# 팩을 이용한 마이크로파일 공법(1)

글 | **이기환** | 토목기술부 부장 | 전화 : 02-3433-7760 E-mail : lkhjin@ssyenc.com
글 | **이정훈** | 토목기술부 대리 | 전화 : 02-3433-7785 E-mail : hanljh@ssyenc.com

## 1. 머리말

도시재생사업(리모델링 산업, 구조물 증 · 개축 및 내진성능향상 등)의 시장규모가 지속적으로 증가할 것으로 예상되므로 기존 구조물 기초보강공법에 대한 수요증가가 예상된다. 특히, 최적의 보강공법으로 최근 각광 받고 있는 마이크로파일 공법에 대한 수요가 점차 늘어날 것으로 판단된다.

이러한 흐름에 발맞추어 당사는 토목기술부 주도하에 신개념의 마이크로파일 공법 개발을 목표로 현재 국책연구과제를 수행하고 있다.

본고에서는 마이크로파일 공법에 대한 일반적인 사항과 당사 참여 연구과제 및 개발 진행 중인 팩을 이용한 마이크로파일 공법에 대해 간략하게 소개하고자 한다.

## 2. 연구과제 소개

국토해양부는 국가 건설교통 산업에 대한 정책을 추진하고 각종 법률과 제도를 통해 경쟁력 있는 산업을 육성하고 미래사회 삶의 질 향상을 위한 다양한 정책을 추진하면서 이를 뒷받침 할 수 있는 '건설교통 7대 R&D사업' 을 추진하였다.

도시재생사업단은 7대 R&D사업군 중 하나로 선정되었으며, 기존 도시의 환경개선과 지속가능한 정주환경 조성을 통해 삶의 질 향상을 통한 도시경쟁력 제고를 위한 사업으로 추진되었으며, 2006년 12월 29일 국토해양부 기술혁신로드맵 VC-10으로 사업단이 출범되었다.

당사는 도시재생사업단 4핵심과제중의 하나인 구조물 성능복원 기술개발 연구에 참여하고 있으며, 당사참여 연구개발 개요는 다음과 같다.

### 2-1. 연구과제 개요

**1) 연구과제명**

- 마이크로파일 공법 및 장비 개발

**2) 연구개발 기간**

- 2008. 01~2013. 06(5년 6개월)

**3) 참여기관 및 연구분야**

- 쌍용건설(토목기술부) : 신개념 마이크로파일 공법 개발 및 시공
- 한국건설기술연구원 : 공법 개발 성과분석

### 2-2. 연구개발 계획 및 성과

연구개발 계획과 현재까지의 연구 성과를 요약하면 각각 다음 〈표 1〉 및 〈표 2〉와 같다.

〈표 1〉 연구개발 계획

| | |
|---|---|
| 연구개발 개요 | "최적(고효율/저비용) 도시 건축물 재생 솔루션"의 정립을 목적으로 한 지반구조물 보수 · 보강 핵심 요소기술을 개발하기 위한 것으로, 마이크로파일 공법 및 장비 개발에 초점을 맞춘 실용화/사업화를 위주로 하는 연구 |
| 연구목적 | - 양호한 하부 지지층을 포함, 상대적으로 느슨하고 연약한 상부 지층에서의 지반 지지력(주면마찰력)을 극대화 할 수 있는 토목섬유 소재 팩(Pack)을 이용한 복합형 마이크로파일 공법 개발<br>- 도심지 기존 구조물의 협소하고 제한된 공간에서 접근성 및 시공성을 향상시킨 한국형 마이크로파일 시공장비(천공장비) 개발 |
| 연구내용 및 범위 | - 마이크로파일 지지력 증대기법 요소기술 및 국내 도시 건축구조물에 적합한 시공장비 개발안 도출<br>- 복합형 마이크로파일 구조체 및 한국형 마이크로파일 시공장비 설계 및 제작<br>- 시험시공(정재하시험 포함)을 통한 마이크로파일 공법 및 시공장비 현장 적용성 검증<br>- 마이크로파일 공법에 적합한 시공장비 개선 및 기술 완성 |

〈표 2〉 연구 성과

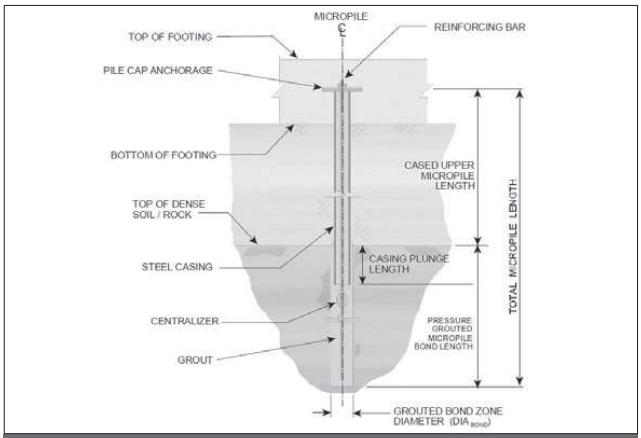
| | |
|---|---|
| 2차년도<br>(2008. 01~<br>2008. 06) | - 기존 공법/기술 DB화 기반 구축<br>- 공법개발안 도출<br>- 특허 1건 출원, 학술회의 논문 1편 발표 |
| 3차년도<br>(2008. 07~<br>2009. 06) | - 공법개발안 현장 적용 및 성과 분석<br>- 특허 1건 출원, 학술회의 논문 1편 발표<br>- 추가 특허 1건 출원 준비 중<br>- 해외논문 3편 발표 준비 중<br>- 신기술 등록 추진 예정 |

## 3. 마이크로파일 공법

### 3-1. 공법 개요

마이크로파일은 주로 직경이 300mm 이하의 소구경 말뚝으로, 보통 강재로 보강되며, 지반을 천공한 후 보강재 설치, 그라우팅 실시의 순서로 시공된다. 마이크로파일은 수직력과 수평력에 견딜 수 있으며 설계개념에 따라 기존의 말뚝을 대신하거나 지반/말뚝 복합체의 한 요소로 이용될 수 있다.

대표적인 마이크로파일 단면형상은 [그림 1]과 같다.



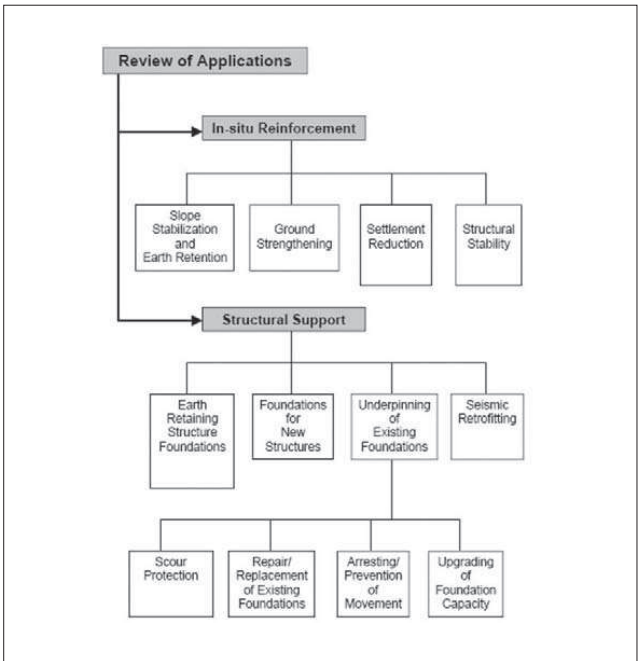

[그림 1] 대표적인 마이크로파일 단면(FHWA, 2005)

일반적인 현장타설말뚝에 작용하는 대부분의 하중은 구조적으로 보강콘크리트에 의해 지지된다. 따라서 말뚝단면 또는 표면적을 증가시켜야 말뚝의 구조적 지지능력을 증가시킬 수 있다. 이에 반해 마이크로파일의 구조적 지지능력은 하중의 대부분 또는 전부를 지지하는 고강도 강재에 달려있다.

일반적으로 가장 많이 적용되는 마이크로파일의 크기는 12~17cm 이고 이보다 더 작은 마이크로파일이 적용되고 있다. 마이크로파일은 그라운드 앵커와 비슷한 방식으로 그라우트와 지반의 마찰력으로 강재가 지지하는 외부하중을 지반으로 전달하며, 선단지지력은 직경이 작으므로 보통 무시한다. 그라우트/지반 부착력은 주로 지반조건이나 그라우팅 방법(압력식 주입, 중력식 주입)에 따라 크게 좌우된다.

### 3-2. 적용분야

마이크로파일은 주로 구조물 기초공사시 작업 공간의 여유가 제한되는 도심지 내 시공조건이 불량한 공사에 많이 적용되며, 신설 기초공사를 포함하여 지하구조물의 재건설 및 기존 기초의 보강, 사석 채움으로 이루어진 항만에서 침하시 전단 보강그리고 최근에는 교량 기초 지지력 보강 및 내진 보강 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 그에 따른 말뚝의 성능과 적용 범위가 광범위하고 다양한 지반에 적용 가능하다는 점, 그리고 타 공법과 연계하여 사용할 수 있는 장점으로 인하여 유럽을 중심으로 구조물 보강 용도로 그 사용이 증가하고 있으며, 일본과 미국의 경우 지진에 대한 기존 구조물의 내진보강용으로 주목 받고 있다. 마이크로파일의 대표적인 적용분야는 [그림 2]와 같다.




[그림 2] 마이크로파일 적용분야(FHWA, 2005)

### 3-3. 공법 특징

마이크로파일의 대표적인 특징은 다음과 같다.

- 주변 구조물이나 지반 그리고 환경에 최소한으로 영향을 주면서 시공되며, 시공하기(접근하기) 곤란한 환경과 모든 종류의 토질조건에서 시공 가능

- 그라운드 앵커나 그라우팅 시공장비로 수평이하의 어떠한 각도로도 시공 가능
- 시공과정에서 진동과 소음이 적고, 건물 천장이 낮은 곳에서도 시공이 가능
- 소구경으로도 큰 지지력 확보 가능

## 3-4. 국내 마이크로파일 설계 및 시공방법

**1) 설계방법**

국내의 경우 각종 토목 · 건축 현장에 다양한 용도로 마이크로파일이 시공되고 있으나, 아직까지 관련 설계기준이 정립되어 있지 않다. 따라서 설계자는 주로 외국의 시방기준 또는 참고자료를 활용하여 설계를 하고 있는 실정이다.

마이크로파일의 압축지지력(주면마찰력)은 어스앵커 마찰저항력 산정방법, 현장타설말뚝의 지지력 산정방법 및 각종 국외 마이크로파일 관련 자료에 제시되어 있는 방법을 활용하여 산정하고 있다. 이로 인해 적용방법 또는 설계자의 판단에 따라 보수적 또는 불안정한 설계가 될 가능성이 있다.

설계방법에 대한 혼선 및 적합하지 않은 설계법의 적용을 사전에 방지하여 경제적이고 안정적인 설계가 될 수 있도록 마이크로파일 관련 국내 설계기준의 정립이 필요하다. 국외의 경우 최근 들어 소일 네일링, 어스앵커 및 현장타설말뚝에 대한 기존 연구뿐만 아니라 마이크로파일에 대한 그동안의 연구결과를 바탕으로 마이크로파일 설계 및 시공에 관한 자료를 체계화하고 있으며, 관련 매뉴얼 및 시방서 등을 제시하고 있으므로 국내에서도 이를 활용할 수 있을 것이다.

**2) 시공방법**

국내 현장에 주로 적용되고 있는 전형적인 마이크로파일의 시공순서는 〈표 3〉과 같다. 먼저 천공장비를 이용해 지반을 천공한 후 보강재 설치한다. 보강재 설치작업이 완료되면 호스를 통해 그라우트를 주입, 말뚝 선단으로부터 홀채움을 실시한다. 다음으로 두부를 정리하고 지압판을 설치한다.

천공작업시 토사지반에서는 공벽유지용 강관을 대부분 사용하며, 이 강관은 회수하지 않고 지중에 사장시킴으로써 마이크로파일 내부에 설치되는 철근 또는 강봉과 함께 보강재로 사용된다. 따라서 마이크로파일은 상부 토사층과 하부 지지층에서의 말뚝 단면형상이 다른 일종의 복합말뚝(Composite Pile)이 된다.

천공장비로는 공압식 또는 유압식 드릴을 주로 쓰고 있으며, 〈표 4〉에서와 같이 자주식과 비자주식(견인식)으로 구분된다. 자주식 천공장비는 드릴링 리그(Drilling Rigs)를 궤도(Crawler, Track) 상부에 부착한 것으로 장비의 이동이 용이하며, 일반적으로 국내에서는 크롤러 드릴이라 불린다. 기존 건물 증 · 개축시 건축물 지하내부(천장고가 낮은 지역)에서 기초를 신설하거나 공간이 협소하고 한정된 장소에서 마이크로파일을 시공할 경우에는, 드릴 마스트(Drill Mast)의 길이를 축소하여 개조한 천공장비 또는 드릴링 리그를 Steel Frame 상부에 설치한 비자주식 천공장비를 사용하고 있다.

〈표 3〉 마이크로파일 시공순서

| | |
|---|---|
| | |
| ① 천공작업 | ② 보강재 조립 및 설치 |
| | |
| ③ 그라우팅 작업 | ④ 두부정리(지압판 설치) |

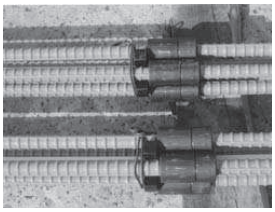
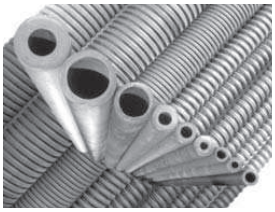
〈표 4〉 천공장비

| | |
|---|---|
| | (드릴 마스트 길이 축소) |
| Track-Mounted Rotary Drill Rig | |
| | |
| Small Frame-Mounted Rotary Drill Rig (비자주식) | |

마이크로파일 보강재의 종류에는 철근(Rebar), 강봉(Thread Bar), 중공바(Hollow Bar) 및 강관(Steel Pipe Casing) 등이 있으며, 국내에서는 주로 철근 또는 강봉을 사용하고 있다(〈표 5〉 참조).

최근에는 대부분의 현장에서 마이크로파일 보강재로 철근에 비해 상대적으로 시공성이 우수한 강봉을 사용하고 있으며, 강봉의 직경은 25~75mm로 다양하다. 강봉은 직경이 작은 것을 사용하여 여러 개를 설치(간격재 사용)할 수 있으나, 일반적으로 직경이 큰 강봉(50mm 이상) 1개를 사용한다.

〈표 5〉 마이크로파일 보강재

| | |
|---|---|
|  | |
| 철근(Rebar) | 강봉(Thread Bar) |
|  | |
| 중공바(Hollow Bar) | 강관(Steel Pipe Casing) |

그라우트는 보통 물, 시멘트, 혼화제로 구성된다. 시공시 유동성과 강도발현 정도를 고려하여 국내에서는 그라우트의 물/시멘트 비를 주로 45% 이하로 적용하고 있다. 그라우팅 방법은 그라우트/지반의 부착력에 가장 민감하게 영향을 미치는 요소로, 국내에서는 대부분 중력에 의한 그라우팅 방법(Gravity Fill Techniques)을 사용하고 있다.

이 방법은 마이크로파일의 지지층이 암반 또는 단단한 점성토층일 때 사용하는 방법으로, 중력식 그라우팅 후 일정한 주입압을 주어 그라우팅을 추가적으로 실시하는 방법(Pressure Grouting 또는 Postgrouting)에 비해 그라우트/지반의 부착력이 떨어진다는 단점이 있지만, 가압방식에 비해 시공이 간편하고 공사비가 저렴하여 국내 대부분의 현장에서 적용되고 있다.

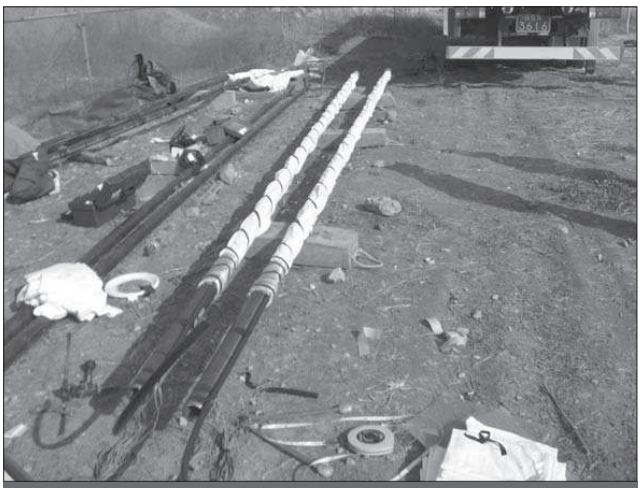
## 4. 팩을 이용한 마이크로파일 공법

### 4-1. 공법 개요

상부 토사층에서 발생되는 마찰지지력을 극대화하기 위하여 마이크로파일 보강재(강관, [그림 3] 참조)를 통해 주입재인 시멘트 밀크를 가압 주입함으로써, 보강재 외부에 설치되어 있는 토목섬유 소재 팩(Pack)을 팽창시켜, 지반을 압착하여 더 큰 마찰력을 얻을 수 있는 공법이다.

토사층에서의 견고한 지지력 확보는 마이크로파일 근입 깊이를 감소시키고, 공기를 단축시켜 경제적인 지반 기초구조물 보수보강을 가능하게 한다.

[그림 3] 마이크로파일 보강재(강관)



[그림 4] 강관 외부팩 설치

## 4-2. 공법 특징

팩을 이용한 마이크로파일의 특징을 요약하면 다음과 같다.

〈표 6〉 팩 마이크로파일의 특징

| | |
|---|---|
| 지지력 (주면마찰력) 증가 | - 가압 주입함으로써 지반과 밀착된 말뚝 구조체를 형성, 주면마찰력 증가<br>- 가압 주입시 확공 효과 기대 |
| 시공품질 향상 | - 팩 내부를 주입하므로 지반의 공극을 통한 주입재의 유실이 없어, 말뚝 단면형상이 일정함<br>- 말뚝의 결함(Necking 현상 등)이 거의 없어 말뚝 구조체의 건전성에 문제가 없음 |
| 경제성 우수 | - 공벽 유지용 아웃 케이싱(흑관)을 사장시킬 필요가 없고,<br>- 지지력이 증가하므로 말뚝 길이 축소가 가능하여 경제성 우수 |
| 구조성능 향상 | - 강관의 경우, 일반적인 마이크로파일 보강재인 강봉에 비해 단면 2차 모멘트가 크기 때문에 휨에 대한 안정성이 보다 향상 |

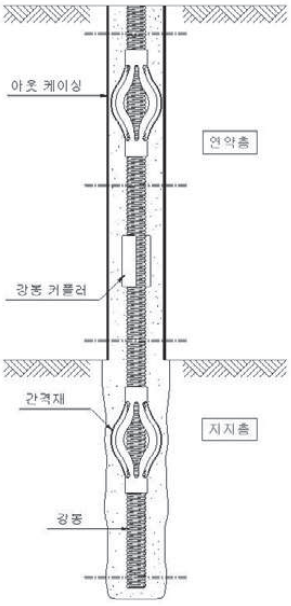
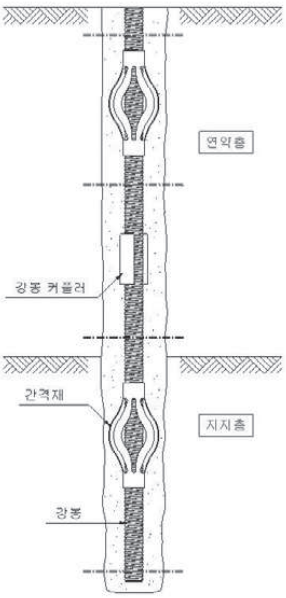
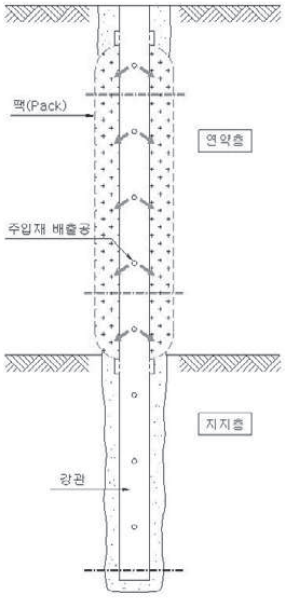
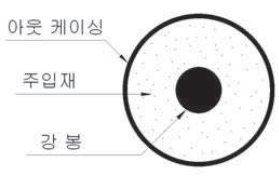
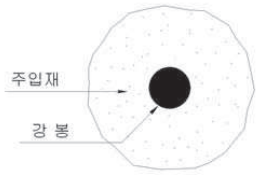
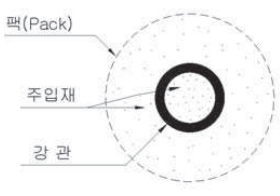
## 5. 결론

팩을 이용한 마이크로파일 기술 개발이 성공적으로 이루어진다면, 마이크로파일 시공시 상부 토사층/매립층에서 효과적으로 마찰지지력을 확보하고 말뚝 구조체의 단가 절감 및 공기단축이 가능하게 되어, 고효율/저비용 지반구조물 보수 · 보강 핵심기술이 될 수 있을 것으로 예상된다.

또한, 연구개발을 통해 마이크로파일 공법 및 시공장비에 대한 관련 기술력을 확보하고 특허 출원 및 신기술을 개발함으로써, 당사가 이 분야에 있어 기술적 우위를 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌
1. Micropile Design and Construction, FHWA, 2005
2. 깊은기초, 한국지반공학회, 2002

〈표 6〉 기존 마이크로파일 및 팩을 이용한 마이크로파일 공법 비교

| 구분 | 기존 마이크로파일 | | 팩을 이용한 마이크로파일 |
|---|---|---|---|
| | 강봉 보강 + 아웃 케이싱 사장 | 강봉 보강 | 강관 보강 + 팩 설치 |
| 설치 개념도 |  |  |  |
| 단면도 |  |  |  |