압입강관말뚝(PPP)공법 소개

Introduction of Pressure Penetrating Pipe Pile

이 창 남
(주)센구조연구소
대표이사

오 광 원
(주)센구조연구소
기술연구소 차장

1. 공법 개요

압입강관말뚝(PPP)공법은 수직증축 및 상부하중 증가로 인하여 기존 기초의 지지력 보강이 필요한 경우에 〈그림 1, 2〉와 같은 조립식 말뚝 압입장비를 이용하여 기초를 보강하는 공법이다.

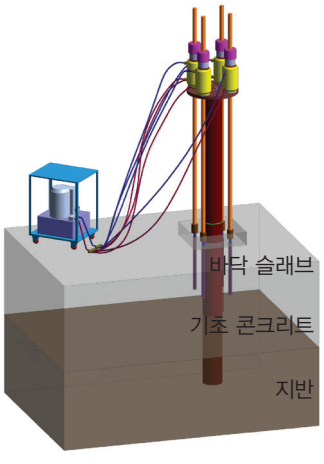
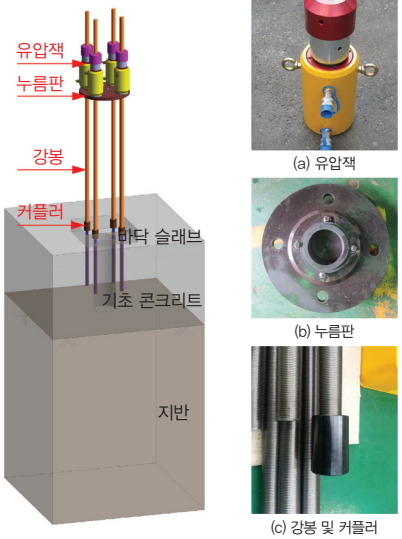


그림 1. 말뚝 압입장치 개요도



(a) 유압잭

(b) 누름판

(c) 강봉 및 커플러

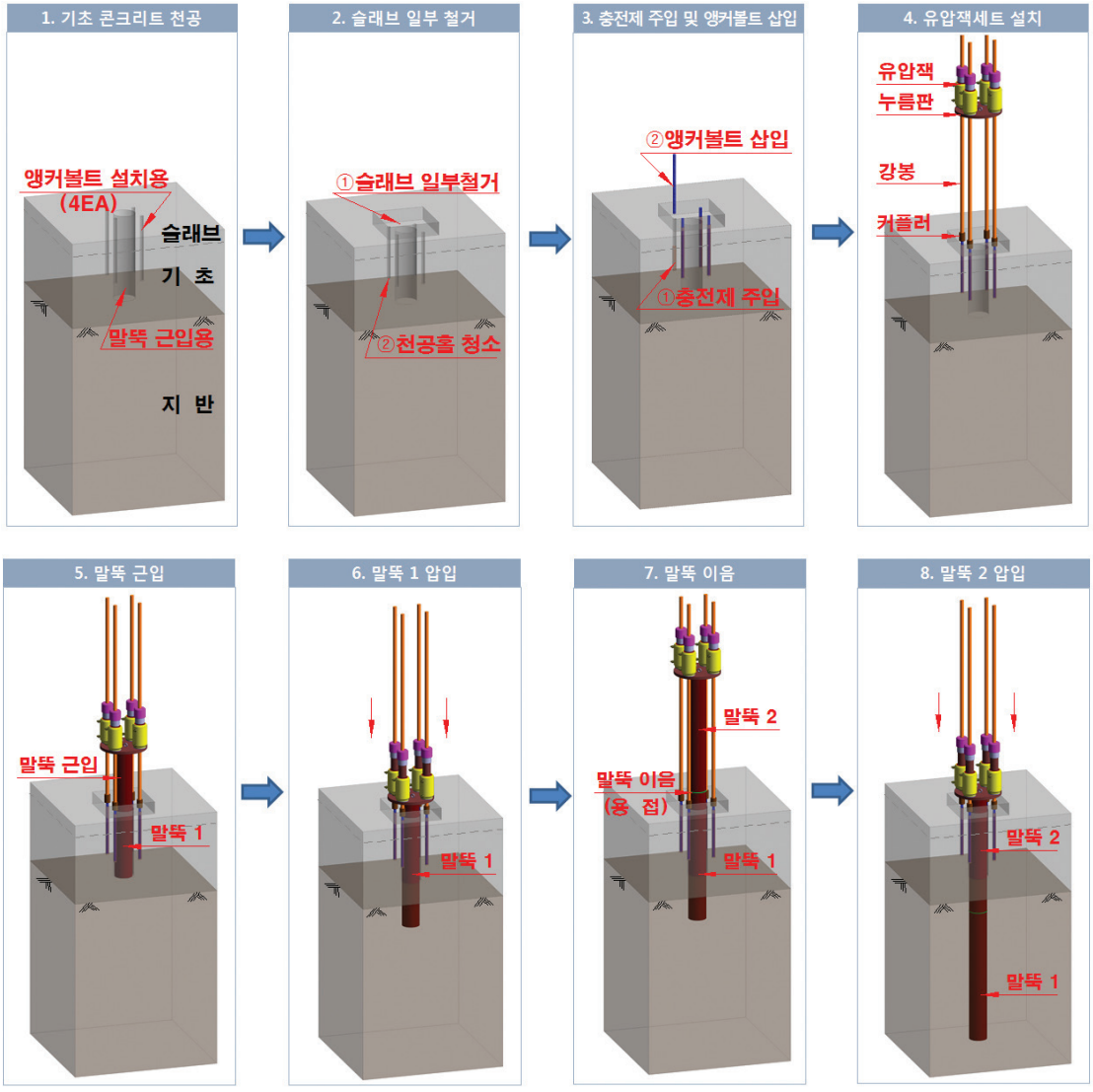
그림 2. 장비상세도

PPP공법은 유압잭의 압입하중에 의해 말뚝의 지지력을 확인할 수 있는 무소음 및 무진동 공법으로 넓이 0.6m(B)×0.6m(L) 및 높이 2.0m(H)이내인 협소한 공간에서도 시공이 가능하고, 매연과 슬라임(토사)에 의한 비산먼지가 배출되지 않아 시공현장이 청결하다.

또한, 유압잭의 압입하중을 이용하여 압입시공하므로 모든 말뚝에 대하여 시공 중 지지력 확인이 가능하고, 불확실한 지층 조건에서도 말뚝의 최적 길이조절이 가능하므로 시공성, 친환경성 및 경제성 측면에서 유리하다.

2. 시공순서

PPP공법의 시공순서는 〈그림 3〉과 같다.



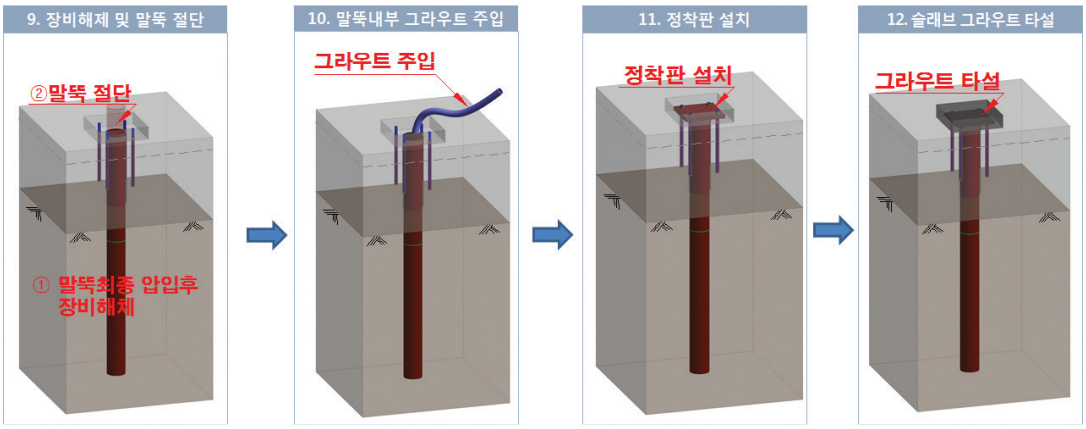


그림 3. 압입강관말뚝(PPP)공법의 시공순서도

3. 공법 특성

3.1 제한된 공간에서도 장비진입 및 시공가능

지하공간에서 기초 보강공사를 수행하기 위하여 사용되는 크롤러드릴은 장비 진입로가 없거나 작업공간이 협소한 경우, 시공이 불가능하다. 그러나, 본 공법은 〈그림 2〉에서 보는바와 같이 인력에 의한 장비의 조립 및 해체와 운반이 가능하므로, 제한된 공간에서의 장비 진입 및 말뚝 시공이 가능하다〈그림 4〉.

그림 4. 제한된 공간에서의 시공사례

3.2 시공중 연직지지력 확인 가능

본 공법은 말뚝 압입 시 유압펌프에 부착된 압력게이지로 〈그림 5〉와 같이 유압잭에 가해지는 압입하중을 측정하므로 시공 과정에서 모든 말뚝에 대하여 연직지지력을 확인한다.

3.3 말뚝의 최적 길이조절 및 공벽붕괴 방지로 경제성 확보

일반적으로 지반은 지층구성 및 지반특성이 불규칙하므로 지반조사를 수행하여도 확실한 지지층 깊이를 확인하기는 현실적으로 불가능하다.

따라서 이와 같은 지반의 불확실성에 대비하여, 과

그림 5. 시공 중 연직지지력 확인 예

도한 안전측이나 비경제적인 설계 및 시공이 이루어지고 있는 경향이 있다.

그러나 PPP공법을 이용하여 기초 보강공사를 수행한다면, 모든 말뚝에 대하여 시공 중 연직지지력을 확인하므로 상부하중에 필요한 말뚝의 최적 길이를 조절하는 경제적인 시공이 가능하다.

또한, PPP공법은 강관말뚝을 압입시공하므로 느슨한 모래, 점토 및 자갈로 구성된 지층조건에서 천공 후 보강재설치공법(기타공법)과는 달리 공벽붕괴 방지를 위한 별도의 강관케이싱이 필요 없어 경제적인 시공이 가능하다〈그림 6〉.

3.4 허용연직지지력의 증가

센구조연구소와 서울대학교 산학연협력단이 공동으로 연직재하시험(하중전이시험 포함, 시험횟수 = 12회)을 수행하였으며〈그림 7, 8〉, 그 결과 PPP말뚝의 허용지지력은 국내설계기준(건축기초구조설계기준, 구조물 기초 설계기준 및 도로교 설계기준)에 따라 산정한 지지력 대비 145~309%의 지지력을 발휘하는 것으로 확인되었다〈표 1〉.

이와 같은 결과는 비배토로 시공되는 압입말뚝의 특성상 ①지반교란의 최소화, ②압입 시공에 의한 주변 지반 구속압력의 증가로 인하여 타입식 말뚝의 지지력 공식에 의하여 계산된 허용지지력보다 크게 산정되는 것으로 판단된다.

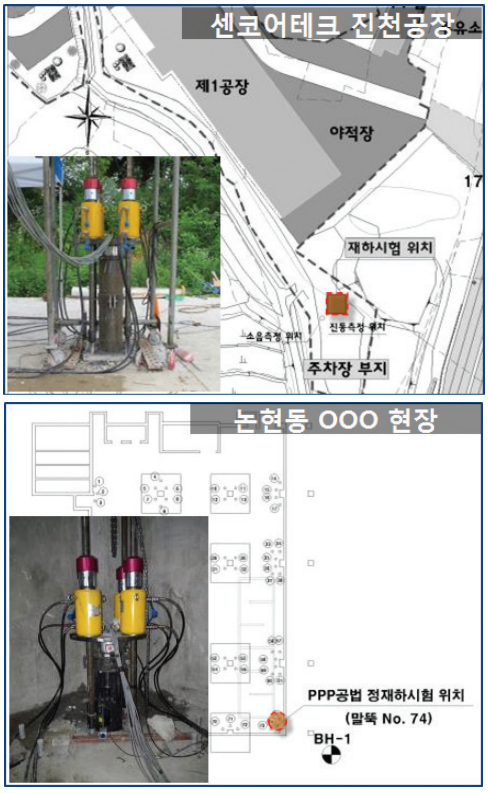


그림 7. 연직재하시험(하중전이시험 포함) 전경

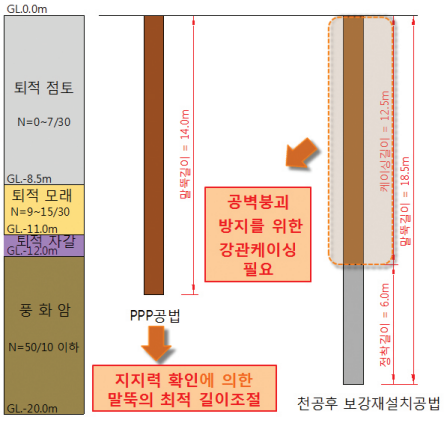


그림 6. 지층조건을 고려한 경제성 확보 개념도

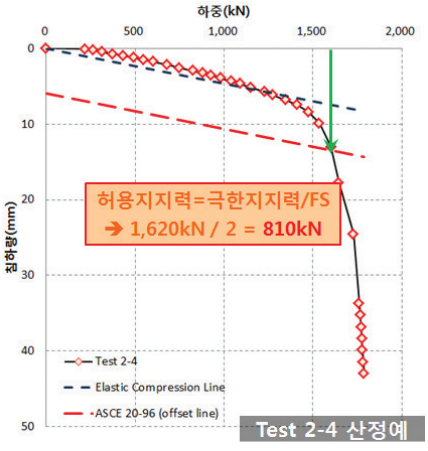


그림 8. 재하시험결과

[표 1] 재하시험결과와 국내설계기준에 의한 연직지지력 비교

시험번호	재하시험 결과 (kN, ⓐ)	국내설계기준(kN)		지지력비율(%)	
		건축기초구조설계기준 (구조물 기초 설계기준) (ⓑ)	도로교 설계기준 (ⓒ)	(ⓐ/ⓑ)	(ⓐ/ⓒ)
Test 1-4	461	265	318	174%	145%
Test 1-5	579	288	340	201%	170%
Test 1-6	588	311	361	189%	163%
Test 1-7	647	333	383	194%	169%
Test 1-8	706	356	404	198%	175%
Test 2-3	555	246	303	226%	183%
Test 2-4	810	262	319	309%	254%

위의 재하시험 결과를 바탕으로 PPP공법의 연직지지력 산정식을 다음과 같이 제안하였다.

주면마찰력 제안식

$$Q_s = n \times N_{60} \times As$$

여기서, Q_s = 말뚝의 주면마찰력 (kN)

n = 2

A_s = 지반에 묻힌 말뚝의 겉면적 (m^2)

N_{60} = 말뚝 주면부 평균 N

$n \times N_{60} \leq 2 \times 100 = 200kPa$

선단지지력 제안식

- 말뚝 선단 N값이 N=50/30 ~ N<50/15인 경우

$$Q_u = m \times N_{60} \times Ap$$

여기서, Q_u = 말뚝의 선단지지력 (kN)

m = 30(L/D) ≤ 300

A_p = 말뚝 선단면적 (m^2)

N_{60} = 말뚝 선단부 평균 N

$m \times N_{60} \leq 300 \times 100 = 30,000kPa$

- 말뚝 선단 N값이 N ≥ 50/15인 경우

$$P_u = 150 \times qu^{1/2} \times A$$

여기서, P_u = 말뚝의 선단지지력 (tf)

q_u = 암반의 일축압축강도 (tf/m^2)

A = 말뚝 선단면적 (m^2)

3.5 무소음 및 무진동 공법으로 시공 중 민원방지

기초 보강공사를 수행하기 위해서 크롤러드릴(천공기), 에어콤프레셔, 굴착기 등의 장비를 사용할 경우 시공 중 소음 및 진동이 발생하고 있다.

이는 현장에서 인근 주민들의 민원에 의한 공사 중지, 소음방지벽 설치 등으로 공사기간과 공사비용의 증가요인이 되고 있다.

그러나 PPP공법은 유압잭과 유압펌프만으로 압입시공하므로, 소음 및 진동에 의한 민원 발생이 원천 차단되어 공사 중단 없이 순조롭게 공사를 진행 할 수 있다.

센구조연구소와 서울대학교 산학연협력단이 공동으로 PPP공법의 소음 및 진동을 측정하였으며, 그 결과 소음 및 진동 모두 규제기준 65dB(A,V)이하로 분석되어 무소음 및 무진동 공법으로 확인되었다〈그림 9, 10〉.

3.6 청결한 작업환경 유지 가능

대부분의 기초 보강공법은 압축공기방식에 의해 지반을 천공한 후 천공 홀 내부에 저압 및 고압 그라우팅에 의한 말뚝체를 형성하거나, 강봉 또는 다발철근 등과

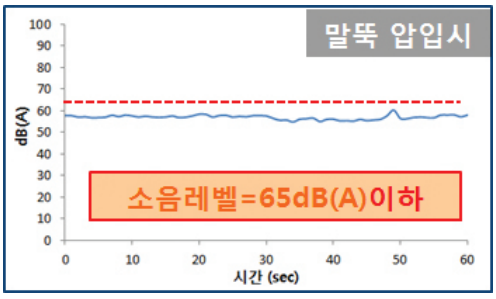


그림 9. 소음 측정결과

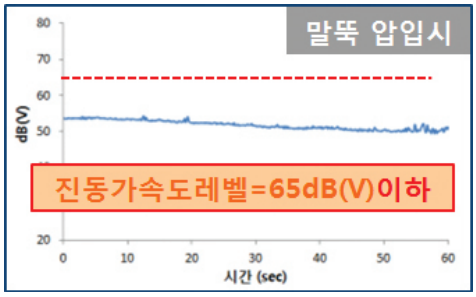


그림 10. 진동 측정결과

같은 보강재를 삽입 후 중력 또는 가압식 그라우팅에 의해 말뚝을 형성한다. 이와 같은 방법으로 말뚝을 형성하는 공법은 ①천공 시 매연발생, ②슬라임(토사)에 의한 비산먼지발생, ③지하수위가 높은 지반에서는 천공홀을 통하여 토사와 흙탕물 분출로 인하여 작업환경이 나빠 근로자의 건강 장애와 작업능률 저하가 뒤따르게 된다. 그러나 본 공법은 말뚝을 강제압입하는 비배토 공법으로 매연과 슬라임 배출이 없으므로, 〈그림 11〉과 같이 공사현장이 청결하여 근로자의 작업환경이 개선된다.

3.7 재하시험 용이

PPP공법은 시공 중 항상 연직지지력 확인이 가능하며, 발주처의 요구 등에 따라 재하시험이 필요할 경우에는 시공 시 사용하는 압입장치에 의하여 항상 재하시험이 가능하므로, 〈그림 12〉와 같이 별도의 하중재하 장비가 필요없고 공사 중단 없이 재하시험이 가능하다.

그림 11. 말뚝 압입에 의한 청결한 작업환경

그림 12. 압입장치를 이용한 재하시험 전경

4. 시공 및 설계사례

PPP공법은 2012년 말부터 본격적으로 시공 및 설계에 적용하였으며, 그 결과 5개의 현장시공이 완료되었고, 10여개 현장의 설계 적용 및 공법이 제안된 상태이다.

시공실적은 〈그림 13〉과 같이 현재 사용중에 있는 건물의 증축 현장 4개소, 리모델링 공사현장 2개소로서 소음 및 진동에 의한 민원발생이 우려되는 현장과 천공장비(크롤러드릴)의 진입이 불가능한 현장에 적용되었다.

또한, 공법이 제안되어 시공예정인 현장은 ①층고 높이 제한에 의한 천공장비의 진입이 불가능한 현장(OO시장 증축공사, 농협중앙회 OO 증축공사, 중국 OOO공장 보강공사 및 명동 OO 리모델링공사 등) 및 ②상부 지층이 느슨하여 공벽붕괴가 예상되는 현장(OO전자 증축공사 등), ③기존 공동구 하부를 통과하는 현장(OO 공동구 통과공사)이 있다.

시공사례 ①

시공사례 ②

시공사례 ③

시공사례 ④

시공사례 ⑤

그림 13. 시공사례

5. 결론

지금까지 PPP공법의 개요, 특징 및 리모델링 현장 시공실적 등을 개략적으로 살펴본 바와 같이 PPP공법은 기존의 공법과 비교하여,

1) 천공장비의 진입이 불가능한 현장
2) 지하층 높이제한 또는 작업공간이 협소하여 천공장비에 의한 작업이 불가능한 현장
3) 도심지 공사에서 소음, 진동과 매연 및 비산먼지로 인하여 민원발생이 우려되는 현장
4) 청결한 근로환경이 요구되는 현장
5) 상부 지층이 느슨하여 공벽붕괴가 예상되는 현장
6) 공사비 절감이 필요한 현장

특히, 최근 이슈화 되고 있는 아파트 또는 건축물의 수직증축 및 리모델링 공사의 기초보강과 지하철 역사 등 지하구조물의 증축공사(상향 및 하향 모두 가능)에 적합한 공법으로, 설계 적용 및 시공사례가 증가할 것으로 기대하고 있다.

참고문헌

1. 도은수, 여승민, 오광원, 김명모 (2013), “말뚝 재하시험을 분석한 압입강관말뚝의 허용지지력 산정법 제안 ”, 한국지반공학회가을 학술발표회, pp. 700~709.
2. (주)센구조연구소, 서울대학교 산학협력단 (2014), “기존 구조물 기초 직하부 반력증대를 위한 후시공 말뚝공법 개발”, 산학연협력 기업부설연구소 지원사업 최종보고서
3. 소음 · 진동관리법 시행규칙 [별표 8] (2010), “생활소음 · 진동의 규제기준(제20조제3항 관련)”
4. 중앙환경분쟁조정위원회 (2007), “공사장 환경분쟁사건 소음 · 진동도 산출방법 개선연구”, pp. 13~14, 16.
5. 대한건축학회 (2005), “건축기초구조설계기준”, 제6장.
6. 한국지반공학회 (2009), “구조물 기초 설계기준 해설”, 제5장.
7. 국토해양부 (2012), “도로교 설계기준(한계상태설계법)”, 제7장.
8. Davisson, M.T. (1973), "High Capacity Piles." Department of Civil Engineering, Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois.

(주)센구조연구소 오광원 차장
T : 02-2629-3196 M : 010-9787-4179
E : kwoh@senkuzo.com www.senkuzo.com