

## 합성실리카 그라우트재의 공학적 특성

### Engineering Properties of Composite Silicate Grout Materials

천 병 식\*<sup>1</sup> Chun, Byung-Sik

양 형 철\*<sup>2</sup> Yang, Hyung-Chil

#### Abstract

The engineering properties of composite silicate grout materials that were developed recently were analyzed. In this laboratory tests, OPC (Ordinary Portland Cement) was mainly used as grout materials. Moreover, the properties of composite silica, silica sol and sodium silicate (No. 3) acting as coagulating agent were analyzed and compared with each other. For the purpose of finding the engineering properties of composite silicate grout materials, various physical and chemical tests were performed : naked eye measurement, photographing by using SEM, uniaxial compression test and in-situ application test. A series of test results showed that the strength of composite silicate grout materials was about 3~6 times that of ordinary sodium silicate grout materials in 6~24hr. Especially, based on the evaluation of the application of JS-CGM grout to the construction fields, composite silicate grout would be very effective in reducing the coefficient of permeability.

#### 요 지

본 연구는 최근 개발된 합성실리카 그라우트재의 공학적 특성을 규명한 것으로서 연구에 사용된 그라우트재는 보통포틀랜드시멘트를 주로 사용하였으며, 응결제인 합성실리카, 실리카졸, 규산나트륨 3호에 대한 특성을 분석하였다. 공학적 특성을 파악하기 위하여 육안관측, SEM촬영, 일축압축강도시험과 현장적용성 시험 등을 실시하였다. 이상과 같은 일련의 시험들에 의한 결과, 일반적인 규산나트륨 3호의 겔보다 합성실리카의 겔이 단시간(6~24시간)내에 일축압축강도가 3~6배정도의 고강도로 나타났다. 특히 JS-CGM Grouting에 의한 현장적용성 평가에 있어서 합성실리카 그라우트재는 차수공법용 주입재로써 상당한 투수계수 저감효과가 있음을 확인하였다.

**Keywords :** Composite silicate grout, JS-CGM Grout, Permeability, Silica sol, Sodium silicate (No. 3)

#### 1. 서 론

현탁액형 주입재의 주류를 이루고 있는 규산나트륨 3호는 시멘트와의 겔화 반응 후에 규산나트륨 3호에 포함되어 있는 알카리가 지하수와 접촉하면서 실리카 겔 및 시멘트 수화경화물 이외의 반응 및 미반응 생성물을

수중에 용탈되게 하는 성질이 있으며, 이로 인해 항구 그라우팅용으로 적용하는 데에 문제점이 있는 것으로 밝혀졌다(천병식, 1998; 천병식 외, 1994).

이러한 점을 개선하기 위하여 규산나트륨 3호에서 알카리 산화물을 중화시키고 아울러 당종의 알카리 산화물을 적정 혼합시켜서 합성실리카를 개발하였다. 합

\*1 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 (Member, professor, Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ., hengdang@unitel.co.kr)

\*2 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (Member, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.)

성실리카와 시멘트의 homo-gel 강도 특성을 검토해 보면 규산나트륨 3호와 시멘트의 homo-gel 강도 발현시기 보다 조기에 고강도가 발현되는 특성을 나타내고 있다.

이에 본 연구에서는 합성실리카의 산화나트륨 농도와 전기적 중성으로 생성된 계면활성제간의 상관성이 합성실리카-시멘트 경화체의 고결 특성에 미치는 영향을 파악하고자, 합성실리카의 농도별 압축강도 시험을 실시하였고, 시험자료를 토대로 합성실리카의 공학적 특성을 분석·검토하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 콜로이드의 안정과 응집

Rumpf는 분체입자의 고체 표면간에 작용하는 힘을 표 1과 같이 분류하였다(日本分技研, 1976).

분자 간에는 보편적인 인력이 있으며, 이것을 van der Waals의 힘이라고 한다.

Hamalser는 분자집합체인 입자 간에도 그림 1과 같이 보편적인 인력이 있는 것으로 가정하여 분자간 인력의 에너지  $V_A$ 에 관한 식 (1)을 도출하였다(국윤환 외, 1983).

$$V_A = \frac{-A \cdot a}{12h} \quad (1)$$

표 1. 입자간에 작용하는 힘

입자간에 개재물이 없을 때	Van der Waals 력	
	정전기력 지력	
입자간에 개재물이 있을 때	액막에 의한 가교	
	정착물질의 존재	
	고결	고화되는 결합제
		소결 결정석출

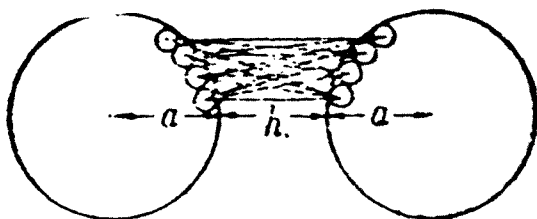


그림 1. 두 입자간의 상호작용을 고려할 경우 h를 취하는 방법과 분자간격(0는 입자를 구성하는 일부의 분자를 나타낸다)

여기서, A : 입자종류에 의한 상수

a : 입자의 반지름

h : 입자 간의 거리

Derjaguin, Landau, Verwey, Overbeek(약하여 DLVO로 표기한다)은 전기 2중층을 가진 2개의 입자가 접근했을 때 어떤 힘이 작용하는가를 계산하여, 이것과 식 (1)을 조합하여 DLVO 이론을 정립하였다.

그림 2와 같은 전기 2중층을 가진 판상입자 A, B(그림 2(a))가 접근하면 각 개의 이온인, 2중층 전위가 겹쳐지기 시작한다(그림 2(b)). 같은 종류의 전하의 중첩은 무리이므로 반발력이 작용한다. 이 반발력이 구상입자일 경우에 이 반발력의 에너지  $V_R$ 은 근사적으로 도출된다(국윤환 외, 1983).

$$V_R = \frac{\epsilon a \zeta^2}{2} e^{-kh} \quad (2)$$

여기서,  $\epsilon$  : 유전력

$\zeta$  : 제타전위

a : 입자의 반지름

k : 상수

h : 입자간의 거리

그림 3과 같이 전기2중층이 있으면 반발력이 작용하고, 한편 입자간에는 보편적인 인력이 작용한다. 만일 k가 커져서 2중층이 축소되던가  $|\zeta|$ 가 작아지면 입자간의 반발력이 감소된다. 그리고 반발력이 멀리까지 미치지 못하면 입자와 극히 가까운 곳 밖에는 작용하지

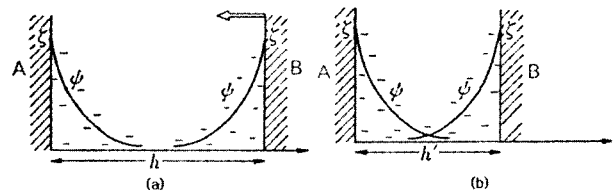


그림 2. 판상입자 A, B와 반발력 에너지

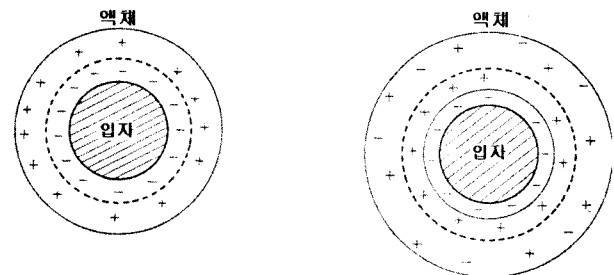


그림 3. 전기 2중층 모델(日本窯業協會, 1974)

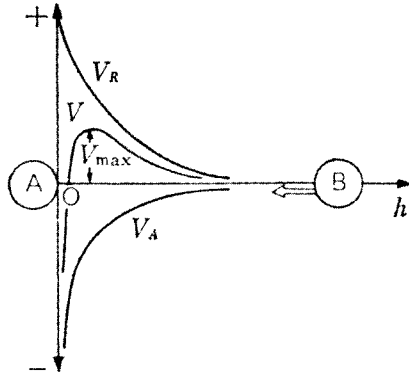


그림 4. 반발력에너지( $V_R$ ), 인력의 에너지 ( $V_A$ ),  $V = V_R + V_A$ 라는 3개의 에너지 곡선의 입자간 거리( $h$ )에 의한 변화

못하므로 입자는 서로 그 인력의 작용권 내에 들어갈 수 있다. 만일 여기서 인력이 반발력 보다 우세하면 응집하게 된다. 이 정성적인 기술을 식 (1), (2)를 조합하여 정량적으로 표현한 것이 DLVO의 이론이다(국윤환 외, 1983; 日本分技研, 1976).

그림 4에서 원점에 입자 A를 놓고, 다른 입자 B가 향축을 따라서 오른쪽으로부터 A에 접근하고  $V$ 가  $V_{max}$ 라는 에너지장벽을 가진다면, B는 A에 접근(응집하는 것)하려는 데 대해 방해받는다. 이 장벽이 높을수록 응집하기가 어려워져 입자콜로이드의 수명이 연장된다. 그러나 이 에너지장벽이 낮아짐에 따라 응집하기 쉬워져  $V_{max} \leq 0$ 이 되면 응집은 방해받지 않고 곧 응집하게 된다(국윤환 외, 1983; 島田 外, 1982).

## 2.2 합성실리카의 조성과 겔화반응의 원리

### 2.2.1 합성실리카의 조성

합성실리카는 산성 실리카졸의 제조방법과 동일하며 산성액 중에 규산나트륨 용액을 첨가하여 제조한다. 산성 실리카졸은 일정시간이 경과하면 겔화하는 특성이 있어서 제조 후 장시간 보관에 난점이 있는데 비해, 합성실리카는 규산나트륨을 원료로 사용하나 제조 후 장기간 보관할 수 있어 공장에서 제조하여 시공현장에 공급할 수 있는 전혀 다른 특성을 보이고 있으므로 규산나트륨 3호와 구분케 하기 위하여 합성실리카라고 명명하였다(島田 外, 1988).

#### ① 규산나트륨 수용액의 특성

규산나트륨은 산화나트륨과 무수규산가 여러 가지 비율로 결합되어 있으며, 분자식은  $Na_2O \cdot nSiO_2$ ( $n$ : 몰비)로 표시되며 수용액에서는 식 (3), (4)와 같이 반응하며

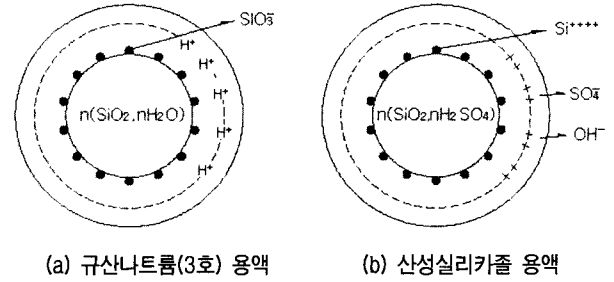
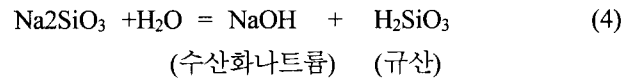
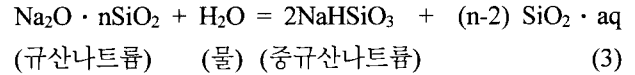
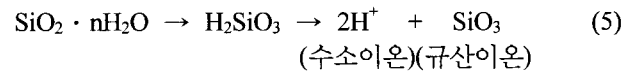


그림 5. 전기적 이중층의 생성

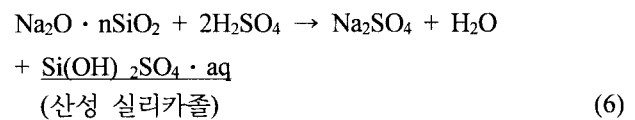


콜로이드의 화학적 반응은 식 (5)와 그림 5(a)와 같이 대전되는 것으로 고려되어 있다(紫崎, 1982; 島田 外, 1988; 米倉 外, 2000).

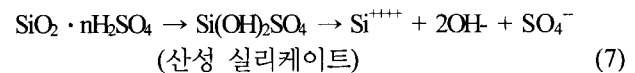


#### ② 산성 실리카졸의 특성

산성 실리카졸은 산과 식 (6)과 같이 반응하며



콜로이드의 화학적 반응은 그림 5(b)와 같이 대전되는 것으로 고려되고 있다(紫崎, 1982; 島田 外, 1988; 米倉 外, 2000).



#### ③ 합성실리카의 특성

합성실리카의 pH가 11~12 상태이므로 그림 5(a), (b)의 사이에서 그림 5(a)의 (-)로 대전되고 있으나 합성실리카 속의 전해질이 시멘트입자에 흡착되어 stern층을 형성시킬 수 있는 전기적 중성상태로 존재한다(島田 外, 1988; 米倉 外, 2000).

### 2.2.2 겔화반응의 원리

합성실리카 희석액과 시멘트 현탁액을 혼합하면 시멘트의 수화 주성분인 수산화칼슘이 합성실리카의 규

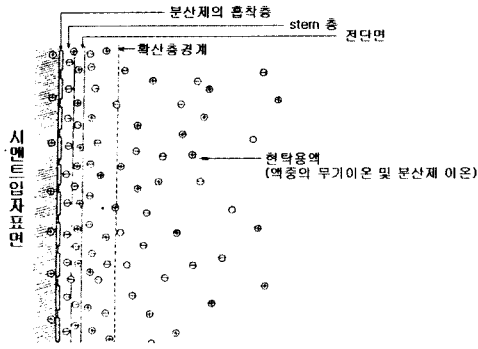


그림 6. 전해질 이온을 흡착한 시멘트 입자의 확산 전기 2중층 모델(日本分技研, 1976)

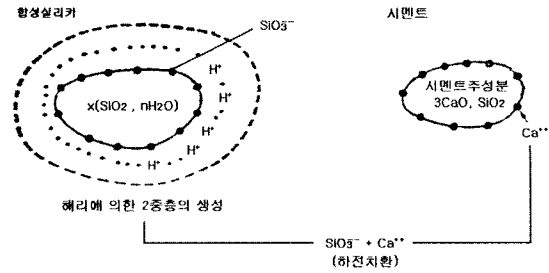
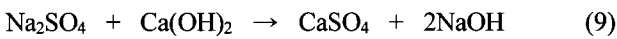
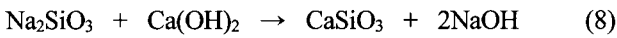


그림 7. 합성실리카-시멘트계 겔화기구(紫崎 外, 1982)

산 및 전해질과 결합하여 시멘트-실리케이트 겔이 생성되며 겔화 반응의 원리는 식 (8), (9), (10)과 그림 7과 같이 추정된다(紫崎 外, 1982; 최상훈, 2000; Christian Kutzner, 1996).



### 3. 실내시험

#### 3.1 사용재료

본 연구에 사용된 주입재중 A액은 규산나트륨, 실리카졸, 합성실리카 등을 사용하였으며 화학성분은 표 2와 같고, B액은 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며 화학성분과 물리적 특성은 표 3과 같다(島田 外, 1988; 김진춘 외, 1997). Home-gel의 형상을 파악하기 위해 전자현미경(SEM) 촬영 결과, 사진 1과 같다.

표 2. A액 재료의 화학성분

	규산나트륨 (3호)	실리카졸	합성실리카		
			CGS-B호	CGS-1호	CGS-2호
비 중	1.384	1.215	1.262	1.262	1.323
이산화규소 (SiO <sub>2</sub> ) (%)	27.2	30.4	고형분 27.6	고형분 27.6	고형분 1.323
산화나트륨 (Na <sub>2</sub> O) (%)	9.14	0.44			
철(Fe) (%)	0.0034	-	0.003	0.003	0.003
물불용분 (%)	0.0026	-	0.002	0.002	0.002
pH(25°C)	14	9.5	14	14	14
점도(25°C) (cp)	200	5	20	160	120

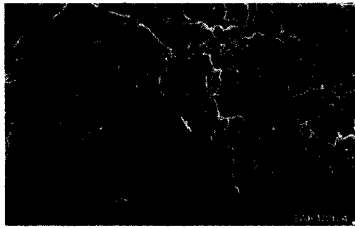
표 3. B액 재료(보통포틀랜드시멘트)의 화학성분 및 물리적 특성

#### (1) 화학성분 (단위 %)

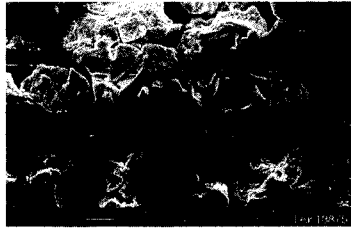
종 류	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CaO	SO <sub>3</sub>
보통 포틀랜드 시멘트(OPC)	20.9	72.3	1.5

#### (2) 물리특성

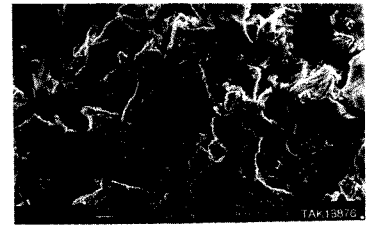
종 류	비 중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	응결 (시:분)	
			초결(분)	종결(시:분)
보통 포틀랜드 시멘트(OPC)	3.15	3170	250	6:50



(a) 규산나트륨+시멘트 SEM 영상



(b) 실리카졸+시멘트 SEM 영상



(c) 합성실리카+시멘트 SEM 영상

사진 1. Homo-gel의 전자현미경(SEM) 촬영

### 3.2 시험체 제작

2.0 Shot 주입 시스템에 적용 가능한 표준배합비(표 4~6)를 선정하여 규산나트륨계, 실리카졸계, 합성실리카졸계의 공시체를 제작하였다. 시험체의 크기는 직경 5cm × 높이 10cm로 제작되었으며, 양생일수는 28일이고, 양생온도는 상온  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 항온 수조에서 습윤 양생하였다.

### 3.3 시험방법

시험방법으로는 일축압축강도 시험법을 사용하였으며 디지털형 만능 재료시험기를 이용하여 KS M 3808의 방법에 의거하여 측정하였다. 겔타임은 A액, B액을 각각 200cc 컵에 50cc씩 채운 후 연속 좌우 혼합시켜 컵에서 유동성이 정시되는 시간을 측정하여 이것을 주입재 (A액 + B액)의 겔타임으로 선정하였다.

표 4. 규산나트륨계의 표준배합비

A 액		B 액	
규산나트륨(3호)	150 ~ 250 ℓ	시멘트	200 kg
물	350 ~ 250 ℓ	물	437 ℓ
계	500 ℓ	계	500 ℓ

표 5. 실리카졸계의 표준배합비

A 액		B 액	
실리카졸	150 ~ 250 ℓ	시멘트	200 kg
물	350 ~ 250 ℓ	물	437 ℓ
계	500 ℓ	계	500 ℓ

표 6. 합성실리카졸계의 표준배합비

A 액		B 액	
합성실리카 (CGS-B호)	150 ~ 250 ℓ	시멘트	200 kg
물	350 ~ 250 ℓ	물	437 ℓ
계	500 ℓ	계	500 ℓ

## 4. 일축압축시험 결과 분석

양생조건은 28일 양생, 온도는  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 를 적용하였으며, 시멘트량은  $1\text{m}^3$ 당 200kg으로 고정하여 규산나트륨 3호, 실리카졸, 합성실리카 3종류(CG-S-B호, CG-S-1호, CG-S-2호)를 사용하여 재령별 일축압축강도에 대하여 비교·분석하였다.

### 4.1 규산나트륨 3호-시멘트 겔의 압축강도 특성

시멘트량을  $1\text{m}^3$ 당 200kg으로 고정하고 A액(500 ℓ) 속의 규산나트륨 3호의 함량을 200 ℓ, 250 ℓ로 변화시켜서 산화나트륨의 농도가 homo-gel의 강도 발현에 미치는 영향에 대하여 비교하였다.

산화나트륨의 적정농도가 짙을수록 homo-gel 강도가 조기(3일 이내)에 발현되지 않은 것으로 나타났다.

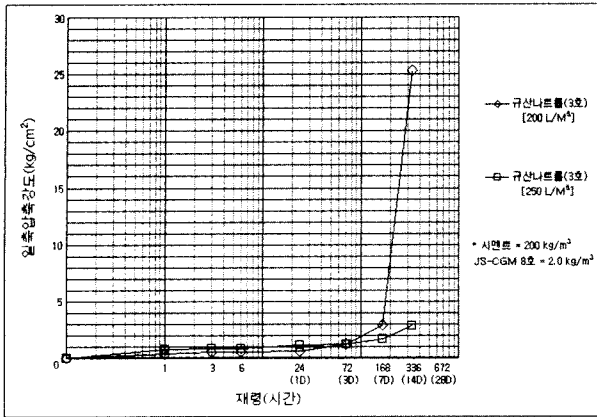


그림 8. Homo-gel 압축강도 특성

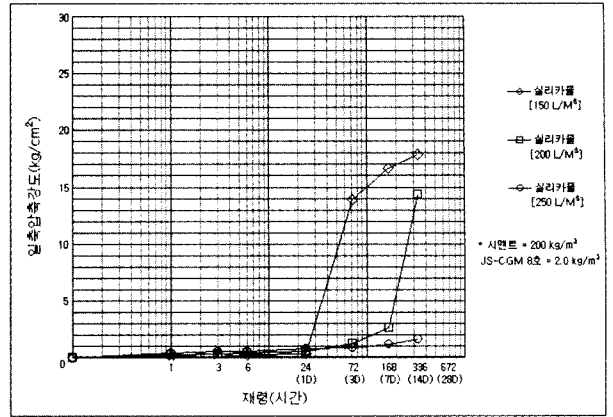


그림 9. Homo-gel 압축강도 특성

#### 4.2 실리카졸-시멘트 겔의 압축강도 특성

실리카졸의 함량별 일축압축강도는 그림 9와 같으며 산화나트륨이 극소량이므로 고려치 않고, 실리카 함량 별 강도발현성에 대하여 비교하였다.

A액(500 l) 속의 실리카 농도가 열수록 homo-gel 강도가 조기(3일 이내)에 발현되는 실리카졸의 함량이 150 l/m³ 일 때, 재령초기에는 강도 발현성이 낮은 것으로 나타났다.

#### 4.3 CGS-B호-시멘트 겔의 압축강도 특성

시멘트량을 1m³당 200kg으로 고정하고 A액(500 l) 속의 합성실리카 함량을 150 l, 200 l, 250 l로 변화시켜서 산화나트륨의 농도가 homo-gel의 강도 발현에 미치는 영향에 대하여 비교하였다.

CGS-B호의 함량별 일축압축강도는 그림 10과 같으며 산화나트륨의 농도가 짙을수록 강도의 조기(3일 이내)발현 시간이 비교적 길게 나타났다.

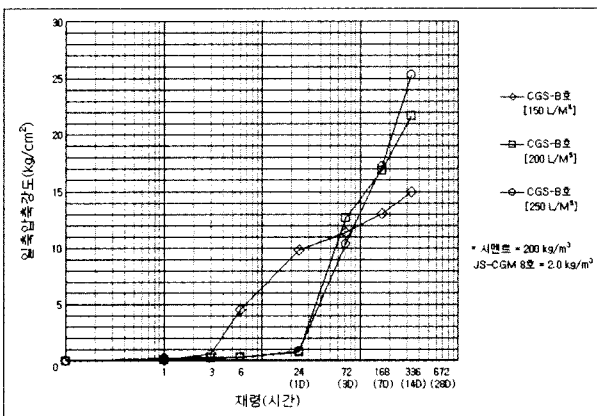


그림 10. Homo-gel 압축강도 특성

또한 CGS-B호의 함량이 1m³당 150 l 일 때가 250 l 일 때 보다 단시간내에 일축압축강도가 고강도로 발현된 것은 산화나트륨의 적정농도가 열은 결과이다.

#### 4.4 규산나트륨 3호와 CGS-1호의 압축강도 특성 비교

시멘트량을 1m³당 200kg으로 고정하고 A액(500 l) 속에 CGS-1호의 함량을 150 l로 하여 산화나트륨의 농도가 homo-gel의 조기강도 발현에 미치는 영향을 규산나트륨 3호와 비교하였다.

규산나트륨 3호와 CGS-1호의 일축압축강도 비교는 그림 11과 같으며 규산나트륨 3호에 비해 CGS-1호의 일축압축강도가 조기(3일 이내)에 발현된다는 것을 알 수 있다. 이것은 CGS-1호의 산화나트륨의 적정농도가 규산나트륨 3호에 비해 열은 결과이다.

#### 4.5 규산나트륨 3호와 CGS-2호의 압축강도 특성 비교

시멘트량을 1m³당 200kg으로 고정하고 A액(500 l)

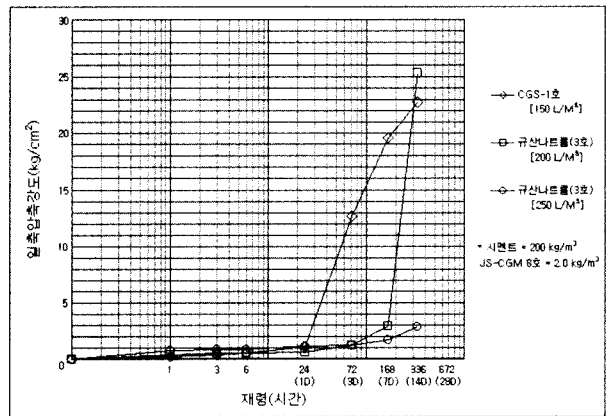


그림 11. Homo-gel 압축강도 특성 비교

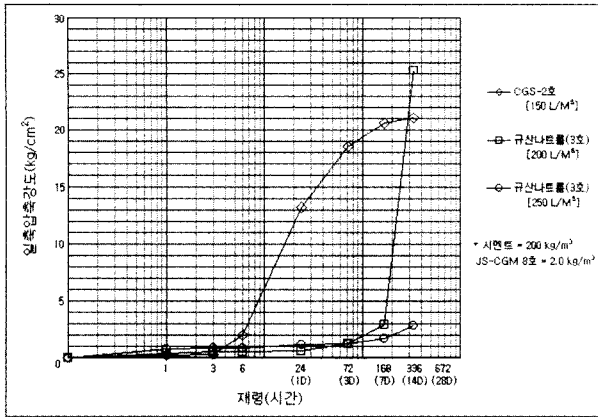


그림 12. Homo-gel 압축강도 특성 비교

속에 CGS-2호의 함량을 150 l 로 하여 나트륨이온의 농도가 homo-gel의 조기강도 발현에 미치는 영향을 산화나트륨과 비교하였다.

규산나트륨 3호와 CGS-2호의 일축압축강도 비교는 그림 12와 같으며 규산나트륨 3호에 비해 CGS-2호의 일축압축강도가 조기(3일 이내)에 발현된다는 것을 알 수 있다. 이것은 CGS-2호의 산화나트륨의 적정농도가 규산나트륨 3호에 비해 옅은 결과이다.

#### 4.6 CGS-B호, CGS-1호와 CGS-2호의 압축강도 특성 비교

시멘트량을 1m<sup>3</sup>당 200kg으로 하고 A액(500 l) 속에 합성실리카의 함량은 150 l 로 하여 산화나트륨의 농도가 homo-gel의 조기 강도발현에 미치는 영향에 대하여 비교하였다.

합성실리카의 일축압축강도 비교는 그림 13과 같으며 CGS-2호(완결용), CGS-B호(표준용)가 급결형인 CGS-1호보다 단시간(재령 1일 이내)내에 일축압축강도가 고강도로 발현된 것은, 산화나트륨의 적정농도가 CGS-1호 > CGS-2호 > CGS-B호의 순서로 짙은 결과에 의한 것이다.

### 5. 현장 적용성 평가

#### 5.1 개요

서울지하철 9호선 913공구 개착구간은 공사기간이 3년 이상 소요됨으로 기존의 단기간 차수 공법(LW, SGR) 보다 장기 내구성이 우수한 차수 및 지반보강 공법을 선정하기 위해 시험시공을 한강변 인접지역에서

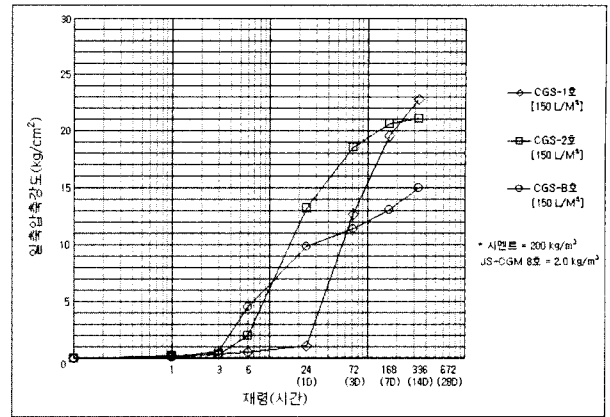


그림 13. Homo-gel 압축강도 특성 비교

실시하고, 표준관입시험, 현장투수시험 및 침투상태확인을 위한 코어채취 등을 실시하여 시공설계에 적용할 제상수를 구하기 위하여 JS-CGM(Just Selected Chemical Grouting Method)을 선정 적용키로 결정하였다.

본 현장의 지질 특성은 충적층이 상부로부터 18~20m 두께로 퇴적되어 있다(그림 14 참조). 지하수위는 G.L.-6.0m으로 조사되었다.

#### 5.2 JS-CGM (Just Selected Chemical Grouting Method) 공법

지반을 케이싱 천공 후 특수선단장치가 장착된 2중관 룯드를 삽입한 후 시멘트 습식분쇄기로 미분쇄된 현탁액형 주입재와 합성실리카를 저압으로 지반 내에 주입하는 2.0 Shot 방식의 합성실리카 주입공법이다. 본 공

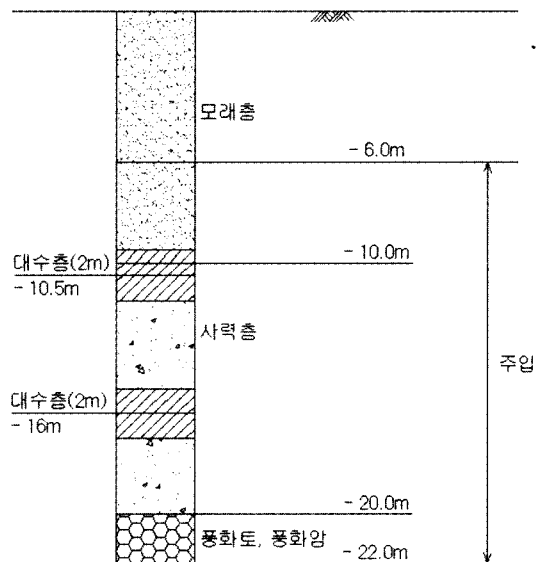


그림 14. 지질 주상도

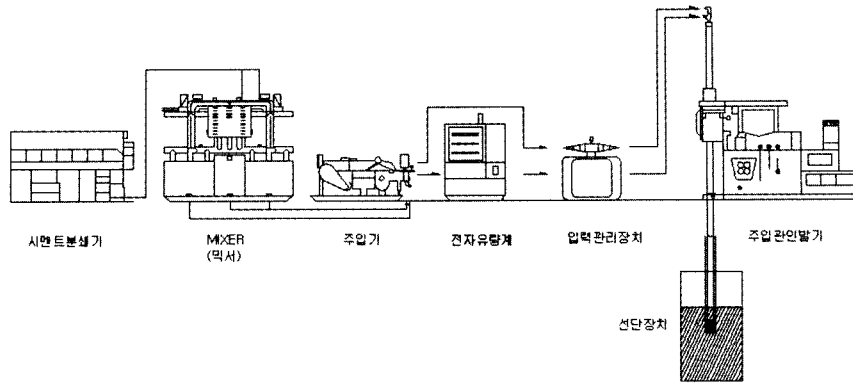


그림 15. 시공 시스템

법은 시공시스템은 그림 15와 같다.

### 5.3 시험주입

천공홀 간격은 0.8m, 1.0m로 하였으며, 정삼각형 배치로 주입 시공하였다. 그리고 주입 후의 개량효과를 파악하기 위해 겹치는 부분에서 코어를 채취하였다.

주입재의 표준배합비는 표 7과 같다. 시멘트 습식 분쇄기를 사용하여 시멘트를 미분쇄한 후에, 급결제, 완결제를 혼합하여 급결액(B1 액), 완결액(B2 액)을 만든 후 급결→완결→급결→완결로 시공한다.



사진 2. 시험시공 전경

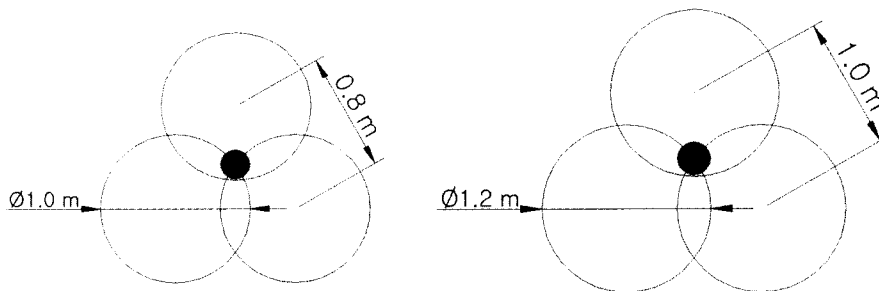


그림 16. 시험공의 배치

표 7. JS-CGM 표준 배합비

급결액				완결액			
A 액		B1 액		A 액		B2 액	
합성실리카 (CGS-1호)	60 ℓ	시멘트	120 kg	합성실리카 (CGS-2호)	60 ℓ	시멘트	80 kg
		경화안정제 (JS-CGM 8호)	0.8 kg			경화안정제 (JS-CGM 8호)	0.8 kg
물	140 ℓ	급결경화제 (JS-CGM 7호)	20 kg	물	140 ℓ	물	175 ℓ
		물	155 ℓ				
계	200 ℓ	계	200 ℓ	계	200 ℓ	계	200 ℓ





사진 3. 지시약 반응 시험체

### 5.4 시험 및 결과 분석

#### ① 코어 채취상태

무수보링으로 채취된 코아에 지시약(페놀프탈렌 + 알콜)을 사용하여 그라우트재와 지시약이 반응하면 붉은색으로 나타나는 현상을 이용하여 그라우트재의 침투상태를 확인한 결과, 맥상 침투주입된 면적이 30% 정도로 확인되었으며, 지시약 반응 시험결과는 사진 3과 같다.

#### ② 투수시험

케이싱 천공후에 케이싱을 이용한 주수법으로 투수시험을 실시하였으며, 주입전  $k = 1.0 \times 10^{-4}$  cm/sec에서 주입후에는 투수계수  $k = (1.0 \sim 5.0) \times 10^{-6}$  cm/sec로 불투수층에 가깝게 개량된 것으로 평가되었다. 시험결과는 표 8과 같다

표 8. 시험시공 전 · 후 투수계수

시험구간		투수계수(T1)	시험구간		투수계수(T2)	비 고
①	6.0 m	$1.33 \times 10^{-5}$ cm/sec	①	6.0 m	$1.07 \times 10^{-5}$ cm/sec	
②	9.0 m	$1.92 \times 10^{-6}$ cm/sec	②	9.0 m	$1.14 \times 10^{-6}$ cm/sec	
③	12.0 m	$5.37 \times 10^{-6}$ cm/sec	③	12.0 m	$3.82 \times 10^{-6}$ cm/sec	
④	15.0 m	$4.16 \times 10^{-6}$ cm/sec	④	15.0 m	$5.16 \times 10^{-6}$ cm/sec	
⑤	18.0 m	$5.85 \times 10^{-6}$ cm/sec	⑤	18.0 m	$7.89 \times 10^{-6}$ cm/sec	
평균투수계수		$7.32 \times 10^{-6}$ cm/sec	평균투수계수		$6.57 \times 10^{-6}$ cm/sec	

표 9. 시험시공 전 · 후 표준관입시험 결과

심도	주입전	주입후	
		T-1 (회/cm)	T-2 (회/cm)
6 m	15/30	17/30	15/30
9 m	16/30	50/30	17/30
12 m	37/30	50/8	50/10

#### ③ 표준관입시험

코아채취전에 표준관입시험을 실시하였으며, N치가 주입 전보다 상승되었으며 심도가 깊을수록 개량상태가 양호한 것으로 평가되었다. 시험결과는 표 9와 같다.

### 6. 결 론

규산나트륨 3호와 시멘트를 주제로 사용한 LW 그라우트에서 고결체(homo-gel)가 수중에 위치할 경우 고결체에서 미반응 규산나트륨, 반응후의 잔류 알카리, 용해된 수산화칼슘 등이 용탈되어 고결체를 전단시키는 경향이 있어, 규산나트륨 3호와 시멘트를 주제로 사용한 그라우트는 항구 그라우팅으로 적용되지 못하는 결점이 있다. 이러한 결점을 해소하기 위한 일련의 대책으로 개발된 제품이 합성실리카(CGS-B호, CGS-1호, CGS-2호)이며, 본 연구에서는 합성실리카를 사용한 그라우트재의 공학적 특성을 파악하기 위해서 합성실리카와 시멘트의 고결 특성을 비교 · 검토하였다.

- (1) 합성실리카의 농도별 강도특성을 검토한 결과, 재령 1일에 CGS-2호(완결용) > CGS-B호(표준용) > CGS-1호(급결용)의 순서로 단시간내에 강도 발현성이 실리카졸, 규산나트륨 3호보다 3~6배정도의 고강도로 나타났다.
- (2) 합성실리카와 시멘트를 주제로 한 homo-gel의 전자현미경 촬영을 시행한 결과, homo-gel이 결정성의 구조를 가진 겔로 파악되었다. 따라서 합성실리카는 콜로이드 상태의 시멘트와 함께 항구성 그라우트재

로써 적용될 수 있음을 확인하였다.

- (3) 합성실리카와 습식분쇄기로 미분화된 콜로이드 시멘트를 JS-CGM Grout의 주재료로써 적용하여, 한강 인접 퇴적층(모래, 자갈층)에서 시험주입을 시행하였다. 시험 주입후 코어채취를 통해 맥상 및 침투 주입이 양호한 것으로 확인되었다. 투수시험을 실시한 결과,  $k = (1.0 \sim 5.0) \times 10^{-6}$  cm/sec 범위로서 차수성이 우수한 것으로 평가되며, 강도 측면에서도 N치가 주입 전보다 상승되어 개량상태가 양호한 것으로 확인되었다.

### 참 고 문 헌

1. 국윤환, 이정문, 조순채(1983), *계면활성제*, 대광서림, pp.18-22, 86-92, 96-104.
2. 김진춘, 천병식(1997), *지반보강용 마이크로시멘트 및 실리카졸*의 실용화연구, '95 연구개발사업 최종보고서, 건설교통부, pp.58-60, 62-68, 82-85.
3. 천병식(1998), *최신지반주입 이론과 실제*, 원기술, pp.313-317.
4. 천병식 외(1994), "동수지반에서 주입된 물유리계 약액의 내구성에 관한 실험적 연구", *1994년도 대한토목학회 학술발표회 논문집(I)*, pp.-687-688.
5. 최상훈(2000), *시멘트화학*, 한양대학교 시멘트연구실, pp.57-62, 69-72, 167-171.
6. 米倉 亨三, 島田 俊价, 木下 吉友(2000), *恒久グラウト注入工法*, 山海堂, pp.12-27, 103-114.
7. 日本窯業協會(1974), *セラミック 化學*, 技報堂, pp.121-131.
8. 日本分散技術研究會(1976), "分散技術と工業的應用の實際", *經營開發センター*, pp.71-74, 80-99, 795-804.
9. 紫崎 光弘, 下田 一雄, 野上 明男(1982), *藥液主入工法の設計と施工*, 山海堂, pp.30-31, 233-246.
10. 島田 俊介, 兼松 陽(1982), *最新の地盤注入工法*, 理工圖書(株), pp.91-97, 99-108.
11. 島田 俊价, 佐藤 武, 多久 實(1988), *最先端技術の藥液注入工法*, 理工圖書, pp.12-34, 57-82.
12. Christian Kutzner(1996), "Grouting of Rock and Soil", *A. A. BALKEMA / ROTTERDAM / BROOKFIELD*, pp.191-201.

(접수일자 2002. 10. 16, 심사완료일 2003. 1. 27)