

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.6.591>

JCCT 2024-11-71

순환자원을 활용한 지반주입재의 SGR(Space Grouting Rocket)공법 적용에 관한 기초연구

A Fundamental Study on Application of SGR(Space Grouting Rocket) Method for Soil Injection Material using Recycled Resources

송상훈*

Sang-Huwon Song*

요약 본 연구는 순환자원 활용 저시멘트 주입재에 대하여, SGR공법에 적용하는 OPC 및 SC를 대체하는 주입재료 검토를 위해 실내에서 겔타임 시험과 양생일별 호모겔 강도시험을 실시하여 비교하였다. 겔타임시험의 경우 표준시방서에서 제시하는 완결 및 급결 조건을 OPC 및 SC는 만족하는 결과를 나타내었지만, 순환자원 활용 저시멘트 주입재의 경우 급결 조건의 겔타임은 만족하지 못하였다. 수정배합비를 이용하여 급결조건으로 순환자원 활용 저시멘트 주입재의 겔타임시험을 실시한 결과 평균 8.8sec로 확인되어 급결조건을 만족하는 것으로 확인되었다. 또한 겔타임 조건을 만족하는 배합비로 호모겔 강도를 측정된 결과 양생일 28일 기준 1.12-1.88MPa의 압축강도로 나타났다.

주요어 : 순환자원, SGR공법, 겔타임, 호모겔강도, 주입재

Abstract In this study, a gel time test in laboratory test and a homogel compressive strength test for each curing day were conducted to compare low cement injection materials utilizing recycled resources as replacement materials for OPC and SC used in the SGR method. In the case of the gel time test, OPC and SC showed results that satisfied the quick setting and final setting conditions presented in the standard mixing ratio. In the case of low cement injection material utilizing recycled resources, the gel time under quick setting conditions was not satisfied. As a result of conducting a gel time test of low cement injection material using recycled resources under quick setting conditions using a modified mixing ratio, the average time was found to be 8.8 sec, confirming that it satisfies the quick setting conditions. In addition, as a result of measuring the homogel compressive strength with a mixing ratio that satisfies the gel time conditions, the compressive strength was found to be 1.12-1.88 MPa as of the 28th day.

Key words : Circulating resources, SGR method, Gel-time, Homogal strength, Injection meterial

1. 서 론

국내에서 지반의 차수 목적으로 적용되는 대표적인 공법으로 물유리를 사용하는 LW(Labiles Waterglass)

공법 및 SGR(Space Grouting Rocket)공법이 가장 보편화된 개념의 공법으로 인식되고 있다[1]. 이러한 약액 주입공법은 저수지 보강, 가시설 보강, 터널 지수 등의 차수공법으로 많이 적용되고 있으며, 약액주입공법은

*정회원, 전주비전대학교 건축과, 교수(제1저자)
접수일: 2024년 8월 2일, 수정완료일: 2024년 9월 1일
게재확정일: 2024년 11월 10일

Received: August 2, 2024 / Revised: September 1, 2024

Accepted: November 10, 2024

*Corresponding Author: shsong@vision.ac.kr

Dept. of Architecture, Vison college of Jeonju, Korea

1970년대에 서울 지하철공사에 적용되기 시작하면서 국내에 본격적으로 적용 및 시공이 확대 실시되었다. 이러한 약액주입공법의 연구는 1980년대부터 많은 연구자들에 의해 본격적으로 연구가 수행되었으며, 주로 물유리계 용액을 사용하는 LW공법의 단점인 약한 장기 내구성 등을 보완하기 위해 사용 A액을 개선하여 실리카졸 등을 사용하는 방법이 주로 연구되었고, 주입제인 B액에 대한 연구는 시멘트의 성능을 개선하는 방법으로 첨가제를 혼합하고, 주입성능을 높이기 위해 분말도를 높인 초미립자 주입제를 사용하는 연구가 주로 수행되었다[2]. 그러나 주입제를 초미립자로 분쇄하는 비용이 크게 발생하고, 성능 개선용 첨가제 역시 고가의 재료로 경제성이 감소하는 단점이 있다. 최근 경제성을 보완하는 방법으로 순환자원인 고로슬래그미분말 및 저품위 연소재 등을 활용하여 LW공법에 적용하는 연구들이 수행되어, 터널 강관다단공법 보강용 주입제[3] 및 노후 저수지 보강용 주입제[4] 등에 대하여 연구가 수행되었다. 또한 이러한 저품위 순환자원을 사용하여 지반을 보강하는 재료인 시멘트를 대체하는 재료에 대한 다양한 현장 적용연구도 수행되고 있는 것으로 조사되었다[5].

본 연구에서는 순환자원을 활용하여 경제성을 확보한 저시멘트 주입제를 SGR공법에 적용하기 위한 기초 연구로 SGR-7호 약제를 사용하여 다양한 배합비로 겔타임 및 호모겔 강도를 측정하였다. 시험 결과 국토교통부에서 제시하는 배합비로는 요구성능을 확보하지 못하는 것으로 나타났으나, 배합비를 변경하면 요구성능을 확보하는 것으로 나타났다.

II. 약액주입공법의 표준배합비 및 기준

LW공법과 SGR공법은 대표적인 약액주입공법으로 2022년 국토교통부에서 제정한 “가설흙막이 공사” 표준시방서(KCS 21 30 00 : 2022)에 LW공법 및 SGR공법의 표준배합비가 제시되어 있으며[6], LW공법의 경우 혼합액 0.5m³ 기준 A액은 규산소다 315ℓ, 물 185ℓ를 혼합하게 제시되어 있으며, B액은 시멘트 250kg, 벤토나이트 22kg, 물 428ℓ를 혼합하도록 제시되어 있다. 또한, SGR공법의 경우 최종 혼합액 400ℓ 기준 A액은 규산소다 100ℓ, 물 100ℓ를 혼합하도록 제시되어 있으며, B액 급결형의 경우 SGR-7,9호 약제를 24kg, 시멘트 60

kg, 물 168ℓ를 혼합하도록 제시되어 있고, B액 완결형의 경우 SGR-8, 10호 약제를 23kg, 시멘트 60kg, 물 169ℓ를 혼합하도록 제시되어 있다. 그리고 품질관리를 위해 LW공법의 겔타임은 60-120초가 확보되어야 하며, SGR공법의 경우 급결형의 겔타임은 6-12초, 완결형의 경우 60-90초가 확보되어야 하는 것으로 제시되어 있다. 그리고 최종적인 차수 효과를 확인하기 위해 최종 보강지반의 투수계수는 1.0×10^{-5} cm/sec 이하를 확보해야 하는 것으로 제시되어 있으며[2], 다음의 표 1-3에 정리하여 나타내었다.

표 1. LW공법 표준 배합표

Table 1. Standard mixing ratio of LW method

LW Method (per 0.5m ³ , A:B=50:50)				
Liquid A		Liquid B		
SS No.3(ℓ)	Water(ℓ)	Binder(kg)	Bentonite(kg)	Water(ℓ)
315	185	250	22	428

표 2. SGR공법 표준 배합표

Table 2. Standard mixing ratio of SGR method

SGR Method (per 400ℓ, A:B=50:50)		
Liquid A	SS No.3(ℓ)	100
	Water(ℓ)	100
Liquid B (quick setting)	SGR-7, 9(kg)	24
	Binder(kg)	60
	Water(ℓ)	168
Liquid B (final setting)	SGR-8, 10(kg)	23
	Binder(kg)	60
	Water(ℓ)	169

표 3. LW 및 SGR공법 요구성능

Table 3. Required performance of LW & SGR Method

Type	Gel-time(s ec)	Hydraulic conductivity (cm/sec)
LW	60-120	1.0×10^{-5} or less
SGR (quick setting)	6-12	
SGR (final setting)	60-90	

III. 사용 주입재의 특성

본 연구에 사용한 순환자원 활용 저시멘트 지반 주입재는 제철 및 발전산업에서 대량으로 발생하는 부산물인 고로슬래그 미분말과 저품질 순환유동층 보일러 연소재를 50% 이상 활용한 주입재로 약액주입공법에 사용되는 보통 포틀랜드 시멘트(OPC) 및 고로슬래그 시멘트(SC)에 비해 경제성을 확보한 지반주입재이다. 본 연구에 사용한 순환자원 활용 저시멘트 주입재, 보통 포틀랜드 시멘트 및 고로슬래그 시멘트의 화학조성은 표 4에 정리하여 나타내었다.

표 4. 사용 주입재의 화학성분 비교

Table 4. Chemical constituents of Using Injection material

Material	Chemical constituents				
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
Injection material	40.7	28.4	13.1	6.4	3.4
OPC	65.7	17.4	3.8	4.0	2.5
SC	52.6	25.4	11.3	1.5	3.2

IV. 겔타임 및 호모겔강도 시험

SGR공법에 순환자원 활용 저시멘트 주입재의 적용을 위해서 표준시방서에서 요구하는 성능을 발현하는지 확인하기 위해 겔타임 및 호모겔 강도시험을 실시하였으며, 비교를 위해 OPC 및 SC에 대하여 동일한 배합비를 적용한 시험도 같이 수행하였다.

1. 겔 타임 시험

표준시방서에 제시된 SGR공법의 표준배합비를 적용하여 그림 1, 2와 같이 혼합액을 준비하여 그림 3, 4와 같이 주입재별 겔타임 시험을 실시하여, 주입재별 급결 및 완결조건에 대한 요구성능을 확보하는지 확인하였다. 급결제로는 SGR-7호 약제를 사용하였으며, 완결제로는 SGR-8호 약제를 사용하였다. OPC를 주입재로 사용한 급결조건에 대한 시험결과 6.3-7.3sec, 평균 6.8sec의 겔타임을 나타내었으며, 완결조건에 대한 시험결과 62.3-67.4 sec, 평균 65.1 sec로 측정되어, 표준시방서의 겔타임 성능을 만족하는 것으로 확인되었다. SC를 주입재로 사용한 급결조건에 대한 시험결과 7.8-8.9sec, 평균 8.3sec의 겔

타임을 나타내었으며, 완결조건에 대한 시험결과 65.4-68.1 sec, 평균 66.7sec로 측정되어, 표준시방서의 겔타임 성능을 만족하는 것으로 확인되었다. 그러나 순환자원을 활용한 저시멘트 주입재의 경우 완결조건에 대한 겔타임을 75.3-80.2sec, 평균 78.0sec로 표준시방조건을 만족하는 것으로 나타났으나, 급결조건에 대한 시험결과 15.3-17.4sec, 평균 16.3sec로 표준시방조건을 만족하지 못하는 것으로 확인되었다. 이에 표 6과 같이 급결조건에 대하여 배합비를 수정하여 겔타임시험을 수행하였으며, 수정 배합비를 적용한 경우 겔타임을 8.6-9.2sec, 평균 9.2sec로 측정되어, 급결조건에 대한 겔타임을 만족하는 것으로 나타났다.

주입재별 겔타임시험 결과 OPC가 급결 겔타임을 평균 6.8sec, 완결 겔타임을 65.1sec로 가장 빠른 겔타임을 나타내었으며, 그 다음으로 SC로 급결 겔타임을 평균 8.3sec, 완결 겔타임을 66.7sec으로 측정되었다. 순환자원을 활용 저시멘트 주입재의 경우 급결 겔타임을 평균 8.8sec, 완결 겔타임을 78.0sec로 측정되어, 겔화되는 시간이 가장 많이 필요한 것으로 확인되었다.

표 5. 겔 타임 시험 결과(표준배합)

Table 5. Gel time test results(standard mixing ratio)

Material	Type	Result(sec)			
		1	2	3	Ave.
OPC	quick setting	6.8	6.3	7.3	6.8
	final setting	62.3	65.6	67.4	65.1
SC	quick setting	8.2	8.9	7.8	8.3
	final setting	65.4	66.7	68.1	66.7
Injection material	quick setting	15.3	17.4	16.3	16.3
	final setting	75.3	80.2	78.6	78.0

표 6. SGR공법 적용 수정 배합표

Table 6. Modified mixing ratio of SGR method

SGR Method (per 400 ℓ, A:B=50:50)		
Liquid A	SS No.3(ℓ)	100
	Water(ℓ)	100
Liquid B (quick setting)	SGR-7(kg)	31
	Binder(kg)	76
	Water(ℓ)	160

표 7. 겔 타임 시험 결과(수정배합)

Table 5. Gel time test results(Modified mixing ratio)

Material	Type	Result(sce)			
		1	2	3	Ave.
Injection material	quick setting	8.8	8.6	9.2	8.8



그림 1. 혼합 A액 준비

Figure 1. Preparation of A liquid by mixing ratio



그림 2. 혼합 B액 준비

Figure 2. Preparation of B liquid by mixing ratio

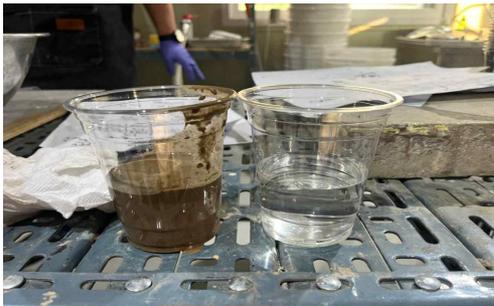


그림 3. 호모겔타임 시험 준비

Figure 3. Preparation of homogel time test



그림 4. 호모겔타임 시험 완료

Figure 4. Completed homogel time test

2. 호모겔 압축강도 시험

호모겔 압축강도시료는 OPC, SC의 경우 표준배합비를 사용하였으며, 순환자원 활용 저시멘트 주입제의 경우 완결조건은 표준배합비를 사용하였으며, 급결조건의 배합비는 수정된 배합비를 사용하여 시료를 제작하였다. 급결조건인 시료제작시 혼합이 잘될 수 있도록 B액을 먼저 몰드안에 절반 정도 붓고, 시약 스푼을 이용하여 A액을 혼합하며 압축시료를 그림 5와 같이 제작하였다. 시료제작에 사용된 몰드는 50mm×50mm×50mm 모양의 큐빅몰드로 시료를 제작하였으며(그림 6), 습윤상태를 유지하여 양생을 실시하였다(그림 7). 그리고 양생 일(3, 7, 28일)에 맞추어 탈형하여 호모겔 압축강도를 측정하였다(그림 8).



그림 5. 호모겔 압축강도 시료 제작 과정

Figure 5. Homogel compressive strength specimen making process



그림 6. 호모겔 압축강도 시료 제작 완료
 Figure 6. Completed of homogel compressive strength specimen

양생일별 측정된 호모겔 압축강도의 평균값을 그림 9 및 표 8에 정리하여 나타내었다. OPC를 주입재로 사용한 완결조건의 호모겔 압축강도는 양생 3일에 평균 0.18MPa, 양생 7일에는 평균 0.42MPa, 양생 28일에는 평균 1.88MPa의 호모겔 압축강도가 측정되었으며, 급결 조건의 호모겔 압축강도는 양생 3일에 평균 0.16 MPa, 양생 7일에는 평균 0.21MPa, 양생 28일에는 평균 1.12MPa의 호모겔 압축강도가 측정되었다.



그림 7. 호모겔 압축강도 시료 습윤 양생
 Figure 7. Wet curing of homogel compressive strength specimen



그림 8. 호모겔 압축강도 측정
 Figure 8. Measurement of homogel compressive strength

SC를 주입재로 사용한 완결조건의 호모겔 압축강도는 양생 3일에 평균 0.18MPa, 양생 7일에는 평균 0.33MPa, 양생 28일에는 평균 1.83MPa의 호모겔 압축강도가 측정되었으며, 급결 조건의 호모겔 압축강도는 양생 3일에 평균 0.15 MPa, 양생 7일에는 평균 0.28 MPa, 양생 28일에는 평균 1.31MPa의 호모겔 압축강도가 측정되었다. 순환자원 활용 저시멘트 주입재의 경우 완결조건의 호모겔 압축강도는 양생 3일에 평균 0.21MPa, 양생 7일에는 평균 0.40MPa, 양생 28일에는 평균 1.82MPa의 호모겔 압축강도가 측정되었으며, 급결 조건의 호모겔 압축강도는 양생 3일에 평균 0.21 MPa, 양생 7일에는 평균 0.32 MPa, 양생 28일에는 평균 1.21MPa의 호모겔 압축강도가 측정되었다.

주입재별 호모겔 압축강도 결과를 살펴보면 완결조건의 호모겔 압축강도는 1.80MPa 이상으로 측정되었으며, 급결 조건의 호모겔 압축강도는 1.10MPa 이상으로 측정되어 급결조건의 호모겔 압축강도다 완결조건의 호모겔 압축강도보다 작은 것으로 나타났다.

표 7. 양생일 호모겔 압축강도 측정 결과
 Table 6. Result of homo-gel compressive strength

Type		homo-gel compressive strength(MPa)		
		3 days	7 days	28 days
OPC	final setting	0.18	0.42	1.88
	quick setting	0.16	0.21	1.12
SC	final setting	0.18	0.33	1.83
	quick setting	0.15	0.28	1.31
Injection material	final setting	0.21	0.40	1.82
	quick setting	0.21	0.32	1.21

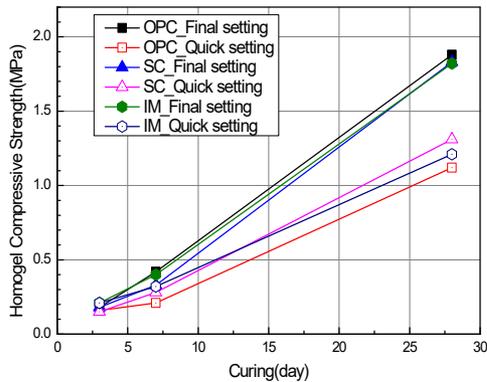


그림 9. 양생일별 호모겔 압축강도 측정 결과
Figure 9. Results of measuring homogel compressive strength by curing days

V. 결론

본 연구에서는 순환자원 활용 저시멘트 주입제에 대하여 지반차수공법에 적용되는 SGR공법에 대한 적용성을 확인하기 위한 실내 기초시험으로 주입제와 급결, 완결조건에 따른 켈타임 및 양생일별 호모겔 압축강도 시험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 지반차수공법에 적용되는 SGR공법의 요구성능은 켈타임과 현장적용 후 보강지반의 투수계수만 제시되어 있으며, 급결조건인 켈타임은 6-12sec, 완결조건인 켈타임은 60-90sec이며, 공법적용 후 지반의 투수계수는 $1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ 이하로 표준시방서에서 제시된 것으로 조사되었다.
- 2) 순환자원 활용 저시멘트 주입제의 경우 표준시방서에서 제시한 SGR배합비 조건에서는 완결조건에 해당하는 켈타임은 만족하였으나, 급결조건인 켈타임은 만족하지 못하는 것으로 나타났다.
- 3) SGR공법의 급결조건을 만족하는 수정 배합비를 도출하였으며, 해당 수정 배합비를 사용하여 켈타임시험을 실시한 결과 표준시방서에서 제시하는 급결조건인 켈타임을 만족하는 것으로 확인되었다.
- 4) SGR공법의 완결 및 급결조건인 호모겔 압축강도 시료를 제작하여 양생일별 압축강도(양생 28일 기

준)를 측정하고 결과 사용한 3종의 주입제 모두 급결 조건인 시료가 완결조건인 시료보다 작은 압축강도를 나타내는 것으로 나타났다.

- 5) 향후 본 연구를 토대로 표준시방서에서 제시하는 요구성능인 투수계수 만족 여부를 현장 시험시공을 통해 확인할 계획이며, OPC 및 SC를 대체하는 순환자원 활용 저시멘트 주입제에 대한 연구를 지속적으로 수행할 계획이다.

References

- [1] B.S. Chun, J.C. Kim, S. S. Nam and K. H. Ha, "A Study on the Design Specification for Characteristics of Grout Materials," *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 3, No. 4, pp. 67-79, Dec. 2002.
- [2] B.S. Chun, D.G. Park, H. N. Kang and J. N. Do, "A Study on the Durability and Environmentally Friendly of Inorganic Grouting Material," *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 9, No. 5, pp. 37-43, Dec. 2008.
- [3] S.H. Song, "A Fundamental Study on The Expression of Initial Strength of Injection Materials for Steel Pipe Multi-Stage Method using Circulating Resources," *The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT)*, Vol. 9, No. 3, pp. 557-562, Sep 2023. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.5.557>
- [4] S.H. Song, K.P. Jeon, Y.H. Lim, and S.G. Seo, "A Fundamental Study on Application Eco Friendly Grouting Material for Old Aged Reserve Reinforcement," *Journal of the Korean institute of rural architecture*, Vol. 21, no. 2. pp. 35 - 42, May 2019. <http://dx.doi.org/10.14577/kirua.2019.21.2.35>
- [5] S.H. Song, "Study on application case of reinforce building shallow foundation for soil stabilized materials using circulating resources", *The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT)*, Vol. 8, No. 3, pp. 457-462, May 2022. <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.3.457>
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Temporary Earth Retaining Works(KCS 21 30 00: 2022)", Korea Construction Specification, pp. 10-13. Feb. 2022.