

고 호 석  
(주)지승구조건설  
by Go Hyo-Suk

# 리모델링을 위한 최신 지반보강 및 침하구조물 복원공법

## The state-of-the-art methods of construction in foundation reinforcement and a subsidence structure for remodeling

최근 치솟는 부동산 가격을 진정시키고자 정부의 각종규제 조치가 잇따르고, 건축관련 각종 계획들이 수정 또는 폐기됨은 물론 건설경기의 급락과 함께 전반적인 경기 하락의 국면으로 접어들고 있는 실정이며, 관련업계에서는 새로운 시장을 창출·확대하고자 노력하고 있으나 대안모색에 어려움이 있는 것이 현실이다.

이러한 상황에서 건축물 리모델링 시장은 초미의 관심사로 대두되고 있으나 리모델링 시장에 있어서 단순히 내·외부의 마감재, 설비재 등의 교체만으로는 일반 건축주들의 요구사항을 만족시킬 수 없기에 대부분 허가 범위 내에서 면적을 늘릴 수 있는 방법을 검토하고 있다. 이의 1차적인 방법으로 건물의 수직·수평 증축을 꼽을 수 있다.

건축물 증축시에는 구조물의 안전성검토가 필수적으로 수반되어야 하며, 증축으로 인해 증가된 하중을 기존 기초구조물이 수용하지 못하는 점 또는 지내력 부족이라는 문제점이 필연적으로 제기될 수밖에 없다. 이를 해결하기 위해서 지반 보강방법을 강구하게 되나 일반 지반보강공법의 경우 대형 토목장비의 내부 반입에 어려움이 있어 시공자체가 불가능하거나 일부 구조물의 손상·파괴, 과대한 공사비용 및 공사지연 등에 의해 리모델링 계획 자체가 초기단계에서 좌절되는 경우가 빈번한 실정이다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 개발된 최신공법(JOG공법)은 기존 지반보강의 인식을 뛰어넘는 한차원 높은 기술적 해결방안과 기존의 지반보강공법 또는 선진외국의 유사기술과 비교검토 과정에 상당한 시간이 소요된 후에야 국내에 서서히 안착될 수 있었다.

리모델링 대상 구조물에 적용할 수 있는 최신 지반보강공법에 대해 대부분의 설계자 또는 수요자들이 관련 정보를 접하지 못하고 있어 본란을 통해 그 내용의 일부를 소개하고자 한다.

## 내용 및 특성

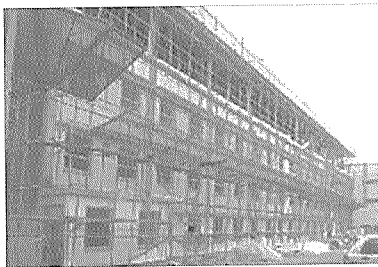
이 공법의 두드러진 특징은 보이지 않는 땅속에 주입되는 지반보강용 그라우트 재료의 주입범위(보강범위)를 정확하게 통제·조절할 수 있다는 점이다. 주입재료의 경화시간을 수초에서 수십초로 자유롭게 조절함으로써 지반내 주입범위를 제어할 수 있다. 주입재료는 일반 포틀랜드시멘트와 특수한 폴리머계 재료 등(6종류)이 복잡한 혼합 비율에 의해 배합·주입되며 공법의 특징은 다음과 같다.

- 장비의 소형·첨단화로 시공현장 접근 용이 (지하층 및 PIT층 등 협소부위)
- 무진동, 무분진, 무소음 등으로 시공 중 시설물 사용가능
- 시공 중 주변 구조물 피해에 의한 민원 발생 없음
- 공사기간 단축으로 시공비용 저렴
- 오랜 세월 후에도 언제든지 재주입 등 유지 관리 가능
- 공법의 다양한 응용 가능(침하구조물 복원 등)

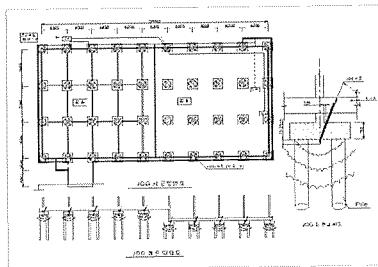
## 리모델링 현장에의 시공사례

### 1. KEC JAPAN 공장 증축에 따른 지반보강

- ① 증축규모 : 기존 2층에서 4층으로 증축



건물전경

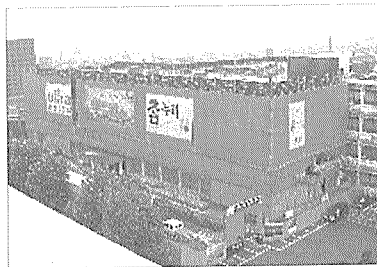


시공도면

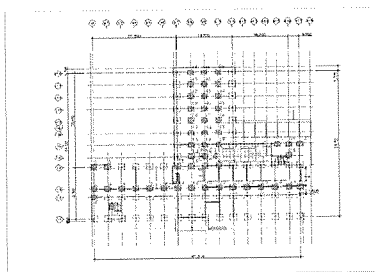
- ② 지반조건 : 실트질 점토  
 ③ 기초형식 : 파일기초(독립기초)  
 ④ 시공범위 : 바닥면적 전체  
 ⑤ 내용 : 기존 파일기초를 손상시키지 않고 부족한 지내력을 보강할 수 있는 방법만이 적용 가능함으로써 초기에 마이크로파일 등 여러 공법을 검토했으나 비용, 시간, 피트층 등의 문제로 여타 공법을 선정하기 매우 어려웠던 상황에서 이 공법을 채택하여 공사 실시.

### 2. OO대학교 도서관 증축에 따른 지반보강

- ① 증축규모 : 기존 3층에서 4층으로 증축  
 ② 지반조건 : 매립토  
 ③ 기초형식 : 독립기초(내림기초 : 기초 깊이 각각 상이)  
 ④ 시공범위 : 기둥(독립기초) 50개소  
 ⑤ 내용 : 약 40년 가량 경과된 건물로써 관련 도면이 없는 상태였으며, 지내력 보강이 필요한 기초를 보강하고자 할 때 소요되는 비용, 시간 및 현장 여건상 기존공법 채용이 부적합한 것으로 검토되어 사업체제가 상당히 지연된 상황에서 이 공법이 소개되어 발주처 심의를 통해 채택.



건물전경

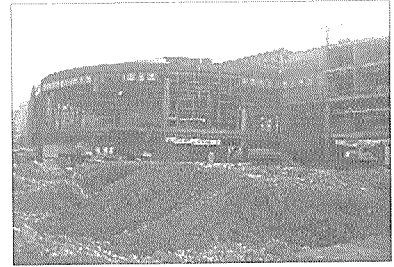


시공도면

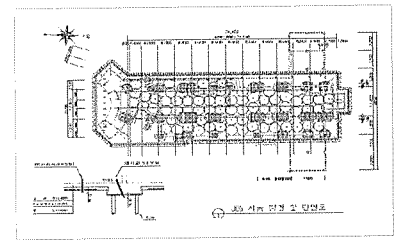
### 3. 철도청 통합 사령실 지반 보강

- ① 사유 : 설계변경에 의한 사용층증가  
 ② 지반조건 : 실트질 연약지반  
 ③ 기초형식 : 파일기초(MAT 기초)  
 ④ 시공범위 : 75m x 25m

- ⑤ 내용 : 신축공사 중 설계 변경에 따른 하중 증가로 지반 보강이 필수적이었으나 기존 파일의 손상없이 시행할 수 있는 공법선정이 불가하여 약 2개월간 현장이 중단된 상태에서 해당공법이 제출되어 철도청 본청 심의 후 채택.



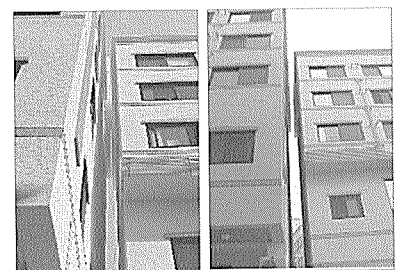
건물전경



시공도면

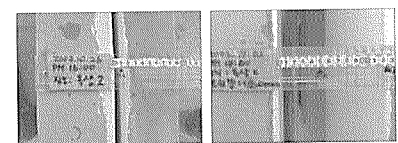
### 4. 시흥시 정왕동 OO빌딩 지반보강 및 복원공사

- ① 규모 : 지상5층 근강건물 2개동  
 ② 지반조건 : 점토질 연약지반  
 ③ 기초형식 : MAT 기초  
 ④ 시공범위 : 침하건축물 2개동  
 ⑤ 내용 : 연약지반에 파일없이 시공된 건축물 2개동에 각각 부등침하(약 20cm)현상이 발생되어 지붕층이 맞닿아 있는 상태였으며, 하루 2mm 가량의 침하가 진행되는 상태에서 지반보강 및 복원공사를 실시하였음.



(시공 전 / 옥탑층 밀착)

(시공 후 / 균등간격 이격)

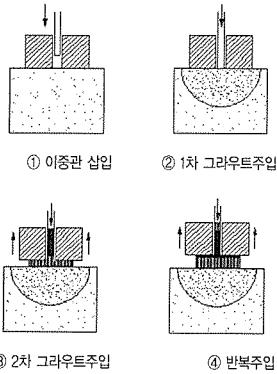


(시공 전 / 옥탑층 밀착)

(시공 후 / 옥탑층 이격)

## 원리 및 시공 순서

### 1. 원리



#### 1) 1차 그라우트 주입 : 지반보강

기초판을 관통하여 주입관을 설치한 후 지반보강을 위해 중결성 그라우트재(M-GROUT)를 주입한다. 중결성 그라우트재는 주입관에서 분출된 후 30~90초 이내에 경화(GEL化)되어 유동성을 상실하게 된다.

각 주입구별로 중결성 그라우트재를 반복 주입하면 주입된 그라우트재는 주입관으로부터 직경 2~3m 이내로 할렬·침투·압밀 주입되어 상부하중을 지지할 수 있을 정도의 충분한 보강이 이루어지게 되며, 더 이상 자재가 주입될 수 없을 정도로 충분히 주입될 경우 주입압력이 상승하고, 구조물에 일부 변위현상이 나타난다. 압력 상승 및 계측기를 통해 구조물의 거동이 확인될 경우 1차 그라우트 주입(지반보강작업)을 완료한다.

#### 2) 2차 그라우트 주입 : 구조물 복원

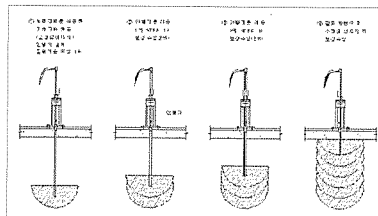
M-GROUT재의 주입으로 더 이상 주입재가 투입될 수 없을 정도로 지반이 보강되었음이 확인되었을 경우 보강된 지반과 기초판 사이에 급결성 그라우트재(S-GROUT, GEL TIME 1~3초)를 주입한다. 급결성 그라우트재는 주입관에서 분출된 후 1~3초 이내에 경화되기 때문에 주입재의 분출압력에 의해 상승된 구조물과 지반 사이에 그라우트재의 얇은 점막을 형성하게 된다. 1회 주입시 형성되는 점막은 약 0.1~0.3mm 이내로 철근콘크리트 구조물의 탄성변형 이내의 변위를 주게 되므로 균열

등의 손상없이 구조물을 복원시킬 수 있다.

3) 위 1), 2)항의 주입을 지속적으로 실시하면, 먼저 주입되어 지반에 할렬침투한 고결체 및 호모젤이 강도발현 도중에 있기 때문에 나중에 주입된 재료들이 먼저 주입된 재료들 사이로 침투된다. 침투한 그라우트는 구속영역 밖으로 퍼져나가려 하지만 재료의 젤타임에 의해 유동성을 상실하여 재료의 압력이 얇은 원반형상의 액층 상하로 넓게 전파된다. 이 압력을 액상쇄기력이라 하며, 이를 물리적으로 제어함으로써 지반을 보강 또는 구조물을 복원시키는 것이 JOG공법의 기본적 메카니즘이다.

4) 지반보강 또는 구조물 복원을 위해 기초구조물 일부분에 막대한 힘을 가하여 내부 응력의 균형이 깨지면 기초는 강성을 잃고 파괴되기 때문에 기초의 강성을 고려하여 복수의 포인트에 힘을 가하여 대응할 필요가 있으며, 주입조작을 순차·전환하는 인터벌 주입방법을 이용함으로써 구조체에 불균형응력이 발생치 않도록 작업이 가능하게 된다.

5) 지반보강공사 범위는 일반적으로 구조물 기초저면 1m 이내에서 실시하고, 기초 저면의 지반이 연약지반일 경우 아래 그림과 같이 깊은 지반에 대한 보강공사를 실시한다.



## 2. 시공순서

### (1) 플랜트 설치

약 20~30m<sup>2</sup>의 용지를 확보하여 배합장치와 약액펌프 등의 플랜트를 설치한다.

### (2) 천공 및 주입관 설치

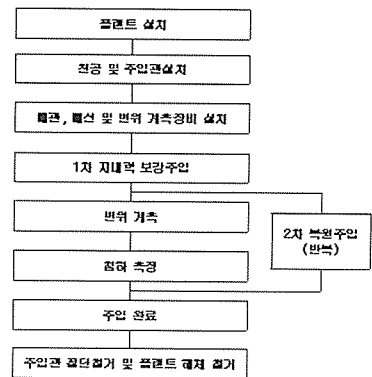
φ40mm 내외의 구경으로 일정 깊이까지 천공한 후 지반상태를 확인하고 주입관을 설치한다.

### (3) 변위계측장비 설치

작업장 내·외부에 레벨을 설치하여 주입 시작 전·중·후의 각 측정 포인트의 레벨값을 측정한다.

### (4) 주입 작업

중앙 제어장치에 각 포인트의 주입량을 설정하고 지반보강을 위한 주입을 실시한다. 토질에 따라 중결 및 급결 그라우트를 반복 주입하여 점지압의 균등화를 도모한다. 반력형성으로 인하여 구조물의 거동이 감지되면 각 포인트의 주입량을 정밀하게 제어하며, 보강 또는 복원 목표치에 다다를 때까지 인터벌 주입을 반복 시행한다.



(시공 흐름도)

## 결언

최근까지 건축물의 유지관리 분야에서 재료 및 보수·보강기술의 꾸준한 발전이 이루어지고 있으나 기존 구조물의 기초지반에 대한 효율적인 유지관리 방안 또는 효율적인 보강방안 개발은 극히 미진한 상태였다.

본문에 소개된 지반보강공법은 기존 구조물의 리모델링 시장이 점차 확대되고 있는 상황에서 경제성, 시공성, 현장접근성, 사용성 등의 측면에서 여타 공법에 비해 상당한 진전을 가져온 공법으로 평가되고 있으며, 그동안 대안을 찾을 수 없어 해결하지 못했던 건축사들의 고충을 일정부분 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 더욱 광범위한 문제점을 해소시킬 수 있고, 건설관련 시장의 새로운 활로를 열 수 있는 신기술 개발 및 출현을 기대한다. ■