

## 임기광산 폐석적치장의 수리침투특성 분석

지상우, 정영욱, 임길재

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (swji@kis.kigam.re.kr)

### <요약문>

This study was carried out to plan the prevention of the generation and discharge of acid mine drainage (AMD). Hydraulic characteristics were tested with the disk tension infiltrometer around the waste rock dump of the Imgi abandoned pyrophyllite mine in Busan, Korea. Because the waste rock dump of the Imgi mine have very low infiltration rate, most of rain was expected flowing into adjoined stream through the slope or plane as surface flow rather than throughflow or ground water. But slopes of the waste rock dump have many "V" type erosion gullies and consist multi-layers. These gullies and multi-layers have coarse clastic particle layer which have very large hydraulic conductivity. So through these coarse clastic particle layers a large part of rain flow into ground. And also these layers could be played a function of aeration path, which induced oxidation of sulfide minerals and generation of AMD continuously.

**key words** : pyrophyllite mine, waste rock dump, AMD, infiltration

### 1. 서론

본 연구는 부산광역시 소재 폐납석광산인 임기광산에 의한 산성광산배수(acid mine drainage)의 피해를 차단하기 위한 연구의 일환으로 임기광산 폐석적치장 주변에 대해 디스크-장력침투계(Disk tension infiltrometer)를 이용하여 수리특성을 분석하였다. 연구결과로 제시되는 오염원이 되는 폐석적치장 주변의 수리특성은 임기광산에 의한 수질 및 토양오염 정화시설 또는 오염방지시설의 적용을 위한 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

### 2. 임기광산 일반현황

임기광산은 행정구역상 부산광역시 기장군 철마면 임기리에 위치하며, 1980년부터 가행되다가 1992년에 폐광되었다. 광산면적은 4ha(40,000m<sup>2</sup>)로 노천광 형태로 채굴되었다. 산출되는 납석의 형태는 Muscovite(sericite)로 구성된 sericite type의 납석이다(대한광업진흥공사, 1988). 현재 임기광산의 폐석적치장은 크게 두 부분으로 구분된다. 폐석적치장 기저부 측면에 소하천이 흐르고 있고, 소하천 상류쪽의

폐석적치장 A는 단의 구분이 없이 채광장 직하부 부근에 위치하고 있으며, 풀이 많이 자라고 있었다. 폐석적치장 B는 6개의 소단으로 적치되어 있으며, 중화를 위해 중간중간 석회를 살포하여 백색의 석회분이 육안으로 관찰된다. 폐석적치장 하단에서 각각 침출수가 발생하여 소하천으로 흐르는데 폐석적치장 A에서는 유량이 매우 작고 비온 직후에만 흐르며, 폐석적치장 B에서는 유량의 변화는 있지만 꾸준히 침출수가 흐른다. 또한 광산과 하천의 경계부인 옹벽에서 폐석적치장 A가 끝나는 곳과 폐석적치장 B가 끝나는 곳에서 각각 침출수가 유출되고 있다. 이 중 하천의 수질에 크게 영향을 주는 것은 폐석적치장 B의 옹벽에서 유출되는 침출수로 판단된다. 임기광산을 포함하는 집수역 수계는 수영강과 합류 후 최종적으로 부산시의 식수원인 회동저수지로 유입되므로 부산시 상수원의 보호차원에서 중요한 집수역에 해당된다.

### 3. 디스크-장력 침투계를 이용한 침투 시험

디스크-장력 침투계는 강수에 의해 직접적으로 영향을 받는 지표부근의 불포화대의 수리특성을 추정하기 위해 고안된 것이다(White and Sully, 1987; Hussen and Warric, 1993). 이 시험을 통해 불포화수리전도도, 포화수리전도도, 토양의 미세공극 모세관 길이, 수확도(sorptivity)를 구할 수 있다. 임기광산 폐석적치장 A는 복토 및 식재로 구성되어 있고 침출수량이 미미하다. 폐석적치장 B는 폐석자체가 노출되어 산성배수 발생 및 오염부하가 상대적으로 폐석적치장 A에 비해 크다. 따라서 침투시험은 주된 오염원으로 작용하는 폐석적치장 B에서 이루어졌다. 침투계는 미국 SMS사의 Disk type tension infiltrometer로 disk의 직경은 20cm이다. 침투시험을 수행한 지점은 폐석적치장 B의 하단, 폐석적치장 B의 제 1 소단과 제 3 소단, 그리고 오염침출수가 최종으로 하천에 유입되는 경로로 판단되는 침출수 유출지점의 상부 4개 지점이다(Fig.1).

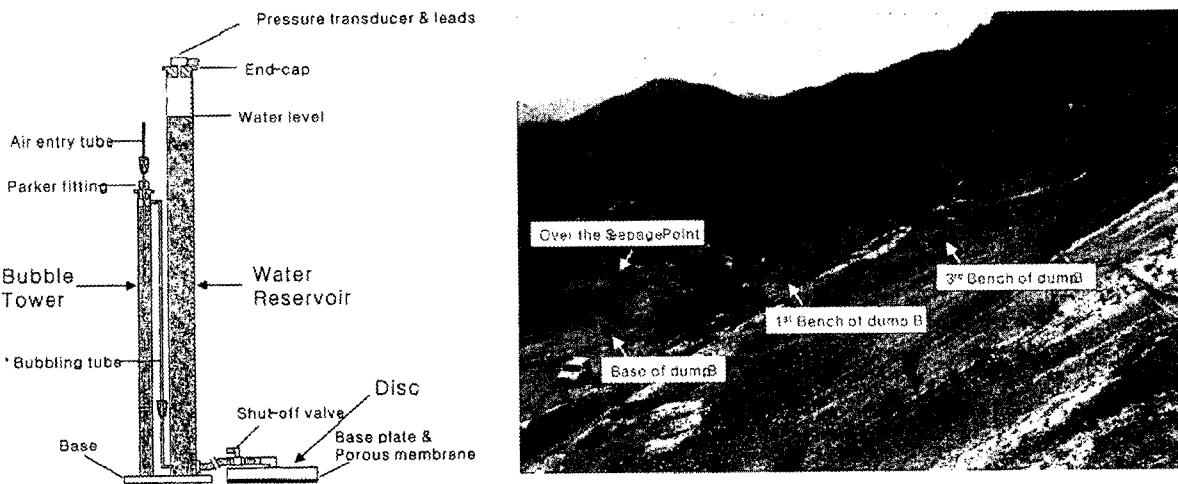


Fig. 1. Site of the tension infiltration test in the waste rock dump B of the Imgi abandoned pyrophyllite mine.

### 4. 임기광산 폐석적치장 표면 수리 특성

Fig. 2는 시간에 따른 누적침투량을 나타낸 것으로 장력별 침투량을 이용해서 Table 1과 같은 수리특성 자료를 얻을 수 있다. 이 경우 장력에 따라 조금씩 차이가 나게 계산되므로 구해진 자료는 최소값

과 최대값의 범위로 제시하였다. 또한 서로 다른 지역간에 침투율을 비교하기 위해서 장력(h)을 -10cm로 했을 때의 값으로 표현하였다. Fig. 3은 장력에 따른 침투량과 best-fitting curve를 나타낸 것으로 구해진 회귀선을 이용하여 포화수리전도도( $K_{sat}$ )와 모세관길이( $\lambda$ )를 구할 수 있다(Table 2).

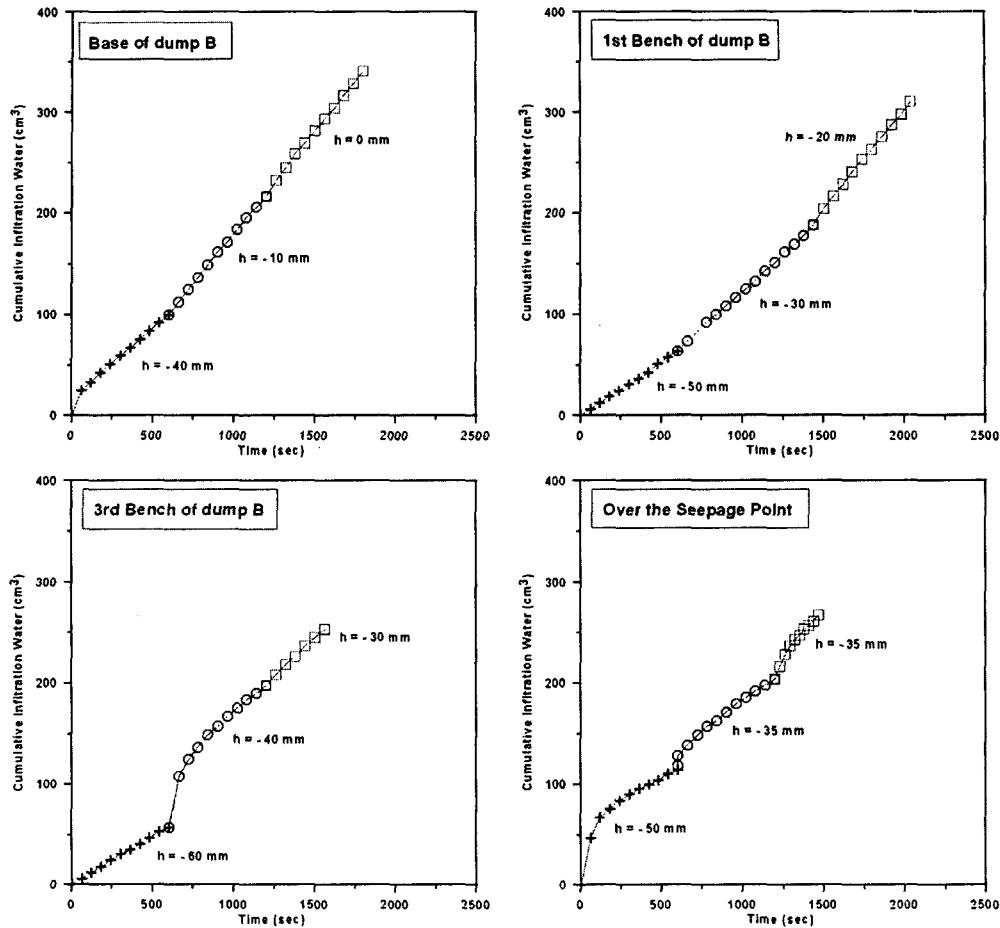


Fig. 2. Cumulative infiltration water quantities with time

Table 1. Hydrological factors obtained from methods of infiltration water with different tensions.

	$\lambda_c = a^{-1}(\text{cm})$	$K_{sat}(\text{cm}/\text{sec})$	Infiltration rate (cm/sec) at $h = -10 \text{ cm}$
Base of dump B	156.90 (95.69 ~ 218.12)	3.34E-05 (1.87E-05 ~ 4.84E-05)	3.10E-05 (1.79E-05 ~ 4.36E-05)
1st Bench of dump B	48.21 (33.14 ~ 63.04)	6.27E-05 (4.04E-05 ~ 1.27E-04)	5.35E-05 (3.45E-05 ~ 9.42E-05)
3rd Bench of dump B	79.88 (54.85 ~ 104.92)	4.20E-05 (2.22E-05 ~ 6.31E-05)	3.66E-05 (2.02E-05 ~ 5.25E-05)
Over the Seepage Point	31.02 (28.23 ~ 33.80)	9.55E-05 (6.58E-05 ~ 1.40E-04)	6.90E-05 (4.89E-05 ~ 9.83E-05)

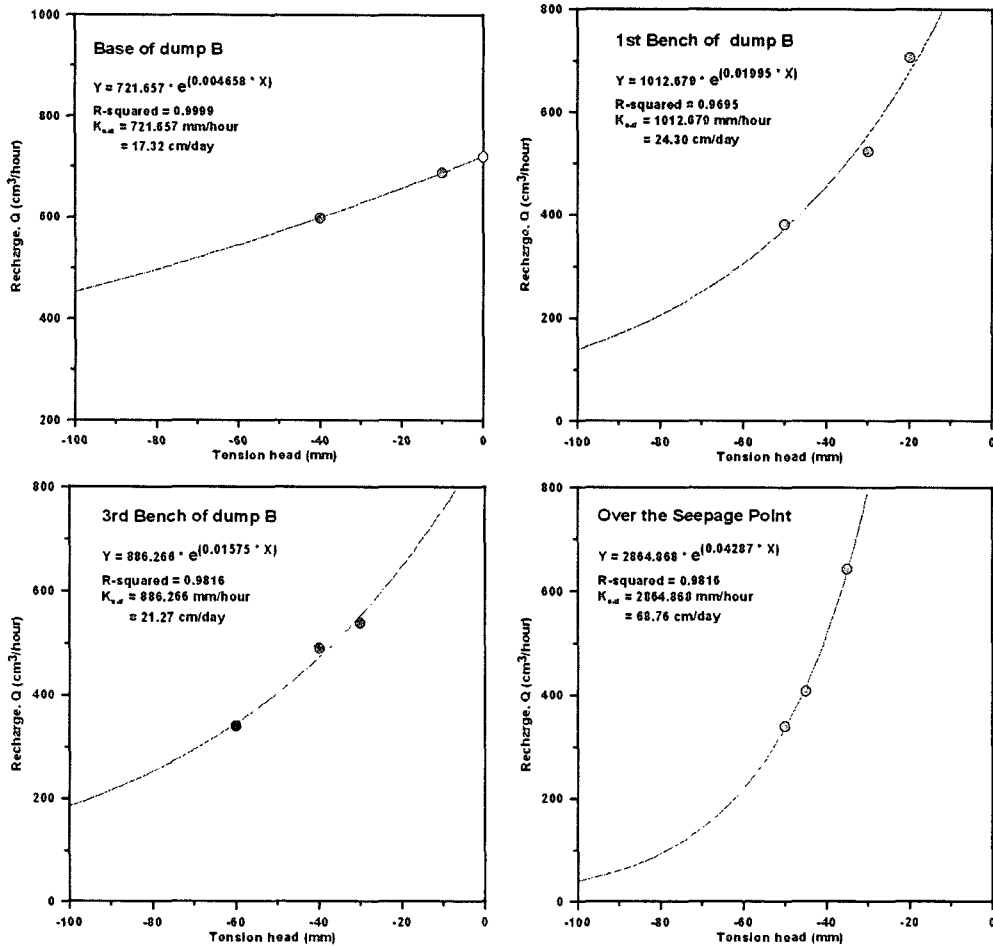


Fig. 3. Best-fitting curves of tension infiltration for calculation of Ksat.

Table 2. Hydrological factors obtained from the regression.

	$\lambda_c = a^{-1}(\text{cm})$	$K_{sat}(\text{cm/sec})$	Infiltration rate (cm/sec) at $h = -10 \text{ cm}$
Base of dump B	7.88	2.00E-04	5.63E-05
1st Bench of dump B	7.97	2.81E-04	8.03E-05
3rd Bench of dump B	7.95	2.46E-04	7.00E-05
Over the Seepage Point	8.12	7.96E-04	2.32E-04

임기광산의 폐석적치장은  $2.00e^{-0.4} \sim 2.81e^{-0.4} \text{ cm/sec}$ 로 silt loam~loam의 특성을, 침출수 유출지점 상부는  $7.96e^{-0.4} \text{ cm/sec}$ 로 sandy loam의 특성을 갖는 매우 낮은 투수성을 보인다(Brain, 2004). 이는 임기광산에 내리는 강우가 폐석적치장 표층이 매우 낮은 투수성을 보유한 관계로 대부분이 침투류 보다는 표층수 형태로 경사지 및 평지를 통해 인근하천으로 유하함을 의미한다. 그러나 현재 광산 폐석적치장 법면부는 심한 침식작용을 받아서 V자 형태의 침식골이 무수히 발달되어 있고, 단면에서 입자가 큰 쇄설 입자 층(C)과 작은 쇄설 입자 층(F)이 교호하는 multi-layer 구조를 형성하고 있다(Fig. 4). 이러한 굵은 쇄설성 입자층의 노출은 강우의 침투 및 침출수의 유동에 가장 큰 지배요소로 작용할 뿐만 아니라 공기의 이동 경로가 되어 폐석적치장 내에 포함된 황화광물의 지속적인 산화작용을 유발시키는 원인으로 작용할 것이다.

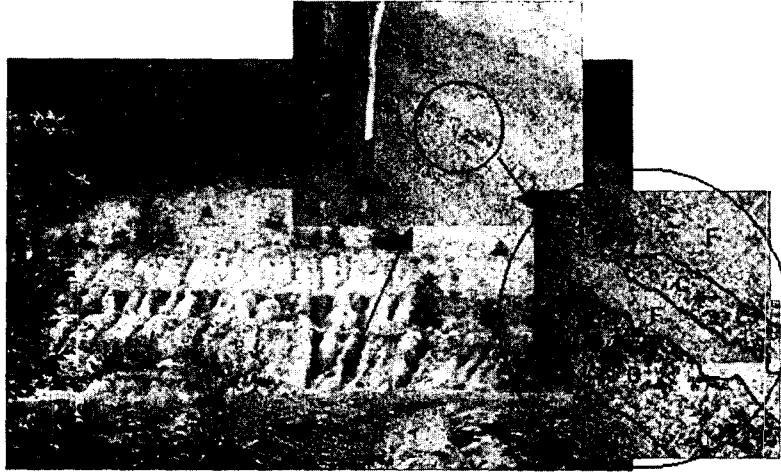


Fig. 4. "V" type erosion gullies and multi-layers of waste rock dump. F : fine grain layer, C : coarse grain layer.

## 5. 결론

본 연구에서는 산성광산배수의 생성 및 유출을 방지하기 위한 복토설계의 기초 자료를 얻기 위한 연구의 일환으로 부산광역시 소재 임기광산 폐석적치장 주변에 대해 디스크-장력침투계를 이용하여 수리특성을 분석해 보았다.

임기광산의 폐석적치장은 매우 낮은 침투율을 갖고 있으나 심한 침식작용으로 V자형 침식골이 무수히 발달되어 있고 입자가 큰 수리전도도가 큰 쇄설성 입자가 노출되어 있다. 즉 대부분의 강우가 표면으로 runoff되지만 일부는 침식골의 굽은 쇄설성 입자층을 통해서 지하로 스며들어 지속적인 산성광산 배수를 유출시키고 있다. 따라서 강우에 의한 폐석적치장 내부로 물이 침투되는 경로 및 폐석적치장 응벽부근에서 유출되는 산성광산배수량은 침식지역의 투수특성에 크게 영향을 받을 것으로 판단된다.

## 6. 참고문헌

대한광업진흥공사, 한국의 광상 11호, 1988

Brain, O., Soils, Infiltration, and On-site Testing, <http://www.webdesignpros.net/consult/>, 2004

Hussen, A.A and Warric, A.W., Alternative analysis of hydraulic data from disc tension infiltrometers, Water Resour. Res., Vol.29, pp.4103-4108, 1993

White, I. and M.J. Sully, Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from field infiltration, Water Resour. Res., Vol.23, pp.1514-1522, 1987