

무시멘트 결합재를 사용한 지반 그라우팅용 약액주입재의 특성

Properties of Liquid Chemical Grouting Material for Soil Grouting using Non-cement Binder

이재현¹ 김용로² 김규용^{1*} 윤성진³ 문경주³

Lee, Jae-Hyun¹ Kim, Yong-Ro² Kim, Gyu-Yong^{1*} Yoon, Seong-Jin³ Mun, Kyoung-Ju³

Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 34134, Korea¹

Technology Research & Development Institute, Daelim Industrial, Jongno-Gu, Seoul, 03152, Korea²

Technology Research Institute, Zian Industrial, Wanju-Gun, Jeollabuk-do, 55338, Korea³

Abstract

In this research, characteristic properties of gel time and homo gel strength of liquid chemical grouting material for soil grouting using non-cement binder(NCB) were measured according to kinds of liquid B's Binders, W/B of liquid B's Binders and the volume ratio between liquid A and liquid B in order to examine on the applicability of soil grouting material using non-cement binder. The test was performed using NCB-1, NCB-2, NCB-3 which are environment-friendly inorganic binders developed by means of collaboration by our research team and which are different from chemical composition ratio each other. In conclusion, it was found that NCB could be applied to liquid soil grouting material using non-cement binder and replace ordinary portland cement, because NCB had the most excellent performance in certain section of gel time and homo gel strength in condition of this experiment.

Keywords : liquid chemical grouting material, non-cement binder, gel time, homo gel strength

1. 서론

1970년대부터 약액주입에 의한 지하수 오염이 사회적으로 문제화되면서 환경적으로 안전한 약액 주입재의 필요성이 제기되었다. 또한, 1980년대부터 범용적으로 사용되던 물유리계 주입재의 한계성을 극복하기 위해 초미립 자시멘트의 주입특성에 관한 연구[1], 무기질계 지반주입재의 강도발현 특성[2], 실리카졸 지반주입재의 특성에 관한 연구[3,4] 등이 수행되었으나 국내의 현장에서는 아직도 종래의 재료와 공법에 의존하고 있는 실정이다.

물유리계 그라우팅 공법은 낮은 공사비로 비교적 양호한

차수효과를 기대할 수 있어 많은 현장에서 적용되고 있으며, 주재(이하, A액)와 경화제(이하, B액)를 혼합하여 일정한 압력으로 혼합액을 지반에 주입하는 방식이다. A액의 약액으로는 규산나트륨(3호)(Sodium Silicate(No.3), 이하, SS (No.3))이, B액의 결합재로는 1종 보통포틀랜드시멘트(이하, OPC)가 주로 사용되고 있다.

그러나, OPC의 경우 중금속 용출에 의한 토양 및 수질 오염, 제조과정상 이산화탄소의 다량 발생, 석회석 채굴에 의한 자원고갈 등의 문제점이 사회적으로 부각되고 있어 정부의 녹색성장 정책에 부합할 수 있는 친환경 결합재 개발의 필요성이 대두되고 있다.

이에 본 연구에서는 친환경 무시멘트 결합재의 지반 그라우팅용 약액주입재로서의 활용 가능성을 검토하기 위해 B액 결합재의 종류 및 W/B, A액과 B액의 부피비에 따른 젤타임과 호모겔 강도의 특성을 고찰하였다.

Received : September 7, 2015

Revision received : October 8, 2015

Accepted : November 26, 2015

* Corresponding author : Kim, Gyu-Yong

[Tel: 82-42-821-5623, E-mail: gyuyongkim@cnu.ac.kr]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1에서 보는 바와 같이 무시멘트 결합재를 사용한 지반 그라우팅용 약액주입재의 특성을 파악하기 위해 A액의 약액으로는 일반적으로 현장에서 적용되고 있는 규산나트륨(3호)을 사용하였고, 사용수 온도에 따른 특성을 파악하기 위해 영향요인을 11℃(겨울), 20℃(여름)의 2수준으로 설정하였다.

또한, 실험의 영향요인으로서 B액 결합재의 종류는 기존의 결합재로 사용되고 있는 OPC 및 새로 개발한 무시멘트결합재 1, 2, 3(Non-Cement Binder. 이하, NCB-1, 2, 3)의 4수준으로 설정하였으며, B액의 W/B를 100%, 120%, 140%의 3수준으로, A액과 B액의 부피비를 50 : 50, 40 : 60, 30 : 70의 3수준으로 설정하여 실험을 진행하였다.

실험항목으로는 지반 그라우팅용 약액주입재의 적용 가능성을 평가할 수 있는 주요 물성인 겔타임 및 호모겔강도(재령 3, 7일)를 측정하였다.

한편, 실험시 대기온도 및 습도 기준은 NCSLI(National Conference of Standards Laboratories-International)에서 권장하는 20±2℃, 30~40RH%을 표준으로 하였다.

Table 1. Experimental plan

Items		Variables
Factors of Mixture	Kinds of liquid chemical	SS(No.3) ¹⁾
	Temperature of water	11℃, 20℃
	Kinds of liquid B's binders	OPC ²⁾ , NCB ³⁾ -1, NCB-2, NCB-3
	W/B of liquid B	100%, 120%, 140%
	A : B	50 : 50, 40 : 60, 30 : 70
Items of Test	Gel state	Gel time
	Hardened state	Homo gel strength(3, 7days)

- 1) SS(No.3): Sodium silicate(No.3)
- 2) OPC: Ordinary Portland Cement
- 3) NCB: Non-Cement Binder

2.2 사용재료 및 배합

본 실험에서 사용된 A액의 약액인 규산나트륨(3호)의 물리·화학적 성질은 Table 2와 같으며, B액의 결합재로 사용된 OPC 및 NCB-1, 2, 3의 물리·화학적 성질은 Table

3에 나타내었다.

본 연구에 사용된 무시멘트 결합재는 고로슬래그를 기반으로 유동층 연소방식 석탄재 및 자극제를 활용하여 제조한 무기결합재로서 비정질 물질에 반응성을 부여하여 시멘트 없이도 수화물의 생성 및 강도 발현이 유도되는 특성을 갖고 있다.

또한, 본 연구에 사용된 지반 그라우팅용 약액주입재(Liquid Chemical Grouting Material)의 배합은 Table 4와 Table 5에 나타난 바와 같다.

Table 2. Physical and chemical properties of liquid chemical

Type	Density (g/cm ³)	Chemical component(%)				pH (25℃)	Viscosity (25℃, cp)
		SiO ₂	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	WI ¹⁾		
SS(No.3)	1.384	27.2	9.14	0.0034	0.0026	14	200

1) WI: Water Insolubility

Table 3. Physical and chemical properties of Liquid B's binders

Type	Density (g/cm ³)	Chemical component(%)						LOI ¹⁾ (%)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	
OPC	3.15	17.20	4.38	3.13	66.70	3.03	3.48	2.54
NCB-1	2.82	20.72	8.29	0.51	56.28	2.31	10.51	3.30
NCB-2	2.89	17.60	7.01	0.52	58.85	2.02	12.73	5.65
NCB-3	2.70	25.94	11.06	2.25	48.14	2.76	7.84	2.94

1) LOI: Limiting Oxygen Index

Table 4. Mix proportions of LCGM¹⁾-1

W/B of liquid B (%)	A : B	Kinds of liquid B's binders	LCGM (ℓ/1,000 ℓ)			
			Liquid A		Liquid B	
			SS(No.3)	water	Binder	water
100		OPC	250	250	120	380
		NCB-1	250	250	131	369
		NCB-2	250	250	129	371
		NCB-3	250	250	135	365
120	50 : 50	OPC	250	250	105	395
		NCB-1	250	250	114	386
		NCB-2	250	250	112	388
		NCB-3	250	250	118	382
140		OPC	250	250	92	408
		NCB-1	250	250	101	399
		NCB-2	250	250	99	401
		NCB-3	250	250	105	395

1) LCGM: Liquid Chemical Grouting Material

Table 5. Mix proportions of LCGM-2

W/B of liquid B (%)	A : B	Kinds of liquid B's binders	LCGM (ℓ/1,000 ℓ)			
			Liquid A		Liquid B	
			SS(No.3)	water	Binder	water
50 : 50		OPC	250	250	105	395
		NCB-1	250	250	114	386
		NCB-2	250	250	112	388
		NCB-3	250	250	118	382
120	40 : 60	OPC	200	200	126	474
		NCB-1	200	200	137	463
		NCB-2	200	200	134	466
		NCB-3	200	200	142	458
30 : 70		OPC	150	150	146	554
		NCB-1	150	150	160	540
		NCB-2	150	150	157	543
		NCB-3	150	150	165	535

2.3 실험방법

2.3.1 겔타임 측정 방법

겔타임이란 A액과 B액을 혼합한 후 서서히 점성이 증가하면서 마침내 유동성을 상실하고 겔화될 때까지의 소요 시간을 의미하며, 약액이 주입된 후 주입재가 역류되지 않는데 필요한 시간으로서 약액주입공법의 시공성을 판단할 수 있는 척도이다.

측정 방법으로는 종이컵에 A액과 B액을 각각 30cc씩 계량하고 약 1초 간격으로 교반하면서 혼합액의 흐름성이 정지되는 시간을 영향요인별로 각 3회씩 측정하여 평균값(소수점 첫째자리에서 반올림)을 산정하였으며, 최대편차는 1.0초 이내로 나타났다. 본 방법은 현장에서 사용하고 있는 간이적인 방법으로 상당히 재현성이 좋기 때문에 겔타임 측정 방법으로 널리 사용되고 있으며, 겔타임 측정 장면을 Figure 1에 나타내었다[1].

겔타임은 일반적으로 사용수의 온도, 결합재의 종류 및 W/B, A액과 B액의 부피비 등에 의해 변화가 되는 것으로 알려져 있으며, 기존 문헌조사를 통해 지반의 여건, 주입 공법, 결합재의 종류, 사용 목적에 따라 겔타임의 목표값이 급결재(10초 이하), 중결재(10초 초과~60초 미만) 및 완결재(60초 이상)로 구분되는 것으로 확인되어 본 연구에서는 결합재 종류에 따른 겔타임 구간별 적용이 가능한 배합을 검토하고자 하였다.



Figure 1. Scene of gel time measurement

2.3.2 호모겔강도 측정 방법

호모겔강도란 A액과 B액을 혼합한 주입재만을 경화시킨 고결물의 압축강도를 말하는 것으로 흙의 일축압축시험방법(KS F 2314)에 의거하여 50×50×50mm 크기의 큐빅몰드를 제작하여 모르타르의 표준조건으로 수중양생을 실시한 후 3일 및 7일 재령별로 3개의 시편에 대한 일축압축강도를 측정하였다[1].

본 연구에서는 현장에서 일반적으로 적용하고 있는 호모겔강도 2MPa(재령 7일) 이상 확보하는 것을 목표로 설정하였다.

3. 실험결과 검토 및 분석

3.1 겔타임 특성

3.1.1 사용수의 온도에 따른 겔타임 특성(OPC 적용)

Figure 2는 사용수의 온도에 따른 겔타임의 변화를 나타낸 것으로서 OPC를 B액의 결합재로 적용시 사용수의 온도가 11℃에서 20℃로 증가하면 겔타임은 W/B 100~140% 수준에서 11.0~20.0초가 단축되는 것으로 나타났다.

이는 사용수의 온도가 높을수록 A액과 B액의 금속이온(Ca²⁺, Al³⁺, Mg²⁺ 등)의 반응에 의한 불용성의 규산염 금속 수화물이나 규산 등을 동시에 생산하는 속도가 빨라져 겔화 속도가 증가되었기 때문으로 판단되며, 겔타임의 목표값을 확보하기 위해서는 계절에 따라 사용수 온도에 따른 배합관리가 중요할 것으로 판단된다.

또한, Figure 3은 OPC의 W/B에 따른 사용수의 온도별 겔타임의 변화를 나타낸 것으로서 사용수의 온도가 11℃일 경우 W/B가 10% 증가시 겔타임은 약 5.0초가 길어지는 것으로 나타났으며, 사용수의 온도가 20℃일 경우 W/B가 10% 증가시 겔타임은 약 2.8초가 길어지는 것

로 나타나 사용수의 온도가 낮을 경우 W/B의 변화에 따른 겔타입의 변동폭이 큰 것으로 나타났다.

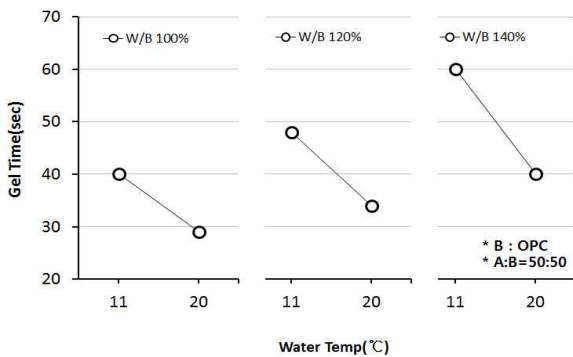


Figure 2. Gel time by water temperature

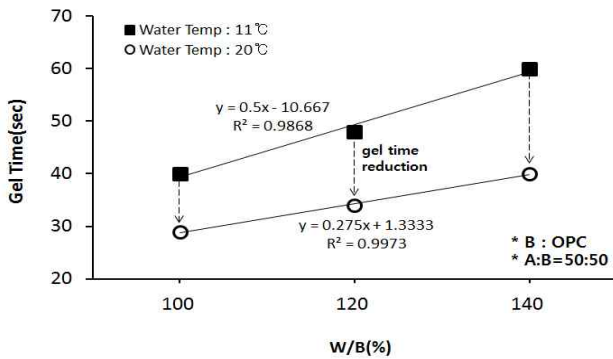


Figure 3. Gel time by W/B of OPC

3.1.2 결합재 종류별 W/B에 따른 겔타임 특성

Figure 4는 B액의 결합재 종류별 W/B에 따른 겔타입의 변화에 대한 시험결과를 나타낸 것으로서 결합재의 종류에 관계없이 W/B가 10% 증가함에 따라 겔타입은 약 2.8~4.3초 수준으로 증가하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 세부적으로 NCB-1, 2, 3의 경우 W/B가 10% 증가시 겔타입은 각각 약 3.3초, 3.5초, 4.3초가 길어지는 것으로 나타난 반면, OPC의 경우 W/B가 10% 증가시 겔타입은 약 2.8초가 길어지는 것으로 나타나 NCB는 OPC 대비 W/B 변화에 의한 겔타입의 변동폭이 약 0.5~1.5초 수준으로 다소 높은 경향이 있는 것으로 나타났다.

또한, Table 6은 W/B에 따른 겔타입의 변화를 정리한 표로서 A : B가 50 : 50인 조건에서 급결구간의 겔타입을 확보하기 위해서는 OPC, NCB-1, 2, 3 순으로 W/B를 각각 4.8~31.5%, 0~21.5%, 34.3~62.9%, 25.1~48.6% 수준, 중결구간의 경우에는 각각 31.5~213.3%, 21.5~

175.4%, 62.9~205.7%, 48.6~166.3% 수준, 완결구간의 경우에는 각각 213.3%, 175.4%, 205.7%, 166.3% 이상 수준의 배합설정이 필요한 것으로 평가되었다.

한편, 급결구간의 겔타입을 확보하기 위한 W/B는 약 62.9% 이하의 수준으로 상당히 낮아짐에 따라 시공성 저하, 주입관의 막힘 현상 등의 문제점 발생이 예상되므로 대책 수립을 위한 A액과 B액 부피비의 변경 또는 유동화제의 적용 등에 대한 추가적인 실험 및 평가를 준비하고 있다.

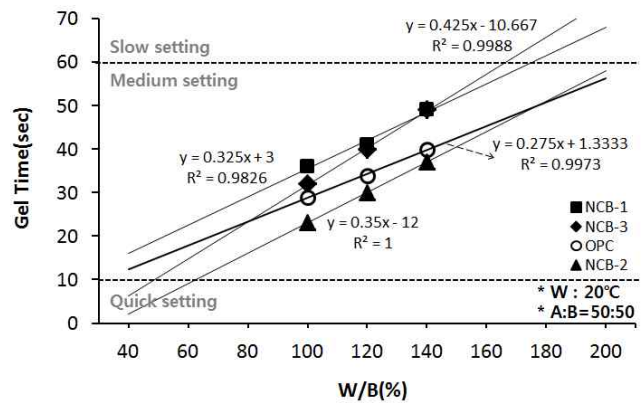


Figure 4. Gel time by W/B of liquid B's binders

Table 6. Experimental results of gel time by W/B

Division	W/B(%)		
	Quick setting	Medium setting	Slow setting
OPC	4.8~31.5	31.5~213.3	213.3 ~
NCB-1	0.0~21.5	21.5~175.4	175.4 ~
NCB-2	34.3~62.9	62.9~205.7	205.7 ~
NCB-3	25.1~48.6	48.6~166.3	166.3 ~

3.1.3 A액과 B액의 부피비에 따른 겔타임 특성

Figure 5는 B액의 결합재 종류별 A액과 B액의 부피비에 따른 겔타입의 변화를 나타낸 것으로서 결합재의 종류에 관계없이 B액의 부피가 10ℓ 증가함에 따라 겔타입은 약 5.0~7.5초 수준으로 감소하는 경향이 있는 것으로 평가되었다. 세부적으로 OPC, NCB-1, 2, 3의 경우 B액의 부피가 10ℓ 증가시 겔타입은 각각 약 7.0초, 7.5초, 5.0초, 5.0초가 감소하는 것으로 나타나 NCB-1 겔타입의 변동폭만이 OPC 대비 0.5초 수준으로 다소 높게 나타났다.

Table 7은 A : B에 따른 겔타입의 결과값을 정리한 표

로서 W/B가 120%인 조건에서 OPC의 경우 급결구간, 중결구간, 완결구간의 겔타임을 확보하기 위해서는 각각 B액의 부피비를 0.0~12.4%, 12.4~83.8%, 83.8~98.1% 수준, NCB-1의 경우에는 0.0~24.0%, 24.0~90.7%, 90.7~100.0% 수준의 배합설정이 필요한 것으로 나타났다. 또한, NCB-2의 경우 급결구간 겔타임을 확보는 불가능하나 중결구간 및 완결구간에서는 B액의 부피비를 0.0~88.0%, 88.0~100.0% 수준으로 설정할 필요는 것으로 나타난 반면, NCB-3의 경우 완결구간 겔타임을 확보는 불가능하나 급결구간 및 중결구간을 만족시키기 위해서는 각각 0.0~4.0%, 4.0~100.0% 수준의 배합설정이 필요한 것으로 평가되었다.

한편, B액의 부피비가 80.0% 이상 되는 구간에 대해서는 시공성 확보 가능 여부에 대한 추가적인 실험 및 평가가 필요할 것으로 판단된다.

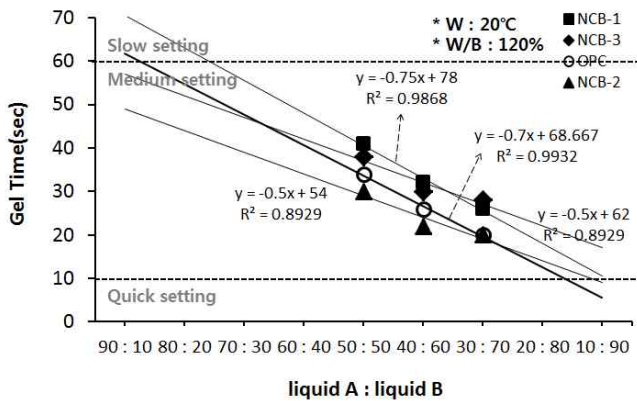


Figure 5. Gel time by A : B

Table 7. Experimental results of gel time by A : B

Division	Volume ratio of liquid B(%)		
	Quick setting	Medium setting	Slow setting
OPC	0.0~12.4	12.4~83.8	83.8~98.1
NCB-1	0.0~24.0	24.0~90.7	90.7~100.0
NCB-2	N.G	0.0~88.0	88.0~100.0
NCB-3	0.0~4.0	4.0~100.0	N.G

3.2 호모겔강도 특성

3.2.1 결합재 종류별 W/B에 따른 호모겔강도 특성

Figure 6은 W/B에 따른 재령별 호모겔강도를 나타낸

것으로서 재령 7일에서 목표강도인 2MPa를 모두 상회하는 것으로 나타났으며, W/B 100% 수준에서 NCB는 모두 OPC 대비 호모겔강도가 상회하는 것으로 나타난 반면, W/B 120% 수준에서는 NCB-1 및 2가, W/B 140% 수준에서는 NCB-2가 OPC 대비 높은 것으로 나타났다.

Figure 7은 결합재의 W/B에 따른 호모겔강도(재령 7일)를 나타낸 것으로서 결합재의 종류에 관계없이 W/B가 10% 증가할수록 호모겔강도는 약 0.18~1.30MPa 수준이 감소하는 것으로 나타났다. 세부적으로 NCB-1의 경우 W/B가 10% 증가시 호모겔강도는 약 1.23MPa가 감소하는 것으로 나타났고 NCB-2 및 NCB-3의 경우 W/B가 10% 증가시 호모겔강도는 각각 0.65MPa, 1.30MPa가 감소하는 것으로 나타난 반면, OPC의 경우 W/B가 10% 증가시 호모겔강도는 약 0.18MPa가 감소하는 것으로 나타나 NCB는 OPC 대비 W/B 변화에 의한 호모겔강도의 변동폭이 다소 큰 경향이 있는 것으로 나타났다.

한편, W/B 110.3% 이하 구간에서는 NCB-1이, W/B 110.3~167.7% 구간에서는 NCB-2, W/B 167.7% 이상 구간에서는 OPC가 호모겔강도를 확보하는데 가장 유리한 것으로 분석되었다.

Table 8은 결합재별 W/B에 따른 호모겔강도의 실험결과를 정리한 표로서 목표강도인 2MPa를 확보하기 위해서는 OPC, NCB-1, 2, 3 별로 W/B를 각각 295.5%, 158.1%, 202.0%, 147.2% 이하 수준으로 관리해야 하는 것으로 평가되었으며, NCB-1은 W/B 135.2% 이하 구간에서, NCB-2의 경우 W/B 167.7% 이하 구간에서, NCB-3은 W/B 124.1% 이하 구간에서 OPC 대비 호모겔강도를 확보하는데 유리한 것으로 평가되었다.

3.2.2 A액과 B액의 부피비에 따른 호모겔강도 특성

Figure 8은 A : B에 따른 재령별 호모겔강도를 나타낸 것으로서 재령 7일에서 목표강도인 2MPa를 모두 상회하는 것으로 나타났으며, NCB-3의 A : B가 50 : 50일 경우를 제외하고 모든 구간에서 OPC 대비 상회하는 호모겔강도를 발현한 것으로 나타났다.

Figure 9는 A : B에 따른 호모겔강도(재령 7일)를 나타낸 것으로서 결합재의 종류에 관계없이 B액의 부피가 10 l 증가할수록 호모겔강도는 약 0.55~4.35MPa 수준이 증가하는 것으로 나타났다. 세부적으로 NCB-1, 2, 3의 경우 B액의 부피가 10l 증가시 호모겔강도는 각각 약

2.95MPa, 1.50MPa, 4.35MPa가 증가하는 것으로 나타난 반면, OPC의 경우 약 0.55MPa가 증가하는 것으로 나타나 NCB는 OPC 대비 W/B 변화에 의한 호모겔강도의 변동폭이 다소 큰 경향이 있는 것으로 나타났다. 또한, B액의 부피비 53.0% 이하 구간에서는 NCB-2가, 53.0~64.0% 구간은 NCB-1이, 64.0% 이상 구간에서는 NCB-3이 호모겔강도를 확보하는데 가장 유리한 것으로 분석되었다.

Table 9는 A : B에 따른 호모겔강도의 변화를 나타낸 표로서 OPC는 전구간에서 2MPa 확보가 가능한 반면, NCB 1, 2, 3 별로 각각 B액의 부피비를 32.0%, 12.0%, 42.0% 이상 수준으로 설정해야 하는 것으로 평가되었다. 또한, NCB-1 및 2는 각각 B액의 부피비 41.0%, 21.0% 이상 구간에서, NCB-3은 B액의 부피비 49.0% 이상 구간에서 OPC 대비 호모겔강도의 확보가 유리한 것으로 평가되었다.

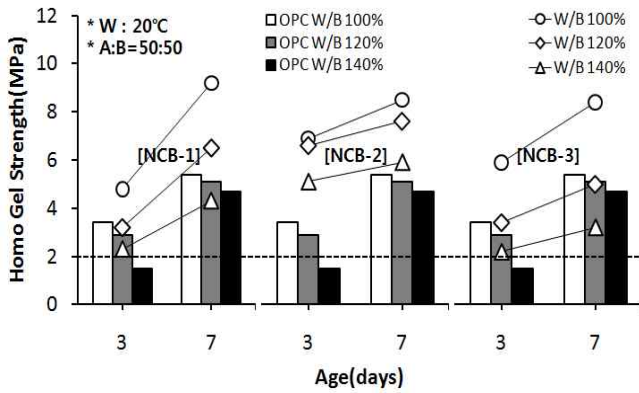


Figure 6. Homo gel strength by age according to W/B

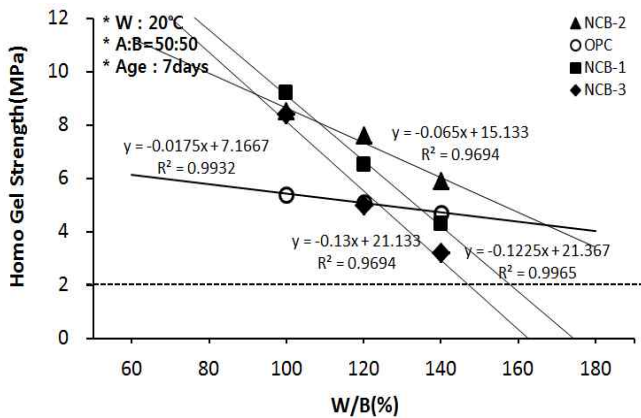


Figure 7. Homo gel strength by W/B of liquid B's binders

Table 8. Experimental results of homo gel strength by W/B

Division	Point of reaching 2MPa	Point of higher than OPC	
	W/B(%)	W/B(%)	Strength(MPa)
OPC	295.2	-	-
NCB-1	158.1	135.2	4.80
NCB-2	202.0	167.7	4.20
NCB-3	147.2	124.1	5.00

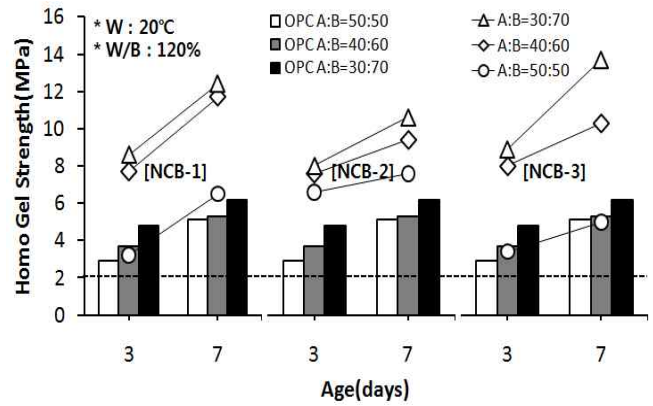


Figure 8. Homo gel strength by age according to A : B

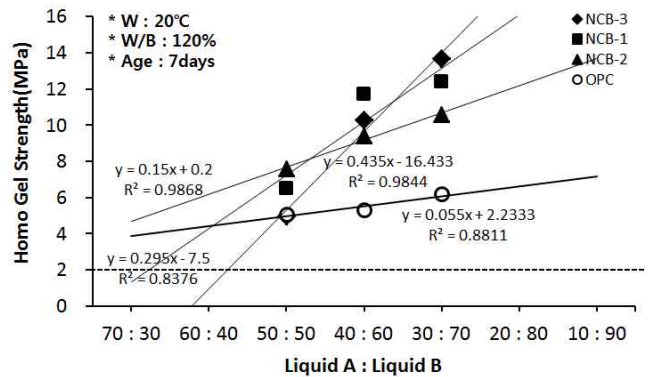


Figure 9. Homo gel strength by A : B

Table 9. Experimental results of homo gel strength by A : B

Division	Point of reaching 2MPa	Point of higher than OPC	
	A : B	A : B	Strength(MPa)
OPC	0 : 0	-	-
NCB-1	68 : 32	59 : 41	4.50
NCB-2	88 : 12	79 : 21	3.40
NCB-3	58 : 42	51 : 49	4.90

3.3 겔타임과 호모겔강도의 현장 적용성 분석

Table 10은 Table 6의 W/B에 따른 겔타임의 실험 결

과값과 Table 8의 W/B에 따른 호모젤강도의 실험 결과값을 모두 만족하는 젤타임의 수준별 W/B의 범위를 재설정 한 표로서 현장 적용을 하기 위해서는 A : B = 50 : 50 조건에서 OPC, NCB-1, 2, 3 별로 각각 4.8~295.2%, 0~158.1%, 34.3~202.0%, 25.1~147.2% 수준에서 W/B가 설정되어야 하는 것으로 평가되었다. 또한, 동일한 젤타임을 확보하기 위한 W/B가 증가할수록 경제성 및 시공성 확보에 유리하므로 급결구간에서는 NCB-2를, 중결구간에서는 OPC 및 NCB-2를 적용하는 것이 유리하며, 완결구간에서는 OPC만 적용이 가능한 것으로 나타났다.

또한, Table 11은 현장 적용이 가능한 젤타임의 수준별 B액 부피비의 범위를 나타낸 표로서 W/B 120% 조건에서 OPC, NCB-1, 2, 3 순서별로 각각 0.0~98.1%, 32.2~100.0%, 12.0~100.0%, 42.4~100.0% 수준에서 B액의 부피비가 설정되어야 하는 것으로 평가되었다. 한편, 급결구간에서는 NCB-3의 적용이 불가하며, 완결구간의 경우 OPC만 적용이 가능한 것으로 나타났다.

Figure 10은 W/B가 100~140% 수준이고, A : B가 50 : 50~30 : 70인 조건에서 젤타임과 호모젤강도의 상관관계를 나타낸 것으로 결합재 종류와 관계없이 음의상관 관계가 있는 것으로 나타났고, NCB의 경우 OPC 대비 변동 폭이 큰 것으로 확인되었으며, 현장 적용시 동일한 젤타임 수준에서 호모젤강도의 확보가 용이한 측면에서 평가하였을 경우 급결구간 및 중결구간에서는 NCB를, 완결구간에서는 OPC를 적용하는 것이 유리한 것으로 분석되었다.

Table 10. The range of W/B according to gel time level

Division	W/B(%)		
	Quick setting	Medium setting	Slow setting
OPC	4.8~31.5	31.5~213.3	213.3~295.2
NCB-1	0.0~21.5	21.5~158.1	N.G
NCB-2	34.3~62.9	62.9~202.0	N.G
NCB-3	25.1~48.6	48.6~147.2	N.G

Table 11. The range of liquid B's volume according to gel time level

Division	Volume ratio of liquid B(%)		
	Quick setting	Medium setting	Slow setting
OPC	83.8~98.1	12.4~83.8	0.0~12.4
NCB-1	90.7~100.0	32.2~90.7	N.G
NCB-2	88.0~100.0	12.0~88.0	N.G
NCB-3	N.G	42.4~100.0	N.G

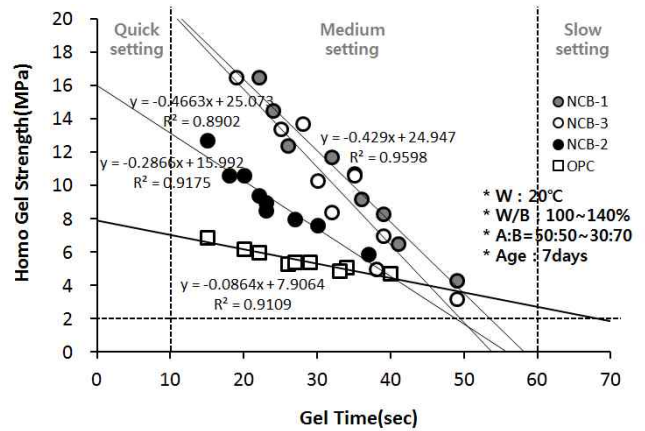


Figure 10. Correlation between gel time and homo gel strength

4. 결 론

본 연구에서는 무시멘트 결합재(NCB)의 지반 그라우팅 용 결합재로서의 적용 가능성을 검토하고자 B액 결합재의 종류, 결합재의 W/B 및 A액과 B액의 부피비에 따른 젤타임과 호모젤강도의 변화 특성을 검토함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 젤타임 특성 검토 결과, B액의 결합재로서 OPC 적용 시 사용수의 온도가 11℃에서 20℃로 증가하면 젤타임은 W/B 100~140% 수준에서 11.0~20.0초가 단축되는 것으로 나타났다.
- 2) 또한, 결합재의 W/B가 10% 증가함에 따라 OPC 및 NCB-1, 2, 3의 젤타임은 각각 약 2.8초, 3.3초, 3.5초, 4.3초가 증가하는 것으로 나타났으며, B액의 부피비가 10ℓ 증가시 OPC 및 NCB-1, 2, 3의 젤타임은 각각 약 7.0초, 7.5초, 5.0초, 5.0초가 감소하는 것으로 나타났다.
- 3) 한편, 호모젤강도의 특성 검토 결과, 결합재의 W/B가 10% 증가함에 따라 OPC 및 NCB-1, 2, 3의 호모젤강도는 각각 약 0.18MPa, 1.23MPa, 0.65MPa, 1.30MPa이 감소하는 것으로 나타났으며, B액의 부피비가 10ℓ 증가시 OPC 및 NCB-1, 2, 3의 호모젤강도는 각각 약 0.55MPa, 2.95MPa, 1.50MPa, 4.35MPa이 증가하는 것으로 나타났다.
- 4) 따라서, 현장에서 젤타임 및 호모젤강도의 목표값을 확보하기 위해서는 계절에 따른 사용수의 온도관리 및 결합재의 W/B, B액의 부피비 등의 배합관리가

중요할 것으로 판단된다.

- 5) 현장 적용성 분석 결과, A : B = 50 : 50 조건에서는 OPC, NCB-1, 2, 3 별로 각각 4.8~295.2%, 0~158.1%, 34.3~202.0%, 25.1~147.2% 수준에서 W/B가 설정되고, W/B가 120% 조건에서는 OPC, NCB-1, 2, 3 별로 각각 0.0~98.1%, 32.2~100.0%, 12.0~100.0%, 42.4~100.0% 수준에서 B액의 부피비가 설정될 경우 현장 적용이 가능할 것으로 평가되어 NCB의 지반 그라우팅용 결합재로서의 적용이 가능할 것으로 판단된다.
- 6) 또한, W/B가 100~140% 수준이고 A : B가 50 : 50~30 : 70인 조건에서 겔타임의 급결구간 및 중결구간에서는 NCB를, 완결구간에서는 OPC를 적용할 경우 동일한 겔타임 수준에서 호모겔강도의 확보가 유리한 것으로 나타나, 현장 적용시 겔타임 및 호모겔강도의 요구성능을 확보하는데 더 유리한 B액의 결합재의 종류를 적합하게 선택하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 무시멘트 결합재(NCB)를 사용한 지반 그라우팅용 약액주입재의 B액 결합재의 종류, 결합재의 W/B 및 A액과 B액의 부피비에 따른 겔타임 및 호모겔강도의 변화 특성을 검토함으로써 무시멘트 결합재의 지반 그라우팅용 결합재로서의 적용 가능성을 검토하고자 하였다. 무시멘트 무기결합재는 당사에서 공동연구를 통해 개발된 시멘트를 대체할 수 있는 고로슬래그 기반의 친환경 무기결합재로서 화학조성비가 다른 NCB-1, 2, 3을 사용하여 실험을 진행하였다. 실험 및 현장 적용성 분석 결과, 겔타임 및 호모겔강도의 요구성능을 확보할 수 있는 결합재 종류별 W/B 및 A액과 B액의 부피비가 도출되었으며, W/B가 100~140%, A : B가 50 : 50~30 : 70인 조건에서 급결구간 및 중결구간의 경우 NCB가 OPC 대비 동일한 겔타임 수준에서 호모겔강도의 확보가 유리한 것으로 평가되어 NCB의 지반 그라우팅용 결합재로서의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 약액주입재, 무시멘트결합재, 겔타임, 호모겔강도

Acknowledgement

This research was financially supported by Large & Small Business Cooperation Foundation(BCF) through the Cost Reduction Large & Small Business Cooperation Project 2015.

References

1. Kim JC. A study on the injection properties of ultrafine cement grouting materials [dissertation]. [Seoul(Korea)]: Hanyang University; 1999. 139 p.
2. Han US. Strength development characteristics of inorganic ground injection material(NDS) [master's thesis]. [Seoul(Korea)]: Hanyang University; 2012. 50 p.
3. Cho YH. A study on the characteristics of alkali silicasol grouting material [master's thesis]. [Seoul(Korea)]: Hanyang University; 2011. 40 p.
4. Kim YH. A study on engineering characteristics of alkali silicasol grout material [dissertation]. [Seoul(Korea)]: Hanyang University; 2014. 94 p.