

# 非알칼리성 실리카졸을 이용한 그라우트(CSS) 시공방법과 시공 사례 - 실리카졸 그라우트의 특성과 이해 -



조 신 연  
CS지오텍(주)  
지반기술부/상무이사  
(sinycho@hanmail.net)



윤 재 철  
CS지오텍(주)  
대표이사  
(csgeotech@hanmail.net)



김 종 희  
CS지오텍(주)  
기술연구소 소장  
(csgeotech@hanmail.net)



정 기 찬  
(주)대한건설ENG  
터널및지반사업부 상무  
(jungychan2@gmail.com)

## 1. 실리카졸 그라우트의 개발배경

비알칼리성 실리카졸 약액은 1974년 약액주입관련 잠정지침을 계기로 개발된 이래 순결공법, 복합주입 공법과 조합되어 크게 발전해 왔다. 공해문제를 계기로 개발된 이 약액의 기본은 공장폐액을 처리할 때, 알칼리성 폐액이 유산 등의 산성제로 중화해서 배수되는 데에 착안하여 물유리를 일종의 알칼리성 폐액으로 보아 물유리중의 알칼리를 산으로 중화해서 주입하면 공해면에서 안전하고, 더욱 그것이 겔화되는 것이라면 안전성 높은 지반고결법이 된다는 점에 착안한 것이다. 다행히 물유리중의 알칼리를 제거해서 산성영역으로 조정하면 실리카졸을 형성하며 그 자체가 늦거나 빠르게 겔화되는 성질을 지니고 있다.

이것을 주입목적에 적합한 Gel-time으로 조절시키

기 위해 알칼리성을 나타내는데, 이것을 주입공법에 응용하면 종래의 알카리 영역인 물유리계 약액과는 매우 다른 효과를 발휘하는 주입제가 된다.

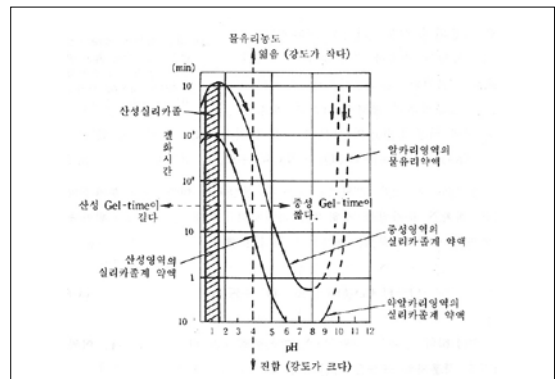


그림 1. 비알칼리성 실리카졸계 약액의 pH영역과 물유리농도, gel-time, 강도의 일반적인 경향

## 2. 실리카의 겔화의 원리

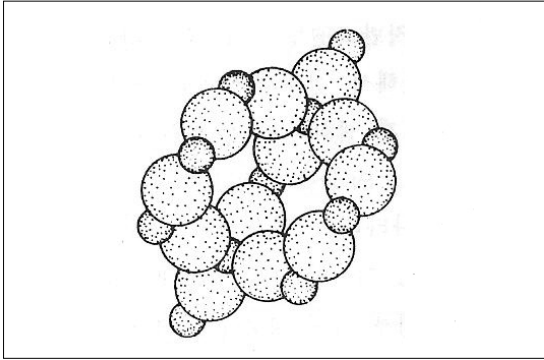
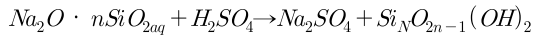


그림 2. 크리스토파라이트의 결정구조(작은원은 규소원자이고 큰원은 산소원자임, 규소원자 표면에 시라노르가 결합하고 있음)

실리카화합물은 암석의 주성분을 이루는 것이며, 예로서 크리스토파라이트의 결정구조를 그림에 나타내었다.

실리카졸을 이해하기 위해 가까운 예를 들면, 일상 생활에서 식품들의 용기중이나 의약품 정제의 병속에 백색결정과 같은 실리카겔이 건조제로 이용되고 있는 것을 흔히 볼 수 있다.

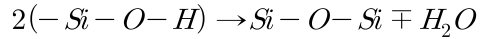
이 실리카겔은 실리카졸을 겔화하여 건조시켜서 얻은 것으로서 안전성이 매우 높은 흡착제로 사용되며, 식품, 의약품 이외에도 거의 모든 물질의 건조에 사용하고 일반적인 방습포장, 공기의 습도조절제로서 사용되고 있다. 이 실리카겔의 공업적 규모의 제조방법으로 산에 의한 물유리의 분해법이 현재 일반적으로 쓰여지고 있다.



상기의 반응식은 편의적인 것이며, 생성되는 규산은 여러 가지 분자량의 것이 있고 정확한 분자량을 구하기는 곤란하다. 이들 규산은 규소원자에 결합한 수산기(水酸基, 시라놀기)를 가진 수용액 중에서,



의 상태가 되며, 다소 이온화하는 미약한 산이된다. 이와같이 생성된 저분자량 규산은 시간과 함께,



의 식과 같이 분자간의 시라놀기의 축합 탈수반응에 의해 규산 산소결합체(시로키산 결합체)를 형성함으로써 3차원적인 시로키산 결합의 망눈구조를 만들면서 고분화해 나간다. 축합중합반응(縮合重合反應)으로 생성된 중합분자는 일정한 크기의 입자로 성장하여 콜로이드 입자로서 규산졸을 만든다.

이입자의 입경은  $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{cm}$ 로써 이것을 1차입자라고 부른다. 이들 1차입자는 더이상 고분자화 되지 않고 입자간에 시로키산 결합이 형성되어 1차입자의 2차결합체가 된다. 이 2차결합작용이 진행되면 마침내는 유동성을 잃고 젤상으로 고화된다. 겔화에 요하는 시간은 온도가 상승하거나 pH가 중성에 가까워짐에 따라 짧아진다. 이렇게 해서 얻어진 겔을 물로 씻어 건조탈수하면 규산의 에로겔(실리카겔)이 얻어져서 이것이 건조제등 흡착제로써 사용된다.

실리카졸계 약액은 현장에서 자동 제조 플랜트를 이용해서 산성중화제 수용액 중에 물유리를 가하여 산성 실리카졸을 만들어 이를 기본액으로 해서 산성실리카졸을 중성방향으로 이동시켜 겔화 촉진으로 지반을 고결한다.

종래의 물유리계 약액은 물유리가 주재이고 거기에 직접 산이나 소금을 경화제로 넣어 겔화시켰으나, 실리카졸계 약액은 산성중화제를 이용해서 물유리로부터 알칼리를 제거하여 얻어지는 산성 내지 중성 실리카졸계 약액을 주재로 이것을 겔화시키든가 혹은 여기에 겔화촉진제, 즉 물유리나 소금을 가하여 실리카졸을 중성영역으로 이행시켜 겔화시킨다. 전자를 직접법, 후자를 간접법으로 분류할 수 있다. 직접적인 경우에는 산은 경화제로써 사용되는데 반해 간접법의 경우는 산은 실리카졸을 만들기 위한 약액의 각종 특성을 발휘시킨다.

직접법에서 주재 pH가 12이상인 물유리이며 물유

리종의 실리카성분은 알칼리에 의해 용해되며 반응제와 혼합되어 지반 중에 주입된 후 실리카 성분에서는 콜로이드가 형성되어 겔화에 이르는 것이지만 간접법에 있어서는 pH가 산성영역 주재의 실리카졸 중에서 실리카성분은 이미 고분자화 되면서 콜로이드를 형성하기 시작하고 그 자체는 그대로 두면 콜로이드끼리 결합해서 곧 겔화되는 것이지만, 주입 전에 pH를 조정하든가 혹은 촉진제를 첨가하여 겔화를 촉진시키는 것이다.

겔화촉진제로써는 물유리(순결성 실리카졸 약액), 완결제(완결성 실리카졸 약액), 시멘트(현탁액 실리카졸 약액)가 사용된다.

### 3. 실리카졸계 약액의 종류와 시공법

실리카졸계 약액의 종류와 시공법은 아래 표 1, 2와 같다. 순결주입에 사용되는 실리카졸계 약액은 용액형이나 현탁액형 모두 통상 2중관 순결공법에 적용되고 있다.

복합주입공법에 적용되는 복합실리카졸계 약액은 2차주입으로서 Gel-time이 긴 실리카졸계 약액을 이용하는 것으로써, 이중관 더블팩커주입공법에서는 1차주입으로서 시멘트 벤토나이트 약액을 이용하고 이중관롯드 복합주입공법은 1차주입을 해서 순결 실리

카졸(용액형 또는 현탁액형)을 주입한다.

종래의 물유리 그라우트는 물유리가 주재료로, 그것에 직접 산이나 염을 경화제로 합류시켜 겔화시키는 것이었으나, 이것에 비해 실리카졸 그라우트는 산성 중화제를 사용한 물유리에서 알칼리를 제거하여 얻어

표 2. 복합주입공법에 사용되는 실리카졸 약액의 실례

공법명	1차주입	2차주입
이중관 더블팩커공법	(현탁액형 완결) CB, LW 하드라이저-SS-m	(용액형완결) 실리카이저 하드라이저-L
이중관롯드 복합주입공법 (유니팩공법 또는 멀티라이저 공법)	(용액형순결) (중성~약알칼리성) 실리카이저-S 하드라이저-S	(용액형순결) (약산성~중성) 실리카이저-L 하드라이저-L
	(현탁액형 순결) 실리카라이저-SS 하드라이저-SS	(용액형완결) 실리카이저 하드라이저-L
	(현탁액형 순결) 실리카라이저-SS 하드라이저-SS	(용액형순결) 실리카이저-S 하드라이저-S

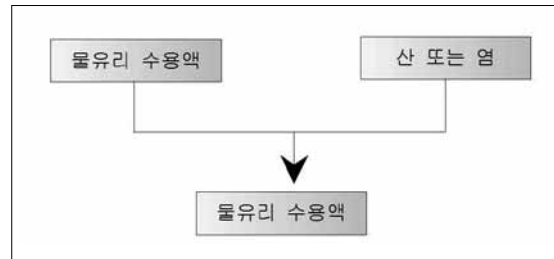


그림 3. 직접법에 따른 물유리 그라우트

표 1. 순결주입 및 단관롯드주입에 사용되는 실리카졸계 약액의 실례

토질	토질조건	공극율 (n)	충전율 (a)	주입율 (λ)
점성토	매우 연약~연약	60 ~ 70%	60 ~ 70%	≤ 50
사질토	세립토	45	80 ~ 100	≤ 45
	중립토	40		≤ 40
	조립토	35		≤ 35
모래자갈	자갈함유 50%이상	35	90 ~ 100	≤ 35
	자갈함유 50%이하	30		≤ 30

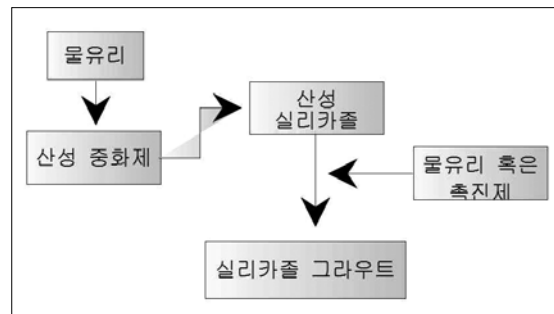


그림 4. 간접법에 따른 실리카졸 그라우트

낸 산성의 실리카졸을 주재로 하여, 이것에 알칼리성의 재료, 즉 물유리나 염을 경화제로 첨가하여 이 실리카졸을 중성영역으로 이동시켜 겔화 시키는 것이다.

이러한 점에서 전자를 직접법, 후자를 간접법으로 분류할 수 있다. 그림 3에 나타내는 것처럼 직접법의 경우에는 산은 경화제로 사용하는 것에 비해, 간접법은 그림 4에 나타내는 것처럼 산은 실리카졸을 만들기 위한 중화제로써 사용된다. 이것이 실리카졸 그라우트와 종래의 물유리 그라우트와의 특성의 차이를 나타내는 것이다.

직접법에 있어서는 주재는 pH가 12이상의 물유리로 물유리중의 실리카분은 알칼리에 의해 용해되고 반응제와 혼합하여 지반중에 주입된 후에 실리카분에서 콜로이드가 형성되어 겔화에 이르는 것이지만, 간접법은 pH가 산성영역의 주재인 실리카졸중의 실리카분은 앞서 그림과 같이 고분자화 하면서 콜로이드를 형성하기 시작하여 그 자체는 그대로 두면 콜로이드끼리 결합해서 곧 겔화되는 것이지만, 주입전에 pH를 조정하든가 혹은 촉진제를 첨가하여 겔화를 촉진시키는 것이다.

이러한 실리카졸 그라우트는 친환경적인 그라우트이지만 주재인 실리카졸의 제조과정중에 있어서 산성중화제를 사용하므로 공해방지를 위해 물유리의 알칼리를 제거하여 실리카졸을 제조할 때에 사용하는 산성중화제는 법규상 연한 유산에 상당하므로 극물로 지정되어져 있고, 그 취급은 법규를 따르지 않으면 안된다.

이것은 일반의 건설현장에서 알칼리성 폐액에 의한 공해를 방지하기 위하여 폐액을 중화 처리하여 배수하는 경우의 유산 취급과 같은 것이다.

따라서 실리카졸 그라우트를 적용할 때에는 이상의 점을 유의하여 산성중화제의 취급설명서에 의해 관리하고 있다. 또한 본 공법에서는 급속하게 진보하고 있는 기술을 이용하여 실리카졸 자동제조 시스템을 이용하여 대부분의 조작을 손을 거치지 않고 자동적으로 이루어져 산성중화제의 취급이 안전하고 정확해져 현장에서도 연속적인 실리카졸이 제조되어지게 되었다.

## 4. 실리카졸 그라우트(CSS공법)의 설계

### 4.1 개량강도 및 투수계수 선정

약액주입에 따른 지반의 강화는 지반의 점착력 증가로써 나타나며, 차수성은 유효공극을 그라우트재가 충전함으로써 지반의 투수성을 저하시킴으로서 발현된다. 그러나 이러한 효과는 지반의 특성이 현장 여건에 따라 상이한 값을 지니는 것이 일반적이다. 다만, 약액주입에 따른 효과는 대상지반과 주입율에 따른 것으로 점착력의 증가는 사질토의 경우 그림 6을, 점성토의 경우 표 4를 참고하여 적용하는 것이 일반적이며, 투수계수는 그림 7을 기준으로 적용하는 것이 일반적이다.

표 3. 실리카졸 그라우트의 분석결과

유해 기준		실리카졸 그라우트의 주입액
유해금속	허용한도(ppm)	
납	1.0	허용한도 이하
카드늄	0.1	허용한도 이하
크롬	0.6	허용한도 이하
비소	0.5	허용한도 이하
총수은	0.005	허용한도 이하

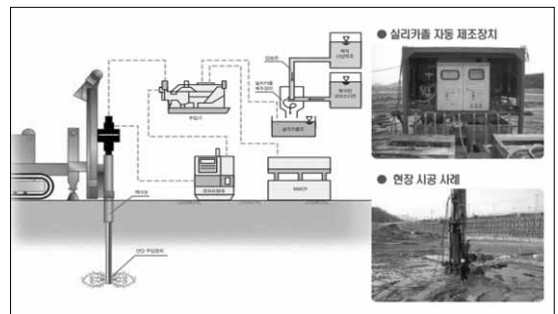


그림 5. 실리카졸 자동제조장치

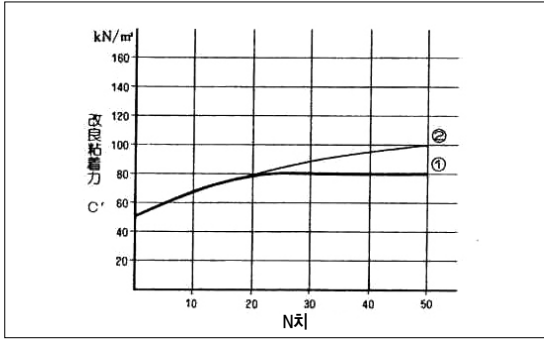


그림 6. 점착력 증가량(주입율 35%이상)

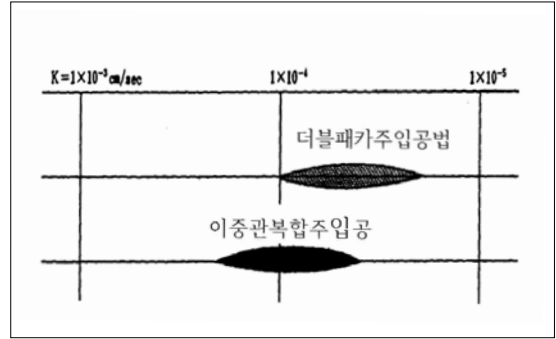


그림 7. 개량 후 투수계수

표 4. 점성토의 점착력 증가

구 분	점착력 증가량	비 고
이중관 복합주입공법	현지반의 점착력 + 10 kN/m <sup>2</sup> ( 40 kN/m <sup>2</sup> 이하 )	주입율 30 % 이상

※ 주) 日本 그라우트 협회 제공 자료 참고

## 4.2 주입량 산정

- ① 주입량의 계산 방법은 아래의 식을 이용하여 산정한다.

$$Q = V * \lambda * J$$

여기서 Q: 주입량

V: 주입대상 토량 (m<sup>3</sup>)

λ: 주입율

J: 중요도율

상기 식에서 주입율은 단위당의 주입대상 토량의 비율로 주입재를 주입 시키는 수치로 다음과 같이 산정한다.

- ② 사질토의 경우

- 지반의 간극률을 확인할 수 있는 경우

$$\lambda = n * \alpha$$

여기서 λ: 주입율

n: 지반의 간극률

α: 주입재의 충전율

α는 효과적인 주입을 하기 위해 100% 이상의 수치

를 확보한다.

- ③ 점성토의 경우

점성토는 할렬주입 되므로 주입율을 흙의 간극률부터 구하며, 주입율은 과거의 실적으로부터 경험적으로 필요한 수치를 설정한다.

약액주입에 따른 지반강화 매커니즘은 다음과 같다.

- (1) 사질토의 경우

① 상대밀도의 연약, 또는 중간의 비교적 연약 지반에 비해 점착력을 증가하여 원지반의 강도를 증가시켜 지반 강화

② 상대밀도가 단단한 지반에 있어서는 토립자 간에 침투시켜 단단하게 하나 토립자간의 배열은 변하지 않음에 따라 지반이 연약되어지는 영향을 줄임으로써 지반 강화된다.

(2) 점성토는 N치 5이하의 연약한 지반에서는 지반중에 할렬시켜 지반의 압밀 효과와 약액의 고화에 따른 강도증가를 기대할 수 있으나 N치가 5를 넘는 지반에서는 기대할 수 없다.

## 5. 실리카졸 그라우트(CSS공법) 특성

표 5. 공법특징

실리카졸 이용한 공법의 특성		
<ul style="list-style-type: none"> <li>① 비알칼리성(Silica-Sol계)반응제를 사용하여 지하수 오염 없는 친환경 공법.</li> <li>② 2.0Shot 방식으로 주입하므로 Gel-time조절이 용이한 차수공법임.</li> <li>③ 알칼리 용탈현상이 없고, 내구성 및 장기강도 우수한 지반보강공법임.</li> <li>④ 식물에 의한 영향 : 논벼의 식물줄기 강화 및 병충해 방지 특성.</li> </ul>		

## 6. 실리카졸 그라우트를 이용한 약액주입 (CSS-용액형) 시공사례

### 6.1. 서울지하철 9호선 000공구 실드TBM굴진구간 지반보강공사

2중관 Rod를 사용하여 비알칼리성(Silica-sol계) 반현탁액형 및 용액형 Grout를 연약지반에 중저압(1Mpa내외)으로 주입하여 실리카졸 자동제조장치를 이용하여 지반을 개량하는 차수 및 지반보강 그라우팅 공법



그림 8. 서울지하철 9호선 000공구 TBM굴진구간 지반보강 위치도

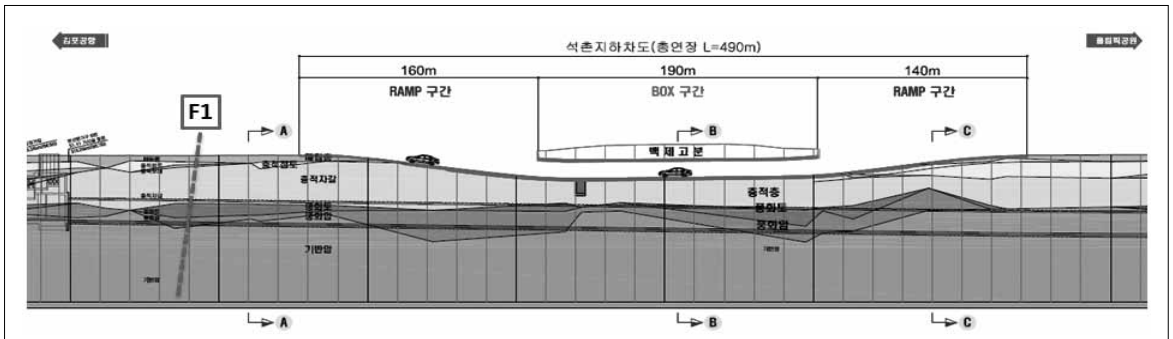


그림 9. 구간별 지반현황도

표 6. 구간별 지반현황도

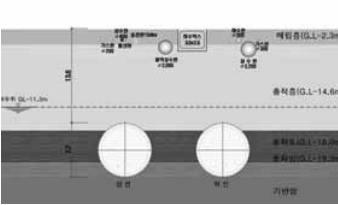
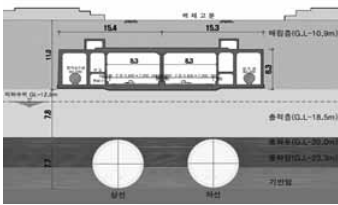
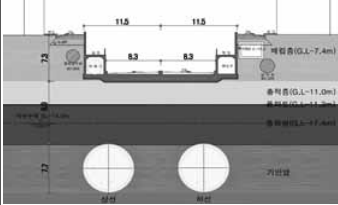
구분	도로구간(A-A)	BOX구간(B-B)	U-Type구간(C-C)
단면도			
토 피고	13.6m	18.8m	17.2m
통과지층	복합지층 (중적층+풍화토+풍화암+기반암)	복합지층 (중적층+풍화암+연암)	기반암 (연암)
지하수위	GL-11.3m	GL-12.9m	GL-14.0m

표 7. CSS공법(용액형) 시공개요

구분		C.S.S 공법	비고
사용 약액	배합	용액형	불시판트
	Gel-Time	30초 ~ 2분	
주입 방법	파카 수틴	주입약액의 결화 (순결)	
	주입 방식	20 Shot	
	주입 스텝	25 ~ 50 cm	
	주입 순서	스텝업 or 스텝다운	
	주입 속도	8 ~ 16 t/min (표준 12t/min)	
	주입 압력	10kg/cm <sup>2</sup>	
주입 설비	로드경	특수 이중관 로드	
	주입관 설치법	소형 보링기	

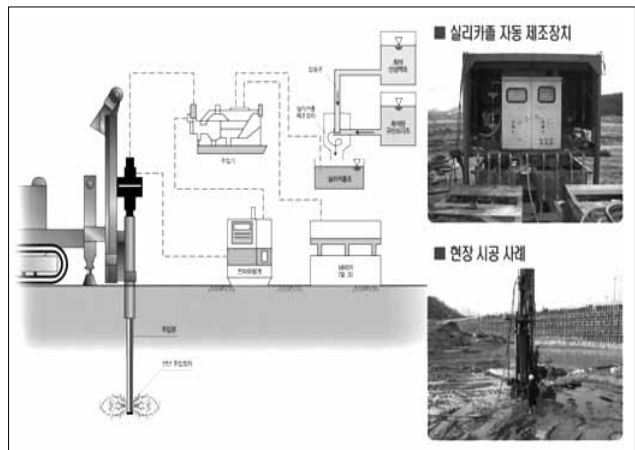


그림 10. 그라우팅 주입 계통도

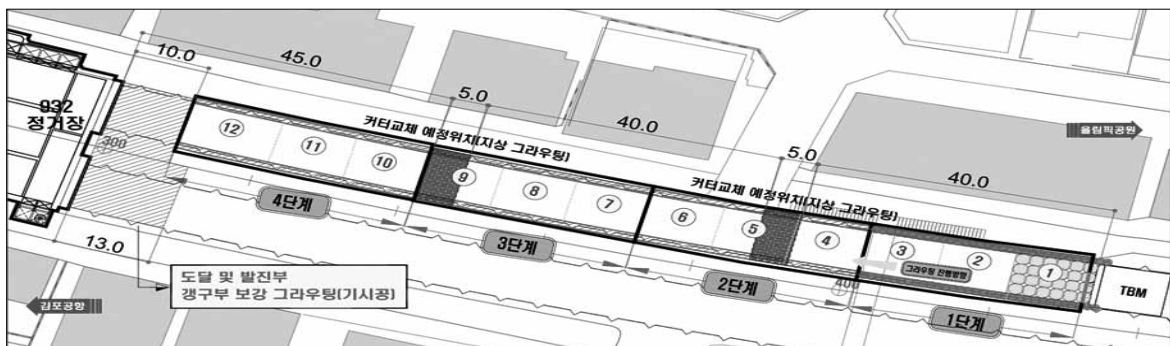


그림 11. 차수보강(CSS-용액형)평면도

셧드추진구간이 상부는 충적층(모래자갈)이고 지하 수위보다 낮은 구간에서 추진시 주변지반 변위에 따른 밀집된 도심지의 주변건물의 영향 및 TBM추진시 시공 안정성등의 검토에 의해 시험시공을 통한 가장 적합한 차수보강공법이 본 구간에 채택되어 시공되고 있다.

투수성이 매우 좋은지층으로 Gel-time조절이 용이 하고 주입재의 지반 침투력이 양호한 용탈현상 없는 친환경 공법으로 선정되었다.

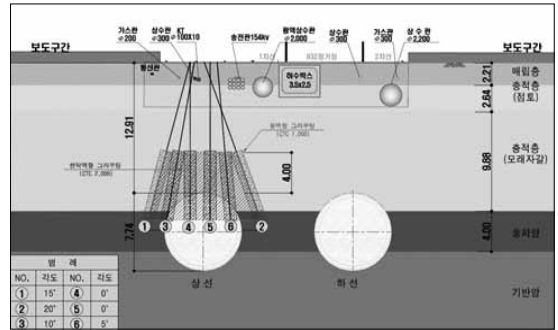


그림 12. 차수보강(CSS-용액형)단면도

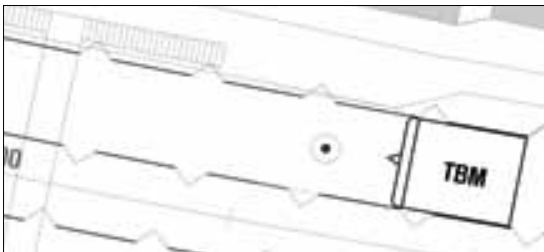


왕복 6차선

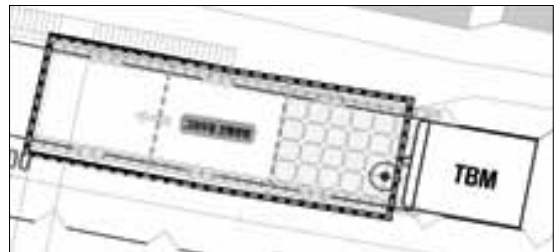


지하차도 진출입부 및 보도육교 산재

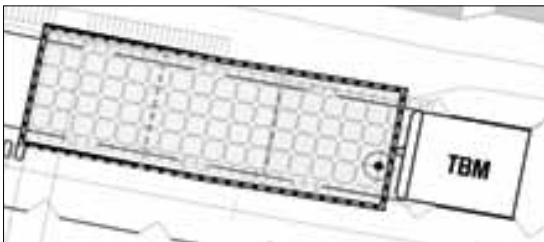
그림 13. 공사 주변 현황



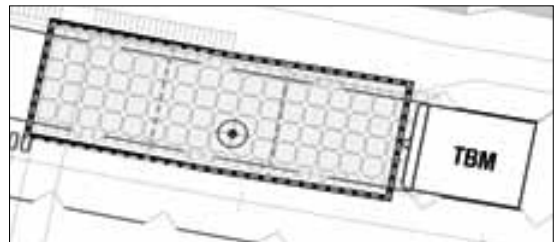
1. 그라우팅 시공전 원지반 투수시험



2. 10m 그라우팅 시공후 확산범위 확인 투수시험



3. 1단계 그라우팅 완료



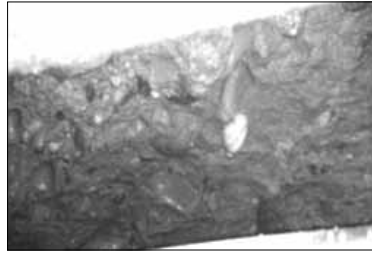
4. 투수시험 미확인시 30m구간 그라우팅 시공후 투수시험 재시험

그림 14. CSS공법-용액형 단계별 시공순서





시공전경



시공후 터널 굴착단면 그라우팅 효과확인

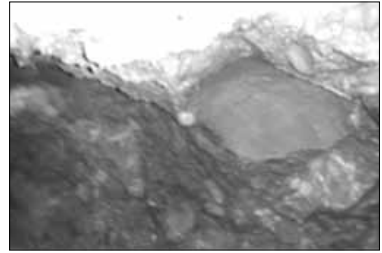


그림 15. 서울 지하철 시공전경 및 그라우팅 효과확인

## 6.2. 인천국제공항 제 2여객터미널 연결철도 TRcM구간 지반보강공사

### (1) 공사개요

공항올타리 내측 제3활주로 남측과 87m 이격하여 녹지 하부를 통과하는 구간으로 항공기 이착륙 운항에 영향이 없는 TRcM공법(비개착공법) 적용됨.

### (2) 공사목적

TRcM구간 갤러리관 추진중 확인시추조사 결과 주

변설계시 파악되지 않은 쇄석층, 매립층이 G.L.-6.5m ~ G.L.-8.5m정도까지 분포하고 있으며, 지하수위가 G.L.-5.4m ~ G.L.-6.0m에 위치하고 있어 갤러리관 및 슬라브관 추진시 지하수가 다량 유출되어 지반침하가 발생될 우려가 있으므로 차수 및 지반보강시공하여 TRcM 갤러리관 및 슬라브관을 원활히 추진하기 위함.

### (3) TRcM상부 차수 및 지반보강 그라우팅 실시

갤러리관 ②번 172.0m 지점 기존 공항철도 구조물의 매립층을 통한 지하수가 다량 유출 됨에 따라 지

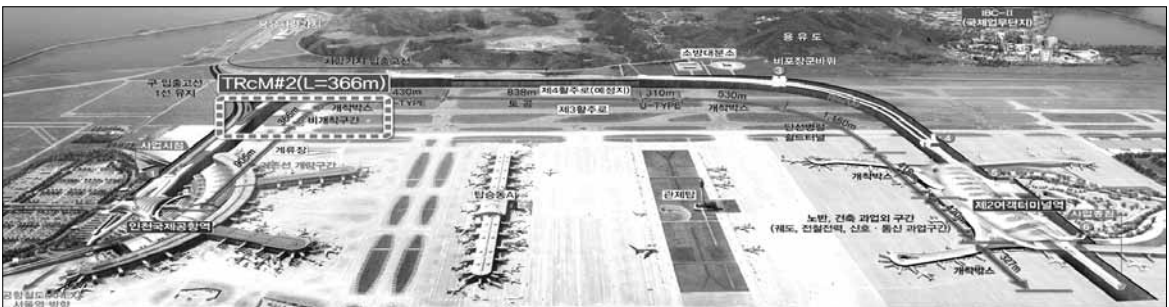


그림 16. 인천국제공항 제2여객터미널 연결철도 TRcM구간 지반보강 위치도

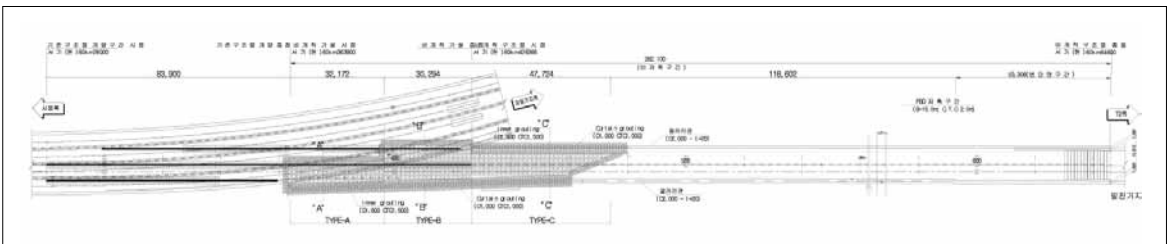
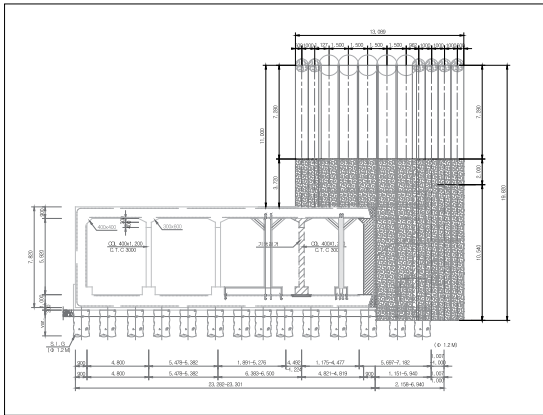
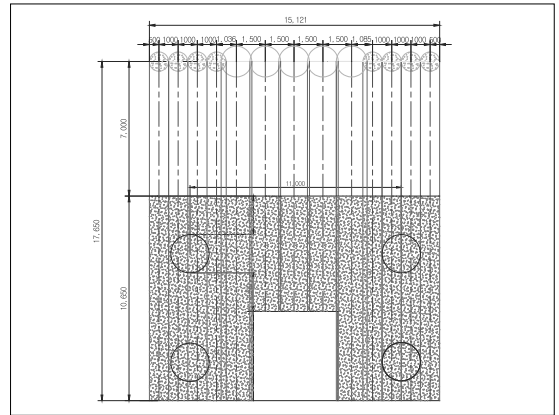


그림 17. 지반보강 평면도



대표단면 A

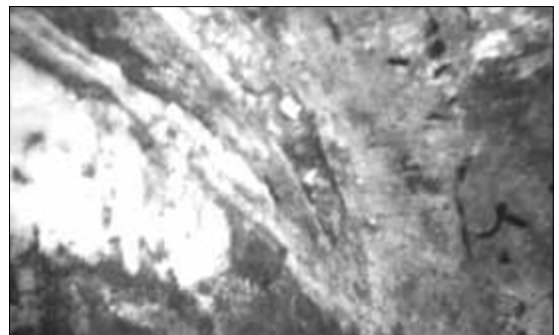


대표단면 C

그림 18. 지반보강 단면도



시공 전



시공 후

그림 19. 그라우팅 효과확인

상 지반침하 방지를 위하여 STA. 60km 360~60km 480(L=120m, B=19.0~8.0m) 구간에 차수 및 지반보강 그라우팅을 실시하였다.

## 7. 차수 및 지반보강공법 비교검토

표 8과 같다.

표 8.

구분	C.S.S공법 (Compound Silica Sol)	L.W공법 (Labiles Wasserglass)	S.G.R 공법 (Space Grouting Rocket system)
개요도			

표 8. (계속)

구분	C.S.S공법 (Compound Silica Sol)	L.W공법 (Labiles Wasserglass)	S.G.R 공법 (Space Grouting Rocket system)
공법 개요	• 이중관 룯드를 사용하여 지반천공 후 비알칼리성(silica-sol계) 반현탁액형 및 용액형 grout를 연약지반에 주입하여 지반을 개량하는 차수 및 지반보강 그라우팅 공법	• 지반천공 후 1.5shot방식의 manjet tube를 삽입하여 double packer를 설치, 주입재를 지중에 주입하는 공법	• 지반천공 후 2.0shot방식으로 이중관 주입 룯드에 특수선단장치(rocket)를 결합시켜 대상지반에 유도공간을 형성시켜 Grout를 유도하면서 주입재를 주입하는 공법
주입 재료	• 시멘트, 물유리수용액(규산소다 3호) • 실리카졸, 보조제(벤토나이트/염화칼슘)	• 시멘트, 벤토나이트 • 물유리수용액(규산소다 3호)	• 시멘트, Gel-Time 조절제 • 물유리수용액(규산소다 3호)
적용 지반	• 사질토, 점성토지반	• 투수계수가 큰 모든 토사지반	• 조밀한 세립사, 실트질 점토를 제외한 모든 토사 지반.
적용목적	• 차수 및 지반보강	• 지반보강	• 차수
주입압	• 간극수압≤주입압 ≤ (3~5)×간극수압	• 간극수압 ≤ 주입압 ≤ (3~5)×간극수압	• 간극수압≤주입압 ≤ (3~5)×간극수압
투수계수	$K = 10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ cm/sec}$	$K = 10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$	$K = 10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$
장점	• 장비가 소형 협소한 장소에서 시공 가능 • 비알칼리성(silica sol계) 반응제를 사용하여 지하수 오염이 없는 친환경적인 공법 • 2.0shot 방식으로 gel-time조절이 용이함. • 알칼리 용탈 현상이 없으므로 내구성 및 장기강도 우수함.	• 장비가 소형이므로 협소한 장소에서 시공 가능 • 멘젯튜브가 삽입되므로 측압에 의한 역지말뚝효과 • 국내 시공실적이 많음	• 급결, 완결의 이중관 룯드의 복합 주입 형태. • 대상토질에 따라 gel-time 조절이 용이함 • 장비가 소형이므로 작업공간이 적게 소요 • 국내 시공실적이 많음
단점	• 실리카졸 자동제조장치 작동에 있어 다소 숙련공 필요 • 유산등의 취급상 안전관리 유의	• 근접공 주입시 주입압에 의한 멘젯튜브 휨 현상으로 double packer를 장착한 주입내관 삽입이 곤란함 • 겔타임이 늦어 대수층에서 재료손실이 많고 차수효과가 불확실함 • 6가크롬(Cr6+) 검출과 규산소다의 알칼리용탈로 지하수 및 환경오염의 영향	• rocket system과 유도공간 형성으로 주입재의 침투성이 양호한 공법이나 시멘트를 혼합한 현탁액형으로 주입할 경우 rocket system이 자주 막혀 사용하기 곤란함 • 규산소다의 알칼리용탈로 인해 내구성이 적다. • 6가크롬(Cr6+) 검출과 규산소다의 알칼리용탈로 지하수 및 환경오염의 영향
검토 조건	주입대상 지층이 매립층인 사력층과 퇴적층인 실트질 점토로 구성되어 있고, 겔타임 조절로 침투주입 및 충전주입이 가능한 용액형 주입과, 비알칼리계 약액 사용으로 지하수나 토양오염이 적으며 용탈현상이 적어 내구성이 양호한 공법 선정.		

## 8. 실리카졸 그라우트 공법의 특징

표 9와 같다.

표 9.

구분		비알칼리성과 실리카졸 그라우트	
주입 효과에 관한 특성	겔화시간과 고결 모래강도(kg/cm <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 겔화시간 : 수초 ~ 수시간</li> <li>• 강도 : 2.5 ~ 14kg/cm<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 통상 중성영역 강도 : 2.5 ~ 5kg/cm<sup>2</sup> 겔화시간 : 수초 ~ 수분</li> <li>• 통상 산성영역 강도 : 2.5 ~ 8kg/cm<sup>2</sup> 겔화시간 : 수분 ~ 수시간</li> </ul>
	침투성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 초기점성은 낮고 (1.2~2.4cp/20℃) 겔화직전까지 점도변화는 거의 없음</li> <li>• 통상초기 점도는 1.6~1.8cp/20℃</li> </ul>	
	지수성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>k=10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}</math> 까지 저감</li> </ul>	

표 9. (계속)

구 분		비알칼리성과 실리카졸 그라우트	
주입 효과에 관한 특성	지하수의 희석에 따른 지수성과 고결성	희석에 의한 겔타입의 연장	• 적다 ( 1.4배로 희석되어, 겔타입은 3배로 됨 )
		희석에 의한 고결성	• 50배로 희석하여도 실리카분은 겔화하는 능력을 가지고 있다.
		고 결 율	• 정수(靜水)중은 물론, 동수(動水)중의 고결율도 매우 높다.
	지하수의 수질에 따른 고결성		• 해수 등 지하수의 수질이 고결성에 악영향을 주지 않음.
	고결물의 내구성	수 축	• 겔의 체적변화는 적음.
		용 탈	• 용탈은 거의 발견되지 않았음.
		강 도 변 화	• 거의 발견되지 않았음.
		내 구 성	• 매우 뛰어나함.
지하수 오염에 대한 안전성	겔화물의 독성시험	독 성 시 험	• 랫트에 대한 시험결과 독성은 발견되지 않았음.
		어 독 시 험	• 송사리로 한 실험결과 독성은 발견되지 않았음.
		식물에 의한 영향	• 논벼의 발아에는 영향이 발견되지 않음.
	환 경 보전성	지반내에서의 확실한 고결성	• 지하수의 희석에 의한 지수성과 고결성은 뛰어나므로 주입 후에도 확실히 고결, 미고결액 이 용수를 오염시킬 염려는 없음.
		지하수에 대한 영향	• 주입액 혹은 고결물이 거의 중성 영역에 있으므로 지하수의 pH 변화를 초래하지 않는다. 또, 유기 반응제를 포함하고 있지 않으므로 BOD, COD의 변화도 발생하지 않음.
		어패류, 식물에 의한 영향	• 전술의 독성시험 결과 문제 없음.
		타용수의 영향	• 실용상의 영향은 없음.

## 9. 실리카졸 그라우트의 향후의 전망

현재, 국내에서 쓰여지고 있는 주입공법으로는 물유리계 약액(LW, SGR등), 우레탄, 고압분사주입등이 단독으로 또는 2~3가지가 병행되어 쓰이고 있으나, 일본 등 선진국에서는 이보다 훨씬 개선 발전된 주입약액과 주입공법, 즉 내구성이 우수한 실리카졸계등 여러 가지 주입공법이 많이 쓰이고 있다.

차수 및 지반보강에 있어 물유리계 약액을 이용한 주입공법은 알칼리용탈에 의한 내구성의 저하, 강도 약화등의 문제점으로 그 안전성에 논란이 되어 왔다. 또한 물유리계 규산질 재료는 지하수를 오염시키는 문제를 발생하기도 한다.

이에 대한 대안으로써 실리카졸을 이용하는 실리카졸계 약액주입공법이 출현하여 일본을 비롯한 선진 외국에서는 보편화되어 많은 시공실적을 보이고 있다.

국내에서는 실제로는 약액성분상의 다소간의 상이성, 시공방법 및 장비에 있어서의 차이점을 갖는 각기 다른 명칭으로 불리우는 수십여종의 실리카졸 공법이 시행되고 있는 실정이다. 그러나 실리카졸 제조를 통한 적합한 겔화시간을 얻지 못하고 그로인한 실리카졸의 특성을 제대로 살리지 못하면서 기존 약액공법과 차별성 없이 큰 장점과 기술력을 인정받지 못하며 진행되어 온 것이 현실이다.

비알칼리성 실리카졸 약액은 앞서 언급했듯이 공해문제를 계기로 개발되어 그 안전성이 익히 알려져 있다. 침투성, 차수성, 내구성, 정수중에 있어서의 확실한 고결성등이 우수하기 때문에 지층에 적합한 설계검토와 정확한 실리카졸 자동제조장치의 전문적인 지식과 기술력, 그리고 숙련된 기술인력을 바탕으로 시공에 임한다면 국내 지반보강의 한단계 상승된 발전이 이루어 지리라 본다.

이에 본 연구는 최근 2014년부터 시공하고 있는 “서울지하철 9호선 000공구현장, 인천국제공항 제2여객터미널 000현장” 등의 현장 실례를 소개했듯이 고결의 불연속면 부분에서의 많은 용수발생에 따른 토사의 분출로 설드추진이 어려운 지층에서 실리카졸을 이용한 그라우트 공법으로 그 우수성을 평가받고 있다.

따라서 본 기술을 보유한 CS지오텍(주)에서는 실리카졸을 이용해서 향후 약액주입외에도 고압분사주입을 포함한 다양한 지반보강 분야에 적용될 수 있음에 그기술개발의 노력을 아끼지 않고 있기에 실리카졸을 이용한 친환경 그라우트 기술이 재조명 되길 바란다.

## 참 고 문 헌

1. 日本 米倉亮三(요네쿠라 료우조우)동양대학, 島田俊介(시마다 준스케) 強化土엔지니어링(주), “약액 주입에 따른 장기내구성 연구(Long Term Durability of Chemical Grouts)” 논문
2. 日本, 강화토 엔지니어링 (주) 農博 기술사 島田俊介, 라이트 공업(주) 多久 實, 삼신건설공업(주) 江口博昭, “비알칼리성 SILICASOL GROUT를 사용한 지반주입공법과 시공사례” 월간 토목시공 1983년 2월호
3. 천병식, “건설기술자를 위한 지반주입공법”
4. 사단법인 일본 그라우트 협회, “약액주입공 설계자료”, 2004년

# 2015 한국지반공학회 가을학술발표회

## - 대한토목학회와 공동 개최 -

2015년도 한국지반공학회 가을학술발표회를 군산새만금컨벤션센터에서 10월 28일(수)~30일(금), 대한토목학회와 공동으로 개최하며 등록비는 대한토목학회 정회원과 동등하게 적용됩니다. 회원 여러분의 많은 참여 바랍니다.

- 안 내 -

### ○ 일 정

- 행사기간 : 2015년 10월 28일(수) ~ 30일(금)
- 지반분야 논문발표 : 2015년 10월 29일(목)
- 현장견학 : 2015년 10월 30일(금) / 선착순 40명

### ○ 장 소

GSCO(군산새만금컨벤션센터, 전라북도 군산시 새만금북로 437)

### ○ 자세한 사항은 대한토목학회 2015 정기학술발표회 홈페이지 참조

<http://conf2015.ksce.or.kr/main/ConfMenu.asp>

한국지반공학회 학술전담이사 이용주