

## 그라우팅을 병행한 강관추진공법의 현장 적용성 연구

In-Situ Application of the Steel Pipe jacking with Grouting

정민형\*                      임호정\*\*                      신창섭\*\*\*                      이송\*\*\*\*  
Jung, Min-Hyung              Lim, Ho-Jung                  Shin, Chang-Sub              Lee, Song

### Abstract

The pipe jacking method which is a non-excavation method is frequently used due to constructability and economical efficiency in a medium or small-sized pipeline construction. However, jacking process of the method still causes problems that the base ground is disturbed and loosen. These lead to surface settlement, strength decrease and leakage of water. Therefore, this study presents in-situ application of the steel pipe jacking with grouting, and it is that jacking and grouting are progressed simultaneously. To verify this, the steel pipe jacking with grouting and the existing steel pipe jacking have been constructed on the same ground condition. It has been proved that the steel pipe jacking with grouting is in-situ applicable according to results of monitoring surface settlement, in-situ density, GPR geophysical prospecting and large scale direct shear test.

### 요 지

강관추진공법은 비굴착공법으로써 중소규모 관로공사에 높은 시공성과 경제성을 가지고 있기 때문에 그 사용이 빈번해지고 있다. 그러나 강관추진공법의 추진과정은 원지반이 교란되고 느슨해지는 문제를 야기하고 있다. 이는 지표침하, 지반강도 저하 및 누수 등의 문제와 연결된다. 이에 본 연구는 강관추진과 동시에 그라우팅을 시행하는 그라우팅을 병행한 강관추진공법의 현장 적용성을 알아보려고 한다. 그 방법으로 그라우팅을 병행한 강관추진공법과 기존강관추진공법을 동일 지반에 시공하였다. 지표침하 계측, 현장밀도, GPR 물리탐사 그리고 대형전단시험의 결과는 그라우팅을 병행한 강관추진공법의 현장 적용성이 있음을 입증하였다.

**Keywords :** In-situ density, GPR exploration, Grouting, Steel pipe jacking, Surface settlement

**핵심 용어 :** 현장 단위중량, GPR 탐사, 그라우팅, 강관추진, 지표침하

\* 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 박사과정

\*\* 정희원, (주)다이크 대리

\*\*\* (주)청아건설 대표이사

\*\*\*\* 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수

E-mail : lostcow@uos.ac.kr 02-2210-2515

•본 논문에 대한 토의를 2009년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2009년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

최근 증대된 관로 공사는 계획상 불가피하게 도로, 철도 및 하천제방 등과 같은 구조물을 통과하는 경우가 빈번하고, 이에 따라 기존 구조물의 사용을 유지하면서 구조물 자체의 손상 역시 최소화하는 공법이 대두되고 있다.

추진공법은 기존 구조물을 개착하지 아니하고 계획선로 시점에 추진기지를 만들고 반력벽의 반력을 이용하여 관을 지중에 압입시키는 공법으로, 여기서, 강관추진공법은 지중에 압입시키는 관을 강관으로 한다. 강관추진공법은 터널공법이나 셰미셴드 공법에 비해 중소규모 관로공사에서 경제성이 높고 시공이 편리하여 최근 그 사용빈도가 증대되고 있다.

추진공법은 로마시대에 그 기원을 두며, 19세기말 미국 북태평양 철도 궤도 아래를 횡단하는 시공이 최초로 이루어졌고, 일본에서는 1948년 병고현지역에서 국철 궤도 밑을 지나는 가스관 6m를 시공한 것이 최초이며, 유럽에서는 1920년부터 1940년에 걸쳐 추진공법의 기술 개발이 진행되고 1950년부터는 하나의 시공기술로 확립되었다(高俣昇, 1982). 이 후 1984년 일본하수도협회는 현재 통용되는 추진공법 설계법을 제시하였고, 영국에서는 Pipe Jacking Association이 설립되어 Oxford Univ.과 함께 다년간 추진공법에 대한 연구가 진행되었다(Kevin John Ripley, 1989 and Paul Norris, 1992). 또한, Hideki et al.(2004)은 슬러리를 이용한 추진공법에 대한 연구를 수행하였다. 우리나라의 경우 추진공법은 과거 콘크리트관에서 콘크리트관 자체의 문제점으로 인하여 강관으로 대체되어왔다. 그러나, 박현수(2003) 등이 강관추진공법의 사례 연구를 하였으나 추진공법에 대한 연구는 극히 미진한 실정이다.

그러나, 이와 같은 연구는 추진이 진행되는 동안 발생된 지반 악영향에 대한 대처방안 연구가 미약한 것이 사실이다. 기존의 강관추진공법은 강관추진 과정에서 잔류침하, 원지반 강도 저하 및 누수의 문제를 발생시키는 경우가 빈번하다. 이를 대처하기 위해 공사 후 그라우팅을 시행하는 경우가 많으나, 이미 구조물에 영향을 가해진 상태에서 사후 처방일 수밖에 없다.

이에 본 연구는 그라우팅과 강관추진을 동시에 시행하여 추진 과정에 있어서 지반에 영향을 감소하는데 그 목적을 두었다. 즉, 그라우팅을 병행한 강관추진공법의 현장 적용성을 파악하여 기존 강관추진공법의 문제점 보완에 대한 가능성을 살펴보고자 하는 것이다.

이러한 본 공법의 현장 적용성을 파악하기 위한 연구방법으로 기존의 강관추진공법과 그라우팅을 병행한 강관추진공법을 동일 지반에 적용하여 시험시공을 실시하였다. 현장에서 지표침하 계측과 현장밀도시험을 수행하였고, GPR 물리탐사를 실시하여 현장 지반 상태를 파악해 보았으며, 현장밀도시험 결과를 토대로 실내에서 대형전단실험을 실시하였다.

## 2. 그라우팅을 병행한 강관추진공법

### 2.1 기존 강관추진공법의 문제점

국내에서 주로 사용되고 있는 기존의 강관추진공법은 선압입 후굴착의 공정으로 이루어지는데, 선도관추진과정에서 전방에 호박돌이나 전석 등이 존재하는 경우 이로 인해 선도관의 진입이 불가능하게 되거나, 또는 설계상의 레벨이나 선형과 상이할 때 이를 조정하기 위해 부득이하게 선굴착을 시행하게 된다. 이는 선도관의 상부 또는 측면에 느슨해진 토층을 형성하게 하고 동공의 발생을 야기하기 마련이다. 또한 일반토사 구간이 아닌 풍화암이나 경암 등 암굴착시에도 추진관경보다 큰 관경으로 암을 파쇄한 후 관을 추진하기에 관과 지반사이에 공간이 발생한다. 이는 향후 지반의 안정화 과정에 잔류침하를 유발할 수 있는 소지가 되며, 이로 인해 상부구조물이나 도로 및 철도, 제방 등에 이차적인 재해의 우려가 있다.

이와 함께, 유압에 의해 강제로 압입되는 추진관은 지중에 균열과 교란을 발생시키게 되고, 지반강도저하 문제와 함께 토사와 강관 두 재료의 경계면을 따라 유선이 형성될 가능성이 있다. 따라서 이로 인해 향후 누수의 여지가 있음은 물론 누수로 인한 지중 토사의 유출 문제가 야기될 수 있다. 이러한 문제는 저수지나 하천제방 등을 관통하는 경우가 빈번한 강관추진공법에 있어서는 이에 따른 대책이 필수적인 것이다.

## 2.2 그라우팅을 병행한 강관추진공법 개요

강관추진공법 시공으로 발생된 동공, 누수 등과 같이 상부 구조물의 안전을 위협하는 문제점들을 보완하기 위해서 강관추진공법 시공 후 그라우팅 공법적용과 같은 별도의 지반보강이 필요로 하게 된다. 이는 공기를 지연시켜 경제적 손실을 일으킬 뿐만 아니라, 도로 및 철도의 경우 교통흐름을 방해하는 등 2차적 손실을 야기하게 된다. 또한, 추진과정에서 발생된 문제에 응급하게 대응하지 못함으로써 장시간 구조물이 피해에 노출되는 문제점을 안고 있다.

그라우팅을 병행한 강관추진공법은 추진과정에서 그라우팅을 병행하도록 의도된 것으로, 위와 같은 2차적 손실들을 사전에 예방하고 추가공법 적용에 의한 공기를 단축시킴으로써 기존 강관추진공법보다 구조물에 보다 나은 안정성을 기하고 있다. 또한 별도의 유틸재를 사용하지 않는 기존 강관추진공법과 달리 그라우팅 재료 자체가 유틸재 역할을 수행하고, 이는 실제 마찰력 감소로 이어져 추진력 감소를 도모하여 강관 설계와 시공 공기 긍정적 영향을 미칠 것으로 판단된다.

경제성 부문에 있어서 기존 강관추진공법에 비하여 그라우팅을 병행한 강관추진공법의 경우 선도관 제작비를 비롯하여 그라우팅 및 플랜트 설치비가 소요되지

만, 그라우팅 재료 주입으로 선도관 압입시 마찰력 감소, 지수·차수성 및 작업성 향상으로 공기가 단축되어 장비 임대와 인건비 등으로 인한 공사비 절감 효과가 발생한다. 또한, 기존 공법으로 시공될 현장에서 생길 수 있는 별도의 지반보강이 불필요하다는 측면도 본 연구의 공법에 대한 경제적 효과를 보여주고 있다.

## 2.3 장비 구성

그라우팅을 병행한 강관추진공법에서는 기존 공법과 달리 강관을 지중으로 추진할 때, 대상 강관을 곧바로 추진하는 것이 아니라 선도관을 제작, 가장먼저 압입하게 된다. 이 선도관 내부에 Fig. 1과 같이 그라우팅을 위한 파이프를 설치하고, 설치된 파이프와 그라우팅용 노즐을 연결할 수 있도록 선도관에 일정간격으로 천공한 후 노즐을 설치한다. 그라우팅용 노즐의 간격은 현장의 여건에 따라 그 간격을 조절할 수 있으나, 보통 60cm마다 설치하고 있다.

## 2.4 시공 방법

추진하고자 하는 대상지반의 지반조사를 기본으로 압입 시점에 가시설공사 및 추진기지를 설치하고 선도관을 제작한다. 선도관 제작 후 분사시험을 통해 분사

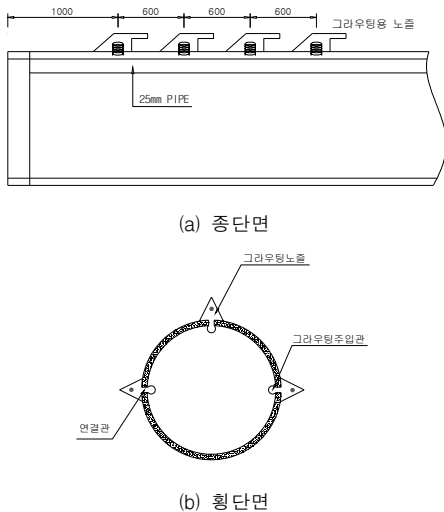


Fig. 1 선도관의 측면 및 횡단면

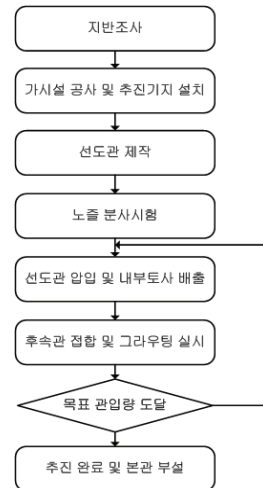


Fig. 2 그라우팅을 병행한 강관추진공법 시공 순서도

형태, 노즐의 막힘, 주입 압력상태 등을 점검한다. 제작된 선도관을 대상 지반에 위치시킨 후 유압으로 압입시키면서 굴착 토사를 인력 또는 장비를 이용하여 배출시킨다. 선도관이 목적인 길이로 추진이 되면 후속관을 접합시키는데, 이때 그라우팅을 실시하여 지반 보강을 실시한다. 그라우팅은 Gel time이 긴 그라우트재를 이용하여 1.0Shot 방법의 저압으로 주입하되, 그 주입압은  $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 한다. Fig. 2의 흐름도와 같이 반복과정을 통하여 강관추진을 완료하게 되면, 상하수도관 및 케이블관 등의 본관을 부설한다.

여기서, 반복과정은 크게 3단계로 나눌 수 있다. 1단계는 노즐이 장착된 선도관 관입하고, 2단계는 선도관 관입 완료 후 후속관을 접합하는 동시에 그라우팅을 통한 지반보강을 실시하는데 이로 인해 그라우팅을 하기위해 소요되는 공기가 필요하지 않게 된다. 3단계는 후속관 재관입 및 그라우팅 시행하여 이와 같이 3단계를 반복하여 실시함으로써 전 구간에 걸쳐 강관압입과 그라우팅이 병행되어 시공된다.

### 3. 현장 시험시공

그라우팅을 병행한 강관추진공법에 대하여 기존의 강관추진공법과 비교하여 그 실용성 및 적용성을 파악하기 위한 연구방법으로 동일 현장에서 각각의 공법에 대한 시험시공을 실시하였다.

#### 3.1 시험시공 대상지반

시험시공 대상지반은 경상북도 포항시 일원으로 이

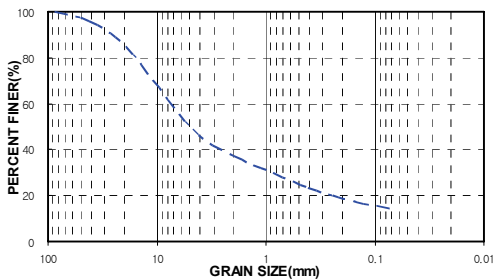


Fig. 3 시험시공 대상지반의 입도분포 곡선

Table 1 시험시공 대상지반의 물리적 특성

비중	자연함수비 (%)	액성 한계	소성 지수	NO.200체 통과율 (%)	USCS
2.65	10.9	N.P	N.P	18.9	GM

일대는 과거 범람원 지역으로 판단되었으며, 통일분류법상 GM으로 판정되었으나, 모래가 다수 포함되어 있었다. 또한 본 대상지반은 강 주변에 위치하여 지하수위가 높고 상당히 느슨한 상태를 보여 조립토 연약지반으로 볼 수 있었다.

#### 3.2 시험시공 현황

동일한 대상지반에 기존 강관추진공법과 그라우팅을 병행한 강관추진공법을 모두 적용시키기 위하여 하나의 수직갱을 이용하여 양 방향으로 두 공법을 적용하였다. 두 공법 모두 추진관의 직경은 800mm로 하였고, 토피는 1.5m로써 강관추진공법에서의 일반적인 최소 토피두께 1.5D 이상을 만족시켰으며, 추진길이는 6.0m로 하였다.

양 방향 시험시공 직후 양 구간 추진시점 0.5m에 하중을 재하하지 않은 침하계측을 위한 침하판을 설치하였다. 또한 양 구간 각각 추진시점 3.0m에 침하판을 설치하고  $2.5\text{t}/\text{m}^3$ 의 하중을 재하하였다. 보통 양생기간은 1개월이 소요되나, 본 시험시공에서는 그라우팅 재료에 급결제를 첨가하여 양생기간을 일주일 정도로 하였다. 양생 종료 후 현장 밀도시험, 그라우팅 단면 확인 및 GPR시험을 수행하였다. 위와 같은 시험시공 현황과 침하판 설치 위치를 Fig. 4의 모식도에 나타내었다.

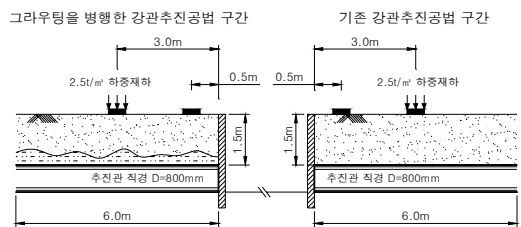


Fig. 4 현장 시험시공 및 침하판 설치현황 모식도

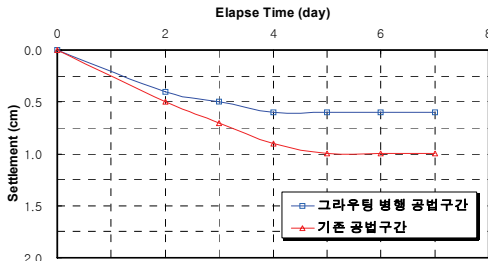
## 4. 현장 시험 결과

### 4.1 지표침하 측정 결과

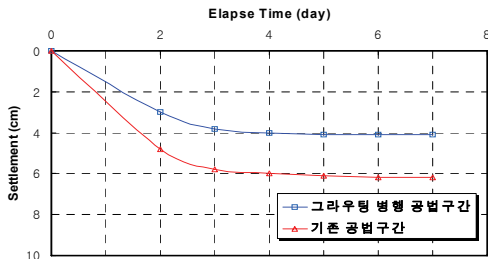
두 공법의 시공한 후 각 공법 구간에 대해 매일 1회씩 7일간 지표 침하량을 측정하였다. Fig. 5는 하중을 재하한 경우와 하중을 재하하지 않은 각각의 경우에 대한 침하량을 나타낸 것이다. 두 그래프는 침하량 수렴에 있어서는 비슷한 양상을 보였으나, 침하량에 있어서는 하중재하 조건과 상관없이 두 조건 모두에서 그라우팅을 병행한 강관추진공법 구간이 약 30~40%의 침하량 감소 비율을 보였다. 이는 그라우팅을 병행한 강관추진공법에 시공되었을 경우 침하에 대해서 기존 강관추진공법에 비하여 비교적 우수한 현장 적용성을 나타낸다 할 수 있다.

### 4.2 현장 밀도시험 결과

기존 강관추진공법구간, 그라우팅을 병행한 강관추진



(a) 무재하



(b) 2.5t/m<sup>3</sup> 하중 재하

Fig. 5 하중 조건에 따른 각 공법의 시간에 따른 침하량 그래프

Table 2 현장 밀도시험 결과

적용 지반	습윤단위중량(tf/m <sup>3</sup> )		
	1차	2차	평균
원 지 반	1.904	1.923	1.914
기존 공법구간	1.832	1.842	1.837
그라우팅 병행 공법구간	1.923	1.912	1.918

진공법구간 그리고 원지반에서 현장 밀도시험을 실시하여 원지반과 비교하여 기존 강관추진공법구간과 그라우팅을 병행한 강관추진공법구간에서의 밀도변화가 어떠한 양상을 보이는지 비교하였다.

시험은 최대 입자크기가 들밀도시험이나 고무막법시험의 규정에 비해 컸기 때문에, KSF 2347에 명기된 “입자크기에 따른 시험구멍 최소부피 및 함수비 측정 시료의 최소량” 표에 의거하여 시험구멍의 부피를 충분히 넓힌 후 물을 이용하여 현장의 단위중량을 측정하였다. 이 때, 현장의 온도를 측정하여 물의 체적산정에 반영하였으며, 매 경우 2회 실시하여 평균을 구하였다.

현장 밀도시험 결과 그라우팅을 병행한 강관추진공법구간이 기존 강관추진공법구간에 비하여 단위중량이 크게 도출되었다. 기존 공법이 적용된 구간의 경우, 원지반의 단위중량에 비해 그 값이 감소한 양상을 보이고 있다. 이는 기존 강관추진공법이 시행되는 과정에서 공동발생 및 지반교란으로 인하여 강관주위의 단위중량이 감소한 것으로 판단된다.

그러나, 그라우팅을 병행한 강관추진공법구간의 경우 원지반의 단위중량에 비해 그 값이 크게 도출되었다. 이는 강관추진과정에서 발생된 공동발생 및 지반교란이 그라우팅을 병행한 강관추진공법구간의 경우 그라우팅 재료 주입에 의해 공동이 메워지는 등의 안정화를 이룬 것으로 볼 수 있다.

## 5. GPR 물리탐사

### 5.1 GPR 물리탐사 개요

현장 시험시공 대상지반에서 기존의 강관추진공법이 적용된 구간과 그라우팅을 병행한 강관추진공법이 적용된 구간에 대하여 강관 추진 후의 주변 지반상태 변

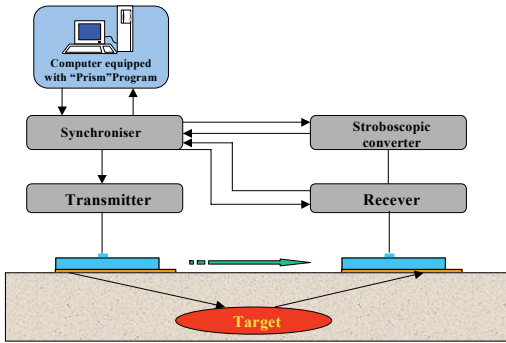


Fig. 6 GPR 신호 처리 시스템

화를 파악하기 위해 관의 횡단면과 종단면으로 지반투과레이더 GPR 탐사를 수행하였다.

GPR 자료에서 수평축은 안테나의 이동거리를 나타내고 수직축은 전자기파의 이동시간을 거리로 환산한 심도를 나타낸다. 동일 조건의 지반하부에 매설물이나 지장물이 존재하게 된다면 이것은 포물선 형태로 나타나게 되고 탐사된 매설물의 심도도 같게 된다. 그러나 매설 심도는 같으나 지반의 함수율이 높거나 지반내의 유전율적 성질이 다른 매질 등이 분포한다면 탐사된 매설물의 심도는 서로 다르게 측정된다. 또한 지반내의 공동이나 소규모의 공극 등이 존재한다면 반사파 모양은 일정한 형태를 유지하지 못하게 된다. 이는 공동이나 공극 등이 일정한 모양을 가지지 못하고 전자기파의 반사계수가 많이 변화하기 때문이다.

이와 같은 지반내의 모양의 변화나 강도의 변화 등은 전자기파가 매질내를 통과하는 속도가 다르기 때문에 나타나는 현상으로 지반내의 함수율 및 밀도와 밀접한 관계를 가지고 있다. 탐사 안테나의 선정은 일반적으로 표면에서의 강관깊이를 감안하여 2m 이내에서 높은 분해능을 보이는 400MHz 안테나를 사용하여 측정하였다. 데이터 분석시 지장물 및 매설물의 심도를 결정하는 지반의 유전상수는 일반적인 도로 지반에서 적용하는 "9"를 일률적으로 적용하여 결과 정리를 하였으며, Time Range 값은 35ns와 50ns 두 경우로 하였다.

## 5.2 횡단면 탐사 결과

Table 3은 각 공법의 횡단면에 대한 GPR탐사 데이터

이다. 데이터에서 보면 "A, B"로 표시한 부분의 포물선 모양이 압입된 강관에 대한 신호로 두 공법에 대해서 그 모양과 환산심도가 서로 다른 것을 알 수 있다. 일반적으로 전자기파는 동일 매질보다 혼합된 매질에서 상대적으로 전파되는 속도가 느리게 된다. 위 데이터에서 탐사된 강관에 쌍곡선을 대입하여 분석한 결과, Time Range 값 35ns와 50ns에서 평균적으로 기존 공법구간의 전자기파의 속도는 약 0.148m/ns이고 그라우팅 병행 공법구간의 지반내 속도는 약 0.097m/ns 인 것으로 나타났다. 이와 같은 전자기파의 속도 차이에 의해서 같은 심도에 위치한 강관이 데이터상에서는 기존 공법구간에서 환산심도가 약 1.0m, 그라우팅 병행 공법구간에서 환산심도는 약 1.3m 인 것으로 나타났다.

속도 값의 변화는 결과적으로 지반 매질의 유전상수 값의 변화로 볼 수 있으며, 이는 매질의 밀도에 변화가 있는 것으로 추정할 수 있고, 따라서 공극이 그라우팅에 의해 채워진 그라우팅을 병행한 강관추진공법구간에서 전자기파의 속도가 기존 공법구간에 비해 느리게 되는 것이다.

또한 원형으로 표시한 부분에서 기존강관추진공법으로는 명확하지 않았던 부분이 그라우팅을 병행한 강관추진공법에서는 일정한 모양을 갖춘 반사체로 나타나고 있는 것을 알 수 있으며, 역시 그라우팅을 병행한 공법구간 지반에서 공극이 그라우팅 재료에 의해 충전되어 나타난 현상으로 판단된다.

## 5.3 종단면 탐사 결과

Table 4는 압입된 강관의 상단에서 강관을 따라 종방향으로 측정된 데이터로써, 기존 공법구간과 그라우팅 병행 공법구간에서 강관의 반사 강도 및 환산심도에 많은 차이를 보여주고 있다. 기존 공법구간에 대한 강관의 심도를 나타내는 선 A는 약 0.85~1.0m로 관상고의 편차가 약 15cm 나는 것으로 나타났다. 그러나 그라우팅 병행 공법구간의 심도를 나타내는 A1은 횡단면 결과와 마찬가지로 기존공법보다 깊은 평균 1.25m의 환산심도를 나타내었고 그 편차 역시 5cm 미만을 나타내었다.

Table 3 횡단면 GPR 탐사 결과

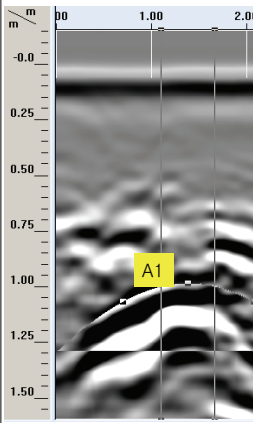
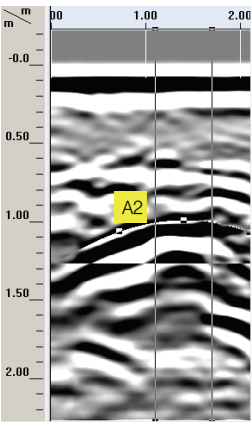
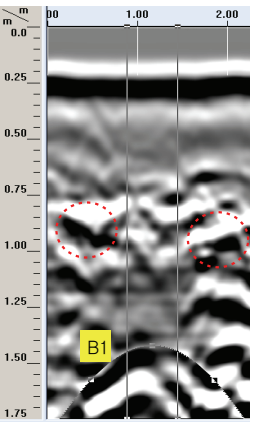
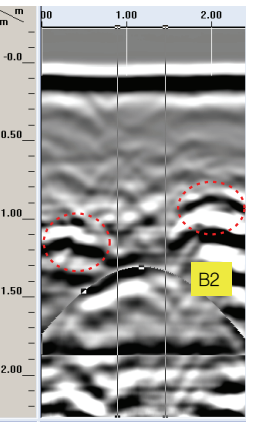
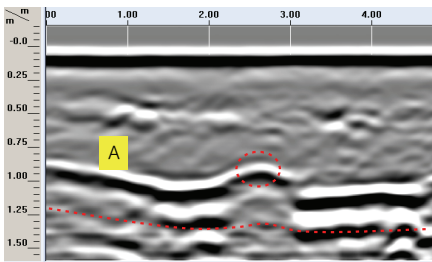
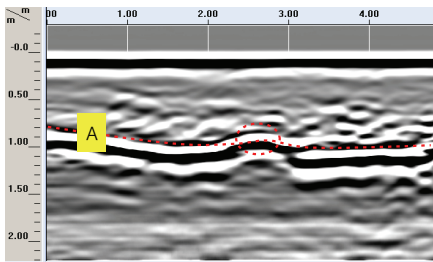
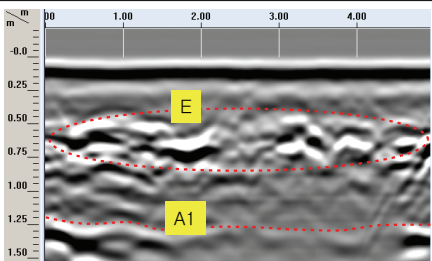
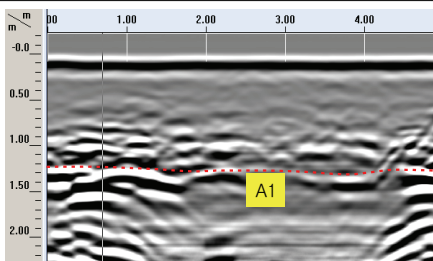
공법 구분	기존 강관추진공법 구간		그라우팅을 병행한 강관추진공법 구간	
	35ns	50ns	35ns	50ns
탐사 단면도				
지반내 전자기파 속도	Migration and Target Picking Migration Type: HYPERBOLA Velocity (m/ns): 0.14841 Hyperbola Width (Scans): 67	Migration and Target Picking Migration Type: HYPERBOLA Velocity (m/ns): 0.148 Hyperbola Width (Scans): 63	Migration and Target Picking Migration Type: HYPERBOLA Velocity (m/ns): 0.09734 Hyperbola Width (Scans): 63	Migration and Target Picking Migration Type: HYPERBOLA Velocity (m/ns): 0.096622 Hyperbola Width (Scans): 63

Table 4 종단면 GPR 탐사 결과

탐사 구간	탐사 단면도 1	탐사 단면도 2
기존공법 구간		
그라우팅 병행공법 구간		

이러한 결과 역시 그라우팅 재료 주입에 따른 지반의 매질 특성이 비슷한 양상을 나타냈기 때문인 것으로 볼 수 있다.

또한 E에서와 같이 대부분의 구간에서 기존 공법구간에서 확인되지 않았던 반사파의 모양들이 나타나는 것으로 볼 때 그라우팅 병행 공법구간에서는 그라우팅 재료가 고르게 충전된 것으로 판단된다.

## 6. 실내 대형전단실험

### 6.1 전단실험 개요

시험시공 대상지반에 대해 그라우팅을 병행한 강관추진공법이 기존의 강관추진공법에 비해 그라우팅 재료가 충전되면서 발생하는 밀도증가가 강도증가에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보았다.

일반적으로 가장 신뢰성 있는 전단강도 산정에 대한 실내실험은 삼축압축시험이지만, 자갈 계열의 조립입자가 우세한 본 대상지반의 경우 불교란시료의 채취가 불가능하였다. 때문에, 현장밀도시험값을 토대로 재성형시료를 형성하였고, 입자의 크기를 고려하여 대형전단실험을 이용하여 전단강도의 변화를 추정해보았다. 원지반에 강관의 압입으로 흐트러진 상태에서 그라우팅 충전으로 밀도가 증진된 것으로 고려하여, 기존공법과 그라우팅 병행 공법사이의 밀도차이를 그라우팅 충전량으로 하였다.

그라우팅액 충전방법으로는 전단상자에 그라우팅액이 지반에 균등하게 퍼지지는 않는다는 점을 고려하기 위해 기존공법 구간의 밀도만큼 흙을 채우고 계산된

Table 5 대형전단실험 결과

구분	수직응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	최대전단응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	강도정수	
			c (kgf/cm <sup>2</sup> )	φ (°)
기존 공법	0.23	0.186	0.019	35
	0.46	0.325		
	0.89	0.642		
그라 우팅 병행 공법	0.23	0.214	0.034	40
	0.46	0.432		
	0.89	0.789		

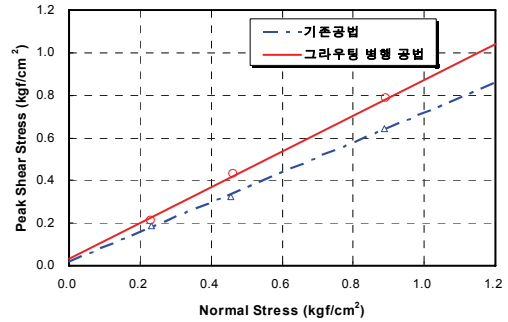


Fig. 7 각 공법에 대한 Mohr-Coulomb 파괴포락선

그라우팅액을 전단상자 상부에서 주입하는 형식을 취하였다.

### 6.2 대형전단실험 결과

대형전단실험 결과를 토대로 강도정수를 산정하여 Table 5에 나타내었다. 기존 공법을 통하여 점착력 c는 0.019kgf/cm<sup>2</sup>, 내부마찰각은 φ가 35°를 얻을 수 있었고, 그라우팅 병행 공법에 대하여 점착력 c는 0.034kgf/cm<sup>2</sup>, 내부마찰각은 φ가 40°의 결과를 얻었다. 시료의 특성상 점착력이 차지하는 비중은 적으나 그라우팅 병행 공법에 대한 시료의 점착력이 기존 공법에 비해 거의 두 배에 다다른 값을 나타내었으며, 내부마찰각 또한 5° 정도의 증가를 보였다. 이는 충전재가 공극사이에 침투·양생되면서 시료와 엉겨 붙어 생긴 결과로 판단된다. 이는 본 연구에 사용된 그라우팅 재료가 벤토나이트를 주재로 하고 있으나, 그 목적에 따라 강도증진이 주 목적인 그라우팅재료를 사용할 경우 그 효과가 더욱 커질 수 있을 것으로 기대된다.

## 7. 결론

본 연구는 기존 강관추진공법의 문제점을 보완하기 위한 그라우팅을 병행한 강관추진공법의 현장 적용성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 조립질이며 비교적 느슨한 지반을 선정하여 동일 지반에 대해 각 공법에 대한 시험시공을 실시하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.



- 1) 각 공법 시공 후 하중을 재하하지 않은 경우와 하중을 재하한 경우에 대한 지표침하 계측을 실시한 결과, 각 하중조건에 대하여 최종 지표침하량이 그라우팅을 병행한 강관추진공법 구간에서 기존 공법 구간에 비해 약 30~40%의 침하량 감소를 보였다.
- 2) 현장 밀도시험 결과 습윤단위중량이 기존 강관추진공법구간에서 평균  $1.84\text{tf}/\text{m}^3$ 을 나타내었고 그라우팅을 병행한 강관추진공법구간에서는 평균  $1.92\text{tf}/\text{m}^3$ 을 나타내었다. 이는 충진체가 교란 지역 및 공동을 충진한 결과인 것으로 판단되며, 원지반 습윤단위중량이 평균  $1.91\text{tf}/\text{m}^3$ 인 것을 고려할 때 그라우팅 효과가 거의 원지반과 가까운 밀도상태를 나타나게 하는 것으로 볼 수 있다.
- 3) GPR 물리탐사를 강관의 횡단면에 대해 수행하여 기존 강관추진공법 구간에서 지반내 속도가  $0.148\text{m}/\text{ns}$ 로 나타난 반면, 그라우팅을 병행한 강관추진공법 구간에서는  $0.097\text{m}/\text{ns}$ 로 나타나 밀도변화에 의한 그라우팅을 병행한 강관추진공법 구간에서 공동 충진의 효과가 나타났다. 또한, 종단면에서 관입깊이에 따른 관상고가 기존 강관추진공법에 비해 거의 일정하게 나타나 지반에 비교적 균질하게 그라우팅 효과가 미치고 있음을 보였다.
- 4) 시험시공 현장의 단위중량을 통해 대형전단시험을 수행한 결과, 기존 공법과 그라우팅 병행 공법에 대하여 점착력은 각각  $0.019\text{kgf}/\text{cm}^2$ 와  $0.034\text{kgf}/\text{cm}^2$ 를 얻었고, 내부마찰각은 각각  $35^\circ$ 와  $40^\circ$

의 결과를 얻어, 강관압입에 따른 전단강도손실이 그라우팅을 병행한 강관추진공법을 시공함으로써 어느 정도 회복됨을 보여주고 있음을 나타내고 있다.

향후 다양한 지반조건에서 그라우팅을 병행한 강관추진공법을 적용한 지반 적용성 결과를 얻고, 그라우팅 재료를 다양화하여 실제 시공환경 변화에 따라 적절한 그라우팅 재료의 사용을 체계화 한다면, 본 공법에 대한 적용성은 보다 구체화될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 박현수, "강관압입공법의 설계 및 시공에 관한 사례연구", 순천대학교 산업대학원, 2003.
2. 高根昇, "推進工法", 森北出版, 1982.
3. Hideki Shimada, Saeid Khazaei, Kikuo Matsui, "Small diameter tunnel excavation method using slurry pipe-jacking", Geotechnical and Geological Engineering 22, 2004, pp. 161-186.
4. Kevin John Ripley, "The performance of jacked pipes", University of Oxford, 1989.
5. Paul Norris, "The behaviour of jacking concrete pipes during site installation", University of Oxford, 1992.

(접수일자 : 2008년 9월 9일)

(심사완료일자 : 2008년 11월 10일)