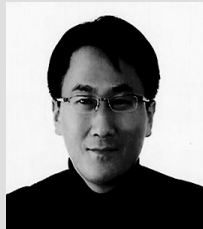


초미립자 급결성 그라우트재를 이용한 지반보강 및 침하구조물 복원 기술(D-ROG 공법)

Restoring Technology and Underground Strengthening of Settled of Structure through Ultra-fine Particles Grout(D-ROG Method)



신학용(Hak-Yong Shin) | (주)지승구조건설 기술연구소 소장 | js1088@korea.com

1. 서론

도심지 개발이 활성화되면서 주변 건물과 근접한 대지의 굴토작업이 필수적이며 이에 따른 지반교란 및 지하수위 변동 등이 부등침하의 주요 원인이 되고 있다. 이 외에도 증축 및 리모델링에 따른 지내력 부족, 연약지반 상부에 설치된 시설물, 지진/집중호우 등의

자연재해로 인해 지반보강이 필요한 경우가 있다. 이러한 문제의 원인이 되는 지내력 부족을 보완하기 위해 여러 종류의 지반보강 공법이 개발되어 활발히 이용되고 있다.

본 기술기사에서는 새로운 복합신소재를 활용한 초미립자 급결성 그라우트재를 이용하여 지반보강 및 침하된 구조물을 원래 상태로 인상복원할 수 있는 국토



그림 1. 침하구조물 복원 전/후 비교

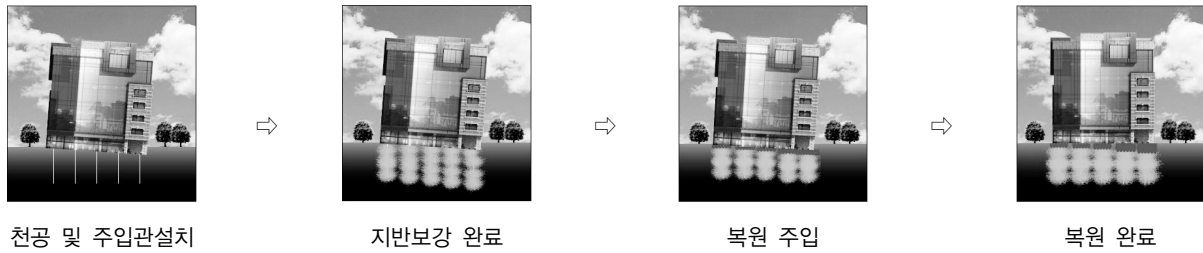


그림 2. 디록(D-ROG) 공법 개요도

해양부 지정 신기술 디록(D-ROG)공법을 소개하고자 한다. 해당기술은 원자력발전소, KTX, 공항, 고속도로, 항만, 빌딩 등에 다양하게 적용되고 있으며, 한국건설기술연구원/한국철도기술연구원 등과 공동 과제 수행은 물론 500여건 이상의 시공실적으로 안전성, 시공성, 경제성 등이 검증된 기술이다. 본 기사에서는 디록(D-ROG)공법에 대한 개략적인 소개와 현장에 성공적으로 적용된 시공사례들에 대해서 기술하고자 한다.

2. 디록(D-ROG) 공법

2.1 공법 개요

디록(D-ROG : Digitalized Restoring On Grout) 공법은 기초 하부에 초미립자 그라우트재를 침투·압밀·할렬 주입하여 지반을 보강한 후 보강된 지반과 기초 구조물 사이에 급결성 그라우트재를 다점·동시 주입하여 침하된 구조물을 mm 단위로 정밀하게 복원시키는 주입 공법이다.

2.2 공법 특징

- 1) 주입관 100여개 이상의 다점·동시주입 : 지반보강 및 침하구조물 복원공사시 구조물 기초의 불균등한 2차 응력 발생 방지에 효과적이다.
- 2) 미세·반복주입 : 1회 주입량을 소량으로 한정하여 반복 주입함으로써 시설물에 손상 없이 mm 단위의 정밀한 복원이 가능하다.
- 3) 현장 접근성 : 과학적이고 첨단화된 자동주입시스템을 소형화 시켰고, 탐차에 의해서 이동·주입·철수하므로 현장 내부로의 접근성 및 시공성 향상시킨다.
- 4) 재료의 강도 및 내구성 : 초미립자 마이크로시멘트를 포함한 무기계 재료 사용으로 내구성 및 침투성 우수하다.(1시간 재료압축강도 : 5~8kg/cm², 28일 재료압축강도 : 95~100kg/cm²)
- 5) 주입범위(보강범위) 조절 : 재료의 경화시간(gel time)을 1~60초 내외로 자유롭게 조절하여 주입재의 확산범위를 제어함으로써 품질 및 정밀성을 확보한다.

표 1. 기초 지반보강(침투 + 압밀 + 할렬) 주입


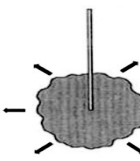

| 침투(Permeation)주입 | 압밀(Compaction)주입 | 할렬(Fracture)주입 |
|--|---|--|
|  |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> · 토립자 사이의 공극 충전 · Soil Cement 화 · 사질토: 공극이 큰 지반 · 초미립 입경 필요 | <ul style="list-style-type: none"> · 급결 주입재 반복 주입 · 점진적으로 확대 구근 형성 · 점토/느슨한 지반 · 급결재 사용 | <ul style="list-style-type: none"> · 중결 주입재 반복주입 · 토립자 내 할렬주입체 형성 · 점토/실트 지반 · 미세/반복 안정화 |



그림 3. 파스칼의 원리

2.3 지반 내 주입형태와 복원 원리

1) 주입형태의 구분

초미립자 재료를 지반에 침투시켜 토립자와 주입된 재료가 혼합된 상태에서 고화됨으로써 지내력을 향상시키게 된다. 모래층과 같이 공극이 균등하게 형성된 지반에서는 침투주입에 의한 지반보강이 이루어지고, 연약층 지반에서는 압밀주입 및 할렬주입을 반복함으로써 지내력을 향상시킬 수 있다.

2) 복원 원리

침하된 구조물을 원상태로 복원하는 기술은 파스칼의 원리를 응용한 기술이다. 파스칼의 원리는 밀폐된 유체의 어느 한부분에 압력을 가하면 다른 모든 부분에 그 압력이 다른 유체 내의 모든 곳에 같은 크기로 전달된다. 파스칼의 원리에 의해 그림 3과 같이 A1의 면적을 갖는 가압판에 P1의 힘으로 유체에 압력을 가하면 A1의 x 배의 면적을 갖는 A2의 가압판에 P1의 x 배의 힘을 갖는 P2의 힘이 작용하게 된다. 즉, A1에 해당하는 그라우트 주입관에 P1의 그라우트 주입압으로 A2의

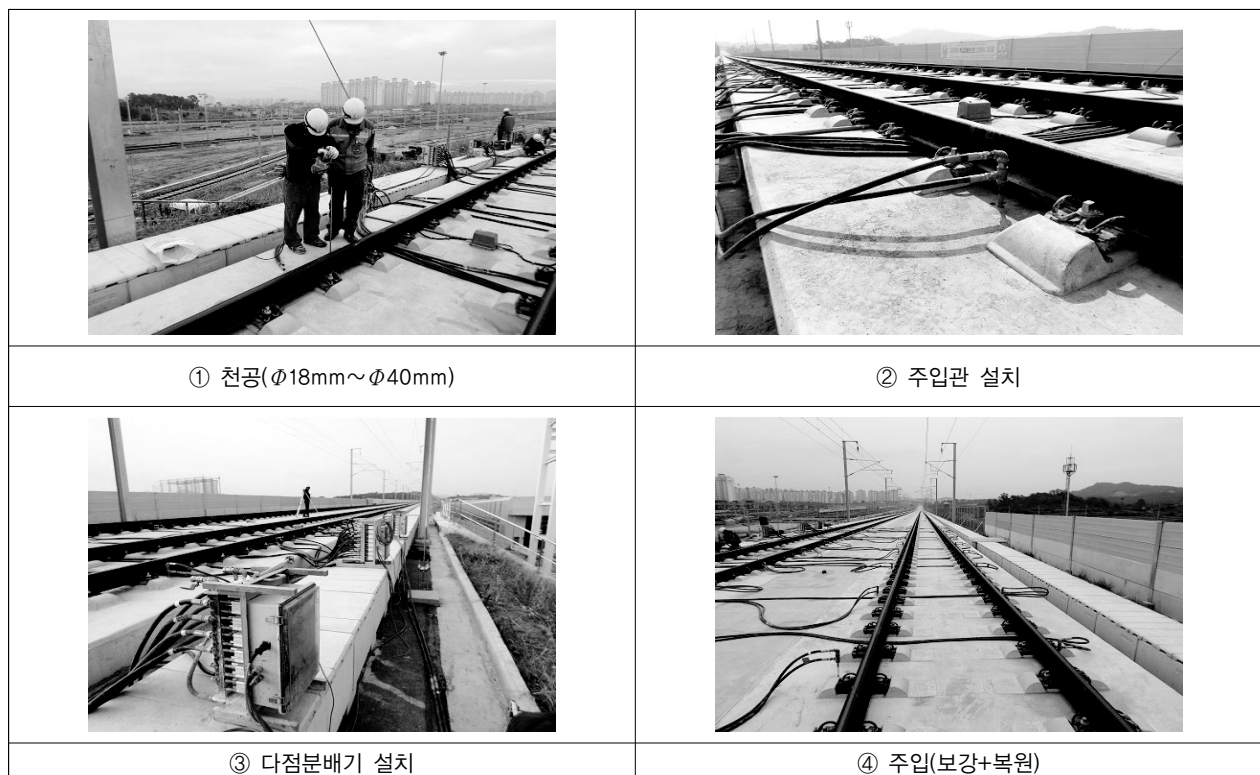
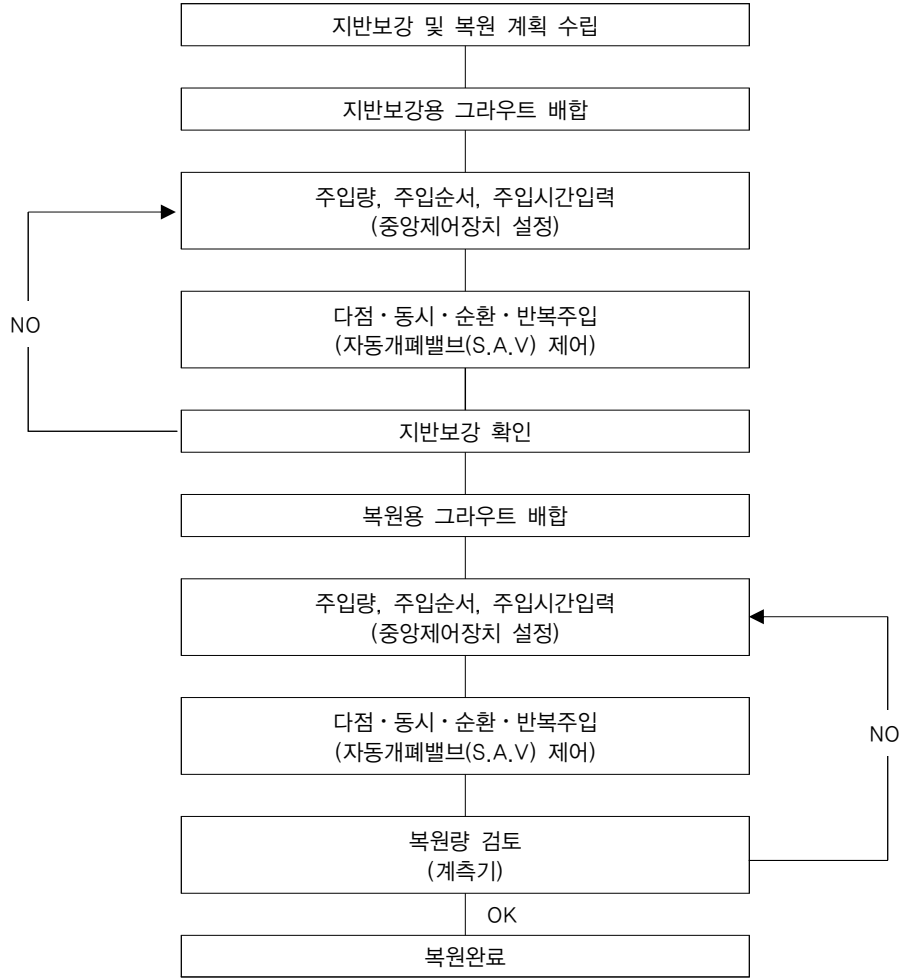


그림 4. 작업 순서 사진

표 2. 디록(D-ROG) 공법 순서도



주입재 확산 면적을 통해 P2에 해당하는 침하된 구조물을 인상시키는 주입 방식이다. 이것을 수식으로 표현하면 다음 수식(1)과 같다.

$$\frac{P1}{A1} = \frac{P2}{A2} \quad (1)$$

여기서, P1 = 주입압, P2 = 구조물 자중, A1 = 주입관 단면적, A2 = 주입재 확산면적

3. 시공 방법 및 순서

구조물 기초를 천공하고 소요깊이까지 주입관을 설

치한 후 1차로 초미립자 중결성 그라우트재를 침투·압밀·할렬 주입하여 기존 토립자 사이의 간극을 충전함으로써 지반을 보강한 후, 2차로 보강된 지반과 구조물 기초 사이에 초미립자 급결성 그라우트재를 다점·동시 주입하여 침하된 구조물을 정밀하게 복원한다.

4. 현장 시공 사례

4.1 침하구조물 복원

1) 고층 아파트 복원공사

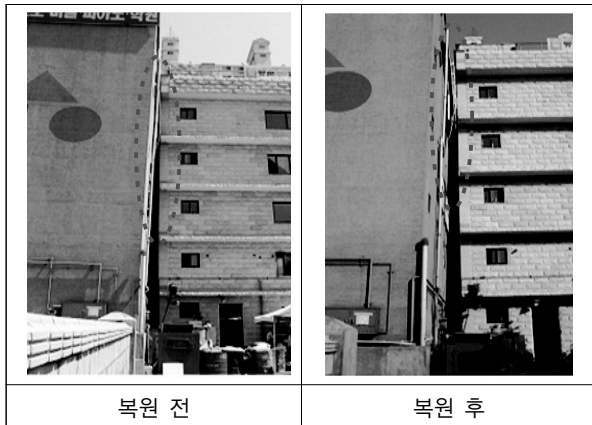
- 공사 개요

- 가. 규 모 : 지하1층, 지상17층
- 나. 구조형식 : RC 벽식구조
- 다. 기초형식 : MAT기초(1,200mm)
- 라. 침 하 량 : 95mm
- 마. 시공결과 : 연약지반 위 직접기초 시공으로 침하된 구조물을 기율기 A등급으로 복원완료



2) 근생건물 복원공사

- 공사 개요
- 가. 규 모 : 지상 5층
- 나. 구조형식 : RC 라멘조
- 다. 기초형식 : MAT기초(500mm)
- 라. 침 하 량 : 220mm
- 마. 시공결과 : 연약지반 미처리로 인한 침하된 구조물을 기율기 A등급 기준으로 복원 완료



3) 박스구조물 복원공사

- 공사 개요
- 가. 규 모 : 가로4.5m x 세로4.5m
- 나. 구조형식 : 철근콘크리트
- 다. 침 하 량 : 220mm
- 라. 시공결과 : 연약지반 위에 치환지반에 직접기초 시공으로 침하된 구조물을 복원 완료



4) 교각 복원공사

- 공사 개요
- 가. 규 모 : 폭 10m, 높이 30m
- 나. 구조형식 : 철근콘크리트(T형)
- 다. 침 하 량 : 100mm
- 라. 시공결과 : 경사지에 설치한 교각구조물 변형량 복원 및 지반보강



4.2 구조물 기초지반 보강

1) 공동구 기초지반 보강공사

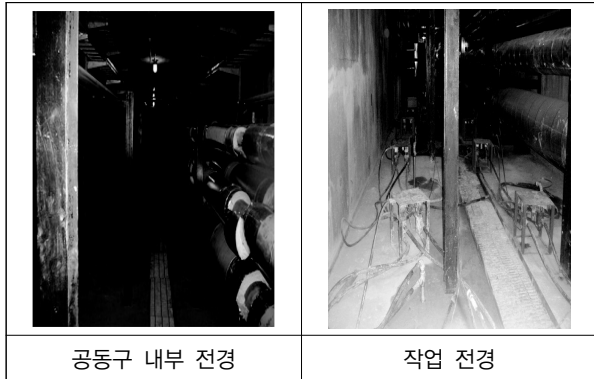
- 공사 개요

가. 규 모 : 폭 3m, 연장 35m

나. 구조형식 : RC 구조체

다. 기초형식 : MAT기초

라. 시공결과 : 되메움 다짐불량으로 공극이 발생한 구조물 기초 하부지반에 지반보강을 실시하여 지지력 확보



2) 문화재 지정건물 리모델링에 따른 지반보강공사

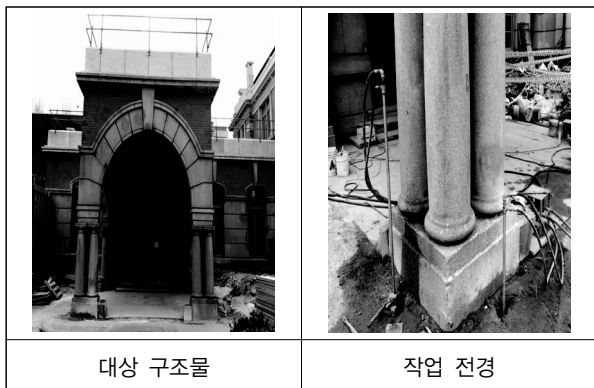
- 공사 개요

가. 규 모 : 지하1층, 지상3층

나. 구조형식 : R.C 기둥 + 연와조

다. 기초형식 : 나무말뚝기초

라. 시공결과 : 문화재 보존에 따른 리모델링 공사로 추가되는 상부하중에 견딜 수 있도록 기초지반 보강공사 실시하여 지지력 확보



3) 사옥 신축공사 현장 내 지반보강공사

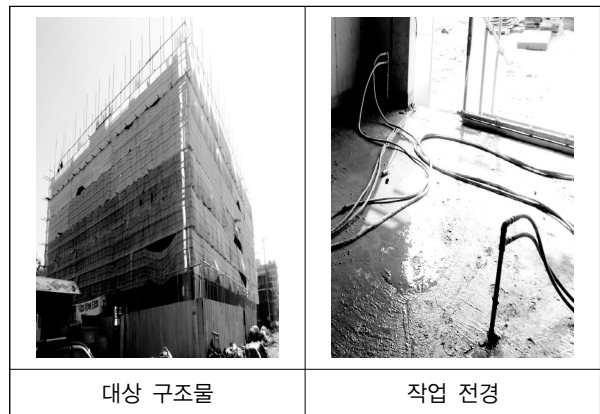
- 공사 개요

가. 규 모 : 지상4층

나. 구조형식 : R.C 라멘조

다. 기초형식 : 독립기초

라. 시공결과 : 연약지반 구조물 기초하부에 지반보강 및 공극충진 실시하여 지지력 확보



5. 결론

토목·건축 구조물 유지관리 분야의 보강공법 및 재료 개발이 광범위하게 발전되면서 상대적으로 뒤쳐졌던 것으로 평가되었던 기초지반 유지관리 기술도 최근 상당한 발전이 이루어져 다양하게 활용되고 있다. 소개된 디록(D-ROG) 공법은 새로운 복합신소재를 활용하여 초미립자 그라우트재의 경화시간을 자유롭게 조절할 수 있고, 저압·침투주입방식으로 안정적인 지반보강을 진행할 수 있으며, 다점·동시주입방식으로 침하된 구조물을 mm 단위로 정밀하게 복원할 수 있어 구조물의 장기적인 안정성 및 사용성을 확보할 수 있는 공법이다. 특히, 재료의 강도 및 내구성은 물론 확산범위를 자유롭게 조절할 수 있으며, 작업 중 불균등한 2차 응력 발생을 최소화시켜 대상구조물의 안전성은 물론 시공성, 경제성이 우수한 공법으로서 향후 적용범위 및 활용도가 더욱 높아질 것으로 전망된다.