

기존구조물의 친환경 기초 보강공법

/ PR 압입말뚝



변항용 대표
고려E&C, 공학박사,
시공기술사



김준성 소장
고려E&C 기술연구소,
공학박사

1. PR 개요

PR(Pile Reaction)공법은 지반 천공하지 않을 뿐만 아니라 해머로 타격하지 않고 말뚝을 시공하는 공법으로서 구조물의 자중을 반력으로 활용하여 가압장치와 유압잭으로 말뚝을 진동, 소음, 분진 없이 계속 압입하는 공법이다. 또한 모든 파일마다 계속압입을 통해 지지력을 확인하며 시공하기 때문에 기존 구조물의 기초를 과학적이고 친환경적으로 보강하는 압입 말뚝 공법이다. 압입 시 유압게이지에 표시된 압력으로 말뚝의 내력과 말뚝선단 지층의 상태를 정량적 수치의 N치로 판단할 수 있다. 압입하중에 따라 지지말뚝 또는 선단지지말뚝으로 분류된다.

기존구조물의 기초는 사전 육안조사 하기 어려울 뿐만 아니라 보존된 도면이 없는 경우가 대부분이며, 도면이 있는 경우에도 실제 상태와는 다른 경우가 허다(許多)하다. PR공법은 기존구조물의 다양한 기초 특성에 따라 대처 할 수 있도록 압입장치가 다양하게 개발되었다. 압입은 개별압입과 동시가압 2 단계로 진행된다. 설계하중의 2배(또는 3배)로 계속 개별압입하고, 개별압입 한 말뚝은 설계하중(또는 자중)으로 동시에 가압하여 침하된 구조물 복원, 승상, 기초보강, 지하층축, Top·Down, 교체·치환, 이동·회전, 지반보강, 지반조사, 말뚝 재하시험 등에 활용되고 있다. 압입말뚝은 압입장치에 정착 마감한다.

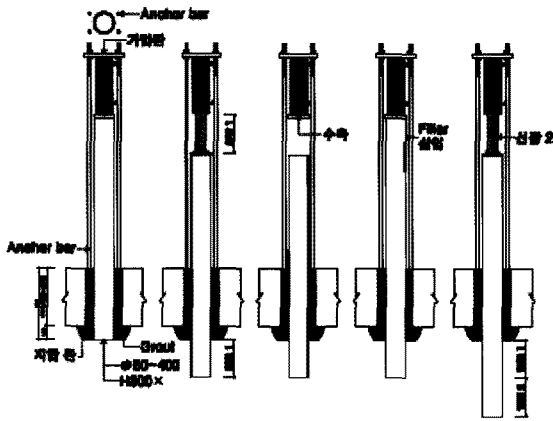
2. 특징·장점

- ① 지반을 천공하지 않고 말뚝을 압입한다. 굴착폐기물이 없다.
- ② 유압잭으로 압입한다. 진동, 소음 및 분진발생이 없다.
- ③ 압입하중이 유압게이지에 실시간 표시된다.
 - 압입말뚝의 내력의 과학적 평가 가능 : 재하시험 실시 효과
 - 압입깊이별 말뚝선단 지층 N치 평가 : 지반조사 실시 효과
- ④ 1m 미만 협소 공간 시공할 수 있다.
- ⑤ 0.1m 근접 시공할 수 있다 : 모멘트 최소
- ⑥ 수직 및 수평, 경사말뚝도 시공 할 수 있다.
- ⑦ $\phi 50 \sim \phi 400$ 강관, H-beam 등 다양한 규격 사용 가능하다.
- ⑧ 말뚝의 시공길이 제한이 거의 없다.(2011 포항 : $\phi 200 - 45m$)
- ⑨ 기존구조물의 말뚝 재하시험 할 수 있다.
 - 시공된 콘크리트 RC말뚝의 실제 내력측정
 - 마이크로파일의 압축 재하시험
- ⑩ 습식 보링에 의하여 과소평가되지 않은 원상태 지반조사

3. 구성 및 압입 개념

압입장치는 Anchor bar와 유압잭으로 구성된다. Anchor bar 하부와 상부는 지압 판과 가압 판이 설치된다. 유압잭은 유압게이지 부착된 유압모터에 연결된다.

유압잭 하부에 말뚝 설치한 상태에서 유압모터로 유압잭에 유압유를 공급하면 잭 실린더가 신장되고 신장된 길이만큼 말뚝이 압입된다. 이 때 유압유를 회수하면 실린더가 잭 속으로 들어간다. 그 공간에 Filler를 삽입하여 유압유 공급과 회수 및 Filler 삽입 과정을 반복한다.



[그림 1] PR 구성 및 압입개념

말뚝의 길이는 현장여건에 따라 다르게(예:2m) 직각 절단 가공한 말뚝을 현장에서 용접연결하며 압입한다. 기초 두께는 압입시 가이드 월이 된다. 일반적인 경우 $\phi 216 \times 6t$ 의 경우 기초두께 600mm, 지압판 150mm, 유격 5mm이므로 기울기는 5/750 이내가 된다.

4. 압입장치 제작방법

기존기초의 상태, 현장조건, 목적에 따라 선택 적용한다.

[그림 2]

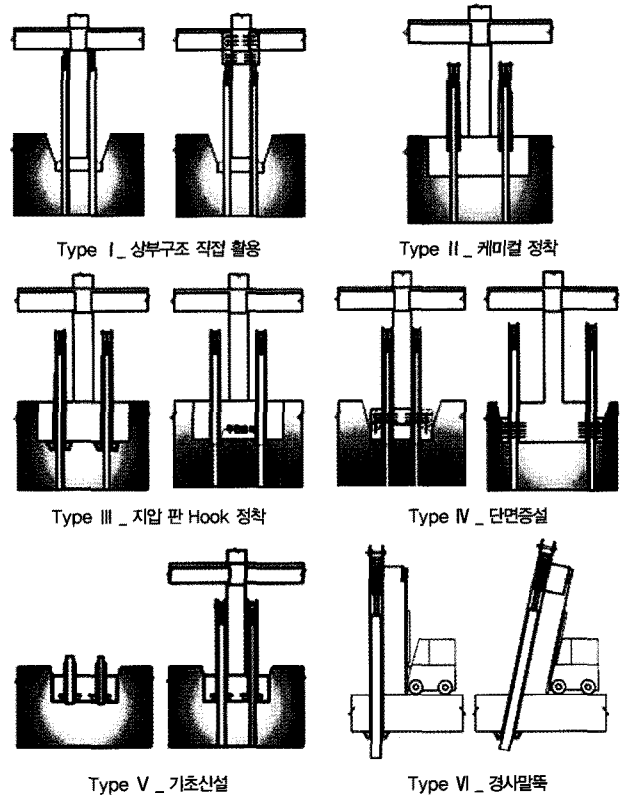
5. 압입말뚝의 설계 및 배치

설계 순서

- 지반조사 자료 확인
- 직접계산 또는 모델링에 의한 하중 산출
- 말뚝 배치하여 구조해석 재실시
- 말뚝의 규격 결정

배치설계 시 유의사항

- 가능한 말뚝은 대칭 배치한다.
- 말뚝의 하중 분담율 차이가 크게 나지 않게 배치한다.



[그림 2] 압입장치 설치방법

Type I _ 별도 압입장치 없이 상부구조 직접 압입한다.

형하고, 연단거리 부족한 교량인상 교좌장치 교체 바닥 철거 후 재타설이 필요한 지하층측 등에 적용 기존기초에 정착하지 않는다.

Type II _ Anchor bar 케미컬 정착한다.

케미컬 정착방법은 내구성을 보장할 수 없다. 단기 가설 용도에만 적용한다.

Type III _ 천공 후 지압판을 기초하부에 Hook 정착한다.

기초의 내력이 충분할 때 적용한다. 내력의 전달이 확실하다.

Type IV _ 기존 기초의 내력 부족할 때 적용.

기존 기초 천공으로 인한 손상 원치 않을 때 적용 기존 기초의 하부, 상부 또는 측면에 단면 증설한다.

Type V _ 기존 기초 없을 때 기초 신설, 톱다운 적용

Type VI _ 경사말뚝, 하향 압입 방법

- 말뚝과 말뚝의 간격은 파일 직경의 2.5배 이상으로 한다.
- 말뚝중심과 기초측면과의 거리는 말뚝직경의 1.25배 이상

6. 압입말뚝의 규격

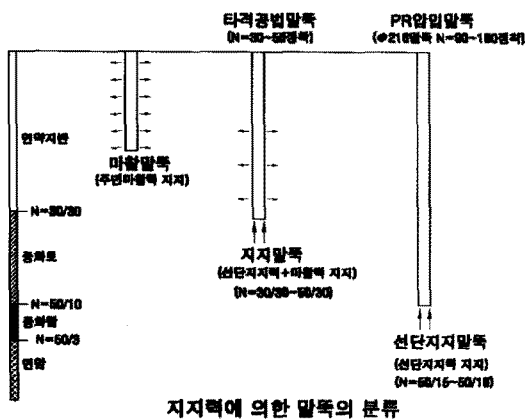
압입말뚝은 기존기초의 조건과 활용 가능한 반력에 따라 강관, H빔 등 다양한 규격의 제품이 사용될 수 있다. $\phi 114$, ϕ

165, $\Phi 318$, $\Phi 355$, H300 \times 300 적용사례가 있으나 압력배관 용 $\Phi 216 \times 6t$, 8.2t, 12.7t 강관이 주로 사용된다. 사전 육안 조사 하지 못한 내력이 부족한 기존기초는 천공과정에서 확인

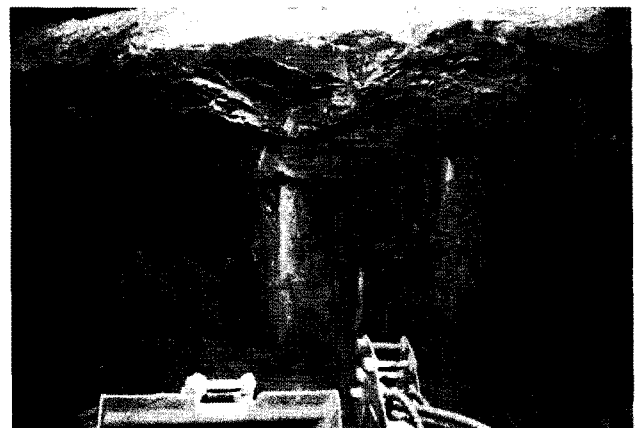
된다. 개별 압입과정에서 한 번 더 검증된다. 기존 기초가 아래 조건에 미흡한 것으로 확인되면 보강 조치 후 압입한다. 이때 [그림 2]의 방법이 단독 또는 복합 적용될 수 있다.

[표 1] 압입말뚝에 따른 기초의 최소조건

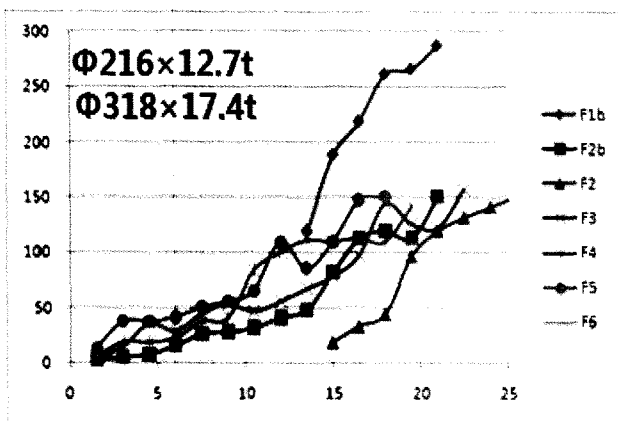
	압입말뚝(kN)			기존기초	
	규격	Py	Pa	두께	철근
$\Phi 165$	4.5t	500	250	450	HD13@200
	6t	640	320	500	HD13@200
$\Phi 216$	6t	900	450	600	HD16@200
	8.2t	1,100	550	650	HD16@200
	12.7t	1,600	800	800	HD19@200
$\Phi 267$	15.1t	2,000	1,000	900	HD19@200
$\Phi 318$	17.4t	3,000	1,500	1,100	HD22@200
$\Phi 355$	19t	3,600	1,800	1,200	HD25@200
$\Phi 406$	21.4t	4,800	2,400	1,400	HD29@200
H300 \times 300					



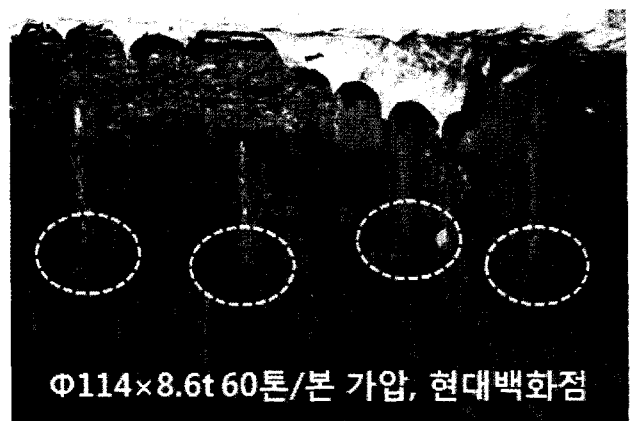
[그림 3] 지지력에 의한 말뚝의 분류



[그림 5] $\Phi 216 \times 12.7t$ 160톤 가압 압입 상태



[그림 4] 압입현황 그래프



[그림 6] $\Phi 116$ 강판 압입 상태

7. 압입말뚝의 분류

말뚝은 지지력에 따라 마찰말뚝, 지지말뚝, 선단지지말뚝으로 분류된다. 압입말뚝은 선단이 압입하중에 따라 풍화토 또는 풍화암에 정착하는 지지말뚝 또는 선단지지말뚝으로 분류된다.

압입말뚝 선단의 지층은 압입과정에서 측정된 압입하중과 Mayerhoff의 아래 식으로 정량적인 N치로 표시할 수 있다.

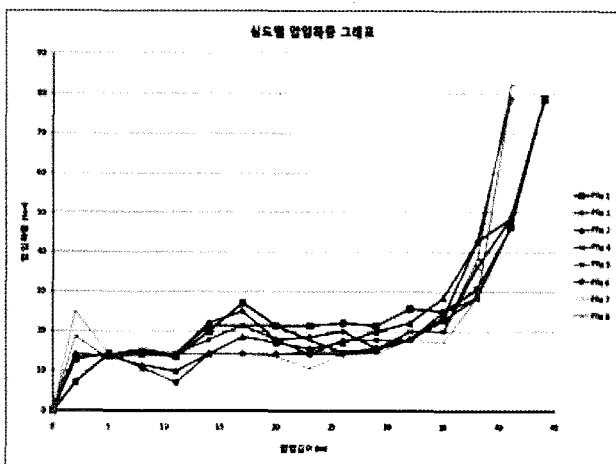
$$\text{압입말뚝 선단지층 } N = \frac{3R_{PR}}{40A_{PR}} \times \frac{1}{2}$$

여기서 R_{PR} : 압입하중, A_{PR} : 압입말뚝의 단면적

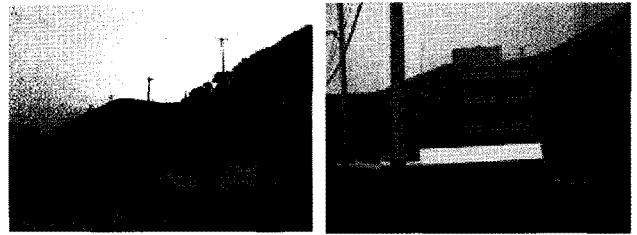
[그림 4]는 서울 서초구 서초동에 위치한 B3-10층 ○○빌딩을 B3-16층으로 6개 층 수직증축 기초보강한 압입깊이별 압입하중 그래프로 지하3층에서 280톤으로 개별가압 압입한 $\phi 318$ 강관과 지하3층 및 1층에서 150톤으로 개별가압 압입한 $\phi 216$ 강관의 선단은 모두 N 150 지층에 정착되었음을 보여준다. [그림 5]는 서울 강남구 삼성동 현대백화점 무역센터 점 지하 4층 지하 기초 하부 굴착하여 확인된 $\phi 216 \times 12.7t$ 강관을 160톤으로 가압하여 N160 풍화 암층에 압입된 상태의 사진이고, [그림 6]은 60톤으로 개별 가압한 $\phi 114 \times 8.6t$ 강관의 선단이 풍화암 층에 도달한 상태의 사진이다.

8. 압입말뚝의 압입 깊이

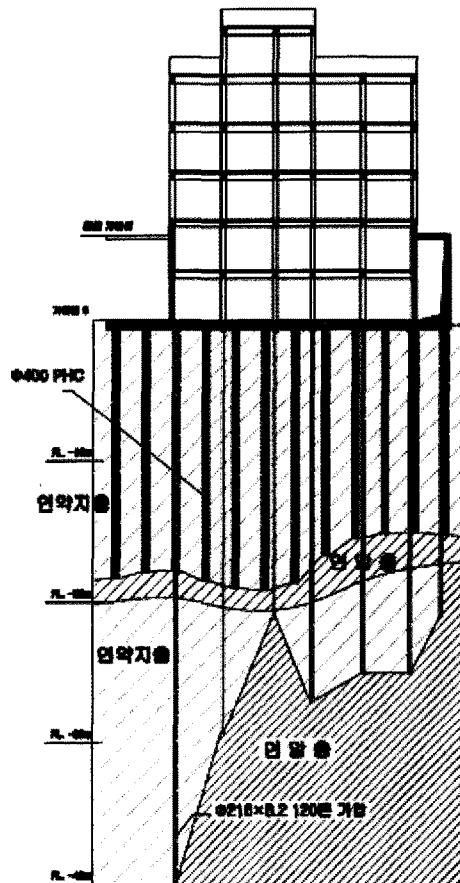
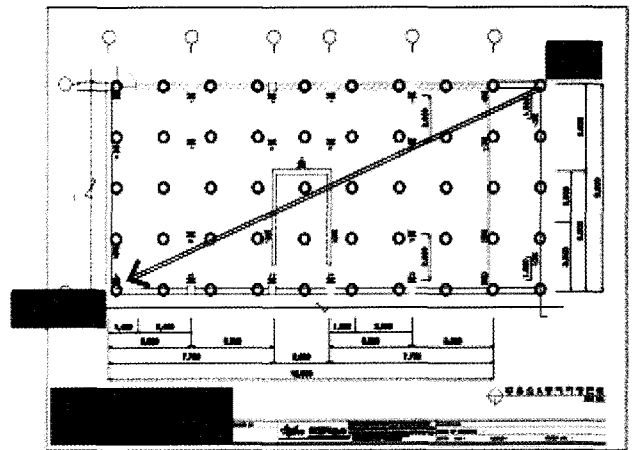
[그림 7] 그래프는 경북 포항에서 $\phi 216 \times 6t$ 강관 80톤 가압하여 45m 압입하였음을 보여주고, [그림 8, 9]는 $\phi 400$ PHC 파일 시공하였으나 1/47의 기울기까지 부등침하 발생된 구조물을 $\phi 216 \times 8.2t$ 20~40m 압입 보강하여 수평상태로



[그림 7] $\phi 216 \times 6t$ 압입현황 그래프(45m, 포항)



[그림 8] $\phi 400$ PHC 시공 1/47 침하발생(부산)

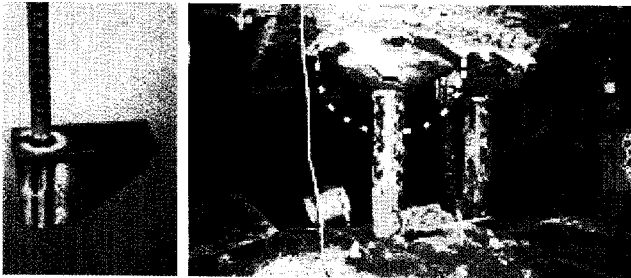


[그림 9] $\phi 400$ PHC 50본 침하 \Rightarrow $\phi 216$ 27본 압입 인상

복원인상 부산 강서구 주유소의 사례이다. $\phi 400$ PHC 말뚝이 뽑혀 올라왔다.

9. 지압 판의 정착

[그림 2] TypeⅢ에서 기초를 천공한 후 기초 하부에 지압판을 설치한다. 압입말뚝(슬리브)을 매입한 상태에서 지압판을 30 MPa 이상의 무수축 몰탈로 천공된 공극을 충전한다. [그림 10]은 지압판부분에 몰탈 충전된 기초하부 굴착 후 형상이다.



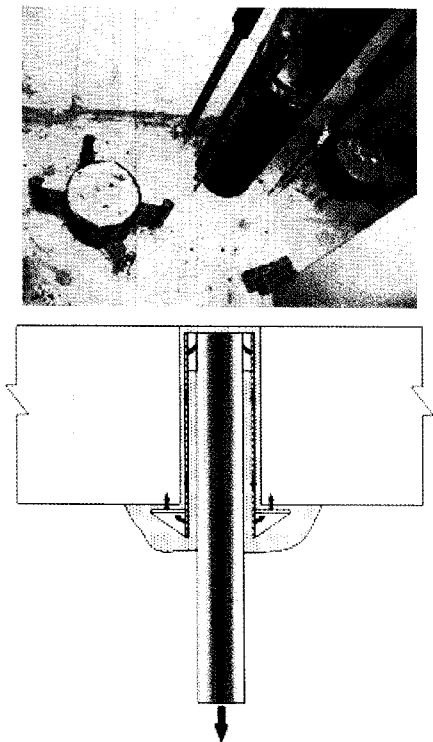
(a) 지압 판 (b) 기초하부에 시공된 지압 판

[그림 10] 지압 판 및 시공 후 형상

10. 압입말뚝의 정착

구조물의 자중을 이용하여 개별 압입한 말뚝은 하부 지압판과 앵커 철근에 정착된다.

“파일 ⇒ 용접부 ⇒ 앵커 ⇒ 지압판 ⇒ 기초”의 순서로 말뚝의 지지력이 전달된다.



[그림 11] PR 압입말뚝의 하중전달 개념도

11. PR 압입말뚝의 지지력 산정

PR 압입말뚝은 압입 시 말뚝에 가해진 하중(=지지력)이 유압계이지에 표시되고, 이 값은 정재하시험 값과 동일하며, 모든 말뚝에 대하여 자동적으로 실시된다. 개별 가압은 설계하중(사용하중)의 2배(또는 3배)로 하며 이 값이 바로 안전율이다.

“구조물 기초 설계 기준”에서 말뚝의 안전율은 원칙적으로 3이지만 다음과 같은 경우에 안전율을 낮추어 적용할 수 있도록 라고 규정하고 있다.

- 동일현장에서 여러 개의 말뚝재하시험이 실시되어 충분한 현장 대표성이 인정되고, 하중-침하량 관계가 양호한 경우에는 지반공학 전문가의 판단을 얻어 안전율을 낮출 수도 있다. 구조물기초설계기준해설, (사)한국지반공학회, 399pp
- 말뚝재하시험 결과로부터 말뚝의 축방향 설계 허용지지력을 결정할 때의 기준 안전율은 극한하중에 대하여는 3.0, 항복하중에 대하여는 2.0으로 한다. 그러나 이와 같은 획일적인 안전율 적용은 비경제적인 경우도 많이 있으며, 이러한 경우 지반공학 전문가는 지반조건, 시공의 정밀도, 말뚝 거동의 특성 및 말뚝재하시험 회수 등을 감안하여 적절한 폭으로 안전율을 낮추어 구조물의 안전을 판단할 수 있다. 이상의 경우와 같이 안전율을 기준안전율 3.0보다 낮추어 볼 수 있는 경우에도 극한지지력에 대하여 2.0보다 낮은 안전율은 적용하지 않도록 한다. 특히 중요구조물 기초의 경우에는 기준 안전율 3.0 또는 그 이상의 안전율이 확보되도록 할 필요도 있다. 구조물기초설계기준해설, (사)한국지반공학회, 403pp

12. PR 압입말뚝 시공 가능한 최소 공간

[그림 12]는 서울시 종로구 안국동 걸스카우트연맹빌딩 지



[그림 12] 폭 0.4m, 층고 1.5m(걸스카우트연맹빌딩)

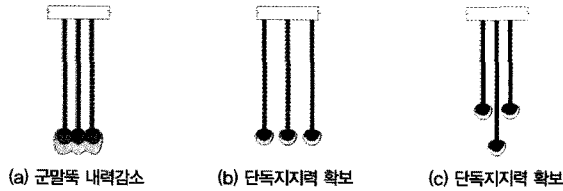
하 1층의 계단 폭 400mm, 계단하부 1.5m 미만 층고에서 말뚝 개별 압입하여 동시가압 상태의 사진이다.

사진에서 사람의 접근이 가능한 공간이면 말뚝 시공도 가능함을 보여준다.

13. 말뚝기초 구조물의 기초보강

일반적으로 말뚝을 근접하여 시공할 경우 군말뚝(무리말뚝) 효과가 발생하여 내력이 감소하게 된다. 이 경우 개별 말뚝들의 지지력은 거의 동일한 수준에 시공되고 인접한 말뚝의 깊이도 거의 동일하게 시공된다. 그 결과 말뚝 선단에 작용하는 영향선이 [그림 13](a)와 같이 겹치면서 군말뚝 효과가 발생되어 지지력이 감소된다.

PR 압입말뚝은 기존에 시공된 말뚝과 인접되어 시공될 수 있다. 하지만 압입 시공되는 말뚝의 깊이를 기존의 말뚝 선단(N=40/30 지반)에 비하여 보다 더 깊게(N=50/10 이하) 압입할 수 있으며, 이 경우에는 [그림 13](c)와 같이 기존 말뚝의 영향선을 벗어날 수 있다.



[그림 13] 인접말뚝과의 영향선

14. PR 압입말뚝 분야별 적용사례

(1) 부등침하 구조물 복원인상

일시 : 2009. 08~10 서울 종로구 안국 걸스카우트연맹빌딩
내용 : 1969년 준공 이후 침하 지속 증가 E등급 ⇒ A등급 복원



[그림 14] E ⇒ A등급 복원된 걸스카우트연맹빌딩

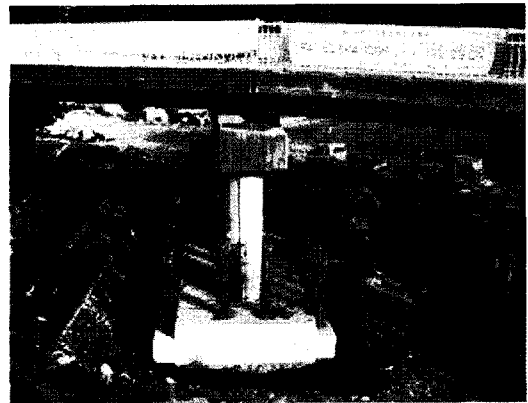
(2) 기존 구조물 수직 乘上(乘高)

일시 : 2008. 중국 강서 하주, 2009 전북 장수군

내용 : 호박돌기초 문화재 1.3m 승고, 왕대교 1m 승상



[그림 15] 1.3m 수직 승상 조적구조 건축물

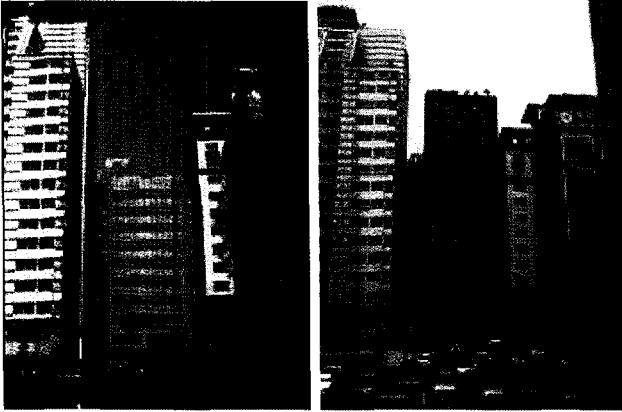


[그림 16] 교량전체 1m 승상 전북 장수 왕대교

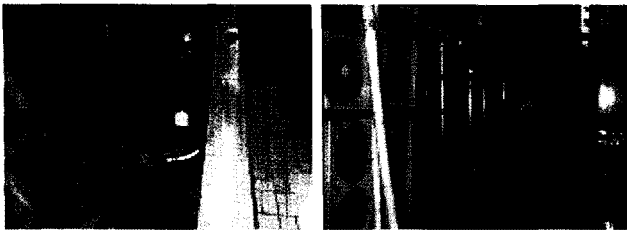
(3) 기존 구조물 기초보강

일시 : 2010. 07~09 서울 서초구 서초동

내용 : B3-10층에서 16층 증축을 위한 압입파일 기초보강



[그림 17] 10층⇒16층 증축 전/후 전경
(기존 건물 거주 상태에서 지상 6개 층 증축)

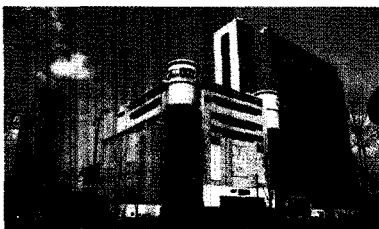


[그림 18] 1m 미만 공간에서 말뚝 압입

(4) 기존 구조물 지하증축

일시 : 2010. 03~ 서울 강남 삼성, 현대백화점 무역센터점

내용 : 압입파일 보강 지하4층 뜯기구조 형성 기초하부 굴착

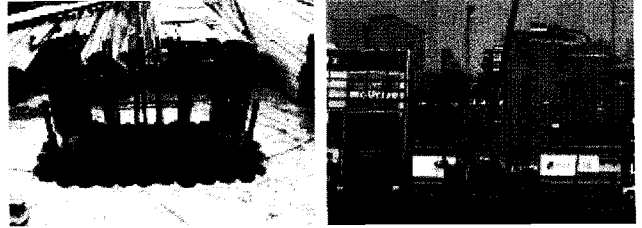


[그림 19] 압입말뚝 보강 B4 기초하부 굴착상태

(5) Top·Down 동시시공

일시 : 2010. 02, 서울 강남, 신축건물 소음, 진동 민원대책

내용 : 골조타설 자중 반력 확보 후 기초보강



[그림 20] 압입 말뚝 매입 기초, 골조공사 진행



[그림 21] 골조공사 말뚝 기초공사 동시 진행

(6) 인상 교체·치환

일시 : 2006. 05 전남 목포 대불공단 공장

내용 : 슬래브 인상 침하 균열발생 18m PC보 철거 교체시공

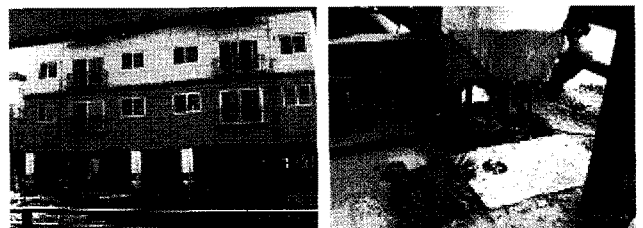


[그림 22] 압입말뚝 지지 인상 후 균열 보 철거 교체

(7) 기존 구조물 이동·회전

일시 : 2010. 01, 인천 남구

내용 : 시공측량 오류 빌라 평행이동 500mm



[그림 23] 평행이동 빌라

(8) 기존 구조물 기초 지반보강

일시 : 2009.08, 전북 전주 교육대학교 미술관

내용 : 협소 공간 강관압입 시멘트 그라우팅 주입 지반보강

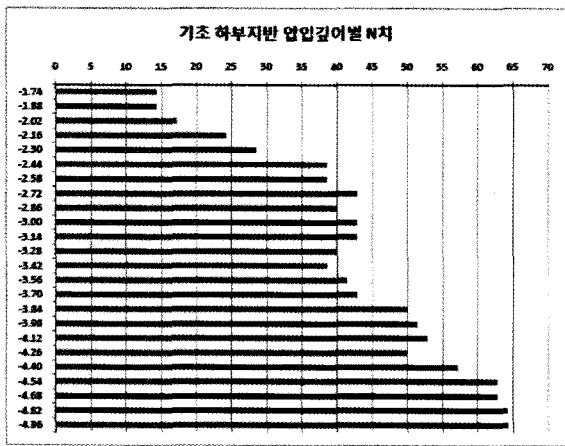


[그림 24] 강관압입 주입 지반보강

(9) 기존 구조물 기초 지반조사

일시 : 2010. 03, 서울 강남 삼성 현대백화점 B4

내용 : 협소 공간 강관압입 기초하부 지반조사



[그림 25] 기초 하부지반 N치

(10) 기존구조물 기초 말뚝 재하시험

일시 : 2010. 06.~07. 경북 구미 공장

내용 : 가압 틀 설치 Ø400 RC말뚝 재하시험 50 tonf/분
확인

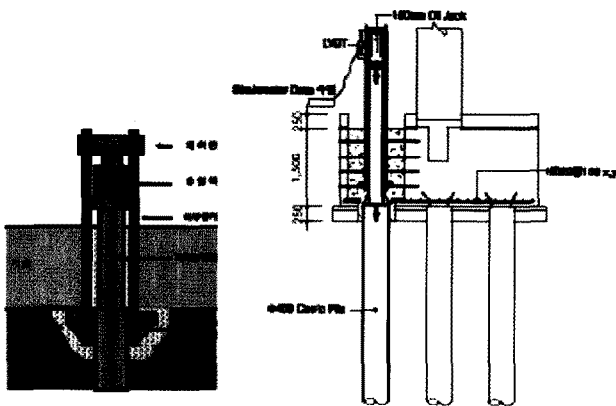
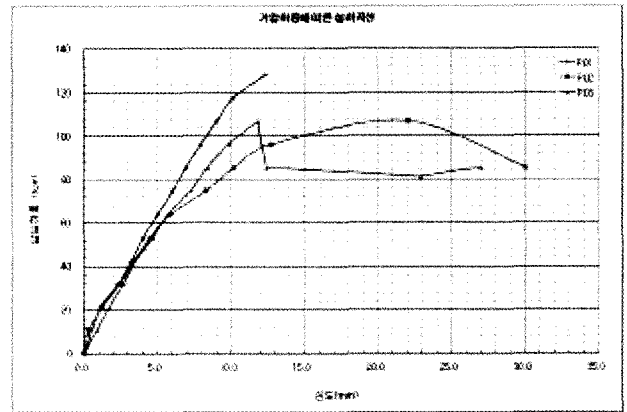


그림 24 PR공법에 의한 재하방법 개념도

[그림 26] 기존 RC말뚝 재하시험 개념도



[그림 27] 기존 RC말뚝 재하시험



[그림 28] 하중 기압에 따른 침하량 곡선

15. 맺음말

PR 압입말뚝은 1999년 이후 국내 및 중국에서 다양한 조건의 수많은 현장에 적용되었으며, 그 과정에서 개선 발전되어 왔다. 향후 국내는 물론 국제적으로 리모델링 기초 보강기술 분야의 향상에 기여할 것을 기대한다.

참고문헌

1. "부등침하가 발생된 건물의 지반조건과 그 복구방법" 홍과 기초, 1993.11
번역 대한주택공사 주택기술정보 66, 1995.2
2. (사)한국지반공학회, "국토해양부제정 구조물 기초 설계기준 해설", 2009.03,
3. 강예목, 유능환, 원무남, 박홍규, 김재영, 박현영, 지인택, 이달원, "기초공학", 형설출판사, 2003.8, p243
4. 변항용, '주차장, 엘리베이터 지하중축기술', 시설물저널 겨울호, 2010
5. 변항용, '친환경 승상', 시설물저널 여름호, 2010

※ PR에 대한 궁금한 사항은 아래 연락처로 문의 바랍니다.

(주)고려E&C 기술연구소 02-578-0130