

## 풍화토 및 충적토 지반에 적용된 M.S.G공법의 차수효과

### Effect of water cut-off by M.S.G method for weathered soil and alluvial soil

지덕진<sup>1)</sup> Deog-Jin Jee, 우상백<sup>2)</sup> Sang-Baik Woo, 강진기<sup>3)</sup> Jin-Ki Kang, 김태한<sup>4)</sup> Tae-Han Kim, 박종호<sup>5)</sup> Jong-Ho Park

<sup>1)</sup> (주)대우건설 부장, General Manager, Daewoo E&C Co., Ltd.

<sup>2)</sup> 대원토질(주) 부장, General Manager, Daewon Soil Co., Ltd.

<sup>3)</sup> 대원토질(주) 기술연구소 과장, Manager, Daewon Soil Co., Ltd.

<sup>4)</sup> 대원토질(주) 과장, Manager, Daewon Soil Co., Ltd.

<sup>5)</sup> 대원토질(주) 전무이사, Executive Director, Daewon Soil Co., Ltd.

**SYNOPSIS** : Generally, ordinary portland cement(OPC) is widely used for grouting to reduce permeability of ground under the foundations of structures. But, it is hard to be injected into the microscopic voids, fissures and crevices in soil or rock formation for the OPC material. Therefore new method what is called MSG(Micro Silica Grouting) has been developed recently to improve the weak point of the OPC material. In this case study, in order to verify performance of the MSG's water cut-off, trial injections were performed in rear of CIP(Cast in Place Pile) on the site A(weathered soil) and B(alluvial soil) that are constructed for the subway No. 9 nowadays. To take the proper grouting method of the MSG in the trial injecting, the injections are carried out for grouting types(constant pressure or fixed quantity) and grouting methods(1.5shot or 2.0shot) and to confirm the effects of water cut-off and the injection range of the MSG, the tests of permeability and indicator(phenolphthalein) response were performed before and after the injection. Through the tests results, we could affirm the effects of water cut-off of the MSG and the injection range for the weathered and alluvial soil layers near the Han River. Finally we could make sure the application of the MSG method in actual construction under the layers.

**Key words** : MSG, microscopic void, alluvial soil, weathered soil, effect of water cut-off

## 1. 서론

일반적으로 구조물 기초지반의 차수를 목적으로 보통시멘트 주입에 의한 시멘트밀크 그라우팅공법이 널리 사용되고 있다. 그러나 주입대상 지반의 간극 및 균열이 미세한 경우, 보통시멘트의 지반내 주입 및 침투효과의 저하로 인해 최근 미세 마이크로 시멘트계를 주입재로 하는 MSG(Micro Silica Grouting)공법이 개발되었다. 본 사례연구에서는 보통시멘트 밀크에 의한 주입시공이 어려운 미세균열이 발달한 풍화토층 및 충적토층 지반의 차수목적으로, 현재 공사 중인 서울지하철 9호선의 A(풍화토층)와 B(충적토층)공구 지반을 대상으로 MSG공법을 CIP벽체 배면에 시험적용하였다. 시험시공의 내용은 MSG 공법을 주입형태(정압 및 정량주입) 및 주입방식(1.5 및 2.0shot)별로 적용하여 적용지반에 대한 적절한 MSG 주입방식을 선정하였으며, 또한 대상지반의 투수성저하 및 지반개량여부를 정량적으로 확인하기 위해 MSG주입 전·후로 현장투수시험과 표준관입시험을 실시하여 그 결과를 비교 검토하였다. 표준관입 시험결과, 대상지반의 불균질성 등으로 인하여 뚜렷한 지반보강효과는 확인할 수 없었으나, 현장투수시험결과 투수계수 저하에 의한 차수효과를 검증하였으며, 또한 주입 후 지시약반응 확인 시험에 의하여 주입효과 및 범위를 확인할 수 있었다. 따라서 본 시험시공 결과, 지하수위가 높고 미세 균열이 발달한 한강 인근현장의 풍화토층 및 충적토층에 적용된 MSG그라우팅 공법의 차수효과를 확인할 수 있었으며, 이를 토대로 향후 본 시공에 대한 MSG 공법의 품질시공을 확신할 수 있었다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 Grout 주입개념 및 기존공법의 특징

주입이론에 의하면 약액 주입의 가장 이상적인 형태는 토립자의 배열구조를 대부분 흐트리지 않고 주입재가 입자간의 간극에 들어가 간극속에 존재해 있던 물의 대부분을 밀어내어 고결하는 침투주입이다. 그러나 실제로 세사보다 작은 입경을 갖는 세립토층에서는 토층의 약선이나 토층경계에 약액이 흠을 할렬시키면서 주입되는 소위 맥상주입의 형태를 띠게 되는데, 이러한 경우 때로는 지반을 교란시킬 우려가 있다. 할렬 주입은 지반을 주입압으로 할렬하여 소위 수압파쇄현상이 생기며 이때 할렬부분에 주입재가 들어가므로 인해 흠이 흐트러지게 된다. 따라서 할렬주입에 의해 맥상부의 주입방향, 분포상태, 호모젤강도 등이 가장 중요하며 주입재가 설계범위를 훨씬 넘어 주입되고 목적 범위에 그다지 주입되지 않는 경우는 개량효과는 없고, 오히려 마이너스 효과를 자초하게 된다. 할렬 주입이 된 경우의 개량 원리에 관한 정설이 없는 관계로 할렬의 발생 상황은 현장에 의해 전부 다르므로 이 형태가 된 경우의 토질공학적 성상에 관하여 명확하게 하는 것은 대단히 어렵다. 그러나 최근에 순결성 주입재의 이중관 복합주입등에 의해 상당히 효과를 높이는 예가 증가하고 있으며 할렬주입에 의한 지반개량 이론도 점차 확립되어 가고 있다.

1980년대 서울 도심지 지하철공사에 도입되어 시공된 LW(Labiles Wassergliss)공법과 SGR(Space Grouting Rocket System)공법은 가장 일반적인 약액주입공법으로 그 개념은 지금까지도 국내에서 가장 보편화된 개념의 공법으로 이들을 간단히 살펴보면 다음과 같다. LW공법은 시멘트 현탁액과 물유리를 Y자형 파이프를 합류혼합(gel-time 60~90초)하여 주입하게 되는 이른바 1.5Shot 방식에 의한 것으로 재료비, 공사비가 저렴하다는 장점이 있는 반면 주입재가 설계범위를 훨씬 넘어 주입되고 주입범위를 정확히 제어할 수 없는 경우가 발생하며 또한 시간의 경과에 따라 지하수에 의한 용탈현상이 발생하여 강도저하 및 환경오염의 문제가 발생할 수 있다.

SGR공법은 물유리계 주입재를 사용하는 이중관복합주입공법의 일종이다. 이 공법은 목적범위를 보다 확실하게 개량하기 위하여 특수한 선단장치와 3조식 교반장치를 갖추고 있으며, 대상지반 중에 형성시킨 유도공간을 통해 급결성(gel-time 6~9초)과 완결성(gel-time 60~90초)의 주입재를 저압에 의해 연속적으로 복합주입하는 공법이다. 넓은 면적의 공간을 이용한 저압주입이므로 지반의 교란이 적고, 지반의 용기로 인한 인접구조물에 미치는 영향이 적은 반면 포틀랜드 시멘트를 사용한 시멘트현탁액을 사용하므로 주입재 침투의 한계가 있고 역시 LW공법에서와 같은 시간경과에 따른 주입재의 용탈 및 이로 인한 강도저하 등의 문제가 야기될 수 있다.

## 3. MSG공법 특징

MSG공법의 특징은 첫째, 고침투, 고강도, 고내구성 및 환경친화성을 특징으로 하는 마이크로 복합실리카 주입재를 사용하여 토질상태 또는 현장여건에 따라 2.0Shot방식 또는 1.5Shot방식을 선택적으로 이용할 수 있다. 2.0Shot공정은 2중관 주입방식으로 순결성 그라우트와 침투성 그라우트를 반복하여 주입하며, 1.5Shot공정은 더블팩커 슬리브주입방식으로 고탄성 슬리브를 통해서 원판상(圓板狀) 인공유선이 형성되므로 균질하게 분사침투 시킬 수 있다.

둘째, 주입스텝 길이가 종래 50cm에서 33cm로 단축되어 침투의 중복도가 커지므로 실트질 점성토나 조밀한 지반에서도 주입효과가 우수하다.

셋째, MSG공법의 복합주입은 지반특성이 다양한 복수 지층에서 큰 공극에 순결형 그라우트를 충전하여 지반의 수밀성을 높이고, 작은공극에 완결형 현탁액 그라우트를 침투시키는 방식으로 주입재와 시공방법을 단계적으로 적용함으로써 균질한 지반개량이 가능하다.

넷째, MSG공법은 최대입경 10 $\mu$ m이하의 마이크로 분체를 현탁액형으로 사용하기 때문에 세립질 모래 지반은 물론이고 실트질이 소량 함유된 실트질 모래지반까지도 침투주입이 가능하다.

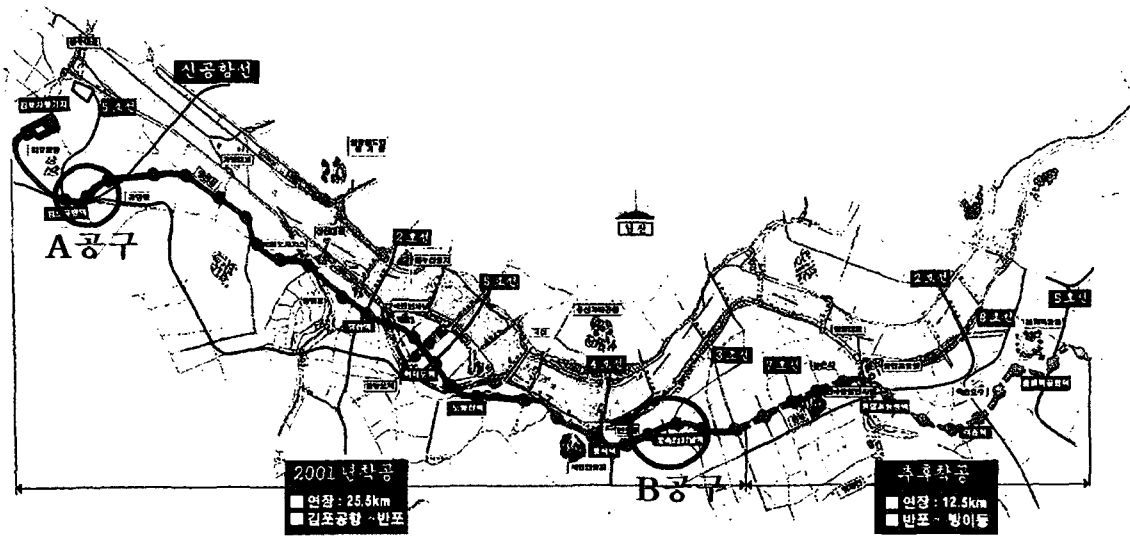
마지막으로 MSG약액의 호모젤 고결체는 고강도가 발현되고 장기재령에서도 시편변형이 적기 때문에 내구성이 우수하다.

MSG의 주입방식은 2중관 주입방식과 더블팩커 슬리브 주입방식이 있다. 2중관 주입방식은 2.0Shot방식으로 천공후 gel-time이 9~12초인 순결형 주입재를 주입하여 큰 공극을 충전하고 gel-time이 60~90초인 완결형 주입재를 주입하여 작은 공극에 침투시킨다.

더블팩커 슬리브 주입방식은 1.5Shot방식으로 캐이싱을 이용하여 천공하고 seal재 그라우트를 충전한 후 슬리브 파이프를 설치하고 더블팩커인 인젝션 파이프를 슬리브 파이프 안에 삽입하여 완결형 그라우트재를 주입하는 방식이다.

#### 4. MSG공법 시험주입 대상 지층구성

지하철 9호선 노선도 및 MSG공법 시험주입 대상인 A공구와 B공구 위치는 <그림 4.1>과 같다.



<그림 4.1> 지하철 9호선 노선도 및 시험주입 위치도

A공구 지층구성은 상부로부터 소량의 자갈이 함유된 실트섞인 모래로 구성된 매립층, 완전 풍화되어 실트질 모래로 구성된 풍화잔류토 및 풍화암, 그리고 연암순으로 되어 있다.

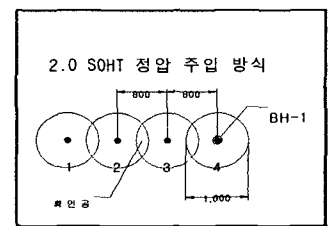
한강과 비교적 인접해있는 B공구의 지층구성은 소량의 자갈을 함유한 실트섞인 모래로 구성된 매립층, 점토 및 실트(N=7~24/30), 모래(N=4~18/30), 모래질 자갈(N=19/30)으로 구성된 층적층, 실트섞인 모래인풍화토, 풍화암, 흑운모 편마암인 기반암순으로 되어 있다.

#### 5. 시험시공

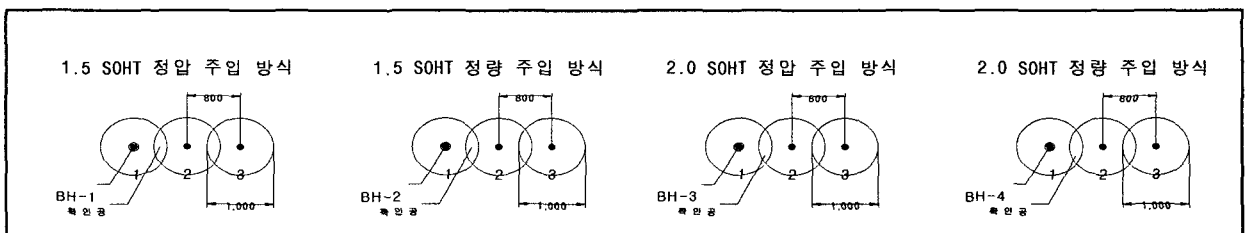
서울지하철 9호선 A공구 및 B공구 건설공사 중 MSG 보조 그라우팅의 본 시공에 앞서 MSG공법의 차수 및 개량효과를 확인하고 주입방법 적정성을 판단하기 위한 시험시공을 다음과 같이 계획하였다.

##### 5.1 시험주입공 배치계획 및 내용

A공구의 경우 본 시공위치 인접부에 대표 시험주입하였으며, B공구의 경우 본 시공구간인 사평로 배수펌프장에 시공 계획된 가시설 배면에 직접 시험주입하였다. 주입공 C.T.C는 800mm, 확산경은 1000mm로 하여 A공구의 경우 4공을 1개소로하여 1개소 배치하였으며, B공구의 경우는 3공을 1개소로하여 4개소를 1열로 배치하였다. 주입효과 비교를 위한 확인공은 주입공과 주입공 중간지점에 배치하였다. 이에 대한 시험 배치계획도는 <그림 5.1>과 같다.



(a) A공구



(b) B공구

<그림 5.1> 시험주입공 배치계획(A, B공구)

## 5.2 시험시공 내용

시험시공을 위한 공정은 크게 주입전 지반상태를 파악하기위한 원지반 조사, 천공한 주입공에 대한 실제 MSG시험주입과 주입 후 개량효과 및 개량범위를 확인하는 주입효과 확인시험으로 나누어 시행하였으며 시행항목 및 내용은 다음 <표 5.1>과 같다.

<표 5.1> MSG공법 시험주입 시행항목 및 내용

공 종	시행항목	수 량	
		A공구(풍화토층)	B공구(충적토층)
원지반 조사	- 시 추 조 사 - 현장투수시험 - 표준관입시험	- 4 공 - 3 회 - 3 회	- 12 공 - 16 회 - 16 회
시 험 주 입	- 시 공 길 이 - 시 공 공 수 - 시 공 재 원	- 7.5m - 4 공 - C.T.C = 800mm, Ø1,000mm	- 10.5m - 12 공 - C.T.C = 800mm, Ø1,000mm
주입효과 확인시험	- 지시약반응시험 - 현장투수시험 - 표준관입시험 - 굴착시험	- 1 개소 - 3 회 - 3 회 - 1 개소	- 4 개소 - 16 회 - 16 회

### 5.2.1 시험장비 및 시추조사

시험주입에 사용된 장비로는 시험주입공 천공 및 표준관입시험을 위한 유압타격식 시추기, grout 혼합을 위한 3조식 Mixer plant, 압력주입을 위한 주입 pump, T-P-Q관계 곡선을 위한 자동기록계, step주입에 필요한 주입관 인발을 위한 유압 cylinder 및 기타 부대장비를 이용하여 시험을 수행하였다.

천공심도는 본 시공의 개량심도를 기준하여 A공구는 9.0m, B공구는 12.0m로 산정하였고 작업 과정시 공벽의 붕괴를 방지하기 위하여 풍화암 상부까지 케이싱을 삽입하였다.

### 5.2.2 표준관입시험 및 현장투수시험

표준관입시험은 지반의 지지력, 지층의 분포상태 및 지질을 파악하기 위하여 널리 행하여지는 시험으로 지질의 상태, 밀도를 측정하고 시료를 채취하는데 그 목적이 있으며, 본 시험시공에서는 주입 전·후 1개소당 3.0m, 6.0m, 9.0m, 12.0m에 실시하여 지반의 지지력을 비교하였다.

현장투수시험은 주입 전·후 현 지반의 투수성 및 시험주입 효과를 확인하고자 실시하였으며, 그라우팅 개량 후 투수계수는  $K=a \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  이하를 합격기준으로 한다. 일반적으로 사용되는 투수시험 방법은 정수위법과 변수위법으로 대별되나 당 현장에서는 주입수로 인한 대상지반의 교란을 최대한 방지하는 수위저하법으로 실시하였다.

### 5.2.3 시험주입

<그림 5.1>과 같이 A공구의 경우는 4개공을 1개소로 하여 1개소에 대하여 시험주입하였으며, B공구의 경우 3개공을 1개소로 하여 4개소를 실시하였다. 주입방식은 상향식(Up-Stage)주입방식으로 1회 인발간격은 33cm를 원칙으로 하나 주입압력 및 주입량의 표면유출 등을 고려, 변경 실시 하였다.

MSG주입은 A공구의 경우 2.0Shot정압주입, B공구의 경우는 1.5Shot정압주입, 1.5Shot정량주입, 2.0Shot정압주입, 2.0Shot정량주입의 4가지 방식에 준하여 실시하였다.

MSG공법에 사용되는 주입재료의 특성 및 배합 기준은 다음 <표 5.2>와 같이 시행하였다.

<표 5.2> MSG공법 배합 기준

구 분	약액종류	M.S.G - E	M.S.G - N	비 고
		(순결형)	(완결형)	
A 액 (200ℓ)	규산소다(ℓ)	80	80	1.5shot방식일 경우 완결형만 주입
	물(ℓ)	120	120	
B 액 (200ℓ)	마이크로실리카(kg)	80(4포)	80(4포)	
	물(ℓ)	175	175	
gel-time(sec)		9~12	60~90	

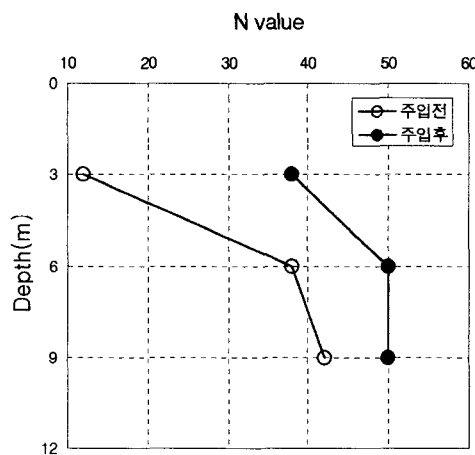
## 6. 시험주입 결과 및 분석

### 6.1 시험주입 결과

A공구의 본 시공위치 인접부의 대표지점에 대한 2.0Shot정압주입 시험결과는 다음 <표 6.1>과 같다

<표 6.1> A공구(풍화도층) 시험주입 결과

구분	주입량 (m <sup>3</sup> )		천공 심도 (m)	주입 심도 (m)	시공 공수 (ea)	투수계수 (cm/sec)			표준관입시험 N치 (회/cm)	
	설계량	실주입량				심도	주입전	주입후	주입전	주입후
BH-1 2.0Shot 정압주입	7.06	10.98	9.0	7.5	4	3m	$6.45 \times 10^{-4}$	불투수	12/30	38/30
						6m	$1.57 \times 10^{-3}$	$2.91 \times 10^{-5}$	38/30	50/30
						9m	$1.36 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-5}$	42/30	50/30
						평균	$1.19 \times 10^{-3}$	$2.43 \times 10^{-5}$		



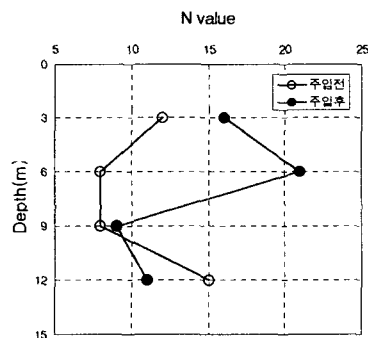
(a) BH-1

<그림 6.1> 시험주입 전·후 표준관입시험 결과(A공구)

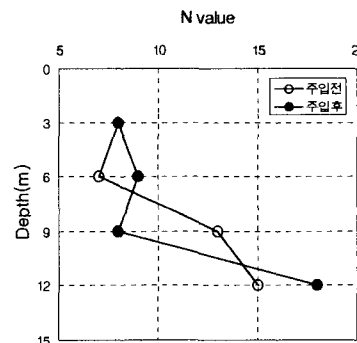
B공구의 본 시공 계획구간에서 3공을 1개소로 4개소에서 각각 1.5Shot정압주입, 1.5Shot정량주입, 2.0Shot정압주입, 2.0Shot정량주입의 4가지 방식으로 실시한 시험주입 결과는 다음 <표 6.2>와 같다.

<표 6.2> B공구(충적토층) 시험주입 결과

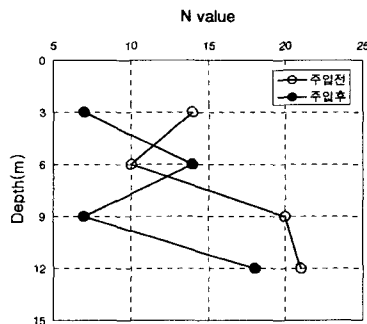
구분	주입량 (m <sup>3</sup> )		천공 심도 (m)	주입 심도 (m)	시공 공수 (ea)	투수계수 (cm/sec)			표준관입시험 N치 (회/cm)	
	설계량	실주입량				심도	주입전	주입후	주입전	주입후
BH-1 1.5Shot 정압주입	7.42	18.00	12.0	10.5	3	3m	$2.04 \times 10^{-3}$	$1.23 \times 10^{-4}$	12/30	16/30
						6m	불투수	$7.52 \times 10^{-7}$	8/30	21/30
						9m	$9.01 \times 10^{-3}$	$2.01 \times 10^{-6}$	8/30	9/30
						12m	$1.01 \times 10^{-2}$	$1.36 \times 10^{-5}$	15/30	11/30
						평균	$5.29 \times 10^{-3}$	$3.48 \times 10^{-5}$		
BH-2 1.5Shot 정량주입	7.42	7.54	12.0	10.5	3	3m	$2.70 \times 10^{-3}$	$4.68 \times 10^{-4}$	8/30	8/30
						6m	$3.71 \times 10^{-3}$	$2.65 \times 10^{-6}$	7/30	9/30
						9m	$1.80 \times 10^{-3}$	불투수	13/30	8/30
						12m	$8.50 \times 10^{-4}$	불투수	15/30	18/30
						평균	$2.27 \times 10^{-3}$	$2.35 \times 10^{-4}$		
BH-3 2.0Shot 정압주입	7.42	16.44	12.0	10.5	3	3m	$1.60 \times 10^{-3}$	불투수	14/30	7/30
						6m	$3.56 \times 10^{-3}$	불투수	10/30	14/30
						9m	$1.43 \times 10^{-3}$	불투수	20/30	7/30
						12m	$8.78 \times 10^{-4}$	$4.01 \times 10^{-6}$	21/30	18/30
						평균	$1.87 \times 10^{-3}$	$4.01 \times 10^{-6}$		
BH-4 2.0Shot 정량주입	7.42	7.50	12.0	10.5	3	3m	$1.28 \times 10^{-4}$	$4.06 \times 10^{-5}$	14/30	9/30
						6m	$2.99 \times 10^{-3}$	불투수	10/30	12/30
						9m	$2.58 \times 10^{-4}$	불투수	20/30	7/30
						12m	$1.42 \times 10^{-5}$	$4.95 \times 10^{-5}$	21/30	12/30
						평균	$8.48 \times 10^{-4}$	$4.51 \times 10^{-5}$		



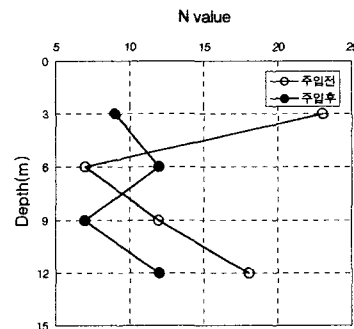
(a) BH-1



(b) BH-2



(c) BH-3



(d) BH-4

<그림 6.2> 시험주입 전·후 표준관입시험 결과(B공구)

## 6.2 결과분석

### 6.2.1 투수시험

투수시험에 의한 차수효과 확인결과 풍화토층에 적용한 A공구(2.0Shot정압주입)의 경우 주입 전 평균 투수계수는  $1.19 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ , 주입 후 평균 투수계수는  $2.43 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 로 감소하였다. 충적층에 적용한 B공구의 경우 주입 전·후의 평균 투수계수를 비교하여 보면 BH-1(1.5Shot정압주입)은  $7.05 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 에서  $3.48 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ , BH-2(1.5Shot정량주입)는  $2.26 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 에서  $2.35 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ , BH-3(2.0Shot정압주입)은  $1.86 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 에서  $4.01 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 로 BH-4(2.0Shot정량주입) 또한  $8.47 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 에서  $4.95 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 으로 감소하였다. A공구에서는 개량 목표치인  $\alpha \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 를 만족 하였고, B공구 또한 BH-1(1.5Shot정압주입)과 BH-2(1.5Shot정량주입) 중 지표면에서 가까운 3.0m지점에서 각각 주입 후 투수계수가  $\alpha \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 인 것을 제외하고 모든 위치에서 개량 목표치인  $\alpha \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 를 만족하는 것으로 나타났다.

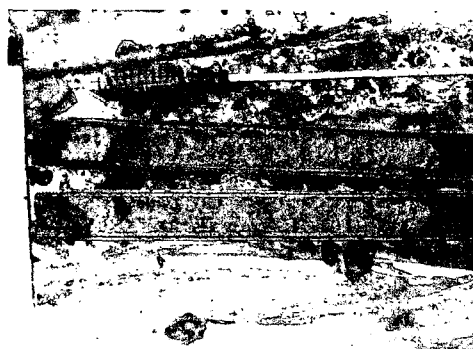
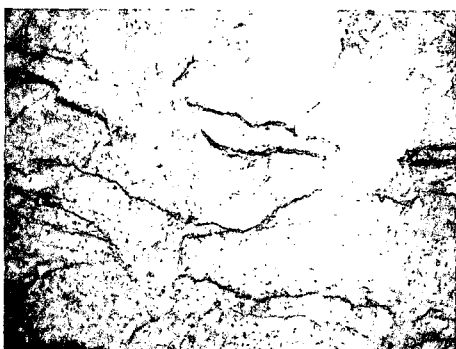
투수시험 결과에서 보듯 2.0Shot주입방식은 모두 주입 후 개량목표치를 모두 만족하였고 1.5Shot주입 방식에서 목표치에 도달하지 못한 심도가 나타났다. 이 심도는 B공구의 소량의 자갈을 함유한 실트섞인 모래로 구성된 매립층에 해당된다. 이러한 결과가 나타난 원인은 1.5Shot주입방식은 완결형만 주입함으로써 주입액이 설계범위 이상으로 침투되어 목적했던 범위에서는 개량효과를 발휘 못하는 단점 때문인 것으로 판단된다. 정압주입방식과 정량주입방식 모두 비슷한 투수계수 감소효과를 나타냈으나 정압주입 방식의 경우 설계주입량의 1.5~2.4배에 해당하는 grout가 주입이 되어 과다주입이 되었다. 따라서, 실트 또는 점토, 실트질모래로 구성된 충적토층인 경우 1.5Shot정량주입방식 및 2.0Shot정량주입방식의 MSG 공법으로 경제성있는 차수효과를 얻을 수 있을 것으로 판단되며, 실트질 모래인 풍화토층에서도 역시 2.0Shot주입방식으로 차수효과를 얻을 수 있을 것이다.

### 6.2.2 표준관입시험

주입 전·후에 대한 표준관입시험 결과는 지층이 비교적 균질한 A공구의 경우 주입 전 N치는 12/30~40/30에서 주입 후 38/30~50/5로 증가하였다. 그러나, B공구의 경우 주입 전·후의 표준관입시험 비교에서 BH-1은 8/30~15/30에서 9/30~21/30으로, BH-2는 8/30~15/30에서 8/30~18/30, BH-3은 14/30~21/30에서 7/30~18/30, BH-4는 7/30~23/30에서 7/30~12/30으로 나타나 강도증가효과를 판단하기 어려울 것 같다. 이처럼 N치가 증가 경향을 보이지 않은 원인으로 grout의 연약한 면으로의 침투, 충적 토층 지반의 다양한 토질구성, 주입 전·후 시험위치의 상이성 및 충적토층에 섞여있는 자갈에 의한 영향인 것으로 판단된다.

### 6.2.3 지시약반응시험

주입범위 및 주입효과를 확인하기 위해 A공구의 경우는 Sampler로 채취된 시료와 굴착에 의한 지시약반응시험결과 주입재의 침투범위 및 확산효과를 확인할수 있었으며, B공구 또한 Sampler에 의한 채취 시료의 지시약반응시험결과 당초 계획한 확산범위를 만족하는 것으로 나타났다.



(a) A공구(풍화토층) 굴착후 지시약반응시험 (b) B공구(충적토층) Sampling에 의한 지시약반응시험  
<사진 6.1> 지시약반응시험

## 7. 결 론

본 연구는 지하철 9호선 가시설 배면보강 공사의 일환으로 계획된 MSG공법의 차수효과를 현장시험을 통해 파악하고, 그 결과를 토대로 토질별 적용성과 향후 현장조건에 적합한 실제시공이 될 수 있도록 시험시공한 MSG공법의 사례이다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 실트질 모래인 풍화토층(A공구)과 실트 또는 점토, 실트질 모래인 층적토층(B공구)의 차수 및 지반보강효과를 확인하기 위하여 1.5Shot정압·정량주입방식 및 2.0Shot정압·정량주입 방식으로 MSG 시험주입을 실시하여 주입 전·후에 투수시험 및 표준관입시험을 실시하였으며, 주입 후 굴착 및 Sampling을 실시한 후 이에 대한 지시약 반응시험을 실시하였다.
- (2) 투수시험에 의한 차수효과 확인결과 풍화토층에 적용한 A공구(2.0Shot정압주입)에서는 개량 목표치인  $\alpha \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 를 만족 하였고, 층적토층에 적용한 B공구 또한 BH-1(1.5Shot정압주입)과 BH-2(1.5Shot정량주입) 중 지표면에서 가까운 3.0m지점(매립층)에서 각각 주입 후 투수계수가  $\alpha \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 인 것을 제외하고 모든 주입방식의 모든 위치에서 개량 목표치인  $\alpha \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 를 만족 하는 것으로 나타났다.
- (3) A공구와 B공구에서 굴착 및 Sampler채취시료에 실시한 지시약 반응시험결과 계획 주입범위를 만족 하였으나, 지반강도 증진효과를 파악하기 위한 표준관입시험 결과 토질구성이 비교적 균일한 풍화토층으로 구성된 A공구의 경우 증가 효과가 있었으나, 토질구성이 비교적 다양한 퇴적지반의 층적층인 B공구는 뚜렷한 강도증가 경향을 확인할 수는 없었다.
- (4) 주입형태 및 주입방식을 달리하여 MSG공법 시험주입을 한 결과 층적토층에서 1.5Shot정량주입 및 2.0Shot정량주입방식이 경제성있는 차수효과를 보였으며, 2.0Shot방식으로 주입한 풍화토층에서도 목표로 한 차수효과를 보여주었다. 따라서, 본 시공 현장 시방기준에 제시되어있는 gel-time조절이 가능하며 계획한 확산범위 및 차수 개량목표 기준치를 만족시키는 2.0Shot정량주입방식의 MSG공법 적용은 타당하리라 판단된다.
- (5) 결론적으로, 실트 또는 점토 및 실트질 모래인 층적토층과 실트질 모래인 풍화토층에 대하여 MSG 공법의 시험시공을 실시한 결과 차수효과가 양호하게 나타났다. 따라서 향후 유사지반에 대한 MSG 공법의 적용시 확신을 가질 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 대상지층의 특성에 따라 실 시공 이전에 시험주입을 실시하고 그 결과를 토대로 해당 지반에 맞는 주입방식을 결정하여 시공해야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 도서출판 과학기술, 1999, “약액주입공법조사설계”
2. MSG공법협의회/쌍용양회, “MSG공법(Micro Silica Grouting Method)”
3. 한국지반공학회, 2002, “2002 가을학술발표회 논문집”, pp98
4. 한국지반공학회, 2002.7, “한국지반공학회지”, pp47~53
5. 한국지오택/MSG공법협의회, 2003.1, “MSG공법(Micro Silica Grouting)의 침투성 Demo실험 및 경제성 평가”
6. 한국지오택/MSG공법협의회, 2003.1, “MSG주입재를 이용한 지반보강효과 평가”
7. 천병식, 1997, “건설기술자를 위한 지반주입공법”