

팩을 이용한 마이크로파일 공법(2)

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

1. 머리말

본 기고에 앞서, 현재 당사가 토목기술부 주도하에 연구개발 진행 중인 신개념의 마이크로파일 공법 및 참여 중인 국책연구과제의 개요에 대해 간략하게 소개한 바 있다.

본고에서는 개발 공법에 대한 좀 더 구체적인 내용과 공법 실용성 검증을 위해 실시한 현장 시험시공 및 정재하시험 결과에 대해 소개하고자 한다.

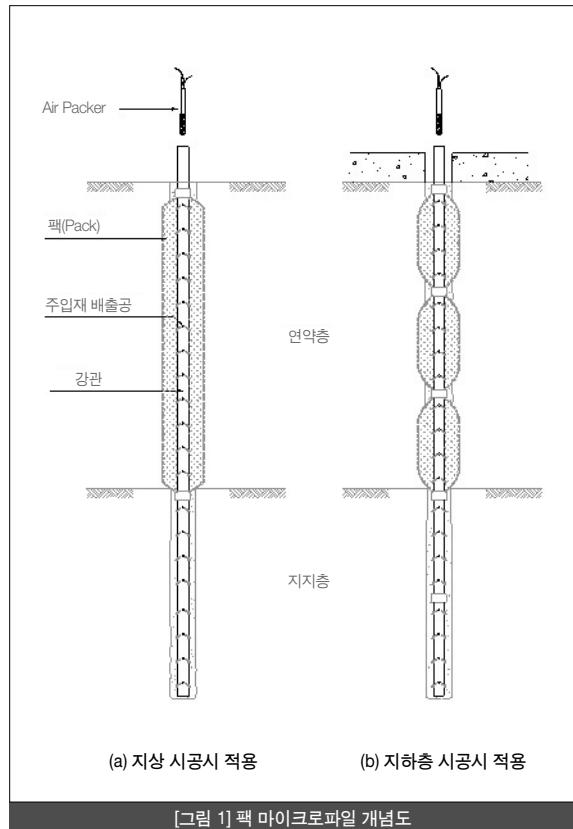
2. 팩을 이용한 마이크로파일 공법

2-1. 공법 개요

상부 토시층에서 발생되는 마찰지지력을 극대화하기 위하여 마이크로파일 보강재를 통해 주입재인 시멘트 밀크를 가압주입함으로써, 보강재 외부에 설치되어 있는 토목섬유 소재 팩(Pack)을 팽창시켜, 지반을 압착하여 더 큰 마찰력을 얻을 수 있는 공법이다.

시공시 천공홀을 유지하기 위해 일반적으로 사용되는 아웃케이싱을 지중에 사장하지 않은 상태에서 팩 속을 가압주입하는 방식이므로, 과도한 양의 주입재를 사용하지 않으면서도 충분한 강도의 고결체를 지중에 형성시킬 수 있으며, 토시층에서의 견고한 지지력 확보가 가능하다. 따라서 마이크로파일 근입 길이를 감소시키고, 공기를 단축시켜 경제적인 지반 기초구조물 보수보강을 가능하게 한다.

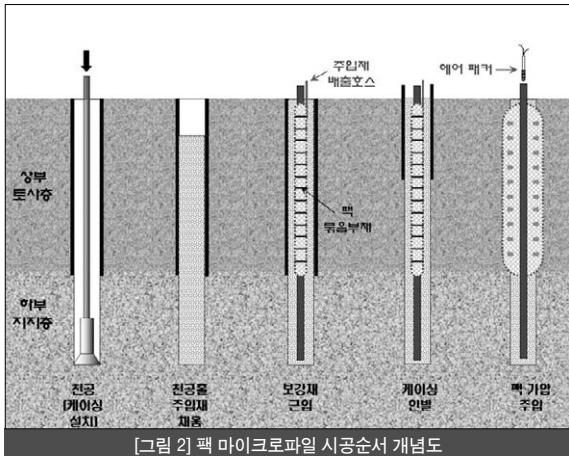
팩 마이크로파일의 개념도는 [그림 1]과 같다. 지하층에서의 공사와 같이 시공상 공간적인 제약이 있는 경우 길이가 긴 보강재를 사용할 수 없으므로, 상호 결합이 가능한 복수의 보강재를 이용할 수 있다([그림 1(b)] 참조).



[그림 1] 팩 마이크로파일 개념도

2-2. 시공순서

공법의 시공순서는 [그림 2]와 같다. 시공은 크게 1)지지층까지 천공홀을 형성하는 천공단계, 2)천공홀을 주입재로 채우는 천공홀 주입단계, 3)팩을 부착한 보강재를 주입재로 채워진 천공홀에 근입시키는 보강재 삽입단계, 4)보강재를 통해 팩 내부에 주입재를 채우는 팩 가압주입단계로 구성된다.

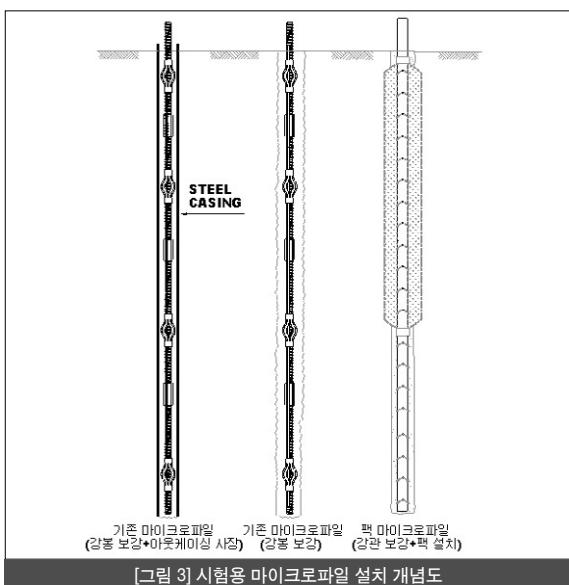


[그림 2] 팩 마이크로파일 시공순서 개념도

3. 현장 시험시공

3-1. 시험시공 개요

팩 마이크로파일의 적용성을 평가하기 위해 실효형 현장 시험시공을 실시하였다. 기존 마이크로파일과의 비교를 목적으로 총 3가지 Type의 시험말뚝이 시공되었으며, 시험말뚝의 설치 개념도는 그림 3과 같다. 시험말뚝은 매립층과 퇴적층으로 구성된 토사층에 8.0 m 길이로 총 14본(기존 마이크로파일 8본 및 팩 마이크로파일 6본)이 시공되었으며, 이는 토사층에서의 지지력 특성을 파악하는 것이 그 목적이다.



[그림 3] 시험용 마이크로파일 설치 개념도

3-2. 팩 마이크로파일 시공

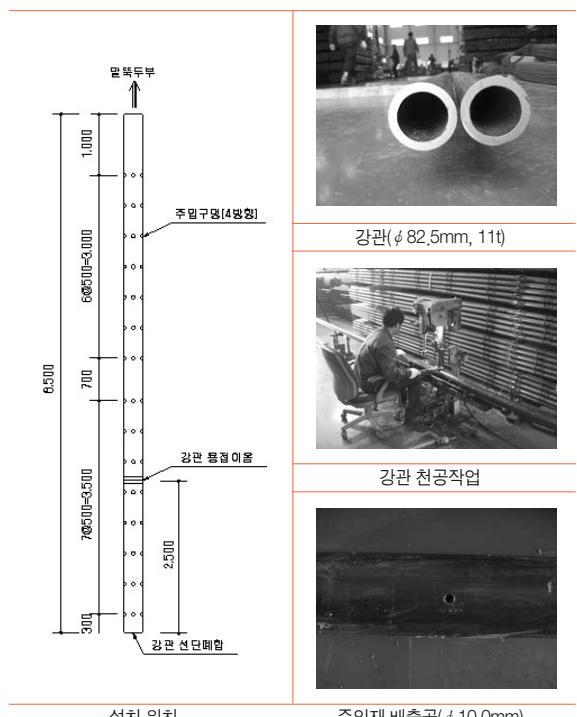
현장시험시공에 앞서 팩 마이크로파일 보강재 제작을 위하여 다음과 같은 작업을 실시하였다.

먼저 강관에 70cm 간격으로 직경 10.0mm의 구멍을 설치하였다. 한 단면에 90° 각도로 4개의 구멍을 뚫어, 이를 통해 주입재가 강관외부로 흘러나갈 수 있게 하였다.

소요 길이로 재단된 팩을 뒤집은 상태로 끝부분을 말뚝 보강재 선단부에 ABS수지로 부착/결속하였다. 선단부를 팩과 결속한 후, 팩을 뒤집어 강관 전체에 대하여 덧씌우고 강관 상부측에 팩을 철제 띠로 고정하였다.

팩이 장착된 말뚝 보강재가 천공홀에 근입되는 과정에서, 팩이 손상되는 것을 방지하기 위하여 절연테이프로 팩을 강관 외부에 고정하였는데, 이 절연테이프는 팩이 일정한 압력 이상을 받을 경우 파단하게 된다. 또한, 근입과정에서 팩이 고정된 부분의 훼손을 방지하기 위하여 철망을 이용하여 보호장치를 부착하였다. 주입재 배출공 설치과정과 팩 장착 과정은 각각 <표 1> 및 <표 2>와 같다.

<표 1> 주입재 배출공 설치



〈표 2〉 보강재 외부 팩 장착



① 팩 제단



② 보강재 선단부 팩 결속



③ 팩 장착



④ 보강재 상부 팩 결속



⑤ 팩 보호장치 부착



⑥ 팩 부착 완료

〈표 3〉 팩 마이크로파일 시공순서(계속)



③ 보강재 근입



④ 아웃케이싱 인발



⑤ 팩 가입주입



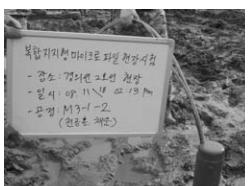
⑥ 시공원료

팩 마이크로파일의 시공순서는 〈표 3〉과 같다. 팩 마이크로파일의 경우, 기존 마이크로파일 시공단계와는 다르게 중력식으로 천공홀 주입재 채움을 먼저 실시하였는데, 이는 가압주입단계에서 팩을 외부로 팽창시킬 때 천공홀의 거친 벽면과 팽창된 팩 사이의 간극을 양호하게 충진시켜 마찰력을 증대시키기 위함이다. 천공홀 내 보강재(강관)를 근입시킨 후 아웃케이싱을 제거하고 시멘트 그라우트재를 강관을 통해 팩 내부로 주입하게 된다. 이때 주입재 배출 호스(그림 2 참조)를 통하여 시멘트 그라우트재가 오버 플로우되는 것을 확인한 후 배출호스를 폐쇄한다. 이후 에어페커를 이용, 가압주입을 실시하여 지반과 충분히 압착되도록 팩을 팽창시킨다.

〈표 3〉 팩 마이크로파일 시공순서



① 천공(케이싱 설치)



② 천공홀 주입재 채움

3-3. 시험말뚝 시공품질 확인

현장 시험시공 및 재하시험이 종료된 후, 마이크로파일의 시공 상태를 확인하고자 말뚝회수 작업을 실시하였다(그림 4 참조). 대형 굴착기 2대를 사용하여 6.0m 심도까지 굴착한 후 시공된 모든 말뚝들을 회수하였다. 회수과정에서 작업의 원활한 진행을 위하여 4.0~5.0m 길이로 말뚝을 절단하였다(그림 5 참조).

중력식 방식으로 그라우트재가 주입된 기존 마이크로파일(강봉 보강)은 전체 말뚝길이에 대하여 직경이 일정하지 않고 그라우트체의 할릴파괴가 발생되었으며, 양생상태가 불량하였다. 가압주입된 팩 마이크로파일은 말뚝 직경이 대체적으로 일정하였고 밀실하게 양생된 상태로 회수되었다. 그라우트체의 강도를 측정해 본 결과, 기존 마이크로파일(강봉 보강)은 7.2 MPa, 기존 마이크로파일(강봉 보강+아웃케이싱 사장)은 35.9 MPa, 팩 마이크로파일은 41.2 MPa로 가압주입에 따라 그라우트체의 건전도가 향상되었음을 확인할 수 있었다.

그라우팅 과정에서 중력식 주입 및 가압주입 차이에 따른 말뚝의 직경변화를 추정하고자 회수된 말뚝들에 대하여 각 심도별로 외경을 측정하였다(그림 5 참조). 측정결과, 기존 마이크로파일(강봉 보강) 보다 팩 마이크로파일은 직경이 약 40% 증가함을 육안으로 확인할 수 있었다.



4. 정재하시험

4-1. 재하시험 개요

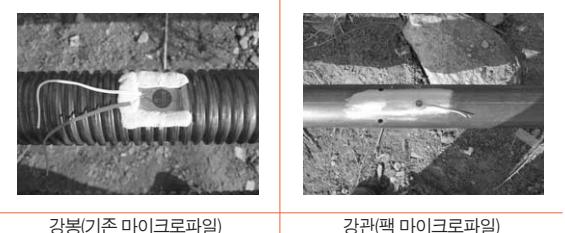
팩 마이크로파일의 지지력 개선 여부를 파악하기 위하여 총 3종류의 마이크로파일(기존 마이크로파일 Type A1, 기존 마이크로파일 Type A2, 신개념 마이크로파일 Type C)에 대하여 연직압축, 연직인발 및 수평재하시험을 실시하였으며, 말뚝 종류별 재하시험 횟수는 표 4와 같다. 팩 마이크로파일의 경우, 말뚝의 지지력 특성을 정확하게 파악하고자 2회에 걸쳐 시험을 수행하였으며, 기존 대비 지지력 향상 정도를 파악하고자 기존 마이크로파일에 대하여도 재하시험을 실시하였다.

또한, <표 5>와 같이 마이크로파일 보강재에 일정한 간격으로 스트레인 게이지를 부착하여, 말뚝 심도별 하중전이특성을 파악하였다.

<표 4> 말뚝 종류별 재하시험 횟수

구 분	연직 압축	연직 인발	수평 재하	합계
기존 마이크로파일 (강봉 보강) Type A1	1	1	1	3
기존 마이크로파일 (강봉 보강+아웃케이싱 사장) Type A2	1	1	1	3
팩 마이크로파일 (강관 보강+팩 설치) Type C	2	2	2	6
합 계	4	4	4	12

<표 5> 스트레인 게이지 부착





[그림 7] 연직압축 재하시험



[그림 8] 연직인발 재하시험

4-2. 재하시험 결과

말뚝 종류별 재하시험 결과를 요약하면 <표 6>과 같으며, 하중-침하량 곡선은 [그림 9] 및 [그림 10]과 같다.

재하시험 결과 분석시 전침하량 분석법을 이용하였으며, 침하량(S) = 2.54 cm 일 때의 하중을 항복하중으로 결정하였다. 시험시공 불량으로 판단되는 말뚝의 재하시험 결과값을 제외하면, 토사총에서 팩 마이크로파일의 연직지지력은 기존 마이크로파일 대비 약 30~80% 이상 지지력이 향상된 것으로 분석되었다.

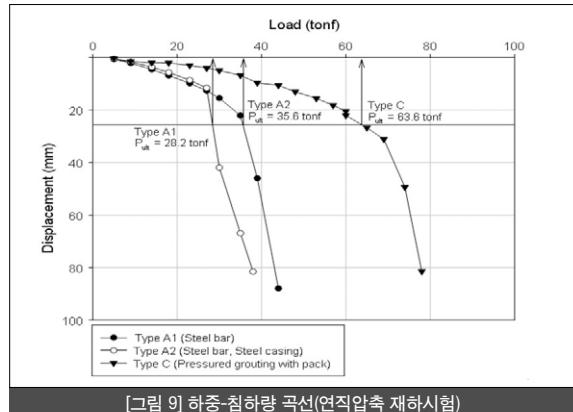
〈표 6〉 말뚝 종류별 재하시험 결과

구 분	연직압축		연직인발	
	항복하중(tonf)	비 고	항복하중(tonf)	비 고
Type A1	35.6	-	44.8	-
Type A2	28.2	-	-	-
Type C	53.2~63.6	기존 대비 약 50~80% 지지력 향상	56.8~57.8	기존 대비 약 30% 지지력 향상

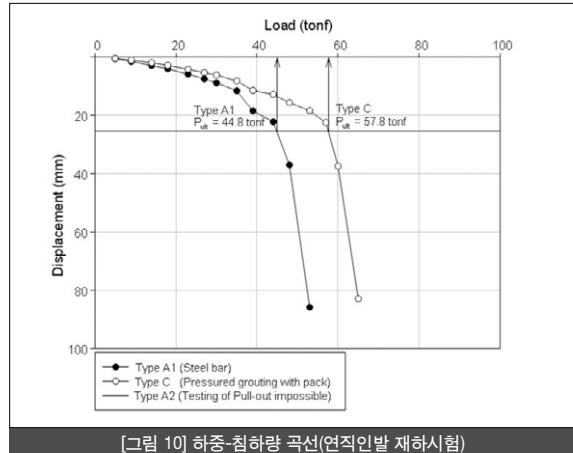
※ Type A1 : 기존 마이크로파일(강봉 보강)

Type A2 : 기존 마이크로파일(강봉 보강+이웃케이싱 사장)

Type C : 팩 마이크로파일



[그림 9] 하중-침하량 곡선(연직압축 재하시험)



[그림 10] 하중-침하량 곡선(연직인발 재하시험)

5. 맷음말

현장 시험시공 및 재하시험을 통해 팩 마이크로파일의 지지력 향상효과를 직접 확인할 수 있었으며, 향후 연구개발 기간 동안 관련 기술 개발이 성공적으로 완성된다면, 공사비 절감 및 공기단축이 가능하게 되어, 본 공법은 고효율/저비용 지반구조물 보수·보강 핵심기술이 될 수 있을 것으로 예상된다.

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

참고문헌

1. 복합지지형 마이크로파일 공법에 관한 연구, 한국건설기술연구원/쌍용건설(주), 2009

2. Micropile Design and Construction, FHWA, 2005