

# 초미립자 시멘트의 암반지반 그라우팅 주입효과에 관한 연구

안준희\*, 박춘식<sup>2</sup>

<sup>1</sup>지산특수토건(주) 기술연구소, <sup>2</sup>창원대학교 토목환경화공융합공학부

## A Study on the Grouting Effect of Ultrafine Cement in Rock Ground

Jun-Hee An<sup>1</sup>, Choon-Sik Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of R&D Team, JiSan Specialty Construction co.,LTD.

<sup>2</sup>Division of Civil, Environmental and Chemical Engineering, Changwon National University

**요약** 그라우팅공법은 지반강화와 차수를 위한 공법으로 약액을 주입하여 지반을 고화시키는 것이다. 시멘트계 그라우트 주입재는 수세기 전부터 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으나 시멘트 입경이 커 주입효과에 한계가 있다. 이에 본 연구는 초미립자 시멘트가 사용된 암반지반에서의 그라우팅 주입효과를 분석하기 위함이다. 이를 위해 초미립자 시멘트로 3S-1호가 사용되었고, OPC와 3S-1호를 각각 적용하여 암반그라우팅 현장시험시공을 실시하였으며 수압시험·공내재하시험·주입시험을 통해 그 결과를 비교분석 하였다. 시험 결과, 암반지반에서는 OPC보다 초미립자 시멘트(3S-1호)를 사용하는 것이 차수효과( $K, 10^6 \text{cm/sec}$ )가 더 높으며 보강효과도 확인할 수 있었다. 또한 초미립자 시멘트(3S-1호)가 OPC보다 약 4~9배 주입성이 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 본 연구는 암반그라우팅 시공시 OPC대신 초미립자 시멘트를 적용하는 것이 더 유리한 것으로 판단이 된다.

**Abstract** The grouting method is to reinforce the ground by injecting the chemical solution for the strengthening of the ground. Cement grouting material has usually used portland cement for centuries ago, but the cement particle size is large and the injection effect is limited. This study analyzes the effect of ultrafine cement grouting in rock ground using 3S-1 grouting in rock ground and ordinary Portland cement (OPC). The results of tests were compared and analyzed from the Lugeon test, bore loading test (P.M.T.), and injection (P-Q) test. The use of ultrafine cement (3S-1) had a higher effect ( $K, 10^{-6} \text{cm/sec}$ ) than OPC. The reinforcement effect of 3S-1 was also confirmed. Ultrafine cement (3S-1) was 4~9 times more injectable than OPC. Therefore, it is more advantageous to use ultrafine cement (3S-1) than OPC.

**Keywords** : Grouting, Rock ground, Ultrafine Cement, 3S-1, OPC

### 1. 서론

현탁액형의 대표적 주입재인 시멘트계 그라우트 주입재는 수세기 전부터 보통 포틀랜드 시멘트(이하. OPC)의 현탁액을 활용하여 지반의 공극 및 암반의 불연속면을 충전함으로써 지반 자체의 성질을 개량하는 목적으로 사용되어 왔다. 그러나 OPC는 비표면적 (분말도) 범위

가 2,800~3,300 $\text{cm}^2/\text{g}$ 로 평균입경 15~20 $\mu\text{m}$ , 최대입경 80~100 $\mu\text{m}$  시멘트 입자가 굵기 때문에 투수계수(k) 10<sup>-4</sup> $\text{cm/sec}$  이하인 점성토 지반 또는 균열이나 절리면 간격이 매우 적은 암반층에서는 오히려 주입성 한계가 지적되고 있다.

한편, 1980년대 이후 분쇄·분급 기술이 급속히 발달하면서 초미립자 시멘트의 생산이 가능하게 되었는데 일

본 논문은 지산특수토건 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Jun-Hee An(JiSan Specialty Const. Corp.)

Tel: +82-51-463-9365 email: ajh7204@ji-san.com

Received August 27, 2018

Revised (1st September 17, 2018, 2nd October 2, 2018, 3rd October 5, 2018, 4th October 11, 2018, 5th October 18, 2018)

Accepted December 7, 2018

Published December 31, 2018

본 등 분체산업이 발달된 국가에서는 평균입경 10 $\mu$ m, 최대입경 40 $\mu$ m, 분말도 6,000cm<sup>2</sup>/g 이상의 콜로이드시멘트와 평균입경 4 $\mu$ m, 최대입경 10 $\mu$ m, 비표면적 8,000cm<sup>2</sup>/g 이상의 초미립자 시멘트가 실용화 되었으며 초미립자 시멘트는 용액형에 필적하는 침투성을 발휘하는 것으로 보고되고 있다(Nonveiller, 1989)[1].

이후 국내에서도 Chun(1997)[2,3], Park(2003)[4,5], Lim(2008)[6]등 초미립자 시멘트에 대한 개발 또는 연구사례가 활발히 이어져 오고 있으며, Lee(2012)[7] 등에 의해 실제 사질~점성토층에서 초미립자 시멘트 주입 시공후 차수, 강도증진에 큰 효과가 있는 것으로 분석되었다. 이외 본 연구에서는 기초처리가 필요한 암반 지반의 보강, 양압력 및 침투수량을 저감하는 암반그라우팅을 실시하여 OPC대비 초미립자 시멘트 적용 효과를 비교분석 하고자 하였다.

## 2. 초미립자 시멘트(3S-1호)

본 연구에서 사용된 초미립자 시멘트(이하 3S-1호)는 제조 공정에 따라 비표면적이 6,000~8,000cm<sup>2</sup>/g인 초미립형으로, 그라우팅 시멘트 주재(경화제)로 사용된다. 제조는 포틀랜드 시멘트(OPC)에 슬래그 미분말등을 일정비율 혼합·재분쇄한 것[6,8]으로, 여기서 슬래그 미분말은 주입재 고결후 내구성과 장기강도의 개선을 촉진하는 주 특성이 있다.

일반적으로 시멘트 계열의 그라우트 주입재(경화제)는 제조방법, 혼합물의 종류 및 배합비율에 따라서 물리·화학적 특성이 달라지는 것으로 알려져 있다. 아래 표 1은 슬래그 미분말의 종별에 따른 물리적 특성을 나타낸 것인데 본 연구에서 사용된 초미립자 시멘트(3S-1호)는 1종이 혼합되어있다.

Table 1. Slag fine powder

class	density (g/cm <sup>3</sup> )	insol. (>45 $\mu$ m,%)	ave. ( $\mu$ m)	fineness (cm <sup>2</sup> /g)	moisture (%)
1	2.88 ~2.94	-	2~4	8,000 ~10,000	0.4
2		-	7~9	6,000 ~8,000	
3		2.0below	12~16	4,000 ~6,000	

아래 표 2,3은 초미립자 시멘트(3S-1호) 물리·화학적 특성을 포틀랜드 시멘트(OPC)와 비교분석하여 나타낸 것이다.

Table 2. Chemical composition(Unit, %)

item	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig. loss	insol	Gs
3S-1	29.8	8.27	1.50	52.6	3.3	1.9	0.7	0.5	3.31
OPC	22.0	6.0	2.5	63.0	2.6	2.0	3.0	0.7	3.15
method	KS L 5120, KS A 0602								

Table 3. Property

item	3S-1	OPC	KS	
Gs	3.31	3.15	-	
fineness(cm <sup>2</sup> /g)	7,273	3,170	2,800	
time of setting	w/c(%)	27	28.2	-
	initial(min)	220	160	60more than
	final(hr.min)	4:40	8:10	10below

아래 표 4는 초미립자 시멘트(3S-1호)의 입도분포 특성을 포틀랜드 시멘트(OPC)와 마이크로 시멘트(Mic)를 같이 비교분석한 것으로 3S-1호의 평균 입경은 4.3 $\mu$ m로 OPC 평균 입경인 18.3 $\mu$ m의 23% 이하 이고, Mic의 평균 입경 6 $\mu$ m보다 더 작은 것으로 나타났다.

Table 4. Practicle size analysis(Undersize, Unit:%)

( $\mu$ m)	1	2	3	4	6	12	24	48	64	ave. (d <sub>50</sub> , $\mu$ m)
3S-1	12.6	27.1	39.5	49.8	67.1	91.2	100	100	100	4.3
OPC	4.9	9.5	12.8	15.9	20.7	35.2	60.5	92.1	95.7	18.3
Mic	3.1	7.3	15.2	27.3	50	73.9	100	100	100	6

일본 및 유럽등 선진국에서는 최대입경 10 $\mu$ m이하, 비표면적 8,000cm<sup>2</sup>/g정도의 초미분말 시멘트가 암반기초 및 실트성 사질지반까지도 침투성 그라우팅이 가능[3]하다는 연구결과가 보고되고 있는데 상기 초미립자 시멘트(3S-1호)가 특성에 가장 부합하며, 실제 주문진 표준사로 모래지반을 구현하여 주입시험을 수행한 결과에서도 초미립자 시멘트(3S-1호)가 OPC보다 주입성이 4배 더 높은 것[6]으로 나타났다.

### 3. 현장시험시공

#### 3.1 보 기초 하부 암반그라우팅

##### 3.1.1 위치선정 및 시험공 배치

본 연구에서는 경기도 여주군 여주읍 소재 남한강 일원에 보 하부 기초치리를 위한 암반그라우팅이 실시될 현장에 OPC와 초미립자 시멘트(3S-1호)를 각각 적용하여 사전 시험시공을 실시하였다. 당 현장 상부로부터의 지층순서는 퇴적층(모래섞인 자갈), 풍화암, 연암층 순이며 일부 지점(BH-5공)에 폭 1.67m의 단층파쇄대가 분포되어 있는 것으로 나타났다. 아래 그림 1은 현장의 평면도와 지층단면도를 나타낸 것으로 시추조사(BH-5, 5-1, 7공) 지점을 별도 표기하였다.

본 현장시험은 상기 시추조사가 이뤄진 지점에서 수행되었으며, 시험공 배치는 아래 그림 2와 같이 BH-5-1공(풍화암), BH-5공(단층대) 지점에 위치를 선정하였다. 특히, BH-5-1공 지점에서 각 시멘트별(OPC, 3S-1호) 비교시험을 실시하였는데 주입작업시 간섭이 되지 않는 범위 내에서 동일 지층구간을 대상으로 시험을 수행하여 그 결과를 비교분석 하였다.

상세하게는 G-1~7공에 천공후 각 시멘트별 주입시험을 수행하였는데 사전 지반조사로 수압시험(Lugeon test)이 G-1,7공에, 공내재하시험(PMT)이 G-4공에 수행되었다. 1-1~2공은 각 시멘트별 주입후 효과에 대한 확인공으로 수압시험과 공내재하시험이 각각 수행되었다. 아래 표 5는 그림 2 시험공 배치에 대한 시험항목을 정리하여 나타낸 것이다.

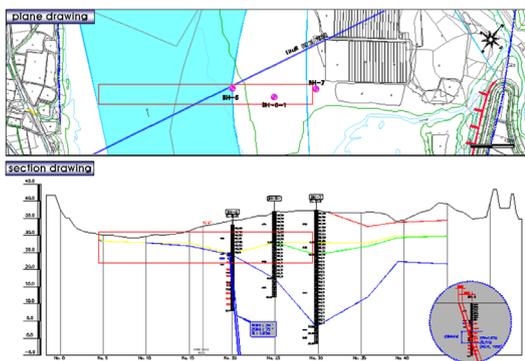


Fig. 1. Test construction site

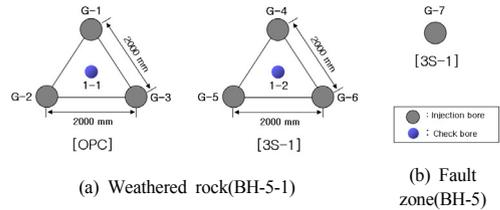


Fig. 2. Test layout

Table 5. Test item

division	standard	quantity	remarks
boring	NX	9 bore	▪ G-1~7, 1-1~2
lugeon test		4 time	▪ before injection : 2(G-1,7) ▪ after : 2(1-1,2)
bore loading test	PMT	2 time	▪ before injection : 1(G-4) ▪ after : 1(1-2)
injection (P-Q)		7 bore	▪ G-1~7

본 연구에서 시추조사를 통한 현장지층의 특성[9]을 사전 분석해 보면, BH-5-1공은 모래질 자갈인 퇴적층(0.0~9.0m), 풍화암(9.0~19.5m), 연암(19.5~25.0m) 순으로 분포하였는데 특히 시험구간인 풍화암(14.0~19.0)의 경우 굴진시 압편으로 분해되는 매우약함을 나타내었다. 또한, BH-5공은 퇴적층(0.0~8.5m), 풍화암(8.5~8.8m), 연암(8.8~25.0m) 순으로 분포하였으며 시험구간 (10.0~15.0m)은 단층대(단층 파쇄대)인 것으로 나타났다. 아래 표 6은 시험구간 시추조사 결과를 분석하여 나타낸 것이다.

Table 6. Drilling survey

division	BH-5-1			BH-5		
depth(m)	14.0~19.0 (weathered rock)			10.0~15.0 (fault zone)		
rock quality	TCR(%)		RQD(%)	TCR(%)		RQD(%)
	0		0	45		0
joint interval (cm)	maximum	minimum	ave.	maximum	minimum	ave.
	NA	NA	NA	8	1	4
characteristics	- Weathered rocks of bedrock granite - Dark brown, Severe weathering - There is a lot of cracks			- fault zone - gradient 60°, 80° - mix of rock and silt		

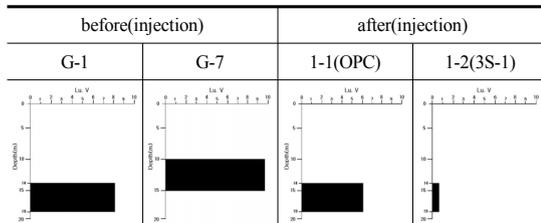
### 3.1.2 수압시험

본 연구에서는 수압시험(Lugeon test)을 통하여 주입 전 적정 초기 주입제의 배합비를 산정하고, 주입 전/후 Lu Value를 산출하여 시멘트별 차수효과 결과를 비교분석 하였다. 시험방법은 누수의 오차가 적은 Single Packer방법의 하향식 수압시험[10]으로 실시하였으며, 압력의 증감은 5단계로 실시하고 각 단계에서 주입압력 별로 10분의 가압시간을 유지하여 주입수량(Q)을 측정 함으로써 투수계수(K)와 Lu값을 최종 산출 하였다 (Houlsby, 1976). 시험결과, BH-5-1공 지점인 풍화암 (14.0~19.0m)의 경우 주입전  $Lu=8.3(K=6.74 \times 10^{-4} \text{cm/sec})$ 로 실트질의 비교적 낮은 투수값을 나타내었는데 OPC(1-1공) 주입후에는  $Lu=6.1(K=4.08 \times 10^{-5} \text{cm/sec})$ 로 1/10정도 약간의 감소는 있을 뿐 주입전에 비해 차수 저감효과는 크게 없는 것으로 나타났다. 그러나 3S-1호 (1-2공)에는  $Lu=0.7(K=2.92 \times 10^{-6} \text{cm/sec})$ 로 주입전에 비해 투수값이 현저히 감소하였으며, 주입지반이 불투수층을 형성하는 것으로 나타났다. BH-5공 지점인 단층대 (10.0~15.0m)의 경우, 주입전  $Lu=9.7(K=3.95 \times 10^{-4} \text{cm/sec})$ 로 나타났다. 아래 표 7,8은 수압시험 결과를 OPC와 3S-1호 대비하여 나타낸 것이다.

Table 7. Lugeon test

division	before(injection)		after(injection)	
	G-1	G-7	1-1(OPC)	1-2(3S-1)
Lugeon Value	8.3	9.7	6.1	0.7
K(cm/sec)	$6.74 \times 10^{-4}$	$3.95 \times 10^{-4}$	$4.08 \times 10^{-5}$	$2.92 \times 10^{-6}$

Table 8. Lugeon test



아래 그림 3은 상기 각 수압시험의 가압별 투수(flow) 패턴을 나타낸 것이다.

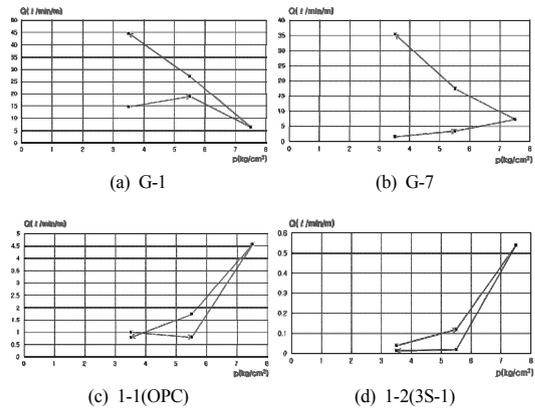


Fig. 3. Flow pattern

### 3.1.3 공내재하시험

본 연구에서는 공내재하시험(P.M.T)을 통하여 시험 구간 적용 대상지층에 대한 초미립자 시멘트(3S-1호) 주입전/후 변형특성을 파악함으로써 강도증진 효과를 간접적으로 파악하였다. 시험은 시험공 공내 공벽을 수평방향으로 가압하고 가압 하중에 의하여 발생하는 공벽의 변위량을 측정하여 압력-변형량 곡선으로부터 지층별 변형계수(E) 값을 구하였다.

시험 결과, 주입전(G-4공)의 변형계수(E) 값이  $.94 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 에서 주입후(1-2공)  $7.57 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 로 주입전에 비해 약 3.9배 증가하는 보강,압밀 효과가 나타났다. 아래 표 9, 그림 4는 초미립자 시멘트(3S-1호) 주입전/후 공내재하시험 결과를 나타낸 것이다.

Table 9. Bore loading test

division	before (injection)	after (injection)	remarks
	G-4	1-2(3S-1)	
E(kgf/cm <sup>2</sup> )	$1.94 \times 10^3$	$7.57 \times 10^3$	weathered rock(14.0m)

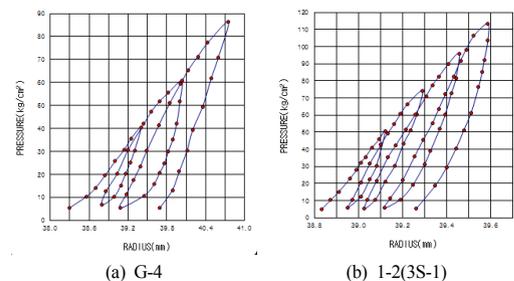


Fig. 4. P-R Curve

### 3.1.4 주입시험

본 연구에서는 동일압력 조건으로 OPC와 초미립자 시멘트(3S-1호) 각각 주입시험을 실시하고, 주입량을 파악함으로써 그 결과를 비교분석 하였다. 주입시 사전 수압시험(G-1, 7공) Lu치(10미만)로 배합비(C:W=1:10)를 결정 하였으며, 최대허용압력은(p) 10kgf/cm<sup>2</sup>로 제한하여 허용압 도달시 주입을 종료하였다. 아래 표 10은 각 공별 주입시험 구간을 정리하여 나타낸 것이다.

Table 10. injection test(P-Q)

division	No.	depth(m)	rock	remarks
OPC	G-1	14.0-19.0	weathered rock	BH-5-1
	G-2	"	"	"
	G-3	"	"	"
3S-1	G-4	"	"	"
	G-5	"	"	"
3S-1	G-6	"	"	"
	G-7	10.0-15.0	fault zone	BH-5

아래 표 11은 각 공별 주입시험 결과이며, 표 12는 표 11의 각 주입량(m당)을 평균치로 환산하여 비교한 것이다. 주입시험 결과, 동일 지층인 풍화암에서 OPC는 평균 24.5 ℓ/m가 주입되었으나 초미립자 시멘트(3S-1호)는 164.7 ℓ/m 주입됨으로써 OPC에 비해 주입량이 약 7 배정도 더 많은 것으로 나타났다. 또한, 단층대에서는 242.8 ℓ/m로 풍화암층에 비해 초미립자 시멘트(3S-1호) 주입량이 약 1.5배 더 많은 것으로 나타났다.

Table 11. Injection(P-Q)

division	OPC			3S-1			
	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7
total(ℓ)	124	98	145	1,060	720	690	1,214
injection(ℓ/m)	24.8	19.6	29	212	144	138	242.8
cement(kg/m)	2.3	1.8	2.6	19.3	13.1	12.5	22.1

Table 12. Injection(ave.)

division	OPC	3S-1	
		weathered rock	fault zone
injection(ℓ/m)	24.5	164.7	242.8
cement(kg/m)	2.2	15.0	22.1

### 3.2 하구둑 하부 암반그라우팅

#### 3.2.1 위치선정 및 시험공 배치

전남 영암군 삼호읍 소재 영산강 일원 하구둑 하부 암반지반 그라우팅이 실시될 현장으로 앞 3.1 보 기초 하부 암반그라우팅 현장시험과 동일한 방법으로 사전 시험 시공을 실시하였다. 아래 그림 8은 시험현장의 평면도를 나타낸 것으로 시추를 통한 사전 지반조사가 수행되었다.



Fig. 5. Test construction site

시험공 배치는 아래 그림 6과 같이 동일하며, 이 역시 주입작업시 간섭이 되지 않는 범위내에서 각 시멘트별(OPC, 3S-1호) 비교시험을 실시하여 그 결과를 비교분석 하였다.

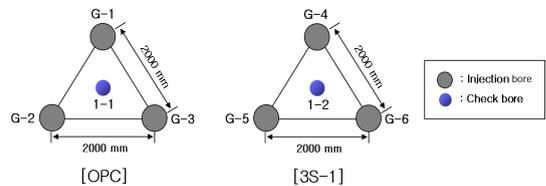


Fig. 6. Test layout

아래 표 13은 상기 그림 6 시험공 배치에 대한 시험 항목을 정리하여 나타낸 것이다.

Table 13. Test item

division	standard	quantity	remarks
boring	NX	9 bore	▪ G-1~6, 1-1~2
lugeon test		6 time	▪ before injection : 2(G-1) ▪ after injection : 4(1-1,2)
injection(P-Q)		6 bore	▪ G-1~6

현장지층은 매립층(0.0~0.7m), 풍화토(0.7~4.2m), 풍화암(4.2~5.5m), 연암(5.5~8.5m) 순으로 분포하였으며 본 연구에서는 풍화암, 연암을 시험구간으로 설정하였다.

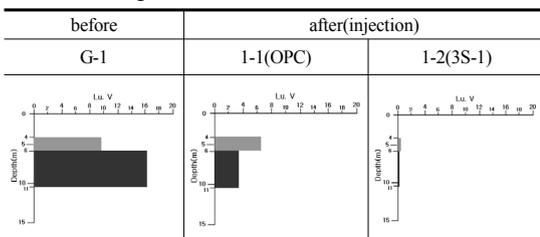
### 3.2.2 수압시험

수압시험(Lugeon test)을 통하여 주입전 적정 초기 주입제의 배합비를 산정하고, 주입 전/후 Lu Value를 산출하여 OPC, 초미립자 시멘트(3S-1호) 차수효과 결과를 비교분석 하였다. 시험결과, 풍화암에서는 주입전  $Lu=9.8(K=1.35 \times 10^{-4} \text{cm/sec})$ 의 비교적 낮은 값으로 나타나긴 하였으나, OPC 주입후에는  $Lu=6.5(K=9.71 \times 10^{-5} \text{cm/sec})$ 로 약간의 감소는 있을뿐 주입전에 비해 큰 저감효과는 없는 것으로 나타났다. 그러나 초미립자 시멘트(3S-1호) 주입시에는  $Lu=0.5(K=9.88 \times 10^{-6} \text{cm/sec})$ 로 주입전에 비해 현저히 감소하여 불투수층을 형성하는 것으로 나타났다. 연암에서는 주입전  $Lu=16.4(K=3.48 \times 10^{-4} \text{cm/sec})$ 로 OPC 주입후에는  $Lu=3.2(K=7.57 \times 10^{-5} \text{cm/sec})$ 로 현저하게 감소는 하였으나 목표치  $10^{-5} \text{cm/sec}$  이하 개량효과는 미치지 못하였다. 그러나, 초미립자 시멘트(3S-1호) 주입시에는  $Lu=0.4(K=9.76 \times 10^{-6} \text{cm/sec})$ 로 주입전에 비해 1/100정도로 현저히 감소하며, 목표치인 불투수층을 형성하는 것으로 나타났다. 아래 표 14,15는 수압시험 결과를 OPC와 3S-1호 대비하여 나타낸 것이다.

Table 14. Lugeon test

rock	No.	before	after(injection)	
		G-1	1-1(OPC)	1-2(3S-1)
weathered rock	Lugeon Value	9.8	6.5	0.5
	K (cm/sec)	$1.35 \times 10^{-4}$	$9.71 \times 10^{-5}$	$9.88 \times 10^{-6}$
soft rock	Lugeon Value	16.4	3.2	0.4
	K (cm/sec)	$3.48 \times 10^{-4}$	$7.57 \times 10^{-5}$	$9.76 \times 10^{-6}$

Table 15. Lugeon test



아래 그림 7은 상기 각 수압시험의 가압별 투수(flow) 패턴을 나타낸 것이다.

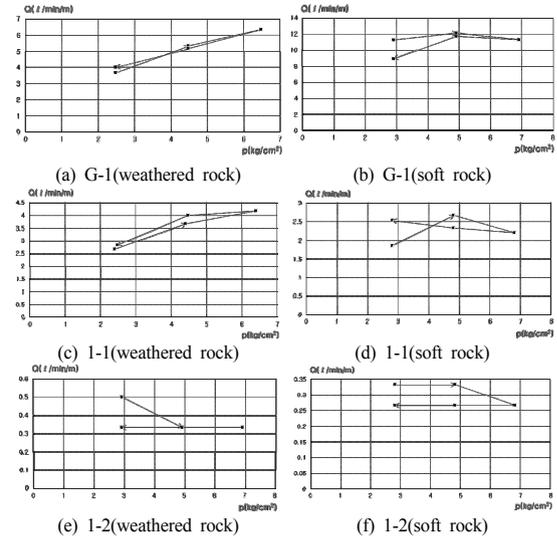


Fig. 7. Flow pattern(continue)

### 3.2.3 주입시험

시험구간인 풍화암과 연암에 각각 동일압력 조건으로 OPC와 초미립자 시멘트(3S-1호) 주입시험을 실시하고, 주입량을 파악함으로써 그 결과를 비교분석 하였다. 주입시 사전 수압시험(G-1공) Lu치로 배합비를 결정하였는데, 풍화암은  $Lu=9.8(10\text{미만})$ 로  $C:W=1:10$ , 연암은  $Lu=16.4(10 \sim 20)$   $C:W=1:7$ 를 적용하였다. 최대허용압력(p)은  $10 \text{kgf/cm}^2$ 로 제한하여 허용압 도달시 주입을 종료하였다. 아래 표 16은 각 공별 주입시험 구간을 정리하여 나타낸 것이다.

Table 16. Injection test(P-Q)

rock	No.	OPC			3S-1			C : W
		G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	
weathered rock(m)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	1 : 10	
	~6.0	~6.0	~6.0	~6.0	~6.0	~6.0		
soft rock(m)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	1 : 7	
	~11.0	~11.0	~11.0	~11.0	~11.0	~11.0		

아래 표 17은 각 공별 주입시험 결과이며, 표 18은 표 17의 각 주입량(m당)을 평균치로 환산하여 비교한 것이다. 주입시험 결과, 풍화암층에서는 OPC의 경우 평균  $28.3 \text{ l/m}$ 가 주입이 되었으나, 초미립자 시멘트(3S-1호)

는 평균 251.7 ℓ/m로 약 9배 정도 주입성이 더 높은 것으로 나타났다. 연암층에서는 OPC의 경우 평균 91.5 ℓ/m가 주입이 되었으나, 초미립자 시멘트(3S-1호)는 평균 348 ℓ/m로 약 4배 정도 주입성이 더 높은 것으로 나타났다.

Table 17. Injection(P-Q)

rock		No.	OPC			3S-1			C : W
			G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	
weathered rock	total (ℓ)	62	57	49	529	487	492	1 : 10	
	injection (ℓ/m)	31	29	25	265	244	246		
	cement (kg/m)	3.0	2.8	2.4	25.6	23.5	23.7		
soft rock	total (ℓ)	478	493	401	1,895	1,722	1,605	1 : 7	
	injection (ℓ/m)	95.6	98.6	80.2	379	344	321		
	cement (kg/m)	13.0	13.5	10.9	51.7	47.0	43.8		

Table 18. Injection(ave.)

rock		cement	OPC	3S-1
weathered rock	injection (ℓ/m)		28.3	251.7
	cement(kg/m)		2.7	24.3
soft rock	injection (ℓ/m)		91.5	348
	cement(kg/m)		12.5	47.5

#### 4. 결론

본 연구는 암반지반에서의 초미립자 시멘트(3S-1호) 주입효과를 분석하기 위함이다. 이를 위해 보 기초와 하구둑이 시공될 2개소 현장을 선정하고 기초 암반지반을 대상으로 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)와 초미립자 시멘트(3S-1호)를 각각 적용하여 암반그라우팅 현장시험시공을 실시하였으며 수압시험·공내재하시험·주입시험을 통해 그 결과를 현장별로 비교분석 하였다.

보 기초 하부 암반그라우팅 결과,

- 1) 수압시험 결과, 풍화암의 경우 주입전  $Lu=8.3(K=6.74 \times 10^{-4} \text{cm/sec})$ 에서 OPC 주입후에는  $Lu=6.1(K=4.08 \times 10^{-5} \text{cm/sec})$ 로 1/10정도 약간의 차수 저감효과를

나타내었다. 그러나 초미립자 시멘트(3S-1호) 주입지반은  $Lu=0.7(K=2.92 \times 10^{-6} \text{cm/sec})$ 로 주입전에 비해 투수값이 현저히 감소하는 것을 나타내었다.

- 2) 공내재하시험 결과, 주입전 풍화암의 변형계수(E) 값이  $1.94 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 에서 3S-1호 주입후  $7.57 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 으로 주입전에 비해 약 3.9배 증가하는 것을 나타내었다.
- 3) 주입시험 결과, 풍화암에서 OPC는 평균 24.5 ℓ/m가 주입되었으나 3S-1호는 164.7 ℓ/m 주입됨으로써 OPC에 비해 주입량이 약 7배정도 더 많은 것으로 나타났다.

하구둑 하부 암반그라우팅 결과,

- 1) 수압시험 결과, 풍화암의 경우 주입전  $Lu=9.8(K=1.35 \times 10^{-4} \text{cm/sec})$ 에서 OPC 주입후에는  $Lu=6.5(K=9.71 \times 10^{-5} \text{cm/sec})$ 로 약간의 감소를 나타내었다. 그러나 3S-1호 주입지반은  $Lu=0.5(K=9.88 \times 10^{-6} \text{cm/sec})$ 로 주입전에 비해 투수값이 현저히 감소하는 것을 나타내었다. 연암에서는 주입전  $Lu=16.4(K=3.48 \times 10^{-4} \text{cm/sec})$ 로 OPC 주입후에는  $Lu=3.2(K=7.57 \times 10^{-5} \text{cm/sec})$ 로 나타내었으나 목표치  $10^{-5} \text{cm/sec}$  이하 개량효과는 미치지 못하였다. 그러나, 3S-1호 주입시에는  $Lu=0.4(K=9.76 \times 10^{-6} \text{cm/sec})$ 로 주입전에 비해 1/100정도로 큰 차수저감 효과를 나타내었다.
- 2) 주입시험 결과, 풍화암에서 OPC의 경우 평균 28.3 ℓ/m가 주입이 되었으나, 3S-1호는 251.7 ℓ/m로 약 9배 정도 주입성이 더 높은 것으로 나타났다. 연암층에서는 OPC의 경우 평균 91.5 ℓ/m가 주입이 되었으나, 3S-1호는 348 ℓ/m로 약 4배 정도 주입성이 더 높은 것으로 나타났다.

이상과 같이, 암반지반에서 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)는 1/10정도의 비교적 낮은 차수 저감으로 목표치 ( $10^{-5} \text{cm/sec}$  이하) 또한 나타내지 못하나 초미립자 시멘트(3S-1호)는 1/100정도의 큰 차수( $10^{-6} \text{cm/sec}$ ) 효과와 보강효과도 확인할 수 있었다. 이는 주입시험 결과, 초미립자 시멘트(3S-1호)가 OPC보다 약 4~9배 주입성이 더 높은 것이 원인으로 판단이 된다. 따라서 본 연구는 암반그라우팅 시공시 OPC보다 3S-1호와 같은 초미립자 시멘트를 적용하는 것이 더 적합한 것으로 판단된다.

## References

- [1] E. Nonveiller, "Grouting Theory and Practice", Elsevier, Amsterdam, pp.35-39
- [2] B. S. Chun, J. C. Kim, Y. K. Lee, "The Permeability of the Inorganic Ultra fine Grouts of Korea", J. of the Korean Geotechnical Society, Vol. 1997, No. 3, 1997. pp.185-188, 1997. Available From: <http://www.riss.kr/link?id=A75612858>. (accessed Oct., 01, 2018)
- [3] Ssangyong Cement Industry, "Development and Practice of Inorganic Ultra Fine Cement and Silica Sol in Korea, Ministry of Construction and Transportation", Seoul, pp.244-263, 1997.
- [4] J. H. An, C. S. Park, J. W. Jang, H. N. Kang, Y. S. Kim, "A Study on the Improvement Effects of Soft Ground through In-Situ Construction of NDS", KGS Spring National Conference, Vol.2005, No.-, 2005, pp.653-657, 2005. Available From: <http://www.riss.kr/link?id=A100644079>. (accessed Oct., 05, 2017)
- [5] C. S. Park, H. N. Kang, Y. S. Kim, J. W. Jang, "A Study on the Laboratory Tests of NDS", KSCE National Conference, Vol.2003, No.10, 2003, pp.3949-3953, 2003. Available From: <http://www.riss.kr/link?id=A76569274>. (accessed Oct., 05, 2017)
- [6] Y. J. Lim, K. H. Lee, H. K. Kim, C. S. Hong, J. H. An, "Development of New Micro-Cement Grouting Materials for Tunneling", KGS Fall National Conference, Vol.2008, No.-, 2008, pp.1559-1570, 2008. Available From: <http://www.riss.kr/link?id=A100643969>. (accessed Oct., 08, 2016)
- [7] K. H. Lee, "A Study of Injected Material for Tunnel Inforcement Using Slag Cement", Ph.D. Thesis, PaiChai Univ, pp.132-148, 2012.
- [8] Jisan Specialty Construction co.,Ltd, "Second Year Final Performance Report on Research and Development of high Performance Penetration Injection Material for Reinforcement of Ground[Tunnel]", Samsung corp., Seoul, pp.4-6, 36-49, 2008.
- [9] J. N. Do, M. S. Nam, B. J. Lee, B. C. Park, B. S. Chun, "Reasonable Management and Effective Determining Method of Grouting according to the types of soils", Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 19, No. 1, 2015. pp.31-39, 2015. Available From: <http://www.riss.kr/link?id=A100543494>. (accessed Oct., 05, 2018)
- [10] J. H. Park, "An Experimental Study on the Groutability of the Cementious Grouts in the Rock-based Sites", Master's Degree. Thesis, Hanyang Univ, pp.21-30, 2010.

### 안 준 희(Jun-Hee An)

[정회원]



- 2007년 2월 : 창원대학교 대학원토목공학과 (공학석사)
- 2007년 6월 ~ 현재 : 지산특수토건(주) 기술연구소 책임연구원

<관심분야>

건설토목, 지반공학

### 박 춘 식(Choon-Sik Park)

[정회원]



- 1981년 2월 : 동아대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1990년 3월 : 일본 동경대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1993년 3월 : 일본 동경대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1981년 1월 ~ 1996년 2월 : 한국농어촌공사 계장

- 1994년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 토목환경화공융합공학부 교수

<관심분야>

지반공학, 토질 및 기초