

## GIP 강관추진공법의 현장 적용성 연구

### In-Situ Application of Steel Pipe jacking with Grout In Pipe Method

임호정<sup>1)</sup>, Ho-Jeong Lim, 정민형<sup>2)</sup>, Min-Hyung Jung, 이 송<sup>3)</sup>, Song Lee

<sup>1)</sup> 서울시립대학교 토목공학과 석사, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, The University of Seoul

<sup>2)</sup> 서울시립대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, The University of Seoul

<sup>3)</sup> 서울시립대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, The University of Seoul

**SYNOPSIS** : A pipe jacking method complements the excavation method and it is a non-excavation method which is thrust in the earth. On that score, using the pipe jacking method is increased because of constructability and economical efficiency in a medium or small-sized pipeline construction.

However, a pipe jacking method still has several problems that the base ground is disturbed and loosen. Especially, where some sites have boulders, gravels and foreign bodies, the foundation is brought about deformation, settlement and leakage of water. Thus, the end of the construction the ground should be reinforced by grouting and it occur with additional expenses.

Therefore, a steel pipe jacking method with grouting, Grout In Pipe, is devised newly to complement the existing method. In this study, it describes a new method and verifies efficiency, an application and practicality of the method through a experimental construction.

**Key words** : pipe jacking, grouting, settlement, in-situ density, GPR exploration

## 1. 서론

강관추진공법은 지중에 관로 형성을 위하여 관을 지중에 압입하여 추진해 나가는 비개착공법으로써, 중소규모 비개착 공사에서 경제성 및 시공성이 높아 그 사용빈도가 증대되고 있다. 그러나, 기존의 강관추진공법은 강관을 추진 과정에서 지중의 토질에 변화가 발생하여, 지반이 교란되고 느슨해짐으로 인해 지반의 변형이 생기고 잔류침하로 상부구조물에 피해가 발생되며, 새로운 유선의 형성으로 누수의 문제가 야기되는 등의 문제점이 나타나고 있다. 이와 같은 기존의 강관추진공법의 문제점을 보완하기 위해, 강관추진 과정에 그라우팅을 병행한 강관추진공법이 개발되었고, 본 연구는 GIP(Grout in Pipe) 강관추진공법이라 명명된 본 공법의 현장 적용성에 대해 파악하고자 한다.

GIP 강관추진공법은 강관추진과정 중 선도관 주위에 지중에서 3면으로 분사되도록 고안된 그라우팅용 노즐을 통해 실링체를 분사시킴으로써 강관추진으로 발생된 공동을 메우고 교란된 지반을 안정시키는 작용을 함과 동시에 선도강관과 토사사이의 마찰력을 감소시켜 원활한 추진이 되도록 하고 있다. 이러한 GIP 강관추진공법의 현장 적용성을 파악하기 위해 기존의 강관추진공법과 그라우팅을 병행한 강관추진공법을 동일 지반에 적용한 시험시공을 실시하였다. 현장에서의 연구방법으로 지표침하 계측과 현장밀도시험을 수행하였고, GPR 물리탐사를 실시하여 그 효과를 검증하였다.

## 2. G.I.P 강관추진공법

### 2.1 기존 강관추진공법의 문제점

기존의 일반적인 강관추진공법은 선압입 후굴착의 공정으로 이루어지는데, 선도관 압입시 전방에 존재하는 호박돌이나 전석층 등으로 인해 선도관의 진입이 불가능하게 되거나 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 지반 사이에 공간이 발생한다. 이는 향후 지반의 안정화 과정에 잔류침하를 유발할 수 있는 소지가 되며, 이로 인해 상부구조물이나 도로 및 철도, 제방 등에 이차적이 재해의 우려가 있다.

또한, 유압에 의해 강제로 압입되는 추진관은 지층에 균열과 교란을 발생시키게 되고, 또한 토사와 강관의 재료 특성상 두 재료의 경계면을 따라 자연스럽게 유선이 형성되게 된다. 따라서 이로 인해 향후 누수의 여지가 있음은 물론 누수로 인한 지중 토사의 유출 문제가 있다. 특히 저수지나 하천제방 등을 관통하며 시공하게 될 경우 불투수층의 균열피해를 유발시킬 수 있다.

### 2.2 GIP 공법의 특성

기존의 강관추진공법은 2.1절에서와 같이 여러 문제점들을 지니고 있다. 강관 추진시 지반의 교란과 부득이한 선굴착에서 생기는 동공, 누수 등과 같이 상부 구조물의 안전을 위협하는 문제점들은 강관추진공법 시공 후 별도의 지반보강을 필요로 하게 된다. 이는 공기를 지연시켜 경제적 손실을 일으킬 뿐만 아니라, 도로 및 철도의 경우 교통흐름을 방해하는 등 2차적 손실을 야기하게 된다. GIP 강관추진공법은 압입시 그라우팅을 병행함으로써 이러한 2차적 손실들을 사전에 예방하고 공기를 단축시킴으로써 기존 강관추진공법보다 우수한 적용성과 경제성을 가지고 있어 실무에 있어서 상당히 실용적인 공법으로 기대되고 있다.

#### (1) 지반의 안정성 확보

추진과 동시에 강관주위를 그라우팅하기 때문에 지반의 안정성을 도모할 수 있다. 특히 기존 공법으로 불가능한 제방의 법면 등에 지수 및 차수용으로 효과를 거둘 수 있으며, 차량통행이 빈번한 도로나 고속도로 및 철도, 상부의 대형 건물이나 주택과 같이 기존 강관추진공법으로 시공 후 별도의 그라우팅으로 지반을 보강하기 곤란한 지형에 효과적으로 시공 할 수 있다.

#### (2) 원활한 강관추진

기존의 강관추진공법은 별도의 윤활유를 사용하지 않는다. 이는 실제 시공시 추진력 문제로 인한 공기 지연의 주요한 원인 중에 하나이며, 동시에 원활하지 못한 강관추진으로 야기되는 선굴착의 문제를 수반하게 된다.

그러나, GIP 강관추진공법에서는 선도관의 노즐을 통해 벤토나이트와 다양한 활재 등을 혼합하여 분사하는데, 이러한 벤토나이트와 활재는 압입시 훌륭한 윤활유 역할을 하여 토사 사이의 마찰력을 감소시켜 원활한 추진이 이루어지도록 한다.

#### (3) 잔류침하 방지

그라우팅과 압입을 병행하기 때문에 지반의 변형이나 동공에 즉각적인 대처가 가능하므로 공극을 충전 시키고 변형을 방지, 잔류침하의 위험을 사전에 효율적으로 그리고 민첩하게 예방 할 수 있다. 또한 분사된 그라우팅재는 차수성이 뛰어나 누수로부터 수반되는 토사의 유출을 방지, 시공이 끝난 후 오랜 시간이 지나서 발생하는 누수로 인한 잔류 침하 역시 예방 가능하다.

#### (4) 경제성

GIP 강관추진공법은 앞에서 언급한 기술적인 특징에 상응하는 경제성을 가지고 있다. 가장 두드러진 경제적 효과는 시공속도 향상으로 인한 공사비 절감이다. 실제 공사비 부문에 있어서 기존 강관추진공법에 비하여 GIP 강관추진공법이 선도관 제작비를 비롯하여 그라우팅 및 플랜트 설치비로 단가가 증가하지만, 그라우팅 재료 주입으로 선도관 압입시 마찰력 감소, 지수·차수성 및 작업성 향상으로 공기가 단축되어 장비 임대 및 인건비 등으로 인한 공사비 절감 효과를 확인할 수 있었다.

또한, GIP 강관추진공법은 기존의 강관추진공법으로 시공된 현장에서 생길 수 있는 별도의 지반보강이 불필요하다는 측면도 2차적인 경제적 효과를 보여주고 있다.

### 2.3 GIP 공법의 장비 구성

GIP 강관추진공법에서는 기존 공법과 달리 강관을 지중으로 추진할 때, 대상 강관을 곧바로 추진하는 것이 아니라 선도관을 제작, 가장먼저 압입하게 된다. 선도관은 내부에 그라우팅용 파이프가 설치되고 설치된 파이프와 노즐을 연결할 수 있도록 선도관을 일정간격으로 천공한 후 노즐을 설치한다.

그림 1은 강관에 그라우팅용 파이프 및 노즐이 설치된 선도관의 측면도 및 단면도와 그라우팅용 노즐의 상세도를 나타내었다. 그라우팅용 노즐의 간격은 현장의 여건에 따라 상이하나 일반적으로 60cm마다 설치하는 것을 기본으로 하고 있다.

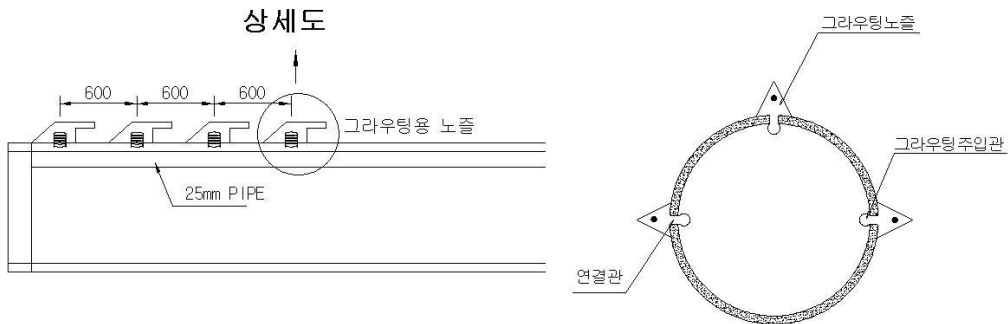
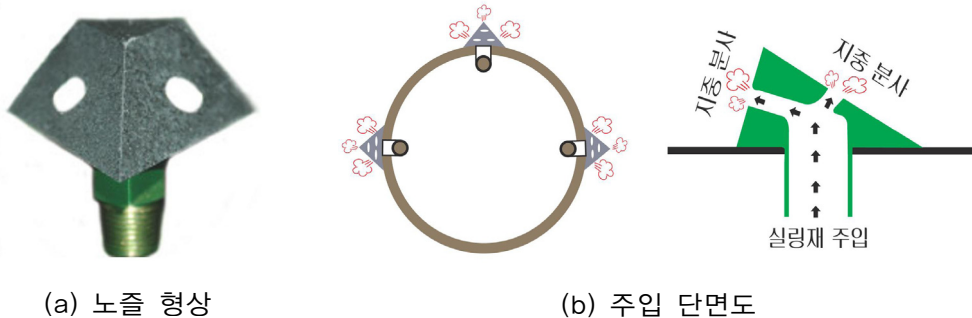


그림 1. G.I.P 선도관의 측면 및 횡단면

그라우팅용 노즐의 형상은 그림 2(a)와 같이 전면측으로 경사진 사면체이고, 노즐의 하면으로 그라우팅용 파이프와 연결되는 결합부가 형성되어 있으며, 하면을 제외한 3면으로 실링제가 분사되도록 고안되었다. 그림 2(b)는 각각 노즐이 선도관에 설치되어 분사되는 단면과 주입단면도를 나타내고 있다.



(a) 노즐 형상

(b) 주입 단면도

그림 2. 그라우팅 노즐의 형상 및 주입 단면도

## 2.4 GIP 공법의 시공 단계

추진하고자 하는 대상지반의 지반조사를 기본으로 압입 시점에 가시설공사 및 추진기지를 설치하고 선도관을 제작한다. 선도관을 제작 후 분사시험을 통해 분사형태, 노즐의 막힘, 주입 압력상태 등을 점검한다. 제작된 선도관을 유압으로 압입시키고 굴착 토사를 인력 또는 장비를 이용하여 배출시킨다. 선도관 관입 후 후속관을 접합시키는 한편 그라우팅을 실시하여 지반 보강을 실시하는 과정을 반복하여 강관추진을 완료하게 되면, 본관을 부설한다.

GIP식 강관추진공법의 크게 3단계의 단계별 시공 흐름을 갖게 되는데, 1단계는 노즐이 장착된 선도관 관입, 2단계는 선도관 관입 완료후 후속관을 접합하는 한편 그라우팅을 통한 지반보강을 실시하는데 이로 인해 추진관 주위의 마찰력을 감소시켜 원활한 추진이 되게 함과 동시에 교란된 강관주변의 지반을 안정화시킨다. 3단계는 후속관 재 관입 및 그라우팅 시행하는 3단계를 반복하여 실시, 전 구간에 걸쳐 압입과 그라우팅을 시공한다. 그림 3은 GIP식 강관추진공법의 단계별 시공 상세도를 나타낸다.

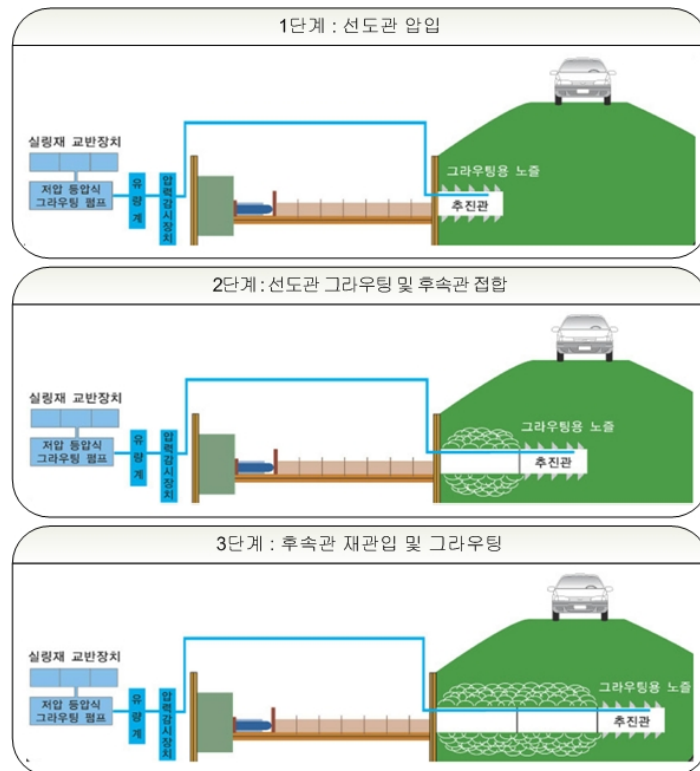


그림 3. GIP 강관추진공법의 시공단계별 모식도

## 3. 현장 시험시공

GIP 강관추진공법에 대하여 기존의 강관추진공법보다 우수함을 증명하기 위해서 동일한 현장에 대하여 각각의 공법에 대한 시험시공을 실시하였다.

### 3.1 시험시공 대상지반

시험시공 현장은 “경상북도 포항시 기계면 봉계리” 일원으로 이 일대는 과거 범람원 지역으로 판단되었으며, 통일분류법상 모래가 많이 섞인 GM으로 판정되었다. 또한 본 대상지반은 강 주변에 위치하여 지하수위가 높고 상당히 느슨한 상태를 보여 조립토 연약지반으로 볼 수 있다.

표 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

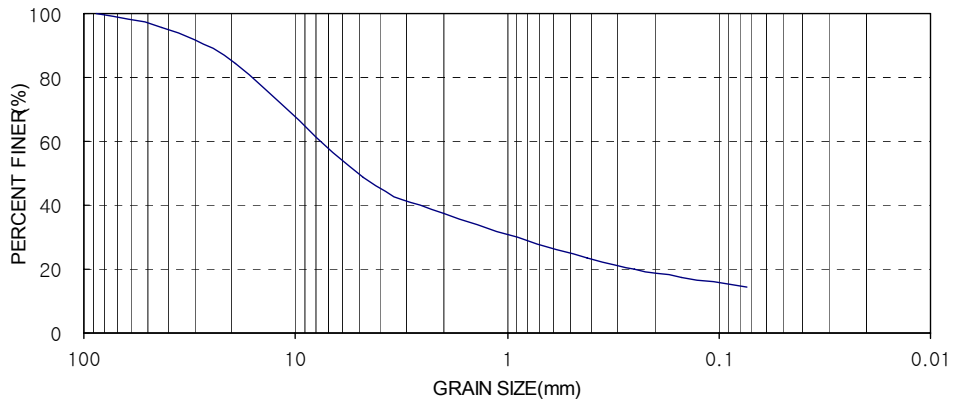


그림 4. 시험시공 대상지반의 입도분포

### 3.2 시험시공 현황

동일한 대상지반에 기존 강관추진공법과 GIP 강관추진공법을 모두 적용시키기 위하여 하나의 수직갱을 이용하여 양 방향으로 두 공법을 적용하였다. 두 공법 모두 추진관의 직경은 800mm로 하였고, 토피는 1.5m로써 일반적인 최소 토피두께  $1.5 \times D$  이상을 만족시켰으며, 추진길이는 6.0m로 하였다. 위와 같은 시험시공 현황을 그림 5의 모식도에 나타내었다.

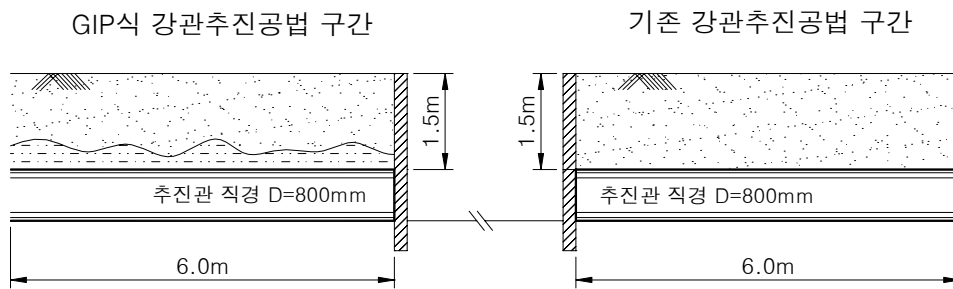
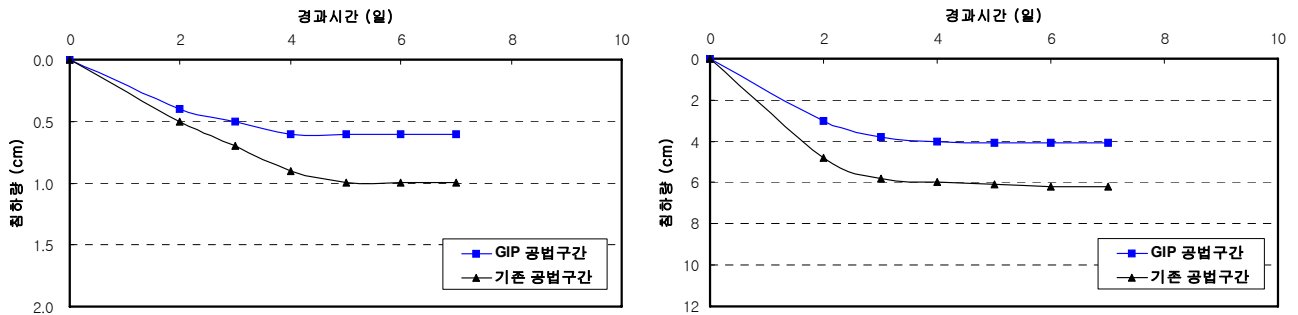


그림 5. 현장 시험시공 모식도

양 방향에 대한 시험시공이 이루어진 직후 침하판을 설치하였다. 침하판은 각각의 공법 구간에 두개씩 설치하였고, 그 침하판 중 하나는 하중을 재하하지 않았고 나머지 하나에는  $2.5t/m^3$ 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.

## 4. 현장 시험 결과

### 4.1 지표침하 계측 결과



(a) 하중을 재하하지 않은 경우

(b) 2.5t/m<sup>3</sup>의 하중을 재하한 경우

그림 6. 하중 조건에 따른 각 공법의 시간에 따른 침하량 그래프

두 공법의 시공 후 양 공법 구간에 대해 매일 1회씩 7일간 측정하여 하중을 재하한 경우와 하중을 재하하지 않은 경우에 대해 그림 6과 같은 결과를 얻었다. 그림 6의 그래프는 GIP 강관추진공법 시공구간에 대한 침하량이 기존 강관추진공법에 비하여 비교적 적은 침하량을 보이고 있다. 이는 하중재하 조건과 상관없이 두 조건 모두에서 GIP 강관추진공법 구간이 약 30~40%의 비슷한 침하량 감소 비율을 보였다.

### 4.2 현장 밀도시험 결과

기존 강관추진공법구간과 GIP 강관추진공법구간에서 현장밀도시험을 수행하여 각 공법의 강관추진에 따른 현장의 단위중량의 변동을 살펴보고, 원지반에서도 현장 밀도시험을 실시하여 원지반과 비교하여 기존 강관추진공법구간과 GIP 강관추진공법구간에서의 밀도변화가 어떠한 양상을 보이는지 비교해 보았다.

시험은 최대 입자크기가 들밀도시험이나 고무막법시험의 규정에 비해 컸기 때문에, 시험구멍을 넓게 한 후 물을 이용하여 현장의 단위중량을 측정하였다. 이 때, 현장의 온도를 측정하여 물의 체적산정에 반영하였으며, 매 경우 2회 실시하여 평균을 구하였다.

표 2. 현장 밀도시험 결과

적용 지반	원지반	기존 공법구간	GIP 공법구간
평균 습윤단위중량(tf/m <sup>3</sup> )	1.914	1.837	1.918

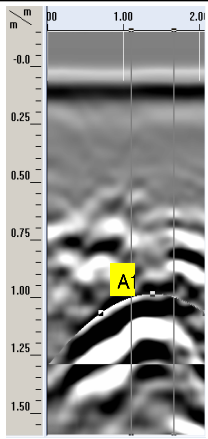
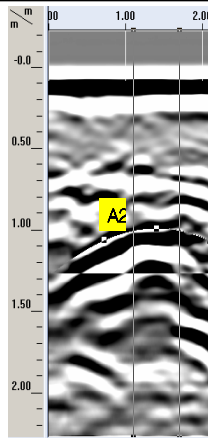
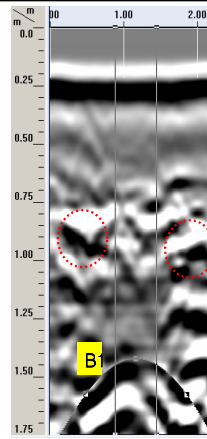
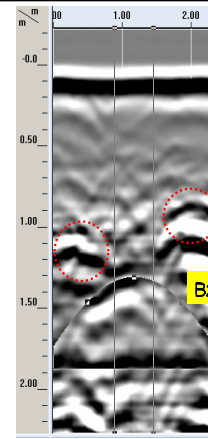
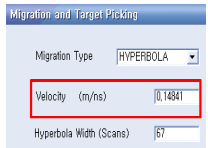
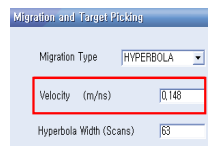
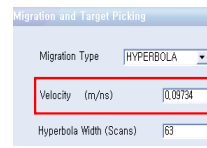
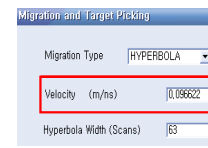
현장 밀도시험 결과 GIP 강관추진공법구간이 기존 강관추진공법구간에 비하여 단위중량이 크게 도출되었다. 기존 공법이 적용된 구간의 경우, 원지반의 단위중량에 비해 그 값이 감소한 양상을 보이고 있다. 이는 기존 강관추진공법이 시행되는 과정에서 공동발생 및 지반교란으로 인하여 강관주위의 단위중량이 감소한 것으로 판단된다.

그러나, GIP 강관추진공법구간의 경우 원지반의 단위중량에 비해 그 값이 크게 도출되었다. 이는 강관추진과정에서 발생된 공동발생 및 지반교란이 GIP식 강관추진공법에 의한 그라우팅 재료 주입에 의해 공동이 메워지는 등의 안정화를 이룬 것으로 사료된다.

### 4.3 GPR 물리탐사 결과

현장 시험시공 대상지반에서 기존의 강관추진공법이 적용된 구간과 GIP식 강관추진공법이 적용된 구간에 대하여 강관 추진 후의 주변 지반상태 변화를 파악하기 위해 관의 횡단면으로 지반투과레이더 GPR 탐사를 수행하였다. 데이터 분석시 지장물 및 매설물의 심도를 결정하는 지반의 유전상수는 일반적인 도로 지반에서 적용하는 “9”를 일률적으로 적용하여 결과 정리를 하였다.

표 3. GPR 시험 결과

탐사 구간	기존 강관추진공법 구간		GIP 강관추진공법 구간	
Time Range	35ns	50ns	35ns	50ns
탐사 단면도				
지반내 전자기파 속도				

데이터에서 보면 “A, B”로 Table시한 부분의 포물선 모양이 압입된 강관에 대한 신호로 두 공법에 대해서 그 모양과 심도가 서로 다른 것을 알 수 있다. 일반적으로 전자기파는 동일 매질보다 혼합된 매질에서 상대적으로 전파되는 속도가 느리게 된다. 위 데이터에서 탐사된 강관에 쌍곡선을 대입하여 분석한 결과에서 볼 수 있듯이 기존 공법구간의 전자기파의 속도는 약 0.148m/ns(1ns=10<sup>-9</sup>초)이고 GIP 공법구간의 지반내 속도는 약 0.097m/ns 인 것으로 나타났다. 이와 같은 전자기파의 속도 차이에 의해서 같은 심도에 위치한 강관이 데이터상에서는 기존 공법구간에서 심도가 약 1.0m, GIP 공법구간에서 심도는 1.3m 인 것으로 나타났다.

속도 값의 변화는 결과적으로 지반 매질의 유전상수값의 변화로 볼 수 있으며, 이는 매질의 밀도에 변화가 있는 것으로 추정할 수 있다. 또한 원형으로 Table시한 부분에서 기존강관추진공법으로는 명확하지 않았던 부분이 GIP 강관추진공법에서는 일정한 모양을 갖춘 반사체로 나타나고 있는 것을 알 수 있으며, 이는 GIP 공법구간 지반에서 소공동이나 공극 등에 그라우팅 재료가 충전되어 나타난 현상으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 기존 강관추진공법의 문제점을 보완하기 위해 개발된 GIP 강관추진공법에 대한 현장적용성 파악에 그 목적이 있다. 기존 공법에 대한 GIP 강관추진공법의 효용성을 연구하기 위해 조립의 입자가 다수 포함되고 비교적 느슨한 지반을 선정하여 시험시공을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지표침하 계측에 대하여 하중을 재하하지 않은 경우와  $2.5\text{t/m}^2$ 의 하중을 재하한 경우 모두에 대하여 최종 지표침하량이 GIP 강관추진공법 구간에서 기존 공법 구간에 비해 약 30~40%의 침하량 감소를 보였다.
2. 현장 밀도시험 결과 습윤단위중량이 기존 강관추진공법구간에서 평균  $1.84\text{t/m}^3$ 을 나타내었고 GIP식 강관추진공법구간에서는 평균  $1.92\text{t/m}^3$ 을 나타내었다. 이는 실링재가 교란 지역 및 공동을 충전한 결과인 것으로 판단되며, 원지반 습윤단위중량이 평균  $1.91\text{t/m}^3$ 인 것을 고려하면 GIP식 강관추진공법에 의한 그라우팅 효과가 거의 원지반과 가까운 밀도상태를 나타나게 하는 것으로 볼 수 있다.
3. GPR 물리탐사를 강관의 횡단면에 대해 수행하여 기존 강관추진공법 구간에서 지반내 속도가  $0.148\text{m/ns}$ 로 나타난 반면, GIP 강관추진공법 구간에서는  $0.097\text{m/ns}$ 로 나타나 밀도변화에 의한 GIP 강관 추진 공법 구간에서 공동 충전의 효과가 나타났다.

## 참고문헌

1. 현장 기술자를 위한 흙과 기초 시리즈 4, 1998, 추진공법의 조사, 과학기술.
2. 高根昇(1982), 推進工法, 森北出版.
3. Paul Norris(1992), *The behaviour of jacking concrete pipes during site installation*, University of Oxford.
4. USACE(1997), *Pipe jacking, Conduits, Culverts and Pipes EM 1110-2-2902*, Chapter 8.