

## 스마트건설기반에서의 지반그라우팅을 위한 황토의 적용성 검토

# A Study on the Application Review of Hwang-toh for Ground Grouting Based on Smart Construction

이 태 세<sup>1)</sup> · 이 동 혁<sup>†</sup>

Taese Lee · Donghyuk Lee

Received: April 1<sup>st</sup>, 2024; Revised: April 8<sup>th</sup>, 2024; Accepted: April 23<sup>rd</sup>, 2024

**ABSTRACT** : Limestone-based cement has been well utilized as a construction material throughout the world, but as civil and architectural development accelerates, limestone will gradually be depleted. The use of cement, the main material for civil engineering and construction, is rapidly increasing in modern times, and the depletion of high-quality limestone resources will be greater than expected in the future. Therefore, if existing resources can be used as construction materials to replace cement based on accumulated technology, the depleting limestone resources can be utilized for a longer period of time. In order to determine whether Hwang-toh, which forms about 10% of the surface layer of Korea's terrain, can be partially utilized as a construction material, this study aims to develop a Hwang-toh accelerator agent and prove whether it can be applied to the field through indoor tests.

**Keywords** : Limestone, Cement, Hwang-toh, Hwang-toh accelerator, Smart construction, Ground grouting

**요 지** : 석회암이 주 원료인 시멘트는 세계적으로 건설자재로 잘 활용해 왔으나, 토목건축 개발이 가속화 됨에 따라 석회암이 점차적으로 고갈이 될 것이다. 토목과 건축에 소요되는 주 재료인 시멘트는 현대에 사용량이 급증하고 있어서 미래에는 품질 좋은 석회암 자원의 고갈 또한 예상보다 이를 것이다. 그래서 축적된 기술력을 바탕으로 기존 자원이 시멘트를 대체할 건설자재로 사용이 가능하다면 고갈되어 가는 석회암 자원을 오랜 기간 동안 더 활용할 수 있을 것이다. 본 연구는 한국 지형의 면적에 표층으로 10% 가량을 형성하고 있는 황토를 건설자재로 일부 활용할 수 있는지를 판단하기 위해서 황토급결제를 개발하여 현장에 적용이 가능한지 여부를 실내시험을 통하여 증명하고자 한다.

**주요어** : 석회암, 시멘트, 황토, 황토급결제, 스마트건설, 지반그라우팅

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

한반도의 지형은 대부분이 산악지형이다. 특히 중부내륙 산간 및 동부지역의 기반암 중에는 고생대 조선누층군과 평안누층군에 속하는 탄산염암이 분포되어 있다. 국내 석회암은 강원도 삼척지역과 영월지역 충청북도 단양지역과 제천지역 경상북도 문경지역에 주로 분포하고 있다. 석회암은 시멘트 원료로 많은 양을 채굴하여 토목 및 건축 현장에서 주로 사용하고 있으며, 현재는 많은 양이 매장되어 충분히 사용하고 있으나 도시개발의 가속화에 따라서 어느 시점부터는 많은 채굴로 인하여 고갈이 될 것으로 판단된다. 미래 후손에게 석회암을 장기적으로 사용할 수 있는 방안으로 일부 새로운 대체 재료를 연구하여 현장 시공에 적용이 가능

하도록 연구를 꾸준히 진행해야 한다. 대체 재료로 우리나라 주변에 흔하게 매우 많이 분포하고 있는 황토를 활용하여 토목현장, 건축현장에 지반개량, 지반보강, 차수그라우팅 등으로 적용 가능한지 실내시험을 통해서 적용가능성 여부를 연구하여 그 결과를 바탕으로 현장에 적용하는데 목적이 있다.

### 1.2 연구동향

한국의 표토인 화강잔류토는 기반암인 화강암의 풍화로 인하여 형성된 토양으로 흔히 황토라고 한다. 토양 특색의 성대 토양은 포드졸성 토양, 갈색 삼림토, 황갈색토, 적색토이며, 가장 널리 분포하고 있다(Rural Development Administration National Academy of Agricultural Sciences, 2015).

화강잔류토는 표층의 10% 가량을 형성하고 있는 흔한

1) CEO of Hana Engineering Co., Ltd.

† Lecturer, Department of Fire Protection Engineering, Sanji University (Corresponding Author : idonghyuk@hanmail.net)

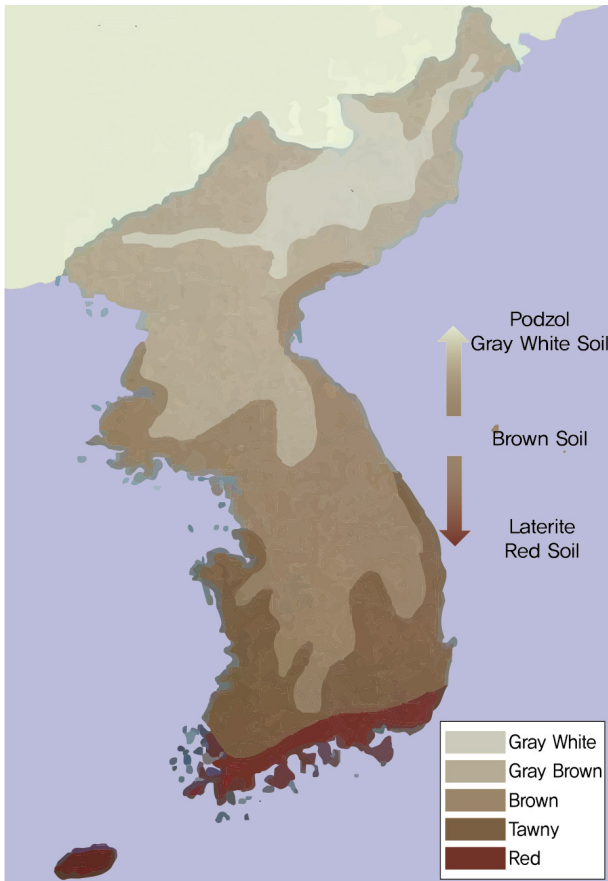


Fig. 1. Distribution of zonal soil

재료로 선조들로부터 옹기와 초가집의 벽 등의 재료로 널리 사용되었다. 현대사회에서는 건강을 중요하게 생각하여 인체에 이로운 원적외선 방출 효과가 있다고 하여 친환경 재료로 각광을 받아왔다. 주로 황토침대, 황토벽돌, 마감용 건축자재로 사용하고 있다(An et al., 2007).

황토는 강도가 낮고, 건조수축으로 인한 균열이 자주 발생하는 문제점이 있다. 현재는 황토에 알칼리성보강제, 산성첨가제 및 천연수지를 혼합하는 기술이 발달되어 황토를 이용한 화학적 처리에 의한 광물 고유 특성과 환경오염의 위험성, 천연방수재(Jung & Park, 2015) 등 건설재료로 사용이 가능한지에 대하여 많은 연구개발을 시도하고 있다. 황토를 지반그라우팅공법으로 적용이 가능한지에 대해 연구한 사례는 아직은 없다.

### 1.3 연구내용 및 방법

#### 1.3.1 연구내용

시멘트 원료인 석회암 대체 재료로 황토가 일부 건설재료로 사용이 가능한지 여부를 판단하기 위해서 황토고결체를 개발하여 배합비에 맞게 만든 시료로 실내시험을 수행하였다. 시험결과에 대한 자료를 근거로 현장에 지반개량, 지반

보강, 차수그라우팅 등 재료로 적용이 가능한지를 판단하기 위한 연구를 수행하였다.

#### 1.3.2 연구범위

본 연구에서는 주재료 및 첨가제로서 황토분말, 황토고결체 재료의 시험을 수행하였다. 황토 특성의 배합비를 ① 황토 차수그라우팅 공법 배합비(K.G.O-CG공법), ② 황토 고강도 차수그라우팅 공법 배합비(K.G.O-CH공법), ③ 황토 무기질계 차수그라우팅 공법 배합비(K.G.O-IG공법), ④ 황토 고강도 무기질계 차수그라우팅 공법 배합비(K.G.O-IH공법)의 공시체로 만들어서 압축강도시험을 수행하여 내구성을 확인하였다. 어독성 시험을 진행하여 pH 농도 변화와 96 시간 동안 공시어 생존 여부를 확인하는 시험, 황토고결체 그라우팅 시료 ① 황토 차수그라우팅 공법 배합비(K.G.O-CG공법), ② 황토 고강도 무기질계 차수그라우팅 공법 배합비(K.G.O-IH공법)의 공시체를 폐기물공정 시험을 통하여 환경오염이 없는 친환경공법으로 적용여부를 연구하였다.

## 2. 지반그라우팅 이론적 고찰

### 2.1 지반그라우팅의 정의

지반의 전단강도 증가, 투수성 감소, 변형감소, 지반과 구조물과의 일체화 등을 목적으로 기초지반이나 구조물 주변 및 구조물 자체 내부로 각종 시멘트, 모르타르, 약제 등 그라우트를 주입하는 것이다.

- ① 흙막이공법의 히빙(Heaving) 방지
- ② 건물기초의 언더피닝(Underpinning)
- ③ 토류벽의 토압경감 및 차수 효과
- ④ 말뚝기초, Pier기초의 지지력 보강 효과
- ⑤ 지하댐, 저류조, 하천제방의 하부 지반을 통한 누수 방지 효과
- ⑥ 터널 굴진 시 지반붕락 방지 효과

### 2.2 지반그라우팅 주입율 적용 기준

주입량은 가시설 보강구간의 지반조건, 약액이나 시멘트의 성질뿐만 아니라 주입목적이나 개량효과의 신뢰도를 고려해서 결정해야만 한다. 주입율은 약액고결체가 압밀작용을 일으키기 때문에 설계 주입범위 내에서 지반 전체에 대하여 주입된 약액량의 비율을 나타내는 것이지, 고결된 약액의 체적을 의미하는 것이 아니다. 일반적으로 주입량을 구하는 기본식은 사질토 지반에서 침투주입의 경우에 대해 주

입대상 토량(V)에 주입율( $\lambda$ )을 곱한 다음 식으로 표시되고 있다(Baek, 2020).

$$Q = V \cdot \lambda = V \times \text{간극률}(n) \times \text{주입충전율}(\alpha) \times \text{손실계수}(1 + \beta) \quad (1)$$

$$V = \{H \times ((\pi \times D^2) \div 4) \quad (2)$$

Q : 주입량

$\lambda$  : 주입율

$\beta$  : 손실계수  $\beta$ 는 0.1

n : 간극율(공극율)은 지층조건별 평균 N치를 적용

V : 주입대상토 지반의 체적

$\alpha$  : 주입충전율(공극의 30 ~ 60%를 사용)

### 2.2.1 주입율 적용기준

Table 1. Standard injection rate by Injection method (ex)

Injection Method	Injection Rate	
	Sandy Soil (%)	Viscous Soil (%)
Single Tube Rod Injection	30~35	20~30
Double Tube Rod Injection	40	40
Multi Tube Rod Injection	40~45	40~45
Double Tube Double Packer Injection	40~45	40~45

Table 2. Injection rate according to soil (ex)

Soil	Category	N Value	Clearance Rate (n)	Injection Rate ( $\lambda$ )	Note
Normal	10~30	40~50	65~75		
Compact	30~50	45	60~70		
Very Compact	more than 50	40	55~63		
Viscous Soil	Very Fragile	0~2	75	35~40	
	Fragile	2~4	65~75	30~35	
	Normal	4~8	55~65	25~30	

## 3. 실내시험을 통한 주입재 적용성 검토

### 3.1 실내시험의 종류

황토 지반그라우팅 실내시험 재료로 황토분말, 황토급결제, 황토급결제 시험용 시료를 KS규격 기준으로 다음과 같이 수행한다(Cheon, 2011; Kim et al., 2007; Kim et al., 2019).

※ 시험환경 : 온도( $20 \pm 5$ )°C, 습도( $40 \pm 20$ )%

- ① 황토분말 재료의 시험
- ② 황토급결제 재료의 시험
- ③ 압축강도 시험
- ④ 어독성 시험
- ⑤ 폐기물공정 시험

## 3.2 황토분말 재료의 시험

### 3.2.1 황토분말 재료의 시험

Table 3. Test results

No.	Test inspection items	Unit	Test Inspection Method	Test Results
1	Finess (Specific Surface Area)	cm <sup>2</sup> /g	KS L 5210:2022	5.837
2	Specific Gravity	Mg/m <sup>3</sup>	KS L 5110:2021	2.51
3	pH	-	KS M 0011	4.89
4	SO <sub>3</sub>	%	KS L 5120:2021	0.4
5	MgO	%	KS E 3807:2008	0.4
6	SiO <sub>2</sub>	%		52.8
7	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		23.6
8	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%		0.5
9	CaO	%		1.4

### 3.2.2 평가

황토분말 재료의 시험 결과는 Table 3으로 나타냈으며, 생산하는 지역마다 황토의 재료에 대해서 시험하는 분말도 시험부터 산화칼슘시험까지 성분결과 값은 조금씩 다를 것으로 판단되지만 황토분말 재료에 각종 금속성분이 오히려 혼화제하고 화학반응과 수화열을 발생하는 촉진제 역할로 양생효과가 더 증가하여 지반그라우팅으로는 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 3.3 황토급결제 재료의 시험(OQ:황토 케미칼 급결제, KQ:황토 무기질계 급결제)

### 3.3.1 황토급결제 재료의 시험

Table 4. Test results

No.	Measurement items	Unit	Sample	Test Results			Analysis Method
				OQ	KQ	MDL	
1	Pb	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-5 Ed.1.0:2013 (Mutatis Mutandis)
2	Cd	mg/kg	-	Not detected	Not detected	1	IEC 62321-5 Ed.1.0:2013 (Mutatis Mutandis)
3	Hg	mg/kg	-	Not detected	Not detected	1	IEC 62321-4 Ed.1.0:2017 (Mutatis Mutandis)

Table 4. Test results (Continued)

No.	Measurement items	Unit	Sample	Test Results			Analysis Method
				OQ	KQ	MDL	
4	Cr6+	mg/kg	-	Not detected	Not detected	8	IEC 62321-7-2 Ed.1.0:2013 (Mutatis Mutandis).
5	Total-PBBs	mg/kg	-	Not detected	Not detected	-	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
6	Mone-BB	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
7	Di-BB	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
8	Tri-BB	mg/kg	-	Not detected	Not detected	-	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
9	Tetra-BB	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
10	Penta-BB	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
11	Hexa-BB	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
12	Hepta-BB	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
13	Octa-BB	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
14	Nona-BB	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
15	Deca-BB	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
16	Total-PBDEs	mg/kg	-	Not detected	Not detected	-	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
17	Mone-BDE	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
18	Di-BDE	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
19	Tri-BDE	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
20	Tetra-BDE	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
21	Penta-BDE	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
22	Hexa-BDE	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
23	Hepta-BDE	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
24	Octa-BDE	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
25	Nona-BDE	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)
26	Deca-BDE	mg/kg	-	Not detected	Not detected	10	IEC 62321-6 Ed.1.0:2015 (Mutatis Mutandis)

Notes : mg/kg = ppm (parts per million), N.D = Not detected (<MDL),  
MDL = Method detection limit

### 3.3.2 평가

황토급결제 재료의 공시체를 황토 케미칼 급결제와 황토 무기질계 급결제 공시체를 만들어서 26가지 항목에 대한 시험결과는 Table 4와 같이 인체에 해로운 성분이 검출되지 않아 친환경 혼화제로 적용이 가능한 것으로 확인되었다.

### 3.4 압축강도 시험

#### 3.4.1 차수그라우팅 공법 배합비

- ① 황토 차수그라우팅 공법 배합비(K.G.O-CG공법)

Table 5. Mixing ratio

Sortation	Hwang-toh Block		Hwang-toh Reinforce			
	AP	Water	EP	OQ	HP	Water
Fast	70 L	130 L	80 kg	20 kg	-	163 L
Medium	70 L	130 L	80 kg	-	10 kg	169 L
Slow	30 L	170 L	80 kg	-	10 kg	169 L

- ② 황토 고강도 차수그라우팅 공법 배합비(K.G.O-CH공법)

Table 6. Mixing ratio

Sortation	Hwang-toh Block		Hwang-toh Reinforce			
	AP	Water	EP	OQ	HP	Water
Fast	80 L	120 L	90 kg	20 kg	-	162 L
Medium	80 L	120 L	90 kg	-	20 kg	162 L
Slow	40 L	160 L	90 kg	-	20 kg	162 L

- ③ 황토 무기질계 차수그라우팅 공법 배합비(K.G.O-IG공법)

Table 7. Mixing ratio

Sortation	Hwang-toh Block		Hwang-toh Reinforce		
	KQ	Water	EP	HP	Water
Fast	75 kg	163 L	80 kg	-	173 L
Medium	75 kg	163 L	80 kg	10 kg	169 L
Slow	25 kg	188 L	80 kg	10 kg	169 L

- ④ 황토 고강도 무기질계 차수그라우팅 공법 배합비 (K.G.O-IH공법)

Table 8. Mixing ratio

Sortation	Hwang-toh block		Hwang-toh Reinforce		
	KQ	Water	EP	HP	Water
Fast	100 kg	150 L	100 kg	-	167 L
Medium	100 kg	150 L	100 kg	20 kg	159 L
Slow	50 kg	175 L	100 kg	20 kg	159 L

### 3.4.2 압축강도 시험 결과

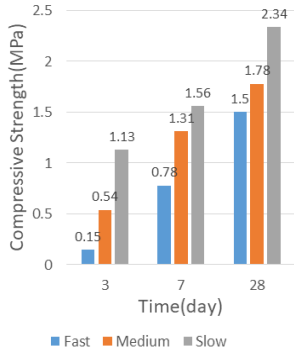


Fig. 2. K.G.O-CG Compression strength

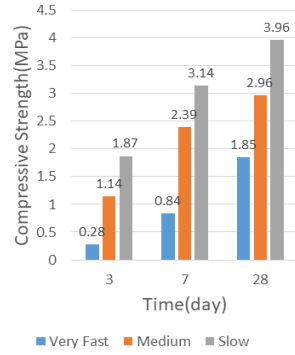


Fig. 3. K.G.O-CH Compression strength

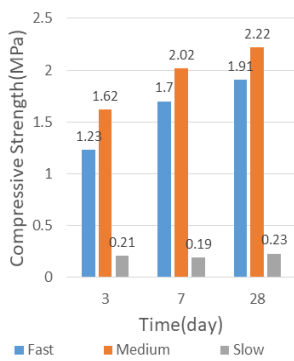


Fig. 4. K.G.O-IG Compression strength

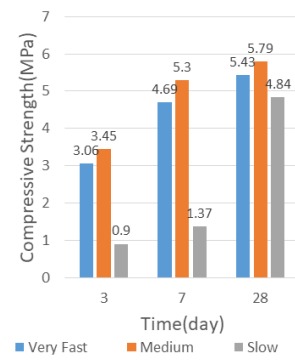


Fig. 5. K.G.O-IH Compression strength

### 3.4.3 평가

황토급결제를 개발하여 실내시험을 수행하기 위한 배합비는 반복적으로 배합하여 선정한 배합비로, 많은 시간과 노력의 결과를 Table 5, 6, 7, 8과 같이 만들게 되었다. 선정한 배합비로 공시체를 황토 케미칼 급결제와 황토 무기질계 급결제 공시체를 4가지 만들어서 압축강도 시험을 수행한 결과는 Fig. 2, 3, 4, 5와 같다.

황토 차수그라우팅 공법(K.G.O-CG공법)은 완결이 재령 28일 기준 최대 압축강도가 2.34MPa로 나왔다.

황토 고강도 차수그라우팅 공법(K.G.O-CH공법)은 완결 재령 28일 기준 최대 압축강도 3.96MPa로 나왔다.

황토 무기질계 차수그라우팅 공법(K.G.O-IG공법)은 중결 재령 28일 기준 최대 압축강도 2.22MPa로 나왔다.

황토 고강도 무기질계 차수그라우팅 공법(K.G.O-IH공법)은 중결 재령 28일 기준 최대 압축강도 5.79MPa로 나왔다.

따라서, 황토 케미칼 급결제와 황토 무기질계 급결제의 압축강도 시험결과 차수그라우팅공법으로 적용이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

### 3.5 어독성 시험

#### 3.5.1 어독성 시험

Table 9. Test process (K.G.O-CG)

Sortation	Sample Photo	Fish Toxicity Test				
		Start	12 hours	24 hours	48 hours	96 hours
Comparative group						
Test group (Fast)						
Test group (Medium)						
Test group (Slow)						

Table 10. Test process (K.G.O-IG)

Sortation	Sample Photo	Fish Toxicity Test				
		Start	12 hours	24 hours	48 hours	96 hours
Comparative group						
Test group (Fast)						
Test group (Medium)						
Test group (Slow)						

#### 3.5.2 시험결과

##### ① pH 변화 시험결과

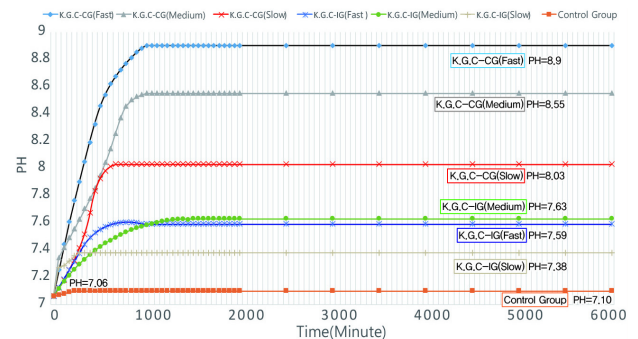


Fig. 6. pH change by combination up to 5,760 minutes (96 hours) after the start of the test

## ② 치사하는 공시어 수 시험결과

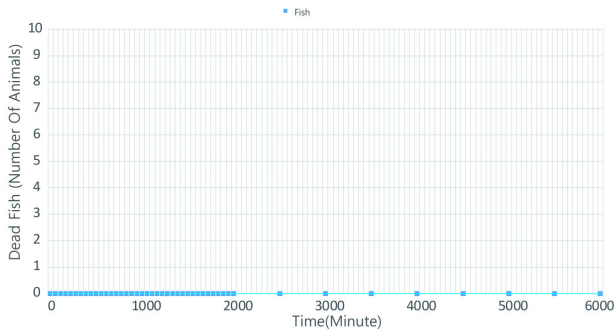


Fig. 7. The number of Fish killed by the combination (Fish survived for 96 hours)

### 3.5.3 평가

현재 황토를 건설 재료로 활용하는 연구가 점차 증가하고 있으며, 석회암 재료의 시멘트 원료를 대체 재료로 사용할 수 있다. 또한, 환경오염으로 미치는 영향이 거의 없는 재료로 확인된 바, 상기의 시험조건(Table 9, 10)에 따른 어독성 시험에 대한 평가는 Fig. 6, 7과 같다(Cheon, 2011).

K.G.O-CG공법은 황토 케미칼 급결제를 사용하여 96시간 후의 최종 알칼리농도는 급결 pH=8.9, 중결 pH=8.55, 완결 pH=8.03으로 확인이 되었다. 어류 10마리가 모두 96시간동안 생존하여 환경오염이 없는 것으로 확인되었다.

K.G.O-IG공법은 황토 무기질계 급결제를 사용하여 96시간 후의 최종 알칼리농도는 급결 pH=7.59, 중결 pH=7.63, 완결 pH=7.38으로 확인이 되었다. 어류 10마리가 모두 96시간동안 생존하여 환경오염이 없는 것으로 확인되었다.

따라서, 어독성 시험결과 향후 국내 바다, 호수, 강, 하천에 인접한 건설현장에서 약액주입에 의한 환경오염 물고기 피해가 적을 것으로 확인이 되었다.

환경영향에 대한 어독성 시험결과가 한국산업규격에 의한 시험방법을 존용했기 때문에 상당한 객관성을 확보할 수 있었으며, 우리나라에 흔하게 분포하고 있는 황토에 대한 재료를 이용하여 연구를 수행한 결과 실내시험 자료를 토대로 현장에서 적용이 가능하다는 것을 확인하였다.

## 3.6 폐기물공정 시험

### 3.6.1 황토 차수그라우팅공시체의 폐기물공정 시험

#### ① 황토 차수그라우팅 K.G.O-CG공법

Table 11. Analysis results

No.	Measurement items	Unit	Criteria	Analysis Results			Analysis Method
				Fast	Medium	slow	
1	As	mg/L	More than 1.5	Not detected	Not detected	Not detected	ICP-OES
2	Cd	mg/L	More than 0.3	Not detected	Not detected	Not detected	ICP-OES

3	Cu	mg/L	More than 3	0.007	0.008	0.007	ICP-OES
4	Pb	mg/L	More than 3	Not detected	Not detected	Not detected	ICP-OES
5	Hg	mg/L	More than 0.005	Not detected	Not detected	Not detected	CVAAS
6	6Gachrome	mg/L	More than 1.5	Not detected	Not detected	Not detected	UV-Visible Spectrophotometer
7	CN	mg/L	More than 1	Not detected	Not detected	Not detected	UV-Visible Spectrophotometer
8	Organic Phosphorus	mg/L	More than 1	Not detected	Not detected	Not detected	Gas Chromatography
9	Trichloroethylene	mg/L	More than 0.3	Not detected	Not detected	Not detected	Gas Chromatography
10	Tetrachloroethylene	mg/L	More than 0.3	Not detected	Not detected	Not detected	Gas Chromatography
11	Oil Ingredients	%	More than 5	Not detected	Not detected	Not detected	Gravimetric Method

#### ② 황토 고강도 무기질계 차수그라우팅 K.G.O-IH공법

Table 12. Analysis results

No.	Measurement items	Unit	Criteria	Analysis Results			Analysis Method
				Fast	Medium	slow	
1	As	mg/L	More than 1.5	Not detected	Not detected	Not detected	ICP-OES
2	Cd	mg/L	More than 0.3	Not detected	Not detected	Not detected	ICP-OES
3	Cu	mg/L	More than 3	0.006	Not detected	Not detected	ICP-OES
4	Pb	mg/L	More than 3	Not detected	Not detected	Not detected	ICP-OES
5	Hg	mg/L	More than 0.005	Not detected	Not detected	Not detected	CVAAS
6	6Gachrome	mg/L	More than 1.5	Not detected	Not detected	Not detected	UV-Visible Spectrophotometer
7	CN	mg/L	More than 1	Not detected	Not detected	Not detected	UV-Visible Spectrophotometer
8	Organic Phosphorus	mg/L	More than 1	Not detected	Not detected	Not detected	Gas Chromatography
9	Trichloroethylene	mg/L	More than 0.3	Not detected	Not detected	Not detected	Gas Chromatography
10	Tetrachloroethylene	mg/L	More than 0.3	Not detected	Not detected	Not detected	Gas Chromatography
11	Oil Ingredients	%	More than 5	Not detected	Not detected	Not detected	Gravimetric Method

### 3.6.2 평가

황토 차수그라우팅 K.G.O-CG공법과 황토 고강도 무기질계 차수그라우팅 K.G.O-IH공법의 공시체를 급결 중결 완결로 제작하여 폐기물공정 시험결과 폐기물 검출이 되지 않아 폐기물처리를 할 필요가 없는 친환경 재료라는 것이 Table 11, 12와 같이 증명이 되었다. 구리만 고로시멘트 원료를 만드는 과정에서 생산하는 회사별로 조금씩 혼합되어 있는 성분으로 3mg/L 이상 측정기준에 못미치는 0.003~0.0073mg/L으로 확인이 되었다.



## 4. 지반그라우팅의 적용범위

실내시험 결과 ① 지하댐, 저류조, 하천제방의 하부 지반을 통한 누수를 방지하기 위한 차수 그라우팅 또는 구조물이나 수압발생에 따른 주변지반 변위방지를 위한 그라우팅, ② 터널 시공 시 선진 굴착 안정성 및 차수목적 또는 시공 후 배면 공극 채움이나 유출 차단을 위한 그라우팅, ③ 구조물이나 도로 건설 등을 위해 지반의 지지력이나 전단 저항력 증대가 요구될 때 대상 지반에 그라우팅, ④ 지하 구조물의 가시설계획에 따른 차수그라우팅, ⑤ 연약지반 지반개량 및 지반보강 그라우팅에 주로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

한국의 표토인 화강잔류토는 표층의 10% 가량을 형성하고 있는 혼한 황토 재료로 시멘트 원료인 석회암 일부를 대체할 수 있는 건설 재료로 활용하기 위해 황토를 이용한 지반그라우팅으로 활용이 가능한지 실내시험을 통해서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 황토의 재료를 이용하여 실내시험 결과 지반개량, 지반보강, 차수그라우팅 등으로 사용이 가능하다는 것을 알 수 있었으며, 친환경적임을 확인하였다. 또한, 향후 추가 연구를 통해 황토가 건설 현장에 다양하게 사용할 수 있다는 것을 예상한다.
- (2) 황토를 활용한 연구는 자원이 고갈되는 미래세대에 대한 새로운 대체 재료로 활용이 가능하다. 지반개량, 지반보강, 차수그라우팅으로 실내시험을 통하여 축적된 연구 자료를 현장에 적용하면 지반의 안정성 확보에 큰 역할을 할 것으로 기대된다.
- (3) 시멘트 원료인 석회암 소모를 대체하여 황토를 일부 건설 재료로 사용하는 연구가 증가하고 있는 상황, 국가 자원의 안전한 조달과 경제적인 효과가 매우 증가될 것으로 기대한다.
- (4) 현재 전 세계적으로 탄소 배출이 증가해 기온이 상승하여 빙하가 녹아서 해수면이 상승한다. 환경변화로 식생

형태가 변화하여 건조해진 지역에서 잦은 산불이 일어난다. 동식물이 살기 어려워지고, 사막화 되는 지역이 증가함에 있어서 인류의 매우 심각한 환경적 문제로 탄소 배출을 줄이는데 전 세계 국가가 노력을 하고 있다. 본 연구개발을 통하여 황토를 활용한 지반그라우팅공법 적용가능성을 실험하여 시멘트 대체제로 활용 가능함을 확인하였다. 건설 현장에 활용될 경우 시멘트 생산량을 낮춰 시멘트를 생산하는 과정에서 배출되는 탄소배출량이 감소될 것으로 판단한다.

## 감사의 글

이 연구는 “스마트건설기술개발국가R&D사업(과제번호 RS-2020-KA157089)”의 지원으로 수행하였습니다.

## References

1. An, J. Y., Kim, K. W., Kim, S. M., Oh, J. K., Kim, J. H. and Park, M. J. (2007), Loess(Yellow Soil) finishing materials using water-based adhesive for wooden construction indoor wall, Journal of the Korean Wood Science and Technology, Vol. 35, No. 6, pp. 100~107 (In Korean).
2. Baek, Y. H. (2020), Urban Railroad Technical Data Book (2), ENG Book, pp. 396.
3. Cheon, B. S. (2011), Principles and Practice of Chemical Injection, Gumi Seo-gwan, pp. 91~102.
4. Jung, E. K. and Park, C. D. (2015), An experimental research of waterproofing performance about natural waterproof agents for soil, RESIDENTIAL ENVIRONMENT : JOURNAL OF THE RESIDENTIAL ENVIRONMENT INSTITUTE OF KOREA, Vol. 13, No. 4, pp. 319~323 (In Korean).
5. Kim, J. S., Lee, B. K., Lee, D. E. and Choi, H. G. (2019), Evaluation of early strength of red clay soil with polymer aqueous solution, Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference, Chungju, Vol. 9, No. 2, pp. 145~146 (In Korean).
6. Kim, S. C., Yang, I. S. and Yang, H. D. (2007), An Experimental study on the mechanical properties according to the mixture of Hwang-toh, KIEAE Journal, Vol. 7, No. 3, pp. 89~96 (In Korean).
7. Rural Development Administration National Academy of Agricultural Sciences (2015), soil soil environment map, soil characteristics, <http://soil.rda.go.kr/geoweb/soilmain.do> #