

FRP보강 그라우팅공법의 적용성 평가 Application Assessment of FRP Grouting Method

박종호¹⁾, Jong-Ho Park, 오명렬²⁾, Myoung-Ryoul Oh, 이재덕³⁾, Jae-duk Lee, 박용원⁴⁾, Yong-Won Park

¹⁾ 대원토질(주) 상무이사, Managing Director, Daewon Soil Co., Ltd

²⁾ 대원토질(주) 전무이사, Executive Director, Daewon Soil Co., Ltd

³⁾ 대원토질(주) 기술연구소 연구원, Researcher, Daewon Soil Co., Ltd

⁴⁾ 명지대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engrg., Myongji Univ

SYNOPSIS : The grout-effect evaluation of the ground reinforcement technique, which has been widely applied to civil engineering and construction fields, is not established for the guidelines of choosing the efficient evaluation method, and in fact the experts have little effort to determine the reinforcement effect quantitatively.

This paper presents some results a field test performance of FRP pressure grouting method at a collapsed slope were carried out to verify the improving effect

1. 서 언

우리나라의 토질 및 암반은 지형 및 지질 조건에 따라 공극 및 균열(절리등)을 포함하고 있는 경우가 많아 우기나 해빙기에 크고 작은 사면의 붕괴가 자주 발생하고 있으며, 이를 방지하기 위한 보강공법으로 Soil Nailing 이나 Rock Bolt공법 또는 Ground Anchor공법 등이 주로 적용되고 있다.

이러한 공법 등은 균열 및 절리가 매우 심한 지반 또는 이미 이완되었거나 붕괴된 지반에서는 적용에 어려움이 있으며, 특히 천공시 이완된 주변지반의 강도저하는 불가피한 실정이다. 또한 소성이 지배적인 점토질 지반과 매우 예민한 토질에서는 흙과 보강재 사이의 단위 주변마찰력이 비교적 작기 때문에 보강효과가 감소될 수 있으며 지하수위 아래에서의 시공은 현실적으로 매우 어렵다. 최근에 이러한 제반 문제점들을 보완하기 위한 FRP 보강그라우팅 공법의 적용이 증가하고 있다.

본 연구에서는 FRP 보강그라우팅 공법의 현장 적용성에 대하여 검토·분석하였다.

2. FRP보강 그라우팅공법

2.1 공법개요

FRP보강 그라우팅 공법은 고강도 FRP관을 지반조건에 따라 적절한 간격 및 형상으로 배열, 설치하고 FRP관내에 Packer를 삽입한 후 고강도 그라우트재를 압력에 의해 지반내에 주입함으로써, 연약한 구간을 고결 개량하여 원지반의 전단강도를 증가시키고, 고강도 FRP관에 의한 지반보강효과를 동시에 얻을 수 있는 공법이다.

또한, 붕괴가 발생되어 이미 이완된 지반에 고강도 그라우트재를 압력 주입하여 토립자의 간극 및

불연속면을 filling하고, 고결 시킴으로써 원 지반의 개량 및 보강효과를 얻을 수 있다.

특히, 유사공법에 비하여 보강재의 설치간격을 넓힐 수 있으며, 고강도 FRP관의 부식에 대한 우려가 없으므로 장기적인 측면에서 경제적이고 반영구적인 공법이라 할 수 있다.

2.2 FRP보강 그라우팅 공법 시공순서

(1) 제 1 단계 : 천공

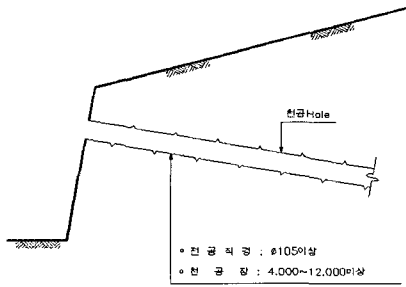


그림 2.1 천공

먼저 준비된 설계서에 따라 천공할 위치를 표시하고 천공작업 준비를 한다. 이때 작업 중에 낙석이 발생하여 안전사고가 발생하지 않도록 암사면의 암탈기 및 면고르기등을 실시한다. 사면의 높이에 따라 천공장비를 결정하고 지정된 순서에 따라 천공작업을 실시한다. 천공직경은 105mm로 하며 무수 Percussion 굴착을 한다. 이때 천공경사는 사면의 법선에서 하향으로 10° ~ 25° 의 경사가 바람직하나 절리방향을 고려하여 조정한다. 천공깊이는 활동예상면에서 최소 2m이상이 되도록 하고 천공 후에 FRP관의 관입이 용이하도록 슬라임을 완전히 제거하여야하며, 모암이 손상되지 않도록 작업 중에 진동을 최소화시킨다.

(2) 제 2 단계 : FRP관 삽입

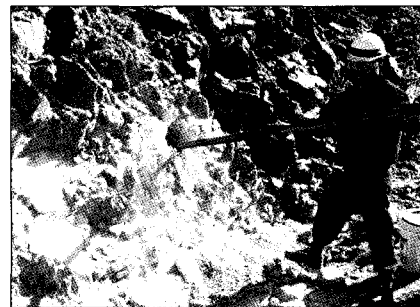
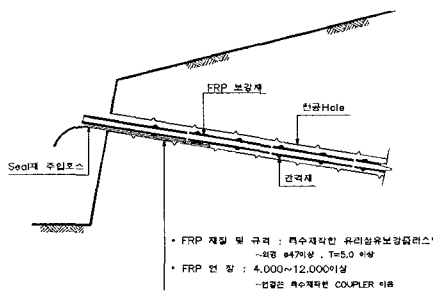


그림 2.2 FRP 보강재 삽입

천공된 홀에 FRP관을 삽입하기전에 후속공정을 위한 작업을 확인한다. 먼저 FRP관 측면에 뚫린 구멍이 적정 주입압력에 견디면서 주입재가 FRP관 안으로 역류되어 들어오는 것을 막을 수 있도록 벤딩 작업을 하고 Seal재 주입용 호수를 부착한다. 또한 FRP관이 천공 바닥에 밀착되면 바닥면이 실링이 되지 않아 부착력이 감소될 수 있으므로 1.0m 간격으로 간격재를 두어 바닥면에도 실링이 충분히 되도록 조치한 후 FRP관을 삽입한다.

(3) 제 3 단계 : 코킹(Caulking)

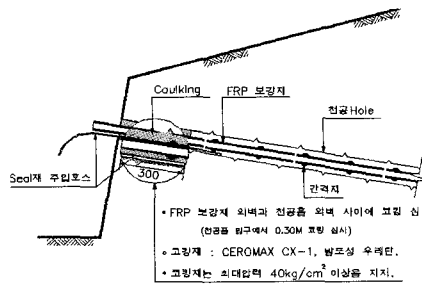


그림 2.3 코킹

주입작업을 위한 첫 번째 단계로 주입구 밀봉작업인 코킹작업을 한다. 이 코킹작업은 시멘트 밀크 주입시 주입압력에 의해 그라우트재가 밖으로 새어 나오지 않도록 특수 시멘트 혼합물을 입구부에서부터 최소 30cm 이상 채운다.

(4) 제 4 단계 : 실링(Sealing)

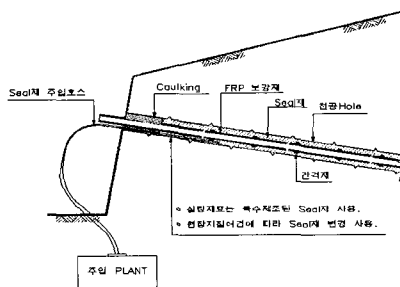


그림 2.4 실링

FRP관을 통하여 그라우트재가 절리면 사이로 잘 주입이 되도록 하기 위하여 FRP관과 천공홀사이에 실링재를 채우는 것을 말한다. 본 단계에서는 그라우트재의 역류를 방지할 수 있도록 적절한 배합비가 적용되어야 한다.

(5) 제 5 단계 : 주입(Grouting)

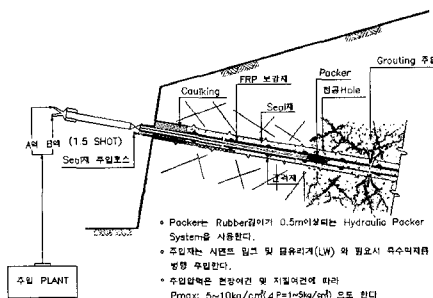


그림 2.5 주입

주입 준비가 완료되면 팍커를 FRP관 끝단부에서 3~4M 지점에 설치하여 그라우트재를 주입한 후 관입구쪽으로 나오면서 단계별로 주입을 실시한다. 이때 지표면의 균열 및 절리사이로 시멘트 밀크가 새어 나오는 경우에는 LW혼합물을 주입하여 차단시킨 후 다시 시멘트 밀크를 주입한다. 주입 시에 주입압을 지나치게 높이는 경우에는 지반을 교란시킬 수가 있으므로 지반조건에 따라 압력($\Delta P = \text{초기압} + 1 \sim 10 \text{kg/cm}^2$)을 조절하면서 주입한다.

(6) 제 6 단계 : 지압판 설치

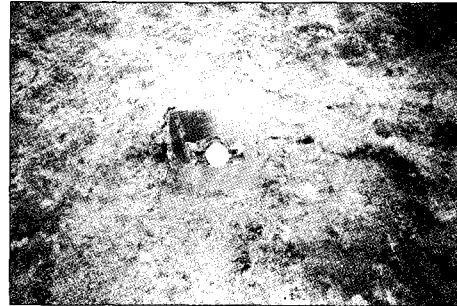
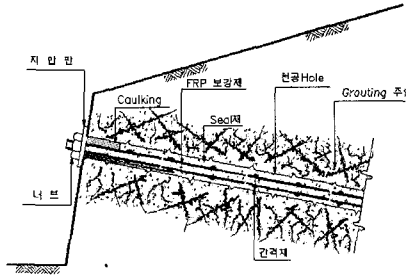


그림 2.6 지압판 설치

최종단계까지 주입이 완료된 후 FRP관과 지표면의 일체를 위하여 지압판(200×200×12mm)을 설치하고 지표면 보호를 위한 낙석방지망 또는 녹생토(숏크리트 타설)시공을 지반조건에 따라 실시한다.

3. 현장적용 사례

3.1 토사사면보강(서해안 고속도로 00공구)

3.1.1 지질현황

본 지역의 지질은 지사상 중생대 쥐라기에 생성된 퇴적암인 혈암, 역암 등이 기반암으로 구성되어 있으며 사면의 하단부는 풍화된 점토 및 모래섞인 실트로 구성되어 있고 사면 상단부에는 역암 및 전석이 섞인 붕적층으로 두껍게 피복되어 나타났다. 특히 대상지역은 계곡부로서 오래전부터 지하수 집중지역에 해당되어 더욱 심하게 풍화된 상태로 자연함수비가 비교적 높게 유지되는 구간이다.

3.1.2 붕괴현황

사면 상부에서부터 절취작업을 시작하여 제 7소단까지 작업이 완료된 후 노반조성을 위한 절취 과정에서 우기를 지나면서 제 5소단 사면 중간부터 제 7소단 사면 하단부에 이르는 구간이 붕괴되었다.

3.1.3 붕괴원인 분석

대상구간에 대한 지표지질조사를 실시하고 사면붕괴원인을 추정한 결과는 다음과 같다.

- ① 사면 절취시 상부 하중 제거에 따른 응력해방
- ② 강우에 의한 지표수의 지중유입으로 유효응력 감소 및 전단강도 저하
- ③ 풍화토 및 풍화암 내부에 법면과 유사한 방향의 절리면(활동면) 발달

3.1.4 FRP보강 그라우팅공법에 대한 안정성해석결과

FRP보강 그라우팅공법으로 보강 후 사면의 안정성을 확인하기 위하여 사면안정 검토용 Program(TALREN 97)을 이용하여 해석을 수행하였으며, 그 결과는 표 3.1과 같다.

표 3.1 CASE별 사면 안전율

FRP보강 그라우팅	CASE 1		CASE 2		CASE 3		CASE 4		비고
	C.T.C	L	C.T.C	L	C.T.C	L	C.T.C	L	
	2.0×2.0m	6.0m	2.5×2.5m	6.0m	3.0×3.0m	6.0m	2.5×2.5m	4.0m	
건기시	2.24		1.97		1.69		1.82		기준안전율 건기시 : 1.5이상 우기시 : 1.2이상
우기시	1.43		1.22		0.99		1.1		
적용안			○						

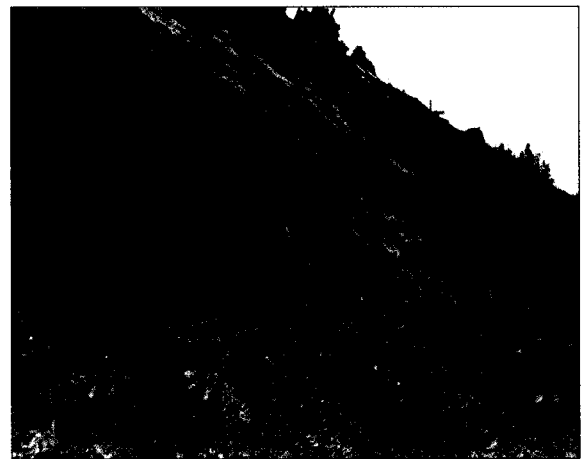
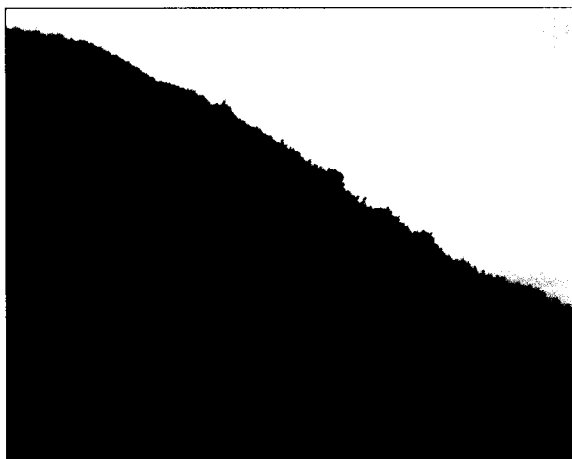


그림 3.1 붕괴전경

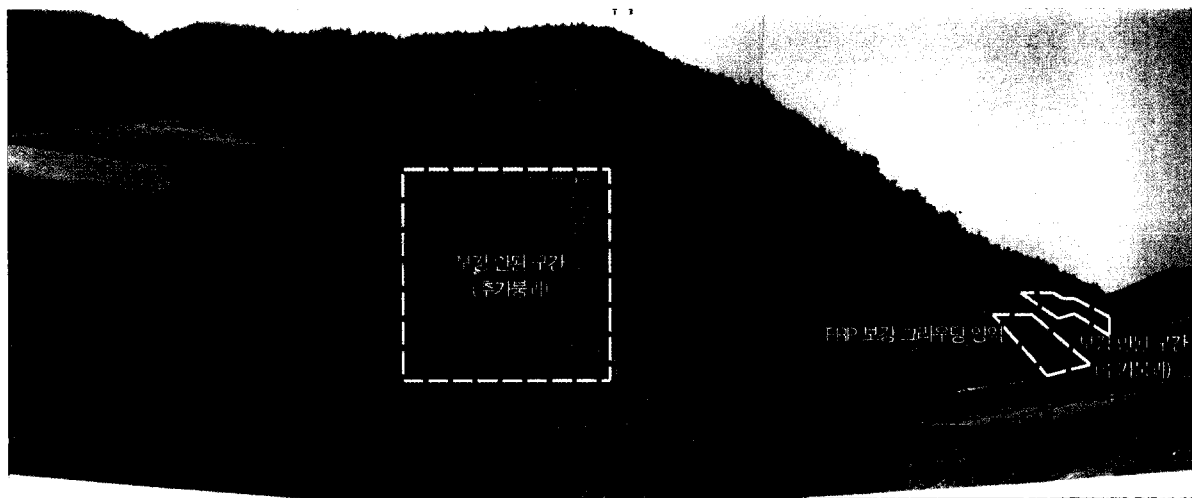


그림 3.2 FRP보강 그라우팅공법 적용후 전경

3.1.5 경제성 분석(Soil Nailing & FRP보강 그라우팅공법)

붕괴사면을 Soil Nailing 공법으로 보강하여 안정성을 확보하기 위해서는, C.T.C = 1.3m×1.3m, L = 6m, D = 29m/m 규격이 필요하며, FRP보강 그라우팅 공법으로 시공할 경우 C.T.C = 2.5m×2.5m, L = 6m, $\phi = 47\text{m/m}$ 를 설치해야 안정한 것으로 해석되었으며 이에대한 경제성을 분석한 결과는 다음과 같다.

표 3.2 공사비 비교

공법	중심간격 (C.T.C)	길이 (m)	공사비	비고
Soil Nailing	1.3m×1.3m	6m	일억팔천육백만원 (₩186,000,000)	약 24% 공사비 절감
FRP보강 그라우팅	2.5m×2.5m	6m	일억사천이백만원 (₩142,000,000)	

3.2 암반사면보강(00시 관내 우회도로공사)

3.2.1 지질현황

대상지역의 대동 누층군은 화산활동을 동반한 조산운동에 의하여 커다란 향사구조대를 형성하고 있으며, 구조대의 주 방향축은 대체로 북동방향으로 발달하여 있지만 그에 사교하는 다른 습곡구조들을 수반하고 있다.

본 층군의 운모편암 및 각섬석 편암은 배사와 향사축을 따라서 존재하는데 이는 화강암의 관입에 의해 유입된 화강암질 물질로 인한 변성의 결과이다. 또한 남포층군의 구성 지층들은 단층이 교차되는 형상을 보이고 있다.

3.2.2 현장현황



그림 3.3 대상구간 절개사면 전경



그림 3.4 FRP보강 그라우팅공법 적용후 전경

대상구간은 절취고가 약 30m 내외 이고, 지층의 구성은 상부에 모암의 형태를 간직한 풍화토층이 비교적 두껍게 분포하고 하부로 풍화암층과 연암층으로 연결되는 지층분포를 보인다. 사면의 구배는 토사층이 1:1, 풍화암층은 1:0.5를 기준으로 절취되었으며, 검토당시 사면은 무보강 상태에서 사면의 일부가 붕락되었으며 소단내 부분적으로 인장균열이 발생된 상태였다.

3.2.3 FRP보강 그라우팅공법에 대한 안정성해석결과

FRP보강 그라우팅공법으로 보강 후 사면의 안정성을 확인하기 위하여 사면안정 검토용 Program(TALREN 97)을 이용하여 해석을 수행하였으며, 그 결과는 표 3.3과 같다.

표 3.3 안정성 해석결과

보강공법	안전율(F_s)			판정	비 고
	건기시	우기시	발파시		
보강전	1.01	0.39	0.75	N.G	<기준안전율> 건기시 : 1.5이상 우기시 : 1.2이상 발파시 : 1.1이상
FRP보강 그라우팅	1.53	1.46	1.11	O.K	

3.2.4 경제성 분석(Soil Nailing & FRP보강 그라우팅공법)

Soil Nailing 공법과 FRP보강 그라우팅공법에 대한 공사비를 비교하면 표 3.4와 같다.

표 3.4 공사비 비교

공법	중심간격 (C.T.C)	길이 (m)	공사비	비고
Soil Nailing	1.5m×1.5m	10m~15m	사억칠천오백만원 (₩475,000,000)	약 17% 공사비 절감
FRP보강 그라우팅	2.5m×1.4m 2.5m×1.8m	14m~16m	삼억구천육백만원 (₩396,000,000)	

3.3 터널갱구보강(00터널)

3.3.1 지질현황

대상지역은 소백산맥에서 분기된 소산맥이 주된 산계를 이루는 만장년기에 속하는 지형으로서 지사상 선캠브리아기의 화강섬록질 편마암과 쥐라기의 편마상 화강암이 기반암으로 넓게 분포하고 있으며, 압쇄암(mylonite)과 석회암이 소규모로 협재되어 있다.

주변지역은 과거 심한 지각변동에 의해 습곡이 형성되어 있고 많은 단층이 발달되어 있으며 특히, 붕괴가 발생한 구간은 오랜 기간동안 수 차례의 변형 및 변성작용으로 균열 및 절리가 발달된 단층파쇄대층으로 구성되어 있다.

3.3.2 단층파쇄대 및 불연속면의 특성

지표지질조사 결과 단층파쇄대는 N64E/80SE와 N30~34E/82~85NW의 주향/경사를 이루며 4~20m의 폭으로 발달된 전단대(shear zone)로서 모암의 조직과 구조는 유지하고 있으나 역학적으로는 대부분 강도를 상실하여 풍화토 및 풍화암으로 분류되었다. 또한, 단층면에는 두께 3~4cm 정도의 스멕타이트(smectite)가 함유된 점토광물이 충전되어 있다.

사면내에는 유백색 내지 담홍색의 암맥(Felsic dyke)류인 페그마타이트가 대상(Banded)으로 분포되어 있다. 페그마타이트는 그 규모(폭, 연장)와 관입방향이 다양하나 대체적으로 NE방향을 나타내고 있으며, 제3단 사면에는 폭 30~60cm 정도인 페그마타이트 암맥이 N76W/14NE 방향으로 분포되어 있고, Fault gouge가 두께 2cm 정도로 협재된 단층대를 형성하고 있다.

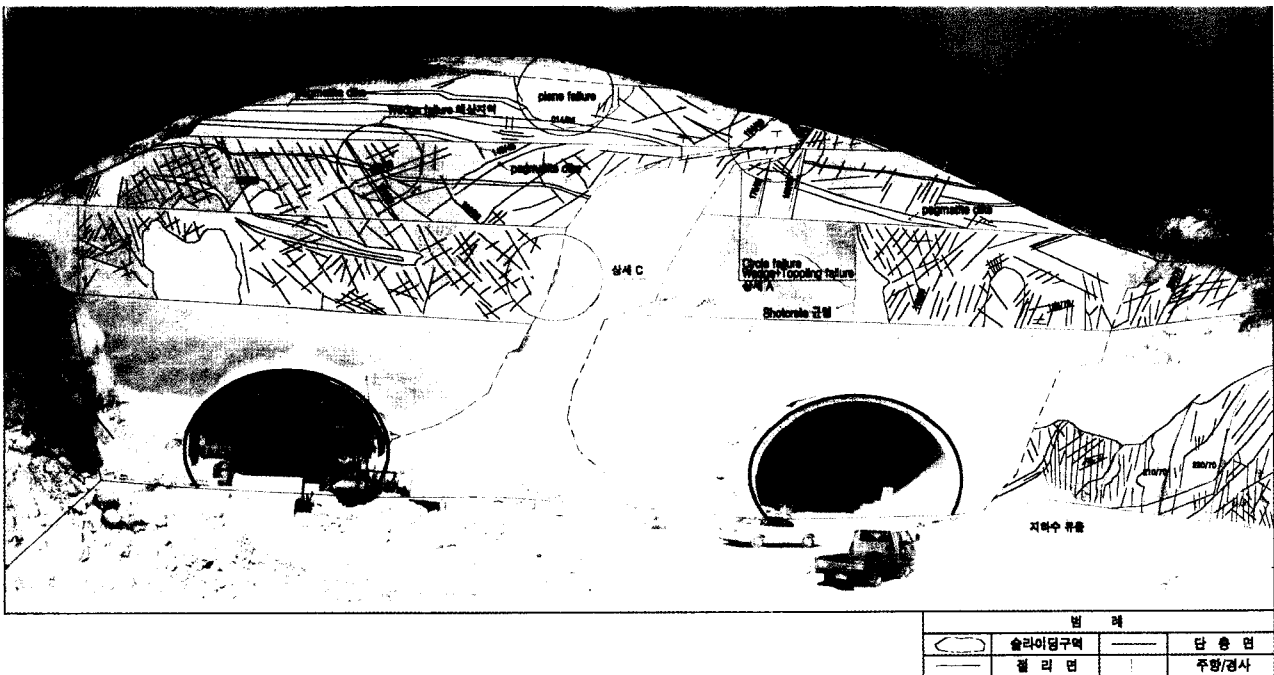


그림 3.5 대상지역 전경

3.3.3 붕괴원인 분석

현장조사 및 실내시험결과를 종합적으로 분석한 결과 사면의 붕괴원인은 사면절취로 인하여 상부압력이 제거되면서 응력이완이 발생한 상태에서, 지상에 노출된 단층파쇄대의 절리면을 따라 침투한 우수로

인하여 지반의 강도가 급격히 저하되고, 단층면에 협재된 단층점토가 완전포화 되면서 윤향층 역할을 함으로써 사면의 붕괴를 초래한 것으로 판단된다.

3.3.4 안정성검토

대상지역의 ○○터널 시점부 봉락구간에 대한 보강대책을 여러 가지 공법으로 검토한 후 최종 결정된 보강방법을 요약하면 다음과 같다.

표 3.5 ○○터널 시점(단층파쇄대) 봉락부 보강방안

보강방안	사 면 부	터 널 부
보 강 안 요 약	① 사면구배 완화 : 1:0.89 → 1:1.5 ② 봉락구간 고결처리 ③ 개착식 터널 연장 설치 (상행선 : 26m, 하행선 : 29m) ④ 단층파쇄구간 FRP보강 그라우팅 시공 ⑤ 파쇄대 외 불안정구간 Soil Nailing 시공	① 터널 갱구부 FRP보강 그라우팅 2열 시공 ② 상·하행선 각각 26, 29m 개착터널 시공 ③ 상·하행선 터널 중간부 옹벽 설치 ④ 상·하행선 터널 중간부 Rock Anchor 시공

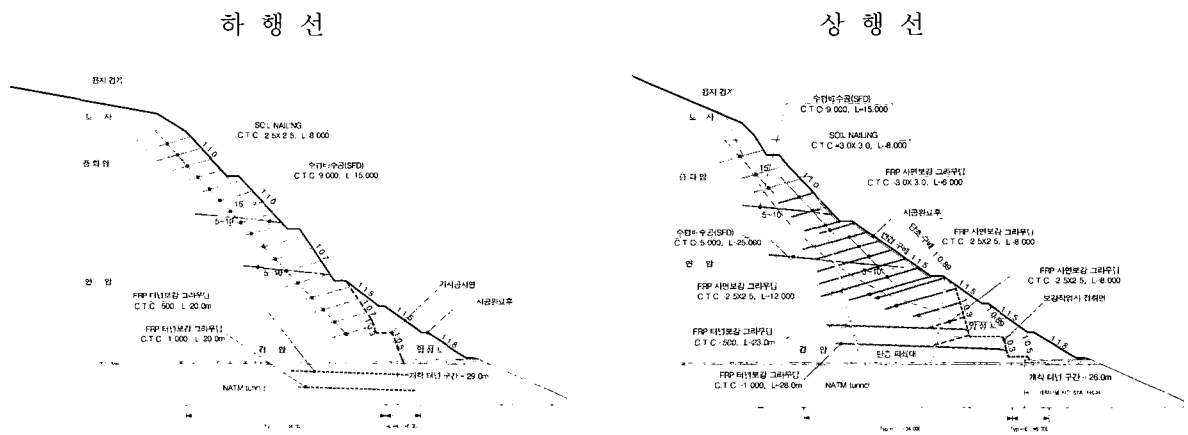


그림 3.6 ○○터널 및 사면보강 종단면도

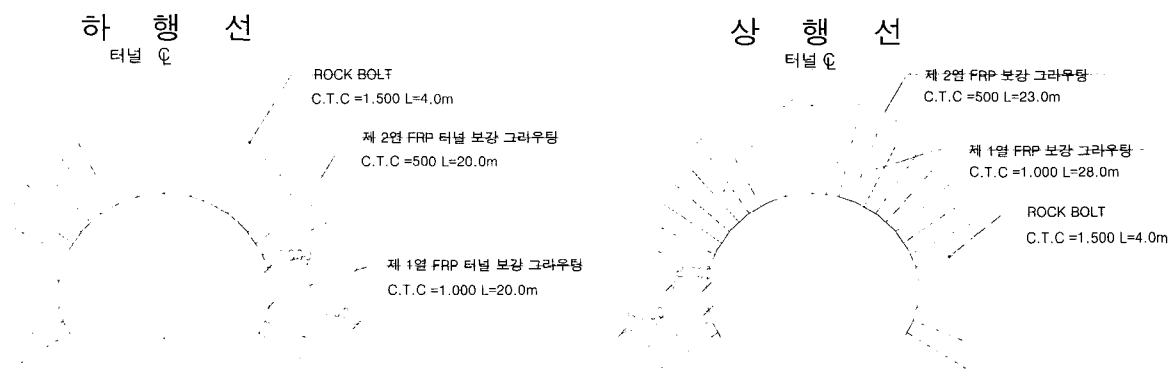


그림 3.7 ○○터널 봉락부 보강 횡단면도

(1) 갱구부 사면 안정성 검토

사면의 안정성은 TALREN 97 Program을 이용하여 검토하였다.

표 3.5 보강전 사면안정 해석결과

구 분	사 면 고 (m)	최 소 안 전 율		비 고
		건 기 시	우 기 시	
상 행 선	36.6	1.230	0.930	허용안전율(Fs) 건기시 : 1.50 우기시 : 1.20
하 행 선	40.7	1.290	1.060	

표 3.6 FRP보강 그라우팅 보강후 사면안정 해석결과

구 분	최 소 안 전 율		비 고
	건 기 시	우 기 시	
상 행 선	1.650	1.340	허용안전율(Fs) 건기시 : 1.50 우기시 : 1.20
하 행 선	1.530	1.240	

(2) 터널 안정성 검토

사용된 해석프로그램은 PENTAGON 2D로서 유한요소법(FEM)을 적용하였으며 지반요소의 소성을 고려하기 위하여 Mohr-Coulomb, Drucker-Prager Yield Criteria를 사용하였고 기타 요소의 소성을 고려하기 위해서 General Elastic-Perfectly Plastic Theory를 사용한 해석결과는 다음과 같다.

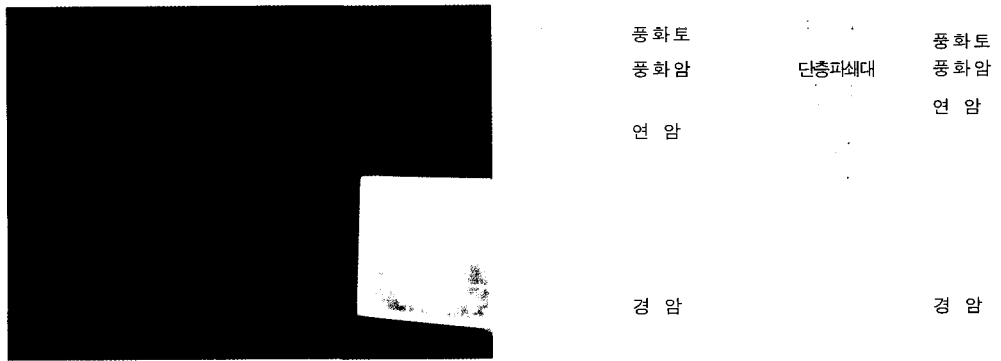


그림 3.8 갱내부(STA. 0+000 지점) 해석단면

표 3.7 터널 수치해석 결과

구 분	Case I	Case II	Case III	비 고
개 요	기존의 설계패턴 적용	막장의 자립시간 고려	단층파쇄대 붕괴후	S/C $\sigma_{ca} = 84\text{kg/cm}^2$ Lining $\sigma_{ca} = 96\text{kg/cm}^2$ R/B $T_a = 8.87 \text{ ton}$
하중분담율	40-30-30	30-30-40	40-60	
변 위	54.890	19.825	9.097	
샷크리트(라이닝) 압 축 응 력	85.820	65.460	(121.39)	
락볼트축력	44.080	25.660	-	

상기 표 3.7은 터널 상단부 붕괴에 의한 라이닝 콘크리트의 안정성을 역해석한 결과이며 이중 Case I은 붕괴후 변경된 지반조건 및 물성치를 고려하여 터널의 안정성을 검토한 경우로서 최대변위는 54.89m/m, 락볼트 축력은 44.08ton으로 산정되었으며, Case II는 시공중 굴착후 2시간 동안 막장이 자립할 수 있었던 지반조건을 고려하여 해석한 결과로서 락볼트에 축력이 25.66ton 작용하는 것으로 나타났다. 또한 Case III에서는 단층파쇄대 붕괴로 인해 터널라이닝에 미치는 응력을 검토하였으며 이때, 응력은 121.39kg/cm²까지 증가한 것으로 나타났다.

이와 같이 각 경우에 대하여 실시한 수치해석 결과를 종합하면 라이닝 콘크리트에 종방향 균열 및 횡방향 균열이 발생한 현장 상황과 가장 부합되는 경우는 Case III으로 분석되었다.

터널 구조물 천단부에 대하여 FRP보강 그라우팅공법으로 보강을 실시할 경우 터널의 안정성에 대해 검토하였으며 최대변위가 4.2mm로 나타났고 이때, 터널 라이닝에 작용하는 압축응력은 67.65kg/cm²로 허용압축응력(96kg/cm²)보다 작게 나타나 사면보강과 동시에 터널보강을 실시할 경우 터널의 구조적 안정성을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

또한, 안정성 검토 후 제시한 대책공법으로 사면 및 터널부에 대한 보강을 완료하였으며, 현재는 분석결과와 같이 더 이상의 변위는 발생하지 않아 사면 및 터널구조물에 대한 안정성이 확보된 것으로 사료된다.

4. 보강효과 확인 및 계측결과

FRP보강 그라우팅공법에 대한 보강효과를 확인하기 위한 현장실험 및 현장계측을 지속적으로 실시해 왔으며, 이중 서해안 고속도로 00공구에서 실시한 현장인발시험, 전기비저항탐사 등의 결과와 성남시 일원에서 계속 실시하고 있는 현장계측결과를 통하여 FRP보강 그라우팅공법의 보강효과를 확인하였다.

4.1 보강효과 확인

4.1.1 현장 인발시험

FRP보강 그라우팅이 완료된 후 FRP 파이프에 대한 현장 인발시험은 내경이 50mm인 중공형 실린더가 달린 유압잭(용량 50ton)을 이용하였으며 재하하중 측정은 유압펌프에 장착된 유압계를 사용하였다. 이때 재하하중에 대한 변위량은 상부 지압판상에 설치한 다이얼 게이지를 통하여 측정하였으며 그림 4.4에서와 같이 인발시험은 설계하중(P=10ton)보다 큰 17.5~19ton까지 확인하였으나 인발 시험장비 규격의 한계로 극한하중은 측정하지 못한 상태에서 시험을 종료하였다.

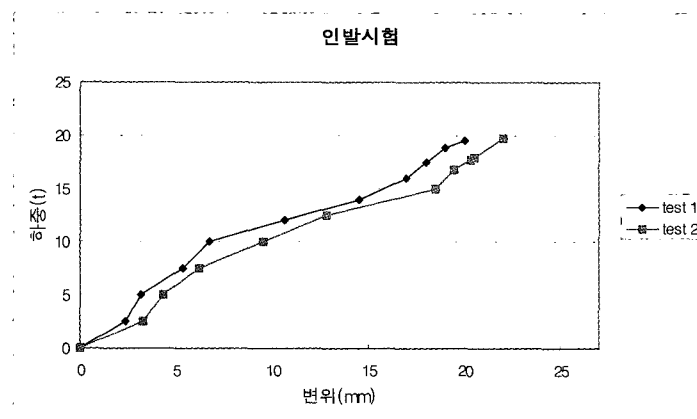


그림 4.1 인발하중-변위곡선

4.1.2 전기비저항 탐사

2차원 전기비저항 탐사법은 최근에 개발되어 이용이 점차 확대되고 있는 탐사기법인 수직탐사와 수평탐사를 조합하여 지하의 지질구조를 영상화하는 고밀도 해석이 가능한 물리 탐사법이다.

이번 연구에서는 전기비저항 탐사법중 축선단면에 대한 비저항의 수직 및 수평적 분포 상태를 파악할 수 있는 2차원 쌍극자 배열법(2D Dipole-Dipole Array)을 이용하여 보강 전·후의 지반특성 변화를 측정하였다.

그림 4.2와 그림 4.3에서 보는 바와 같이 FRP보강 그라우팅 전 천공홀 주변의 전기비저항 값이 50~150Ω·m범위에서, 그라우팅 후에 비저항값 30~100Ω·m범위로 낮아진 것은 보강전보다 비저항 값이 더 작은 주입재(시멘트밀크)가 지반에 침투하여 발생한 효과로 해석된다.

또한 축선상 10.0~16.0m 사이의 지표면 부근에 저 비저항대가 확대분포된 것은 굴착후 육안관찰하는 과정에서 확인된 바와 같이 시멘트 밀크가 연약대를 따라 지표부근으로 할열 침투하면서 주변지반의 비저항값이 낮아진 결과로 판단된다.

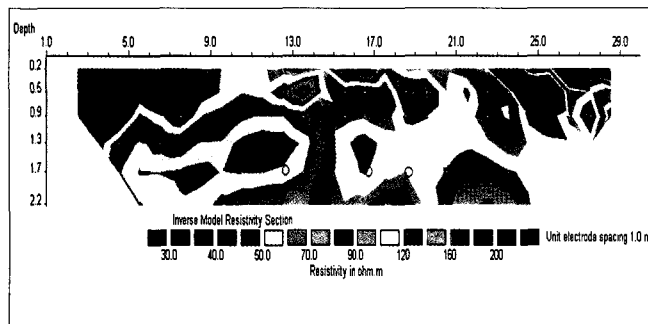


그림 4.2 등비저항곡선 단면도(그라우팅 전)

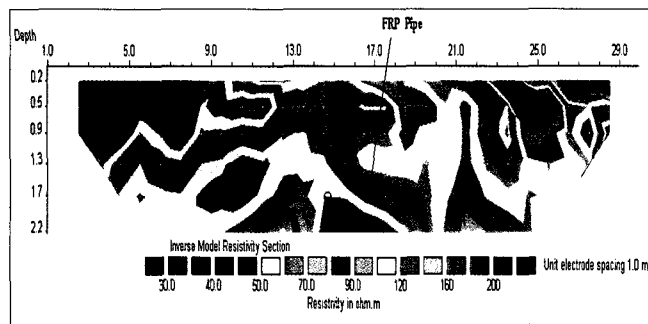


그림 4.3 등비저항곡선 단면도(그라우팅 후)

4.1.3 탄성과 굴절법 탐사

탄성파가 서로 다른 지층을 통과할 때 기하학적, 물리학적 성질이 다르기 때문에 반사(reflection), 굴절(refraction) 또는 회절(diffraction)등의 현상을 일으키면서 그 전파 경로가 달라지게 된다. 탄성파 탐사법은 탄성파의 이와 같은 원리를 이용하여 지하 지질구조에 관한 정보를 얻는 방법이다.

FRP보강 그라우팅 시공 전·후 지반에 대한 탄성파 굴절법 탐사를 실시한 결과, 보강 후 P파의 속도는 제 1층에서 큰 변화가 없으나, 제 2층의 경우에는 약 3,000m/sec내외의 P파 속도가 증가된 것을 확인하였다. 또한 FRP관이 삽입된 지점부근(지오폰의 Station No. 증가방향)으로 갈수록 P파 속도의 증가폭이 커지는 것으로 나타났다.

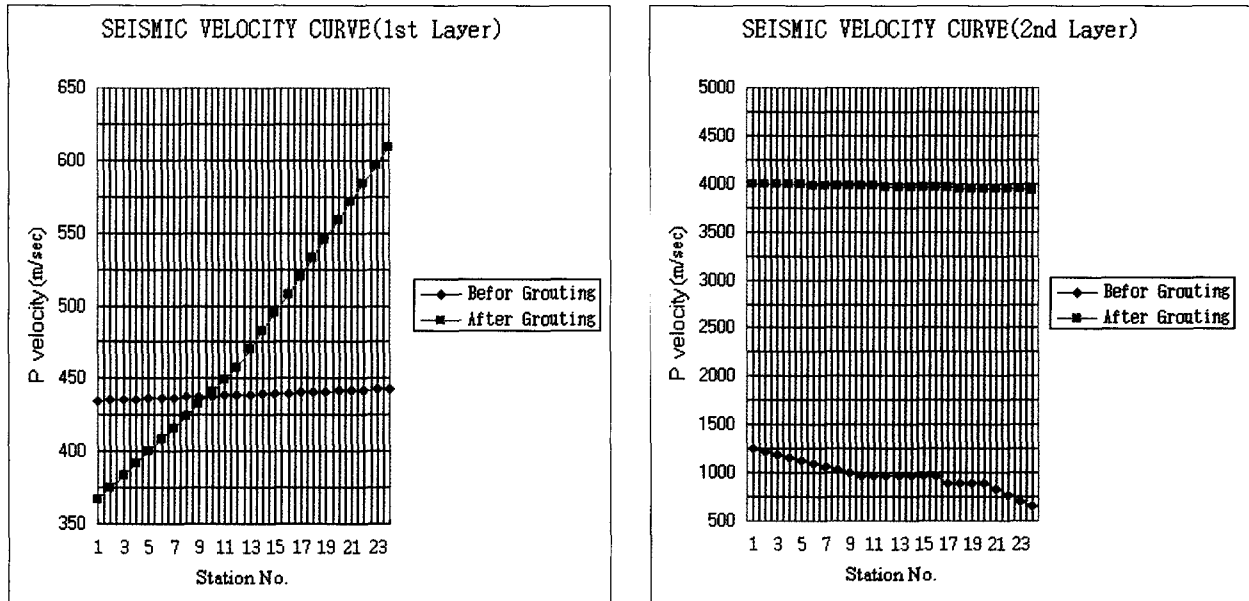


그림 4.4 탄성과 굴절법 탐사 결과

4.1.3 지시약(페놀프탈레인) 반응시험

FRP보강 그라우팅시공이 완료되고 7일 경과 후 대상지반을 굴착하여 형성된 구근을 육안관찰하고 지시약(페놀프탈레인) 반응시험을 실시하여 그라우트재의 주입범위를 확인하였다(그림 4.5).

굴착결과 천공홀로부터 최대 2.9m까지 그라우트재가 주입되었으며 평균 주입범위는 천공홀에서 1.5~1.8m까지 확산된 것으로 확인되었다. 또한 FRP 파이프와 그라우트재로 형성된 복합구근의 직경을 측정한 결과 151.2~156.0mm로 천공홀 직경(105mm)보다 약 50%정도 확공되었으며, 이는 압력분사 그라우팅에 의해 주변지반이 압축되고 그라우트재가 팽창하여 형성된 것으로 FRP 파이프의 주변마찰력을 크게 증가시키는 역할을 할 것으로 판단된다.



그림 4.5 구근 및 주입범위

4.2 현장 계측결과

4.2.1 현장조건 및 계측기 설치현황

FRP보강 그라우팅에 의한 보강효과를 정량적으로 측정하기 위하여 보강예정사면에 Soil Nailing용 Steel Bar와 FRP보강 그라우팅용 FRP 파이프에 각각 변형율계를 부착한 후 각각의 공법으로 시공을 완료한 후 계측을 실시하였다.

대상지역은 경기도 성남시 외곽지역 도로 개설현장의 절취 사면으로써 절취고는 약 30m이고 지층은 토사(1:1구배), 풍화암(1:0.7구배), 연암(1:0.5구배)순으로 구성되어 있으며 기반암의 암종은 편마암으로 조사되었다.

사면안정 검토결과 파쇄가 심하게 발달하여 파괴 가능성이 높은 구간에 대한 FRP보강 그라우팅 (C.T.C=2.0m×2.0m, L=4)을 실시하여 사면의 안정성이 확보되도록 하였으며, 보강후 사면의 장기적 안정성과 FRP관의 응력 및 변형 특성을 파악하기 위하여 풍화암층 하단부에 계측기를 설치하였다.

계측기는 진동현식 변형율계를 사용하였고 각 위치별 응력 및 변형율을 측정하기 위하여 FRP 파이프 및 Nail에 대하여 각각 1m 간격으로 3개의 변형율계를 부착하였으며 그림 4.7과 같다. FRP 파이프 3개소에 총 9개의 변형율계를 부착하였으며, 다른 2개소의 Nail(C.T.C=2.0m×2.0m, L=4)에 대해서도 총 6개의 계측 센서를 부착하여 계측을 실시하였다.

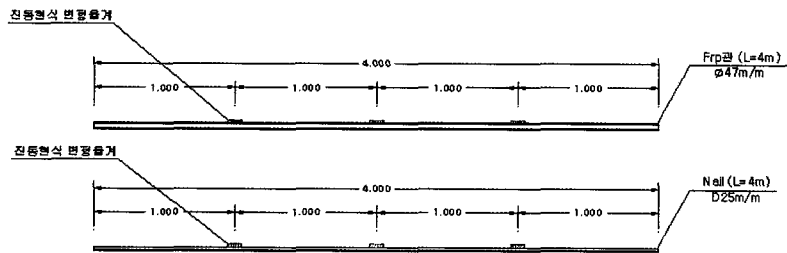


그림 4.7 FRP 파이프 및 Nail의 변형율계 설치 위치

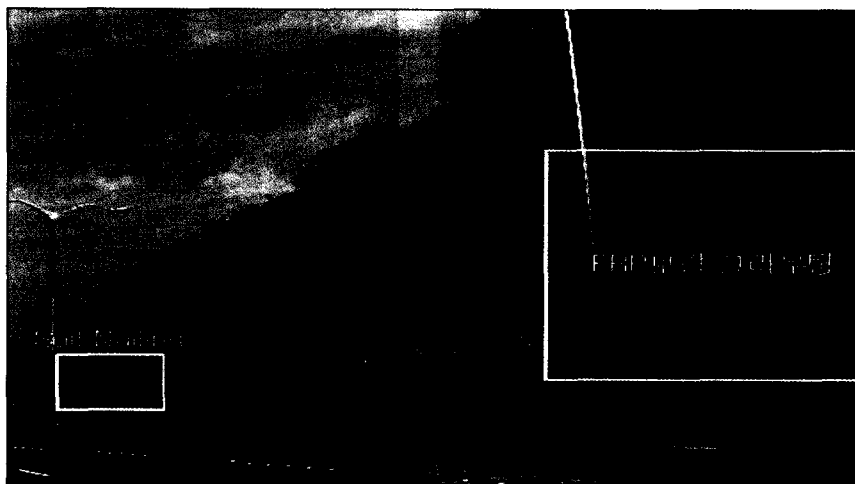
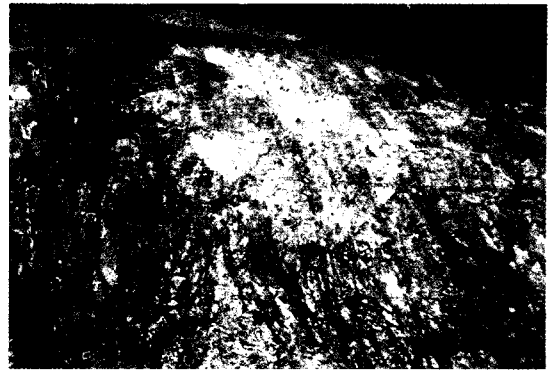


그림 4.8 계측구간 전경



Nail 적용구간



FRP보강 그라우팅 적용구간

그림 4.9 계측구간 상세

4.2.2 계측결과 분석

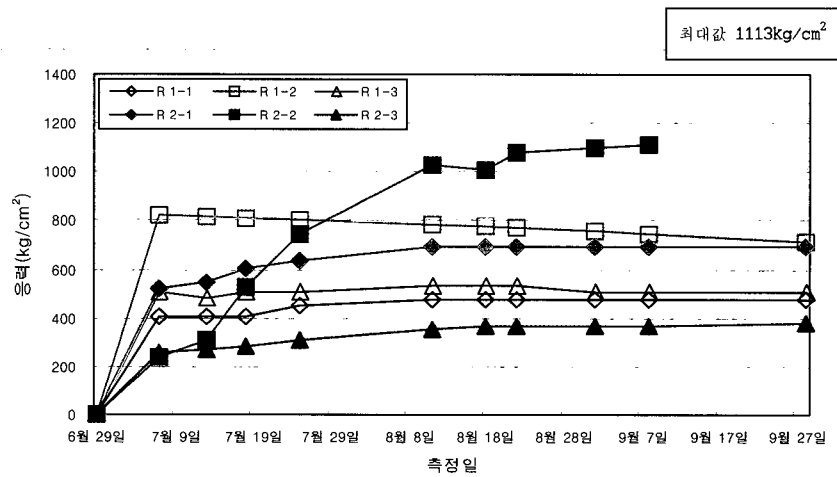


그림 4.10 Nail의 위치별 응력변화

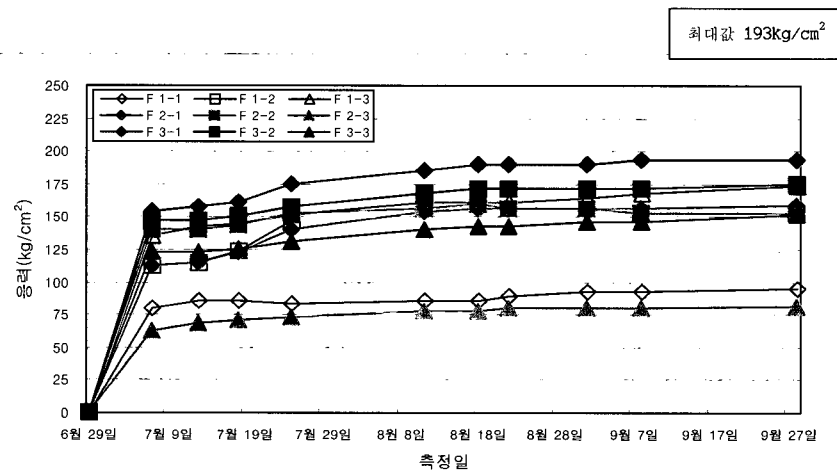


그림 4.11 FRP 파이프의 위치별 응력변화

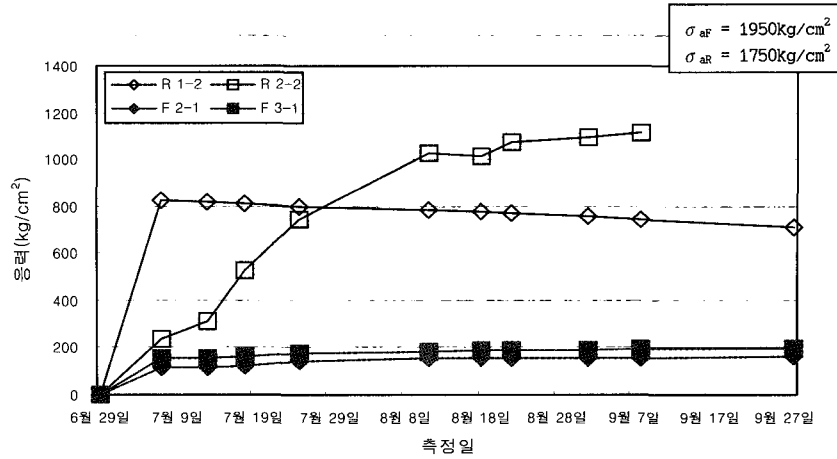


그림 4.12 FRP 파이프 및 Nail의 최대 응력변화

상기 그림에서와 같이 계측자료를 분석한 결과 FRP 파이프에 작용하는 최대응력($\sigma_F=193\text{kg/cm}^2$)이 Nail에 작용하는 최대응력($\sigma_S=1113\text{kg/cm}^2$)에 비하여 약 5~6배 작게 작용하고 있음을 확인 할 수 있었다. 이는 그라우팅에 의해 주변지반이 전반적으로 개량되어 전단강도가 증가됨에 따라 FRP 파이프에 작용하는 응력이 Nail에 비하여 크게 감소한 것으로 판단된다.

또한, FRP 파이프에 작용하는 응력은 FRP 파이프에 전체 길이에 비교적 균등하게 작용되는 것으로 나타났으나, Nail에서는 끝단과 중앙부 및 선단부에 작용하는 응력의 차이가 비교적 크게 측정되었다.

5. 결 언

FRP 보강 그라우팅공법은 FRP관에 의한 보강효과 및 그라우트재에 의한 주변 지반개량효과를 동시에 얻을 수 있는 공법으로서, 균열 및 절리가 매우 심한 지반 또는, 이미 이완되었거나 붕괴된 지반에서 더 많은 보강효과를 발휘할 수 있는 공법이다. 본 공법을 적용하여 보강한 지반에 대한 보강효과 및 경제성을 분석·요약하면 다음과 같다.

1. FRP보강 그라우팅 공법으로 시공 후 전기비저항 탐사 및 탄성과 탐사결과 측정된 비저항값이 20~50Ω·m정도 감소하고 탄성과 속도가 3,000m/sec정도 증가함에 따라 지반 보강효과를 확인할 수 있었다.
2. FRP보강 그라우팅 시공 후 지반을 굴착하여 지시약(페놀프탈레인) 반응시험을 한 결과 평균 1.5~1.8m (최대 2.9m) 범위까지 그라우트재가 주입된 것이 확인되었으며, 천공홀 또한 압력그라우팅의 영향으로 약 50% 정도 확공되어 구근이 형성됨에 따라 주변마찰력이 크게 증대될 것으로 사료된다.
3. 현장에서 보강 후에 대한 정량적인 강도증가를 파악하기 위하여 계측을 실시한 결과 FRP 파이프에 작용하는 최대응력은 약 193kg/cm², Nail에 작용하는 최대응력은 1113kg/cm²으로 큰 차이가 나는 것은 FRP보강 그라우팅공법으로 보강된 지반은 그라우팅재에 의한 주변지반의 개량효과 때문으로 판단된다.
4. FRP보강 그라우팅공법이 적용된 30여개 현장에 대한 경제성을 유사공법과 비교·분석한 결과 약 12~28%정도의 공사비 절감효과를 얻은 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. 대원토질 주식회사(2000), “서해안고속도로 제 7공구 FRP사면보강 그라우팅 시험시공 결과 보고서”
2. 박용원 외(2000), “FRP 사면보강그라우팅 공법의 현장 적용성 연구”, 지반공학회
3. 박종호 외(2000), “지표물리탐사 기법을 이용한 FRP보강 그라우팅 공법의 보강효과 확인에 관한 사례 연구”, 지반공학회,
4. 한국건설기술연구원(1999), “터널 보강재로서 FRP 적용성 검토”
5. 한국지반공학회(1997), “지반공학 시리즈 5 - 사면안정”, 구미서관, pp.245~252
6. 한국지반공학회(2000), “FRP 보강 그라우팅 공법의 개발 연구보고서”
7. Ortigao J.A.R.(1996), “FRP applications in Geotechnical Engineering”, Materials for the New Millenium, Proc. 4th Matherials Engineering Conference, ASCE, pp. 535~544
8. Brahim Tighiouart, Brahim Benmokrane, Phalguni Mukhopadhyay(1999), “Bond strength of glass FRP rebar splices in beams under static loading”, Construction and Building Materials 13, pp.383~392
9. B. Tighiouart, B. Benmokrane, D. Gao(1998), “Investigation of bond in concrete member with fiber reinforced polymer(FRP) bar”, Construction and Building Materials 12, pp.453~462