

B.G.I 지반보강 공법에 관한 연구

A Study on the Ground Reinforcement Method of B.G.I

유 남 재* 서 승 오** 김 동 건***
Yoo, Nam-Jae Seo, Seung-O Kim, Dong-Gun

Abstract

This paper is to investigate effect of B.G.I (Best Grouting Innovation) method on reinforcing ground.

In this thesis, extensive literature review was performed to summarize theoretical backgrounds of grouting and to compare the applicability of different grouting methods.

Unconfined compression test with specimen prepared by injecting different grouts of B.G.I, S.G.R and L.W methods and by changing the curing time were carried out to figure out characteristics of initial unconfined compression strength mobilized in the early stage. As results of test, the compression strength increases with curing times and specimen prepared with grouts of B.G.I method show greater values than others. On the other hands, the measured values of pH are in the range of 7-10 during tests. In field, preliminary construction to main construction at several sites were performed to confirm the effect of reinforcing the ground by application of B.G.I method. From the results of permeability test in field, SPT test and phenol reaction test, it was found that N values after grouting are greater than those before grouting and values of permeability in grouted ground is reduced significantly.

키워드 : 그라우팅, 지반보강, BGI

Keywords : Grouting, Reinforcement of ground, BGI

1. 서론

도시의 과밀 고층화에 따른 기초의 깊이가 깊어지면서 대형 토목공사와 대규모 국토 건설공사가 진행되고 있는 바, 고속철도, 도심지하철, 신공항등과 같은 곳에서 연약지반 또는 불규칙도층으로 인해 지반보강 및 차수효과를 위한 그라우팅의 주입 공법이 많이 쓰이고 있다.

주변구조물 및 지하 매설물의 안정성을 확보하기 위하여 조사, 설계, 시공 및 계측의 각 단계마다 철저한 제도적, 기술적 관리가 요구되는 정보화

시공의 중요성이 점차 증대되어 가고 있으며 점차 대형화 되고 시가지의 공사가 빈번해지기 때문에 보다 경제적이고 효율적인 공법들을 개발하여 지질조건 및 환경조건에 따른 최적공법들을 선별 시공하고 있는 실정이다.

지반주입공법은 지반의 특성을 목적에 따라 개량하기 위해 주입제를 지반에 주입시키는 방법으로 목적에 따라 지반의 차수효과 및 강도증진을 주된 목적으로 하고 있다.

현재 사용되고 있는 여러 가지 주입제 및 주입 방법의 특성을 파악하여 사용목적과 대상지반의 조건에 적합한 공법을 선정해야 함은 물론, 공법이 육안으로 확인할 수 없는 지중에서 시공되고 있는 점을 감안하여 철저한 시공관리와 주입효과의 확인이 요구된다.

본 연구에서는 지하철 공사구간과 터널의 현장

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사, 교신저자

** 하남기초, 대리

*** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

은 현장지반을 대상으로 B.G.I공법(Best Grouting Innovation)에 의한 지반보강효과에 대하여 각종 실내 및 현장 실험을 수행하고 그 결과를 분석하여 B.G.I 공법의 적정성에 대한 검토를 실시하였다.

2. 이론적 배경

그라우팅(Grouting)이란 지반 혹은 암반내로 액상이나 Gel 상의 Grout제를 주입시켜, 공기나 물로 차 있는 균열·공극을 채워 고결시킴으로써 지지력을 증대시키는 가장 보편적인 공법이다(건교부, 1997). 그라우팅 수행은 지반강화, 차수성 증대, 지반변형 방지를 주목적으로 하고 있다.

2.1 주입공법의 분류와 형태

주입관 구조와 시공방식에 따른 주입공법의 분류와 형태에 대하여 표 1에 정리 하였다.

표 1 주입공법의 분류와 형태

단관로트드 공법	시멘트 밀트 그라우팅	
이중관 로트드 공법	이중관 로트드 (순결)공법	LAG, DDS, MT Carbo-Rock 공법
	특수 이중관 주입공법	토련식 공법
	이중관로트드 복합주입 공법	Multirizer, SGR, BGI Unipack바이모드공법
더블패커 주입공법	LW, Soletanche Double Strainer Sleeve 공법	
고압분사 주입공법	약액, 공기, 물, 그라우트용 분사법	CCP, JSP, RJP Jet Grout, SIG JSG 공법

2.2 약액의 종류와 특성

주입제는 약액과 비약액계를 구분으로 비약액계(현탁액 형)는 시멘트 계나 점토계, 시멘트 몰탈로 암반의 균열이 협소하거나 연장거리가 먼 경우나 경화되기까지 많은 시간이 요구되어 긴급을 요하는 요수, 누수 등의 지하수처리나 유수중에서의 주입효과는 기대할 수 없다. 현탁액형 주입제인 벤토나이트나 아스팔트 등은 주입제에 의한 차수효과는 기대할 수 있으나 강도증진에는 실효성이 없다. 일반적으로 물유리계 약액 및 고분자계 약액은 점성이 낮고 입자가 없어서 시멘트로는 기대할 수 없는 협소한 균열 깊숙이까지 주입충전 될 수 있

으며 시멘트와의 병행하여 이용하면 부족한 강도를 증진시킬 수 있다. 그러나 현재 고분자계 약액은 공해문제로 특수한 목적 외에는 거의 이용되지 않으며 대부분 물유리계 약액이 주종을 이루고 이용되고 있다.

2.3 주입재의 선정

주입재는 주입목적, 특성, 현장상황, 시공조건에 맞게 선정하여야 한다.

시멘트	강화	점토, 시멘트	지수	점토, 벤토나이트	강화	아스팔트유제	고 분 도	저 분 도	고 분 도	극저농도	아크릴아미드	화 륜 계
물 유 리 계	고 분 도	강화	저 분 도	강화	고 분 도	지수	극저농도	지수	아크릴아미드	지수	화 륜 계	지수
고분자계	화 륜 계	지수	표의 투수계수 K(cm/s) 10 ⁻¹ 10 ⁻² 10 ⁻³ 10 ⁻⁴ 10 ⁻⁵ 10 ⁻⁶ 10 ⁻⁷									

그림 3 주입목적에 따른 주입재의 침투범위

2.4 국내 대표적 공법

우리나라는 1970년대 말 서울지하철 건설 착공과 함께 L.W, S.G.R, J.S.P 등 여러 가지 공법이 도입되기 시작하여 지금은 다양한 신공법, 특히 공법들이 도입되어 여러 건설 현장에서 다양하게 쓰이고 있다. 최근 지하철현장 및 도심지 도심도 굴착지반의 붕괴로 인한 대형 건설현장에서의 사고 발생으로 강도 및 내구성, 차수성이 우수한 지반개량제 및 주입기술의 개발에 대한 필요성이 새롭게 부각되고 있다.

3. B.G.I 그라우팅 공법

3.1 B.G.I 그라우팅 공법 개요

B.G.I(Best Grouting Innovation) 공법은 이중관과 특수한 침단장치를 사용하여 겔타임과 주입제의 호모겔 강도를 조절하여 주입함으로써, 주입목적에 가장 적합한 개량효과를 확실히 얻을 수 있는 공법이다.

3.2 B.G.I 그라우팅 주입시공

B.G.I 그라우팅 주입작업은 주입목적이 만족되고, 지반 및 인접 구조물의 변형, 주입제의 유출이 발생되지 않도록 철저한 시공 관리 하에 시행해야 한다. 다음 그림 2의 주입시공 순서 흐름도와 같다.



그림 4 B.G.I 주입시공 흐름도

3.3 B.G.I 그라우팅 공법의 적용조건

B.G.I 공법은 대수세사층, 사질토층, 투수성이 다른 토층지반, 풍화암층의 지반보강, 피압수나 지하수의 유속이 커서 구체형성이 어려운 지반에서 적용이 용이하다. 또한 용수, 유사 지역에서의 응급처치, 피토고가 얇은 지역의 지반보강, 주요구조물의 방호, 하천구조물의 기초 지반 영구 보강 등의 시공조건에서 적용할 수 있다.

4. 실내실험

4.1 개요

시멘트, 물, B.G.I-1호, 2호 약제로 제작된 공시체를 재령별 압축강도, pH실험을 실시하였으며 일반적으로 많이 사용되고 있는 L.W 공법과 S.G.R 공법의 약재를 사용하여 동일한 시험을 실시하여 실험결과를 비교 분석하였다.

4.2 일축압축강도 실험

모든 지반에서 차수그라우팅과 지반보강에 B.G.I 공법 고결체의 내구성 평가 실험방법 중 본 실험에 사용된 실험방법은 적용되는 주입제를 혼합한 공시체를 제작하여 재령별로 강도발현 경향을 비교하였다. 약액을 주입한 공시체의 조기강도 발현 정도와 보조 지반보강재로서의 적합성을 판단하기 위하여 공시체는 직경 50mm, 높이 100mm의 공시체를 제작하여 재령별 일축압축강도를 측정하였다. 시험방법은 [흙의 일축압축시험방법 (KSF 2314)]의 규정(한국표준협회, 2000)을 바탕으로 수행하였으며, 유사 공법인 S.G.R공법, L.W공법을 통한 공시체를 제작하여 그 결과를 비교하였

다. 그림 4는 B.G.I공시체와 S.G.R공시체, L.W 공시체등의 일축압축강도시험 모습을 나타낸 것이다.



그림 4 일축압축강도시험(S.G.R, B.G.I, L.W) 전경

표 2 재령별 일축압축강도시험 결과

구분	B. G. I (kgf/cm ²)		S. G. R (kgf/cm ²)		L. W (kgf/cm ²)
	1호 (급결)	2호 (중결)	7호 (급결)	8호 (완결)	
1일강도	6.3	7.9	1.76	0.79	1.41
3일강도	24.7	71.82	2.72	1.95	4.32
8일강도	52.15	126.22	5.17	5.07	12.07
15일강도	85.26	118.54	5.94	5.89	66.69
29일강도	77.7	111.8	4.32	3.42	35.6

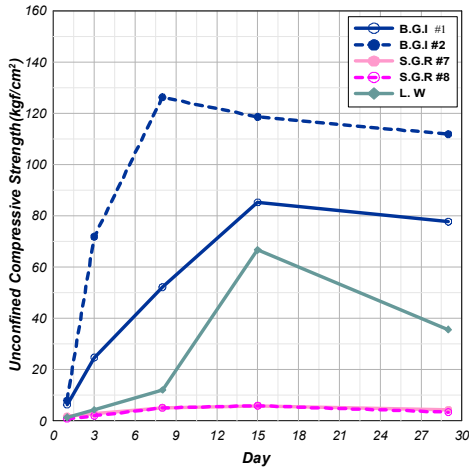


그림 5 재령별 일축압축강도 결과

B.G.I 공시체 및 S.G.R 공시체와 L.W공시체의 재령별 일축압축강도 결과는 표 2에 정리하였으며 그림 5와 같이 재령별 일축압축강도 변화를 도시하였다. 재령별 일축압축강도 시험결과 B.G.I 공시체의 1일 강도는 6.3kgf/cm²(급결), 7.9kgf/cm²(중결)이지만 3일 강도는 24.77kgf/cm²(급결), 71.82kgf/cm²(중결)로 3일만에 강도가 조기발현 되어 비슷한 약액공법인 S.G.R공법, L.W공법보다 우수함을 보여주고 있다. 전반적으로 1일 강도이후 시간경과에 따라 강도가 증가하다가 최대강도이후 서서히 강도가 감소하여 수렴하는 경향을 나타내고 있다. L.W는 15일에서 최고의 강도를 나타내고 서서히 감소함을 할 수 있었다. S.G.R은 급결 또는 완결시 다른 공법에 비하여 전반적으로 낮은 강도를 보여주고 있다.

4.3 pH 실험

pH란 용액의 산성 및 염기성 정도를 나타내는 측정 단위로 알려져 있고, 눈금상에서 0~14까지 측정된다. 화공 제품은 일반적으로 산·알칼리도로서 그 특성을 나타내는 경우가 많으며, 산·알칼리성 정도에 따라 안전성 및 안전도 등과 더불어 화학적 반응 또는 물리적 혼합에서의 문제점 발생 여부를 알아내는 경우도 많기 때문에 제품의 품질을 결정하기도 한다. 또한 pH 측정은 환경에 대한 민감성을 확인하는데 필요한 실험(한국지반환경공학회 논문집, 2006)으로 B.G.I, S.G.R, L.W공법에 의한 공시체에 대하여 동시에 재령별 pH실험을 수행하였다. 다음 그림 6, 그림 7은 pH 측정 모습과 실험결과를 나타낸다.



그림 6 pH실험 전경(재령 1일)

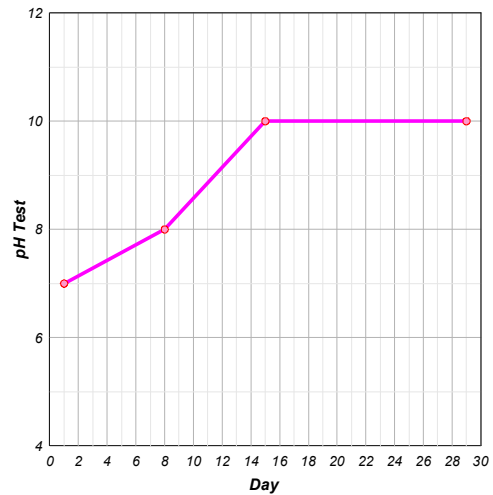


그림 7 재령별 pH실험 결과

재령별 pH측정 결과, 1일후 측정치는 pH 7의 중성으로 나타났고 7일후에는 pH 8로 증가한 것을 알 수 있다. 그리고 재령 15일에는 pH 10의 최대 값을 나타냈고, 15일 이후부터 29일까지는 pH가 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

5. 현장실험

5.1 개요

본 현장실험은 시공계획구간에 대한 성공적인 사업수행을 위해 필요한 지반 공학적 자료를 얻는 것과 동시에 현탁액 주입 후의 지반의 강도 및 투수계수 변화를 파악하기 위해 수행하였으며 현장 시험을 실시하여 그 결과를 종합적으로 검토함으로써 안정적인 시공이 되었는지에 관한 자료를 제공하는데 목적이 있다. 현장실험의 일환으로 B.G.I 공법을 이용하여 현장시험시공지역에 대한 그라우팅을 실시하고 지반개량 효과에 대하여 정리 분석하였다. 표 3은 본 연구에서 수행된 현장실험을 적용한 현장시험 시공지역을 나타낸다.

표 3 현장시험시공지역

일시	장소	시공내용
03. 5 } 04. 1	경춘선 복선전철 3공구 노반시설 BGI그라우팅공사	차수 지반보강
04.05.04 } 04.06.13	경부고속철도 11-1 공구 저복토구간 BGI 그라우팅공사	차수 지반보강
04.09.15 } 04.11	경의선(용산~문산) 복선전철 제2공구 노반신설공사	본선개찰구간 BGI차수보강 그라우팅공사
05.07.05 } 06.11.30	경의선(용산~문산) 복선전철 제2공구 노반신설공사	터널상부 보강 그라우팅공사
07.10.24 } 07.11.06	경의선(용산~문산) 복선전철 제2공구 노반신설공사	본선터널 상부 토사유출구간 보강공사

5.2 실험방법

5.2.1 현장투수시험

토사용 투수시험은 시추공 내 케이싱 하단의 일정 구간에 물을 주수하여 물이 하강하는 수두를 측정함으로써 투수계수를 측정하고, 암반용은 시험공 굴착 후 Air Packer를 시험구간에 설치하여 압력측정을 통하여 투수계수를 측정한다.

5.2.2 표준관입시험

지반의 지지력, 지층의 분포상태 및 토질성질을 파악하기 위하여 KS F 2318에 의거 63.5kg의 햄머를 75cm 높이에서 자유 낙하시켜 Split Barrel Sampler가 30cm 관입하는데 소요되는 타격회수인 N치를 측정한다. 여기서 얻어진 N치를 통하여 구성토질의 층서심도에 따른 강도변화지층의 심도연약층 존재 유무 및 지층두께를 파악할 수 있다.

5.3 경춘선 복선전철3공구 노반신설공사

5.3.1 개요

시험시공구간은 아치터널 구간으로 지형상 계곡 부로서 터널계획 상부 지반이 불량하고 토피가 낮은 상태로 터널 굴착 시 불안정성 유발 가능성이 큰 구간이다.

터널 천단부 상부는 0.5D(D=터널직경)정도 이내 두께의 풍화암이 존재하고 그 상부는 토사 층으로 견고한 풍화토층이 존재하나 최상층에 매립토 및 붕적토 층이 형성되어 있는 매우 불량한 구간이다. 또한 지하수위가 매우 높아 터널 굴착시 지반열화 및 주변 침하 우려가 크다.

특히, 시험시공구간은 굴착시 터널 천단부에 풍화토 출현이 예상되고 또한 기존 경춘선을 횡단하는 구간으로 안전성 확보를 위한 대규모 보강이 필요한 실정이다. 기존 경춘선은 비탈면 중앙에 위치하여 통과하므로 터널굴착으로 하부 지반이 거동하게 되면 슬라이딩 발생 우려가 있고 상부에 쌓기 공으로 시공된 기존의 도로확장공사 구간에도 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 이 구간에 대해서는 상부에서 그라우팅을 시행하여 지반을 보강하였다. 현장시험은 2개소에서 심도별 표준관입시험, 현장투수시험, 페놀프탈레인 시약반응시험을 수행하였다. 표 4는 보강공법 선정에 따른 검토사항을 보여준다.

표 4 공법선정시 검토사항

구분	현황 및 보강공법 요구조건
지반조건	<p>- 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> • 풍화암 토피고 0.5D이하 • 터널 천단부에 풍화토층 출현예상 • 풍화암 판정기준이 N치 50/15로서 굴착시 자립을 신뢰할 정도의 암반지반이 아닌 것으로 판단 <p>- 보강공법 요구조건</p> <ul style="list-style-type: none"> • 지반내 침투 그라우팅이 가능한 주입식공법 요구 • 지반강도 증대효과가 매우 큰 공법 요구 • 공사 완료 후 강도저하가 억제되는 공법 요구
지하수조건	<p>- 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> • 지하수위가 토사 층에 존재 • 상부 매립 및 붕적토의 경우 지하수위 저하시 침하우려 큼 <p>- 보강공법</p> <ul style="list-style-type: none"> • 지반내 침투효과 양호한 공법 • 지하수위 저하에 따른 유효응력 증가로 인한 지반 침하에 대응할 수 있는 강도발현이 가능한 공법

5.3.2 시험결과

현장시험을 수행한 결과 주입 전, 후의 투수계수 및 S.P.T는 표 5 및 그림 8, 9와 같이 나타났다. 주입후의 표준관입시험은 N치가 상당히 증가된 것으로 사료되나 당 현장의 지층에는 전석이 많은 관계로 N치의 추정이 무의미한 것으로 판단된다. 심도별 투수계수는 주입 후 전체적으로 작아진 것을 확인할 수 있으며, 주입 유량계 기록지에

나타난 압력 및 수량의 상태로 보아 경춘선 복선 전철 3공구 노반시설 공사 중 B.G.I 그라우팅 시공의 목적을 이루었다고 판단된다.

표 5 현장시험 결과

심도	주입 전		주입 후	
	투수계수 (cm/sec)	S.P.T (회/cm)	투수계수 (cm/sec)	S.P.T (회/cm)
3m	2.189×10^{-3}	3/30	3.808×10^{-6}	26/30
5m	1.826×10^{-3}	5/30	5.713×10^{-6}	23/30
15m	1.676×10^{-3}	4/30	2.331×10^{-6}	20/30
18m	1.516×10^{-3}	3/30	1.554×10^{-6}	24/30

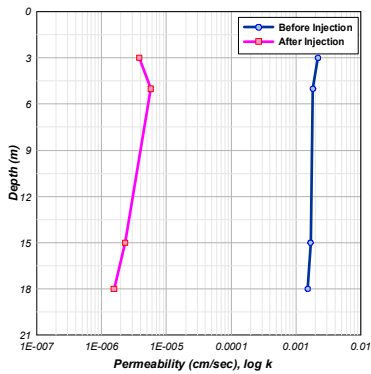


그림 8 심도별 투수시험 결과

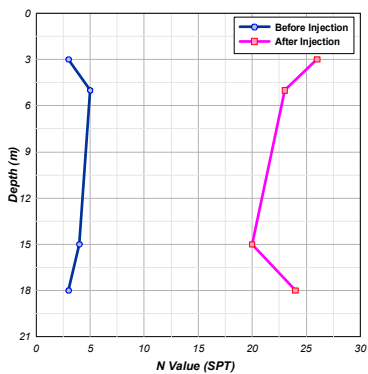


그림 9 심도별 S. P. T 결과

5.4 경부고속철도 11-1 공구 저복토 구간 공사

5.4.1 개요

본 현장은 경부 고속철도 11-1공구 구간으로 대곡1터널과 대곡2터널 저토피 보강구간이다. 터널 굴착 시 불안정성 유발 가능성이 있어 지상에서 그라우팅을 실시한 현장이다. 시험층은 토사층 및 연암층이며 지하수위는 2.2m, 공반경 4.0cm의 조건으로 시험시공구간에 8~10공으로 시행하였다.

5.4.2 시험결과

표 6은 현장시험 결과 얻어진 심도별 투수계수 및 표준관입시험 결과로 주입 전 투수계수는 대체로 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ cm/sec로 나타났고, 주입 후 투수계수는 10^{-6} cm/sec로 그라우팅에 의한 투수계수의 감소가 크게 나타났다. 시험시공구간의 그라우팅 전후에 투수시험 및 표준관입시험 수행결과 모두 30% 이상의 강도증가 효과가 나타났고, 특히 제2터널의 토사층의 경우 50% 이상의 큰 강도 증가가 발생한 것으로 나타났다. 이에 따라 그라우팅 주입효과는 상당히 양호한 것으로 판단된다. 그림 10, 11은 심도별 투수계수 및 S.P.T 시험결과 그래프를 나타낸다.

표 6 현장시험 결과

심도	주입 전		주입 후	
	투수계수 (cm/sec)	S.P.T (회/cm)	투수계수 (cm/sec)	S.P.T (회/cm)
1.5m	4.697×10^{-3}	2/30	2.413×10^{-6}	24/30
2.5m	2.812×10^{-2}	4/30	1.237×10^{-6}	22/30
4.0m	1.540×10^{-2}	4/30	3.084×10^{-6}	25/30

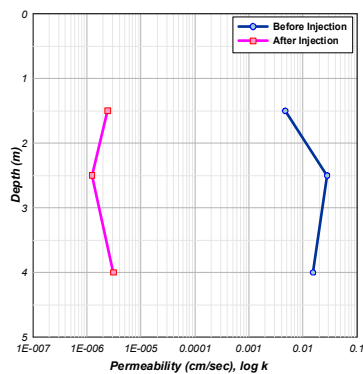


그림 10 심도별 투수시험 결과

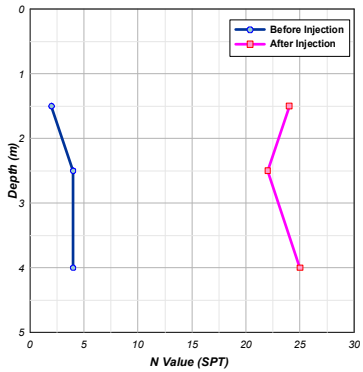


그림 11 심도별 S. P. T 비교

심도별 시료를 채취하여 페놀프탈레인 시약반응 시험을 수행한 결과, 대체적으로 연한적색부터 진한 적색에 이르기까지 주입 효과가 양호하게 나타났으며 육안으로 주입재료가 형성된 것을 확인 할 수 있었다. 토사층의 경우 진한 적색반응으로 나타나 주입효과가 상당히 양호하며 전반적인 맥상 침투가 잘 이루어진 것으로 판단된다.

표 7 단계별 현장실험 결과

단계	심도	주입전		주입후	
		투수계수 (cm/sec)	S.P.T (회/cm)	투수계수 (cm/sec)	S.P.T (회/cm)
1	3m	8.230×10^{-2}	13/30	1.244×10^{-6}	19/30
	6m	9.957×10^{-2}	20/30	2.312×10^{-6}	28/30
2	3m	4.321×10^{-2}	3/30	1.177×10^{-5}	26/30
	6m	3.301×10^{-2}	5/30	4.076×10^{-6}	23/30
3	3m	10^{-2}	3/30	-	8/30
	6m	10^{-2}	5/30	-	46/30
	9m	10^{-2}	50/13	5.191×10^{-5}	50/24
	12m	10^{-2}	50/4	-	50/5
	15m	10^{-2}	50/5	-	50/2
	18m	10^{-2}	50/9	9.099×10^{-5}	50/0
	24m	10^{-2}	-	3.041×10^{-5}	-

5.5 경의선 복선전철 제2공구 노반신설공사

5.5.1 개요

본 현장은 터널상부 보강그라우팅 공사의 일환으로 지반 상부에서 그라우팅을 실시함으로 지반에 점착력 및 강도를 증가시켜 터널굴착 및 구조물 시공에 만전을 기하고자 하였고, 표 3에서처럼 본선개찰구간, 터널상부구간, 본선터널상부구간에 걸쳐 총 3단계로 B.G.I 그라우팅 공사를 실시하여 각 단계마다 투수, 표준관입 및 시약반응에 대한 현장실험을 수행하였다.

5.5.2 실험결과

현장실험 수행 결과, 3단계 공사구간에 대하여 대체로 유사한 결과로 나타났다. 표 7은 해당 공사구간에서의 단계별 현장실험 결과를 나타낸다. 표에서처럼 심도별 투수계수는 주입 전 10^{-2} cm/sec에서 주입 후 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/sec로 타구간의 결과와 마찬가지로 크게 감소하여 나타났다. 주입 전 투수계수는 지질조사 보고서에 제시된 값을 사용하였으며, 주입 후 투수계수는 9m, 18m, 24m 심도에서 변수위 투수시험을 통하여 얻은 값을 사용하였다. 표준관입시험의 경우 대상 지층의 토질이 불균질하여 주입효과를 추정하기 어려우나 3m, 6m의 경우 약 50%, 40%의 강도 증가를 보이며 타 심도에서도 전반적으로 강도 증가가 발생하여 주입 효과가 양호한 것으로 판단된다. 그림 12, 13은 3단계 공사에서의 현장실험 결과 그래프이다.

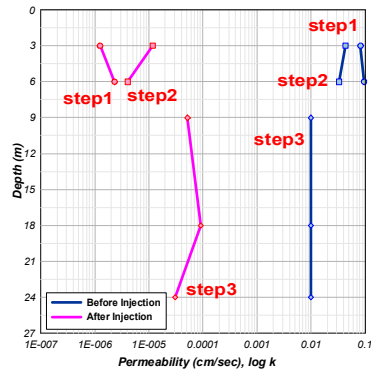


그림 12 심도별 투수시험 결과

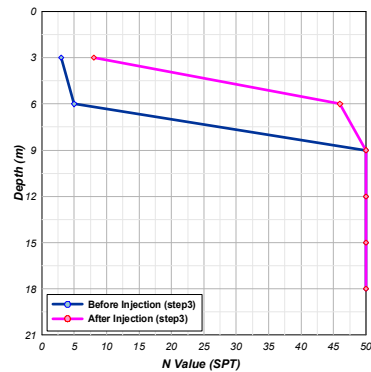


그림 13 심도별 S. P. T 결과

그림 14와 같이 심도별 시료를 채취하여 페놀프탈레인 시약반응시험을 실시한 결과, 진한 적색 반응이 나타난 토사층에서 주입효과가 상당히 양호하게 나타났고, 전반적으로 맥상 침투가 잘 이루어진 것으로 판단된다.



그림 14 페놀프탈레인 반응시험 전경

6. 결론

본 연구에서는 B.G.I공법에 의한 지반보강효과를 조사하기 위하여 B.G.I공법에 대하여 전반적인 소개를 실시하고, 그라우트재 주입에 의한 강도발현 효과를 확인하기 위하여 일축압축강도 실험을 실시하고, 현탁액 주입후의 지반의 강도 및 투수계수 변화를 파악하기 위하여 현장시험을 실시한 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 약액을 주입한 공시체의 조기강도 발현 정도와 보조 지반보강재로서의 적합성을 판단하기 위하여 바탕으로 유사 공법인 S.G.R공법과 L.W공법과의 비교하여 재령별 일축압축강도를 측정 한 결과, B.G.I 공시체는 1일강도는 6~8kgf/cm², 3일강도는 25~70kgf/cm²으로 3일 만에 강도가 조기 발현되었다. B.G.I 약제를 사용한 공시체가 L.W 또는 S.G.R 공법의 약제에 의한 공시체보다 일축압축강도가 큼을 알 수 있었다.

둘째, 3개소의 현장에서 B.G.I 공법 적용 시 S.P.T 시험에 의한 지반강도 증진효과와 투수시험에 의한 차수효과를 확인한 결과, 증가된 S.P.T의 N값과 현저히 감소된 투수계수 결과로 B.G.I 공법 적용 후 개선된 지반보강 효과를 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 두산산업개발(주), 경부 고속철도 11-1 공구저 복토 BGI 그라우팅공사.
 [2] 삼부토건, 경춘선 복선전철 3공구, 2004.
 [3] 윤정변, “하천 제방차수 공법에 관한 연구”, 인제대학교 첨단산업기술대학원 토목공학과 석사학위논문, 2005.

[4] 양득수, “CGS공법에 의한 지반보강 시공사례 연구”, 경기대학교 산업정보대학원 석사학위논문, 2003.
 [5] 이해봉, “그라우팅에 의한 지반보강시의 주입을 산정에 관한 효과”, 조선대학교 산업대학원 석사학위논문, 1998.
 [6] 조영웅, “물유리계(LW)그라우팅에 관한 지반보강 시 차수효과에 관한 연구” 제주대학교 대학원 토목해양공학과 석사학위논문, 2003.
 [7] 천병식, “최신 지반주입 이론과 실제”, 원기술, pp. 313~317, 2005.
 [8] 천병식, 도종남, 김병홍, “친환경 주입재료 사용한 중압 그라우팅 기법의 차수효과에 관한 연구”, 한국지반공학회 논문집, pp.25~31, 2006.
 [9] 건설교통부, 건설공사의 안전시공을 위한 지반보강 신기술개발 및 실용화 연구, 1996.
 [10] 한국 SGR 공법협회, SGR공법 기술자료, 1991.
 [11] 한국표준협회, KS F 2314, 흙의 일축압축강도 시험방법, 2000.