









약액주입공법에서 사용하는 친환경 비시멘트계 소개

박영호



(주)백경지앤씨
EGM 공법

발표순서

-  약액주입공법이란?
-  환경법
-  비시멘트의 분말도
-  용탈거동
-  반응메커니즘
-  EGM 특징점
-  경제성
-  현장 내구성 시험
-  결론

1. 약액주입공법 ?

=

지반차수 · 지반보강

+

환경성(1974 이후)

1. 분말도 우수

(침투성능, 지반주입효과)

2. 실리카졸 반응효과 우수

(용탈현상 미발생)

3. 경제성

1. 한국, 화학물질관리법(2015)

2. 일본, 약액주입공법 잠정지침(1974)

2. 심사평

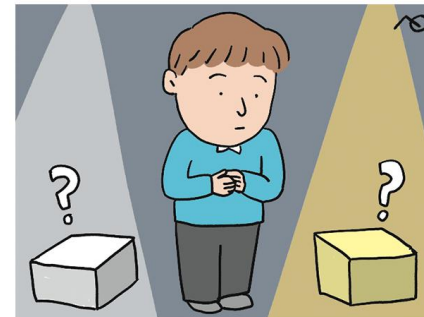
차수공법으로 적용된 **SGR공법**은 **용탈**이 심하고, **지하수 오염**에 의한 지하구조물에 대한 열화를 촉진시키고, **비시멘트계열의 친환경 재료**를 활용한 **주입재를 사용**하고, **점성토층에서 시공성이 좋은 차수공법**을 적용 바람

흡수재 + 활성화제 + 지반보강재
(물유리계) (실리카졸) (Binder; 시멘트계)

+ 유해물질 X

무독성 • 무점성 • 고분말도 재료

친환경 비시멘트 공법



**과연 어떤
주입재료를 사용한
차수공법일까 ?**

3. 약액 주입재의 종류 · 역할

1. 포틀랜드 시멘트(Cement, OPC)

- ◆ 물과 혼합하면, 화학반응(수화반응)을 통해 굳어지는 무기질 결합재(Binder)
- ◆ 큰 간극을 메움



◆ 증금속 → 환경문제 야기

시멘트의 주원료(천연 4종)

석회석

규석 (SiO₂)

석고 (CaSO₄ · 2H₂O)

점토 (Al₂O₃ · 2SiO₂ · 2H₂O)

산화철 (FeO)

슬래그

[시멘트 부원료 사용 이유]

IMF 이후, 2002년부터 시멘트 제조사들은 생산원가 절감과 자원 재활용 차원에서 63 종류의 산업폐기물을 첨가 제조

- 각종 발암 물질 다량 포함

- 양생되지 않은 시멘트밀크를

지반 속에 주입

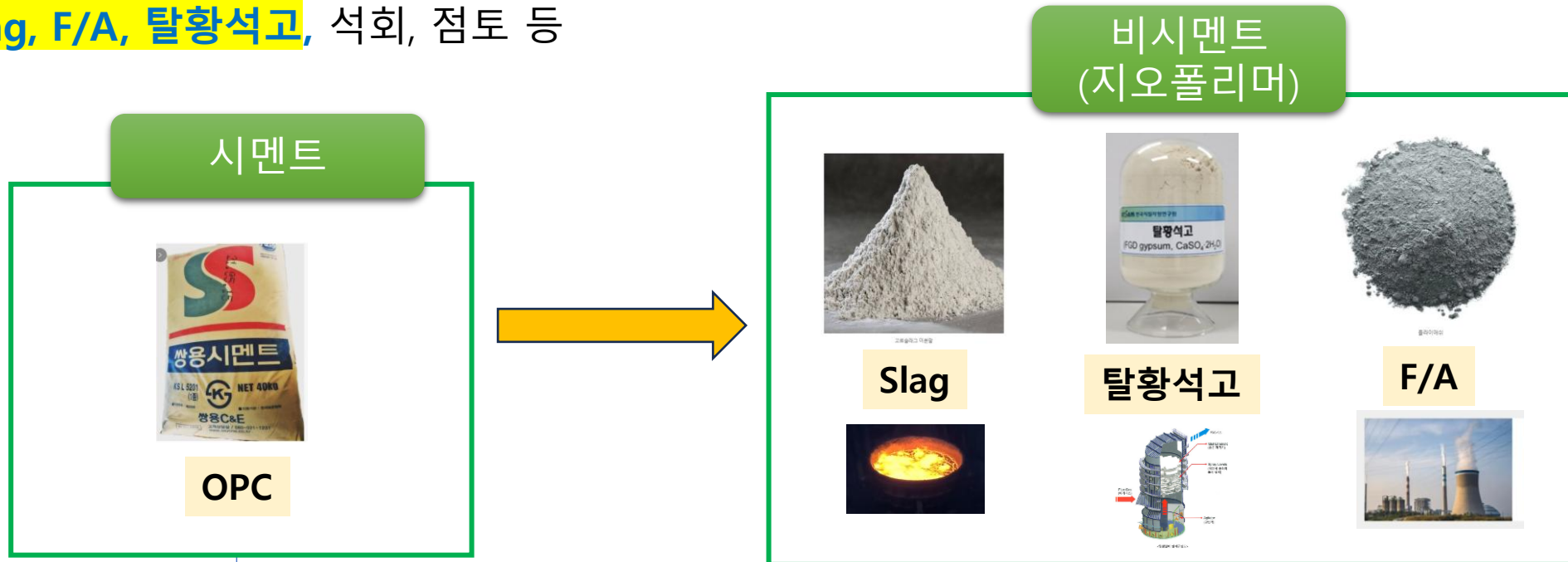
→ 위해성은 매우 심각

5

2. 비시멘트(Non-cement, 지오폐리머) 공법의 주입재 종류와 특성 ?

a. 종류

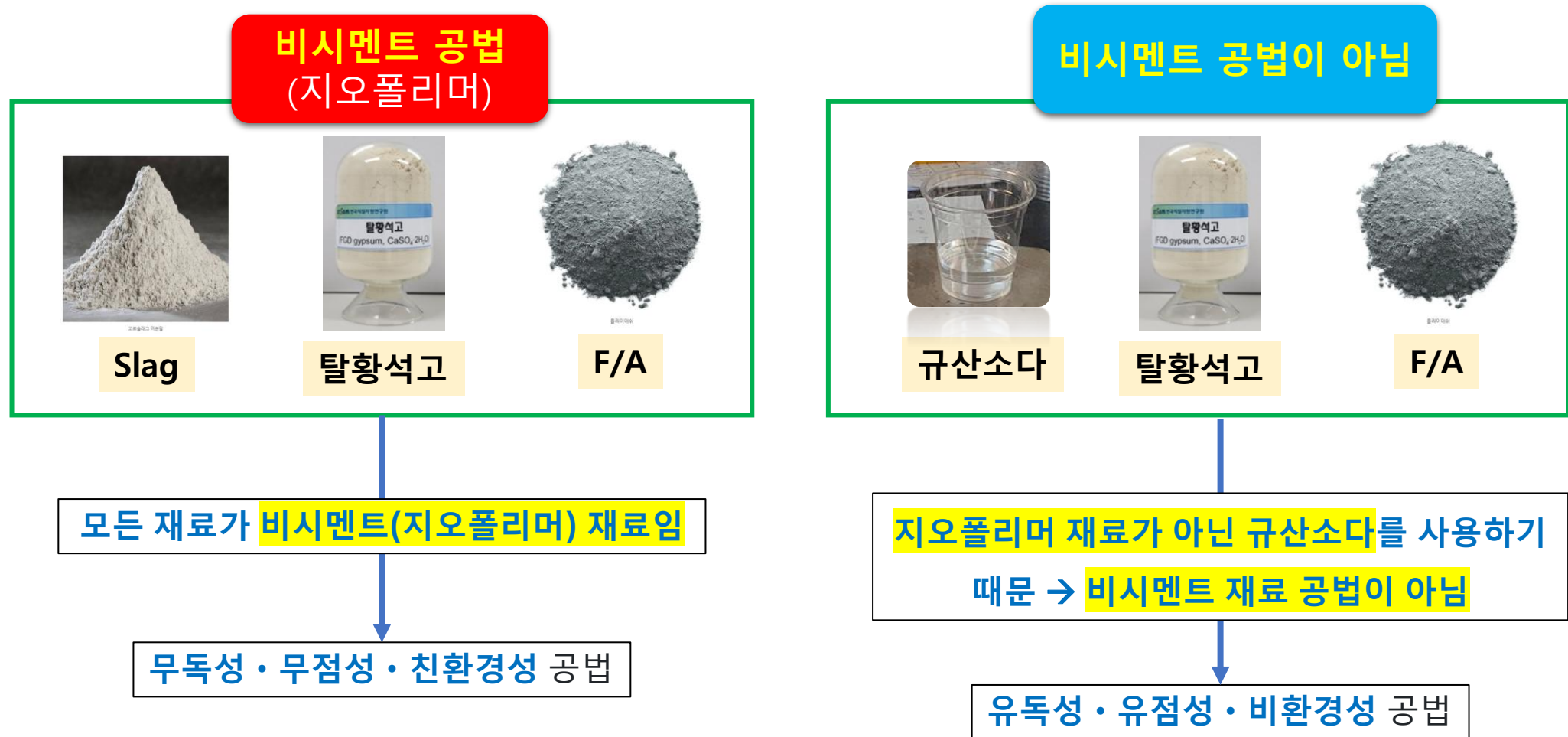
- ◆ 친환경적 · 특정 조건에서, **시멘트** → **결합재(Binder)**
- ◆ **Slag, F/A, 탈황석고**, 석회, 점토 등



○ 2023년, 한국 전체 시멘트 제조사(9개사) :
 - 6가 크롬 평균 검출량 = 9.6배* (환경부 기준치)
 (1급 발암물질) = 7.2배* (EU 기준치)

○ 무독성 · 무점성 · 친환경성 :
 - 6가 크롬 검출량 = 0

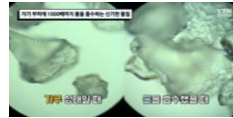
b. 종류와 환경성



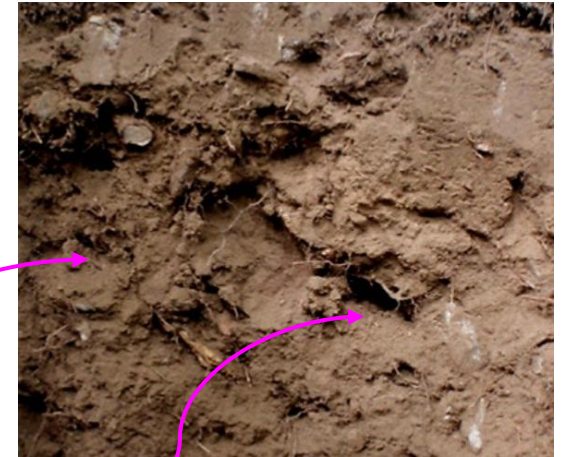
3. 규산소다계 물유리 → 물에 녹인 형태 : “물유리” 함

a. 역할 및 적용

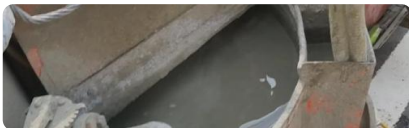
○ 반응 : 규산소다 분말 → 수용액(물유리) → 졸 → 겔



吸收力 ↑



○ 흡수재 → 미세간극 차수 역할 또는 수화반응 유발



* 지반보강재 → 흡수재 도움 → 수화반응 유발 → 시멘트화 → 큰 간극 차수 역할

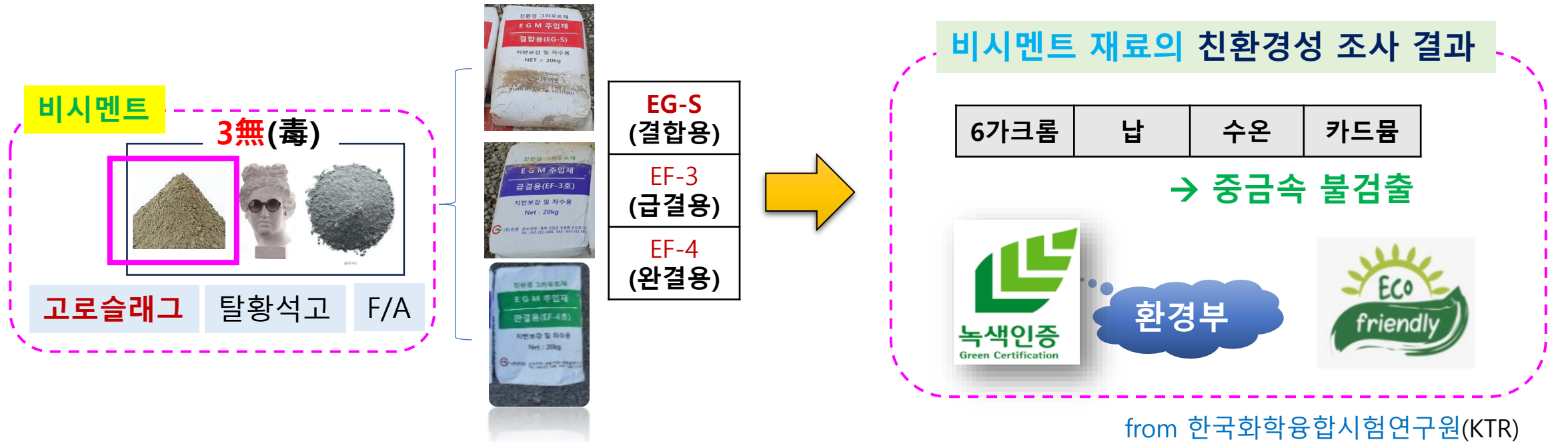
○ 적용 : 차수, 숏크리트, 터널 백필 재료

○ 단가 ↑

단가 높는데 왜 경제성 좋을까?



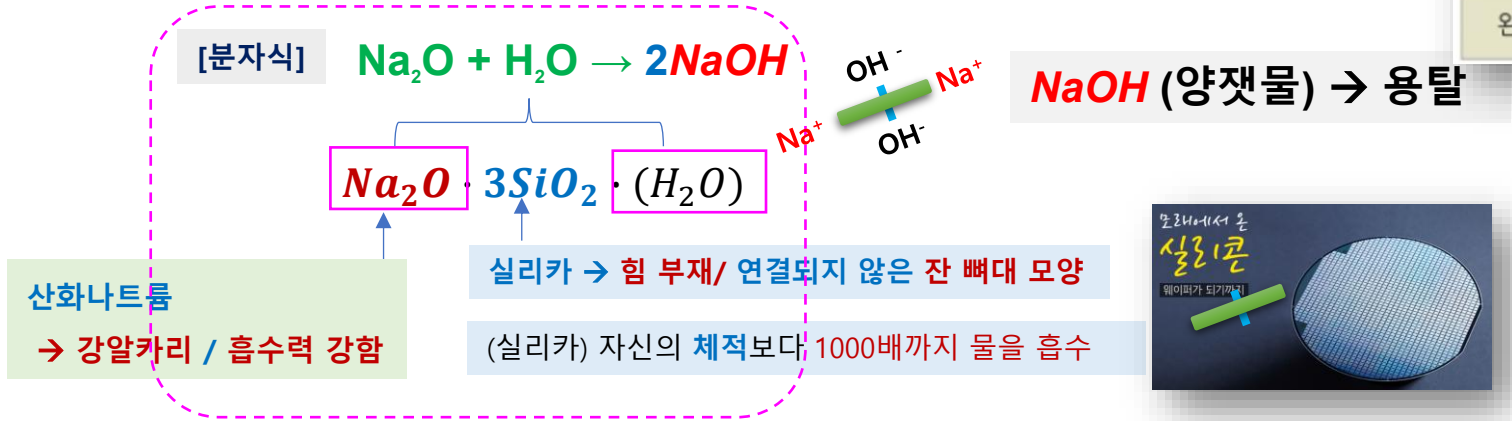
b. 환경성



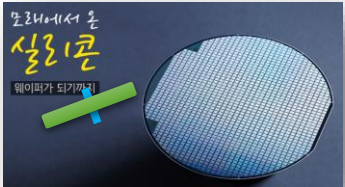
b. 단점



o 유해물질 ↑ (양젓물) 450배↑ (환경부, 산업안전보건법 및 시행규칙, 물질안전 보건자료, 20.6.5)



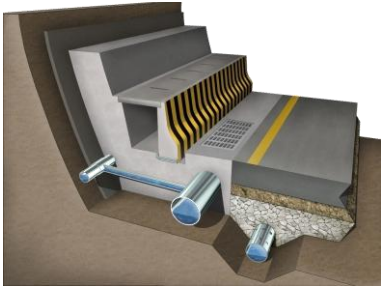
구분	A액(200L)	
구성재료	규산소다(ℓ)	물(ℓ)
급결	60~80	140~120
완결	60~80	140~120



o 점성 ↑ : 규산소다 수용액은 농도에 따라 시럽처럼 끈적해질 수 있음(=4배*물 점성)
→ 침투성능 ↓, 지반보강효과(확산범위) ↓



o 용탈 발생 ↑ : 내구성 ↓, 공해 ↑, 유지관리비용 ↑

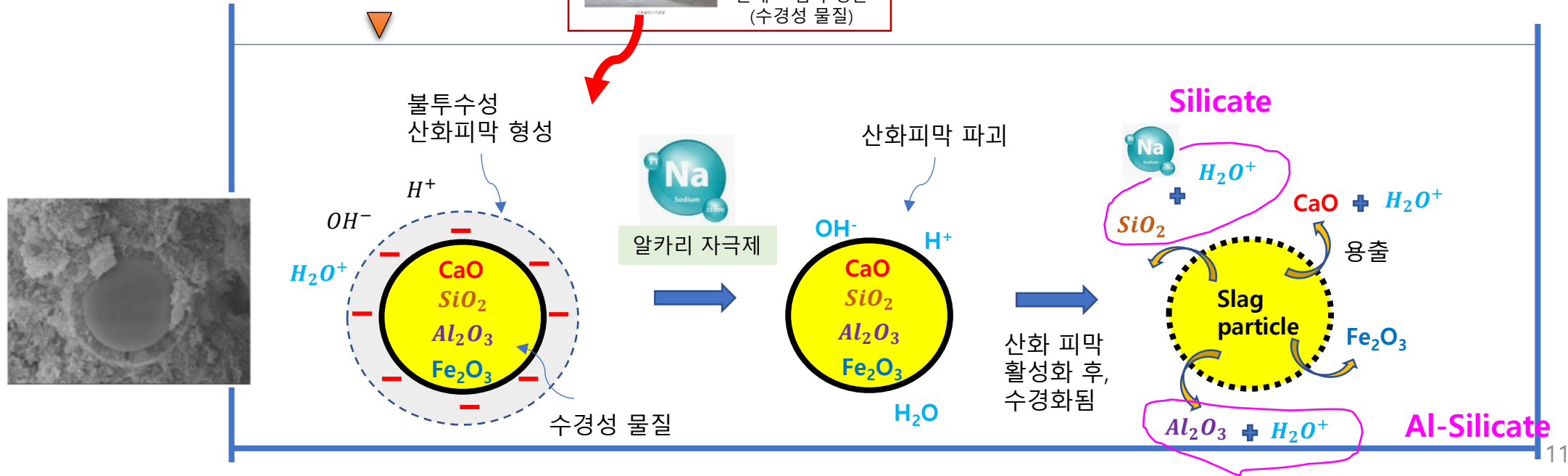


4. 슬래그계

물유리 생성과정

→ 물+알카리 자극제에 녹인 형태 : “물유리” 함

○ 슬래그 : 철강 제조 부산물 → **친환경 재료**(비금속성 재료)



5. (silica sol) 활성화제 ?



(저분자 구조체)

탄산나트륨과 석영 가
루를 융합해서 얻음

물유리

▶(규산나트륨, 고로슬래그)

(점도 약 4cP)

활성화제 X

활성화제 0

고분자를 만들어서
용탈 방지하는 약재

활성화제
촉진제,
중화제



pH=0.5~1(강산성)

환경적 문제 [환경부령 제1056호,
유해화학물질 관리법 시행규칙, 2023]

(점도 약 3cP)

pH=0.5~1(강산성)

pH=7.3(중성)

(점도 0 cP)

(예) 대구 염색관리
공단에서 황산 2ton
유출(23.7.13)

대부분의 산성
실리카졸



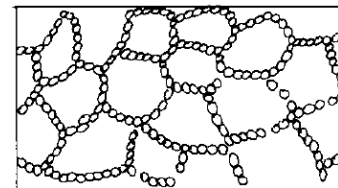
중성 실리카졸

실리카졸(저→고 분자 과정)

- 고분자가 되면 용탈 미발생
- 실리카겔이 될려면 실리카졸 과정을 거쳐야 함

실리카겔

(안정한 3D 구조체)



(고분자 구조체)

(저분자 구조체)

불안정 물유리(실리카겔)
→ 용탈 발생



4. 약액주입공법의 환경법

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

- 「유해물질 관리법(2006)」 → 「화학물질 관리법(2015)」

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



- 물유리계 약액에서 독극물 또는 불소화합물 이 포함되지 않는 약액 사용



- 규산나트륨계 물유리
- 슬래그계 물유리

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

2. 기존 약액의 유해물질 종류

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



✓ 약액 주입재의 특징 정리

구분		종류	특징
흡수제 (水 : 물유리)		규산소다	◆ 친환경성 ✕ → 양젯물, 환경법 저촉 ◆ 점성(=4*물), 고가 → 품질 ↓, 경제성 ↓
		고로슬래그	◆ 친환경성, 미세분말, 무점성, 저가
활성화제 (水 : 황산이온)		황산	◆ 친환경성 ✕ → 강산성, 환경법 저촉 ◆ 점성(=3*물) → 품질 ↓
		탈황석고	◆ 친환경성, 미세분말, 무점성, 저가
결합재 (Binder)	비시멘트	◆ 고로슬래그 ◆ 플라이애쉬 ◆ 탈황석고	◆ 친환경성, 미세분말, 무점성, 저가
	시멘트	포틀랜드 시멘트(OPC)	◆ 친환경성 ✕ → 중금속, 환경법 저촉

5. 비시멘트의 분말도

$$= f(k , \text{지반보강효과}(q_u^1))$$

a. 비시멘트의 고분말 공정

발전소 생산

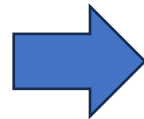
3無(毒)

고로슬래그

탈황석고

F/A

비시멘트의 분말도
→ 3,000 cm²/g 이상



백경지앤씨 진천공장



정밀 분쇄기 사용(재분쇄)
→ 분말도 : 4,500 cm²/g 이상

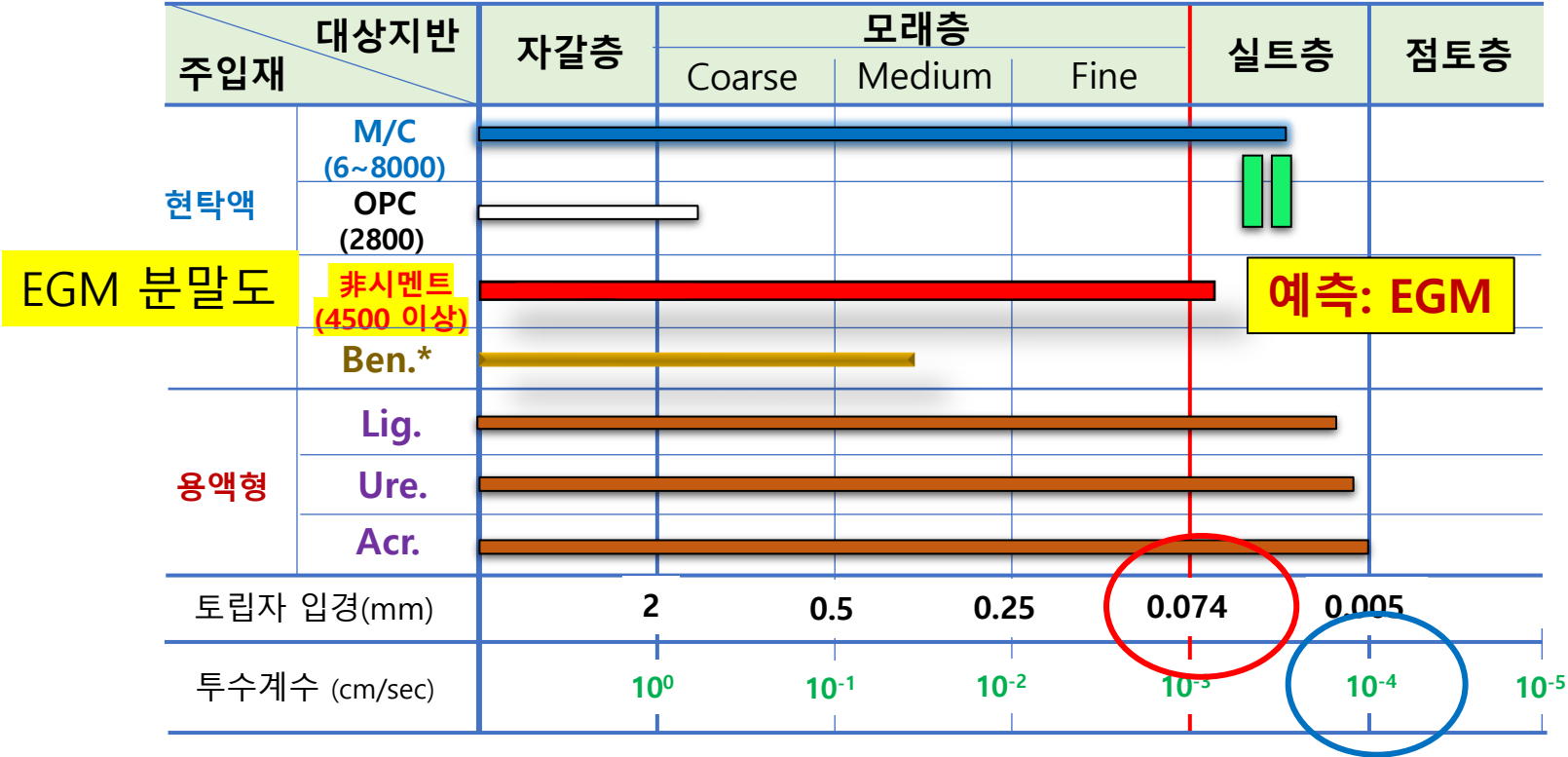
from 미분말 시험성적서,
CT24-012404K (25.3.21)

비시멘트 포장



현장 출하

b. 분말도에 따른 침투성능

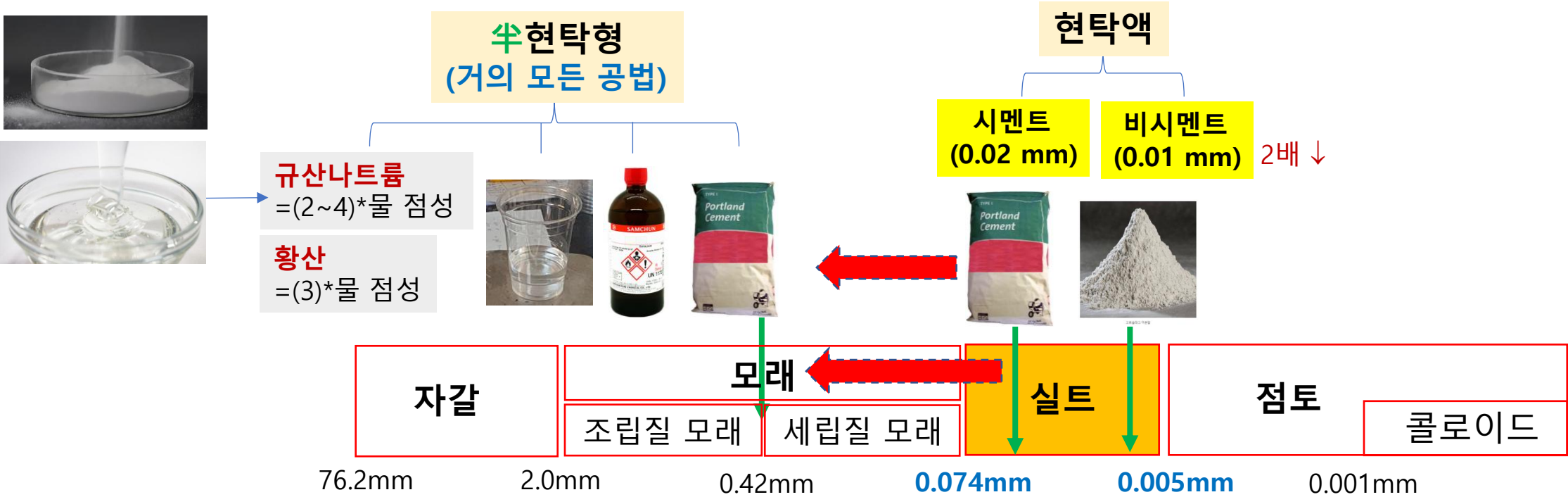


from 김진춘, "쌍용마이셈 8000을 이용한 그라우팅 특성 및 현장적용 사례", 신기술 소개

EGM 공법의 비시멘트 침투성능 ≒ M.C.(마이크로 시멘트) > OPC(포틀랜드 시멘트)

c. 평균입경 · 점도에 따른 침투성능

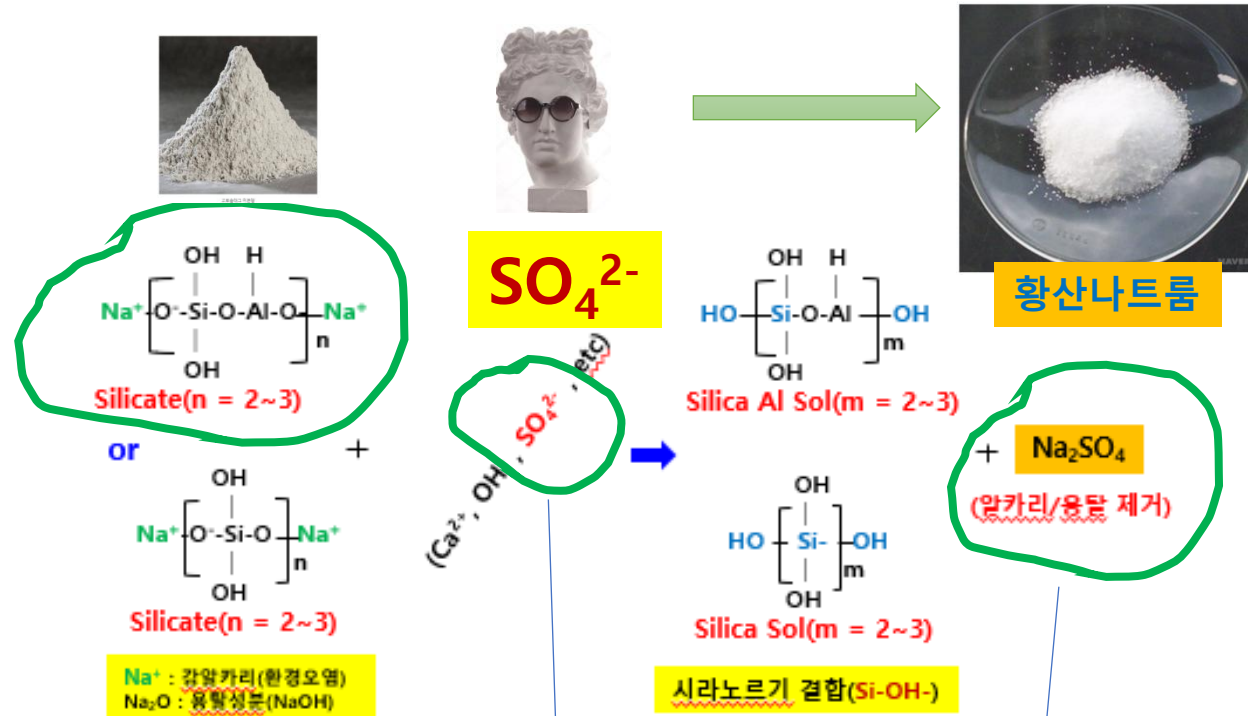
- from AASHTO, KSF 2301 통일분류표 ;



→ 비시멘트 현탁액의 지반 침투성능(EGM) ↑ > ½현탁액

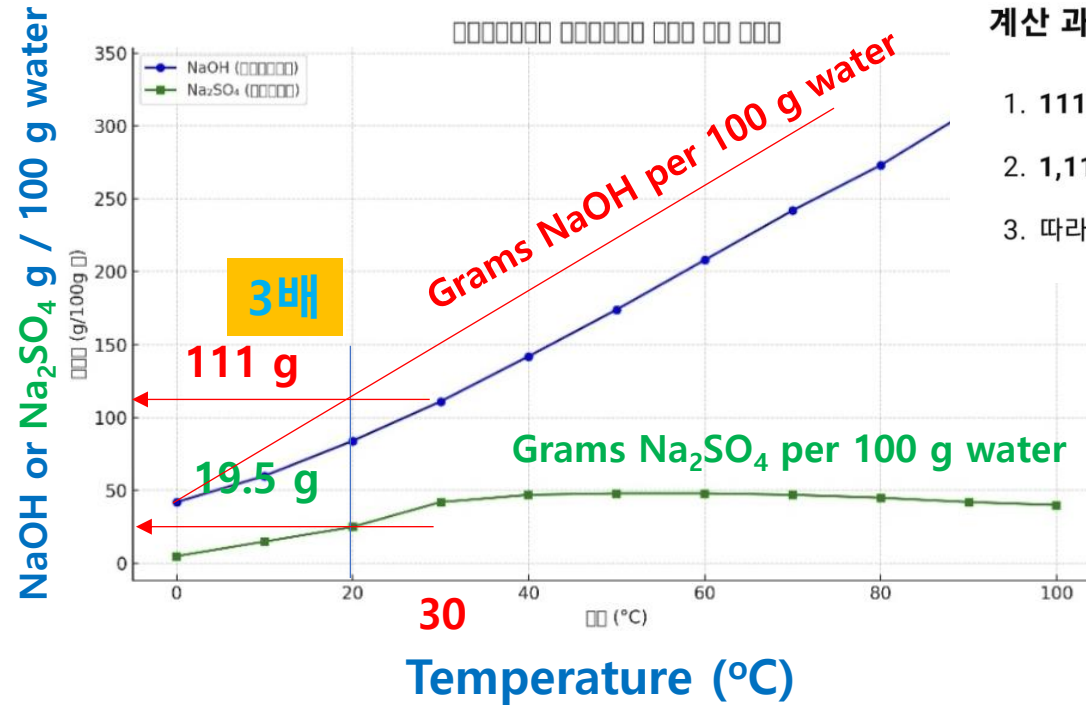
6. 용탈 거동

a. 실리카졸 반응식



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

b. 수산화나트륨 vs. 황산나트륨의 용해도 비교



계산 과정

1. 111 g / 100 mL \rightarrow 1,110 g / L
2. 1,110 g = 1,110,000 mg
3. 따라서 용해도는 약 1,110,000 ppm

계산 과정

1. 19.5 g / 100 mL \rightarrow 195 g / L
2. 195 g = 195,000 mg
3. 따라서 용해도는 약 195,000 ppm

\rightarrow 용해도 : $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{SO}_4 = 5.7\text{배}$

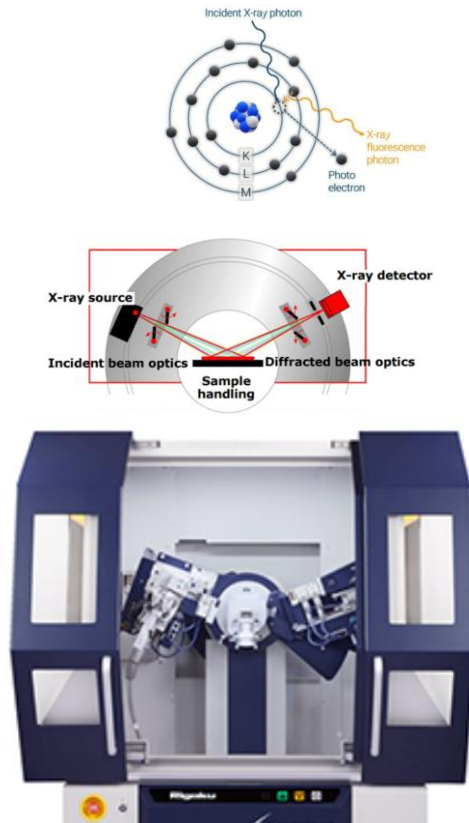
20도에서 수산화나트륨(NaOH)와 황산나트륨(Na₂SO₄)의 물에 대한 용해도 비교

물질	용해도 (g/100 mL 물 ; 20°C 기준)	특징	비고
수산화나트륨 (NaOH)	약 111 g	매우 잘 녹음 (강염기)	<ul style="list-style-type: none"> 매우 잘 녹는 물질 (극도로 높은 용해도) 강염기로 물에 녹으면서 강하게 염기성을 나타냄
황산나트륨 (Na ₂ SO ₄)	약 19.5 g	중간 정도 용해도	<ul style="list-style-type: none"> 수산화나트륨에 비해 상당히 낮은 용해도 물에 녹으면 Na⁺와 SO₄²⁻ 이온으로 해리됨

→ 용해도 : $NaOH/Na_2SO_4 = 111/19.5 = 5.7\text{배}$

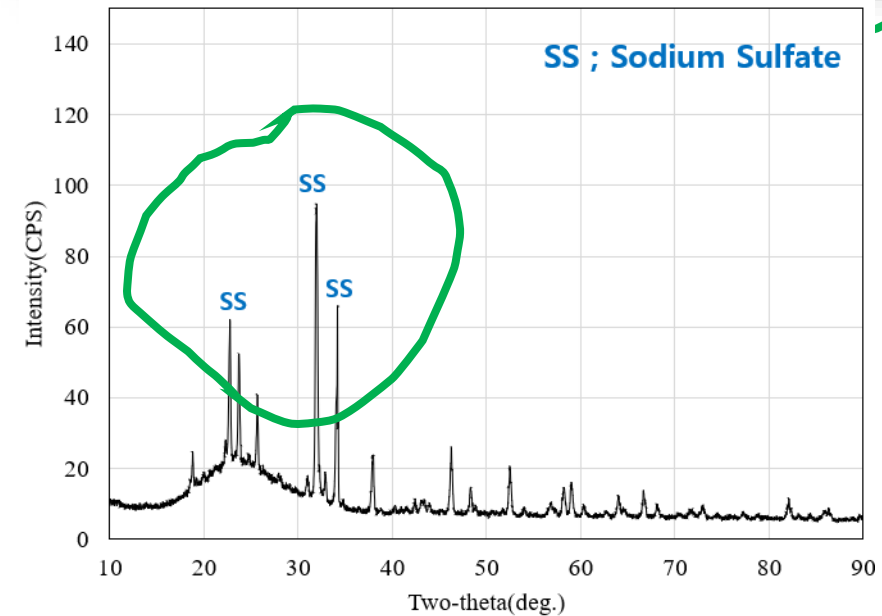
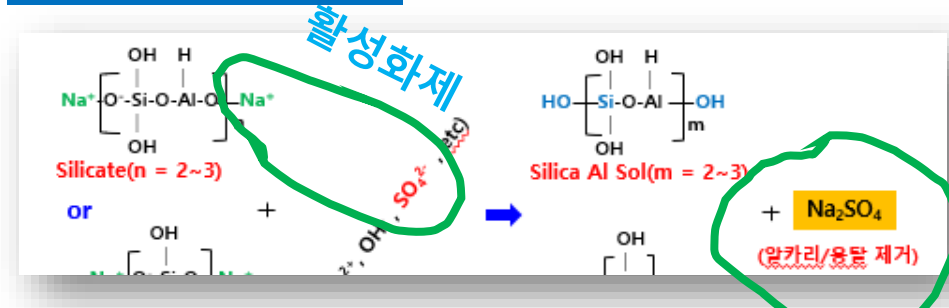
c. 실리카졸 확인시험

▶ XRD 분석기 : 황산나트륨(Na_2SO_4) 물질 확인



X-선 회절분석기
(X-ray diffractometer) Reitveld

슬래그계 물유리

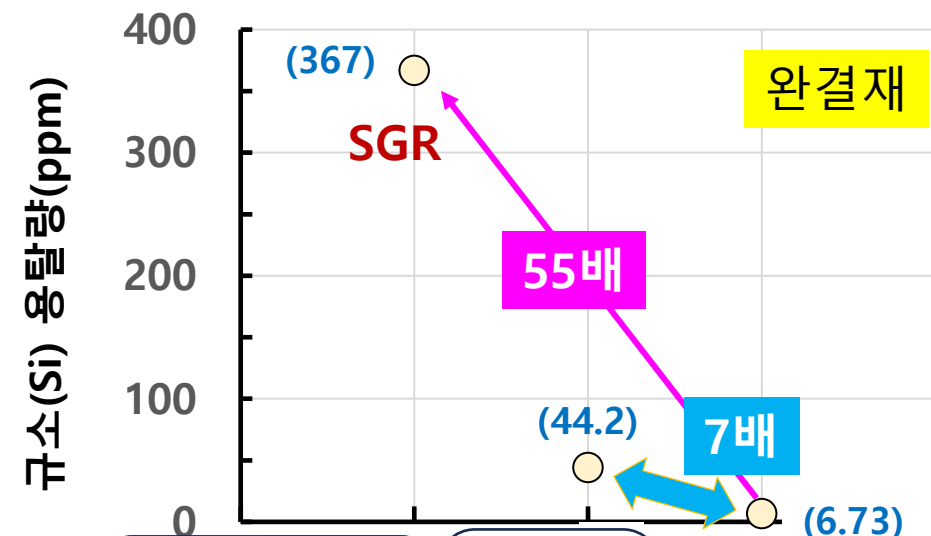


→ 황산나트륨의 대표적인 각도 : 23, 32, 34도

(기타 : 37, 46도)

→ EGM 공법 : 용탈 미발생하는 실리카졸 반응 확인

d. 규소(Si) 용탈량 시험



비시멘트 공법이 아님
(유해물질의 규산나트륨계 물유리+시멘트)

비시멘트 공법이 아님
(유해물질의 규산소다계 물유리)

모든 재료가 비시멘트 공법
(친환경 슬래그계 물유리)

5cm 큐빅몰드 7일 경과 後



1일 기중 양생후(5cm 큐빅몰드)

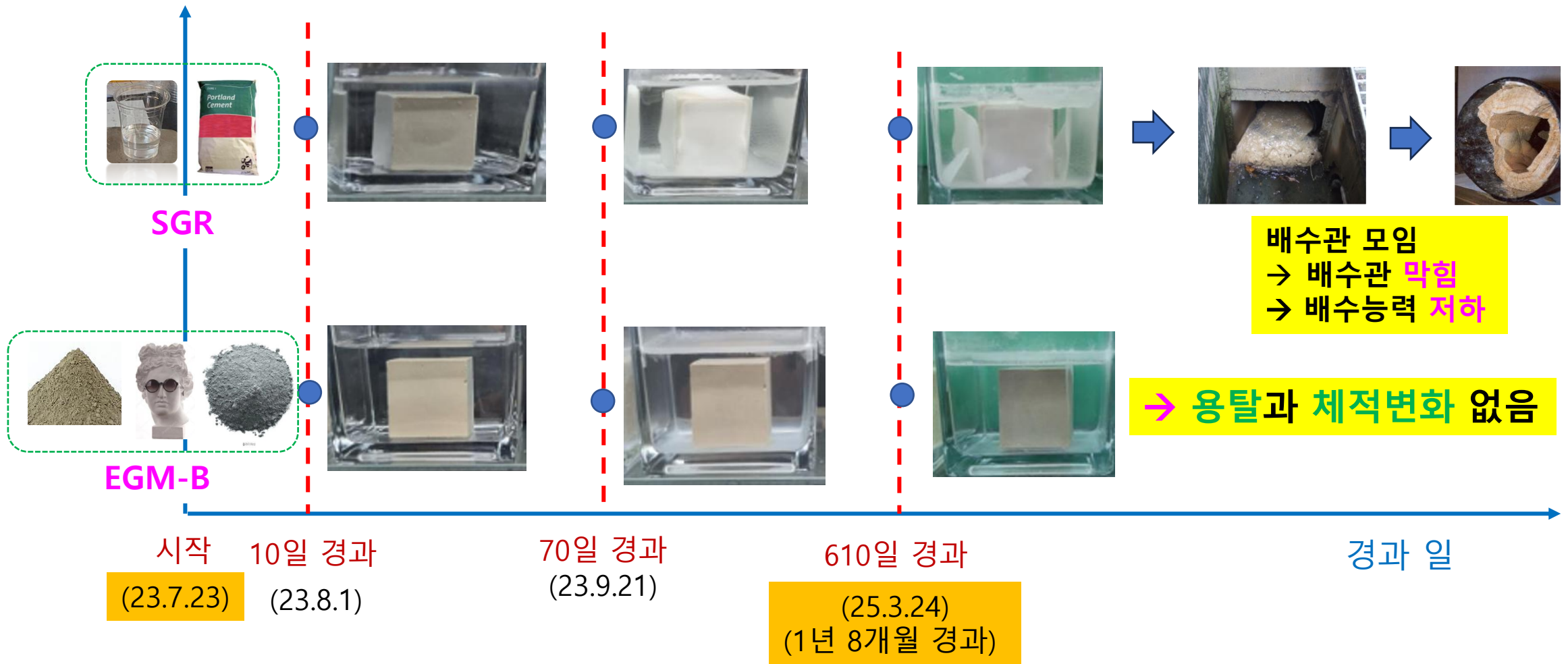
- 담수와 해수 1.0L 비이커 속
- 공시체 침전시킴
- 7일 후, 담수와 해수

→ 공인기관 의뢰

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

e. 장기 용탈·체적 변화

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



f. 지식 재산권

신제품 인증
(지식경제부)

우수 제품
(조달청)

녹색 인증
(환경부)

특허 등록
(특허청)

기술 인증
(대한기술사회, 토기회)



7. 주입재의 비시멘트 구분

공법명	물유리	실리카졸 물유리	지반보강재	비고
SGR 공법		활성화제 미사용으로 실리카졸 미발생	 유해물질 발생 (다량의 중금속)	-용탈 발생 -비친환경성
 EGM-A 공법 (유사 공법 있음)	 유해물질 발생 (양젓물)	 중성 실리카졸 (유해물질)	 무해물질 (친환경)	-비시멘트 공법 아님 -용탈 중급 발생 (EGM-B보다 7배 큼) -비친환경성 -녹색인증이지만 유해물질 사용
 EGM-B 공법 (유일한 비시멘트 공법)	 무해물질 (친환경)	 중성 실리카졸 (친환경)	 무해물질 (친환경)	-비시멘트 공법 -용탈 미발생 -친환경성 -녹색인증이면서 친환경 재료 사용

8. 반응 메커니즘

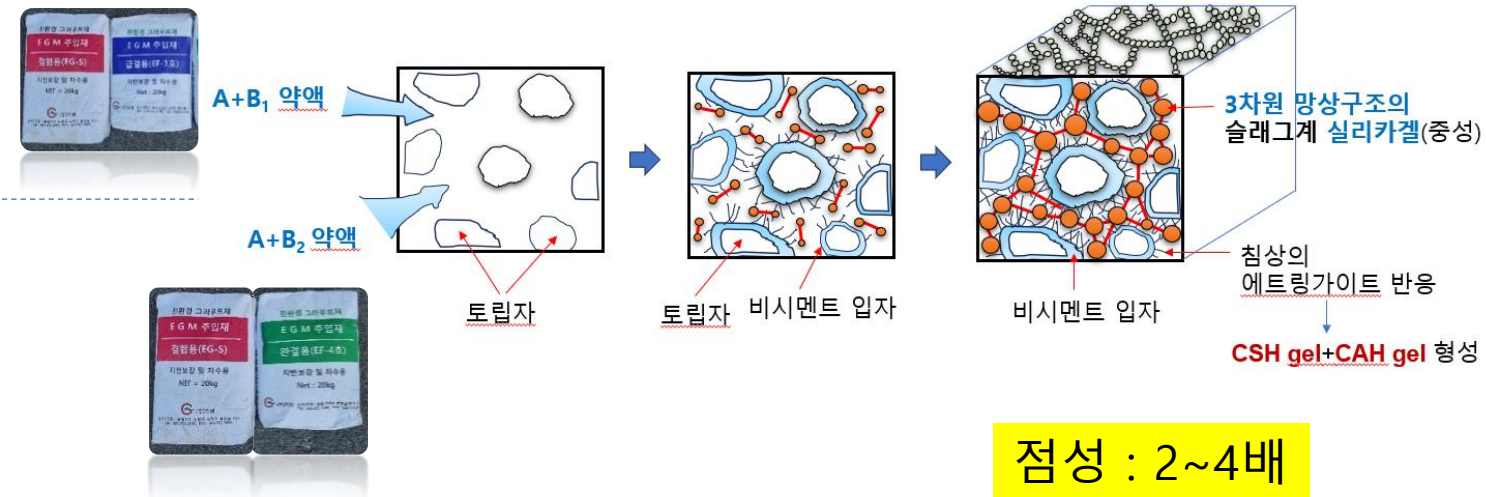
분말도(입경) : 2배



미세분말일수록 모래보다 작은 실트층 미세 간극크기까지 채움

지반보강재

물유리



점성 : 2~4배



점성이 없을수록 실트층 미세 간극크기 채움

9. EGM 특징점

구분	특징	장점
시공성	3無毒(무독) 재료의 신개념 차수공법	○ 유해물질 인 규산소다, 황산, 시멘트(OPC) 대신에 친환경 재료 인 비시멘트 재료 (고로슬래그, 석고계, 플라이애쉬 등)으로 대체하여 사용
경제성	시공비	○ 非실리카졸 시멘트 공법(SGR)보다 15% 정도 적음
환경성	친환경성	○ 시공중 : 주입재료의 일수현상에 의해서도 공해 無 ○ 양생후 : 용탈 발생하지 않음
	친환경 주입재료 (화학물질관리법 무관)	○ 韓國 화학물질관리법(2015)과 日本 약액주입공법의 잠정기준(1974)에 만족 ○ 유해 주입물질 (규산소다, 황산, 시멘트) : 미사용 ○ 슬래그계 물유리 : 슬래그에 알칼리 첨가제로 친환경 슬래그계 물유리 제조 ○ 친환경 실리카졸 : 비시멘트의 슬래그계 물유리(알루미늄 실리케이트)에 석고의 황산이온(中性) 을 첨가하여 만듦 ○ 非시멘트 : 중금속이 없음
투수성, 지반 보강 효과	슬래그계 물유리의 점성	○ 규산소다의 점성은 물의 점성보다 2~4배 높음 ○ 슬래그계의 물유리는 무기질계로서 점성이 거의 없어서, 침투성능이 매우 우수
	非시멘트 분말도 (최소 4500 이상, 0.01mm 이하)	○ 시멘트의 분말도(약 3000 브레인)과 평균입경(0.02mm)보다 약 2배 이상 작기 때문에 침투성능이 우수
	보강 가능한 지반	○ 시멘트의 분말도(입경)보다 우수한 분말도로 투수성능과 보강효과가 우수 ○ 실트질 지반까지 침투성능 : 마이크로 시멘트와 유사한 침투능력 보유

10. 경제성

→ 주입를 동일하게 간주하여 주입 재료비 비교

차 수 공 법 별 재 료 비 비 교 → 표준배합비와 품셈 단가 근거로 비교

(단위:원)

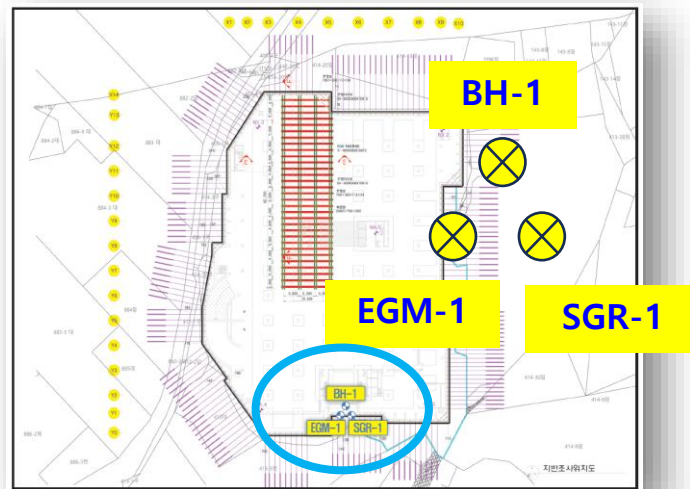
구 분	EGM-B형 : 톤백					선성 실리키졸 시멘트 공법(A공법)					선성 실리키졸 시멘트 공법(B공법)					S.G.R					비 고
	품 명	수량	단위	단가	금액	품 명	수량	단위	단가	금액	품 명	수량	단위	단가	금액	품 명	수량	단위	단가	금액	
<div> <div>3無(毒)</div> <div> </div> </div>	EG-S	200	kg	300	60,000	규산소다	225	ℓ	680	153,000	규산소다	100	ℓ	680	68,000	규산소다	250	ℓ	680	170,000	
	EF-3	100	kg	400	40,000	CAS	25	ℓ	1,500	37,500	활산	50	ℓ	360	18,000	SGR-7호	30	kg	1,323	39,690	
	EF-4	100	kg	400	40,000	COO	25	ℓ	1,500	37,500	약재	12.5	kg	3,000	37,500	SGR-8호	28.75	kg	1,323	38,036	
						COO-1	25	kg	1,500	37,500	시멘트	200	kg	150	30,000	시멘트	150	kg	1,500	225,000	
						COO-2	25	kg	7,500	187,500											
계					140,000	계				323,000	계				153,500	계				270,226	
대비	1					2.3					1.1					1.9					

[실행가가 낮은 이유]
 규산소다 : 현장 적게 주입
 설계시 주입률 : 낮게 적용

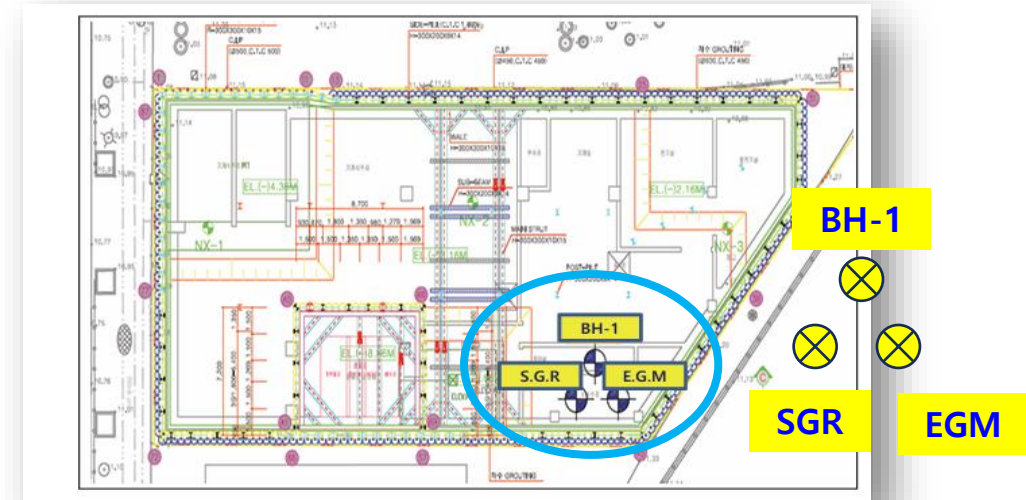
11. 현장 내구성 시험

1 현장시험 조건

▶ 시험목적 : EGM과 SGR 공법의 내구성 비교



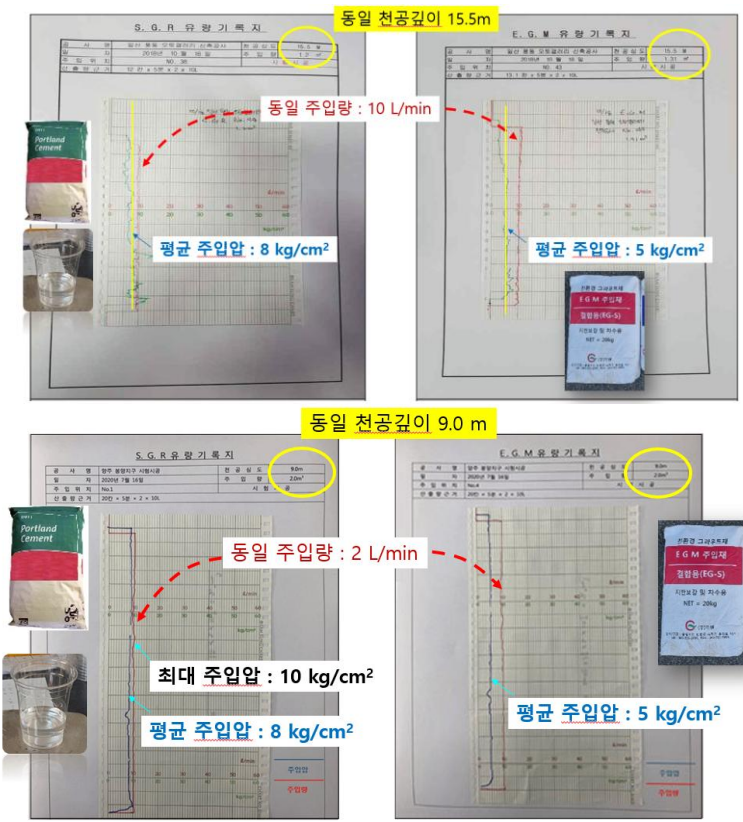
「고양시 일산동구 풍동 AUTO GALLERY 신축현장」



「양주시 봉양지구 신축현장」

2 주압압 시험

→ 주입성능 효과



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

차수효과, 지반보강 효과

3 현장투수시험 결과

구 분	심 도 (m)	지 층	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 홀
 $k_{BH}^{ave.} = 2.8 \times 10^{-3}$ cm/sec

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

EGM의 차수효과 : 5.8배 ↑

EGM공법 보강한 홀
 $k_{EGM}^{ave.} = 1.8 \times 10^{-5}$ 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 홀
 $k_{BH}^{ave.} = 1.26 \times 10^{-3}$ cm/sec

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

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

10배 차수 효과 ↑

▶ EGM 공법 = SGR 공법보다 약 6~10배 우수

→ 차수 효과

4 시추 코어 회수율



SGR시공

원지반

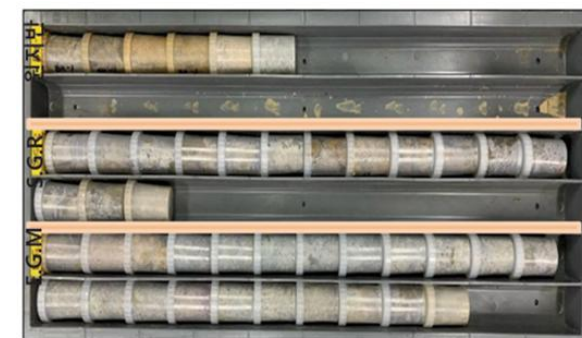
EGM시공



시추깊이 : 13m → 시료 12통

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

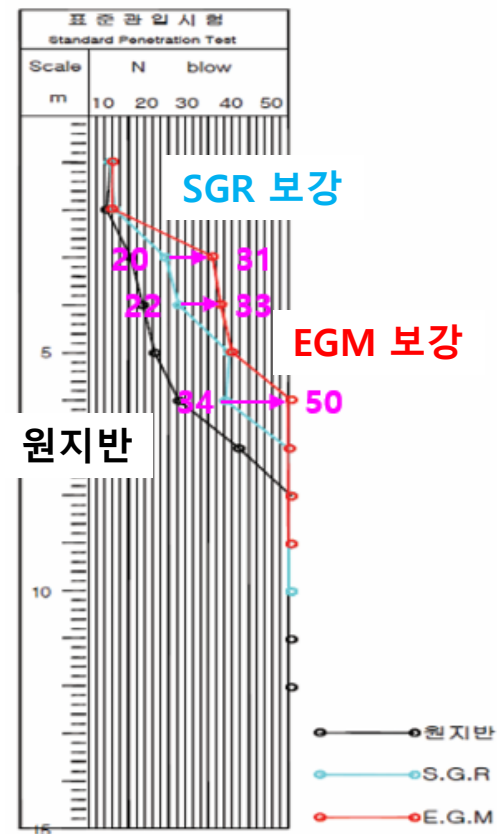
시추깊이 : 13m → 시료 24통

원지반 :
시추깊이 : 12m → 시료 6통SGR :
시추깊이 : 10m → 시료 15통EGM :
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

고분말도, 무점성

LW, SGR 공법

2有害



규산나트륨

OPC

주입성능 ↑

차수효과 ↑ (현장투수계수)

지반보강효과 ↑ (N 투수계수, 시추회수통)

12. 결론

✓ 비시멘트(非시멘트, Non-Portland cement) ?

- ◆ 포틀랜드 시멘트 대신에 지오폴리머(비시멘트)의 무기 결합재(바인더)를 말함
- ◆ 또는, 알칼리 활성화 반응을 통해 생성되는 비시멘트계 무기 결합재(Geopolymer)라 함
- ◆ 비시멘트 재료의 종류 : 플라이애시, 슬래그, 탈황석고, 점토 등
 - * [주의] 규산소다 : 무기 화합물로서 비시멘트 재료가 아님
- ◆ 비시멘트(지오폴리머)의 기본 구조식은 다음을 반복됨
→ [-Si-O-Al-O-Si-O-]

a. 비시멘트 재료는 지오폐리머(slag, 탈황석고, F/A)를 말함

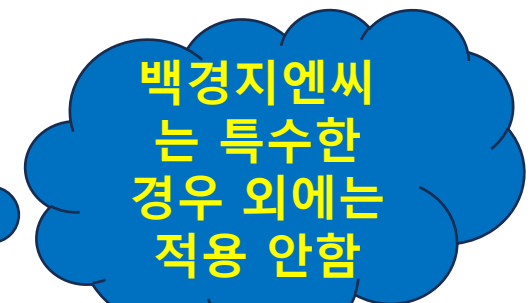


EGM-B 공법



- ① 흡수력 우수
② 공해물질(양잿물, 독극물)
③ 고가

EGM-A 공법



그러나 타 회사는 적용 중

b. 녹색인증(환경부)은 비시멘트 재료와 무관합니다.

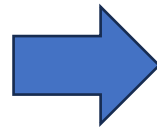
정의

- ◆ 녹색인증이라고 해서, 반드시 비시멘트(지오폴리머) 재료는 아님
- ◆ 그리고 비시멘트 재료는 지오폴리머 재료이어야 합니다.

지오폴리머 재료는 비시멘트 재료이면서 녹색인증이다.
→ EGM-B 공법(유일)



녹색 인증
(환경부)



지오폴리머 재료(비시멘트)



교로슬래그



탈황석고



F/A



점토

지오폴리머 재료 아님(비시멘트는 아님)



규산소다



탈황석고



F/A

녹색인증은 규산소다를 사용하여 받은 공법도 있음
따라서 녹색인증이라고 해서 비시멘트는 아님
→ 해당 공법 : EGM-A 공법, 그외 공법

◆ 조건 정리

✓ 비시멘트 조건

→ 슬래그, 탈황석고, 플라이애쉬, 점토, 석회 : 하나 이상 포함시 "비시멘트"로 인정

✓ 녹색인증 조건

→ 규산소다 사용 시 녹색인증 가능

🔍 필요조건과 충분조건 분석

1. 녹색인증을 받은 제품은 비시멘트인가?

- 녹색인증은 오직 규산소다가 기준
- 그런데 규산소다는 비시멘트 조건(슬래그, 탈황석고, 플라이애쉬, 점토, 석회 등)에 포함되지 않음
- 따라서 녹색인증을 받았다고 해서 비시멘트 조건을 만족한다고 볼 수 없다.

✗ 결론 : 녹색인증은 비시멘트의 충분조건이 아니다

🔍 필요조건과 충분조건 분석

2. 비시멘트 제품은 녹색인증을 받을 수 있는가?

- 비시멘트는 규산소다 없이도 가능
(예: 슬래그+석회만 써도 인정됨)
 - 그러므로 비시멘트 제품이라고 해도 규산소다가 없다면 녹색인증을 받을 수 없음
- ✗ 결론 : 비시멘트는 녹색인증의 충분조건도, 필요조건도 아니다.

✗ 결론 : 비시멘트 조건과 녹색인증 조건은 서로 필요조건도, 충분조건도 아니다. 즉, 규산소다만으로는 비시멘트가 아니고, 비시멘트라고 해도 규산소다가 없으면 녹색인증 대상이 아니다.

c. **녹색인증**(환경부)은 **규산소다**가 포함된 재료도 가능한 **인증서**이지,
비시멘트 재료의 사용 여부와는 **무관**합니다.

따라서 **비시멘트계 공법**은 **녹색인증서**로 **확인**보다는 **지오폐리머 재료**
 인가로 결정하여야 함



비시멘트계 공법

녹색인증서로
판단하면 안됨

재료로
판단해야 함

지오폐리머 재료

비시멘트 재료



고로슬래그

탈황석고

F/A

EGM-B 공법

d. 비시멘트 재료(슬리그, 탈황석고, F/A)는 유일하게 EGM 공법 뿐임

→ 비시멘트 주입재는 지오폴리머 재료이고, 이를 만족하는 공법은 EGM-B 공법뿐임

