

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.5.557>

JCCT 2023-9-69

## 순환자원을 활용한 강관다단공법용 주입재의 초기강도 발현에 대한 기초연구

### A Fundamental Study on The Expression of Initial Strength of Injection Materials for Steel Pipe Multi-Stage Method using Circulating Resources

송상훈\*

Sang-Huwon Song\*

**요약** 본 연구는 순환자원을 대량 활용한 지반안정제를 터널공사 시 보조공법으로 이용하는 강관다단공법의 주입재로 활용을 검토하기 위해 다양한 주입재 배합비에 따른 겔타임, 호모겔 강도를 비교하였다. 강관다단공법은 터널의 보조공법으로써 시공 후 초기강도의 발현이 중요한 요인으로, 초기에 강도발현이 우수할수록 강관다단공법에 적합한 주입재로 활용이 가능하다. 실내시험 결과, 순환자원을 활용하는 주입재의 호모겔타입은 시멘트를 주입재로 활용하는 배합비에 비해 많은 시간이 필요한 것으로 나타났으며, 2.0MPa를 만족하는 초기강도 양생시간은 24시간 이상이 필요한 것으로 확인되었다. 따라서 순환자원 활용 주입재는 동일 배합비의 시멘트에 비해 긴 초기경화 시간이 필요한 것으로 나타났다.

**주요어** : 순환자원, 강관다단공법, 겔타임, 호모겔강도, 주입재

**Abstract** This study reviewed the use of soil injection materials using circulating resources as injection materials for the steel pipe multi-stage construction method. The tests performed were homogel time and homogel compressive strength. The steel pipe multi-stage construction method is an auxiliary construction method for tunnels, and the expression of initial strength after construction is an important factor. The better the strength development in the initial stage, the more it can be used as an injection material suitable for the multi-stage steel pipe construction method. As a result of laboratory test, it was found that the homogel time of the injection material using circulating resources required more time than the mixing ratio using cement as the injection material. In addition, it was found that the initial strength curing time satisfying 2MPa was required for more than 24 hours. Therefore, it was confirmed that the injection material using recycled resources required a longer initial curing time than cement of the same mixing ratio.

**Key words** : Circulating Resources, Steel Pipe Multi-stage Method, Gel-time, Homogal Strength, Injection Meteria

\*정회원, 진주비전대학교 건축과, 교수 (제1저자)  
접수일: 2023년 7월 12일, 수정완료일: 2023년 8월 17일  
게재확정일: 2023년 9월 5일

Received: July 12, 2023 / Revised: August 17, 2023

Accepted: September 5, 2023

\*Corresponding Author: huwon4639@naver.com

Dept. of Architecture, Vison college of Jeonju, Korea

## I. 서 론

최근 우리나라의 경우 수도권 GTX 철도사업 및 각종 지하철공사 등과 같은 교통인프라 건설이 많이 수행되고 있다. 또한 수도권에서는 기반시설 확충에 대한 시민들의 요구 충족 및 국토의 효율적인 사용을 위해 철도, 도로, 지하철, 전력, 통신시설 및 상하수도 시설 등 도심 지하공간을 활용하는 대심도 터널공사가 활발히 적용되고 있다[1]. 이러한 터널공사의 경우 설계시점에 수행되는 지반조사는 구간별로 나누어 대표적인 지점들에서 조사하게 되며, 이러한 결과는 전체적인 지반 특성을 반영하지 못하는 불확실성으로 인하여 터널공사 시공중 설계 시에 예측하지 못했던 지반 조건이 나타나는 경우가 빈번하게 발생하여 공사비용 및 공사기간이 증대되는 문제점이 있다[2]. 또한 도심지의 경우 기존에 매설된 상하수도관, 전력구, 지하철 및 지하상가 등 여러 가지 시설물이 있고, 우리나라의 지질특성상 불투수성의 점토층과 다공질의 사질층과 자갈층 등이 분포하며 토사층 아래 암반지반이 분포되어 터널시공 시 충분한 조사와 위험성 검토가 필요하다[3]. 이러한 다양한 지반조건에서 터널공사를 수행 시 지반을 보강하는 공법으로 강관다단공법이 적용된다. 강관다단 공법은 터널공사의 보조공법으로 터널 굴착 중 아칭 효과가 발휘되기 관련한 갱구부와 같이 낮은 토사깊이를 갖는 구간이나, 굴착지반이 풍화도 또는 풍화암과 같이 불량한 경우, 연암 이상의 강도를 나타내나 불연속면이 발달하여 절리면으로부터 용수 및 지하수가 배출되는 구간에 자주 적용되는 터널 보조공법이다[4]. 강관다단 공법은 기존의 파이프 루프공법에서 발전된 공법으로 지반의 전단강도를 유발하여 상부에서 작용하는 하중에 대해 지지가 가능하도록 강관과 강관 사이를 분리하여 설치한 후 강관 사이의 지반에 강관의 내부에서 외부로 주입재를 주입하는 지반 보강을 실시하여 터널 굴착지반의 아칭효과가 발현되도록 하는 공법이다[4]. 이러한 강관다단공법에서 주입재로 주로 보통 포틀랜드 시멘트가 사용되고 있으나, 보통 포틀랜드 시멘트의 경우 제조공정에서 온실가스 다량 발생 및 석회석과 같은 천연자원을 소비하면서 생산되어 그 사용량을 줄여야 하는 제품이다[5]. 이에 따라 산업활동에서 발생하는 순환자원을 활용하여 보통 포틀랜드 시멘트의 사용량을 줄이는 연구들이 수행되고 있다[5]. 본 연구에서는 터널

공법에서 보조공법으로 사용하는 강관다단공법의 주입재로 사용되는 시멘트를 대체하는 순환자원활용 주입재의 강관다단공법 주입재에 대한 적용성을 검토하고자 겔타임과 양생시간별 호모겔 강도를 시멘트와 비교하였다[6].

## II. 강관다단공법 주입재 품질기준

강관다단공법 주입재의 품질기준은 아직까지 명확히 제시되지는 않았으나, 2018년 한국도시철도시설 공단에서 “소구경 강관다단 그라우팅 공사시방서(안)”을 제작하여 발표하였고, 주입재에 관련 사항인 3.6절에 배합비, 배합방법, 겔타임 등의 기준을 제시하였으며, 다음의 표 1 - 2에 정리하여 나타내었다[7]. 그러나 발표된 시방서(안)에서 주입재는 시멘트를 사용하는 배합에 대해서만 검토가 이루어졌으며, 현장적용 시 시험시공 및 실내시험을 통해 적정 경화시간을 확인한 후 감독자의 승인을 취득하여 배합비를 변경할 수 있는 것으로 제시되어 있으며, 호모겔의 기준강도는 2.0 MPa 이상이 발현되는 시점으로 제시되어 있으며, 4배합의 경우 경화시간 기준은 18±1 시간인 것으로 제시되어 있다[7].

표 1. 시멘트 현탁액 배합비

Table 1. Mixing ratio of cement mixture

Type	amount of material		W/C(%)
	water(L)	cement(kg)	
Type-1	905	300	302
Type-2	873	400	218
Type-3	841	500	168
Type-4	810	600	135

표 2. 약액주입 배합비

Table 2. Mixing ratio of chemical injection

Type	Liquid A			Liquid B	
	water (L)	cement (kg)	W/C (%)	SS No.3(L)	water (L)
Type-1	679	255	302	125	125
Type-2	654	300	218	125	125
Type-3	631	375	168	125	125
Type-4	607	450	135	125	125

### III. 순환자원 활용 주입재의 특성

본 연구에 활용한 순환자원 활용 주입재는 산업활동의 부산물로 대량 발생하는 고로슬래그 미분말과 순환유동층 보일러 플라이애시 등의 순환자원을 재활용하는 주입재로 고로슬래그의 알칼리 활성화 반응기술(그림 1)을 적용한 제품으로 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 제품의 강도는 작으나, 약액주입공법 및 지반개량공법 등 콘크리트에 비해 상대적으로 요구강도가 작은 공법에 적용이 가능한 재료이다[8].

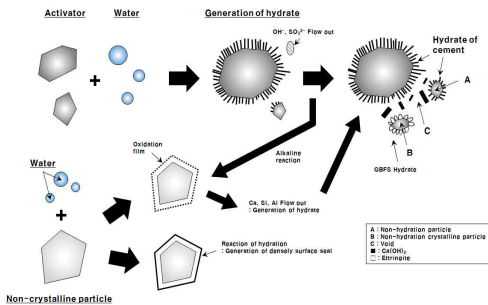


그림 1. 알칼리 활성화 반응 모식도[8]  
 Figure 1. Diagram of alkali-activation[8]

사용 순환자원 활용 주입재와 보통 포틀랜드 시멘트의 화학성분은 다음의 표 3에 정리하여 나타내었다.

표 3. 사용 순환자원 활용 주입재 및 시멘트의 화학성분 비교

Table 3. Chemical constituents of Cement & Using Injection material

Material	Chemical constituents				
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
Injection material	51.80	25.50	10.40	0.72	2.22
Cement	67.10	18.50	3.76	1.96	2.38

### IV. 순환자원 활용 주입재의 실내시험

순환자원 활용 주입재의 실내시험은 배합비별 호모겔 타입시험과 배합비별 양생시간에 따른 호모겔 시료의 압축강도를 측정하여, “소구경 강관다단 그라우팅 공사시방서(안)”에서 제시된 기준에 적합한 순환자원

활용 주입재의 배합비를 규명하고자 하였다.

#### 1. 호모겔 타입시험

강관다단공법 주입재로 순환자원 활용 주입재를 이용한 배합비 확인을 위해서 표 4, 5와 같이 총 A액의 배합비 변화를 주어 호모겔 타입시험을 수행하였다.

호모겔 타입시험은 현장에서 주로 시험하는 방법으로 준비된 배합비로 혼합한 A, B액을 주입비율로 혼합하여 유동성을 상실하는 시간을 측정하는 시험으로 주입액의 사용목적에 따라 급결, 중결, 완결로 구분할 수 있으며, 급결의 호모겔타입은 10sec이하, 중결의 호모겔타입은 10-60sec이하, 완결의 호모겔타입은 60sec 이상으로 구분된다[9].

표 4. 순환자원 활용 주입재 적용 주입재 배합비

Table 4. Mixing ratio of injection material using circulating resource

Type	Liquid A			Liquid B	
	water (l)	resource material (kg)	W/C (%)	SS No.3(l)	water (l)
Type-1-re	1.10	1.00	110	1.00	1.00
Type-2-re	1.20	1.00	120	1.00	1.00
Type-3-re	1.35	1.00	135	1.00	1.00
Type-4-re	1.68	1.00	168	1.00	1.00

표 5. 시멘트 활용 주입재 적용 주입재 배합비

Table 5. Mixing ratio of injection material using cement

Type	Liquid A			Liquid B	
	water (l)	cement (kg)	W/C (%)	SS No.3(l)	water (l)
Type-1-ce	1.35	1.00	135	1.00	1.00
Type-2-ce	1.68	1.00	1.68	1.00	1.00



그림 2. 배합비별 A, B액 준비  
Figure 2. Preparation of A and B liquid by mixing ratio



그림 3. 호모겔타임 시험  
Figure 3. Homogel time test

시멘트를 사용한 배합의 호모겔타임 측정시간은 35-55sec의 범위로 나타났으며, 순환자원을 활용한 주입재의 경우 46-80sec의 호모겔타임이 측정되었다. 동일한 주입재를 사용한 배합에서 순환자원을 활용한 주입재의 호모겔 타임시간이 큰 것으로 나타났다.

표 6. 호모겔타임 측정결과  
Table 6. Result of homo-gel time test

Type	homo-gel time(sec)		
	No.1	No.2	average
Type-1-re	45	47	46
Type-2-re	53	55	52
Type-3-re	67	66	67
Type-4-re	79	80	80
Type-1-ce	34	35	35
Type-2-ce	56	55	56

## 2. 호모겔 압축강도 시험

호모겔 압축강도시료는 호모겔 타임시험과 동일한

배합비를 사용하여 50mm×50mm×50mm 모양의 큐빅물드로 시료를 제작하였으며(그림 4), 젖은 천을 이용하여 습윤상태를 유지하여 양생을 실시하였다(그림 5). 그리고 양생 시간에 맞추어 탈형하여 호모겔 압축강도를 측정하였다(그림 6, 7).



그림 4. 호모겔 압축강도 시료 제작 완료  
Figure 4. Completed of homogel compressive strength specimen

양생시간별 호모겔 압축강도 측정 결과, 시멘트를 적용한 배합비의 경우 양생시간 12시간까지는 0.3MPa 이하의 호모겔 압축강도를 나타내었으나, 양생 18시간

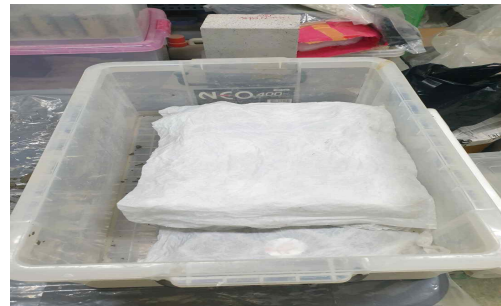


그림 4. 호모겔 압축강도 시료 습윤 양생  
Figure 4. Wet curing of homogel compressive strength specimen



그림 5. 호모겔 압축강도 측정  
 Figure 5. Measurement of homogel compressive strength



그림 6. 호모겔 압축강도 측정후 시료 전경  
 Figure 6. View of after measuring homogel compressive strength specimen

이후 급격한 호모겔 압축강도의 증가를 나타내어 Type-1-ce의 경우 2.33MPa를 나타내었고, Type-2-ce의 경우 1.84MPa를 나타내었다. 그리고 양생 24시간에는 모두 설계요구강도(2.0MPa)를 상회하는 호모겔 압축강도를 나타내었다. 그러나 순환자원을 활용한 주입재의 경우 호모겔 압축강도가 초기부터 지속적으로 증가한 것으로 나타났으나, 최종적으로 설계요구강도를 만족하는 배합비는 Type-1-re으로 양생 24시간 경과한 호모겔시료에서 2.23MPa의 압축강도가 측정되어 설계요구강도를 만족하는 것으로 나타났다.

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

Type	homo-gel compressive strength(MPa)			
	6hr	12hr	18hr	24hr
Type-1-re	0.06	1.03	1.77	2.23
Type-2-re	0.04	0.71	1.08	1.81

Type-3-re	0.05	0.32	0.72	1.16
Type-4-re	0.06	0.23	0.52	0.77
Type-1-ce	0.11	0.26	2.33	2.60
Type-2-ce	0.07	0.13	1.84	2.32

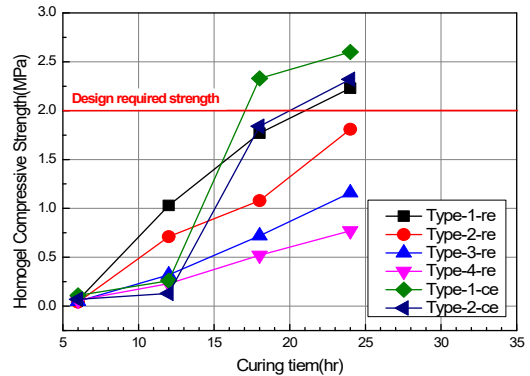


그림 7. 양생시간별 호모겔 압축강도 측정 결과  
 Figure 7. Results of measuring homogel compressive strength by curing time

## V. 결론

본 연구에서는 순환자원을 활용한 주입재에 대하여 터널공사 시 보조공법으로 사용되는 강관다단공법의 주입재로 활용성을 확인하기 위해 시멘트 및 순환자원을 활용한 주입재에 대하여 호모겔 타임 및 양생시간별 호모겔 압축강도시험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 터널공법의 보조공법으로 사용되는 강관다단공법 주입재의 요구조건은 호모겔강도 2.0MPa이며, 시멘트를 사용할 경우 W/B=135%의 경우 양생 18±1시간에 요구강도인 2.0MPa를 만족하는 것으로 확인되었으며, W/B=168%의 경우에도 양생 24시간에 필요한 압축강도인 2.0MPa를 만족하는 것으로 확인되었다.
- 2) 순환자원을 활용한 주입재의 경우 강관다단공법에 적용되는 배합비를 적용한 결과 호모겔타임을 시멘트를 적용한 결과에 비해 32-24sec 정도 증가하는 것으로 확인되었으며, 호모겔 압축강도의 경

우 양생 24시간 기준 33-44%의 압축강도가 발현 되는 것으로 확인되었다.

- 3) 순환자원을 활용한 주입재를 강관다단공법에 적용할 경우 W/C=110% 정도를 사용하여야 양생 24시간 기준 2.0MPa 이상의 호모겔 압축강도를 확보하는 것으로 확인되었다.
- 4) 순환자원을 활용한 주입재 및 시멘트를 이용한 배합비에서 W/C의 비율이 작아질수록, 즉 주입재의 함량이 높아질수록 호모겔타입은 줄어드는 것으로 확인되었으며, 양생 24시간 기준 호모겔 압축강도는 커지는 것으로 확인되었다.
- 5) 향후 본 연구를 토대로 순환자원을 활용한 주입재의 급결 성능 및 조기 강도발현이 가능하도록 첨가제 및 성분을 조정하여 후속 연구를 수행할 계획이며, 시멘트를 대체할 수 있는 순환자원 활용 주입재에 대해 지속적으로 연구를 수행할 계획이다.

## References

- [1] J. S. Moon, K. Jeon, and Y. Kim, "Application of risk evaluation and safety management system in urban deep tunnelling," *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 24, No. 6, pp. 725-744, Nov. 2022. <https://doi.org/10.9711/KTAJ.2022.24.6.725>
- [2] Y. S. Lee, Y. G. Yoon, and T. K. Oh, "A Study on Disaster Influencing Factors and Importance for Safety Management in NATM Tunnel Drilling," *The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT)*, Vol. 8, No. 6, pp. 757-763, Nov 2022. <http://dx.doi.org/10.17703/JCC T.2022.8.6.757>
- [3] M. H. Ihm, "Geologic Structure and Rocks as Geotechnical Risk Factors at Intermediate depth Tunneling in Korea," *The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT)*, Vol. 8, No. 3, pp. 551-557, May 2022. <http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.3.551>
- [4] N. Wiwattanachang, N. Maneein, T. Parwong and K. Nummeesri, "Development of Soil-cement in Earth-block Materials," *International Journal of Advanced Culture Technology*, Vol. 3, No. 1, pp. 78 - 85, Jun. 2015. <https://doi.org/10.17703/IJACT.2015.3.1.78>
- [5] H. K. Shin, H. K. Jung, D. H. Kim, Y. S. Ryu and D. H. Kim, "Development of rapidly hardening seal material applicable to steel pipe multistage grouting," *The Journal of Korea Tunnelling and Underground Space Association*, Vol. 21, No. 2, pp. 301-321, 2019. <https://doi.org/10.9711/KTAJ.2019.21.2.301>
- [6] 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>
- [7] Korea Rail Network Authority, "Small diameter steel pipe multi-stage grouting construction specification (plan)," pp. 2-14, 2018.(korean)
- [8] S. H. Song and S. G. Seo, "A Study on the Application of Chemical Grouting Method for Aging Reservoir Reinforce According to the Change of Binder and Using Water," *Journal of the Korean institute of rural architecture*, Vol. 21, No. 4, pp. 45 - 52, Nov. 2019. <https://doi.org/10.14577/kirua.2019.21.4.45>
- [9] J. H. Lee, Y. R. Kim, G. Y. Kim, S. J. Yoon and K. J. Mun, "Properties of Liquid Chemical Grouting Material for Soil Grouting using Non-cement Binder," *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 16 No.1, pp.45 - 52, Feb. 2016. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2016.16.1.045>