

댐체 강화 RIM부 그라우팅을 위한 지반상태 기준 결정

한기승* · 이동혁** · 박두희***

Han, Kiseung*, Lee, Donghyuk**, Park, Duhee***

Determining of Ground Condition Criteria for Dam Reinforced RIM Grouting

ABSTRACT

Dam slope RIM is a highly important contact interface where the main body and the base surface are connected. In general, when the grouting for the slope of the dam structure is designed, it is planned using limited data (drilling, geological map, etc.). This makes it very difficult to accurately consider the original ground characteristics of the slope RIM grouting target. In addition, when the grouting volume planned during the design is drilled and injected into the original ground where the waterstop is secured, there is a possibility that the original ground with the waterstop is disturbed and the effect of the waterstop is rather diminished. In order to overcome such problems, it is more suitable to first consider geological conditions and determine whether to perform optimal grouting on the original ground through on-site repair tests before performing RIM grouting. In this paper, to determine the grouting of the RIM unit, a pilot hole water pressure test was performed on the rock of the slope in the target section. The analysis shows grouting volume of 1 Lugeon or less, and the cement injection amount also shows the injection result of 1 kg/m or less. In this case, performing grouting is rather counterproductive. This result can be evaluated through a rock of which some degree of order of mass is secured, as it is a dam design standard of 1 Lugeon or less when analyzed, using the results of visual observation and geological map creation during slope cutting. Therefore, in conclusion, it is preferable to make the decision for using RIM grouting on the slope of the dam body structure, based on 1 Lugeon in a rock state, and the cement injection amount also at 1 kg/m.

Key words : RIM, Ground waterproof, Grouting, Water pressure test, Pilot hole, lugeon test

초 록

댐체 구조물 사면부(RIM부)는 본체와 원지반이 접촉하는 매우 중요한 접촉부(interface)이다. 일반적으로 댐 구조물 사면부 지반보강을 위한 그라우팅 설계시 제한된 자료(시추공, 지질도 등)를 이용하여 계획하기 때문에 사면부 RIM 그라우팅 대상 원지반 특성을 정확하게 고려하여 설계하기는 매우 어려운 실정이다. 또한, 실제 차수성이 확보된 원지반에 설계시 계획된 그라우팅 물량을 천공 주입할 경우에는 차수성이 확보된 원지반이 교란되어 차수효과를 오히려 저해할 가능성도 있다. 이를 극복하기 위해서는 구조물 사면부(RIM) 그라우팅 수행 전에 지질여건을 우선적으로 고려하고 현장수리시험을 통하여 원지반에 대한 최적의 그라우팅을 실시여부를 결정하는 것이 기초처리 대상 지반의 차수성 확보에 매우 적합하다고 판단된다. 본 논문에 적용된 RIM부 그라우팅 판단여부를 결정하기 위하여 대상 구간의 사면구간 암반에 대하여, 파일럿 홀(Pilot hole) 수압시험 수행 분석결과 1 Lugeon 이하의 차수성을 나타내며, 시멘트 주입량 역시 1 kg/m 이하의 주입결과를 나타낸다. 이때는 그라우팅을 실시하는 것이 오히려 역효과가 난다고 판단된다. 이 시험결과 수치는 사면 절취시 육안관찰과 지질도 작성결과를 이용하여 분석할 때 댐 설계 기준인 1 Lugeon 이하의 경우가 되어, 괴상(Massive)의 차수성이 어느 정도 확보된 암반으로 평가할 수 있다. 따라서 댐체 구조물 사면부에 RIM 그라우팅의 실시 결정기준은 암반상태에서 1 Lugeon 차수성이고, 시멘트 주입량 역시 1 kg/m을 기준으로 하여 RIM 그라우팅 실시여부를 결정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

검색어 : RIM 그라우팅, 지반차수보강, 그라우팅, 수압시험, 파일럿 홀, Lugeon시험

* 정희원 · (주)월드이앤씨 대표 (World E&C Co. LTD · world9967@hanmail.net)

** 종신회원 · 교신저자 · 한양대학교 건설환경공학과 박사과정 (Corresponding Author · Hanyang University · donghyuk@hanmail.net)

*** 종신회원 · 한양대학교 건설환경공학과 교수 (Hanyang University · dpark@hanyang.ac.kr)

Received March 3, 2022/ revised March 4, 2022/ accepted March 23, 2022

1. 서론

댐체 암반기초의 그라우팅(Grouting)은 댐 공사에서 댐 기초지반의 차수, 지지력 증대, 양압력 경감 및 변형을 방지할 목적으로 암반층을 천공하여 시멘트풀, 벤토나이트와 점토의 혼합용액 또는 약액을 주입하여 지반을 견고하게 하는 공법이며 압밀 그라우팅(Consolidation Grouting), 커튼 그라우팅(Curtain grouting), 림 그라우팅(Rim grouting), 콘택트 그라우팅(Contact grouting), 블랭킷 그라우팅(Blanket grouting) 그라우팅 등으로 설명된다.

그 중 RIM 그라우팅은 댐 좌, 우안 사면부의 지질여건을 감안하여 지질이상대나 지질 구조에 의한 누수경로를 연장시키거나 댐의 취수부 또는 전저수지에 걸쳐 댐 주변 암반의 지수를 위하여 수행하는 차수그라우팅(Curtain) 종류 중 하나이다. RIM 그라우팅의 효과는 댐 좌, 우안부 사면부의 부채꼴 형성의 망을 구축하여 차수성 확보 및 댐사면의 Piping 현상이나 누수발생을 유발하는 암반에 발달한 균열 부분에 시멘트 현탁액을 주입하고 수리 구조물의 안정성을 확보하는 효과를 나타낸다. 댐 지반보강을 위한 그라우팅 설계시 제한된 자료(지질도, 시추공 등)를 이용하여 계획하기 때문에 원지반 특성을 전반적으로 고려하여 설계하기가 매우 어려운 실정이다(Kim et al., 2007).

또한, 실제 차수성이 확보된(1 Lugeon 이하) 원지반에 설계시 계획된 그라우팅 물량을 천공, 주입할 경우 교란으로 인하여 기 확보된 원지반의 차수성을 저해하는 상황이 발생할 가능성도 있다(Hong et al., 2003).

따라서 댐 좌, 우안부 사면부의 그라우팅을 실시할 시 지반개량효과적으로 되었는지 판단하기 위하여 주상도와 수압시험결과 및 주입량을 비교분석하여 대상 암반지반에 대한 개량적정성에 대한 판단을 하기 위하여 세가지 결과와 기 작성된 사면 지질도와 함께 분석하였다.

본 연구에서는 구조물 사면부(RIM부) 그라우팅 수행(Koh and

Cho, 2021) 전 지질여건을 고려하고 수리시험을 통하여 원지반(Song et al., 2003)에 대한 적절한 그라우팅(Cho and Kang, 2003) 수행여부에 대한 적정기준을 결정하여 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 댐 RIM 사면부 지질도 작성

댐의 좌, 우안부를 축조하기 위해서는 댐의 양안부를 굴착하여 구조물 축조구간을 위한 사면부를 조성한다. 댐의 양안부 굴착시 매 굴착 구간마다 연속적으로 Face mapping을 실시하여 지질 구조와 지반상태(누수 구간 확인), 슈미트 해머(Schmidt test)를 통한 지반의 강도 확인(Lee and Lee, 1995; Nam et al., 2019)등을 실시하여 그라우팅 작업을 위한 기초자료를 마련한다. 댐 양안부의 작성된 지질도는 아래 Fig. 1과 같다(Kim et al., 2005).

2.2 현장 여건 및 수리시험에 적합한 파일럿 홀(Pilot hole) 규격 변경

실시설계 시 계획된 림 그라우팅(Rim Grouting) 위치는 좌, 우안 교대 리프트 타설 구간에 전반적으로 걸쳐 설계되어 있었다(Park et al., 2020). 하지만 구조물 작업성 및 효율성을 고려하여 Pilot hole의 심도의 설계 시 계획보다 5 m 증가시켰으며, 림 그라우팅(Rim Grouting)의 시공 위치도 구조물 시공 완료시 댐 수위를 고려하여 좌, 우안 교대 상부(EL 134.0 m)로 변경하였다. 또한, 설계 시 BX size로 계획되어 있던 천공 크기 역시 ISRM(1981)에서 추천하는 NX size로 변경하여 시추 Core 회수율을 높이고 수압시험의 정밀도를 향상시켰다.

양안부 변경 시공 위치 위치도는 아래 Fig. 2와 같다.

2.3 수압시험(Lugeon test) 및 주입량 결과분석

댐 차수 능력증대를 위한 현장의 구조물 사면부 림 그라우팅(Rim

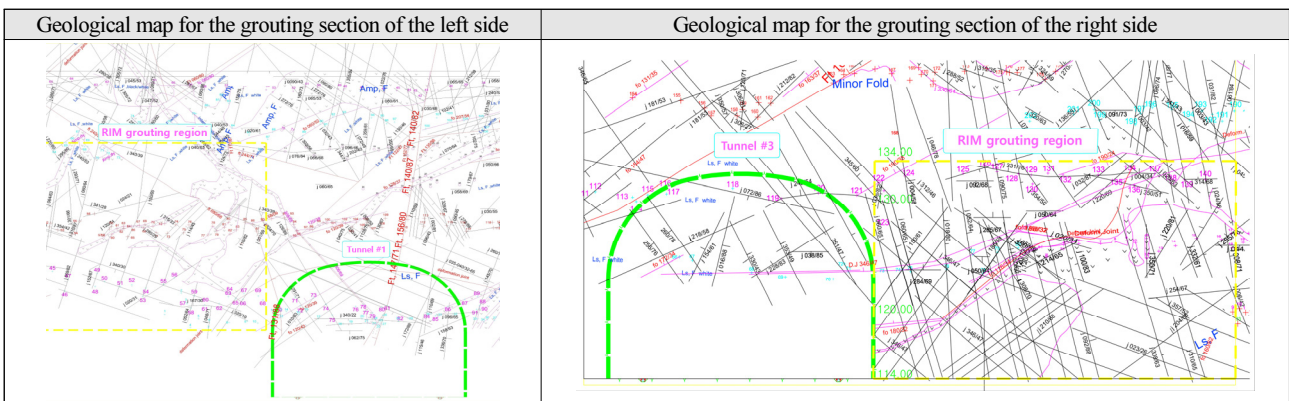


Fig. 1. Examples of Drawing Up Geological Maps for the Left and Right Sides of the Dam

Grouting) 대상 구간의 좌, 우안부의 수압시험결과는 대부분의 시험 구간에서 1 Lugeon 이하의 시험결과를 나타내고 있다(Lee and Lim, 2018). 이는 지질도와 비교하여 볼 때 좌, 우안부 사면을 구성하는 괴상(Massive)의 암반 구간은 차수성을 확보하는 것으로

판단되며, 수압시험이 종료된 후 그라우팅 주입결과 역시 m당 평균 주입량이 1 kg 이하의 주입량을 나타내어 수압시험결과와 비슷한 양상의 결과를 나타낸다(Cheon et al., 2002). 수압 시험결과 및 시멘트 주입결과는 아래 Tables 1~3과 같다.

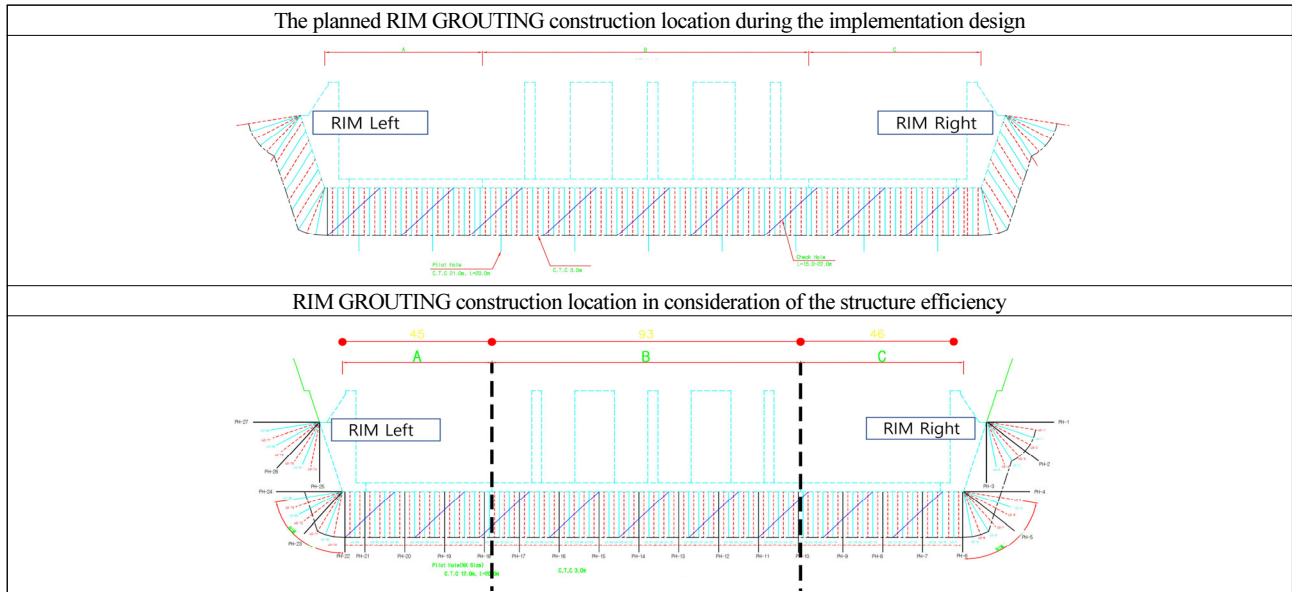


Fig. 2. The Construction Location of the Left and Right Eye of the Dam

Table 1. Right Side Shift Pilot Ball Lugeon Value and Analysis

No.	Range (m)	Lu	Flow Type	Analysis map
PH-1	1.0~6.0	-	No Flow	
	6.0~12.0	-	No Flow	
	12.0~20.2	0.56	Laminar Flow Type	
PH-2	1.0~6.0	5.81	Turbulent Flow Type	
	3.0~6.0	-	No Flow	
	6.0~12.0	0.78	Turbulent Flow Type	
PH-3	12.0~20.5	0.00	Dilation Type	
	1.0~6.0	0.0	Void Filling Type	
	6.0~12.0	0.85	Turbulent Flow Type	
	12.0~20.5	0.16	Dilation Type	

Table 2. Left Side Shift Pilot Ball Lugeon Value and Analysis

No.	Range (m)	Lu	Flow Type	Analysis map
PH-25	1.0~6.0	-	No Flow	
	6.0~12.0	-	No Flow	
	12.0~20.3	-	No Flow	
PH-26	1.0~6.0	4.88	Turbulent Flow Type	
	3.0~6.0	-	No Flow	
	6.0~12.0	-	No Flow	
PH-27	12.0~20.5	-	No Flow	
	1.0~6.0	1.90	Void Filling Type	
	3.0~6.0	-	No Flow	
	6.0~12.0	-	No Flow	

Table 3. Left and Right Side Pilot Hole Cement Grouting Result

No.	Range	Ratio	Amount (kg)	Mean injection (kg/m)
PH-1	1.0~6.0	1:10	4.0	0.8
	6.0~12.0	1:10	1.7	0.28
	12.0~20.2	1:10	2.2	0.27
PH-2	1.0~6.0	1:10	1.0	0.20
	6.0~12.0	1:10	1.6	0.27
	12.0~20.0	1:10	0	0
PH-3	1.0~6.0	1:10	9.2	1.84
	6.0~12.0	1:10	2.9	0.48
	12.0~20.0	1:10	0	0
PH-25	1.0~6.0	1:10	3.0	0.6
	6.0~12.0	1:10	0	0
	12.0~20.3	1:10	0	0
PH-26	1.0~3.0	1:10	27.1	9.03
	3.0~6.0	1:10	0	0
	6.0~12.0	1:10	0	0
	12.0~20.5	1:10	0	0
PH-27	1.0~3.0	1:10	11.6	3.86
	3.0~6.0	1:10	0	0
	6.0~12.0	1:10	0	0
	12.0~20.5	1:10	0	0

추가로 우안교대 및 좌안교대 사면부 림 그라우팅을 통한 지반개량 적정성을 분석하기 위해서 암반의 불연속면을 평가할 수 있는 주상도에서 절리의 빈도수를 추출하였으며, 절리를 미터별로 평균(Joint/m)의 값을 산정하였다. 미터별 평균절리수(joint/m)와 함께 수압시험 결과(Lugeon)와 그라우팅 미터별 평균주입량(kg/m)을 비교분석하였다(Tables 4 and 5).

우안교대 분석결과 각 섹터별 미터별 평균 절리수와 수압시험결과는 절리수가 많아질수록 Lugeon결과는 커지며, 시멘트 미터별 평균주입량도 많아지는 결과를 나타낸다. 이는 미터당 평균 절리수가 증가할수록 절리로 주입되는 그라우팅 주입량의 증가의 흐름을 나타내며 이는 절리수와 Lugeon결과와 평균주입량이 비례하는 양상으로 지반의 개량효과가 양호하게 되었음을 판단할 수 있는 지표가 된다.

또한 좌안교대 분석결과 역시 미터당 평균절리수와 수압시험결과 및 시멘트 주입량의 관계는 우안교대와 비슷한 양상을 나타내고 있다.

하지만 주입되지 않은 결과로 추정하여 볼 때 두 구역의 사면 모두 양호한 조건의 암반으로 조성하고 있지만 좌안교대 사면이 우안교대 사면보다 더 양호한 암반조건을 갖추고 있을 것 이라고 판단할 수 있을 것이다.

2.4 지질도 및 파일럿 홀(Pilot hole)분석결과를 이용한 잔여 그라우팅 적용방안 고찰

사면 절취와 함께 작성한 지질도 작성결과 파일럿 홀(Pilot hole) 수행대상 사면에 분포하는 암석은 한반도 지질 계통상 선캄브리아기 옥천 누층 군의 향산리 백운암층과 이를 관입하는 각섬암임을 확인하였다(Hwang et al., 2013).

좌, 우안 사면부를 구성하는 암반은 변성작용으로 인하여 강도가 높고 과상(Massive)의 형태로 누수 구간이 없는 치밀한 암반으로 구성되어 있다. 또한, 각섬암은 백운암 상부에 단층 관계로 조성되어 있으며, 단층면의 곡선 형태는 후기의 광역 습곡작용에 의한 것으로 판단되며 단층면은 치밀하게 접하고 있다(Rhi and Park, 1982).

림 그라우팅(Rim Grouting) 대상 구간의 전반적인 사면구간의 암반 상태는 파일럿 홀(Pilot hole) 수압시험 수행 분석결과 1 Lugeon 이하의 차수성을 나타내며, 시멘트 주입량 역시 1 kg/m 이하의 주입결과를 나타낸다. 이러한 시험결과 수치를 통하여 사면 절취와 함께 육안관찰과 지질도 작성결과를 이용하여 분석할 때 댐 설계 기준인 1 Lugeon 이하의 과상(Massive)의 차수성이 비교적 확보된 암반으로 평가할 수 있다(Kim, 2013).

3. 결론

일반적으로 댐 구조물 사면부 지반보강을 위한 그라우팅 설계시 제한된 자료(시추공, 지질도 등)를 이용하여 계획하기 때문에 사면부 RIM 그라우팅 대상 원지반 특성을 정확하게 고려하여 설계하기는 매우 어려운 실정이다.

또한, 실제 차수성이 확보된 원지반에 설계시 계획된 그라우팅 물량을 천공 주입할 경우에는 차수성이 확보된 원지반이 교란되어 차수효과를 오히려 저해할 가능성도 있다.

이를 극복하기 위해서는 구조물 사면부(RIM) 그라우팅 수행 전에 지질여건을 우선적으로 고려하고 현장수리시험을 통하여 원지반에 대한 최적의 그라우팅을 실시여부를 결정하는 것이 기초처리 대상 지반의 차수성 확보에 매우 적합하다고 판단된다.

이러한 현장 상황과 반대로 실시설계 시 예상되었던 차수성이 불리한 지반상태가 인지된다면 충분한 그라우팅으로 지반보강을 하여 댐 설계 기준의 적합한 차수성을 확보하는 것이 적합하다고 판단된다.

따라서, 댐체 구조물 사면부에 RIM 그라우팅의 실시여부 결정기준은 암반상태에서 1 Lugeon 차수성이고, 시멘트 주입량 1 kg/m을 기준으로 하여 RIM 그라우팅 실시여부를 결정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

Table 4. Analysis of the Appropriateness of the Grouting on Right Side

No.	Range	Joint Frequency	Joint/m	Lugeon	Mean injection (kg/m)	
PH-1	3.0~4.0	4	4.3	-	0.8	
	4.0~5.0	3				
	5.0~6.0	6				
	6.0~7.0	7	4.8	-	0.28	
	7.0~8.0	6				
	8.0~9.0	6				
	9.0~10.0	4				
	10.0~11.0	2				
	11.0~12.0	4				
	12.0~13.0	4	2.8	0.56	0.27	
	13.0~14.0	2				
	14.0~15.0	1				
	15.0~16.0	3				
	16.0~17.0	1				
	17.0~18.0	3				
	18.0~19.0	7				
	19.0~20.2	2				
	PH-2	3.0~4.0				12
		4.0~5.0	1			
5.0~6.0		2				
6.0~7.0		5	2.2	0.78	0.27	
7.0~8.0		4				
8.0~9.0		0				
9.0~10.0		1				
10.0~11.0		1				
11.0~12.0		2				
12.0~13.0		3	1.9	0	0	
13.0~14.0		3				
14.0~15.0		4				
15.0~16.0		0				
16.0~17.0		0				
17.0~18.0		0				
18.0~19.0	2					
19.0~20.0	3					
PH-3	3.0~4.0	10	8.00	0	1.84	
	4.0~5.0	6				
	5.0~6.0	8				
	6.0~7.0	5				
	7.0~8.0	6	4.17	0.85	0.48	
	8.0~9.0	4				
	9.0~10.0	2				
	10.0~11.0	6				
	11.0~12.0	2				
	12.0~13.0	0	1.75	0.16	0	
	13.0~14.0	0				
	14.0~15.0	0				
	15.0~16.0	4				
	16.0~17.0	2				
17.0~18.0	3					
18.0~19.0	1					
19.0~20.0	4					

Table 5. Analysis of the Appropriateness of the Grouting on Left Side

No.	Range	Joint Frequency	Joint/m	Lugeon	Mean injection (kg/m)	
PH-25	3.0~4.0	2	2.7	No Flow	0.6	
	4.0~5.0	1				
	5.0~6.0	5				
	6.0~7.0	3	1.3	No Flow	0.0	
	7.0~8.0	2				
	8.0~9.0	1				
	9.0~10.0	1				
	10.0~11.0	0				
	11.0~12.0	1				
	12.0~13.0	3	1.3	No Flow	0.0	
	13.0~14.0	2				
	14.0~15.0	1				
	15.0~16.0	2				
	16.0~17.0	1				
	17.0~18.0	1				
	18.0~19.0	1				
	19.0~20.3	0				
	PH-26	3.0~4.0				7
		4.0~5.0	2			
5.0~6.0		2				
6.0~7.0		4	2.7	No Flow	0.0	
7.0~8.0		4				
8.0~9.0		3				
9.0~10.0		1				
10.0~11.0		2				
11.0~12.0		2				
12.0~13.0		5	4.2	No Flow	0.0	
13.0~14.0		3				
14.0~15.0		6				
15.0~16.0		6				
16.0~17.0	9					
17.0~18.0	0					
18.0~19.0	3					
19.0~20.5	4					
PH-27	3.0~4.0	0	0.67	1.9	3.9	
	4.0~5.0	1				
	5.0~6.0	1				
	6.0~7.0	0	0.00	No Flow	0.0	
	7.0~8.0	0				
	8.0~9.0	0				
	9.0~10.0	0				
	10.0~11.0	0				
	11.0~12.0	0				
	12.0~13.0	0	1.88	No Flow	0.0	
	13.0~14.0	3				
	14.0~15.0	0				
	15.0~16.0	4				
	16.0~17.0	1				
	17.0~18.0	0				
	18.0~19.0	3				
	19.0~20.5	5				

References

- Cheon, B. S., Choi, C. S. and Kim, K. M. (2002). "Injection characteristics of cement grouting waterproof by model tests." *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 18, No. 6, pp. 61-72 (in Korean).
- Cho, M. R. and Kang, T. H. (2003). "Application of the SASW method to the evaluation of grouting performance for a soft ground of a tunnel." *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 19, No. 6, pp. 273-283 (in Korean).
- Hong, W. P., Yoon, Yea, G. G. and Lee, H. (2003). "The cut-off effect by rock grouting in the area of dam-foundation." *The Thirteenth International Offshore and Polar Engineering Conference*, Hawaii, USA, ISOPE-I-03-175.
- Hwang, J. Y., Choi, J. B., Jeong, G. Y., Oh, J. H., Choi, Y. H. and Lee, J. H. (2013). "Occurrence and mineralogical characteristics of dolomite ores from South Korea." *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, Vol. 26, No. 2, pp. 87-100 (in Korean).
- International Society for Rock Mechanics (ISRM) (1981). *Rock characterization testing and monitoring*, Brown, E., Ed., Pergamon Press, Oxford.
- Kim, G. B., Kim, J. W., Son, Y. C. and Lee, C. R. (2005). "Development of algorithms for the construction of hydrogeologic thematic maps using AvenueTM language in ArcView GIS." *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 8, No. 3, pp. 107-120 (in Korean).
- Kim, S. J. (2013). "The estimation of the uplift pressure and seepage discharge under gravity dam: Development of a 3-D FDM model in heterogeneous media." *Journal of Korea Water Resources Association*, KWRA, Vol. 46, No. 12, pp. 1221-1234 (in Korean).
- Kim, Y. J., Heo, Y. and Oh, B. H. (2007). "Estimation of reinforcement effect of superannuated fill dam repaired by the permeable grouting method." *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, Vol. 8, No. 6, pp. 45-52 (in Korean).
- Koh, H. S. and Cho, B. J. (2021). "Performance evaluation of injection grouting method for structure foundation ground improvement." *Journal of Korean Society of Disaster and Security*, Vol. 2021, No. 1, pp. 1-10 (in Korean).
- Lee, D. B. and Lim, H. D. (2018). "Permeation grouting effect for repair and reinforcement of old dam." *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 28, No. 2, pp. 277-291 (in Korean).
- Lee, S. G. and Lee, S. (1995). "Suggested method to predict uniaxial compressive strength of Korean granites by schmidt hammer value." *Journal of Structures, Construction Management, Nuclear Power, Railroad Engineering*, Vol. 15, No. 1, pp. 199-210 (in Korean).
- Nam, K. Y., Kim, S. D., Choi, S. and Lee, Y. D. (2019). "Strength estimation of the ultra-high strength concrete by using rock test hammer." *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 26, No. 2, pp. 707-708 (in Korean).
- Park, K. W., Ko, N. Y. and Ji, S. H. (2020). "A study on the applicability of the hydraulic test method performed at an underground research facility in crystalline rock." *Economic and Environmental Geology*, Vol. 53, No. 2, pp. 121-131 (in Korean).
- Rhi, J. Y. and Park, B. S. (1982). "Structural layers and history of folding in the western part of the baegunsan syncline, samcheog coalfield, South Korea." *Economic and Environmental Geology*, Vol. 15, No. 1, pp. 41-47 (in Korean).
- Song, S. H., Yong, W. H. and Chang, E. W. (2003). "Evaluation of reinforcement with grouting materials in reservoir dike." *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, Vol. 40, No. 2, pp. 69-77 (in Korean).