

부등침하가 발생한 구조물의 기초지반보강 및 복원 공법에 관한 연구

Restoring Technology of Settled Structure and Ground Strengthening

유병역* 고효석**
Yoo, Byung-Eok Koh, Hyo-Seog

ABSTRACT

Conventionally, it used to be focused on simply prevention of further settlement of structures, where, much of problems were raised and sometimes the construction itself was not possible. Further, rough estimation of the ground, which is unseen, often incurred many troubles in the maintenance. D-ROG method is a high-tech technology that changes almost all of the concepts on the conventional grouting, is expanding its application scope spanning from the restoration of settled structures to ground strengthening works necessary for building enlargement and remodeling.

Keywords : Settlement Structures, Permeation, Compaction, Fracture, Multi-Points

1. 서론

건물의 고층화, 토목 현장 환경의 다양성, 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. 디록(D-ROG : Digitalized Restoring on Grout for settled structure-신기술 제470호)공법은 이러한 문제점을 해결하기 위해 접근한 결과, 다양한 기능의 특수 그라우트재를 용도별로 혼합하여 다점·순환·동시 주입작업을 진행함으로써 신속하게 기존건물의 기초 지반을 보강하고, 침하된 구조물을 mm단위로 정밀하게 복원할 수 있다.

2. 구조물 손상 발생 유형 및 사례

2.1 연약지반 압밀에 의한 부등침하 사례

기존구조물에 접하여 수평증축(지상6층, 매트기초, 벽식구조)을 실시하던 중 구조물에 침하가 발생한 사례이다. 기존 구조물은 파일기초로 시공되었고, 수평증축된 구조물은 다짐이 부족한 연약지반에 직접기초(MAT)로 시공되어 골조공사 진행 중 인접구조물과 280mm 가량 이격된 상태이다.

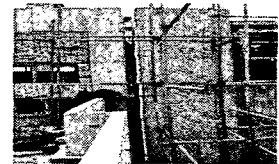


그림 1 연약지반 압밀에 의한 부등침하

2.2 구조물 시공 중 부력에 의한 상향변위

지상8층, 지하1층 건물의 지하층 골조공사중 집중호우시 부력이 발생하여 구조물에 80cm 정도의 상향변위가 발생하였고 배수과정에서 50cm가 침하되어 30cm의 잔류변위가 발생한 사례이다.

위의 발생 사례와 같이 구조물의 침하가 발생했을 때 추가 변형 손상없이 복원하기 위해, 디록(D-ROG)공법을 적용하였으며, 공법의 원리는 다음과 같다.

* 정희원, 강남대학교 도시건축공학부 교수
** 정희원, (주)지승구조건설 대표이사

3. 공법의 원리

디록(D-ROG)공법은 기초 하부에 첨단 그라우트재를 침투·압밀·할렬 주입하여 지반을 보강한 후 보강된 지반과 기초 구조물 사이에 다수의 주입관을 통해 균등한 압력 및 미세주입 방식으로 다점·순환·반복 주입함으로써 정밀하게 복원하는 주입공법이다.



그림 2 부력에 의한

본 공법은 중결성 그라우트재를 주입하여 지반을 보강한 후, 젤타임 1~3 초인 급결성 그라우트재를 지반에 주입하여 침하된 구조물을 원상태로 복원한다. 하부지반이 압밀된 상태에서 주입관을 통해 재료를 공급하면 지반에서 흡수할 수 있는 공간이 없을 경우, 결국 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 미세한 상향변위를 발생시킨다. 이러한 미세변위를 반복발생시킴으로써 mm단위의 정밀한 복원을 달성할 수 있다.

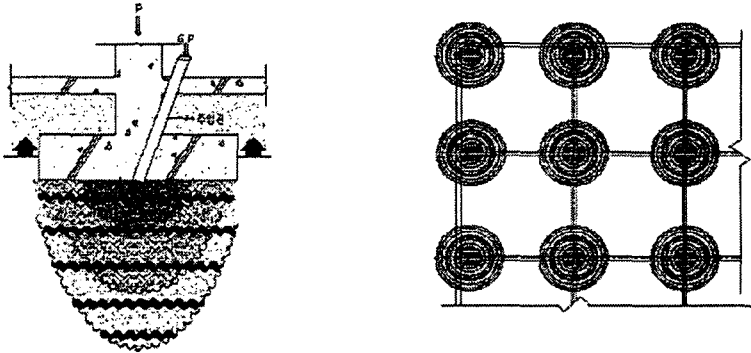


그림 3 디록(D-ROG)공법의 원리

4. 공법의 특징

4.1 다점·동시주입

디록(D-ROG)공법에서 다점주입이란 구조물의 규모, 면적 등에 따라 주입관의 수량을 최대 128개소까지 설치한 다음, 각 펌프에 설치된 주입관을 직렬배관에 의해 연결하여 순환·반복방식의 주입을 실시하고 펌프 수량이 증대됨에 따라 병렬배관을 병행하여 동시주입을 진행할 수 있는 것을 말한다.

4.2 미세주입

지반보강 및 복원용 그라우트재 주입시 1회 주입시간을 3~6초 내외로 제한하여 주입관별 1회 주입량(1리터 내외)을 미세량으로 한정한다. 이는 특정 주입관 하부에 다량의 주입재가 일시에 투입될 경우 지반의 접지압이 여타 부위에 비해 불균등하게 증가하거나, 불균등한 변위발생으로 구조물에 2차 응력이 발생할 가능성이 있어 이를 방지하기 위한 것이다.

4.3 주입범위 조절

중양제어장치를 통하여 주입관별 1회 주입시간을 3~6초(1~2리터) 내외로 조절하고 재료의 젤타임을 1초~90초 내외로 조절함으로써 주입 1회당 0.1mm 내외의 미세 복원량을 확보하고, 재료의 확산범위를 1~4m 내외로 조절할 수 있다. 실험결과에 따르면 경화시간 1~3초의 주입재를 주입할 경우 기초판의 변위량은 0.1~0.03mm 내외이며, 확산범위는 약 1.2m~2.8m로 조절할 수 있다. 재료의 젤타임이 길수록 재료의 확산범위는 넓어지고, 복원량은 적어지게 된다.

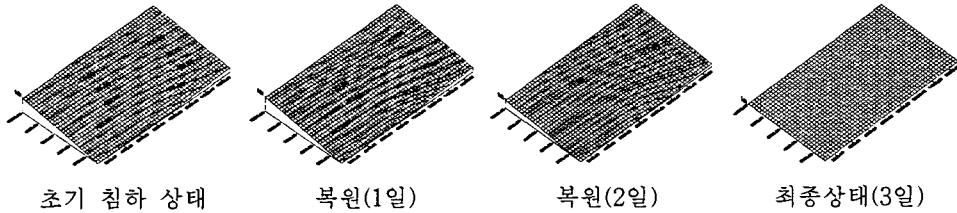
디록(D-ROG)공법은 부등침하가 발생한 넓은 면적의 구조물을 복원할 경우 각 지점(기둥, 벽체)간 복원량에는 차이가 있을 수밖에 없다. 각 지점간 총 복원량은 침하량에 의해 결정되지만 미세량 복원 과정에서 지점간 거리(S)대비 복원량(Δh)의 비율을 콘크리트 구조물의 탄성변형치 이내(0.3%)로 제한하여 구조물을 복원함으로써 구조물 전반의 파손, 균열 등의 손상을 방지하며 정밀한 복원이 가능하다.

5. 공법적용에 따른 구조해석

5.1 적용구조물 개요

- 위 치 : 서울시 중랑구 00건물
- 구조형식 : RC 라멘조 + RC 벽식구조
- 규 모 : 5층(길이 17.7m, 폭 10.5m)
- 기초형식 : 독립기초

5.2 기초단계별 복원진행상황



5.3 손상도표검토

본 공법의 현장 적용시 구조물 변위 발생에 따른 손상정도와 구조물 복원에 따른 구조물의 안전성을 확인하기 위하여 Son&Cording(손무락, 2003)이 제안한 손상도표를 활용하였다. 문제발생시점에서의 구조물 손상정도 평가는 계측을 통하여 구조물에 발생된 각변위 및 수평변형율을 검토하여 손상도표를 그려봄으로써 현재 상태에서 구조물 손상정도를 평가할 수 있다. 또한 복원시 구조물 안전성 평가를 위해 시공도중 계측된 결과를 손상도표 단계별로 그려봄으로써 복원 효과를 검증할 수 있다.

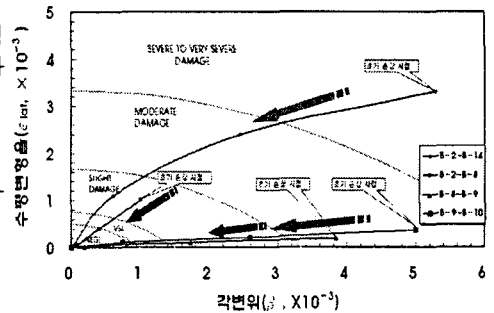


그림 4 손상도표 검토

6. 적용사례

6.1 토목구조물

6.1.1 공항 활주로 복원공사

- 구 조 : 바닥무근 콘크리트(THK=450)
- 규 모 : 바닥슬래브 면적 약 3,500m²
- 침하량 : 약 300mm
- 지하수위 저하로 인하여 일부 구간에 부등침하 발생
- 기타적용사례 : 대형 공장 바닥 슬래브, 주차장 등

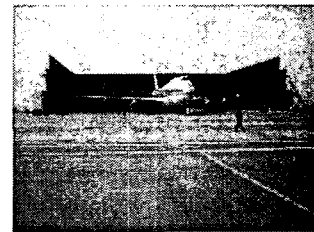


그림 5 현장전경

6.1.2 옹벽구조물 복원공사

- 구 조 : L형 옹벽(THK=450)
- 규 모 : 높이 5m, 길이 40m
- 지반조건 : 천변 매립토
- 침하량 : 약 150mm
- 천변 매립지에 옹벽기초를 설치한 후 다짐이 부족한 매립지의 압밀로 옹벽 상부 토압 작용시 부등침하 및 전도현상 발생.
- 기타적용사례 : 교대측방이동 등

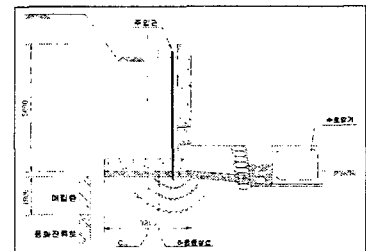


그림 6 옹벽구조물 복원공사

6.1.3 수로박스 복원공사

- 구 조 : 박스컬버트
- 규 모 : 2mx2m, L=30m

- 침하량 : 약 60mm
- GL-10m 지점까지 터파기 후 다짐을 충분히 하지 않은 상부층에 박스를 설치하여 침하가 발생. 구조물의 침하로 일부 바닥슬래브에 편칭과파괴현상이 나타나고 있으며, 구조체 전반에 균열이 발생한 상태이다.
- 기타적용사례 : 통로박스 등

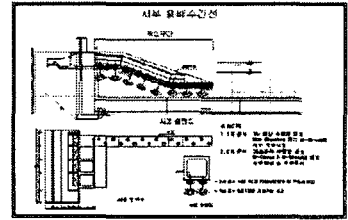


그림 7 수로박스 복원공사

6.2 건축구조물

6.2.1 00여중 복원공사

- 구 조 : RC 라멘조+벽식구조
- 규 모 : 지상5층
- 기초형식 : MAT기초(THK=700mm)
- 본 구조물은 기존 건물에 수평 증축을 실시하는 과정에서 연약지반에 매트 기초로 시공하여 시공중 압밀침하가 발생한 사례.

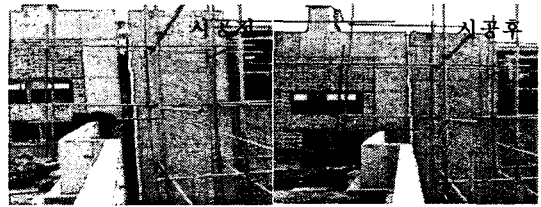


그림 8 00여중 복원공사

6.2.2 00건물 복원공사

- 구 조 : RC 라멘조
- 규 모 : 지상 5층
- 기초형식 : MAT 기초(THK 600mm)
- 침하량 : 약 150mm
- 본 구조물은 연약지반(깊이 8m)위 매립지 (G.L 0~3m)에 파일공사없이 MAT기초로 시공된 건물로서, 준공 후 압밀침하에 의해 부등침하가 발생한 사례.

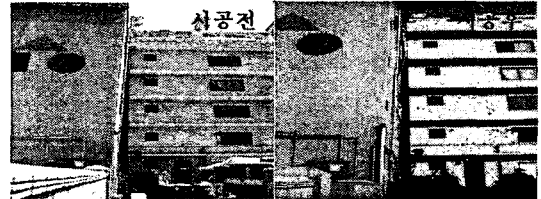


그림 9 00건물 복원공사

7. 결론

최근까지 토목·건축 구조물의 유지관리 분야의 보강공법 및 재료의 개발이 광범위하게 발전되어 왔으나, 구조물의 근간이 되는 기초지반에 대한 유지관리를 효율적으로 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, 용도변경 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 시공사례가 증가되고 있으며, 신기술 지정 및 기술개발을 통한 적용범위 확대에 그 활용도가 점차 증대될 것으로 전망된다.

참고문헌

1. “正しい薬液注入工法”, 日刊建設工業新聞社(2002)
2. James Warner, P.E.(2004). "Practical handbook. of grouting", Wiley
3. 손무락, “도심지에서의 지반 및 터널굴착에 따른 지반변위가 인접건물에 미치는 영향 및 손상도 예측”, 대한토목학회논문집, Vol.25, No.3c, 2005, pp.189~199
4. 천병식, “최신지반주입(이론과 실제)”, 원기술
5. 최항길, “최신지반주입공법(이론·기술총람)”, 원기술
6. “最新地盤注入工法技術總覽” 最新地盤注入技術總覽編集委員會(1997)
7. “建築基礎設計のための地盤調査計劃指針”, 日本建築學會(2005)