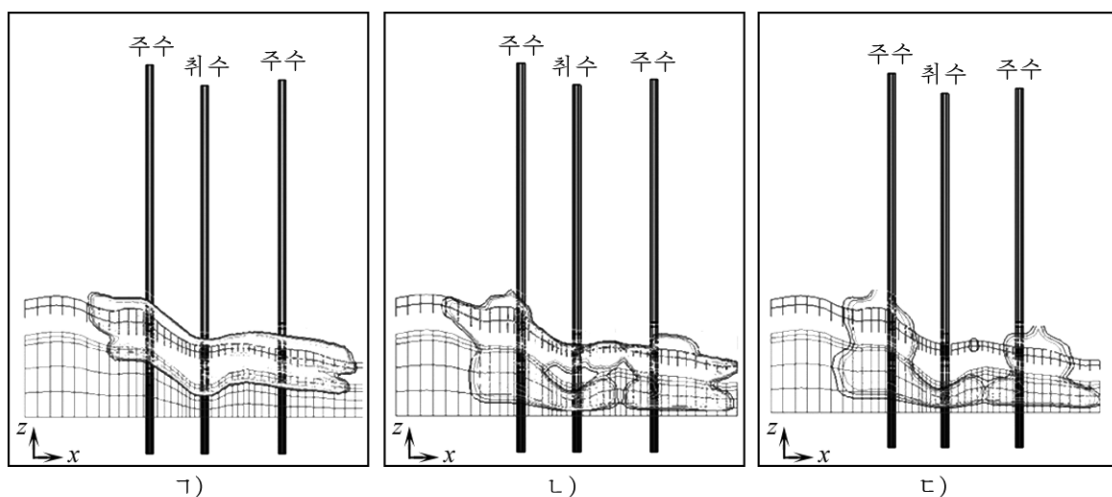


그림 2. 각이한 조건에서 지하침출용액이동과정

- ㄱ) 불투수층과 순수한 화강암이 있는 경우, ㄴ) 풍화작용을 받은 화강암이 존재하는 경우,
ㄷ) 풍화화강암과 1번 광체에 니질사암층이 끼은 경우

그러므로 지하침출을 진행하려는 구역의 심부지질특성을 정확히 평가하고 모형계산실험을 진행한 다음 주수 및 취수추공들에 러파기들을 합리적으로 설계배치하여야 한다.

맺 는 말

1) 지하침출에 의한 광물채취에서 침출용액이동과정에 대한 수학모형과 모의단계를 설정하였다.

2) 함수함광층의 지질학적특성에 따라 지하침출용액의 이동과정이 변화되므로 추공력 파기들을 합리적으로 설계하여야 한다.

참 고 문 헌

[1] 문경숙 등; 원자력, 2, 29, 주체103(2014).

[2] A. Borgia; Computer & Geosciences, 37, 11, 783, 2011.

[3] 姜岩; 铀矿冶, 24, 13, 124, 2005.

주체105(2016)년 2월 5일 원고접수

A Method for the Migration Process Simulation of in-situ Leaching Solution

Choe Kwang U

In this paper, I established the mathematical model and simulation step for the migration process of in-situ leaching solution.

The computational experiment was evaluated by the 3D modeling, design of injection and intake wells, simulation of migration process and wettability.

I implemented computational experiments for three cases; hanging and foot walls are blocking layer, foot wall is not a blocking layer and inner ore bearing aquifer is not connected.

Key words: in-situ leaching, mathematical model, computational experiment