

## 초미립 시멘트 주입재에 의한 우물통기초 언더피닝에 관한 연구

### A Study on Underpinning of the Caisson by the Ultra Fine Cement Grouts

최병식<sup>1)</sup>, Byung-Sik Chun, 임성택<sup>2)</sup>, Sung-Taek Lim, 고갑수<sup>3)</sup>, Kap-Soo Ko, 이영근<sup>4)</sup>, Young-Keun Lee

<sup>1)</sup> 한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

<sup>2)</sup> 친일기술단 상무, Director, Chun-Il Engineering

<sup>3)</sup> 한양대학교 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

<sup>4)</sup> 한양대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

**개요(SYNOPSIS)** : To verify reinforcing effect of ground by using microcement grouting, physical and engineering properties of ordinary portland cement and microcement were investigated. Laboratory injection tests such as infiltration and injection in case of seepage for the stream bed soil at ○○ Great Bridge in Seoul were carried out. Field injection tests to reinforce open caisson foundation at ○○ Great Bridge were performed and the ability of application by microcement grouting was evaluated.

From the results, physical and engineering properties of microcement are better than those of ordinary portland cement. Also, the ability of infiltration and solidity in case of seepage is better than that of ordinary portland cement. Therefore, it is concluded that microcement is an excellent material to reinforce the foundations in water and can be used as underpinning material of general foundations.

**주요어(Key words)** : Underpinning, Infiltration, Injection, Seepage, Permeability

## 1. 서론

인양지반개량, 터널그라우팅, 가설토류벽 배면의 지반개량 등 각종 토목공사에 많이 이용되고 있는 주입공법은 1970년대 중반 부터 국내에서 시작된 지하철 공사를 계기로 본격적으로 적용되기 시작하였다. 그러나, 본 공법에 대한 전문지식과 축적자료의 부족 때문에 체계적인 이론적 토대없이 주로 경험에 의존하여 설계, 시공되었을 뿐 만 아니라 시공효과의 확인도 제대로 이루어지지 않은 사례가 많았고 그로 인해 많은 문제점이 야기되어 왔다. 한편 종래의 주입공법은 응급대책 또는 보조공법으로서 주로 사용되어 왔으나 본격적이고 항구적인 지반보강공법으로서 강도 및 내구성 증대, 차수성 증대 등 다양한 범위에 걸쳐 사용되기 위해서는 임의 대상지반의 물리적 특성에 따른 주입재의 선정과 침투성의 문제, 그리고 겔타임, 주입압 및 주입재의 점도에 따른 주입효과에 대한 연구가 진실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 침투성 평가시험, 유수중에서의 주입효과평가시험 등의 신대 주입모델 시험을 실시하여 서울○○대교 하상토를 대상으로 보통포틀랜드시멘트와 마이크로시멘트의 주입효과를 검토하였고, 마이크로시멘트를 주입재로 하여 서울○○대교 우물통기초지반에 시험시공과 현장실험을 실시하여 구조물 기초보강시의 적용성과 그 효과를 확인하였다.

## 2. 주입시험

### 2.1 시료토 및 주입재의 특성

#### 2.1.1 시료토의 특성

시료토로는 서울○○대교 성능개선공사 현장의 인공대상 지층을 단계별로 굴착하여 지층의 상태를 육안으로 확인한 후 풍화토층 시료 1개소와 사질토층 2개소에서 각각 시료를 채취하였으며, 시료토의 물리적, 공학적 특성을 파악하기 위하여 입도분석, 비중, 선내투수시험등의 실내 토질역학시험을 수행하였다. 토질시험성과는 다음 표 1, 그림 1과 같다.

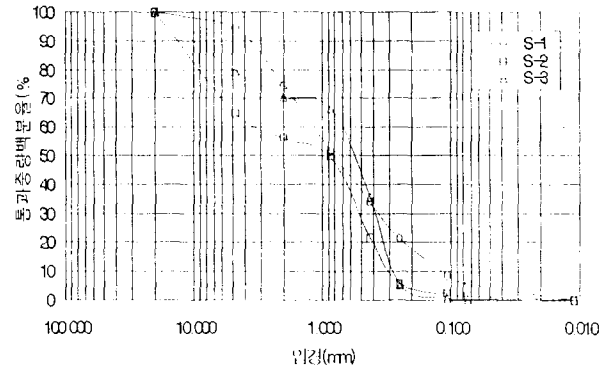


표 1. 대상시료토의 토질 특성

시료토	공극율 (%)	투수계수 (cm/sec)	비중 (Gs)	입도분포									
				D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>30</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>	통과량 (%)				통일분류
									#4	#10	#40	#200	
S-1	36.3	1.50×10 <sup>-5</sup>	2.67	0.13	0.36	1.10	8.5	0.91	94.4	74.6	51.4	6.7	SP
S-2	34.1	2.80×10 <sup>-5</sup>	2.58	0.30	0.51	3.30	11.0	0.26	64.9	56.2	21.7	1.5	SP
S-3	35.1	2.65×10 <sup>-5</sup>	2.62	0.28	0.38	0.70	2.8	0.74	79.3	70.7	35.6	0.4	SP

그림 1. 대상시료의 입도분포곡선

#### 2.1.2 주입재의 특성

마이크로시멘트는 보통포틀랜드시멘트와 마찬가지로 무기물질로 구성되어 있으며, 화학성분은 표 2와 같다.

표 2. 사용된 시멘트의 화학성분

(단위 : %)

성분	종류	Micro Cement	보통시멘트
SiO <sub>2</sub>		29.0	20.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + CaO		63.3	72.3
SO <sub>3</sub>		1.9	1.5

표 3. 사용된 시멘트의 물리적 특성치

		KS 규정값	Micro Cement	보통시멘트
비중	비중	-	2.93	3.15
	분말도(cm <sup>2</sup> /g)	2800 이상	8070	3250
응결 (Vicat)	W/C(%)	-	25.5	25.5
	초결(분)	60 이상	195	170
	종결(시:분)	7 이하	9:20	7:30
압축강도	Flow(%)	110±5	112.4	113.3
	W/C(%)	-	43.5	49.7
	1일(kg/cm <sup>2</sup> )	-	177	61
	3일(kg/cm <sup>2</sup> )	110 이상	315	202
	7일(kg/cm <sup>2</sup> )	190 이상	509	264
	28일(kg/cm <sup>2</sup> )	290 이상	655	405

표 3에서 볼 수 있듯이 마이크로시멘트는 보통시멘트에 비하여 유동성이 좋고, 장기강도는 물론 초기 강도도 우수한 특성을 보이고 있다. 또한 입도분석결과 보통시멘트의 12μm 잔분이 60%이상인데 비해서 마이크로시멘트는 약 1%로 매우 미세한 입자들로 구성되어 있다.

## 2.2 실내약액주입시험

지반주입효과는 이론적으로는 Gel-time, 주입압력, 주입속도, 주입공의 유효경, 주입방식 및 지반의 투수계수, 공극률, 약액의 성질 등에 관계되나 실제로는 불균질한 지반상황, 지하수의 유동, 주입약액의 시간에 따른 변화, 깎화에 따른 유동체의 복잡한 투수기구 등에 따라 매우 복잡하다.

따라서 시멘트의 종류, 대상토질 및 지하수조건, W/C, 공극률, 주입압 등에 따른 주입효과 범위를 조사하기 위하여 실내주입시험을 실시하였으며, 시험방법은 다음과 같다.

### 2.2.1 침투성 평가시험

소정의 배합비로 조제한 약액을 압력탱크 안에 투입한 후 일정한 압력하에서 내경 10cm, 높이 15cm의 몰드내 시료토에 침투주입시키고자 그림 3과 같은 약액주입장치를 사용한다. 준비된 시료토에 대해 각각 주입압을 2, 3, 4kg/cm<sup>2</sup> 으로 변화시키며 침투주입효과를 확인하였다. 주입제가 시멘트 밀크이므로 1.0 Shot 방식을 사용하였다. 시멘트의 종류, W/C, 토질등에 따른 주입시험에 이용된 배합비는 표 4과 같다.

표 4. 침투주입시험을 위한 배합표

W/C(%)	시멘트 밀크	
	시멘트(g)	물(ml)
200	167	333
300	125	375
400	100	400
600	72.4	428.6

### 2.2.2 유수중에서의 주입효과평가시험

지하수가 유속을 갖는 경우 즉, 유수중에서 보통 보통랜드시멘트 및 마이크로시멘트의 주입효과를 검토하기 위하여 그림 4와 같은 주입장치를 이용하였다. 본 시험에서는 1.0 Shot 방식으로 내경 10cm, 길이 30cm의 몰드에 시료토를 채우고 주입압을 3kg/cm<sup>2</sup>로 하여 W/C=200%의 시멘트밀크를 주입하여 유속의 변화에 따른 주입, 고결효과를 관찰하였다.(표 5 참조)

주입 완료후 약 20분간 동일 유속으로 통수시킨 후 고결 완료 후 Mold는 세로방향으로 2등분하여 탈형시키고 그 고결상태를 점검하였다.

## 3.3 시험결과

### 2.3.1 침투성 평가시험

마이크로시멘트와 보통포틀랜드시멘트를 이용한 침투주입시 시료토~주입압~W/C에 따른 고결율과의 상관관계를 측정된 실험결과를 표 6과 같다. 주입조건 변화에 따른 주입율을 측정하기 위해 주입압의

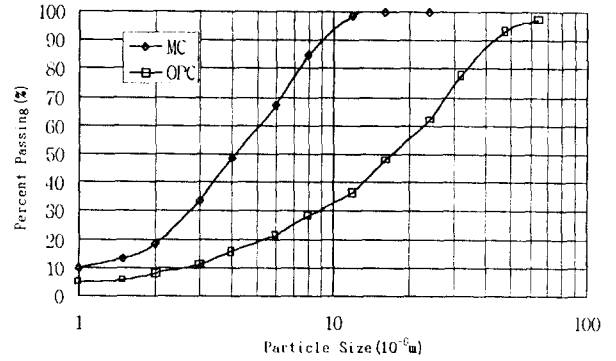


그림 2. 사용된 시멘트의 입도분포 비교

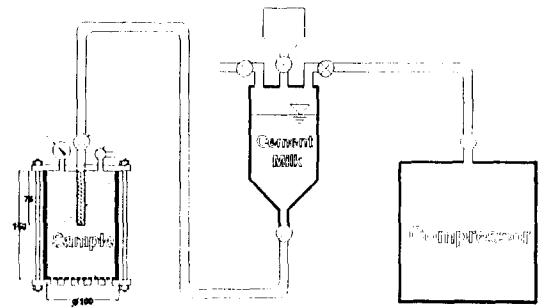


그림 3. 침투성 평가시험 장치

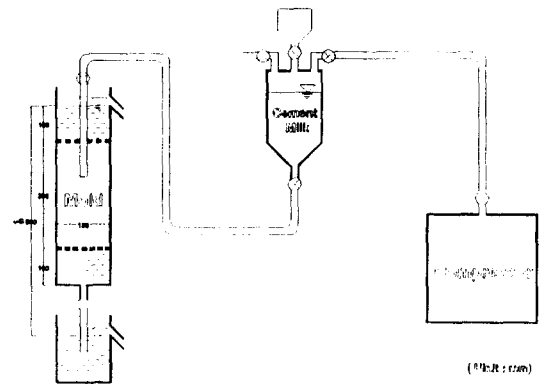


그림 4. 유수중에서 주입효과 평가장치

표 5. 배합표

W/C(%)	시멘트 밀크	
	시멘트(g)	물(ml)
200	500	1000

범위를 2, 3, 4kg/cm<sup>2</sup> 으로 변화시키기면서 주입정도를 확인하였다. W/C는 300%, 400%, 600%, 800%등 4가지로 배합하여 실험을 실시하였다.

보통포틀랜드시멘트의 경우, W/C = 200%에서는 주입관 선단부에 케이킹이 발생하여 전혀 침투주입되지 않았으며 주입압에 의해 시료가 교란되는 현상이 발생되었다. W/C 및 주입압이 높아짐에 따라 침투성능이 다소 개선되었다. S-1시료토의 경우 W/C = 600%, 주입압 4kg/cm<sup>2</sup>에서 22%의 유효고결율을 보였으나 다소간의 맥상주입이 관찰되었고, S-2, 3시료토는 W/C=600%, 주입압 4kg/cm<sup>2</sup>에서 36~37%의 유효고결율을 보였으나, 고결체가 비교적 균질하지 못하였다.

마이크로시멘트를 주입한 경우는 본 시험에서 정한 주입조건에 상관없이 모두 침투되어 비교적 균질한 고결체가 형성되었으나, S-1시료의 경우 다소간의 맥상주입이 관찰되었다.

### 2.3.2 유수중에서의 주입효과평가시험

마이크로시멘트와 보통포틀랜드시멘트를 이용하여 각 대상시료토에 대하여 유속을 3단계로 변화시키고 W/C =200%의 시멘트밀크를 주입한 경우 공극률~투수계수~이동거리~고결토 길이~유효고결률과의 상관관계를 관찰한 결과는 표 7과 같다.

표 7. 유수중에서 주입평가시험 결과

시료토	공극률 (%)	투수계수 (cm/sec)	유속 (cm/sec)	마이크로 시멘트		보통시멘트	
				고결토길이 (cm/30)	유효고결율 (%)	고결토길이 (cm/30)	유효고결율 (%)
S-1	36.3	$1.50 \times 10^{-3}$	$5.00 \times 10^{-3}$	30	85	12	22
			$3.50 \times 10^{-3}$	30	76	7	15
			$2.00 \times 10^{-3}$	30	70	5	14
S-2	34.1	$2.80 \times 10^{-3}$	$9.33 \times 10^{-3}$	30	94	12	28
			$6.53 \times 10^{-3}$	30	90	9	22
			$3.73 \times 10^{-3}$	30	88	8	16
S-3	35.1	$2.65 \times 10^{-3}$	$8.83 \times 10^{-3}$	30	90	10	25
			$5.83 \times 10^{-3}$	30	86	8	17
			$3.53 \times 10^{-3}$	30	82	7	15

보통포틀랜드시멘트의 경우, 주입관 선단부에 케이킹이 발생하여 시멘트밀크가 침투주입되지 못하였다. 주입압에 의해 시료가 교란됨에 따라 주입재가 물로 밖으로 분출되었으며 전체적으로 개량도는 불균질하였다. 각 시료토의 투수계수는  $1 \sim 3 \times 10^{-3}$  cm/sec범위이며, 투수계수가 커짐에 따라 주입효과가 다소 개선되는 것으로 나타났지만 고결토의 길이는 전체길이의 1/3정도 수준이며, 고결률도 30%이하로서 주입효과가 저조한 것으로 나타났다.

한편, 마이크로시멘트를 주입한 경우는 전체적으로 주입효과가 양호한 것으로 나타났다. S-1시료의 경우 유효고결률이 S-2, 3시료에 비하여 다소 적은 것으로 관찰되었는데 이는 S-1시료가 세립분을 다소 포함하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 침투성이 좋은 마이크로시멘트밀크 주입재의 일부가 실험장치의 바닥까지 흐르는 등 유수에 의한 유실, 희석량이 다소 있는 것으로 관찰되었다.

표 6. 침투성 평가시험 결과

(단위 : %)

시료토	공극률 (%)	W/C (%)	Micro Cement 주입압(kg/cm <sup>2</sup> )			보통시멘트 주입압(kg/cm <sup>2</sup> )		
			2	3	4	2	3	4
			S-1	36.3	200	○	○	○
300	○	○			○	×	×	14
400	○	○			○	×	13	18
S-2	34.1	200	○	○	○	×	×	×
		300	○	○	○	×	×	15
		400	○	○	○	×	13	20
S-3	35.1	200	○	○	○	×	×	×
		300	○	○	○	×	×	16
		400	○	○	○	×	15	22
		600	○	○	○	18	28	37

○ : 침투성 90%이상  
 × : 침투성 10%이하

※ 공극률은 KS F 2506에 의함

### 3. 기초보강 시험시공

#### 3.1 기초보강현황 및 주입목적

##### 3.1.1 주입목적

본 주입시공의 목적은 서울○○대교 기존교량인 2층교(DB18)를 1층교(DB24 내진설계)로 성능을 개선함에 있어 하부기초인 기존 우물통(D=5.5m) 주변을 1.5m 확폭시키(신제우물통 D=8.5m) 철근콘크리트로 보강하기 위해 하부기초 지반지지력을 증대시키는데 있다.(사진 1 참조)

기존 우물통의 선단지지부가 기판암(인암)에 지지되어 있는 것으로 예상하여 확폭되는 부분기초도 기판암에 정착토록 하였으나 지질조사결과 기존 우물통의 일부 구간이 풍화토 또는 풍화암층에 정착되어 있어 기존 우물통과 동일한 깊이에 확대되는 구조체의 기초를 설치할 경우 지대력 부족이 우려되었다.(사진 2 참조) 또한, 확대보강되는 구조체의 기초를 기판암에 설치하기 위해서는 기존 우물통의 하부를 굴착해야 하는 데 이는 시공중 기존 우물통 하부지반의 이완등 예상하지 못한 위험이 야기될 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서, 시멘트밀크 그라우팅을 통하여 우물통 하부기초를 보강하고 그 상부에 확대되는 우물통을 설치하는 것으로 계획되었다. 기초보강 평면도와 단면도는 그림 5, 6과 같다.

그라우팅 22공  
 $\phi=1.2\text{m}$ , C.T.C.=1.0m,

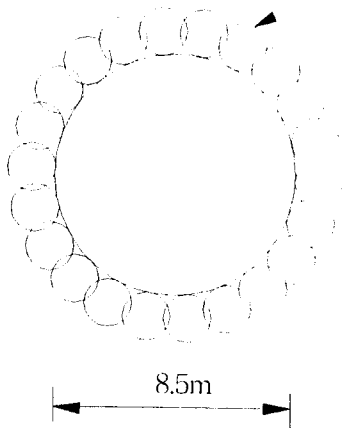


그림 5. 기초보강평면도

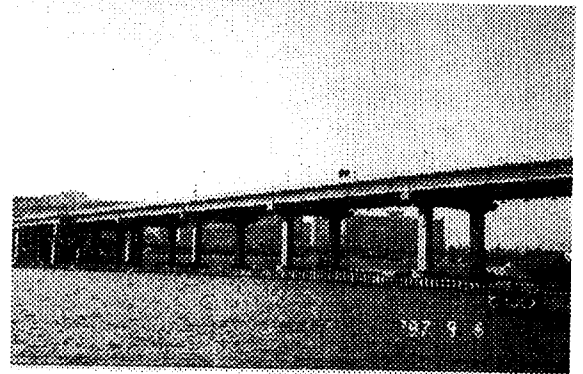


사진 1. 시험시공현장 전경

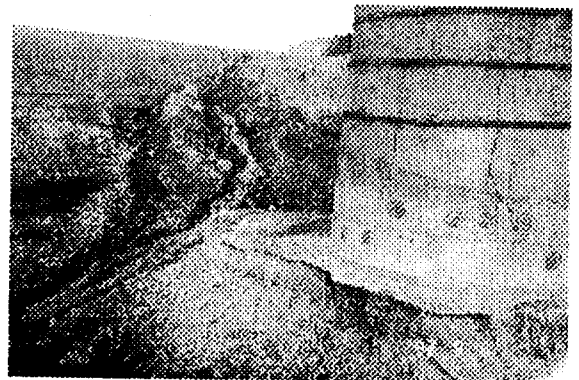


사진 2. 우물통기초 하부지반

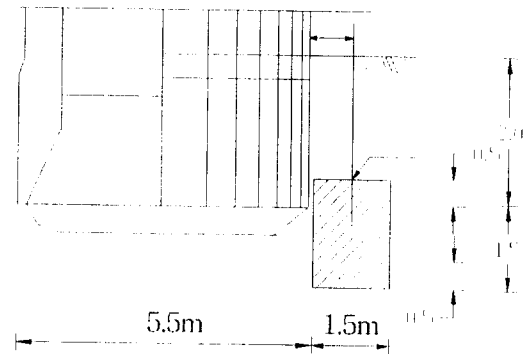


그림 6. 기초보강단면도

##### 3.1.2 대상구조물 현황

본 연구의 대상현장인 서울○○대교 성능개선공사는 공사기간 4년(1997년 ~ 2000년)으로 ○○지역의 ○○로와 ○○지역의 ○○대교를 연결하고 있는 서울○○대교의 노후도가 심각하여 이를 보수보강하고 성능을 개선(차량통과하중 증대)하여 교량의 안전성을 확보하기 위한 것으로 기존 교량의 현황은 표 8과 같다.

표 8. 주입대상 구조물 현황

구분	본 선	램프(강남)	접속교량(강북)
세	B=25m L=1,280m	B=7m L=400m	B=25m L=30m
형식	상부 Steel Plate Girder	Steel Box Girder	R.C. Slab
	하부 $\pi$ 형 교각+ 우물통기초	T형 교각+ 강관pile	$\pi$ 형 교각

교량의 성능을 개선하기 위하여 상부를 전면 철거·교체하고 증가되는 하중을 지지하기 위해 기존의 우물통(외경5.5m, 내경4.7m 길이10m)을 두께 1.5m씩 증가시키 외경 8.5m로 확대하고 우물통 하부지반을 시멘트 그라우팅하여 지지력을 증가시키도록 계획되어 있다.

### 3.1.3 지층 및 토질상태

본 현장의 토층상태는 상부로 부터 자갈층, 풍화대층, 연암층 순으로 형성되어 있으며 각 지층에 대한 특성을 요약하면 다음과 같다.

#### 1) 자갈층

본 층은 하상퇴적층 중 비중이 커서 세일 먼저 침전되어 쌓인 층으로 잔자갈 및 자갈로 구성되어 있는 층으로서 조사지역 내에서 2.5~3.0m의 층후를 가지고 분포하고 있다.

#### 2) 풍화대층

본 풍화대는 본 지역의 기반암인 흑운모 편마암의 풍화대로서 1.5~4.6m의 층후를 가지고 분포하며 부분적으로 소규모의 암맥이 다량 관입되어 있다. 풍화정도는 완전풍화(Completely Weathered)에서 극풍화(Highly Weathered)되어 있는 것으로 암의 조직이나 구조는 유지하고 있으나 충격과 수분에 약한 암으로 본래의 역학적 성질은 크게 저하되어 있다. 또한 본 토층은 일반적으로 자연상태에서는 건조한 상태를 유지하고 있는 반면에 상부의 하중이 제거되고 지표에 노출되어 수분이 함유될 경우에는 지반의 지지력이 현저히 감소하는 특성이 있으므로 지하 굴착시에는 이에 유의하여야 한다.

#### 3) 연암층

본 층은 본 역의 기반암인 흑운모 편마암류가 풍화를 약간 받은 것으로 보통풍화(Moderately Weathered)상태이며 절리의 발달로 인하여 코야회수율이 불량하였다.

## 3.2 시험주입방법

본 현장의 시험주입시공은 발달된 불연수면을 대상으로 한 맥상주입을 통해 공극을 폐합하여 차수 및 지지력 증대를 도모하는 형태로서 주입제의 강도는 150~200kg/cm<sup>2</sup>(몰유리 사용시 35~40kg/cm<sup>2</sup>)의 강성체로서 시험주입순서 및 시공방법은 그림 7 및 표 9와 같다.

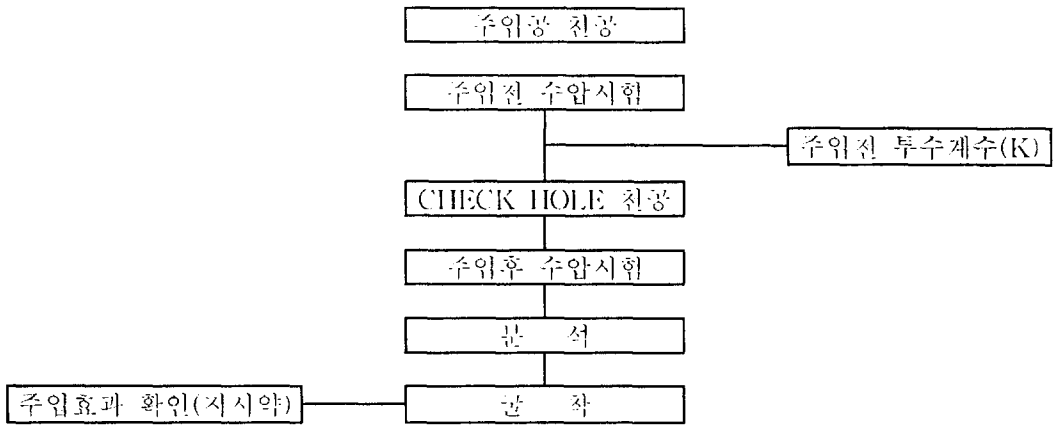


그림 7. 시험주입 순서도

표 9. 주입방법

구분	목적	대상구간	비고
(1) 천공	대상지층의 상태 파악	자갈층, 풍화암층	GL-0.0~5.0m, L=5.0m
(2) 수압시험	Groutability 확인	GL-4.0~5.0m	주입전, 후의 투수계수 측정
(3) 주입	배합비 및 주입압 결정에 따른 설계기준 선정	24공 원형까지	T-P-Q 해석

시험주입시공기준 및 배합시방에는 다음의 표 10~11과 같으며 마이크로시멘트에 의한 시험주입시 주

입압은 주입초기에는 7.0kg/cm<sup>2</sup>이나 이후 정상압인 4.5kg/cm<sup>2</sup>으로 유지되고, 이때 주입속도는 20 ℓ/min을 일정하게 유지하였다.

표 10. 시험주입시공기준

주 입 압 력	주 입 속 도	주입재량	배합비
초기압력 + △P(3~7kg/cm <sup>2</sup> )	16~20 ℓ/min	500kg/m <sup>3</sup>	배합 1

표 11. 주입재의 배합시방에

구 분	주 입 량	Cement Milk	
		Cement(kg)	물(ℓ)
배 합 1	400	200	336
배 합 2	400	180	342
배 합 3	400	160	349

### 3.3 주입보강효과

봉화암층의 지반보강을 위하여 비표면적 8,000 cm<sup>2</sup>/g의 마이크로시멘트를 사용하여 주입한 후 주입효과를 확인하기 위하여 주입전·후에 수압시험과 평판재하시험을 실시하였다.

차수효과의 확인을 위하여 주입전·후의 수압시험 결과는 다음의 표 12와 같다. 수압시험결과 주입전의 투수계수는 5.13×10<sup>-1</sup>cm/sec 정도인 반면 주입후의 투수계수는 주입전에 비해 약 1/100로 감소된 3.57×10<sup>-3</sup>cm/sec 정도로 산출되어 주입효과가 매우 우수함을 알 수 있다. 또한 수압시험시에 대상지반이 봉화대상부까지 터파기가 되어 있어 일부유량이 상부 봉화대를 통해 누수된 점을 감안할 때 주입전, 후의 투수계수 변화는 더욱 큰 폭이 될 것으로 예상되어 주입에 의한 보강효과가 매우 우수함을 알 수 있다.

표 12. 수압시험 결과

공 변	시험구간 (GL)	Lugeon (Lu)	투수계수 (cm/sec)	기 만 압 상 태		
				회수율 (%)	파쇄도	풍화도
주입전	4.5~5.5	59.17	5.13×10 <sup>-1</sup>	0~30	F-5~F-4	D-3~D-4
주입후	4.5~5.5	0.41	3.57×10 <sup>-3</sup>	0~30	F-5~F-4	D-3~D-4

평판재하시험은 항복점 강도를 100t/m<sup>2</sup>으로 보고 8단계의 하중을 Single Type, Stress Constant Method에 의하여 시험을 실시하고 항복점 강도를 산출하였다.

주입전·후에 대한 평판재하시험 결과는 다음의 표 13과 같다. 주입전에 실시한 시험결과, 항복하중은 150t/m<sup>2</sup>, 허용지지력은 75t/m<sup>2</sup>이며 대응침하량은 13.1mm 정도인 반면에 주입후의 경우는 170t/m<sup>2</sup>의 최대하중에서 허용지지력은 85t/m<sup>2</sup>, 대응침하량은 0.21mm로 나타나 주입에 의한 보강효과가 매우 우수한 것으로 나타났다.

표 13. 평판재하시험 성과

	항복하중 (t/m <sup>2</sup> )	허용지지력 (t/m <sup>2</sup> )	대응침하량 (mm)
주입전	150	75	13.1
주입후	170	85	0.21

## 4. 결론

본 연구는 마이크로시멘트를 주입제로 하는 실내주입시험과 실제 구조물 기초 언더피닝 현장에서의 시험시공을 통하여 마이크로시멘트의 적용성과 그 효과를 검토하고 실제 주입단계에 이용가능한 기초자료를 제시하기 위한 것으로서 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 시험시공현장의 하상에서에서 채취된 새끼지 시료토를 대상으로 마이크로시멘트와 보통시멘트의 침투성 평가시험 결과, 보통시멘트의 경우 W/C = 600%이하에서는 선단부에 케이크 현상이 발생하여 침투주입이 전혀 이루어지지 않은 반면에 마이크로시멘트를 주입한 경우는 대상 시료토 모두에서 주입압, W/C등의 주입조건에 상관없이 침투주입이 이루어지 균질한 고결체가 형성되어 마이크

로시멘트의 침투성이 우수함을 알 수 있다.

- (2) 투수계수가  $10^{-3}$  cm/sec 범위인 3종류의 시료토에 대하여 유속을 3단계로 변화시키고 W/C = 200%로 2종류의 시멘트밀크를 주입한 결과, 보통시멘트의 경우 유효고결률이 30%이하로 주입효과가 저조한 반면, 마이크로시멘트를 주입한 경우는 대부분의 조건에서 유효고결률이 80%를 넘는 우수한 주입효과를 나타내었는 바 마이크로시멘트가 풍수지반에서도 주입성능이 우수함을 확인할 수 있다.
- (3) 시험시공후 주입효과 확인을 위하여 주입전과 후에 실시한 수압시험과 평판재하시험 결과, 주입후의 투수계수가 주입전에 비해 1/100배 정도로 크게 감소하였고 허용지지력은  $10t/m^2$  정도 증대되었다.
- (4) 주입시공시에는 기존교각 기초의 이상 유무를 확인하고 지반용기가 발생하지 않도록 신중을 기해야 한다. 이러한 용기현상은 대체로 주입압력, 주입량(주입율), 맥상주입으로 인한 과잉공극수압, 시공방법 등에 의해 발생하므로 세심한 주의가 기울여야 한다. 따라서, 주입시공시에는 기존관행인 定量注入보다는 定壓注入이 훨씬 유리한 조건이 된다.

이상의 연구결과로 부터 마이크로시멘트는 수중의 구조물 기초의 보강을 위한 우수한 지반보강재임을 확인하였고 일반 토목구조물의 기초의 보강에도 활용가능 하리라고 본다.

## 참 고 문 헌

- (1) 최병석(1995. 3), “건설기술자를 위한 지반주입방법”, 원기술, pp.62~133
- (2) 최병석(1986. 9), “물투수성 지반에서의 중합된주입압에 관한 기초적 연구”, 대한토목학회 논문집, Vol.6, No.3 pp.43~51
- (3) 최병석, 김진춘(1997. 10), “지반보강용 마이크로시멘트 및 실리카졸의 실용화 연구”, 건설교통부, pp.58~60.
- (4) Arvind V. Shroff, Dhananjay L. Shah(1993), “Grouting Technology in Tunnelling and Dam Construction”, A. A. Balkema, pp.127~234
- (5) A. L. Bell(1992.11), “Grouting in the Ground”, Thomas Telford, pp.25~70
- (6) H. Borden, et al(1992. 2), “Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics”, ASCE, pp.474~563, pp.651~711
- (7) Rozo Yonekura, Masaaki Terashi, Mitsuhiro Shibazaki(1996, 5), “Grouting and Deep Mixing”, A. A. Balkema, pp.1~200
- (8) Richard Widmann(1993), “Grouting in Rock and Concrete”, A. A. Balkema, pp.65~123
- (10) 森 麟, 手柄植, “砂質地盤における割裂発生機構”, 日本土木學會 論文集(Ⅲ), No.388 Ⅲ-7, pp.61~70, 1987.12
- (11) 堂堂功(1995. 2), “疑問に答える葉液注入工法の設計・施工ノウハウ”, 近代圖書, pp.15~45