



기 초 공 학

조 성 하 (토질 및 기초 기술사)
(shacho88@gmail.com / 010-5351-1751)

제7장 마이크로 파일

7.1 개 요

7.1.1 마이크로 파일의 정의

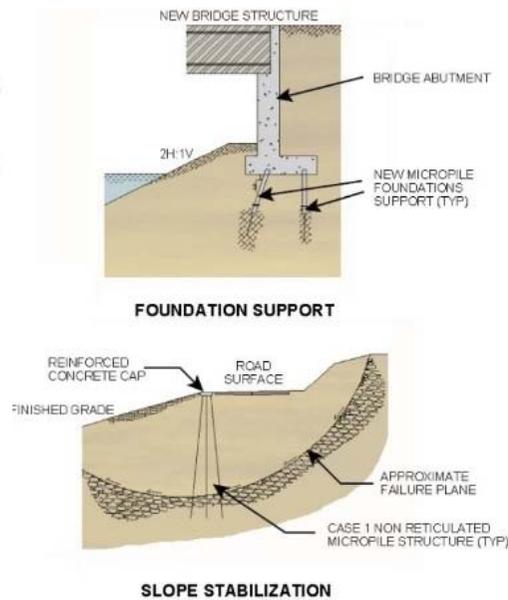
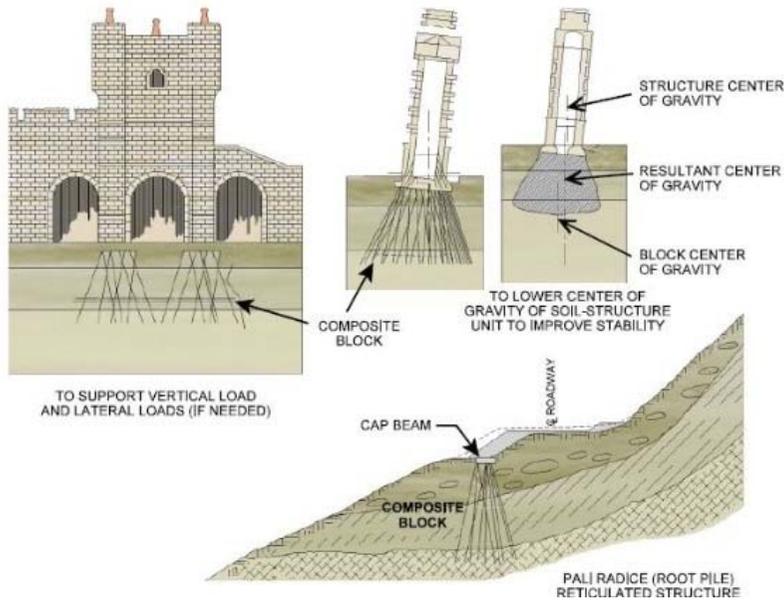
- 마이크로파일 공법이란 구조물기초, 기초보강, 리모델링 등의 목적으로 사용되는 직경 30cm 이하의 비 변위(Non-displacement) 말뚝(FHWA)
- 구경 150~300mm를 '미니파일(Mini pile)' 구경 150mm 이하는 '마이크로말뚝(Micro pile)으로 구분 (Weltman, 1981). 루트(root) 파일이라고도 불림
- 장애물이 존재하는 협소 공간에서 대형 현장타설 말뚝공법의 대안으로 활용
- 1950년대 이탈리아에서 시작되어 1970년대 미국에 소개, 1990년대 한국에 적용 시작



7.1 개요

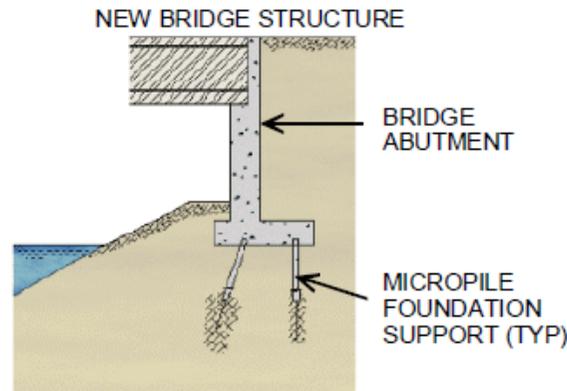
7.1.2 마이크로 파일 활용

- 침하에 취약한 문화재 보강, 교대기초 보강, 사면안정 보강공법으로 활용
- 기존 건물의 내진보강 기초, 공동주택 리모델링 지지력 증가에 활용
- 소형 건물의 지내력, 부력저항 확보
- 직경이 작아서 수평력에 대한 저항력 작으나 다중 마이크로 파일(뿌리말뚝) 개념으로 활용

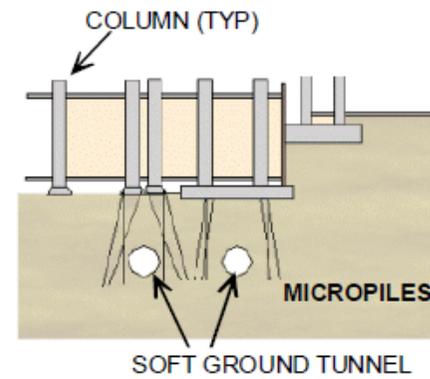


7.1 개요

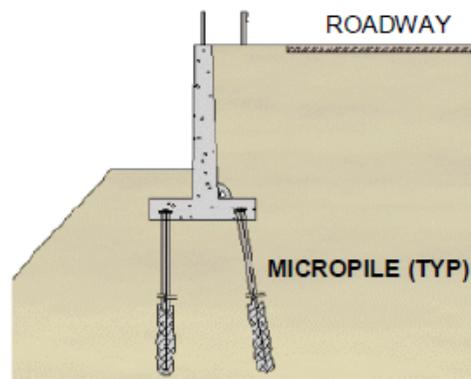
7.1.2 마이크로 파일 활용



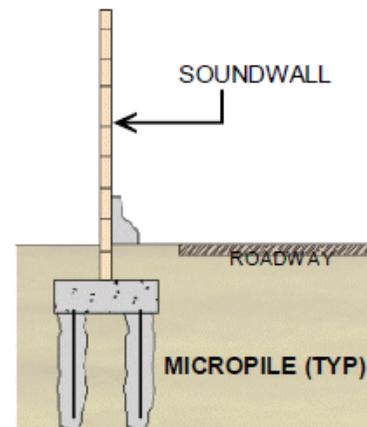
A) BRIDGE FOUNDATION SUPPORT



B) MICROPILE FOUNDATION SUPPORT FOR SOFT GROUND TUNNELING BENEATH EXISTING STRUCTURES



C) FOUNDATION SUPPORT FOR CAST IN PLACE REINFORCED CONCRETE RETAINING WALLS



D) FOUNDATION SUPPORT FOR HIGHWAY SOUNDWALLS

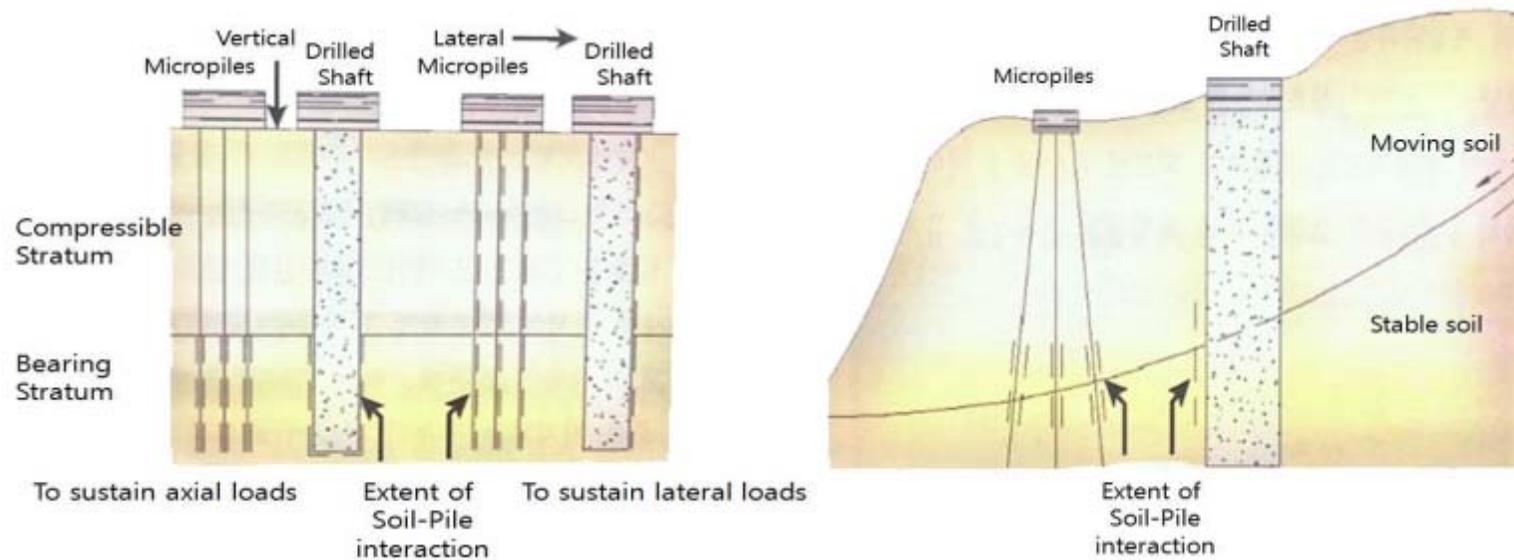


7.1 개요

7.1.3 마이크로 파일 분류

1. 거동원리에 따른 분류

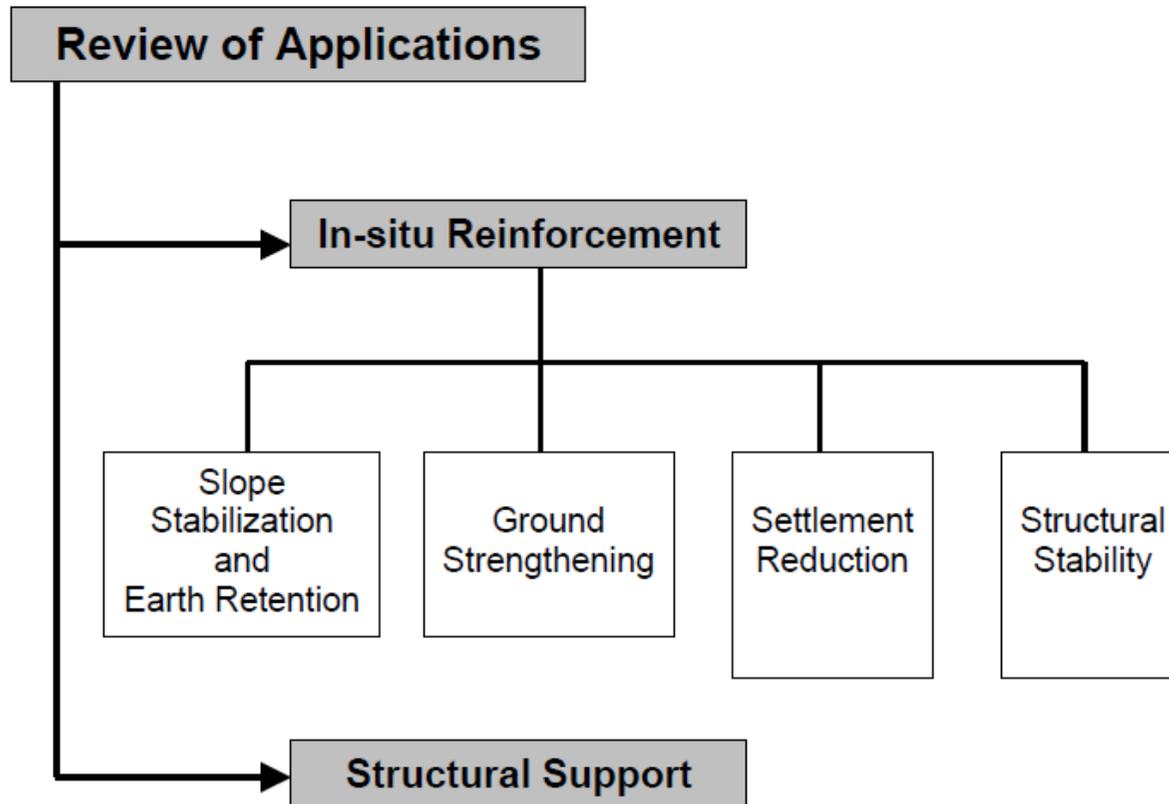
- ① 하중지지말뚝(case1) – 기존 말뚝의 대체용
- ② 지반보강말뚝(case2) – 그물처럼 에워싼 지반/말뚝 복합체, 사면보강에 활용



7.1 개요

7.1.3 마이크로 파일 분류

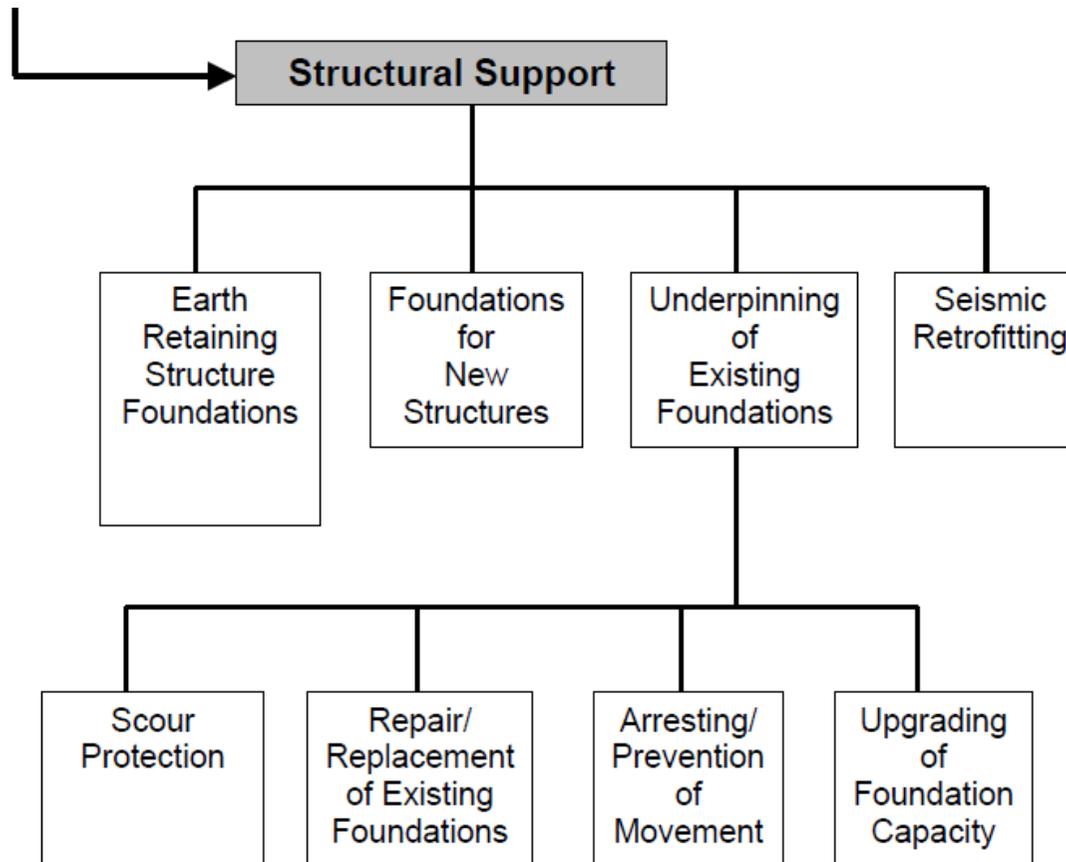
1. 거동원리에 따른 분류



7.1 개요

7.1.3 마이크로 파일 분류

1. 거동원리에 따른 분류



7.1 개 요

7.1.3 마이크로 파일 분류

2. 주입방법에 따른 분류

- ① 중력 주입(Type A) – cement paste를 선단부부터 주입하여 천공홀 내부를 충전. 주로 암반층
- ② 가압 주입(Type B) – 천공 시 사용한 케이싱을 인발하면서 5~10kg/cm²압력으로 충전
 - 주입압은 주변지반의 수압파쇄 방지, 주입재료 사용량, 케이싱 인발 중 밀폐 유지 여부에 따라 결정
- ③ 사후 주입(Type C) – 1차 중력 주입 후 경화도기 전(20분 이내)에 슬리브 파이프 또는 보강 튜브를 통해 최소 10kg/cm²정도로 2차 주입
- ④ 다단 사후 고압 주입(Type D) – 중력 주입 후 경화(수 시간 후)에 고압(20~80kg/cm²)으로 2차 주입, 깊이별로 반복 주입

7.1 개요

7.1.3 마이크로 파일 분류

2. 주입방법에 따른 분류

Micropile Type and Grouting Method	Sub-type	Drill Casing	Reinforcement	Grout
Type A Gravity grout only	A1	Temporary or unlined (open hole or auger)	None, single bar, cage, tube or structural section	Sand/cement mortar or neat cement grout tremied to base of hole (or casing), no excess pressure applied
	A2	Permanent, full length	Drill casing itself	
	A3	Permanent, upper shaft only	Drill casing in upper shaft, bar(s) or tube in lower shaft (may extend full length)	
Type B Pressure - grouted through the casing or auger during withdrawal	B1	Temporary or unlined (open hole or auger)	Monobar(s) or tube (cages rare due to lower structural capacity)	Neat cement grout is first tremied into drill casing/auger. Excess pressure (up to 1 MPa (145 psi) typically) is applied to additional grout injected during withdrawal of casing/auger
	B2	Permanent, partial length	Drill casing itself	
	B3	Permanent, upper shaft only	Drill casing in upper shaft, bar(s) or tube in lower shaft (may extend full length)	

7.1 개요

7.1.3 마이크로 파일 분류

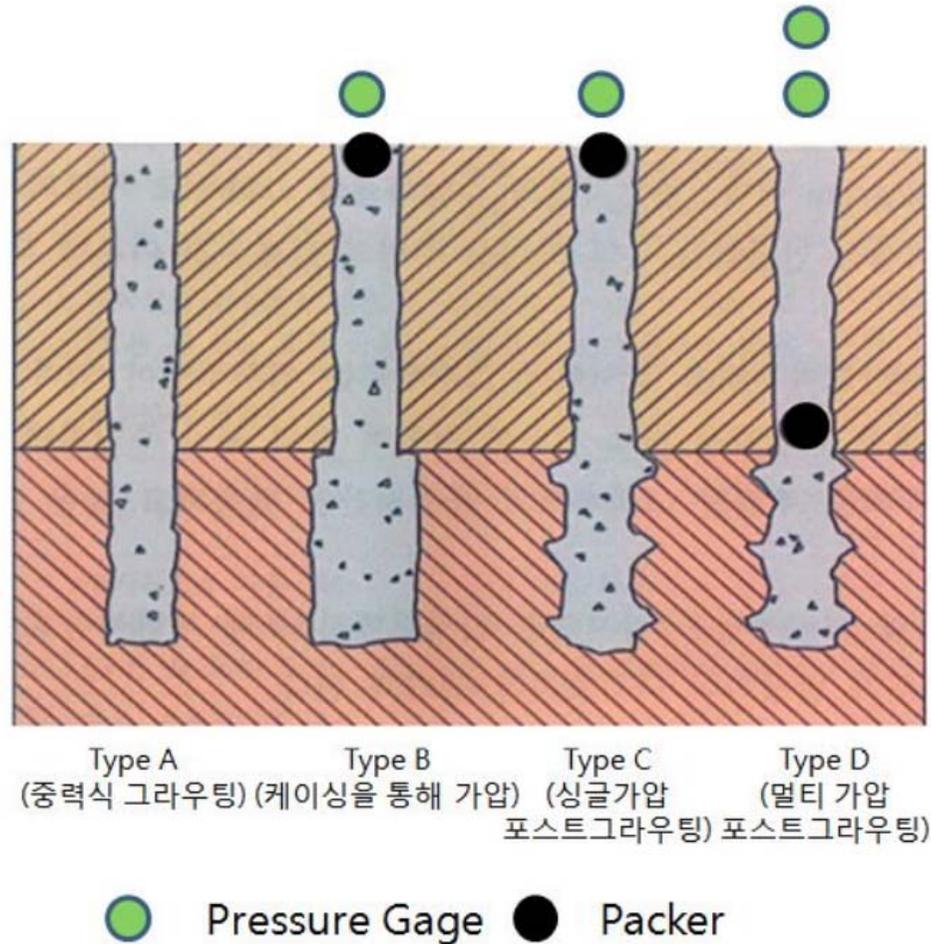
2. 주입방법에 따른 분류

<p>Type C</p> <p>Primary grout placed under gravity head, then one phase of secondary “global” pressure grouting</p>	C1	Temporary or unlined (open hole or auger)	Single bars or tube (cages rare due to lower structural capacity)	<p>Neat cement grout is first tremied into hole (or casing/auger). Between 15 to 25 minutes later, similar grout injected through tube (or reinforcing pipe) from head, once pressure is greater than 1 MPa (145 psi)</p>
	C2	Not conducted	–	
	C3	Not conducted	–	
<p>Type D</p> <p>Primary grout placed under gravity head (Type A) or under pressure (Type B). Then one or more phases of secondary “global” pressure grouting</p>	D1	Temporary or unlined (open hole or auger)	Single bars or tube (cages rare due to lower structural capacity)	<p>Neat cement grout is first tremied (Type A) and/or pressurized (Type B) into hole or casing/auger. Several hours later, similar grout injected through sleeved pipe (or sleeved reinforcement) via packers, as many times as necessary to achieve bond</p>
	D2	Possible only if regROUT tube placed full-length outside casing	Drill casing itself	
	D3	Permanent, upper shaft only	Drill casing in upper shaft, bar(s) or tube in lower shaft (may extend full length)	

7.1 개요

7.1.3 마이크로 파일 분류

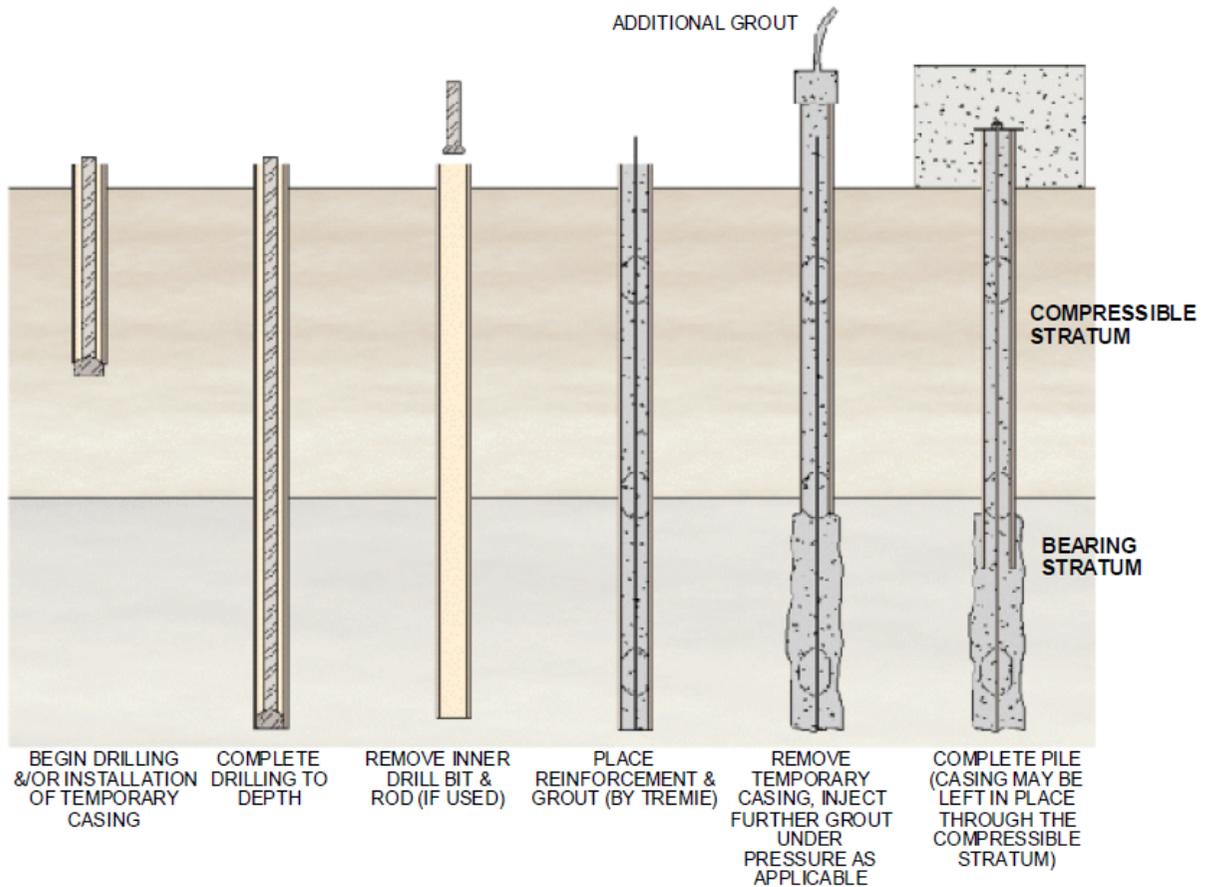
2. 주입방법에 따른 분류



7.1 개요

7.1.4 마이크로 파일 시공 순서

- ① 천공 및 케이싱 설치
- ② 천공 비트 제거
- ③ 보강재 삽입과 주입
- ④ 케이싱 제거(필요시 추가 가압 주입)
- ⑤ 두부 정리





7.2 마이크로 파일의 메커니즘

7.2.1 마이크로 파일 지지력 발휘

- 파일 간격이 넓어 하중 전이가 중첩되지 않는 경우 일반 파일처럼 거동
- 선단 지지면적이 작고 슬라임이 완전히 제거되기 어려우므로 파일의 선단지지력은 무시, 주로 주면 마찰저항에 의해 지지력 발휘
- 단단한 암반층에 근입된 경우에는 선단지지력 발휘 가능
- 단면적이 작으므로 파일 재료의 지지능력이 중요 - 강재 강도, 철근 콘크리트 강도, 철근 이음시공, 콘크리트와 철근의 부착 상태 등
- 철근망 삽입 후 시멘트 압력 주입으로 주면 마찰저항 증가 기대 - 인발력을 받는 조건에 효과적
- 인발시험을 통한 지지력 확인 필수적



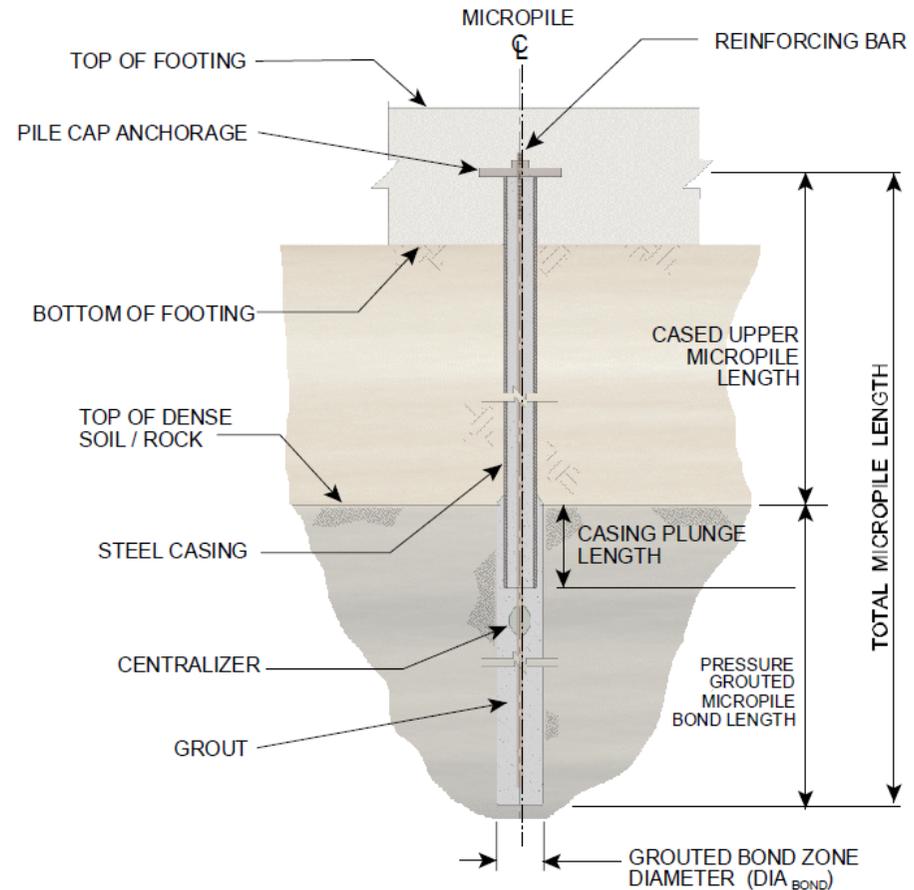
7.2 마이크로 파일의 메커니즘

7.2.2 마이크로 파일 설계

$$Q = Q_s + Q_p$$

$$Q_s \gg Q_p$$

1. MP 적용성, 지반조건, 하중조건 검토
2. 예비설계 - 형태, 간격, 길이, 단면
3. 구조성능(cased, uncased)과 지지력 검토
4. 무리말뚝 효과 검토
5. 연결 상세 검토 및 도면화
6. 재하시험 계획 수립
7. 기타 검토 - 부식방지, 문힘깊이(plunge), 선단지지력, 침하량, 횡방향 지지력, 좌굴(buckling), 내진성능 등



7.2 마이크로 파일의 메커니즘

7.2.2 마이크로 파일 설계

1. Type A(중력 주입)

1) 사질토 - 단위 주면마찰력은 천공 주면에 따라 발생

$$f_s = \beta \sigma'_{vo}$$

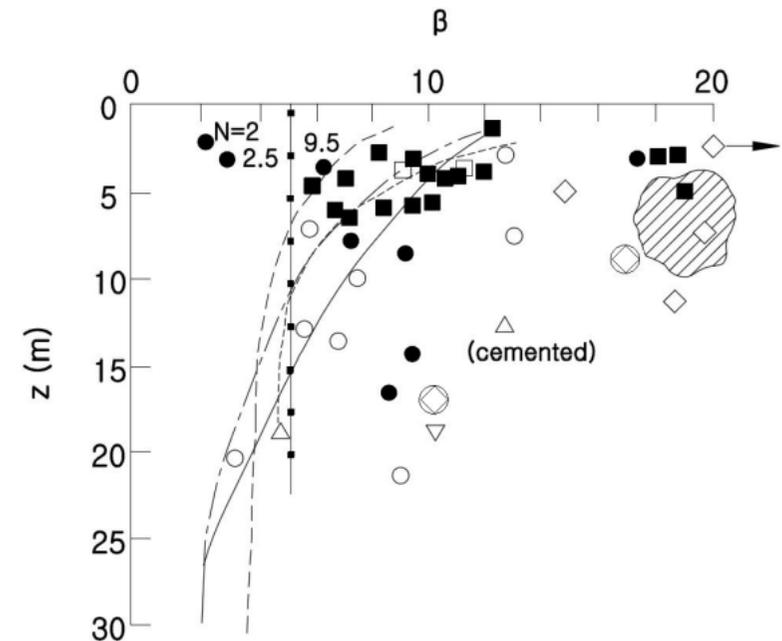
$$\beta = K_o \tan \delta$$

여기서, β = 비례계수, σ'_{vo} = 일정 깊이의 유효수직응력,

K_o = 토압계수, δ = 파일과 지반사이의 마찰각

경험 제안식 $\beta = 1.5 - 0.42z^{0.34}$ ($N \geq 15$) 단, $0.25 \leq \beta \leq 1.2$

$$\beta = 1.5 - 0.42z^{0.34} \frac{N}{15} \quad (N < 15)$$



7.2 마이크로 파일의 메커니즘

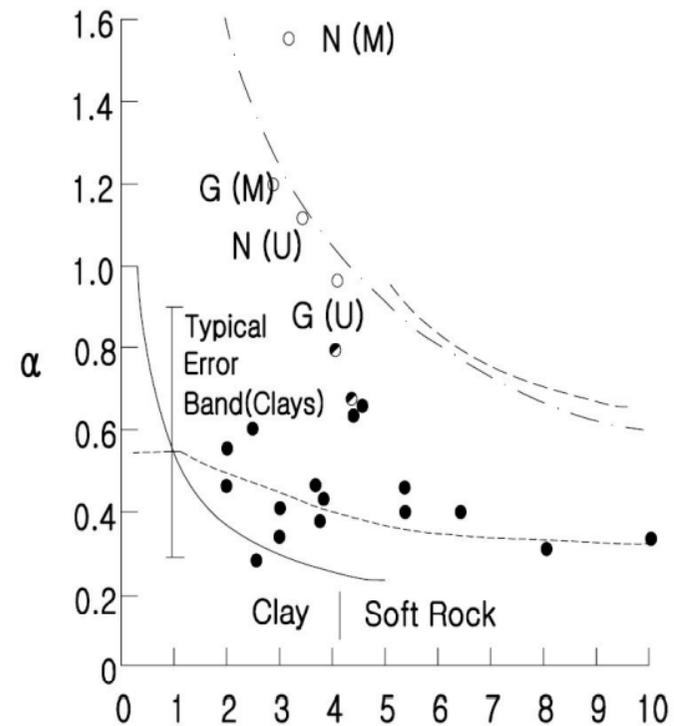
7.2.2 마이크로 파일 설계

1. Type A(중력 주입)

2) 점성토 - 비배수 전단강도(s_u)에 비례

$$f_s = \alpha s_u$$

여기서, α 는 주변 토층, 시공법에 관계된 비례상수(일반적으로 0.5 이상 적용)



7.2 마이크로 파일의 메커니즘

7.2.2 마이크로 파일 설계

1. Type A(중력 주입)

3) 암반 - 일축압축 강도에 비례

$$f_s = \frac{UCS}{10}$$

Rock type	Ultimate bond (MPa)	Factor of safety(ultimate)
Medium-Hard Basalt	5.73	3.4
Weathered Granite	1.50 - 2.50	
Basalt (Britain, Wycliffe-Jones.1974)	3.86	2.8 - 3.2
Granite	4.83	3.1 - 3.5
Serpentine	1.55	2.6 - 3.5
Granite and Basalt	1.72 - 3.10	1.5 - 2.5
Competent Rock	USC/10<4.2MPa	
Concrete	1.38 - 2.76	1.5 - 2.5
Basalt(Britain, Parker,1958)	6.37	3.3

7.2 마이크로 파일의 메커니즘

7.2.2 마이크로 파일 설계

2. Type B(가압 주입)

- 1) 사질토 - 주입압력에 따라 천공면적 확대되면서 주면 마찰저항 발휘

$$f_s = p_g \tan \phi'$$

여기서, p_g = 주입압, ϕ' = 지반의 유효 마찰각

- 2) 점성토와 연암 - Type A와 동일한 방법 적용

7.2 마이크로 파일의 메커니즘

7.2.2 마이크로 파일 설계

3. Type C, D(고압 주입)

고압이 작용되므로 연약지반, 지표면 부근의 주면 마찰력 증대 효과

$$D = \alpha_c D_o$$

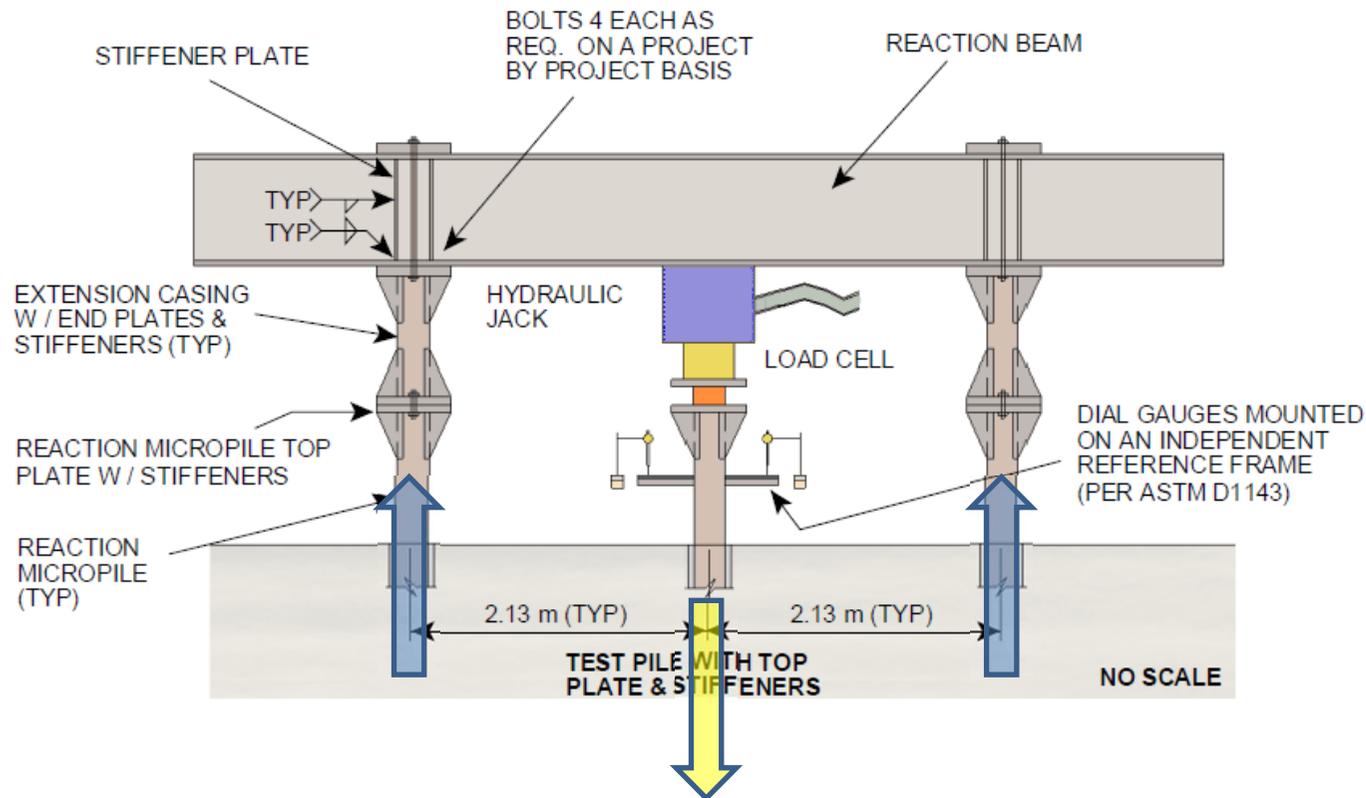
여기서, D = 유효직경, α_c = 보정계수, D_o = 주입 전 천공 직경

Soil type	Coefficient α_c		
	Anchor Type \Rightarrow	IGU	IRS
	Micropile Type \Rightarrow	Type C	Type D
Gravel		1.3-1.4	1.8
Sandy Gravel		1.2-1.4	1.6-1.8
Gravelly Sand		1.2-1.3	1.5-1.6
Coarse Sand		1.1-1.2	1.4-1.5
Medium Sand		1.1-1.2	1.4-1.5
Fine Sand		1.1-1.2	1.4-1.5
Silty Sand		1.1-1.2	1.4-1.5
Silt		1.1-1.2	1.4-1.6
Clay		1.2	1.8-2.0
Marl		1.1-1.2	1.8

7.2 마이크로 파일의 메커니즘

7.2.3 마이크로 파일 재하시험

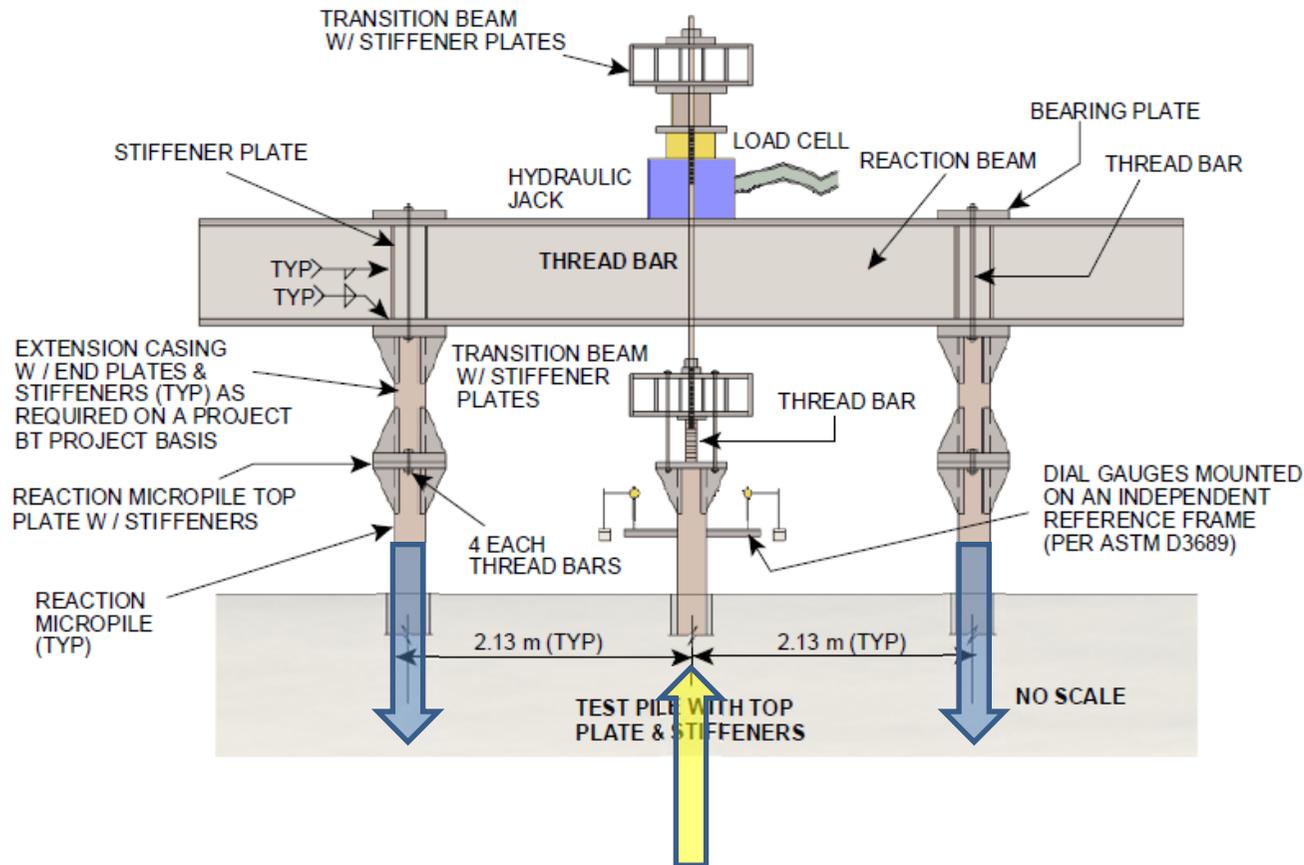
1. 압축재하시험(Compression Load Test ASTM D1143)



7.2 마이크로 파일의 메커니즘

7.2.3 마이크로 파일 재하시험

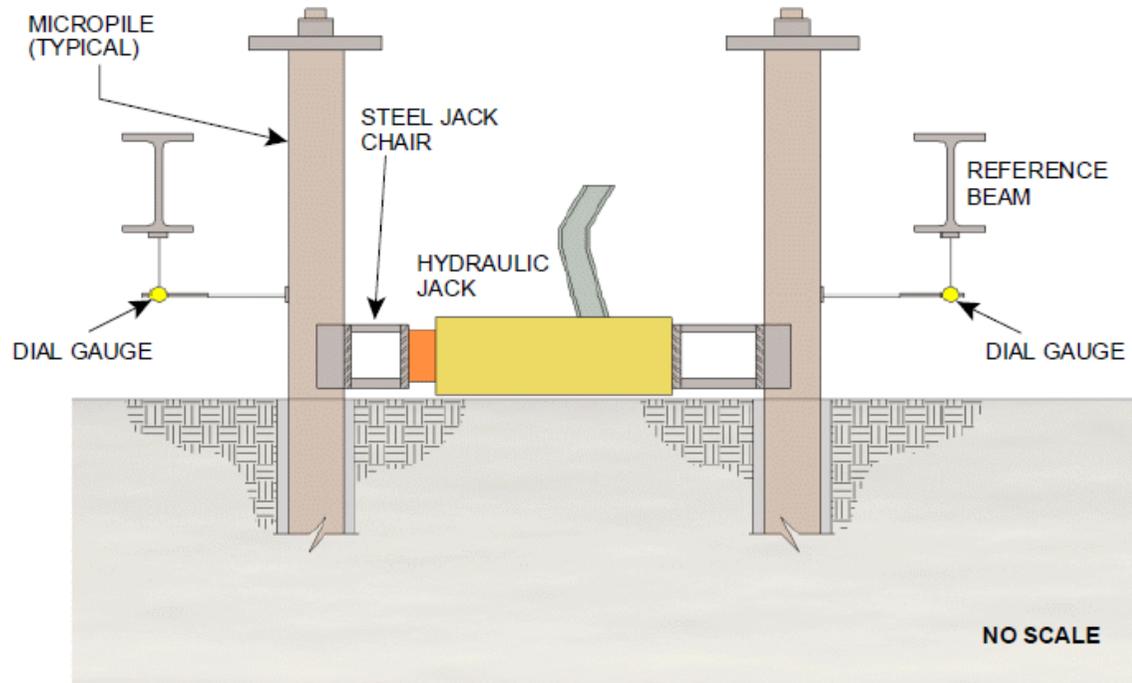
2. 인장재하시험(Tension Load Test ASTM D3689)



7.2 마이크로 파일의 메커니즘

7.2.3 마이크로 파일 재하시험

3. 수평재하시험(Lateral Load Test)



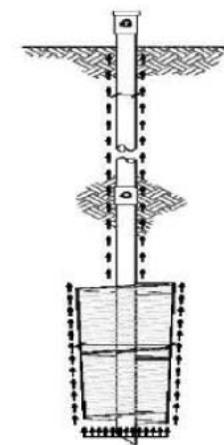
7.3 마이크로 파일의 종류

1. 헬리컬(Helical) 파일

- ① 한 개 이상의 나선형 원판을 중공형 축에 부착한 후 지반에 회전 관입시켜 지지력을 발현
- ② 지상에서 가해지는 회전력은 축을 통해서 나선형 원판에 전달되며 전달된 회전력이 관입력으로 변화되어 헬리컬 파일이 지반에 관입
- ③ 항타와 굴착의 공정이 필요하지 않아 무소음·무진동 시공이 가능한 말뚝
- ④ 나선형 원판의 개별 수동 저항지지력 산정 방법인 Individual Bearing Method과 나선형 원판에 갇힌 흙들이 주변 흙들과 원통형으로 마찰을 일으키며 발현되는 저항을 산정하는 방법인 Cylindrical Shear Method으로 구분
- ⑤ 각각의 나선형 원판에서 지지력이 발현된다고 가정하고, 헬리컬 파일의 지지력을 각각의 원판의 지지력의 합과 강관축의 주면 마찰력의 합으로 가정



(a) Individual bearing method

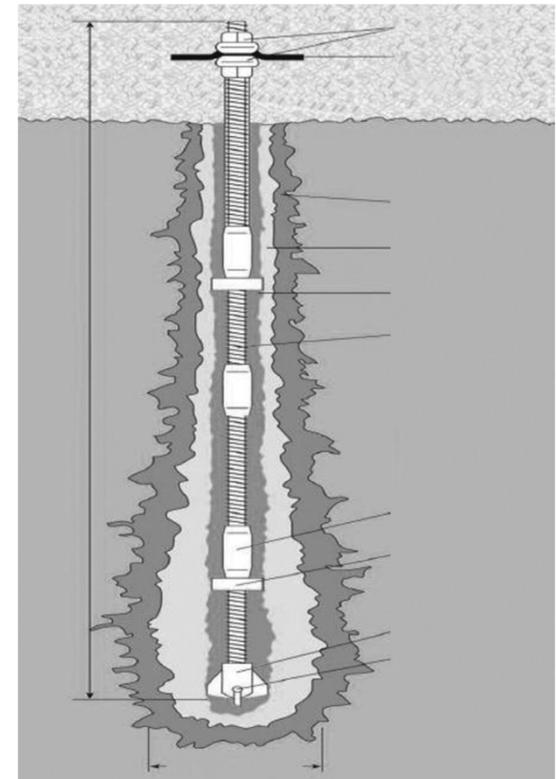


(b) Cylindrical shear method

7.3 마이크로 파일의 종류

2. HAP(Hollow Anchor Pile)

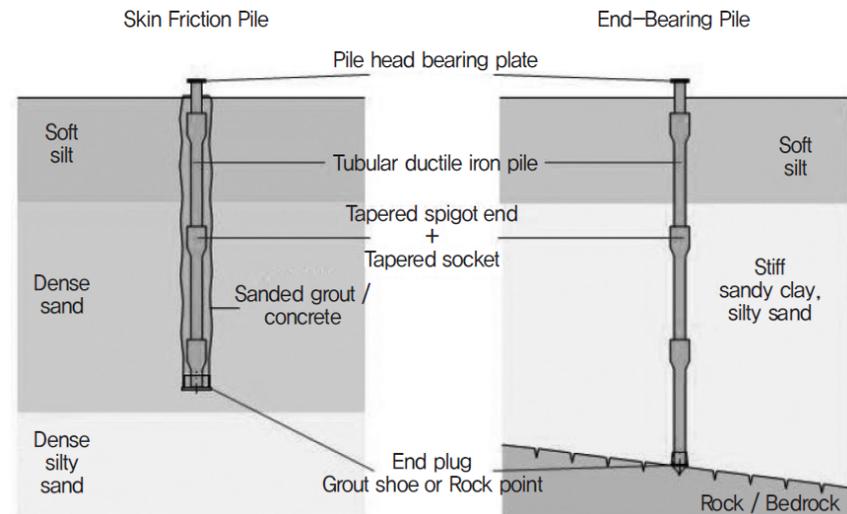
- ① 중공형 강봉 선단에 드릴 비트를 장착하여 직천 공하고, 그라우트재를 주입하여 지중에 말뚝체를 형성하는 공법
- ② 외부 케이싱이 불필요하고, 천공과 주입을 동시에 시공



7.3 마이크로 파일의 종류

3. Ductile Pile

- ① 고강도 덕타일 주철을 이용한 파일로, 파일 한쪽에는 원뿔형 커플러가 있고, 다른쪽에는 선단이 있는 연성 주철관으로 형성
- ② 유압해머를 장착한 굴착기를 사용하여 파일을 향타, 주면마찰력과 선단지지력으로 지지력 확보
- ③ 파일 향타시 콘크리트 펌프를 이용하여 주입이 파일 관입과 동시에 연속적으로 자동주입



7.3 마이크로 파일의 종류

4. Pack Micropile

- ① 상부 토사층에서 발생하는 마찰지지력을 극대화하기 위하여 마이크로파일 보강재를 통해 주입재인 시멘트 밀크를 가압주입함으로써, 보강재 외부에 설치되어 있는 토목섬유 소재인 Pack 을 팽창시켜, 지반을 압착
- ② 시공 시 천공홀을 유지하기 위해 일반적으로 사용되는 아웃케이싱을 지중에 사장하지 않은 상태에서 팩 속을 가압주입

