

## 철강산업부산물물을 사용한 방조제용 그라우트 재료 및 그 특성

# Properties of Grout Material for Seawall Using Slags from Steel Making Industry

김하석<sup>1\*</sup> · 김기석<sup>2</sup> · 백봉현<sup>3</sup> · 육심훈<sup>4</sup>

Ha-Seog Kim<sup>1\*</sup> · Kee-Seok Kim<sup>2</sup> · Bong-Hyun Baek<sup>3</sup> · Sim-Hoon Yook<sup>4</sup>

(Received November 15, 2022 / Revised December 7, 2022 / Accepted December 13, 2022)

The problem in the construction of seawall reinforcing the seawall where there is seawater flow is the outflow of materials. Gravity-type pouring of concrete is difficult to fill the voids smoothly, and the cement of concrete that has not hardened is likely to be dispersed in seawater. This phenomenon not only reduces the reliability of quality after concrete hardening, but can also adversely affect the surrounding environment. Therefore, there is a need for a gel-like injection material that can be injected. In this study, the initial strength and durability improvement effect of seawater immersion were evaluated by using electrofurnace reduction slag and blast furnace slag with acute properties.

As a result of the experiment, it was possible to prepare a gel-like injection material having flowability through reaction with silica-based chemical liquid. The flowability of the gel is 105~143 mm depending on the formulation, and the on-site simulation test can fill the voids without external leakage, confirming its on-site applicability.

**키워드 :** 방조제, 그라우트, 겔, 제강환원슬래그, 고로슬래그, 실리카졸

**Keywords :** Seawall, Grout, Gel LFS, GGBFS, Silica sol

## 1. 서론

방조제는 해수의 범람에 의해 발생하는 피해를 막기 위한 구조물로 밀물과 썰물에 의한 수위차(조차, 潮差)가 크게 발생하는 지역에 주로 설치한다. 조위차는 해안선의 모양, 해저의 지형 및 바다의 수심 등과 같은 요소들이 영향을 미치며, 우리나라 서해안은 평균조차가 8.5 m로 세계적으로도 매우 큰 조차가 발생하는 지역으로 알려져 있다.

따라서 우리나라 서해안에는 조차에 의한 범람 피해를 막기 위해 방조제가 건설되기 시작하였으며, 만(灣)의 끝을 가로지르는 방향으로 설치되는 방조제의 특성상 교통 인프라 확충 효과 및 간척사업 등을 목적으로 대규모 방조제를 대규모로 건설하여 2010년에는 세계에서 가장 긴(33.9 km) 방조제인 새만금 방조제

가 준공되는 등 경기도 6개소, 충청도 14개소, 전라도 28개소 등 전국적으로 50여 개소에 다양한 규모의 방조제가 건설되어 있다.

이러한 방조제는 조류 및 파랑 등에 직접 저항하여 내륙시설물과 비교시 노후화가 빠르게 진행되기 때문에 주기적인 유지보수가 수반되며, 이중 가장 대표적인 것은 안정성 확보를 위한 그라우팅(grouting) 공사이다.

그라우팅이란 지반의 균열, 공동, 공극 등을 채워 지반의 강도 및 수밀성을 증대시키는 일련의 과정을 일컬으며, 이때 사용되는 그라우트 재료는 시멘트계 재료가 대표적이다.

시멘트계 그라우팅 재료는 높은 W/C 비로 인하여 물의 흐름이 존재하는 구간에서 재료의 유실을 방지하기 위하여 유동성을 제한하는 혼화제를 사용하며 대표적인 혼화제로 물유리를 사용한다.

\* Corresponding author E-mail: bravo3po@kongju.ac.kr

<sup>1</sup>주식회사 도담이엔씨 대표이사 (DODAM E&C, 307 BIZ center, Kongju Natl. Univ. Chungcheongnam-do, 31080, Korea)

<sup>2</sup>주식회사 도담이엔씨 부장 (DODAM E&C, 307 BIZ center, Kongju Natl. Univ. Chungcheongnam-do, 31080, Korea)

<sup>3</sup>주식회사 지에스이 대표이사 (GSE, 6<sup>th</sup> floor, Yuseong Dae-ro, Daejeon 34166, Korea)

<sup>4</sup>주식회사 지에스이 부장 (GSE, 6<sup>th</sup> floor, Yuseong Dae-ro, Daejeon 34166, Korea)

Copyright © 2022 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

물유리는 시멘트 현탁액과 반응하는 경우 수십초 내에 유동성이 없는 겔을 형성하는 특징을 가진다.

그러나, 방조제의 사석층의 보강공사의 경우 공극의 형태가 크고 조류에 의한 물의 흐름이 크게 발생하여 약액을 함께 주입하여도 재료가 분산되어 원활한 겔의 형성이 어려워 모래 및 자갈이 포함된 콘크리트를 타설하는 형태의 보강방법이 행해지고 있다.

콘크리트의 중력식 타설은 원활히 공극을 채우기 어렵고 굳지 않은 콘크리트의 시멘트는 해수에 분산될 확률이 높기 때문에 경화 후 품질의 신뢰성이 저하될 뿐만 아니라, 인근 환경에 악영향을 끼칠 수 있다.

따라서 본 연구에서는 제강 환원슬래그 미분말 및 고로슬래그를 활용하여 약액과 혼합 시 주입이 가능한 유동성을 갖는 겔을 형성하는 그라우팅 주입재를 제조하여 방조제 보강용 그라우팅 재료로 활용 가능성을 확인하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

일반적으로 시멘트 현탁액과 물유리 희석액을 각각 동시 주입하여 차수공사에 사용되는 LW공법은 시멘트 현탁액과 물유리 희석액이 접촉하면 시멘트 현탁액의 W/C 비 조건이나 온도 조건에 따라 약 40 또는 80초 내외로 겔을 형성한다. 이때 생성되는 겔은 단단하여 흐름성은 전혀 없지만, 강도는 측정할 수 없는 수준으로, 시멘트 현탁액만을 주입할 때 지하수의 흐름이 있는 경우 유수와 함께 시멘트 현탁액이 유출되어 그라우팅의 효과를 얻기 어려운 상황에서 주입재인 시멘트 현탁액의 주입 범위를 제한하기 위한 목적으로 사용된다. 따라서 이때의 겔은 두 재료가 혼합되어 흐름성이 없어지는 형태를 의미하며, 겔이 형성되는 시간인 겔타임이 주요 성능지표이나, 이를 측정할 수 있는 별도의 기준이 없어 간이 측정 방법으로 한쪽에는 시멘트 현탁액, 다른 한쪽에는 물유리 희석액이 들어있는 컵을 준비한 후 한쪽에서 다시 반대쪽으로 옮겨담는 것을 반복하는 컵도림법에 의해 측정하며, 이때 겔 타임은 배합 및 온도 조건 등에 따라 약 40 내지 80초 수준이다.

하지만 본 연구에서 개발하고자 하는 그라우트 주입재는 해안과 접하여 주입 범위 전체에 조류의 흐름이 존재하는 방조제 보강공사의 효율성을 높이기 위한 것으로 주입재를 주입이 가능한 수준의 유동성을 갖는 겔을 만드는 것이 목표이다. 일반적으로 수중

공사에 빠른 초기경화를 유도하여 재료의 유실을 막는 용도로 CA, CSA 등과 같은 초기반응성이 높은 재료를 사용하나 W/C 비가 100 %를 상회하는 그라우트 분야에 적용되는 경우 강도 저하와 물유리와 급격한 반응으로 초기 응결 및 겔타임이 급격히 빨라지는 현상이 발생한다.

따라서 본연구의 목적과 같이 주입재의 유수에 의한 확산을 방지하는 목적으로 겔을 빠르게 형성하며 이때 연속적인 주입이 가능하도록 주입된 겔이 하부 주입 압력에 따라 상승하면서 보강체를 형성할 수 있을 만큼의 유동성이 필요하다.

본 연구에서는 Table 1과 같이 실험을 계획하였으며 Table 2와 같이 제강환원슬래그로 제조된 CA계 시멘트를 10~20 wt%, 보통 포틀랜드 시멘트를 30~40 wt%, 3종 고로슬래그 미분말 40~50 wt%로 치환하여 바인더를 결정하였고 증점제는 전체 바인더 중량의 0.6 % 지연제는 제강환원슬래그로 제조된 CA계 시멘트의 0.3 %를 혼합한 뒤 W/B 비율 150 %~200 % 수준의 배합수를 첨가하여 본주입재를 제조한 뒤 본주입재의 10 %에 해당하는 실리콘젤액 약액을 첨가하는 것으로 실험배합을 선정하여 실험을 진행하였다.

Table 1. Experiment plan

Factors	Levels	Test items
Binder type	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flow</li> <li>Compressive strength</li> <li>Injection performance</li> </ul>
W/B ratio	3	

Table 2. Experiment mixture design

No.	Cement suspension (0.91m <sup>3</sup> )					Silica sol (0.09m <sup>3</sup> )
	LFS	OPC	GGBS	Water	W/B ratio	
1	47 kg	234 kg	188 kg	440 L	150 %	10 %
2	70 kg	188 kg	211 kg			
3	93 kg	140 kg	234 kg			
4	39 kg	197 kg	158 kg	514 L	175 %	
5	59 kg	158 kg	178 kg			
6	78 kg	118 kg	197 kg			
7	32 kg	161 kg	129 kg	587 L	200 %	
8	48 kg	129 kg	145 kg			
9	64 kg	96 kg	161 kg			

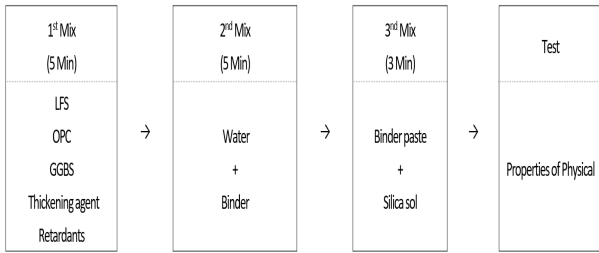


Fig. 1. Experiment method

## 2.2 실험방법

본 실험은 Fig. 1과 같이 제강환원슬래그(LFS), 보통시멘트(OPC), 고로슬래그(GGBS), 증점제, 지연제를 배합별로 개량하여 1차 건식 비빔을 5분 실시하여 분말재료들을 균일하게 혼합하였다. 이후 배합 수준별 물을 투입하여 5분간 혼합하여 페이스트로 만들었으며 제조된 페이스트에 실리카졸을 투입하여 3분간 비빔 후 굳지 않은 성상으로 플로우와 주입성을 측정하였으며, 굳은 후 성상으로 압축강도를 측정하였다. 실험에 사용한 믹서는 아스팔트 믹서기를 사용하였다.

## 3. 사용재료

본 실험에 사용한 사용재료의 특성과 종류는 아래 설명하였으며 바인더로 사용한 주 재료의 물리·화학적 특성은 Table 3에 나타내었다.

### 3.1 제강환원슬래그

제강환원슬래그(LFS, ladle furnace slag)는 다른 슬래그들과 다르게 수분과 접촉하였을 때 반응하여 자체 분화되는 특성을 가지고 다른 제강슬래그와 같이 골재로 활용하기 어려운 반응성 재료이다. 주성분은 CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 SiO<sub>2</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등으로 이들 성분은 반응성물질인 Meyenite(C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>), Larnite(β-C<sub>2</sub>S)와 Calcio-olivine(γ-C<sub>2</sub>S) 등으로 급격한 수화반응과 팽창성을 가지고 있어 CA계

특수시멘트로서 활용된다. 본 실험에서는 제강환원슬래그의 급결성을 이용하여 빠른 겔형성을 목적으로 사용하였다.

### 3.2 고로슬래그

고로슬래그(GGBS, Ground granulated blast furnace slag)는 잠재수경성 물질로, 그 자체로는 수화반응을 하지 않지만 알칼리 물질(대표적으로 시멘트)과 혼합사용 하는 경우 서서히 반응하는 잠재수경성 물질로 고로슬래그를 시멘트와 혼합 사용하는 경우 시멘트만 사용했을 때 보다 치밀한 구조를 형성하여 장기강도와 내구성을 증진시키는 특징을 가진다. 시멘트만을 사용하였을 때의 반응생성물 중 Ca(OH)<sub>2</sub>가 줄어들고, C-S-H의 생성이 늘어나기 때문에 해수와 직접 접촉하는 방조제용 그라우트 재료의 내구성 향상을 목적으로 3종 고로슬래그 미분말을 바인더로서 사용하였다.

### 3.3 OPC

시멘트는 물과 반응하여 수화물을 생성하는 기초적인 바인더 역할을 수행하며, 고로슬래그의 반응 활성화 및 수화물 생성에 필요한 칼슘 성분의 공급원으로서 1종 보통 포틀랜드 시멘트(OPC, Ordinary portland cement)를 사용하였다.

### 3.4 지연제

제강환원슬래그 미분말은 배합수와 접촉하였을 때 수십 초 내에 경화하며, 속경성 재료는 약액과 혼합되었을 때 급격하게 수초 내에 겔화되면서 수화반응은 오히려 지연되기 때문에 겔화 후 유동성을 부여하기 위한 본 연구에서는 충분한 지연제의 사용이 필수적이며, 본 연구에서는 구연산계 지연제를 사용하였다.

### 3.5 증점제

시멘트 계 주입재는 약액의 혼합에 따른 겔 형성 이후에도 수중 타설 시 물의 흐름에 의해 재료가 수중에 분산되므로 재료의 분산

Table 3. Physical and Chemical properties of using materials

Binder	Physical properties		Chemical composition (Wt.%)				
	Density (g/mm <sup>3</sup> )	Blain (cm <sup>2</sup> /g)	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
OPC	3.15	3,200	17~25	60~67	3~8	0.5~6	0.1~4
GGBFS	2.87	4,600	35~40	32~38	10~13	0.1~2	0.1~2
LFS	2.97	6,300	8~12	40~47	20~25	2~5	6~7

(Remark)OPC: Ordinary portland cement, GGBS: Ground granulated blast furnace slag, LFS: Ladle furnace slag

방지 및 적절한 겔의 유동성 유지를 위해서는 증점제의 사용이 필요하며, S 사의 수용성 폴리머계인 수중콘크리트용 증점제를 사용하였다.

### 3.6 약액

그라우트 주입재로서 사용되는 약액의 대표적인 예는 물유리 희석액으로, 3종 공업용 물유리를 물과 부피비 1:1로 혼합, 희석하여 이를 물비 130 내지 160 % 수준의 시멘트 현탁액과 다시 1:1로 주입하는 것이 일반적이며 이를 LW(Labiles Wasser Glass) 공법이라 한다. 그러나, 물유리계 약액에 의한 시멘트 겔은 지속적으로 수분과 접촉하는 경우 물유리의 용탈에 의해 형상의 유지가 어렵기 때문에 그라우트재의 주입 시 유수에 의한 재료의 확산으로 시멘트 현탁액으로만 이루어진 주입재의 정상적인 주입이 어려운 경우, 주입재의 주입 범위를 제한하기 위한 목적으로만 주로 사용된다.

본 연구의 그라우트 주입재는 모든 주입 공정이 유동성이 있는 겔 형태로 주입되는 것을 목표로 하기 때문에 용탈우려가 적은 실리카졸계 약액을 사용하였다. 실리카계 약액은 실리카졸 희석액에 포타슘하이드록사이드(KOH) 용액을 첨가하여 제조하였으며, 이는 물유리계 약액의 5분의 1수준을 사용하여 겔 형성이 가능한 특징을 갖는다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 유동 특성

일반적으로 시멘트 현탁액과 물유리 희석액을 각각 동시 주입하여 차수공사에 사용되는 LW 공법은 시멘트 현탁액과 물유리 희석액이 접촉하면 시멘트 현탁액의 물비 조건이나 온도 조건에 따라 약 40 또는 80초 내외로 겔을 형성한다. 이때 생성되는 겔은 단단하여 흐름성은 전혀 없지만, 강도는 측정할 수 없는 수준으로, 시멘트 현탁액만을 주입할 때 지하수의 흐름이 있는 경우 유수와 함께 시멘트 현탁액이 유출되어 그라우팅의 효과를 얻기 어려운 상황에서 본 주입재인 시멘트 현탁액의 주입 범위를 제한하기 위한 목적으로 사용된다. 이때의 겔은 두 재료가 혼합되어 흐름성이 없어지는 형태를 의미하며, 겔이 형성되는 시간인 겔타임이 주요 성능지표이나, 이를 측정할 수 있는 별도의 기준은 없어 일반적으로 컵도립법으로 측정하며 Fig. 2는 관련 사진을 나타낸다.



Fig. 2. Gel time of rapid hardening cement (11 sec, cup shifting method)

유동성 측정 결과 Table 4와 같으며 Fig. 3은 배합별 플로우값을 나타낸다. 모든 배합조건에서 실리카 졸계 약액이 추가되면 10초 이내에 겔을 형성하였으며, 겔의 유동성은 제강환원슬래그의 혼합량이 증가함에 따라 함께 증가 증가하는 경향을 나타냈다.

이는, 제강환원슬래그의 급결성을 제어하기 위해 제강환원슬래그 혼합량에 비례하여 혼합된 지연제의 비율이 유동성에 영향을 미치기 때문인 것으로 판단되며, 겔의 형성 및 겔의 유동성 모두 제강환원슬래그에 큰 영향을 받는 것으로 확인되었으며 Fig. 4는 유동성 측정 사진을 나타낸다.

Table 4. Flow results (KS F 2476)

No.	W/B ratio	Silica sol (0.09m <sup>3</sup> )	Flow (mm)
1	150 %	10 %	115
2			130
3			143
4	175 %		110
5			123
6			136
7	200 %		105
8			113
9			127

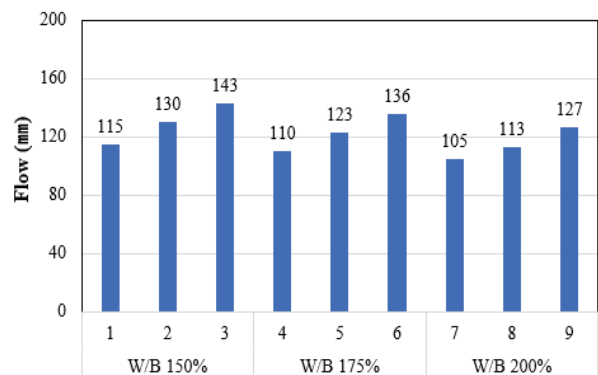


Fig. 3. Flow measurement result according to mixture design

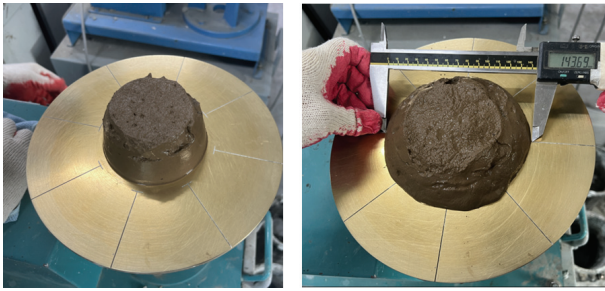


Fig. 4. Flow measurement of grout gel (KS F 2476)

### 4.2 강도 특성

배합별 플로우를 측정한 후 KS F 2328 ‘흙 시멘트의 강도시험방법’에 따라 지름 5 cm, 높이 10 cm의 원기둥형 공시체를 제작하여 20 °C 항온습실에서 습윤양생을 진행하여 1일, 7일, 28일 재령에 압축강도를 측정하였다. 이때 LW법에 사용된 배합을 비교군으로 설정하였으며, 해수에 지속적으로 노출되는 방조제 그라우트 주입재의 환경을 고려하여 일부 공시체는 24시간 후 탈형하여 인공해수에 침지시켜 28일 재령에서 강도를 비교하였다.

인공해수는 KS D ISO 11130 ‘금속 및 합금의 부식’에 기재된 ‘A3. 자연해수의 부식효과 모사용 시험용액’ 중 ‘A.3.2 인공해수 제조’ 방법에 따라 인공해수를 제조하여 사용하였다. Table 5는 비교군 LW와 배합별 공시체 압축강도를 나타내며 Table 6은 해수 침지 후 28일 강도 감소율을 나타낸 것이다.

강도 측정 결과 Fig. 5와 같이 시멘트 현탁액과 물유리계 약액을 사용한 비교 시험군 대비 모든 재령에서 개발재료의 배합이 높은 강도 특성을 나타냈으며, 28일 재령 강도를 기준으로 하여 2배 이상의 강도를 발현하였고 1일 재령 강도의 경우 7배 이상으로 크게

Table 5. Strength properties

No.	Compressive strength (MPa)			
	20 °C wet curing			Seawater
	1 day	7 days	28 days	
LW	0.2	0.5	1.6	0.6
1	1.6	2.6	3.6	3.3
2	1.6	3.0	4.0	3.7
3	1.9	3.7	4.5	4.1
4	1.4	2.4	3.3	3.0
5	1.6	2.8	4.1	3.8
6	1.7	3.1	4.4	4.0
7	1.2	2.2	3.1	2.7
8	1.4	2.2	3.4	3.0
9	1.5	2.4	3.4	3.1

Table 6. Strength decrease after seawater immersion

No.	Compressive strength (MPa)		Strength decrease (%)
	Wet curing	Seawater	
	28 days	28 days	
LW	1.6	0.6	62.5
1	3.6	3.3	8.3
2	4.0	3.7	7.5
3	4.5	4.1	8.9
4	3.3	3.0	9.1
5	4.1	3.8	7.3
6	4.4	4.0	9.1
7	3.1	2.7	12.9
8	3.4	3.0	11.8
9	3.4	3.1	8.8

향상된 것을 확인하였다.

이러한 현상은 배합에 사용된 제강환원슬래그가 CA계 성분으로 초기 강도 성능발현에 유의미한 재료이며, 약액의 종류가 다른 배합의 특성상 강도의 발현에 미치는 영향이 미비한 약액의 혼합 비율이 비교 시험군은 전체 배합의 50 %, 개발 배합은 10 % 수준인 것이 큰 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

해수 침지 후 강도 측정 결과, 비교 시험군은 20 °C 습윤양생을 한 시험체 대비 62.5 %의 강도가 하락하였으나 시험 배합은 10 % 내외의 강도 차이를 보여 해수에 의한 저항성이 개선되었음을 확인할 수 있었으며 W/B 비가 200 % 이하인 배합에서 강도 저하폭이 10 % 미만을 유지하여 해수에 의한 내구성 크게 향상된 것을 확인하였으며 Fig. 6은 해수 침지 후 강도 감소율을 나타낸다.

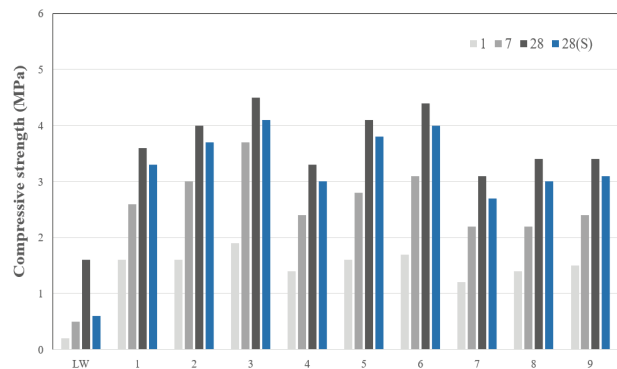


Fig. 5. Compressive strength measurement result according to mixture design

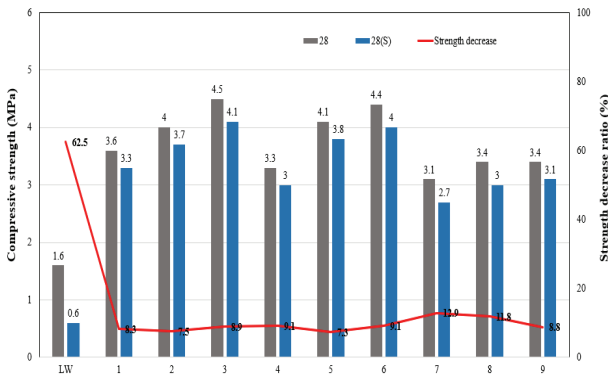


Fig. 6. Strength decrease after seawater immersion according to mixture design

### 4.3 주입 특성

본 연구는 유수의 흐름에 분산되지 않고 안정적으로 주입할 수 있는 방조제용 그라우트 재료의 개발로, 물의 흐름이 있을 때 주입이 원활하게 이루어지는지를 확인하고자 하였다. 주입 특성을 비교하기 위해, 투명 아크릴로 내부가 30 × 30 × 60 cm인 직육면체를 제작한 후 상부에는 지름 3 cm으로 2개소, 양 측면에는 지름 5 mm로 3개소씩 타공하였으며 반대 측면 상단에는 물을 주입할 수 있는 주입구를 만들어 분당 1 L의 물을 지속적으로 주입하면서 주입된 물이 흘러나올 수 있는 환경을 조성하였다. 그라우트 주입재는 개량공사 시 대상지를 천공하여 케이싱을 삽입한 후 하부부터 주입하여 개량체를 밀어올리는 방식으로 시공하는 현장 특성을 고려하여 하부에 주입관을 연결하였다. 이후 시멘트 현탁액과 물유리 회석액이 약액으로 사용되는 비교 시험체와 배합 시험에서 플로우가 143 mm로 유동성이 가장 컸던 3번 배합을 분당 5 L 수준으로 주입하여 흐르는 물이 있을 때 주입 성상을 비교하였다.

주입시험 결과 Fig. 7과 같이 비교 시험체의 경우 겔의 형성이 늦어지면서 주입 초기부터 측면에 타공된 구멍을 통해서 재료의 유출이 지속적으로 발생, 주입 1분 경과 후 약 50 %가 주입되었으며, 개발 주입재의 경우 주입과 동시에 겔이 형성되면서 측면 타공부로 유출 없이 주입 후 1분 경과 시 타설이 완료되어 상단 타공부로 over 플로우가 시작되었다.

한편, 그라우트 공사는 천공된 지반에 천공부를 통해 그라우트 재료가 주입되면서 주변 지반으로 확산이 이루어져 보강체를 형성하여야 하며, 개발배합은 겔이 생성된 이후 주입은 가능하나 짧은 겔타임으로 인해 주변 지반으로의 확산이 어려울 수 있다는 우려가 생길 수 있다.

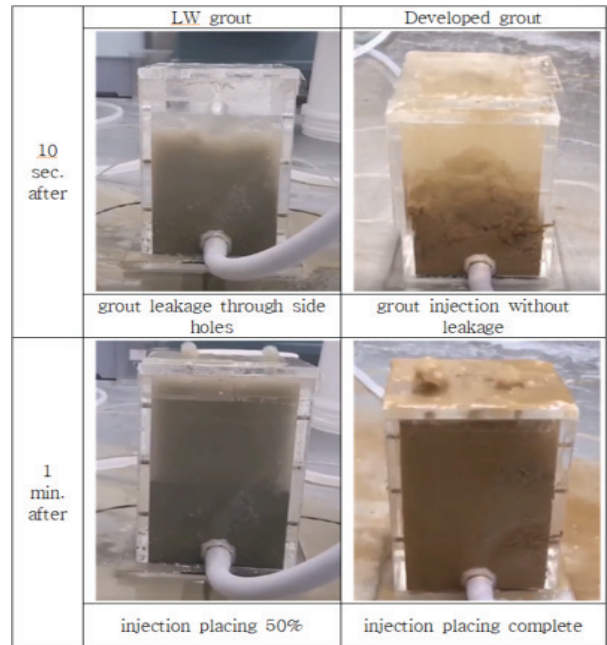


Fig. 7. Injection properties of plain

본 연구에서 목표는 방조제 중 해수면에 접한 하부 사석층의 보강으로, 모래층에 비해 공극은 크게 형성되어 있지만 주입 가능성을 확인하고자 Fig. 8과 같이 Pilot을 제작하여 주입시험을 진행하였다. 시험을 위한 몰드는 1 m 내외의 간격으로 주입구를 천공하는 현장 여건을 고려하여 그것의 절반 수준인 60 × 60 × 120 cm 크기로 제작하였으며, 주입을 위한 케이싱을 중앙에 거치한 후 실적률 65 % 내외의 쇄석을 채워 현장 여건을 모사하였다. 몰드는 양쪽 측면에 지름 5 mm 크기로 12개소를 타공하여 물이 주입되면서 흘러나갈 수 있는 환경을 모사하였으며, 한면은 투명 아크릴로 제작하여 주입 성상을 확인할 수 있게 하였다.

주입재의 배합은 앞선 실험에 사용된 3번 배합을 사용하였으며, 물이 다 채워진 뒤 케이싱을 통해 몰드의 하부부터 주입재를 주입하면서 주입 성상을 확인하였다.

시험 결과, 개발 주입재는 몰드를 가득 채운 쇄석의 틈으로 주입이 원활하게 이루어졌으며 이때 외부로의 재료유출이 발생하지 않아 현장 적용성이 확보된 것으로 판단할 수 있었다.

### 5. 결론 및 고찰

해수 범람 피해 방지, 교통인프라 확장, 간척 사업 등의 목적으로 건설되는 중요한 구조물인 방조제가 노출된 환경을 고려하여 주입 성능 및 내구성을 개선하기 위해 철강 산업부산물인 제강환



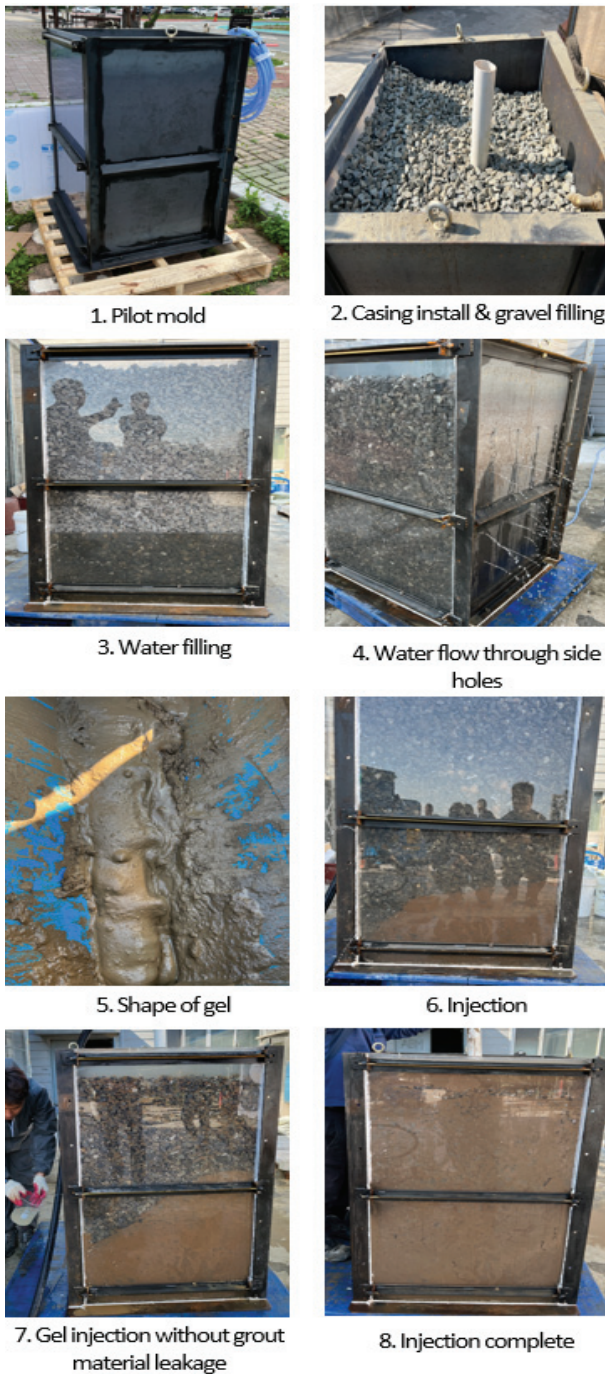


Fig. 8. Injection properties (pilot test)

원슬래그 및 고로슬래그를 주 바인더로 하고, 실리카 졸계 약액을 사용한 배합을 개발하였으며, 해당 배합을 사용한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 약액을 혼합하여 주입재가 겔화된 상태에서의 유동성 측정 결과, 개발 배합은 수초 내 재료의 겔화가 이루어지며, 겔화 이후 주입이 가능한 수준의 유동성을 갖는 것으로 확인되었다.
2. 기존에 일반적인 차수 공사에 사용되는 LW 공법의 배합과 비교한 강도 시험 결과, 개발배합은 1일 재령에서 기존 배합의 7배 이상, 28일 재령에서 2배 이상의 강도를 발현하여, 강도 특성이 개선되었음을 확인하였다.
3. 인공해수 침지에 따른 강도 시험 결과, 기존 LW 공법은 62.5%의 강도 하락이 발생하였으나 개발배합은 강도 하락 폭이 10% 내외로 줄어들어 해수에 노출되었을 때 내구성이 개선된 것을 확인하였다.
4. 시험실 주입시험에서 기존 LW 방법에 따른 주입재와 달리 재료의 유출없이 주입이 이루어졌으며, 현장 모사 시험에서 쇄석의 틈 사이로 주입재가 충전되는 것을 확인하여 현장 적용성을 확인하였다.

이상의 결과로, 개발 주입재는 외부로의 재료유출이 현저히 적은 상태로 주입이 가능하며, 강도 발현 및 해수와 접촉 시 내구성이 기존재료 대비 우수하여 방조제용 보강공사에 적용이 가능할 것으로 보이며, 이러한 개발 재료의 주입 시 성상은 기존에 사용되고 있는 LW법과는 다른 형태이므로, 주입 후 개량체의 품질 확보를 위해 주입 시 주변 지반으로의 침투 및 재료의 다짐 효과를 향상시킬 수 있는 공법을 함께 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단 된다.

### Conflicts of interest

None.

### 감사의 글

본 논문은 국토교통과학기술진흥원의 국토교통지역혁신기술 개발사업(과제번호 : RS-2022-00143830)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### References

Alpha, O.T., Nicholas, A., Falilou, M.S., Jackson, S.M. (2020). Cement clinker based on industrial waste materials, Journal of

- Civil & Environmental Engineering, **10(3)**, 1–5.
- Costa, F.N., Ribeiro, D.V., Dias, C.M.R. (2020). Portland clinker with civil construction waste: influence of pellet geometry on the formation of crystalline phases, *Ambiente Construído*, **20(4)**, 205–223.
- Hwang, J.W. (2014). A study on the raw material possibility using cementitious powder from waste concret, Ph.D Thesis, Korea Maritime & Ocean University, Korea [in Korean].
- Kim, H., Park, S., Kim, H. (2016). The optimum production method for quality improvement of recycled aggregates using sulfuric acid and the abrasion method, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **13(8)**, 769.
- Kim, H.S. (2011). A Study on the Quality Improvement of Recycled Fine Aggregate using Neutralization and Low Speed Wet Abraser, Ph.D Thesis, Kongju National University, Korea [in Korean].
- Kim, H.S., Kim, B., Kim, K.S., Kim, J.M. (2017). Quality improvement of recycled aggregates using the acid treatment method and the strength characteristics of the resulting mortar, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, **19(2)**, 968–976.
- Kim, H.S., Kim, J.M., Kim, B. (2018). Quality improvement of recycled fine aggregate using steel ball with the help of acid treatment, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, **20(2)**, 754–765.
- Kim, J.M., Choi, S.M., Kim, J.H. (2012). Evaluation for applicability as the inorganic binder with rapid setting property for construction material of LFS produced from various manufacturing process, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources institute*, **7(2)**, 70–77.
- Kim, J.M., Kim, K.S., Ra, J.M., Choi, D.J. (2011). Application of waste concrete powder as silica powder of cement extruding panel, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **6(1)**, 88–94.
- Lee, S.Y., Choi, S.K., Jeong, I.H. (2010). The verification of the application of grouting in the bottom protection work of sea dikes in the field, *Proceedings of the Korean Geotechnical Society Conference*, Korean Geotechnical Society, 29–39.
- Ma, X., Wang, Z. (2013). Effect of ground waste concrete powder on cement properties, *Advances in Materials Science and Engineering*, **2013**, 918294.
- Moon, H.Y., Lee, S.T., Kim, H.S. (2001). Evaluation on the deterioration and resistance of cement matrix due to seawater attack, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **13(2)**, 175–183.
- Park, S.Y., Shim, H.G., Kang, H.J., Lim, O.B., Sami, G.F., Kim, Y.S. (2017). A study on hybrid grout material for reservoir embankment reinforcement, *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, **16(3)**, 21–30.
- Song, S.H., Lee, J.Y. (2009). Variation of water quality of brackish water reservoir and hydrogeologic characteristics of dike caused by embankment reinforcement, *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, **46(3)**, 362–371.
- Tam, V.W., Tam, C.M., Le, K.N. (2007). Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches, *Resources, Conservation and Recycling*, **50(1)**, 82–101.

### 철강산업부산물을 사용한 방조제용 그라우트 재료 및 그 특성

해수의 흐름이 존재하는 방조제 제체 보강공사 시 가장 큰 문제는 재료의 유출로, 콘크리트의 중력식 타설은 원활히 공극을 채우기 어렵고 굳지 않은 콘크리트의 시멘트는 해수에 분산될 확률이 높기 때문에 경화 후 품질의 신뢰성이 저하될 뿐만 아니라, 인근 환경에 악영향을 끼칠 수 있다. 이에 주입이 가능한 겔형태의 주입재가 필요하다. 본 연구에서는 급결성을 띠는 전기회환원슬래그 및 고로슬래그를 활용하여 초기 강도와 해수 침지에 따른 내구성 향상 효과를 평가하였다. 실험 결과 실리카 계 약액과의 반응을 통해 흐름성을 갖는 겔형태의 주입재 제조가 가능하였으며 겔의 흐름성은 배합에 따라 105~143 mm 수준으로 현장모사 시험을 통해 외부 유출 없이 공극을 채울 수 있어 현장 적용성을 확인하였다.