

양생조건에 따른 SSG공법의 일축압축강도 평가

최용성¹, 김병일^{2*}, 문인종², 허 준²

¹SSC산업(주), ²명지대학교 토목환경공학과

Evaluation on Uniaxial Compression Strength of SSG Method with Curing Condition

Yong-Sung Choi¹, Byoung-Il Kim^{2*}, In-Jong Moon², Jun Heo²

¹Engineering Division, SSC Industry Co., Ltd.

²Department of Civil & Environmental Engineering, Myongji University

요 약 좁은 면적을 단기간에 개량시킬 수 있는 장점이 있는 그라우팅 공법은 지반의 특성과 지하수위 등에 따라 주입 효과의 차이가 있다. 특히 투수성이 큰 지반에서는 시간 경과에 따라서 용탈현상이 발생하여 강도저하 및 차수 성능이 저하되어 품질에 문제가 생길 수 있다. 최근 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 초기강도 확보 및 용탈 방지와 동시에 균열 자기치유 특성을 가지는 SSG가 개발되었다. 이 연구에서는 두 가지 양생조건에 대해 SSG의 일축압축강도 시험을 수행하여 양생기간에 따른 일축압축 강도를 파악하였다. 또한 SSG와 기존의 LW 및 SGR의 일축압축강도와 비교하였다. 연구 결과, SSG가 상온 양생 및 저온 양생 모두에서 강도가 크게 측정되었으며, 초기 강도도 상대적으로 매우 우수한 것으로 나타났다.

Abstract The grouting method, which can be used to effectively improve small areas within a short amount of time, may have different injection effects depending on the ground conditions and the levels of a water table. In particular, for ground with a relatively large permeability, the strength of the ground and the water proof ability can decrease over time due to the leaching process. To solve this problem, a "self-healing smart grouting (SSG) method", which was designed to maintain the initial strength of the ground by minimizing the leaching process, was developed recently. In this study, uniaxial compression tests were carried out on SSG samples to understand the strength of SSG over curing time where two different curing temperatures have been applied for comparison. The uniaxial compression strength of SSG was further compared with the samples prepared using conventional methods (LW and SGR). The test results showed that the uniaxial compression strength of SSG was higher at both high and low curing temperatures compared to that of the samples prepared using conventional methods. The initial strength of SSG was also relatively higher.

Keywords : Grout material, Initial strength, Self-healing smart grouting, Uniaxial compression strength, Uniaxial compression tests

1. 서론

자기치유 그라우팅(Self-Healing Smart Grouting, 이하 SSG)은 지반내 물과 반응하여 결정 성장형 자기 치유 특성을 발휘함으로써 그라우트와 지반이 일체화되어

지반의 내구성이 향상되고, 용탈 방지, 차수성이 기존 그라우트보다 우수한 공법이다. 규산소다(sodium silicate)를 이용하는 기존의 그라우팅 공법에서는 수화 생성물 속의 겔(gel) 공극과 모세관 공극 중의 유리(CaO)가 수중에서 유실되거나 대기 중으로 증발되면서 수축과 균열

본 논문은 2015년 대원토질(주)의 지원을 받아 수행되었음.

*Corresponding Author : Byoung-Il Kim(Myongji Univ.)

Tel: +82-31-330-6415 email: bikim@mju.ac.kr

Received November 13, 2015

Revised November 26, 2015

Accepted February 4, 2016

Published February 29, 2016

이 발생하여 차수성능에 문제가 발생하는 것이 보통이다. 반면, SSG공법은 규산소다계 용액과 2가 금속 급결제의 겔화와 시멘트 수화반응에 의한 경화가 복합적으로 진행되기 때문에 수중에서 용탈 방지 특성이 우수하여 지반과 지하수의 오염 우려가 거의 없다.

좁은 면적을 단시간 내에 개량하는데 효과적인 그라우팅 공법은 그동안 LW(Labiles Wasser glass)공법, SGR(Space Grouting Rocket system)공법, JSP(Jumbo Special Pile)공법 등 여러 가지 공법이 개발되어 널리 사용되고 있다[1]. 흙막이 공법과 터널보조공법에 많이 사용되고 있는 LW공법은 주로 차수 목적으로 사용되며, 초기 강도가 높은 것으로 알려진 SGR공법은 주로 단기간에 강도 증진이 필요한 곳에 사용되고 있다. LW공법 및 SGR공법에 대한 연구는 국외뿐만 아니라 국내에서도 그동안 많은 연구가 이루어져 왔다[2]. 반면, SSG공법은 최근에 개발되어 이제 막 연구가 시작된 단계이어서 국내외 기존 연구자료는 거의 없는 실정이다.

이 연구에서는 SSG공법, LW공법, SGR공법에서 일반적으로 사용되고 있는 배합비에 따라 공시체를 제작하여 양생기간, 양생조건 등에 따른 일축압축강도를 측정하여 각 공법의 일축압축강도를 비교 분석하였다.

2. 배합조건과 공시체 제작

2.1 배합조건

이 연구에서는 기존 연구에 대한 문헌고찰을 통해 가능한 기존 연구와 유사한 조건으로 일축압축시험을 수행하고자 노력하였다. 시멘트는 세계 각국에서 건설, 건축 분야에서 광범위하게 사용되고 있는 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary cement)를 사용하였고, 배합비도 기존 연구와 유사하게 결정하였다. 배합조건은 Table 1과 같다. 표에서 보는 것처럼 SSG공법은 현장에서 사용되고 있는 배합비에 맞춰서 물시멘트비 162%로 배합하였으며, LW공법 및 SGR공법은 기존 연구와 비교하기 위해 참고문헌에서 사용하는 것과 같은 물시멘트비인 218.8% 및 280%를 사용하였다[3, 4, 5, 6, 7].

Table 1. Standard mixing ratio

Methods	A liquid (200 ℓ)		B liquid (200 ℓ)			w/c (%)
	water (ℓ)	water glass (ℓ)	cement (kg)	SGR #7 (kg)	water (ℓ)	
SSG	156	44	100	-	162	162
LW	100	100	80	-	175	219
SGR	100	100	60	24	168	280

2.2 공시체 제작

공시체는 Fig. 1에서 보는 것과 같이 물유리(A액)와 시멘트 현탁액(B액)을 각각 250mℓ씩 비이커에 계량해서 넣고 겔타임 전까지 혼합한다. 그 다음 큐브몰드(50×50×50mm)에 넣은 후 표면을 마무리한다. 1일간 항온항습기(상온 22±2℃, 저온 10±2℃)에서 각각 양생 후 탈형하여 상온조건의 공시체는 22±2℃, 저온조건 공시체는 10±2℃의 수중에서 시험 재령일 까지 각각 수중 양생시킨다.



(a)



(b)

Fig. 1. Making specimens

(a)Specimens preparation(A/B liquid) (b)Cube specimens

2.3 일축압축강도 시험 방법

이 연구에서는 단기 및 장기 강도를 확인하기 위하여 공시체 제작 후 1, 3, 6, 12, 24시간(1일) 및 3, 7, 14, 28일이 지난 시점에서 Fig. 2와 같이 일축압축시험을 진행하였다. 일축압축시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법에 따라 실시하였으며, 각 시험조건은 Table 2와 같다. 각 조건의 일축압축강도는 일축압축시험을 각 조건별로 최소 3회 이상 실시하여 얻은 강도를 평균하여 구하였다.



Fig. 2. Uniaxial compression test

Table 2. Test conditions

Methods	Curing Conditions	
	Temperature	Time
SSG	High($22 \pm 2^{\circ}\text{C}$) & Low($10 \pm 2^{\circ}\text{C}$)	1hour
		3hours
		6hours
LW		12hours
		1day
		3days
SGR		7days
		14days
		28days

3. 일축압축강도 비교

3.1 공법별 일축압축강도 비교

본 연구에서 얻은 장기 및 단기 일축압축강도를 정리하면 Table 3, Fig. 3 및 Fig. 4와 같다. Fig. 3과 Fig. 4에

서 보는 것처럼 장기강도 및 단기강도, 상온양생 및 저온양생 등 모든 조건에서 SSG공법의 일축압축강도가 가장 큰 것으로 나타났다. 이것은 물시멘트비가 가장 작기 때문인 것으로 판단되며, 규산소다 비율이 두 공법에 비해 작은 것도 하나의 이유라고 판단된다.

Table 3. Unconfined compressive strength

Curing time	SSG (kgf)		LW (kgf)		SGR (kgf)	
	High	Low	High	Low	High	Low
1hour	17.53	3.87	6.05	9.15	13.55	5.35
3hours	105.20	17.36	9.68	9.47	19.35	8.79
6hours	209.09	24.30	10.73	10.48	23.49	15.66
12hours	301.60	129.03	12.22	12.98	27.05	23.38
1day	440.13	232.43	18.34	14.85	32.53	33.01
3days	509.52	359.83	27.51	15.18	36.13	41.00
7days	590.75	427.38	52.00	16.83	37.33	57.67
14days	648.00	471.15	174.46	47.03	39.67	61.67
28days	700.82	514.75	626.63	496.85	48.00	64.33

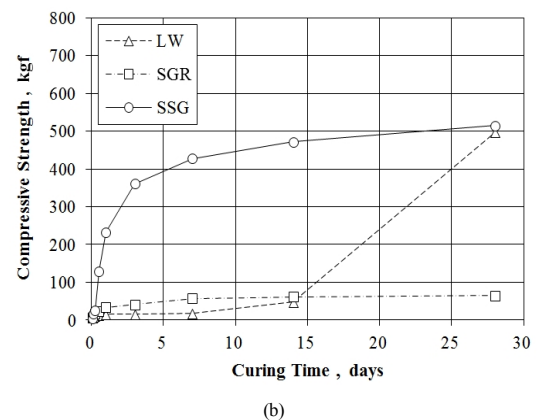
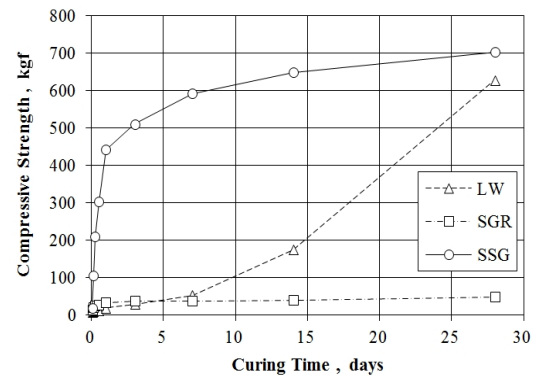


Fig. 3. Uniaxial compressive strength - Long term
(a)High temperature (b)Low temperature

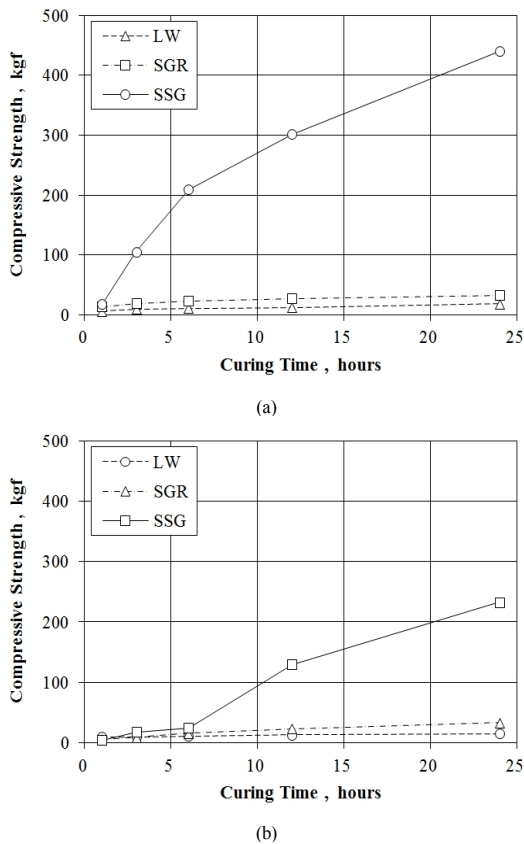


Fig. 4. Uniaxial compressive strength - Short term
(a)High temperature (b)Low temperature

Fig. 3을 보면 SSG공법은 상온과 저온조건에서 재령일 14일 일축압축강도가 재령일 28일 기준으로 평균 92.00%까지 발휘되며, LW공법은 재령일 7일까지 일축압축강도의 변화가 거의 없다가 7일 이후 급격히 증가된다. 반면에 SGR공법은 재령일 14일에 최대의 일축압축강도를 보이다가 그 이후 감소함을 그림을 통해 알 수 있다. Fig. 4에서 재령일 1일(24시간) 이내 일축압축강도 차이를 비교해보면 SSG공법은 LW공법에 비해서 평균 19.8배, SGR공법에 비해서 평균 10.3배 정도 일축압축강도가 우수한 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 SSG공법이 다른 두 공법에 비해 단기간에 큰 일축압축강도를 확보할 수 있는 장점이 있다. 따라서 터널 안정성 확보를 위한 터널보강공사에서 양생 대기시간 감소로 공사기간 단축이 가능하며, 차수 및 지수 목적으로 적용되는 경우와 초기강도가 확보되어야 하는 긴급공사에도 효과가 극대화될 것으로 판단된다.

각 공법별 재령일 28일 일축압축강도의 상온과 저온

조건의 차이를 비교해보면 SSG공법은 26.6%, LW공법은 20.7% 정도 상온조건의 일축압축강도가 저온조건보다 크며, SGR공법은 그 반대의 경향을 보인다. 하지만 일축압축강도의 크기만을 비교하면 SSG공법과 LW공법의 저온조건에서의 일축압축강도가 SGR공법보다 월등히 크다. 이를 통해 SSG공법은 상온조건은 물론 저온조건에서도 충분한 일축압축강도를 확보할 수 있는 장점을 확인할 수 있다.

3.2 기존 연구결과와의 비교

기존의 국내에서 연구 발표된 LW공법과 SGR공법의 일축압축강도와 본 연구에서 수행한 일축압축강도를 비교해보았다. 각 연구의 배합조건은 Table 4, 5와 같으며, 거의 대부분이 동일하거나 비슷한 배합조건임을 확인할 수 있다. LW공법의 장기강도와 단기강도의 일축압축강도를 나누어 비교한 그림은 Fig. 5 (a), (b)와 같고, Fig. 6은 SGR공법의 일축압축강도를 비교한 그림이다.

Table 4. LW mixing ratio

Methods	A liquid (200 ℓ)		B liquid (200 ℓ)		w/c (%)
	water (ℓ)	water glass (ℓ)	cement (kg)	water (ℓ)	
07 Yang	100	100	80	175.0	218.8
08 Lim	100	100	80	175.2	219.0
14 Kim	100	100	80	174.8	218.5
15 MJU	100	100	80	175.0	218.8

Table 5. SGR mixing ratio

Methods	A liquid (200 ℓ)		B liquid (200 ℓ)			w/c (%)
	water (ℓ)	water glass (ℓ)	cement (kg)	SGR #7 (kg)	water (ℓ)	
12 Kim	100	100	60	24	168	280
13 Shin	100	100	60	24	168	280
15 MJU	100	100	60	24	168	280

Fig. 5 (a)를 보면 LW공법의 재령일 28일 일축압축강도 크기는 Lim et al.(2008)이 가장 컸으며, 본 연구, Kim(2014) 순으로 나타났다. 재령일별 강도 증진 경향은 본 연구결과와 Lim et al.(2008) 연구가 비슷한 것으로 나타났으나 Kim(2014) 연구 결과는 재령일 14일 이후 타 연구에 비해 일축압축강도가 작은 경향을 보인다.

Lim et al.(2008)과 본 연구는 일축압축강도 시험용 공시체 제작 시 큐빅몰드를 사용한 반면에, Kim(2014)는 $\phi 5 \times 10\text{cm}$ 의 실린더형 몰드를 사용하였기 때문에 위와 같은 경향차이가 발생한 것으로 판단된다. 또한 Fig. 5(b)를 보면 LW공법의 단기 일축압축강도는 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

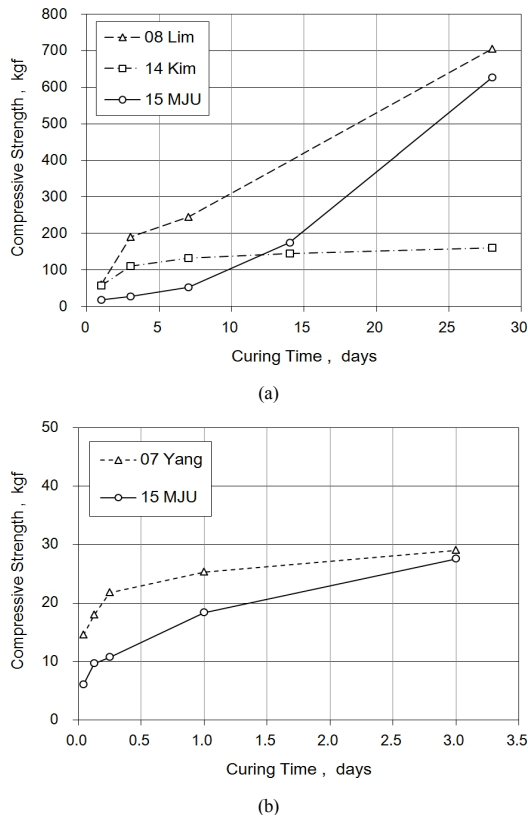


Fig. 5. Comparison of uniaxial compressive strength - LW
(a)Long term (b)Short term

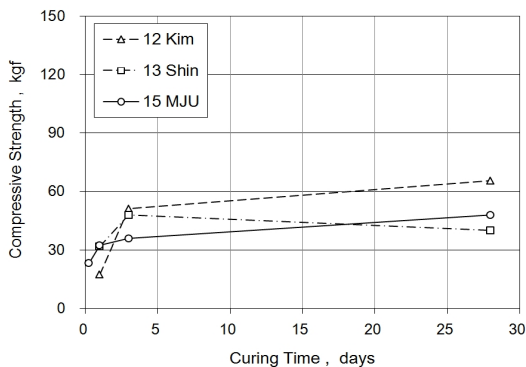


Fig. 6. Comparison of uniaxial compressive strength - SGR

Fig. 6에서 보는 것처럼 SGR공법의 재령일 28일 일축압축강도 크기는 Kim(2012)이 가장 컸으며, Shin et al.(2013), 본 연구결과 순으로 나타났다. 그러나 차이가 그다지 크지 않고 경향이 거의 비슷함을 알 수 있다.

4. 결론

이 연구에서는 기존 그라우팅 재료의 문제점을 개선하고자 개발된 SSG공법의 일축압축강도를 측정하고, 현재 많이 사용되고 있는 LW공법 및 SGR공법의 일축압축강도 특성과 비교, 분석하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 장기 강도 및 단기 강도, 상온 양생 및 저온 양생 등 모든 조건에서 SSG공법이 LW공법 및 SGR공법 등 두 가지 공법에 비해 일축압축강도가 가장 큰 것으로 나타났다.

(2) SSG공법은 다른 두 공법에 비해 초기 강도(3hr, 6hr)가 월등하게 큰 것으로 나타났다. 따라서 보강 및 차수 그라우팅 공사 시에 후속 공정을 위한 대기시간 감소로 공사기간단축을 기대할 수 있으며, 차수 및 지수에 적용 시 지반보강 효과도 더불어 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

(3) SSG공법과 LW공법은 저온조건에서의 일축압축강도가 상온조건보다 작게, SGR공법은 약간이지만 저온조건에서의 일축압축강도가 상온조건보다 큰 것으로 나타났다. 하지만 일축압축강도의 크기만을 비교하면 SSG공법과 LW공법의 저온조건에서의 일축압축강도는 SGR공법보다 월등히 크다. 겨울철 그라우팅 시공 시에 효과적인 공법으로 활용될 것으로 기대된다.

앞으로 SSG에 대한 더 많은 연구가 진행되어야 확실하겠지만 이 연구결과 SSG공법은 기존의 LW, SGR공법에 비해 강도가 크며, 특히 초기 강도가 큰 것으로 나타나 기존 그라우팅 공법이 적용되기 어려운 환경에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] B. I. Kim, S. M. Cho, J. H. Kim, S. R. Kim, Soft Ground Improvement Methods. CIR Publishing Co.,

2015.

- [2] B. S. Chun, "Development and Practice of the Inorganic Ultra Fine Cement and Silica Sol", Ministry of Construction and Transportation, 1997.
- [3] H. C. Yang, "Hardening Behaviour of Sodium Silicate-Cement Grout", Hanyang University, 2007.
- [4] Y. J. Lim, K. H. Lee, H. K. Kim, C. S. Hong, J. H. Ahn, "Development of New Micro-Cement Grouting Materials for Tunneling", Korean Geotechnical Society Fall National Conference 2008, pp.1559-1570, 2008.
- [5] Y. H. Kim, "A Study on Engineering Characteristics for Alkali Silicasol Grout Material", Hanyang University, 2014.
- [6] S. J. Kim, "Characteristics of Seawater-resistance for Geo-polymer Grout", Hanyang University, 2012.
- [7] H. H. Shin, M. C. Park, K. H. Park, J. W. Seo, "A Empirical Study on Durability and Waterproofing Characteristic of Space Multi-Injection Grouting Method", Korean Geo-Environmental Society, Vol.14, No.1, pp.53-60, 2013.

최 용 성(Yong-Sung, Choi)

[정회원]



- 2002년 8월 : 명지대학교 교통공학과 (공학사)
- 2004년 8월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 박사과정
- 2014년 10월 ~ 현재 : 에스에스씨 산업(주) 차장

<관심분야>

토질역학, 도로공학

문 인 중(In-Jong Moon)

[정회원]



- 2012년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 석박사통합과정

<관심분야>

토질역학, 기초공학

허 준(Jun Heo)

[준회원]



- 2014년 8월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 2014년 9월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 석사과정

<관심분야>

토질역학, 기초공학

김 병 일(Byoung-Il Kim)

[종신회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>

토질역학, 기초공학