

마이크로파일을 이용한 기초보강공법의 국내 적용 사례 Case History: Micropiling for Existing Foundation Retrofits

이정훈¹⁾, Jung-Hoon Lee, 최창호²⁾, Chang-Ho Choi, 조삼덕³⁾, Sam-Deok Cho, 이기환⁴⁾, Ki-Hwan Lee,
조 현⁵⁾, Hyun Jo

- 1) 쌍용건설(주) 토목기술부 대리, Assistant Manager, Department of Civil Engineering Technology, Ssangyong Engineering & Construction
- 2) 한국건설기술연구원 토질및기초연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology
- 3) 한국건설기술연구원 토질및기초연구실 연구위원, Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Department, Korea Institute of Construction Technology
- 4) 쌍용건설(주) 토목기술부 부장, General Manager, Department of Civil Engineering Technology, Ssangyong Engineering & Construction
- 5) 쌍용건설(주) 토목기술부 부장, General Manager, Department of Civil Engineering Technology, Ssangyong Engineering & Construction

SYNOPSIS : As housing supply ratio has become over 100%, the strategic vision of government's policies has been changed from new construction to maintenance and regeneration of old architectural-structures. This fact has brought a light on the reconstruction and remodeling industries and a need for retrofit and rehabilitation techniques of existing foundation. Various methods of foundation for architectural-structures do exist. Among them, micropiling technologies are increasingly applied in foundation rehabilitation and seismic retrofitting projects. Micropiling techniques provide environmental-friendly methods for minimizing disturbance to adjacent structures, ground, and the environment. The installation is possible in restrictive area and general ground conditions. The fact that the installation procedures cause minimal vibration and noise and require very low ceiling height makes the micropiling methods to be commonly used for underpin existing structures. Specialized drilling equipment is often required to install the micropiles for existing basement facilities. This paper presents a case study in which micropiles were constructed to support a superstructure for vertical extension of existing elevator core and provide accessibility to underground parking lot. It is intended to become useful reference for the similar remodeling project.

Key words : remodeling, micropile, existing foundation, retrofit, rehabilitation, elevator core

1. 서 론

최근 들어 재건축의 규제완화와 함께 리모델링에 관한 사회적 관심이 높아지고 있다. 이는 국내 전체 주택보급율이 이미 100%이상을 달성하여 주택 건축정책의 기초가 사실상 신규개발에서 유지, 보수, 재생의 단계로 전환됨에 따른 것으로, 이에 따른 지반공학적 기초보강에 대한 시장수요가 증가추세에 있다. 현재 기존기초의 보수보강에 활용되는 공법으로는 크게 주입재를 이용한 그라우팅 공법과 소구경 현장타설 말뚝공법으로 구분되어 질 수 있으며, 본 논문에서는 소구경 현장타설 말뚝(마이크로파일)을

이용한 기초보강 공법의 국내 활용사례를 소개하고자 한다. 마이크로파일 공법은 시공시 소음과 진동이 적고 일반적인 말뚝공법에 비해 비교적 소형장비를 이용하므로, 복잡하고 한정된 공간의 도심지 기초보강에서 공사시 접근성 및 시공성 측면에서 큰 장점을 가지고 있다. 본 논문에서 소개될 마이크로파일공법의 활용사례는 서울 소재 방배동 궁전아파트 리모델링시 적용한 엘리베이터 코어 하부기초 보강에 관한 것으로, 신설 지하주차장으로의 출입을 용이하게 하기 위해 기존 엘리베이터 PIT를 하부로 1개층 증설한 시공 사례이다(윤용진, 2007; 장도영, 2006).

2. 리모델링 개요

2.1 리모델링 내용

방배동 궁전아파트 리모델링은 단순히 건물에 대한 리모델링이 아니라 단위세대 및 아파트 형태를 변경하고 지하주차장 및 엘리베이터 코어 등을 신설한 국내 최초의 단지 전체(기존: 지상 12층 지하 1층, 3개동 216가구) 리모델링 공사이다(장동운, 2006). 아파트 전·후면 수평증축을 통해 아파트 단위세대 면적을 23~36m² 추가 확장하고, 세대 내 재구성을 통해 전용공간을 확보하였다. B동과 C동은 계단실 및 엘리베이터를 신설하여 코어형식이 복도식에서 계단식으로 변경되었다. 또한, 아파트 사이에 지하주차장(지하 1층)을 신설하여 부족하였던 주차공간을 확보하였다. 그림 1과 그림 2는 각각 리모델링 후의 단지 조감도와 증축부위의 시공모습을 보여주고, 표 1은 리모델링 전·후 단위세대 평면계획을 보여준다.

표 1. 리모델링 전·후 단위세대 평면계획



그림 2. 아파트 증축부위 시공모습(수평확장)

구분	평면계획
A동 (139m ² ⇒ 175m ²)	
B동 (93m ² ⇒ 116m ²)	
C동 (119m ² ⇒ 145m ²)	

2.2 기존 기초보강 및 신설 기초 설치

기존 아파트 기초는 PC PILE($\phi 350$, 설계하중 400kN/EA)이며, 기초 설치 평면도는 그림 3 및 그림 4와 같다. 아파트 리모델링으로 인해 수직하중(기둥 및 칸막이 하중 증가 등) 및 수평하중이 증가하고, 설계활하중 조건이 강화되어 기존 아파트 기초의 보강이 요구되었다. 구조해석을 실시하여 기초 안정성을 검토한 결과, A동의 경우 좌우 측벽 위치에서 기초 지지력이 부족하였고, B, C동의 경우에는 좌우 측벽 및 세대 중앙부 기존 발코니 위치에서 기초 지지력이 부족하였다. 기존 기초에 대한 보강공법으로 구조물과의 간섭에 따른 장비운용 문제를 고려하고 시공시 기존 PC PILE에 미치는 영향을 최소화하기 위해 마이크로파일을 적용하였다.

수평증축 구간에는 경제성을 고려하여 PHC PILE($\phi 400$, 설계하중 700kN/EA)을 신설 시공하였으며, 수평증축 구간중 기존 아파트 기초와 인접한 부분에는 마이크로파일을 적용하였다.

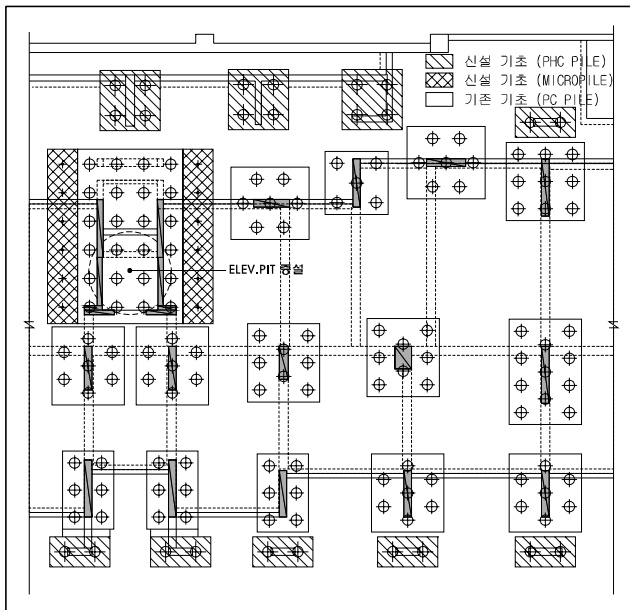


그림 3. 아파트 A동 단위세대 기초도

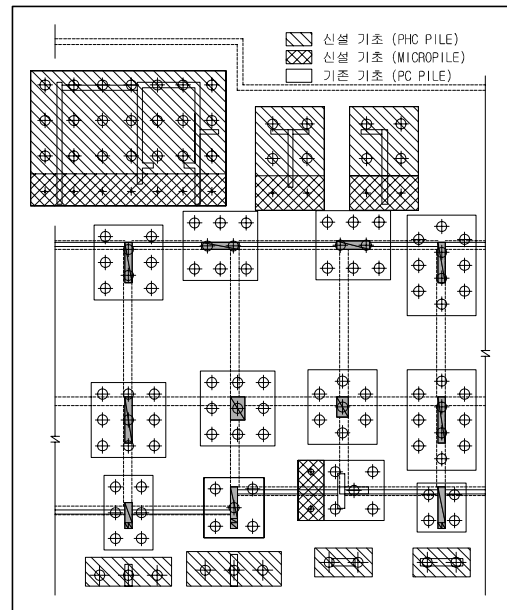


그림 4. 아파트 C동 단위세대 기초도

3. 마이크로파일을 이용한 엘리베이터 PIT 증설

3.1 시공개요

당 현장에는 리모델링 전에는 지상주차장만 존재하였으며, 리모델링시 부족한 주차공간을 확보하기 위해 지하주차장의 신설이 요구되었다. 주차장 확대유형은 대지안의 공지에 주차장을 계획하는 것으로서, 각동 사이에 지하주차장이 신설되었다.

B동과 C동의 경우 수평증축시 엘리베이터 및 계단실이 신설되므로 지하주차장에서 엘리베이터를 통해 각 세대로의 출입이 가능하나, A동의 경우 기존 지상 1층까지만 운행되던 엘리베이터를 사용하기 때문에 리모델링시 엘리베이터 PIT를 하부로 증설(그림 3 참조)하지 않을 경우, 지하주차장 출입을 위해서 계단을 이용해야 하므로 주민들의 불편이 예상되었다. 이 문제를 해결하기 위해 기존에 지상 1층까지만 운행되던 엘리베이터를 지하1층까지 연장운행 되도록 엘리베이터 PIT를 하부로 증설하는 공법 적용을 고려하였고, 엘리베이터 코어 해체 작업시 상부 구조물의 하중을 지지하기 위해 여러 보강 공법 중 시공조건 및 시공 효과를 검토한 후 마이크로파일 시공을 결정하였다.

3.2 시공순서

공사는 전체적으로 크게 총 10단계로 구분되어질 수 있으며, 표 2는 단계별 시공내용, 개요도, 대표사진을 보여준다.

표 2. 엘리베이터 PIT 증설공법 시공순서

① 마이크로파일 시공		② 흙막이용 강관다단 그라우팅	
③ 기초 확장부 굴착 / 마이크로파일 지압판 설치		④ 기초 푸팅 확장	
⑤ 가설 Steel Frame 설치		⑥ Shaft wall 및 기초 푸팅 절단	
⑦ 지하굴착 / 기존 파일 절단		⑧ 기초 푸팅 및 벽체 시공(신설)	
⑨ Shaft wall 시공(신설)		⑩ 가설 Steel Frame 해체, E/V PIT 시공 완료	

먼저, 가설 Steel Frame을 통해 전달되는 상부 구조물 하중을 지지할 마이크로파일 12본을 엘리베이터 Shaft Wall 외부에 시공한 후, 터파기시 흙막이 벽체로 이용할 강관다단 그라우팅을 실시하였다. 기초 푸팅 확장부는 바닥슬래브 철거, 지반 굴착, 마이크로파일 두부 지압판 설치, 푸팅 철근 배근 및 콘크리트 타설순으로 시공하였으며, 토압작용시 지점 역할을 할 수 있도록 흙막이용 강관은 푸팅과 일체화하였다.

가설 Steel Frame(가설 보 4개와 가설 기둥 8개로 구성)은 엘리베이터 Shaft Wall을 통해 전달되는 상부 구조물 하중을 하부 기초(푸팅 및 마이크로파일)로 전달하는 역할을 하는 구조물이다. 시공은 먼저 가설 보가 관통할 수 있도록 Shaft Wall을 컷팅하여 Opening(개구부)을 만든 후 가설 보 및 기둥을 설치하고 기둥과 기둥 사이에는 브레이싱을 설치하였다. 또한, 보가 관통하는 개구부 상부에는 엘리베이터 Shaft Wall의 균열을 방지하기 위해 보강철판을 설치하였으며, 보강철판 틈새는 에폭시를 주입하였다.

엘리베이터 PIT를 하부로 증설하기 위해 기존 Shaft Wall과 기초 푸팅을 철거하고 지반 굴착 및 기존 PC PILE 16본을 절단하였다. 다음으로 말뚝 두부를 정리한 후, 기초푸팅과 벽체를 신설하였다.

마지막으로 Shaft Wall을 신설하고 가설 Steel Frame을 해체한 후, 개구부를 복원(철근 배근 및 콘크리트 타설)함으로써 모든 시공이 마무리 되었다. 그림 5는 A동 엘리베이터 PIT 증설 시공 평면도를 보여준다.

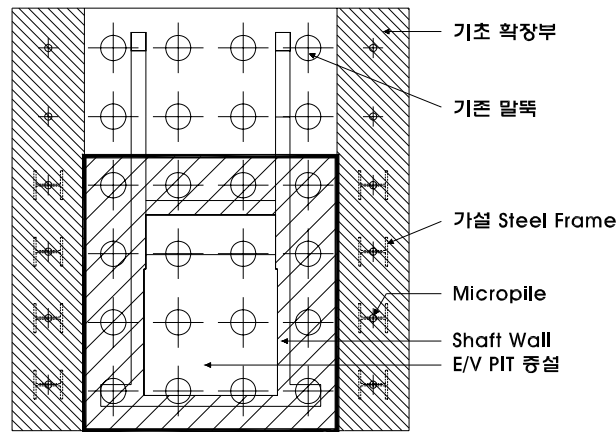


그림 5. 아파트 A동 엘리베이터 PIT 증설 시공 평면도

3.3 지층조건 및 마이크로파일 설계 지지력

3.3.1 지층조건

단지 내 시추조사는 총 10공을 실시하였으며, 지층은 상부로부터 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암 및 연암 순으로 나타났다. 퇴적층은 자갈 섞인 실트질 모래로 자갈 및 전석이 협재되어 있고, 퇴적층은 주로 실트질 점토로 이루어져 있으며 단단한 상태로 판단되었다. 기반암은 흑운모 편암이며, 풍화암은 기반암이 풍화되어 형성된 층으로 굴진 및 타격에 의하여 실트 섞인 모래 및 암편으로 분해된 지층이다 (그림 6 참조).

3.3.2 마이크로파일 설계 지지력

현재 알려진 마이크로파일의 기본적인 설계개념은 다른 일반 말뚝 설계개념과 큰 차이는 없다. 즉 지지력의 대부분은 주변마찰력에 기인한다는 것이다. 또한 마이크로파일은 길이에 비하여 직경이 작기 때문에, 말뚝의 선단면적이 근입된 말뚝 주변면적에 비하여 상대적으로 작으므로 마이크로파일의 선단지

지력은 일반적으로 설계시 고려하지 않는다(한국지반공학회, 2002). 그리고, 현재 통용되고 있는 마이크로파일 주면마찰력 산정방법은 기본적으로 현장타설말뚝, 소일 네일링 및 타이백 앵커에 대한 연구결과 및 경험에 바탕을 두고 있다.

현재 국내에는 관련 설계기준 및 시방서가 아직 제시되어 있지 않아 미연방도로국(FHWA) 마이크로파일 설계·시공 매뉴얼을 참고하여 당 현장 A동 엘리베이터 코어 하부 마이크로파일을 설계하였다(Armour 외, 2000; Bruce & Juran, 1997). 마이크로파일 허용축하중 및 허용지지력 산정공식은 각각 식 (1) 및 식 (2)와 같으며, 현장에 적용된 마이크로파일의 제원과 지지력 산정결과는 각각 표 3 및 표 4와 같다. FHWA(2000)에 따르면 마이크로파일 설계법은 SLD법과 LFD법으로 구분되어지는데 본 연구에서 사용된 식 (2)는 SLD법(부착길이에 따른 인장과 허용압축력)에 따른 것이다. 지지력 산정시 선단지지력은 고려하지 않았으며, 그라우트와 지반의 부착력($a_{bond\ nominal\ strength}$)은 매뉴얼에 제시되어 있는 값을 참조하여 보수적으로 적용하였다. 그라우트와 지반의 부착력은 지지력 산정시 가장 중요한 요소가 되며, 매뉴얼에는 그라우팅 방법에 따른 마이크로파일의 종류(Type A~Type D) 및 지반조건에 따른 부착력 값이 제시되어 있다. 마이크로파일의 종류는 그라우팅 방법에 따른 분류이며, 당 현장에 적용된 마이크로파일은 중력식 주입방식으로 Type A에 속한다. 그리고 천공시 상부 매립층 및 퇴적층에서는 공벽유지를 위해 영구 케이싱을 사용하였는데, 이 구간에서의 주면마찰력은 계산값의 1/5을 적용하였다.

$$P_{c-allowable} = 0.40 f_{c-grout} Area_{grout} + 0.50 f_{y-bar} Area_{bar} \quad (1)$$

$$P_{G-allowable} = \left(\frac{a_{bond\ nominal\ strength}}{FS} \right) \times \pi \times DIA_{bond} \times (bond\ length) \quad (2)$$

여기서, $P_{c-allowable}$ 은 마이크로파일 허용축하중, $f_{c-grout}$ 는 그라우트의 설계압축강도, $Area_{grout}$ 는 그라우트의 단면적, f_{y-bar} 는 보강재의 항복강도, $Area_{bar}$ 는 보강재의 단면적, $P_{G-allowable}$ 은 마이크로파일 허용지지력, $a_{bond\ nominal\ strength}$ 는 그라우트와 지반의 부착력, FS 는 안전율, DIA_{bond} 는 마이크로파일 직경이다.

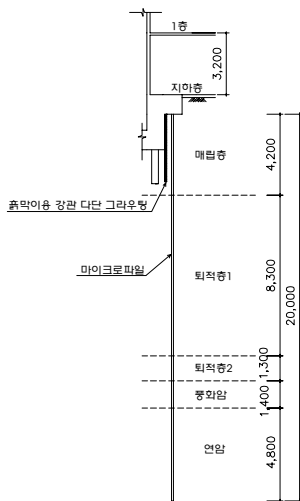


그림 6. 지지력 검토 단면

표 3. 마이크로파일 제원

직 경	길 이	시멘트 밀크	보강재
φ105 mm	20.0 m	$f_{c-grout} = 24\text{ MPa}$	강봉 φ50 mm × 1EA $f_{y-bar} = 700\text{ MPa}$

표 4. 허용축하중 및 허용지지력 산정결과

허용축하중	허용지지력	설계하중
752 kN	636 kN	600 kN

4. 맺음말

본 시공사례는 아파트 리모델링시 기존 구조물을 철거하지 않은 상태에서 엘리베이터 PIT를 하부로 증설하기 위해 마이크로파일을 기초 보강공법으로 적용한 것으로, 향후 건축물 리모델링 공사시 유사한

상황이 발생할 경우 공사를 진행함에 있어 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

내진설계기준이 강화되고 향후 리모델링 및 도시재생사업이 점차 확대될 것으로 판단되므로 기존 건축구조물의 기초 보강공법인 마이크로파일 공법의 수요가 점차 증가할 것으로 예상된다. 이는 마이크로파일 공법은 시공시 진동과 소음이 적고 일반적인 말뚝공법에 비해 비교적 소형장비를 사용하므로, 당 시공사례와 같이 도심지의 복잡하고 한정된 공간에서의 공사시 시공성, 접근성 측면에서 큰 장점을 지니고 있기 때문이다.

현재 국내에는 설계·시공에 관한 시방규정이 아직 정립되어 있지 않아 주로 외국의 기준이나 참고자료를 활용하여 마이크로파일을 적용하고 있는 실정므로, 공법의 적용 및 그 시장규모가 점차 증가하고 있는바 관련 기준안을 조속히 마련할 필요가 있다고 판단되며, 앞으로 국내 시공환경에 적합한 최적의 마이크로파일 공법 및 전용시공장비의 개발도 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2007년 첨단도시개발사업 07도시재생B01-04 「성능·환경복원기술 개발」의 일부로서, 관계제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 윤용진(2007), “방배동 궁전아파트 리모델링 공사”, *건설기술/쌍용*, 2007년 봄호, 통권 제 42호, pp. 50~55.
2. 장도영(2006), “Remodeling Project에서의 엘리베이터 PIT 증설 공법”, *건설기술/쌍용*, 2006년 여름호, 통권 제 43호, pp.50~55.
3. 장동운(2006), “방배 궁전 APT 리모델링 사례”, *Proc of 3rd International Seminar of Remodeling Technology in 2006*, pp.143~155.
4. 한국지반공학회(2002), *지반공학 시리즈 4 - 깊은기초*, 구미서관, 서울, pp.618~648.
5. Donald A. Bruce and Ilan Juran(1997), *Drilled and Grouted Micropiles, State-of-Practice Review*, Report No. FHWA-RD-96-016, United States Department of Transportation, July 1997, Four Volumes.
6. Tom Armour, Paul Groneck, James Keeley and Sunil Sharma(2000), *Micropile Design and Construction Guidelines Implementation Manual*, Report No. FHWA-SA-97-070, United States Department of Transportation, June 2000.