

2025년-한국지반공학회-글착위원회(25.4.17)



非시멘트系 친환경 약액주입공법

(중성 실리카졸)

흡수재

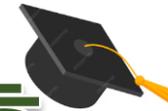
+

지반보강재
모두 만들

무독성



박영호



대표이사 박봉근 박사, 박민철 박사

발표순서

1. 약액의 중요성
2. 각 공법의 약액 종류, 용탈(실리카졸), 반응 메커니즘, 친환경성
 - 비실리카졸 시멘트 공법
 - 산성 실리카졸 시멘트 공법
 - 중성 실리카졸 비시멘트 공법
3. 현장 내구성 시험
4. 결론 및 향후계획

EGM

1. 약액의 중요성

1. 약액의 중요성

a. 복어



아기 복어
(독 없음)



[자연산 복어]
(바다, 독성 박테리아가 있는 먹이감 섭취)



테트로톡신
신경 독 생성



사람에게 치명적임



[양식 복어]
(양식장, 독성 박테리아가 없는 먹이감 섭취)



테트로톡신
신경독 생성 X



고급 요리

성장기 복어

조건부 독성을 가진 복어처럼
→ 약액주입공법도 어떤 주입재를 사용하느냐에 따라 사람에게 위험성이 달려 있음

b. 맛집

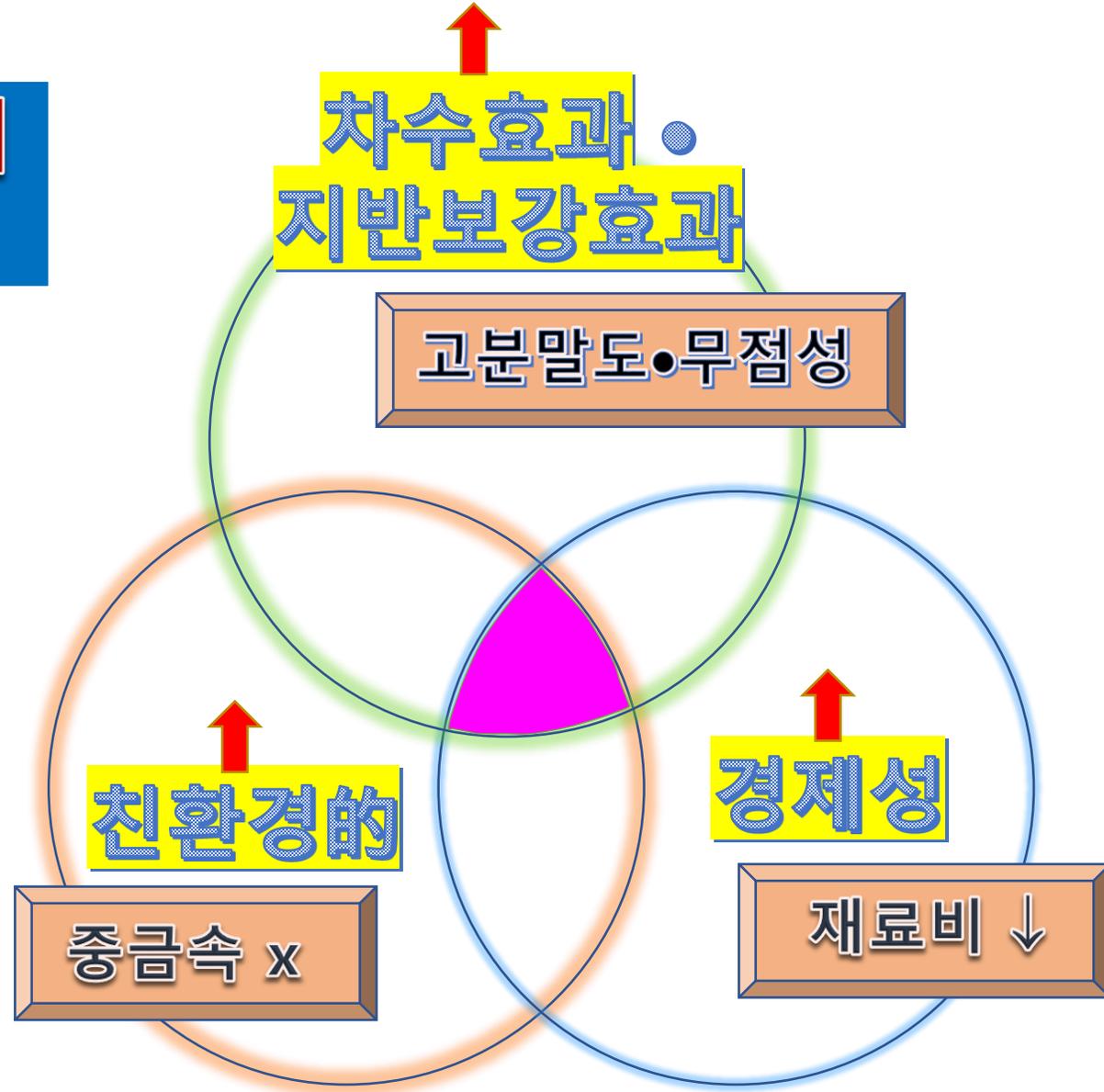
음식 맛이 좋기로 소문난 음식 집(국어사전)

→ 요리사의 손맛 / 원 재료의 신선함 ↑



DESIGN

2. 약액주입공법의 선정기준

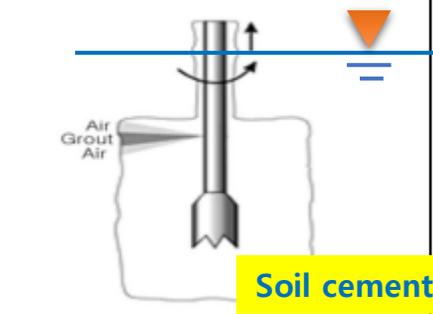
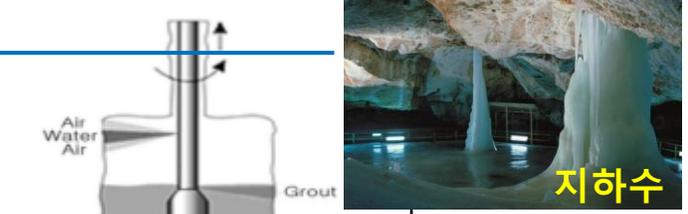


3. 그라우팅 공법의 종류

고속도로공사 전문시방서

EXCS 11 50 05 : 2018, 3.1.4 얕은기초 아래에 있는 석회암 공동지반 보강

EXCS 11 50 15 : 2018, 3.6.2 말뚝기초 아래에 있는 석회암 공동지반 보강

구분	1중관(단관)	2중관		3중관 주입공법
단면	 <p>a) 단관 주입공법</p>	 <p>차수 공법</p>	 <p>Soil cement</p>	 <p>Cement+암편</p> <p>지하수</p>
약재 (그라우트)	시멘트밀크	(흡수재+ 지반 주입재)	Air+ 시멘트밀크	Air+물+ 시멘트밀크
주입압력, p (kgf/cm^2)	중력식	≤ 10 (저압)	200 (고압)	400~600 (초고압)
공법명	-	약액주입공법	JSP 공법 등	SIG, RJP 공법
비고	-	오늘 발표	-	1997~2023 (26년간)

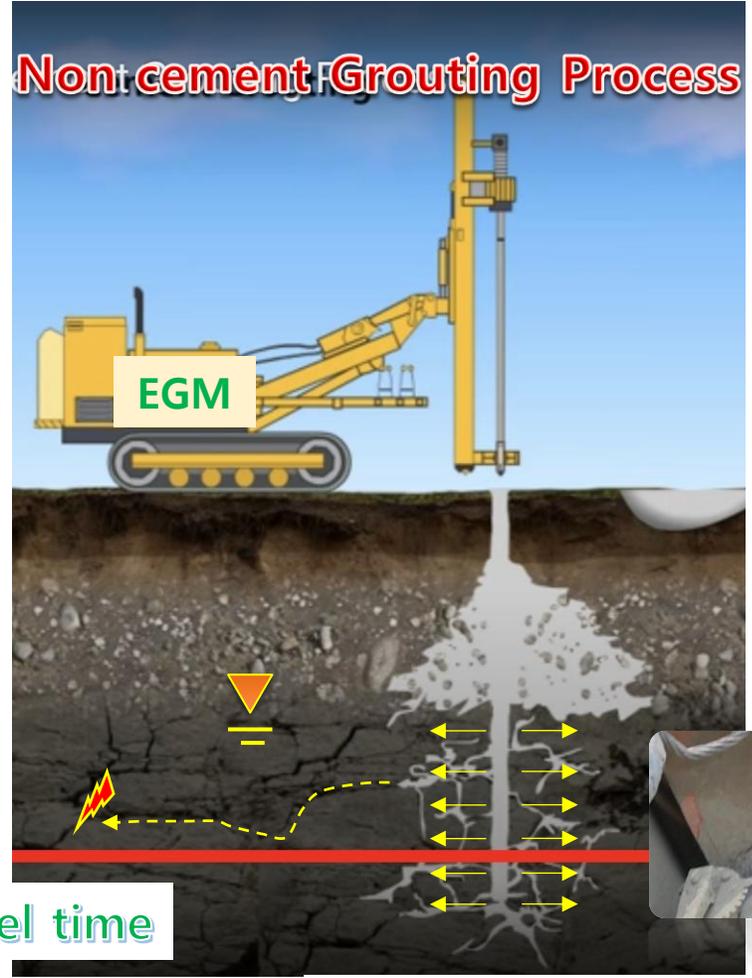
Gel time : 반응 O

Gel time : 반응 X

초고압의 공기압
(지하수 저항력 ↓)

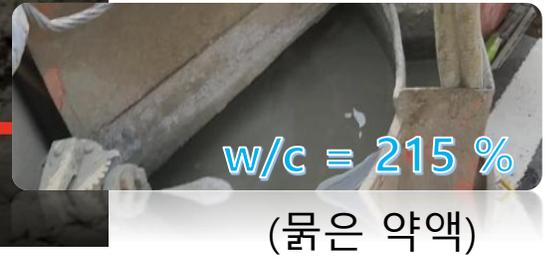
초고압 水
(침전물 배출)

4. 약액주입공법 ?



목적

지반의 투수성 감소와
강도 증가시키는
→ 저압 침투 공법



$P \leq 10 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$

5. 공해 발생

시공중



시공후



약액 독성 → 공해 발생

6. 약액주입공법의 환경법

a. 韓國 환경부 : 「환경분야 시험검사 등에 관한 법률」 제6조 제1항 제7호

- 「유해물질 관리법(2006)」 → 「화학물질 관리법(2015)」

b. 日本 건설성(1974) : 「약액주입공법에 의한 건설공사 시공」에 관한 잠정지침



- 물유리계 약액에서 독극물 또는 불소화합물 이 포함되지 않는 약액 사용



- 규산소다계 물유리
- 슬래그계 물유리

1. 독극물(毒劇物) : 독성이 매우 강하여 생물에게 해(죽음)을 입히는 물질

2. 기존 약액의 유해물질 종류

- ① 양젯물(NaOH) → 규산나트륨
- ② 현장 사용시, 잠정지침과 환경법 제약 → 황산
- ③ 중금속이 다량 포함(2002) → 포틀랜드 시멘트



7. 약액 발전사



① 용액형

고분자 - 요소계 (1973, 히로시마현) / 아크릴아마이드계 (1974, 후쿠오카현)

After 1974.7

저분자 - 물유리계 (용탈↑)

실리카졸 활성화제

고분자계-물유리 (용탈 x 실리카졸계 : 재료개선)

유해물질

[환경적 문제] 환경부(2006), 유해물질 관리법 시행 → 현장 황산 사용 : 엄격히 제한

② 半현탁형

고분자계 물유리 (pH ≤ 1.0)

산성 실리카졸 시멘트 공법

시멘트의 환경문제 63종 산업폐기물(2002)

유해물질

포틀랜드 시멘트(OPC)

3무

③ 현탁형

시멘트

(친환경) 非시멘트 (물유리계+지반보강재 성분)

pH = 7.3

Slag, 탈황석고, F/A + α

친환경 중성 실리카졸 非시멘트 공법

EGM

8. 약액주입공법의 수



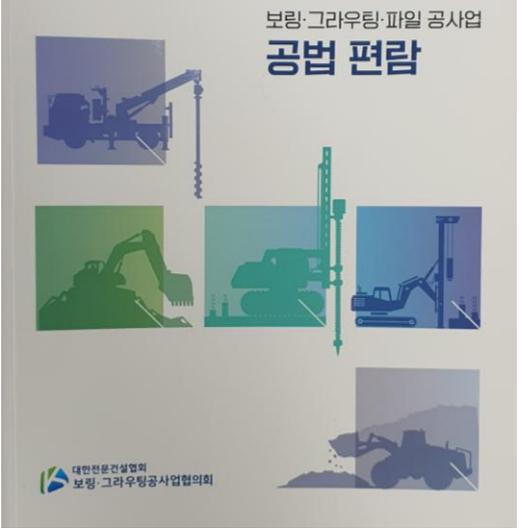
1. 일반 공법

2. 특정 공법

LW(1961), SGR

53개

그라우팅 협의회
공법 편람(2024)



추정 200 개



9. 약액주입공법의 진화 과정

EGM-B

4세대



Slag 탈황석고 F/A

완전 해결
(친환경 비시멘트)

(규산나트륨 공해 해결)

현재
사용중

EGM-A

3세대



규산나트륨 탈황석고 F/A

여전히 공해 문제

(황산·시멘트 공해 해결)

현재
미사용

기존 공법

2세대



규산나트륨 황산 시멘트

공해 문제

(용탈 해결)

LW, SGR

1세대



규산나트륨 활성화제 시멘트

공해 • 용탈 문제



10. 심사평

(실리카졸 X)

(주입재료의 친환경성 X)

SO₄²⁻ 미사용

일수·용탈 현상

차수공법으로 적용된 **SGR공법**은 ① **용탈**이 심하고, ② **지하수 오염**에 의한 지하구조물에 대한 열화를 촉진시키고, ③ **비시멘트계열의 친환경 재료**를 활용한 **주입재를 사용**하고, ④ **점성토층에서 시공성이 좋은 차수공법**을 적용 바람.

고분말도·무점성 재료

시멘트 X

유해물질 X

물유리계+지반보강재 포함

종류 슬래그, 석고계, F/A

(규산나트륨, 황산, 시멘트 X)

3無

심사평 만족
 →
차수공법 ?



- ① 용탈(실리카졸)
- ② 환경문제(지하수 오염)
- ③ 非시멘트계열의 친환경 재료
- ④ 점성토층에서 시공성 우수

무해한 실리카졸 활성화제

무독성 재료

차수재와 지반보강재 모두 포함한 재료
(실리카졸+지반보강재 만드는 재료
→ 독성X 친환경 재료)

무점성 · 고분밀도

답

점성 · 독성 · 저분밀도



규산나트륨 황산 시멘트

3무



무독성 · 무점성 · 고분밀도



Slag 탈황석고 F/A

친환경 비시멘트 공법

LW, SGR →



+



2. 非실리카졸 시멘트 공법

시멘트 재료에 용탈 발생하는 물유리를 사용한 공법

고분자 x

(저분자)

용탈 발생



약재

1. 규산나트륨계 물유리

→ 吸收力 ↑

→ 차수, 솟크리트, 터널 백필 재료

→ 단가 ↑



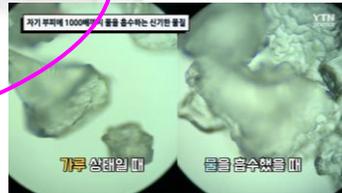
규산나트륨 분말



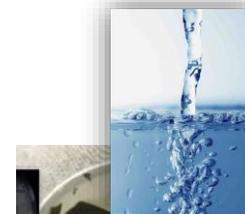
규산나트륨 수용액



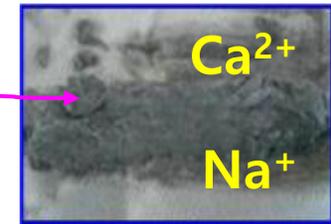
高함수비 (W/C=215%) 시멘트밀크



(실리카) 자신의 체적보다 1000배까지 물을 흡수



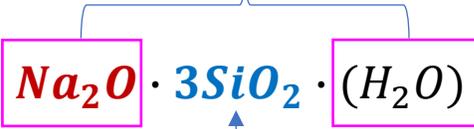
용탈 발생



비실리카졸 → 실리카겔화 (정원만들기, 시약)

저분자 실리카

→ 수백개 분자수



실리카 → 힘 부재 / 연결되지 않은 잔 뼈대 모양

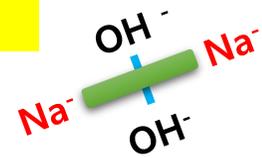
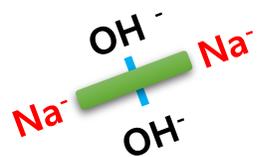
산화나트륨 → 강알카리 / 흡수력 강함

저분자 실리카 Gel

→ 그대로, 수백개 분자수

NaOH (양젯물) → 용탈

비실리카졸



2. 규산나트륨의 유해성

= f(농도)

구분	A역(200L)	
구성재료	규산소다(ℓ)	물(ℓ)
급결	60~80	140~120
완결	60~80	140~120

사용 규산나트륨 양 > 고농도 기준

5,000배

100 mg/L

450배

1108 mg/L

물질 안전 보건 자료(20.6.5)
(산업안전보건법 및 시행규칙)

라) 규산나트륨

- 어류 : LC50 1108 mg/ℓ 96 hr Brachydan
- 갑각류 : EC50 1700 mg/ℓ 48 hr Daphnia
- 조류 : EC50 345 mg/ℓ 72 hr Scenedesmi

총부피 200L

규산나트륨

80L

1L

500,000 mg

$\rho = 1.2 = m/V = m/80L$
 $m = 100 \text{ kg}$

초 고농도 해당

Chat GPT 답변

AI 과제와 업무

환경에 영향을 주는 규산나트륨 농도는 얼마입니까?

답변

규산나트륨이 환경에 미치는 영향은 농도에 따라 달라질 수 있습니다. 일반적으로, 수생 생물에 대한 유해성은 다음과 같은 농도 범위에서 나타날 수 있습니다:

- 저농도 (1-10 mg/L):** 대부분의 수생 생물에게는 안전하다고 여겨지지만, 특정 조건에서는 영향을 미칠 수 있습니다.
- 중간 농도 (10-100 mg/L):** 일부 생물에게 스트레스를 유발하거나 생장에 영향을 줄 수 있습니다.
- 고농도 (100 mg/L 이상):** 이 농도에서는 수생 생물에게 심각한 유해 효과를 나타낼 수 있으며, 특히 물고기와 미세 해양 생물에 영향을 줄 수 있습니다.

정확한 농도는 특정 지역의 환경 조건 및 생물 종에 따라 달라질 수 있으므로, ↓ 적인 연구 결과나 관련

해결할 과제를 설명해 주세요

홈

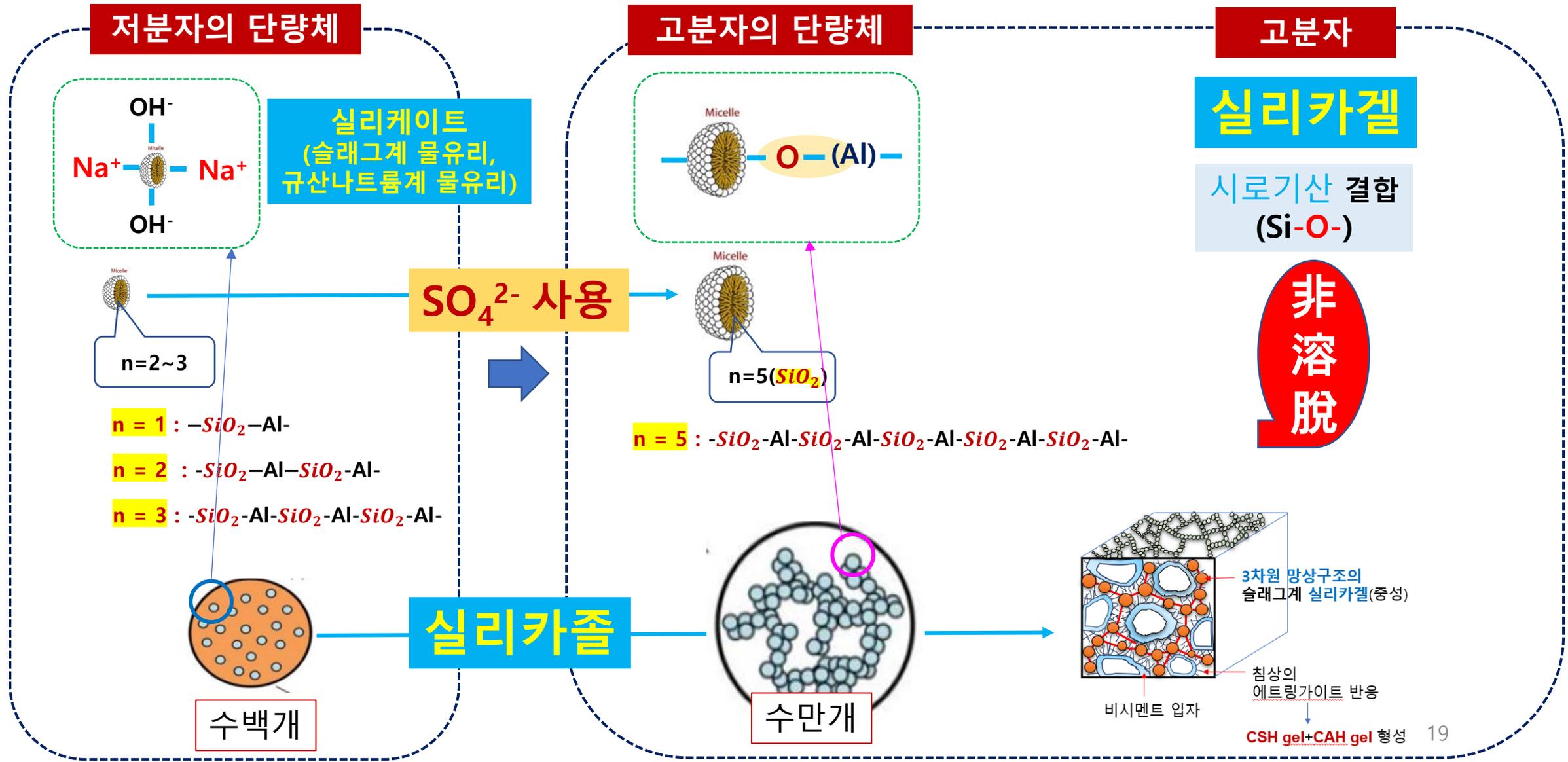
7초

캐릭터 챗

나만의 AI

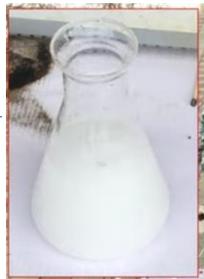
혜택

실리카졸 (SiO₂의 분자수가 증가하는 과정)



NaOH

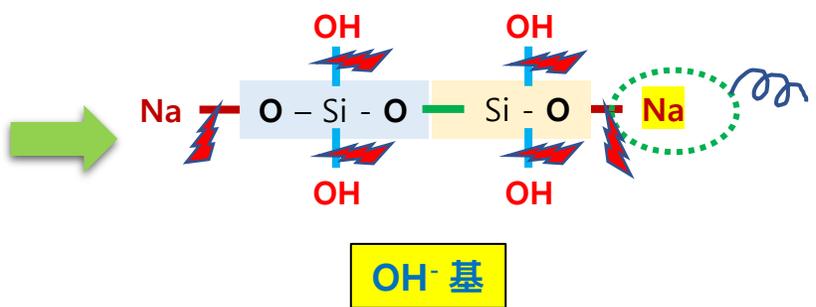
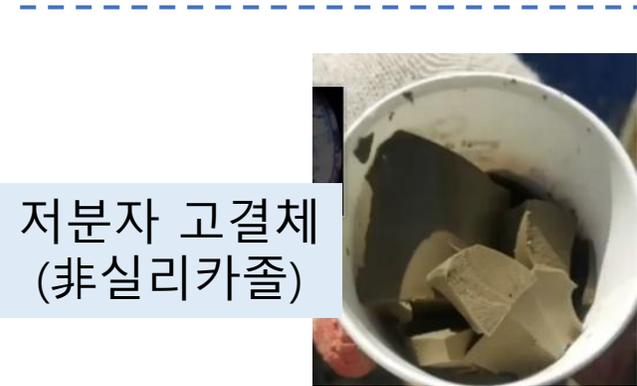
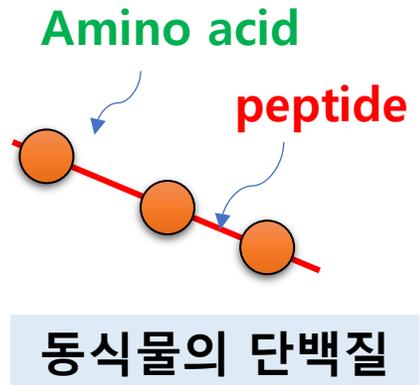
- 독극물인 洋젓물
(강염기, OH⁻, pH≈11)
- 다 녹이고, 부식



(알루미늄) 금속



유리



3. 포틀랜드 시멘트 (OPC)

a. 위해성

포틀랜드 시멘트의 주원료(천연 4종)



석회석(CaCO₃)



규석(SiO₂)



점토 (Al₂O₃·2SiO₃·2H₂O)



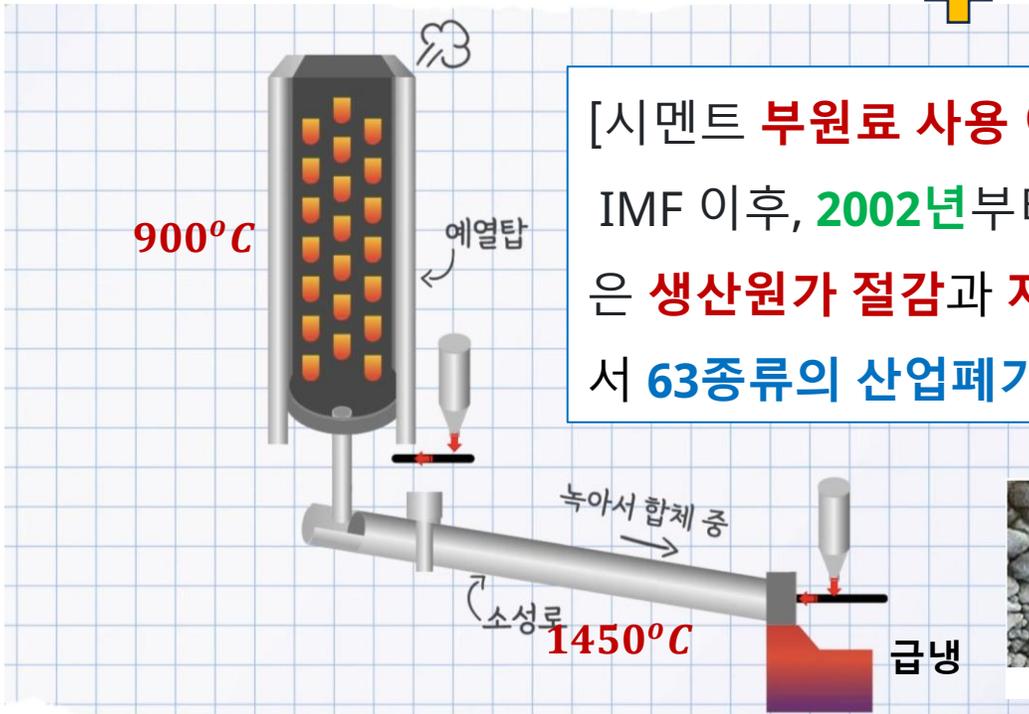
산화철(FeO)



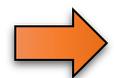
석고(CaSO₄·2H₂O)



슬래그



[시멘트 부원료 사용 이유]
 IMF 이후, 2002년부터 시멘트 제조사들은 생산원가 절감과 자원 재활용 차원에서 63종류의 산업폐기물을 첨가 제조



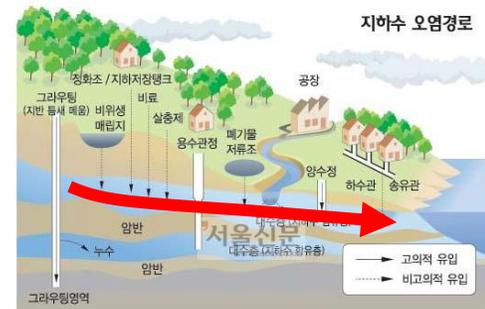
- 각종 발암 물질 다량 포함
- 양생되지 않은 시멘트밀크를 지반 속에 주입하니
- 위해성은 매우 심각



클랭크 (강자갈 크기)



시멘트 (분쇄)



b. 환경기준

日本(1995)

표 2 유해물질 함량기준

항목	기준 (mg/L)	항목	기준 (mg/L)
카드뮴(Cd)	0.3 미만	6가 크롬(Cr ⁶⁺)	1.5 미만
납(Pb)	3 미만	시안(CN ⁻)	1 미만
구리(Cu)	3 미만	유기인	1 미만
비소(As)	1.5 미만	트리클로로에틸렌	0.3 미만
수은(Hg)	0.005 미만	테트라클로로에틸렌	0.1 미만

〈토양과 시멘트 중금속 함량 비교〉

(단위 : mg/kg)

항 목		보통 포틀랜드시멘트 ¹⁾		한국 기준 (환경부, 20.4.13)
		평균치	범위	
크롬 (Cr)	총크롬(T-C)	98	52~204	
	6가크롬(Cr ⁶⁺)	10.8 7배	0.4~32.4	최대 1.5
	구리(Cu)	140 47배	18~243	최대 3.0
	아연(Zn)	511	205~1435	
	비소(As)	18.9 13배	3.3~106.3	최대 1.5
	셀레늄(Se)	<1	-	
	카드뮴(Cd)	2.0 7배	0.6~7.8	최대 0.3
	수은(Hg)	0.023 5배	0.002~0.127	최대 0.005
	납(Pb)	111 37배	7~421	최대 3.0

→ 주 : 1. 1995년 채취한 시멘트(일본)
2. H.J.Brown : 환경무기화학, 1983



→ 중금속 덩어리

(단위 : mg/l)

	구리	카드뮴	납	수은	6가크롬	시안	비소	유기인
한국기준	3.0>	0.3>	3.0>	0.005>	1.5>	1.0>	1.5>	1.0>
미국기준	-	1.0>	5.0>	0.2>	5.0>	-	-	-

From 한국양회공업협회,
시멘트에 대한 오해와 진실

[1급 발암물질인 6가크롬의 검출량]

순위	제조사	검출함량 (mg/kg)	분석결과 발표일
1	한라시멘트(옥계)	16.91 8.5배 ↑	2023년 4월
2	성신양회(단양)	16.29 8.2배 ↑	2023년 1월
3	한일 현대시멘트(영월)	15.88 8.0배 ↑	2023년 6월
4	한일현대시멘트(단양)	15.68 7.8배 ↑	2023년 4월
5	쌍용씨앤이(동해)	14.99 7.5배 ↑	2023년 4월
6	삼표시멘트(삼척)	13.70 6.9배 ↑	2023년 9월
7	한일시멘트(단양)	12.92 6.5배 ↑	2023년 3월
8	쌍용씨앤이(영월)	12.01 6.0배 ↑	2023년 1월
9	아세아시멘트(제천)	10.91 5.5배 ↑	2023년 7월

[시멘트 제조시 6가크롬[Cr(VI)] 함량에 대한 기준]

- 환경부(20.4.13) : **1.5mg/kg**
- EU의 기준 : **2mg/kg**
- 시멘트 업계 자율기준 : **20mg/kg**
(2006년 9월)

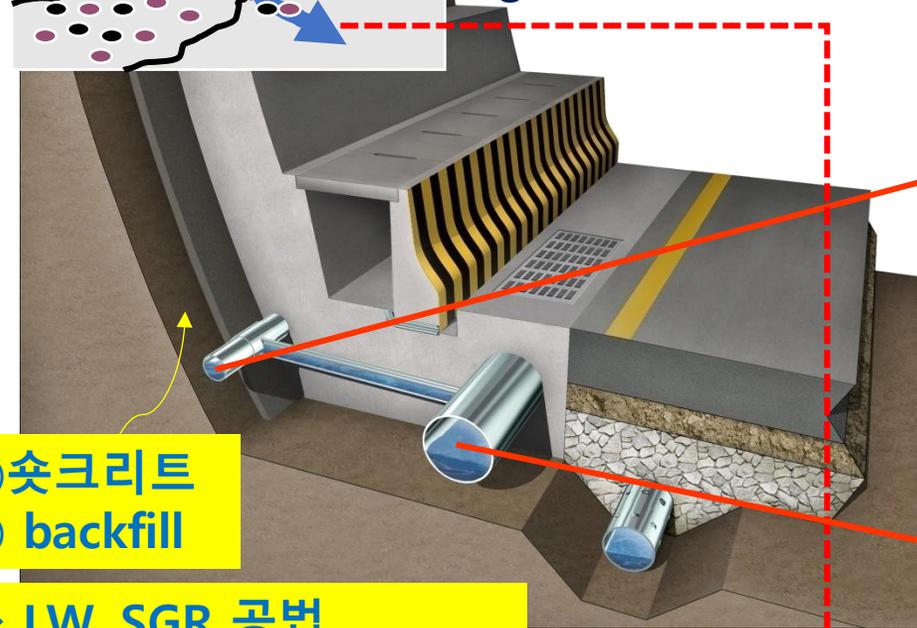
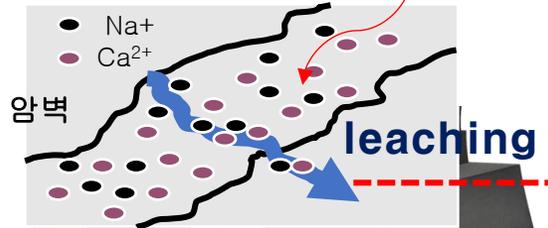
* 이마저도, **강제규정이 아닌 자율협약 기준**이라서 **시멘트 제조사들이 지키지 않아도 된다.**

→ 2023년, 한국 전체 시멘트 제조사(9개사)의 6가 크롬 평균 검출량 = **7.2배***(EU 기준치)

4. 고속도로 터널 용탈 사례

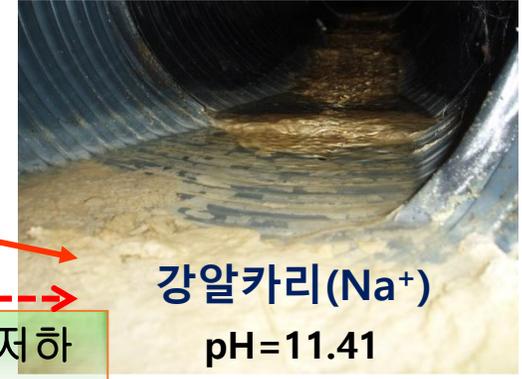


용탈 → 강알카리성 석회질(침전물)이 배수관 막음 ;
①유지관리 비용↑, ②시멘트 내구성↓, ③공해 등 발생

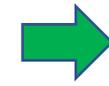


- ① 슛크리트
- ② backfill

→ LW, SGR 공법
(非실리카졸 시멘트 공법)



유공관 막힘에 따라 배수능력 저하



기존 공법

3. 산성 실리카졸 시멘트 공법

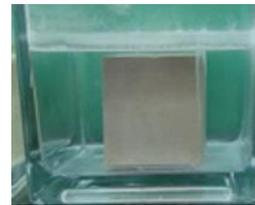
→ 시멘트 재료에 황산(초산)과 실리카졸을 사용한 공법



고분자



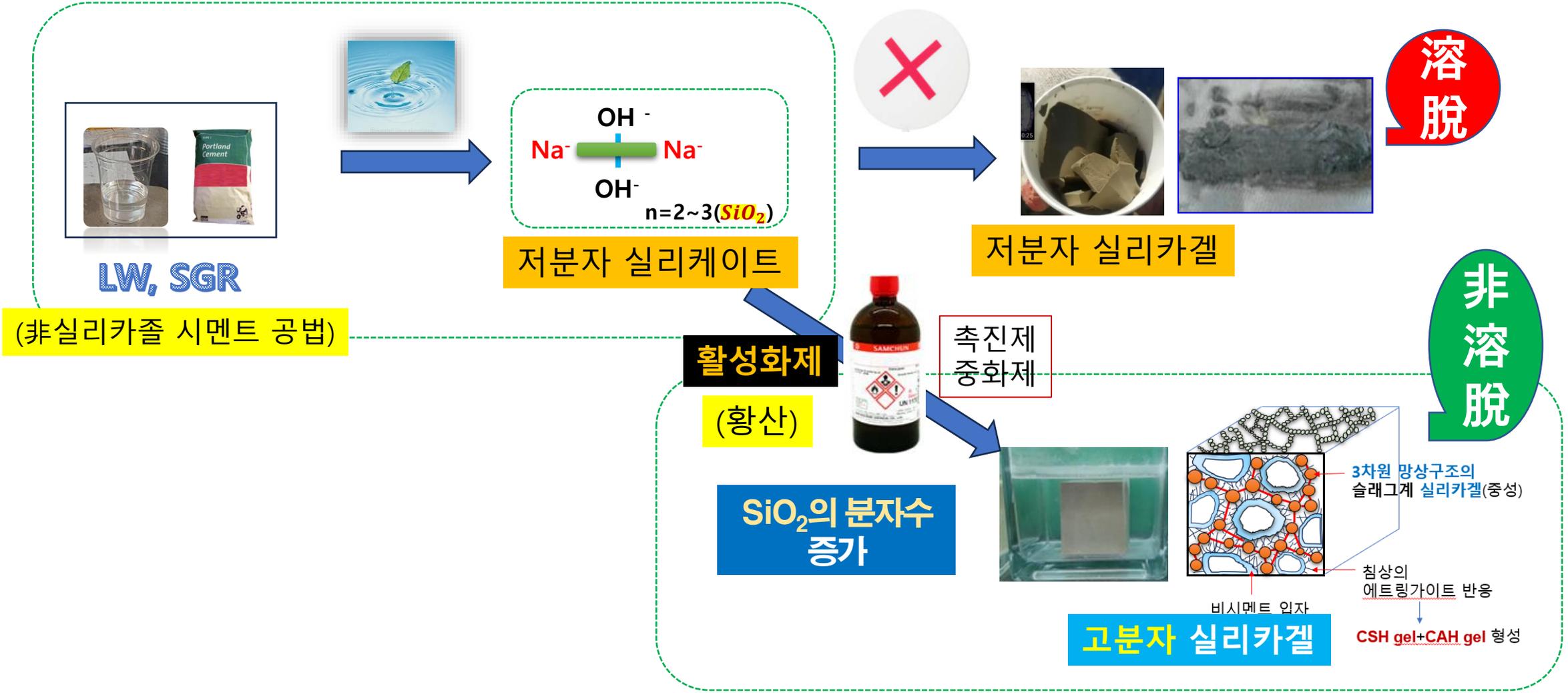
용탈 미발생



약재

1. 개선책

a. 개념



b. 환경 문제



또 다른
환경 문제점





물유리



4. 슬래그계 중성 실리카졸

非시멘트 공법

→ 비시멘트 재료로 중성 실리카졸(흡수재)과 지반보강재를 만들어 사용하는 공법

비시멘트

3無(毒)



고로슬래그

탈황석고

F/A

1. 기존 공법의 주입재 문제점

3有(毒)



규산나트륨 (무해물질)



황산



시멘트



수용액

1. 양젓물 (유해물질)

용탈 억제시키는 실리카졸 만들
2. 공해 및 부식 문제 야기

3. 중금속 다량 함유
(63종 산업폐기물 첨가)

3가지 재료 모두
→ 공해 문제 야기
→ 유해물질

2. 기존 약액의 개선책

→ 양생되지 않은 유해물질의 약재

구분	지형조건	주요인
시공중		<p>○ 동수경사, 유속 → 확산</p> <p>일수(逸水)현상</p>



公害문제 발생

From 잠정지침(1974) 사용x

대책
<p>일수현상이 발생하더라도 무해</p> <p>→ 친환경 재료</p>

구분	고결체	주요인
시공후		<p>용탈(溶脫)현상</p>

Silica sol



내구성, 공해 문제

녹지 않는 성분 (Na_2SO_4)

→ 용탈 발생 x
→ 친환경 재료

From 잠정지침(1974) 사용x

사력층에서 시공중,
일수현상 장면



→ 친환경 재료가 아니면 환경오염 유발



[사력층 설계 : 1열 그라우팅]

1. Slurry wall

2. 2열 주입

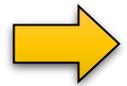
3. EGM 공법의 종류·주입재

EGM-A형



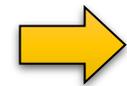
1유독

규산소다(수용액) 탈황석고 F/A



규산소다 수용액 양젯물

NaOH



친환경 재료가 아님



초창기 사용하다가
지금 사용 안함

EGM-B형

비시멘트

3無(毒)



고로슬래그 탈황석고 F/A



EG-S (결합용)



EF-3 (급결용)

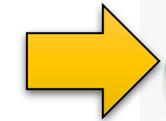


EF-4 (완결용)

비시멘트 재료의 친환경성 조사 결과

6가크롬	납	수은	카드뮴
------	---	----	-----

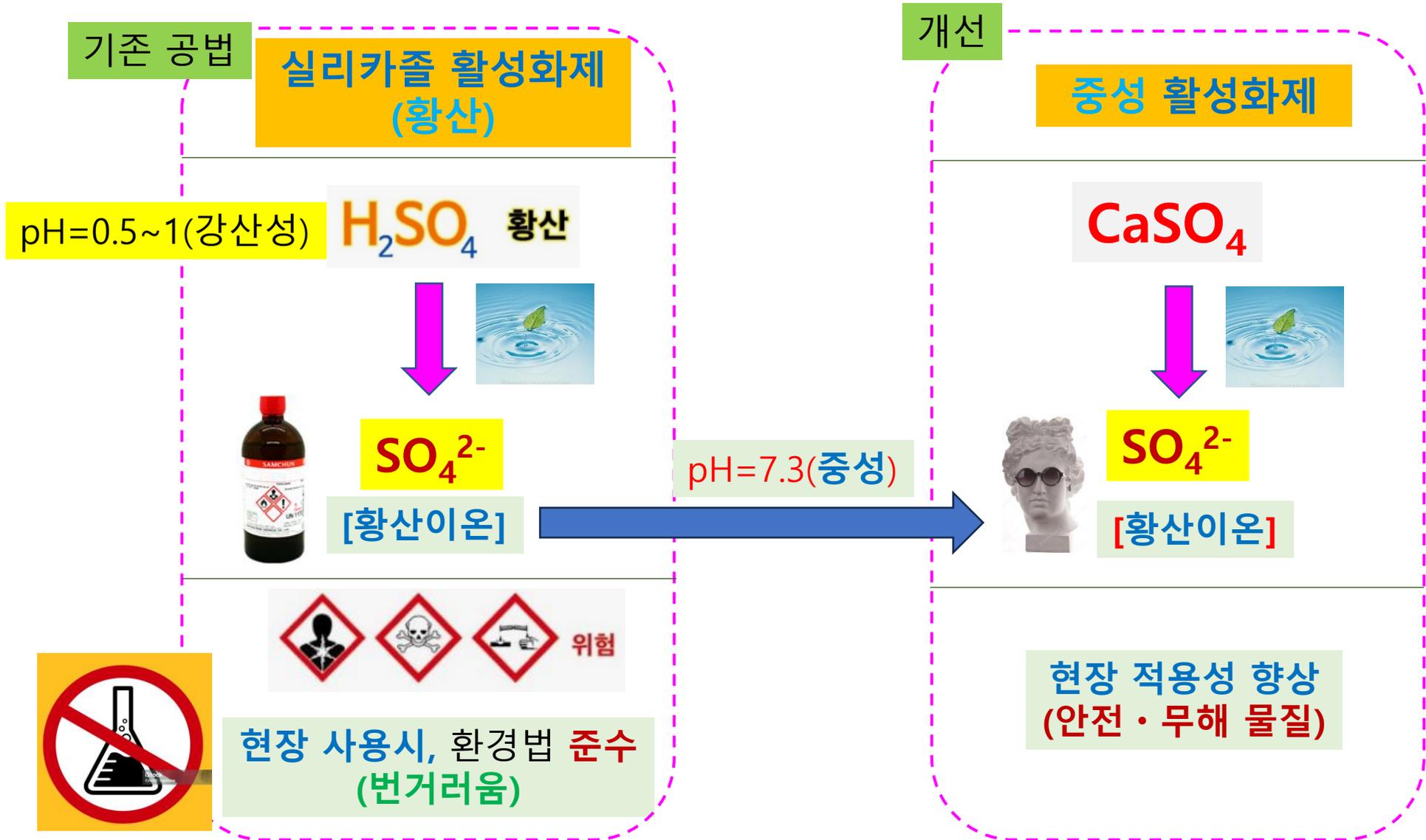
→ 중금속 불검출



현재 사용 중

from 한국화학융합시험연구원(KTR)

4. 활성화제 개선



5. 비시멘트의 분말도

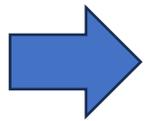
= f(반응효율, 침투성능 → k, q_u^1)

발전소 생산

3無(毒)

고로슬래그 탈황석고 F/A

비시멘트의 분말도
→ 3,000 cm²/g 이상



진천공장

정밀 분쇄기 사용(재분쇄)
→ 분말도 : 4,000 cm²/g 이상

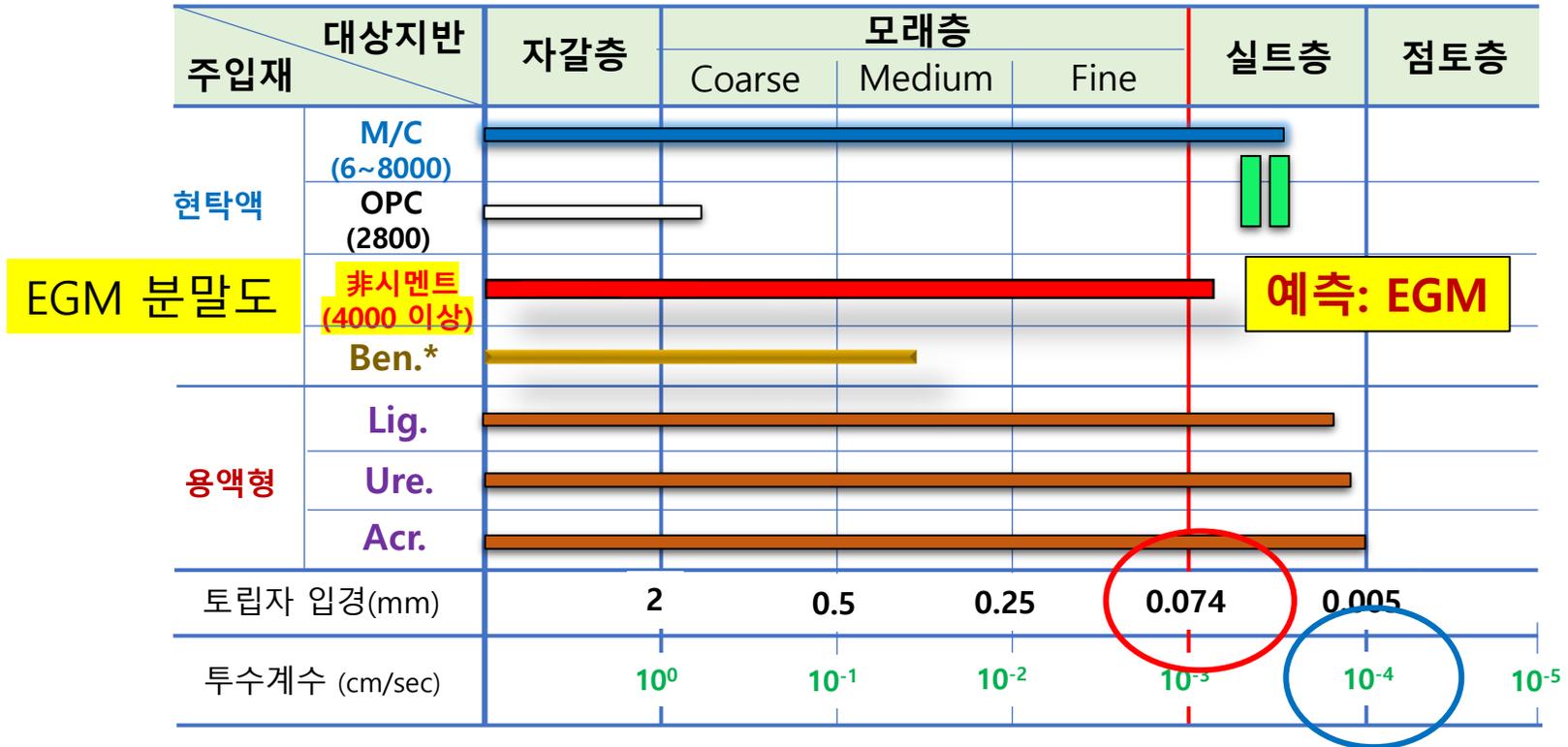
from 미분말 시험성적서,
CT24-012404K (25.3.21)

비시멘트 포장



현장 출하

6. 분말도에 따른 침투성능



from 김진춘, "쌍용마이셈 8000을 이용한 그라우팅 특성 및 현장적용 사례", 신기술 소개

EGM의 비시멘트 침투성능 : ≙ M.C.
 > OPC

7. 평균입경 · 점성에 따른 침투성능

- from AASHTO, KSF 2301 통일분류표 ;



규산소다 원액

半현탁형
(거의 모든 공법)

현탁액

시멘트
(0.02 mm)

비시멘트
(0.01 mm) 2배 ↓

규산소다
=(2~4)*물 점성



→ 비시멘트 현탁액의 지반 침투성능(EGM) ↑ > 半현탁액

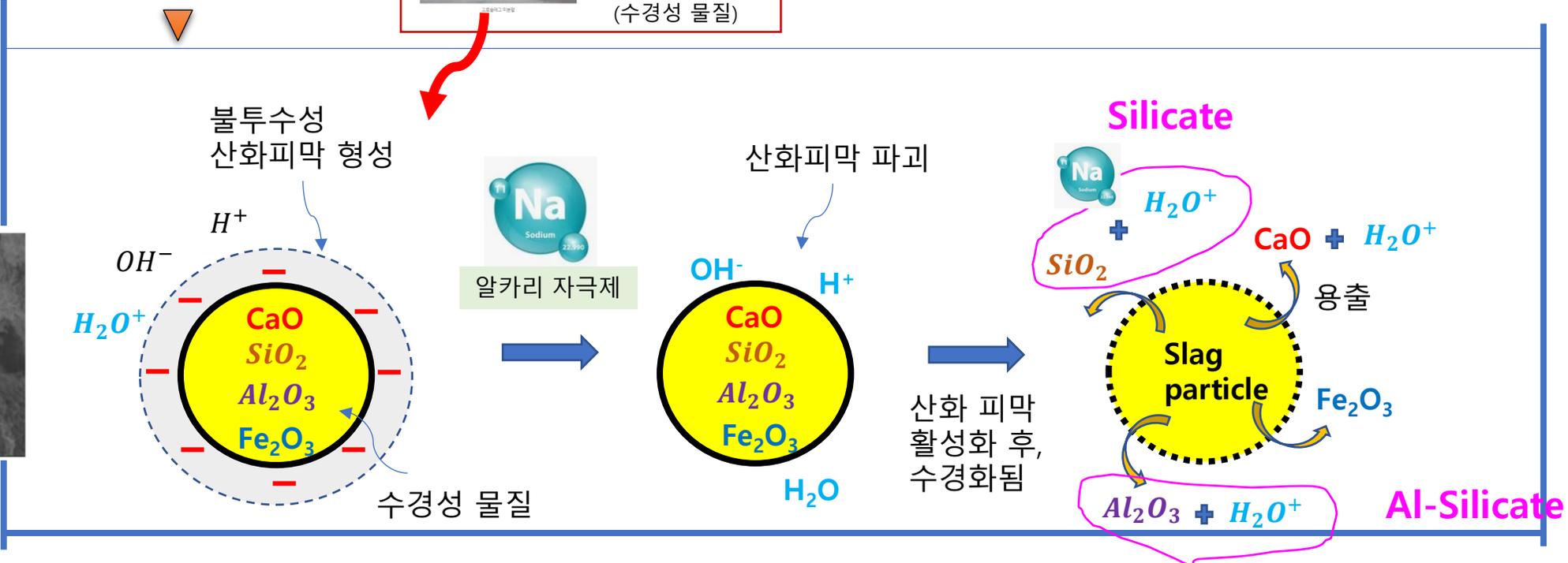
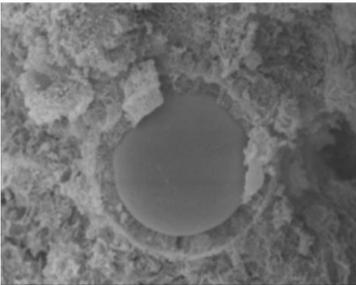
8. EGM 공법의 반응 메커니즘

a. 슬래그계 물유리 제조



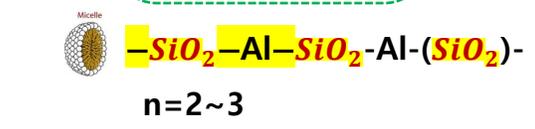
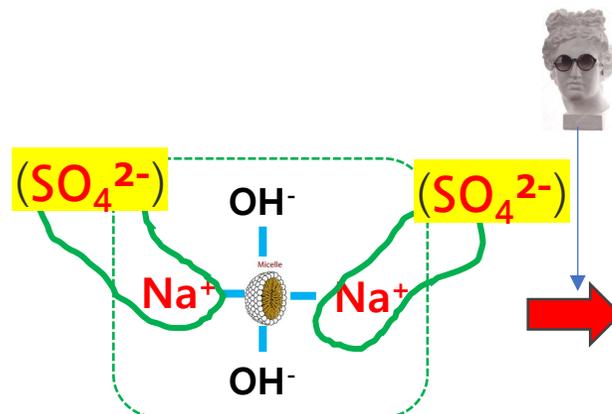
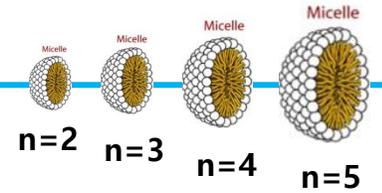
슬래그 입자 성분
(수경성 물질)

- CaO
- SiO₂
- Al₂O₃
- Fe₂O₃



중성 (실리카졸) 활성화제
(CaSO₄·2H₂O)

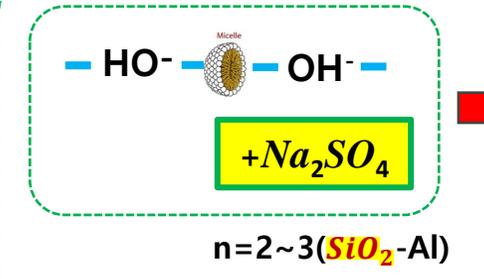
몸통 내의 SiO₂ 수



Na⁺: 용탈 성분(공해)

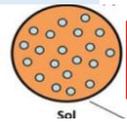
실리케이트 (슬래그계)

실리카 Sol



Na₂SO₄: 용탈 미발생/알카리 제거

시라노르基 결합 (Si-OH-)



수백개

(SO₄²⁻)

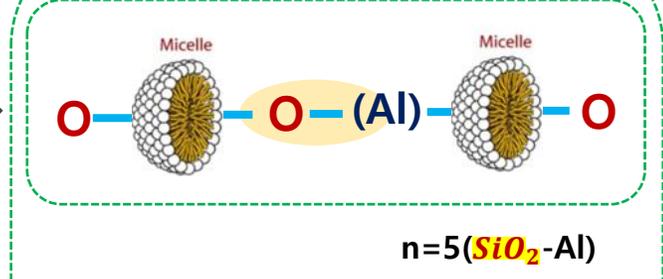
수소결합



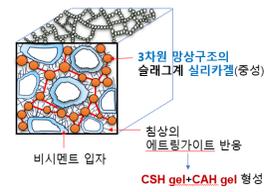
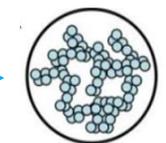
탈수중합 반응

분자 수

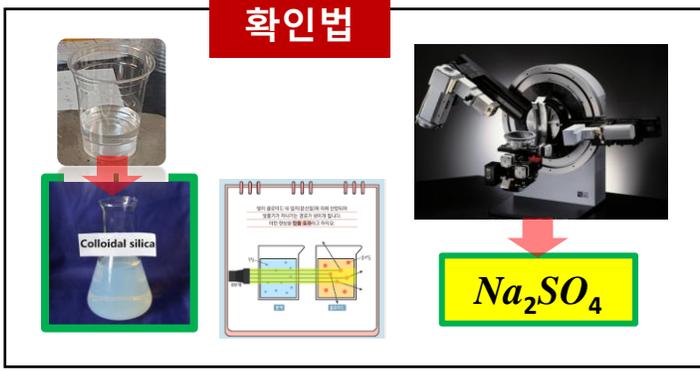
실리카 Gel



시로기산 결합 (Si-O-)

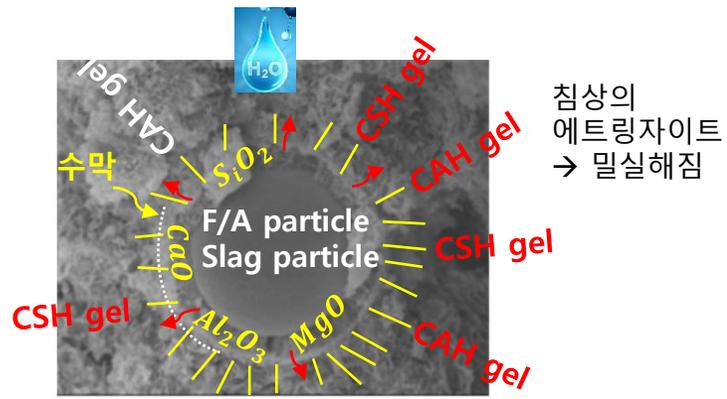


확인법



b. F/A의 수경화 반응

- ▶ 플라이애쉬+물 → 수경화 반응
- 칼슘 실리케이트 수화물(CSH gel)과 칼슘 알루미늄 수화물(CAH gel)이 생성되어 **지반 보강재**

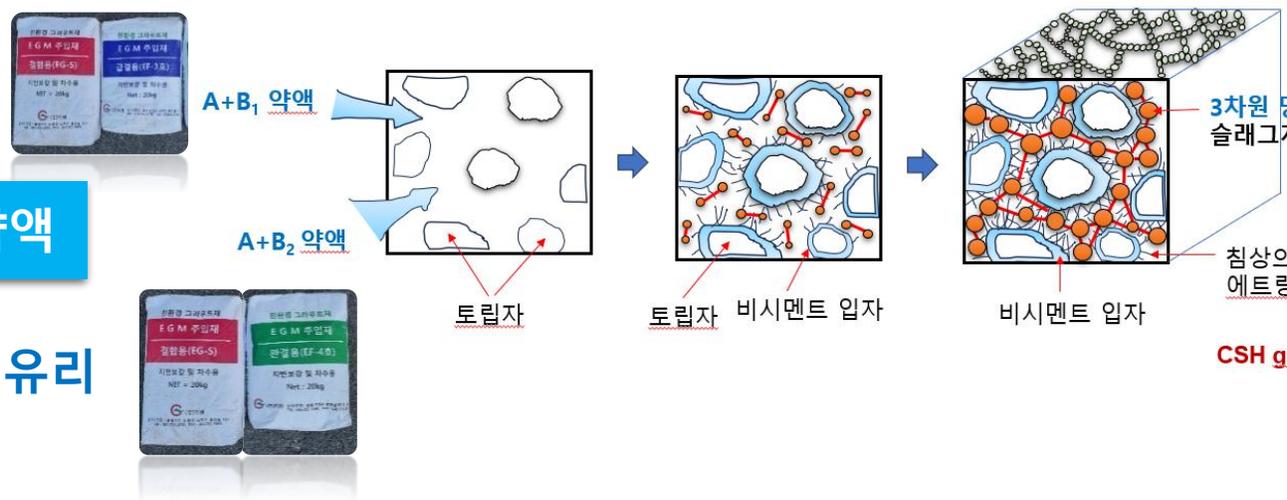


c. 전체 반응 메커니즘

지반보강재

비시멘트 약액

슬래그계 물유리



- 약액을 지반 속에 주입 :
- SLAG : 수분 흡수/ 실리카겔 구조
- F/A : 수화반응/ 지반보강재
- 용탈이 없는 3차원 망상구조체
- 투수성능 감소와 강도 증가 역할

d. 친환경 비시멘트 반응 메커니즘(3D)

← 토립자

← 간극

슬래그계 물유리 약액

→ 흡수작용과 용탈없는 3차원 실리카겔 망상 구조체

→ 투수성 저감효과

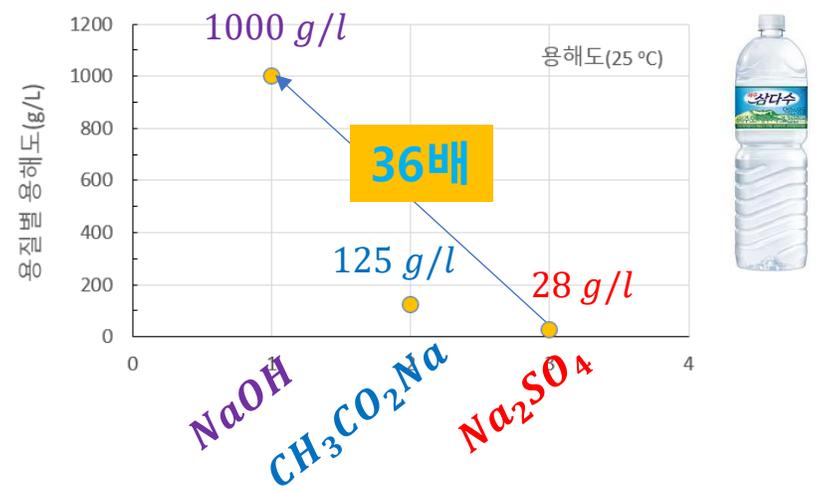
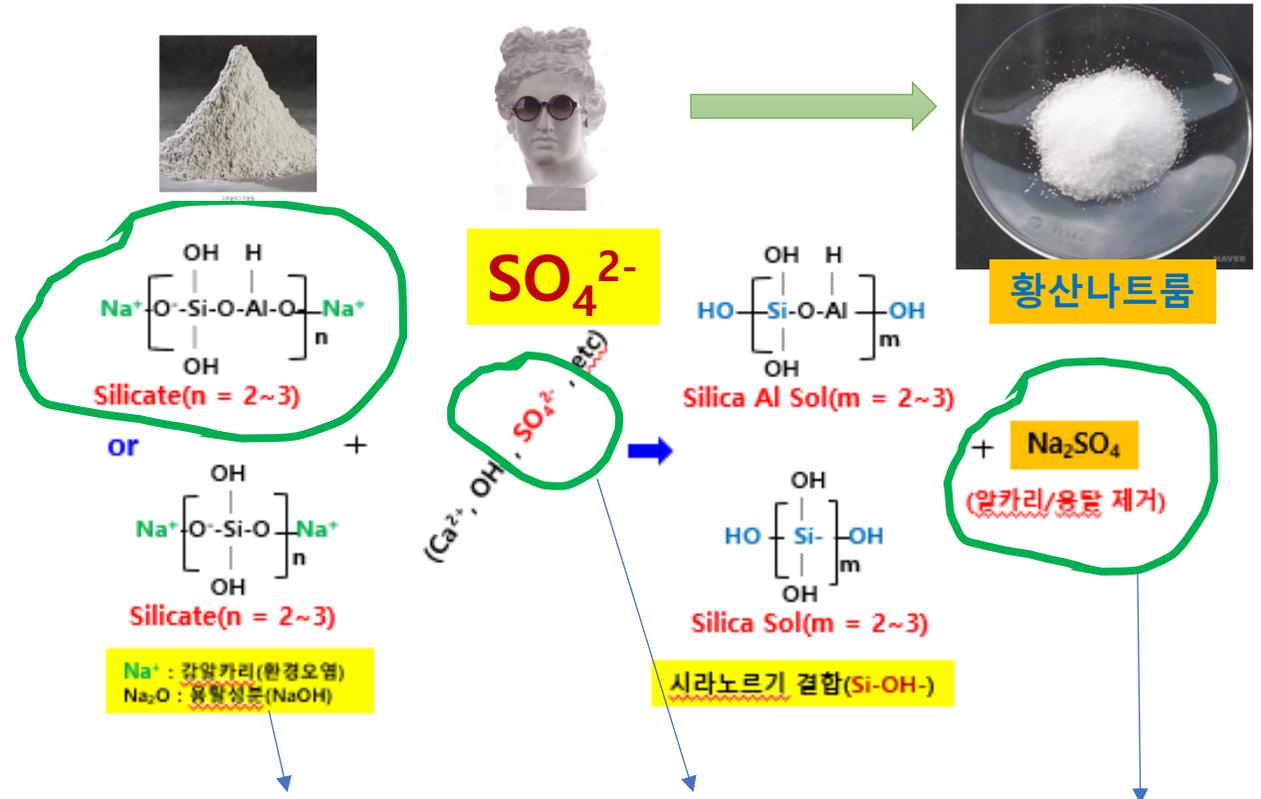
플라이애쉬 약액

→ 수화반응(침상의 에tring가이트(강도 ↑))

→ 지반 보강효과

9. 용탈 거동

a. 실리카졸 반응식

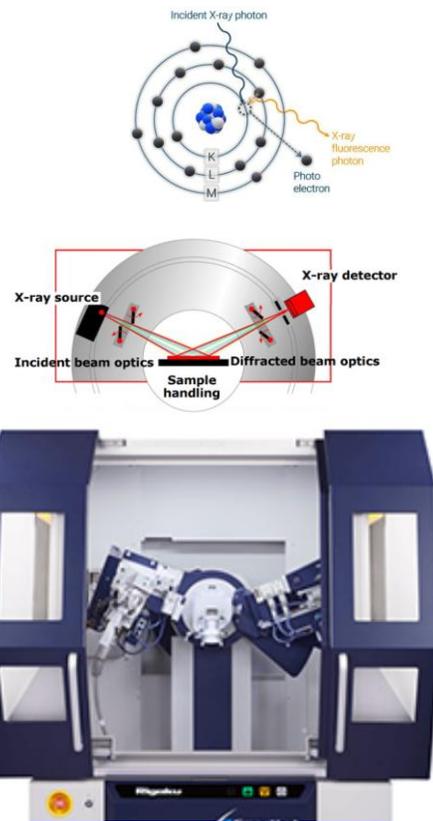


→ 용해도 : $\text{NaOH} / \text{Na}_2\text{SO}_4 = 36\text{배}$

- 슬래그계 실리케이트 → 석고계 황산이온 → 황산나트륨 생산 → 용탈 미발생 / 실리카졸

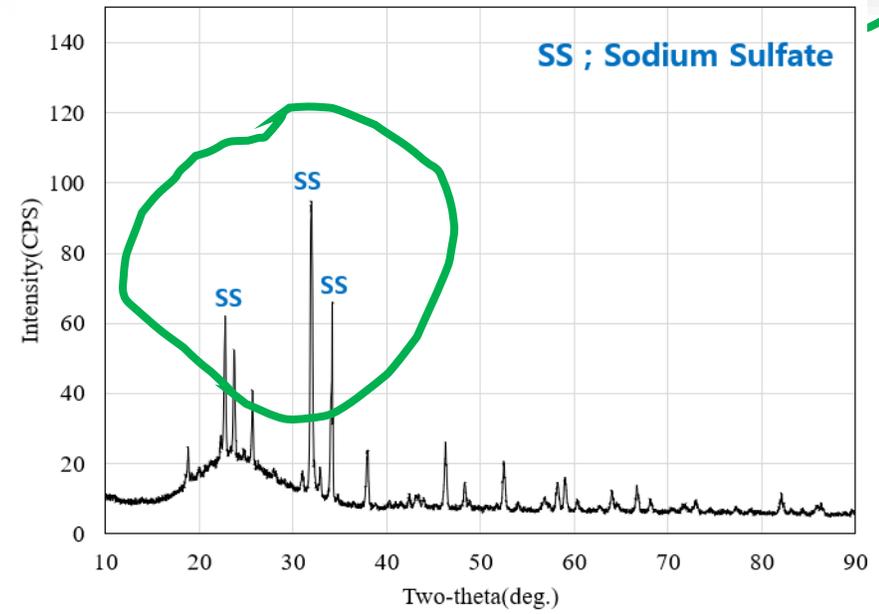
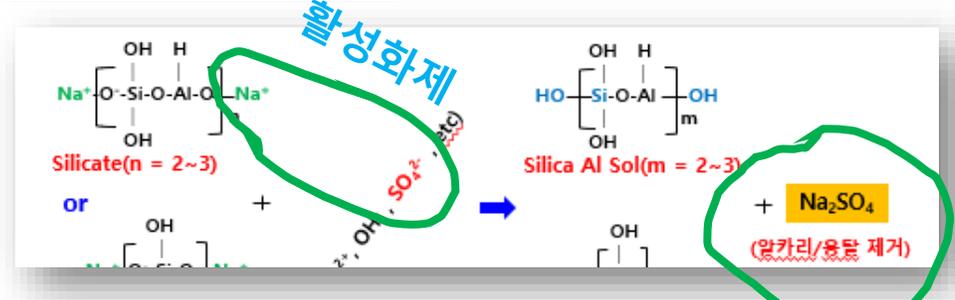
b. 실리카졸 확인시험

▶ XRD 분석기 : 황산나트륨(Na_2SO_4) 물질 확인



X-선 회절분석기 (X-ray diffractometer) Reitveld

슬래그계 물유리

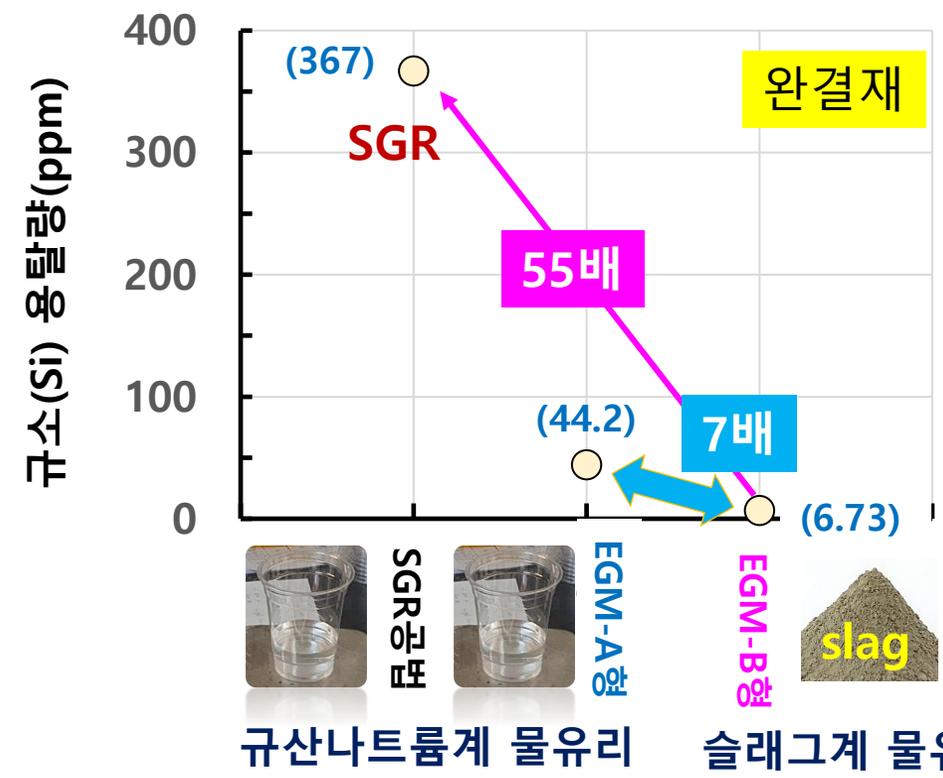


→ 황산나트륨의 대표적인 각도 : 23, 32, 34도
(기타 : 37, 46도)

→ EGM 공법 : 용탈 미발생하는 실리카졸 반응 확인

c. 규소(Si) 용탈량 시험

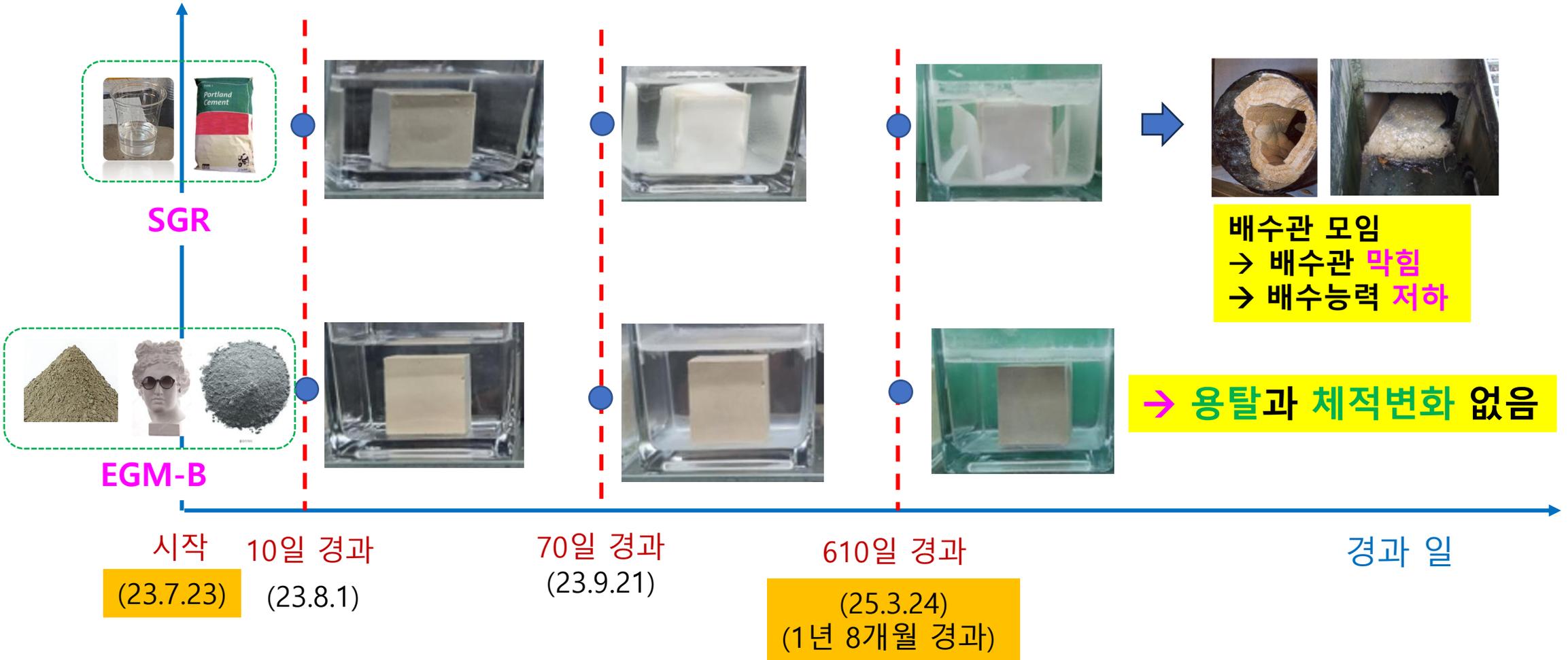
5cm 큐빅몰드 7일 경과 後



1. 규소(Si) 용탈량 작은 순
→ EGM-B < EGM-A < SGR
2. 슬래그계 물유리 < 규산소다계 물유리보다
6.6, 55배 ↓

d. 장기 용탈·체적변화

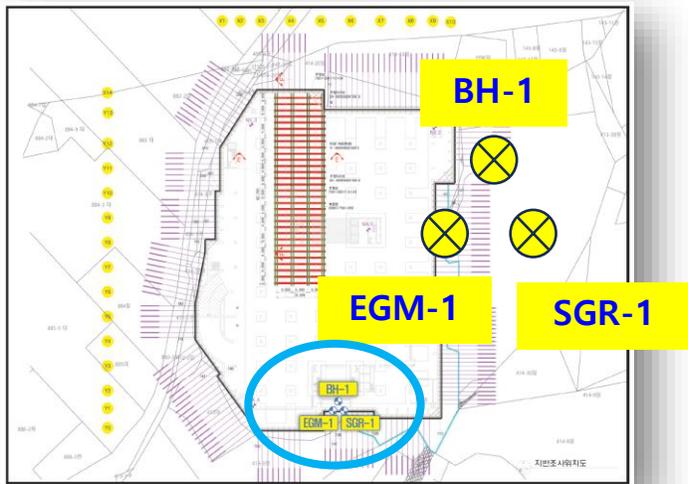
굴착심도가 20m 이상 → 공사기간이 최소 1.5년 이상 소요
안전을 위하여 용탈자료는 최소 2년 이상 용탈 자료 필요



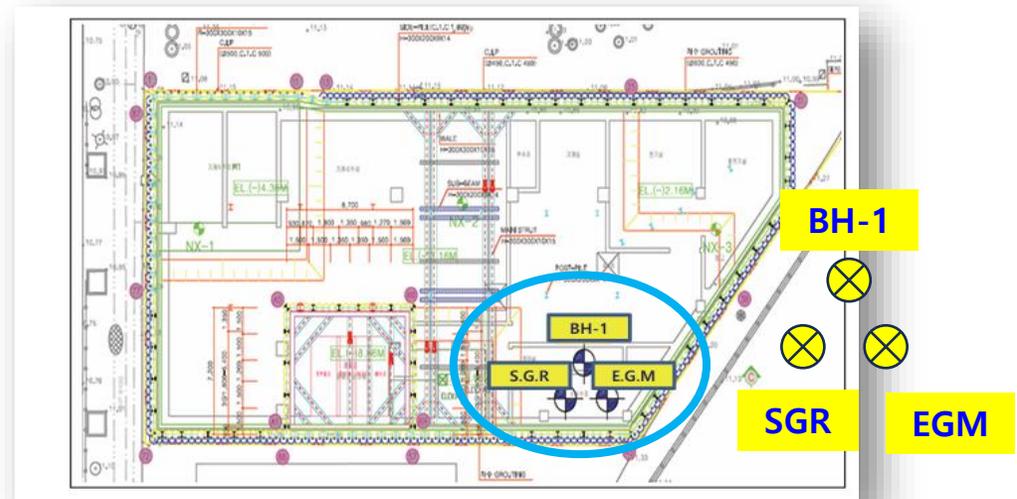
5. EGM공법의 내구성 시험

1 현장시험 조건

▶ 시험목적 : EGM과 SGR 공법의 내구성 비교



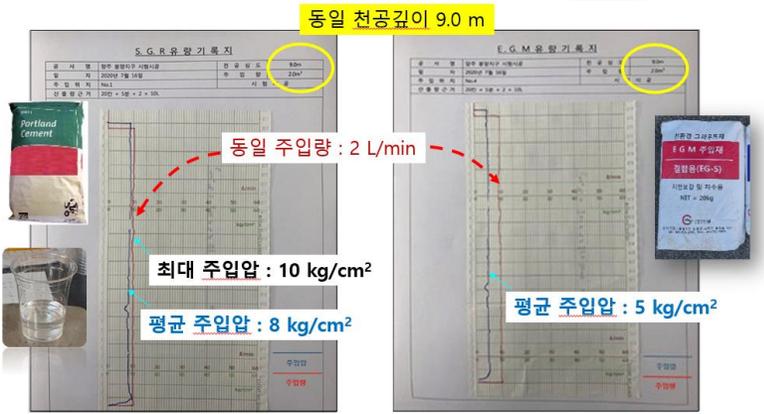
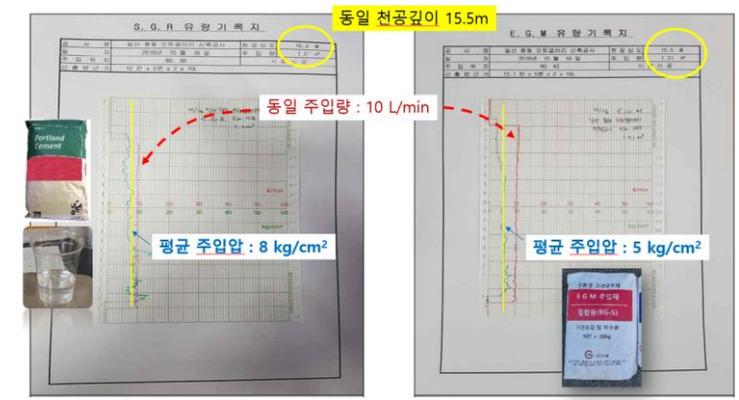
「고양시 일산동구 풍동 AUTO GALLERY 신축현장」



「양주시 봉양지구 신축현장」

2 주입압 시험

→ 주입성능 효과



- ▶ 정량 주입시 : EGM 공법은 SGR 공법보다 40% 낮게 주입압력이 걸림
- ▶ 정압 주입시 : EGM의 주입량 ↑ > SGR

차수효과, 지반보강 효과

3 현장투수시험 결과

구분	심도 (m)	지층	토질 상태	N값	투수계수 (cm/sec)	
BH-1	Z=5m	5.5~6.5	풍화토	실트질 모래	47/30	4.26×10 ⁻³
BH-1	Z=9m	8.8~9.8	풍화토	실트질 모래	50/20	3.98×10 ⁻³
BH-1	Z=12m	11.6~12.6	풍화토	실트질 모래	50/18	1.37×10 ⁻⁴
SGR-1	5.8~6.8	풍화토	실트질 모래	50/28	3.84×10 ⁻⁵	
SGR-1	8.9~9.9	풍화토	실트질 모래	50/24	6.87×10 ⁻⁵	
SGR-1	11.9~12.9	풍화토	실트질 모래	50/17	1.99×10 ⁻⁴	
EGM-1	6.0~7.0	풍화토	실트질 모래	50/24	1.84×10 ⁻⁵	
EGM-1	8.9~9.9	풍화토	실트질 모래	50/18	1.87×10 ⁻⁵	
EGM-1	11.7~12.7	풍화토	실트질 모래	50/10	1.60×10 ⁻⁵	

보링 흄
 $k_{BH}^{ave.} = 2.8 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$

SGR공법 보강한 흄
 $k_{SGR}^{ave.} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$

EGM의 차수효과 : 5.8배 ↑

EGM공법 보강한 흄
 $k_{EGM}^{ave.} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$

시추공	심도(G.L. -m)	지층	구성토질	N값	투수계수(cm/sec)
BH-1	3.0 ~ 3.5	토사층	실트질 모래	10/30	1.44×10 ⁻³
	6.0 ~ 6.5	풍화토	실트질 모래	22/30	1.08×10 ⁻³
S.G.R	3.0 ~ 3.5	토사층	실트질 모래	19/30	8.67×10 ⁻⁵
	6.0 ~ 6.5	풍화토	실트질 모래	31/30	2.85×10 ⁻⁴
E.G.M	3.0 ~ 3.5	토사층	실트질 모래	31/30	1.88×10 ⁻⁵
	6.0 ~ 6.5	풍화토	실트질 모래	50/12	1.27×10 ⁻⁵

보링 흄
 $k_{BH}^{ave.} = 1.26 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$

SGR공법 보강한 흄
 $k_{SGR}^{ave.} = 1.86 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$

EGM공법 보강한 흄
 $k_{EGM}^{ave.} = 1.56 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$

10배 차수 효과 ↑

▶ EGM 공법 = SGR 공법보다 약 6~10배 우수

→ 차수 효과

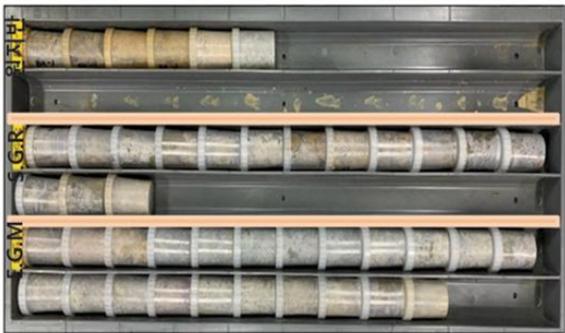
4 시추 코어 회수율



시추깊이 : 13m → 시료 12통

시추깊이 : 13m → 시료 6통
(이유: 자갈 섞인 모래층과 실트질 모래층)

시추깊이 : 13m → 시료 24통



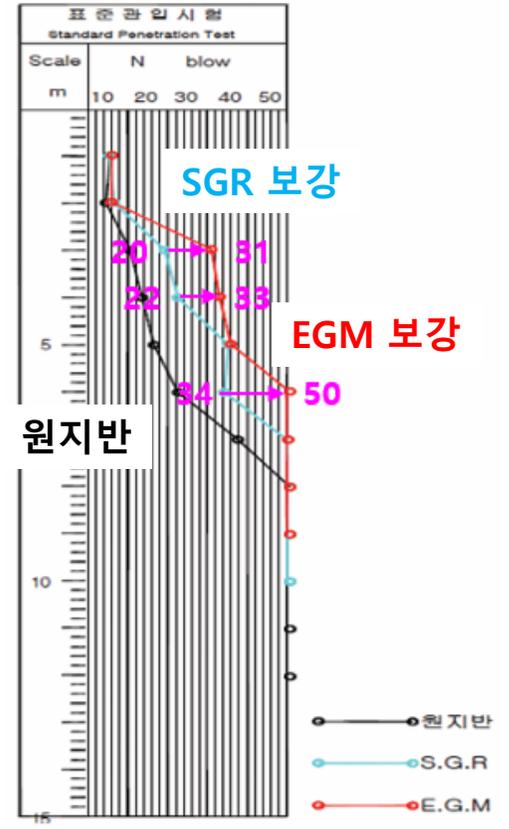
원지반 :
시추깊이 : 12m → 시료 6통

SGR :
시추깊이 : 10m → 시료 15통

EGM :
시추깊이 : 9m → 시료 22통

▶ EGM 공법 = SGR 공법보다 약 2배 많음
→ 지반 보강효과

5 표준관입시험



▶ 보강 후, N치 : EGM 공법 = SGR 공법보다
평균 N = 13 큼

→ 지반 보강효과

이유

EGM 공법 (非OPC)

3無害



고로슬래그 탈황석고 F/A

LW, SGR 공법

2有害



규산나트륨 OPC



고분말도, 무점성

주입성능 ↑

- 차수효과 ↑ (현장투수계수)
- 지반보강효과 ↑ (N 투수계수, 시추회수통)

6. 결론 및 향후계획

향후 계획

비시멘트 재료

중성 실리카졸



고로슬래그
(물유리)



탈황석고
(황성화제)

지반보강재



F/A

친환경성



무독성

현장 사용 안전(중성 석고계)

차수·지반보강 효과 ↑



고분말 · 무점성

주입성능 40% ↑

내구성



장기 용탈 우수



실리카졸 발현 우수(Na_2SO_4)



실리카졸 : 슬래그계 > 규산나트륨계



EGM-B形



EGM-A形

경제성



우수

향후 계획

1. **지반조사**의 적정성
2. **설계법**
3. **시공법** - 정량, 정압 주입 장치 의무화 필요
4. **품질관리 표**
5. **시험방법** - 강도, 투수계수, 환경성 시험 등

→ 학회에서 **매뉴얼** 마련 필요

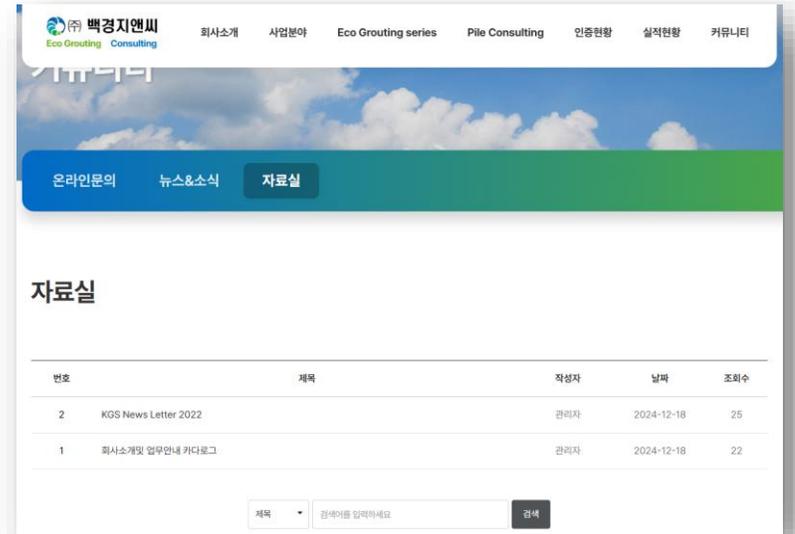
자료 공유 방법



010-2381-2440



ex05park@naver.com



www.bkgnc.com

이상으로 발표를 마치겠습니다

경청해주셔서 감사합니다!

