

다점주입 제어방식을 이용하여 지반보강 후 침하된 구조물을 복원하는 공법(D-ROG공법 : 신기술 제470호)

Restoring Technology of settled Structure after Underground Strengthening through Automatic Control and Multi-point Injection



(주)지승구조건설 대표
고 효 석

1. 공법의 개요

1.1 개발 배경

건물의 고층화, 인접건물의 근접시공, 증축 및 용도변경 등은 기초 지반의 지내력 부족, 부등침하 발생의 원인이 되고 있다.

최근까지 이런 기초지반의 지내력이 부족한 경우나 침하가 발생한 구조물에 대하여 단순히 추가 침하방지라는 소극적인 방법과 지반에 대한 단순 추축 시공으로 시공 결과에 대한 품질확보나 시공 DATA를 확보할 수 없는 상태로 공사를 진행할 수밖에 없는 상황이었다.

또한, 구조물 내부로 대형장비를 반입해야 함으로써 시공이 불가능하거나 구조물에 2차 파괴를 일으키는 경우가 많았다.

다 룩 (D-ROG : Digitalized Restoring on Grout)공법은 이러한 문제점을 해결할 수 있는 획기적인 공법으로, 특수 그라우트재를 최대 128개소에서 동시 주입작업을 진행함으로

써 신속하게 기존건물의 기초지반을 보강하고, 침하된 구조물을 원상태로 복원할 수 있다.

특히, 간단한 작업공정과 특수하게 제조된 그라우트재의 주입과 동시에 첨단 계측기에 의한 계측 관리로 구조물 전반에 균등한 접지압을 형성시킴은 물론 mm 단위의 정밀하고 완벽한 복원이 가능한 공법이다.

1.2 공법 개요

다 룩(D-ROG)공법은 중결성 그라우트재와 급결성 그라우트재를 지반에 주입하여 지반내 주입범위를 제어하고, 초미립자(분말도 13,000cm²/g) 그라우트재를 지반에 침투, 압밀, 할렬주입함으로써 지내력을 증진시키고, 침하된 구조물을 복원할 수 있는 공법이다.



그림 1. 다 룩(D-ROG) 공법 개요

2. 공법의 원리

기초 하부에 첨단 그라우트재를 침투·압밀·할렬 주입하여 지반을 보강한 후 보강된 지반과 기초 구조물 사이에 다수의 주입관을 통해 균등한 압력과 함께 다점·순환·반복 주입으로 구조물을 복원한다.

2.1 (1)단계 : 주입관 설치

구조 검토 후 기초별로 기초천공($\phi 30\sim 40\text{mm}$) 및 주입관(2중관)을 설치한다.

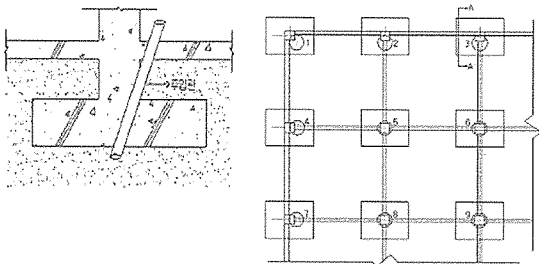


그림 2. 공법원리 1단계

2.2 (2)단계 : 지반보강

중결성 그라우트재(젤타입 30~40초)를 반복·순환주입하여 직경 3~4m의 반구형 보강체를 형성한다.

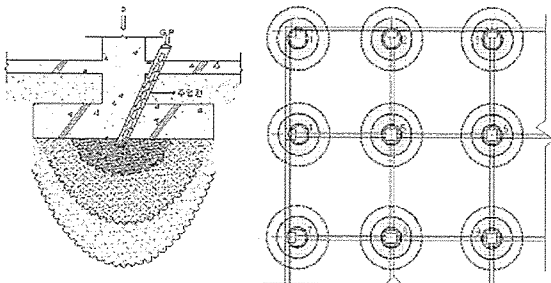


그림 3. 공법원리 2단계

2.3 (3)단계 : 주입관 설치

중결성 그라우트재를 주입하여 지반을 보강한 후, 젤타입 1~3초인 급결성 그라우트재를 지반에 주입하여 침하된 구조물을 원상태로 복원한다.

하부지반이 압밀된 상태에서 주입관을 통해 재료를 공급하면 지반에서 흡수할 수 있는 공간이 없을 경우, 주입관 내부에 압력이 누적된다. 누적된 주입압이 상부 하중을 초과하게 되는 순간 구조물에 상향변위가 발생하게 되며, 이 순간 누적된 재료가 기초와 지반사이에 형성된 공간에 분사되고, 분사된 재료가 1초 내에 경화됨으로써 구조물에 미세변위가 발생된다.

이러한 미세변위를 반복발생시킴으로써 mm단위의 정밀한 복원을 달성할 수 있다.

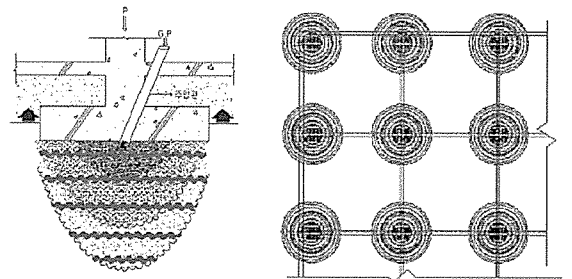


그림 4. 공법원리 4단계

3. 공법특성

3.1 다점주입

다점주입이란 주입관의 수량을 구조물의 규모, 면적 등에 따라 최대 128공까지 동시에 설치하고, 동시·순환·반복 방식을 채용하여 주입작업을 진행할 수 있음을 의미한다. 다수의 주입관에 주입시간(주입량), 주입

압, 미세변위 조절 등의 제어를 실시하기 위해서는 주입관마다 센서가 부착된 밸브(자동개폐밸브:A.S.V)를 설치하고 이를 중앙제어장치와 전선으로 연결하여 중앙제어장치에서 입력한 주입시간(주입량), 주입순서에 따라 자동으로 주입량, 주입순서가 제어된다.

3.2 동시·순환주입

펌프 1대에 연결되는 주입관은 작업성(공기)을 고려하여 일반적으로 32개소(각 주입관별 1회 주입시간을 3초로 설정할 경우 1회 순환에 약 96초 소요) 이내로 제한하며, 각 주입관의 배관을 직렬로 연결하여 순환주입방식으로 작업을 진행한다.

단위 플랜트당 펌프의 수량을 4개까지 증설하여 각 펌프당 32개소의 주입관을 배치할 경우 총 128개소의 주입관에 직렬·병렬방식으로 주입할 수 있어, 동시·순환방식의 주입을 진행할 수 있다.

3.3 미세주입

지반보강 및 복원용 그라우트재 주입시 1회 주입시간을 3~6초 내외로 제한하여 주입관별 1회 주입량(1리터 내외)을 미세량으로 한정한다.

주입량을 미세하게 한정하는 이유는 특정 주입관 하부에 다량의 주입재가 일시에 투입될 경우 지반의 접지압이 여타 부위에 비해 불균등하게 증가하거나, 불균등한 변위발생으로 구조물에 2차 응력이 발생될 가능성이 있어, 이를 방지하기 위해 미세량을 반복·순환 주입한다.

3.4 주입범위 조절

복원용 재료의 젤타임을 1~3초, 단위 주입시간을 3~6

초 내외로 조절함으로써 주입 1회당 0.1mm 내외의 미세복원량을 확보할 수 있으며, 재료의 확산범위를 1.2~3m 내외로 조절할 수 있다.

4. 공법적용에 따른 구조해석

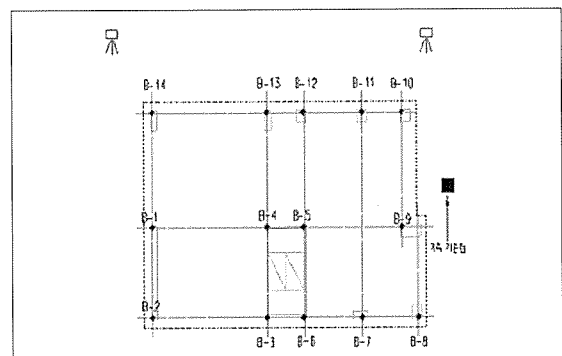
4.1 적용구조물 개요

- 위치 : 서울시 중랑구 00빌라
- 구조형식 : RC 라멘조 + RC 벽식구조
- 규모 : 5층(길이 17.7m, 폭 10.5m)
- 기초형식 : 매트기초

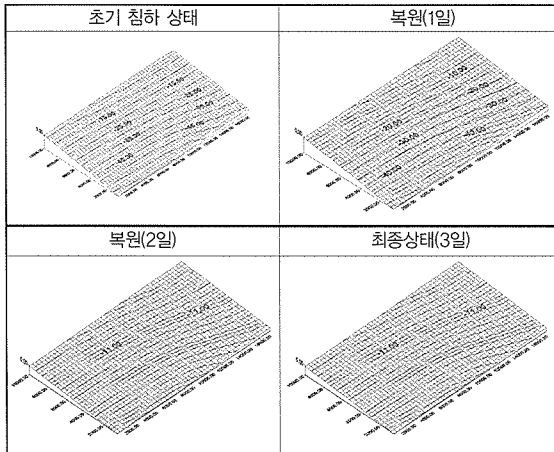


그림 5. 현장 전경

4.2 계측위치도



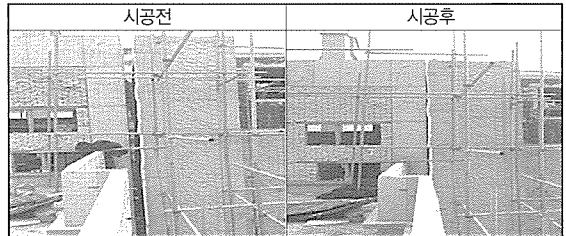
4.3 매트 기초의 단계별 복원 진행 상황



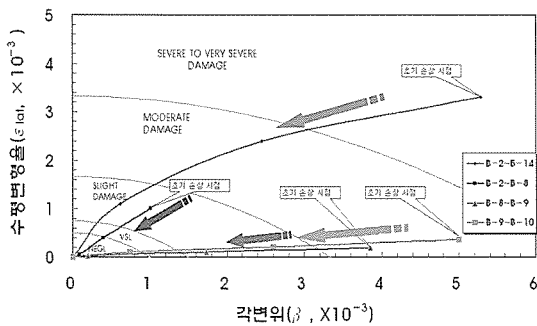
④ 침 하 량 : 280mm

2) 시공 개요 및 결과

기존 건물과 이격된 외부 기둥기를 바로잡기 위한 복원작업을 우선 실시하였으며, 복원 완료 후 G.L-5m 지점까지 깊은 지반 보강을 실시하였다.



4.4 손상 도표 검토



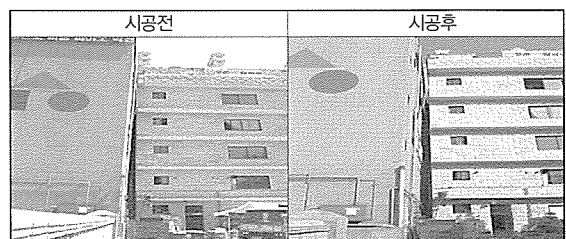
5.2 인천 00건물 복원공사

1) 구조물 개요

- ① 구조 : RC 라멘조
- ② 규모 : 지상 5층
- ③ 기초형식 : MAT 기초
- ④ 침 하 량 : 약 150mm(평가등급상 E)

2) 시공 결과

변위량이 평가등급상 A등급에 이른 상태에서 복원작업 완료



5. 시공사례

5.1 안양 00여중 구조물 복원공사

1) 구조물 개요

- ① 구조 : RC 벽식구조
- ② 규모 : 지상 6층
- ③ 기초형식 : MAT기초

5.3 공항 활주로 및 시설물 복원공사

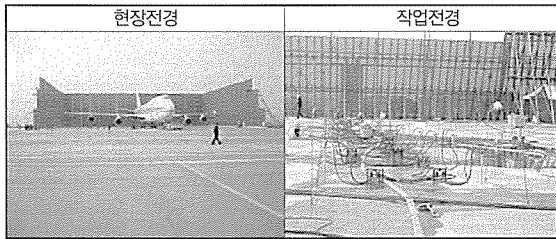
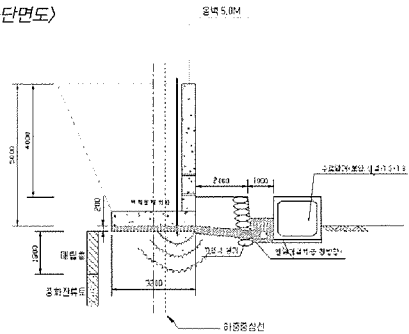
1) 구조물 개요

- ① 구조 : 바닥-무근콘크리트
- ② 규모 : 슬래브 면적 약 3,500㎡
- ③ 침하량 : 약 300mm

2) 시공 결과

시공오차 2mm 이내로 복원 완료

〈시공단면도〉



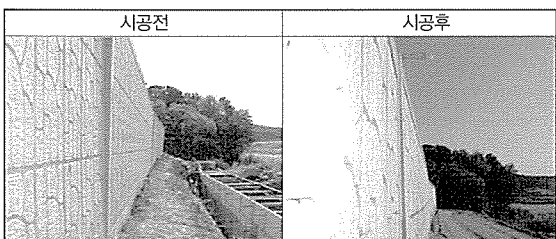
5.4 파주 옹벽 구조물 복원공사

1) 구조물 개요

- ① 구조 : L형 옹벽(THK. 400)
- ② 규모 : 높이 5m, 길이 40m
- ③ 침하량 : 최대 약 250mm (기울기 200mm)

2) 시공 결과

옹벽 수직도(90°)달성 후 공사완료



5.5 수로박스 복원공사

1) 구조물 개요

- ① 구조 : 박스컬버트
- ② 규모 : 2m×2m 수로박스(L=20m)
- ③ 침하원인 : G.L-10m 지점까지 터파기후 다짐을 충분히 하지 않은 상부층에 박스를 설치하여 침하 발생

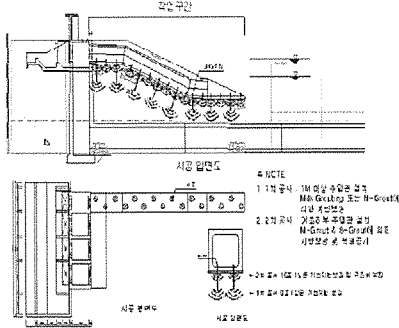
2) 시공 결과

수로박스(상부박스) 하부 지반의 공극/간극을 충전하기 위해 단순 공극채움용 그라우트를 깊은 심도에 우선 주입한 후 수로박스 기초 직하부에 보강용 그라우트 및 복원용 그라우트를 순차적으로 주입하여 구조물을 원상



회복하였다. 지반보강 전·후 지질조사를 실시한 결과, N치가 15~20 이상 증가한 것으로 나타났다.

(시공단면도)



6. 결론

최근까지 토목·건축 구조물의 유지관리 분야의 보강 공법 및 재료의 개발이 광범위하게 발전되어 왔으나, 구조물의 근간이 되는 기초지반에 대한 유지관리를 효율

적으로 실시할 수 있는 공법개발은 매우 미미한 수준이었다.

디록(D-ROG)공법은 침하된 구조물의 완전복원이 가능하고, 복원과정에서 불균등한 2차 응력이 발생치 않아 구조물 복원 후 간단한 구조체 보수·보강으로 구조물의 안전성을 확보할 수 있어 사용자들의 불안감 해소 및 안전성 확보에 적절한 공법이라고 할 수 있다.

또한, 상부구조물을 들어 올릴 수 있을 정도의 지반 지지력을 증진시킬 수 있어 구조물의 증축, 리모델링, 용도 변경 등 기존 토목공법으로 해결할 수 없어 사업자체가 취소되거나 불가능하였던 많은 프로젝트에 적용시킬 수 있는 공법이다. 디록(D-ROG)공법은 여타공법에 비해 안전성, 경제성, 작업성 측면에서 우수하여 국내 시공 사례가 증가되고 있으며, 신기술 지정 및 기술개발을 통한 적용범위 확대로 그 활용도가 점차 증대될 것으로 전망된다. ☺

참고문헌

1. 권오석, "기울어진 구조물의 복원을 위한 모형실험 연구", 석사학위논문 / 단국대학교, 2004
2. 日本薬液注入協會, "正しい薬液注入工法", 日刊建設工業新聞社, 2002
3. James Warner, P.E. "Practical handbook of grouting", Wiley, 2004