

## 침하건물 복원을 위한 정밀 다점 주입공법의 적용

### Application of D-ROG technology for restoration of the subsided building

이주형<sup>1)</sup>, Juhyung Lee, 고효석<sup>2)</sup>, Hyoseog Koh, 홍진표<sup>3)</sup>, Jinpyo Hong, 박재현<sup>4)</sup>, Jaehyun Park, 조삼덕<sup>5)</sup>, Samdeok Cho

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 지반연구실 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology

<sup>2)</sup> (주)지승구조건설 대표이사, CEO, Jeeseung Construction Company

<sup>3)</sup> KT 자산개발센터 과장, Manager, Assets Development Center, KT

<sup>4)</sup> 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology

<sup>5)</sup> 한국건설기술연구원 지반연구실 책임연구원, Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Construction Technology

**SYNOPSIS** : This paper presents a case study that achieved both of serviceability and safety of the building through soil reinforcement and restoration around foundations subjected to serious differential settlement using D-ROG method. The building which has one basement floor and three ground floors is founded on soft ground and differential settlement occurred to the maximum extent of 678mm. The foundation type of the building is a independent mat foundation. Soil profiles consist of landfill layer, alluvial layer, weathered rock, and soft rock. The bearing layer consisting of gravel and weathered rock is located 16.0~17.0m below the bottom of the building. As a result of soil reinforcement and restoration, the recovery ratio of more than 90% can be attained with the maximum set-up of 657mm.

**Keywords** : grouting, D-ROG, foundation, restoration, reinforcement, settlement

## 1. 서론

토목·건축 구조물의 유지관리 분야에서 지난 1996년 특별법(현재는 전문건설업법으로 편입) 제정을 전후로 최근까지 재료개발 및 시공기술의 발전이 지속적으로 이루어져 왔으나, 구조물의 근간이 되는 기초 및 지반 보강에 대한 효율적인 유지관리 공법의 개발은 미미한 수준이다. 구조물의 증축, 용도변경 등에 의해 지내력이 부족한 경우나 부등침하 등의 문제 발생시 국내에서 사용하고 있는 기존의 보수보강 공법들은 다음과 같은 여러 가지 문제점들을 내포하고 있다. 먼저 대형장비를 협소한 구조물 내부로 반입시 장비반입을 위한 구조물 손상 및 추가적인 보수공사가 수반되거나, 시공자체가 불가하여 계획이 무산되는 경우가 발생한다. 최근 일부 소형화된 공법이 적용되어 기초 및 지반에 대한 보강 및 복원공사를 시도하고 있으나, 소음이나 진동 등으로 시공중 시설물의 사용에 어려움이 있는 한계가 있다. 또한 추가침하 방지라는 소극적 대처방식 이외에 침하구조물의 안전성, 사용성을 확실하게 담보할 수 있는 구조물 복원공법이 부재한 실정이다. 그리고 침하된 구조물에 불균등 변위 발생 없이 복원하기 위해서는 구조물 전반에 균등한 압력을 가할 수 있는 시스템 및 제어기술이 수반되어야 하나, 이를 만족시킬 수 있는 공법이 전무한 실정이다.

국외의 경우 북미지역에서는 침하된 구조물의 외곽 기초를 일부 드러낸 후 기초하부에 유압잭이 장착된 나선형 피어(pier)를 지중에 설치하여 침하구조물 복원을 시도하고 있으나, 터파기공사가 필수적으로 수반되어 내부 기둥이 있는 구조물에 적용하기 어려우며, 목조주택 등 경량구조물의 복원 등에 한정적으로 사용되고 있다. 일본에서는 쏘일그라우트(Soil Grout) 방식의 특수한 재료를 개발하여 주입구를 통해 반복적으로 주입재를 주입하는 방식으로 복원기술의 상당한 진전을 보이고 있으나, 바닥면적이 넓은 구조물 또는 중량 구조물 복원에는 한계가 있는 실정이다. 이상과 같이 구조물 유지관리에 기존 공법을 적용하는데 한계가 있고, 도심지내 건축물 및 구조물 등의 근접시공이 불가피한 상황에서 건설현장 주변에서 발생하는 다양한 민원의 신속한 처리 및 구조물의 안전성, 사용성을 담보할 수 있는 복원기술이 절실히 요구되고 있다(한국건설기술연구원, 2008).

최근 이러한 문제점들을 개선한 정밀다점 주입공법이 개발되어 다양한 도심지 현장의 근접시공에 적용되고 있다. 약액주입방식의 정밀다점 주입공법은 초미립자 주입재를 다수의 주입관에 동시 주입함으로써 신속하게 구조물의 기초지반을 보강하고 침하된 구조물에 불균형 2차응력 발생 없이 원상태로 복원할 수 있다. 특히, 간단한 작업공정과 계측관리로 mm 단위의 정밀한 지반보강 및 복원이 가능하다. 본 연구에서는 부등침하가 발생한 울진지역의 도심지 건축물에 정밀다점 주입공법을 적용하여 기초 지반보강 및 복원공사를 실시하여 건물의 사용성 및 안전성을 확보한 사례에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. 정밀다점 주입공법의 개요

정밀다점 주입이란 구조물의 규모, 면적 등에 따라 플랜트에 펌프 및 주입관의 수량을 능동적으로 배치하고 각 펌프에 설치된 주입관을 직렬배관으로 연결함으로써 순환·반복 주입이 가능한 방식이다. 본 공법은 중결 및 급결성의 내구성 주입재를 기초하부 지지지반에 다점·반복방식으로 주입하는 사이에 발생하는 강력한 액상쇄기력을 이용하여 부등침하된 구조물을 복원하는 기술로서 2.0 SHOT 주입방식을 사용한다. 우선 1차로 주입되는 중결성(겔타임 30~90초) 주입재는 지반에 침투·할랄 주입되어 주입관 선단을 중심으로 반구상의 개량체를 형성하여 지반을 강제적으로 압밀·강화함으로써 지반반력을 충분히 증대시킨다. 1차 주입재는 재료의 겔타임을 30~90초로 조절함으로써 투입범위를 3~4m 정도로 제한할 수 있다. 2차로 주입되는 급결 그라우트재는 고압주입에 의해 보강된 지반과 구조물 기초 사이의 경계면에 주입되어 구속영역 이외의 얇은 액층으로 확산되려 하지만 재료의 급격한 경화(겔타임 1~3초)에 의하여 유동이 저지됨에 따라 주입압력이 지반(하향력)과 기초구조물(상향력) 상하의 넓은 면적으로 확산된다. 이렇게 확산되는 2차 주입재의 압력이 지반과 구조물 사이에 썩기와 같은 역할을 하여 부등침하된 구조물을 복원하는 역할을 한다(그림 1).

이렇게 발생한 상향력이 구조물 기초의 특정 부분에만 집중될 경우 구조물에 부분적인 2차 응력을 유발하게 되고, 이로 인해 구조물의 응력균형이 깨질 경우 기초 또는 기타 구조부재는 강성을 잃어 파괴될 수 있다. 정밀다점 주입공법은 구조물 기초 전반에 균등한 접지압을 형성시킬 수 있도록 다수의 주입관을 설치한 후 동시·순환방식으로 주입함과 더불어 주입량 및 주입압을 정밀하게 제어함으로써 복원력 작용시 구조물에 불균등 변위 발생을 방지할 수 있다. 주입방식은 각 주입관별 동시·순환 방식으로 소량의 펌프로 다수의 주입 포인트를 소화할 수 있게 하였으며, 자동화된 원격제어시스템에 의해 주입량을 미세조절 함으로써 각 부위별 변위량을 구조체의 탄성변형치 이내로 조절할 수 있어 균열 등의 부작용을 방지할 수 있다.

펌프를 통하여 주입되는 주입재의 이동관로는 2중관(A관, B관)으로 구성되며, 주입포인트마다 자동개폐밸브를 연결, 배치하여 주입순서 및 주입량을 제어할 수 있다. 또한, 주입작업 진행에 따른 구조물의 변위량을 실시간으로 체크함으로써 주입관별 주입량의 미세조절이 가능하여 구조물 복원량을 mm 단위로 조절할 수 있다.

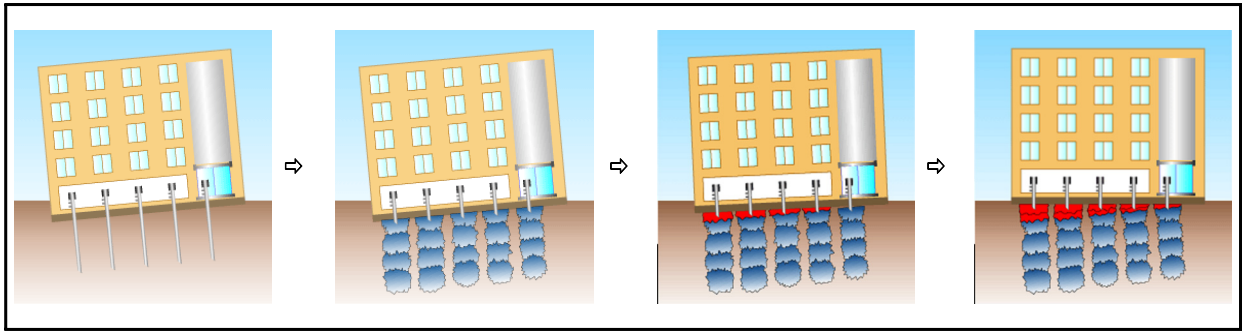


그림 1. 정밀다점 주입공법의 개요

### 3. 현장개요

#### 3.1 지반조건

대상현장은 행정구역상 경북 울진군 울진읍 읍내리 일원으로 부지 주변에는 일반 주택가들이 인접해 있으며 비교적 높은 구릉성 산지가 주변의 주요 산계를 이루고 있다. 현장 지반조사는 2008년 3월에 총 5개소에 대해 수행되었다. 시추조사 결과에 따르면 지층의 구성상태는 지표로부터 매립토층, 충적토층, 풍화암층, 연암층의 순으로 이루어져 있으며, 주된 지층을 이루고 있는 충적층은 대부분 실트질 점토로 구성되어 있으며 매우 연약한 지층상태를 보이고 있다(표 1). 보강공법 적용시 지하수의 영향과 대책을 검토하기 위하여 지반조사시 공내 지하수위를 측정하였다. 공내 지하수위 측정결과, 부지내 지하수위는 대체로 GL(-) 1.2~2.2m 지점의 매립층 및 퇴적층 내에 분포되어 있는 것으로 조사되었다.

표 1. 지층의 구성상태

공 번	층 후 (m)				총심도 (m)
	매립층	충적층	풍화암	연암	
NH-1	2.0	23.7	-	2.3	28.0
NH-2	7.0	18.8	-	2.2	28.0
NH-3	4.0	21.1	-	2.0	27.1
NH-4	2.5	18.5	0.5	2.0	23.5
NH-5	2.8	21.8	-	2.8	27.0
평 균	3.7	20.8	0.1	2.3	26.7

#### 3.2 지하건물 현황

대상건물은 울진지역의 연약지반에 시공된 지하 1층, 지상 3층 규모의 도심지 건축물로 1976년 준공된 후 1993년에 일부 증축되어 사용중인 콘크리트(R.C) 구조물이다. 본 건물기초는 그림 2의 ■ 표시한 지점에 독립기초 및 매트기초 형태로 설계되어 있다. 2008년 현재까지 사용연한은 약 32년이며, 건물자체의 부등침하 발생으로 건물이 기울어져 있는 상태이다. 정밀 계측결과 현재까지 발생한 부등침하량은 최대 약 678mm 정도인 것으로 조사되었다(그림 2).

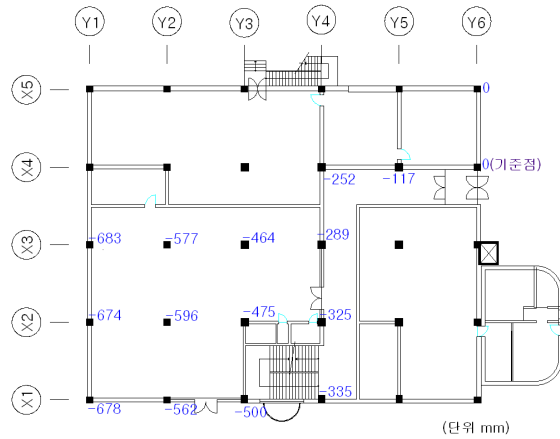


그림 2. 대상 침하건물 1층 평면도 및 침하량

## 4. 지반보강 및 침하복원

### 4.1 지반보강 주입

지반보강 주입은 기초지반의 지지층으로부터 상향식 인발방식에 의해 주입하는 것으로 계획하였다. 주입을 위하여 천공부위 지하매설물 및 침하건물의 상태를 조사한 후 코아드릴 및 유압천공기를 이용하여 건물기초 및 지지층까지 천공하였다. 천공 후 지지층 깊이와 기초두께를 확인하여 주입관을 제작 설치하였다. 본 공법의 장점 중에 하나는 협소한 구조물 내부에 플랜트를 설치할 필요 없이 구조물 인근 (약 100m 범위)에 플랜트를 설치하여 주입관과 플랜트를 주입호스로 연결하여 작업이 가능하다는 것이다. 배합장치, 주입펌프 등의 플랜트를 정위치에 설치한 후 주입호스를 압력계에 연결시킨 후 삽입된 각각의 주입관에 자동개폐밸브를 설치하고 고압호스로 주입펌프와 연결하여 주입장치 설치작업을 완료하였다. 주입작업은 1 STEP 간격을 0.5m 이내로 하여 단계별로 인발하면서 주입을 실시하였으며, 건물기초 저면 1.0m 깊이까지 지반보강 주입을 실시하였다. 시공중 구조물 내·외부에 레벨측정기를 설치하여 기초나 기타 구조체의 상태를 수시 확인하였다.

지반보강용(S-Grout) 주입재의 표준 배합비는 표 2와 같다. 액상형 재료에는 물과 함께 중결 경화제 (겔타임 30~90초)와 급결 경화제 MS-β제(겔타임 1~3초)를 적절히 혼합하여 사용하였다. 분말형 재료에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트로 브레인비 표면적은 2,700cm<sup>2</sup>/g 정도이다. MS-A제는 급결성 주입재 배합에 사용하는 중화제(경화제)이며, MS-P제는 브레인비 표면적 13,000cm<sup>2</sup>/g의 초미립자로 침투성이 우수하고 용탈현상 방지로 내구성을 증진시키는 역할을 한다.

표 2. 지반보강용(S-Grout) 주입재의 표준 배합비 (0.4 m<sup>3</sup>당)

액상형 재료			분말형 재료			
경화제(ℓ)	물(ℓ)	MS-β(ℓ)	시멘트(kg)	MS-A(kg)	MS-P(kg)	물(ℓ)
50~60	132	10~15	80~120	1~5	1~10	200

지반보강 주입 개요도는 그림 3과 같다. 천공결과 본 건물기초는 그림 3(a)에서 Y1, Y2 열의 경우 바닥슬래브(1F)로부터 5.0m 위치에 독립기초 형태로 존재하는 것으로 확인되었으며, 나머지 열의 경우 바닥슬래브(B1)로부터 1.5m 위치에 매트기초 형태로 존재하는 것으로 확인되었다. 또한 건물기초 바닥으로부터 16.0~17.0m(약 GL-21m) 깊이에서 지지층으로 활용 가능한 자갈층 및 풍화암층이 나타나 이를 기초보강 지지층으로 결정하고 개랑깊이를 결정하였다. 건물의 침하형태 및 지반보강 심도는 그림 3(b)

와 같다.

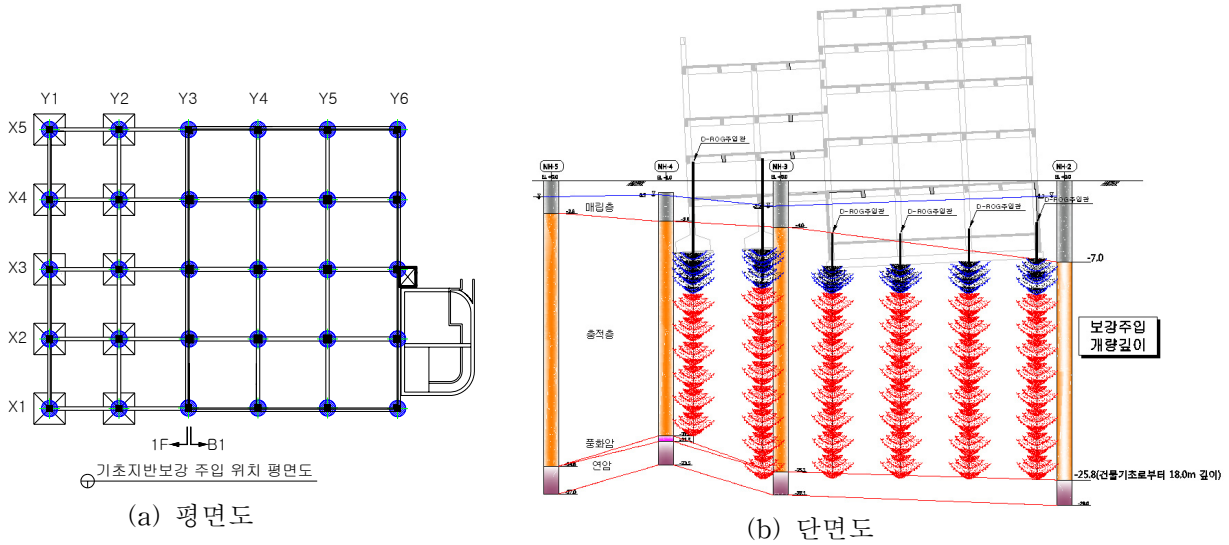


그림 3. 지반보강 주입 개요도

#### 4.2 침하복원 주입

지반보강 주입 완료 후 건물 거동 및 기타 건물내 각종 시설물의 상태에 대한 정밀한 사전조사를 실시하여 복원작업시 구조물에 이상거동이 발생하지 않도록 조치하여야 한다. 복원용 주입공은 건물이 복원되면서 편심이 발생하지 않도록 적절한 위치를 선정하여 건물 기초(독립기초, 매트기초) 직하부에 별도로 천공하였다. 구조물 내·외부에 레벨측정기를 설치하여 구조물에 발생하는 변화를 지속적으로 관찰하면서 복원작업을 수행하였다. 침하복원 주입 개요도는 그림 4와 같다.

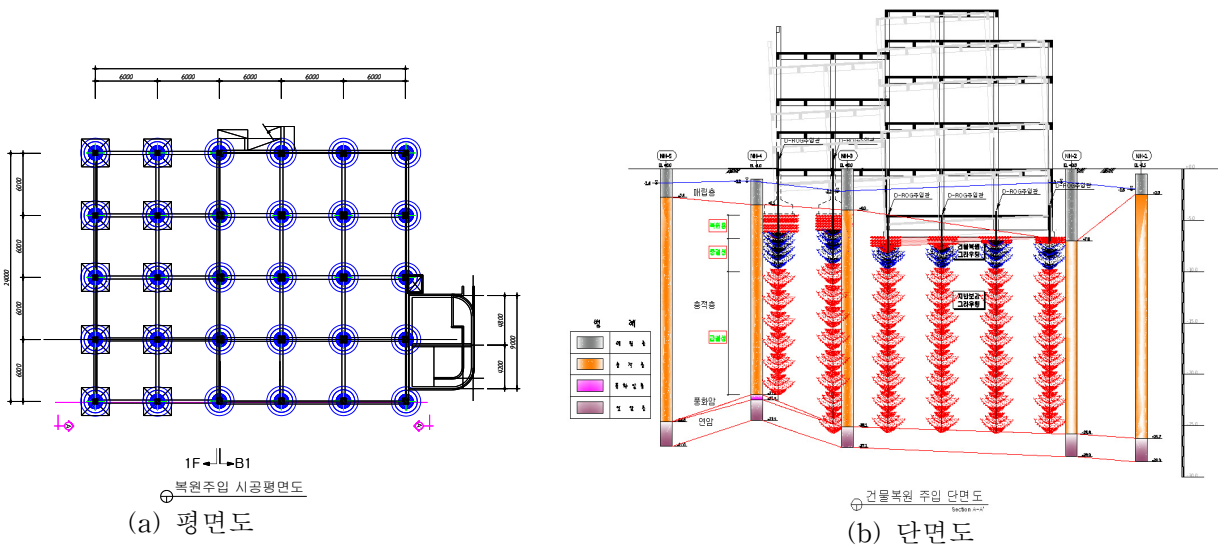


그림 4. 침하복원 주입 개요도

복원주입 완료 후 복원량 확인 검측을 실시하였다. 표본층(1층)의 바닥레벨을 측정하여 최초 레벨 측정값과의 비교를 통해 복원된 높이를 확인하고, 전체적인 복원량 및 복원율을 산정하여 건물의 안전 및 사용성에 이상이 없는지를 확인하였다. 그림 5는 확인 검측을 통해 조사된 각 위치별 복원 전후 1층 바닥슬래브의 높이이며, 주요 지점별 복원량 및 복원율을 표 3에 정리하였다. 복원공사전 침하량 대비 최종 복원량을 분석한 결과 최대복원량은 측정 ⑬에서 657mm였으며, 평균 복원량은 약 420mm인 것으로

나타났다. 또한 각 측정 지점별로 비슷한 복원율을 보이는 것으로 나타났으며, 기준점에 대한 측정의 전체적인 복원율은 90% 이상인 것으로 나타났다. 또한 각 열과 행에 대한 기울기도 사용성에 지장이 없는 1/250 이상이 확보된 것으로 검토되었다.

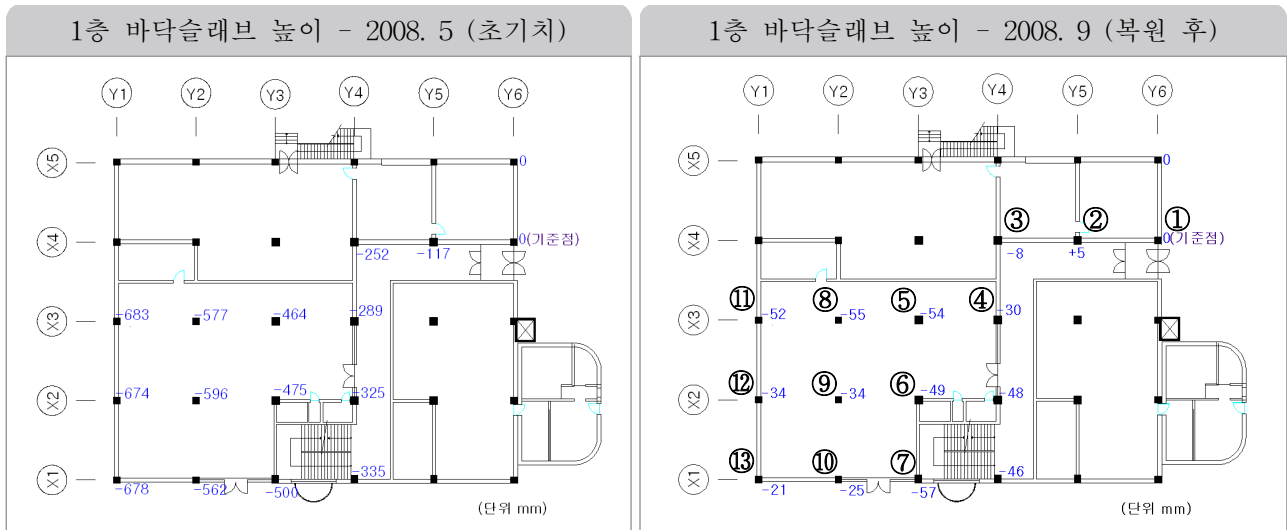


그림 5. 복원 전후 1층 슬래브바닥의 높이

표 3. 1층 바닥슬래브 주요 지점별 복원량 및 복원율

측정위치	초기 측정값 (mm)	복원후 측정값 (mm)	복원량 (mm)	복원율	측정위치	초기 측정값 (mm)	복원후 측정값 (mm)	복원량 (mm)	복원율
①	0	0	0	100%	⑧	-577	-55	522	90%
②	-117	5	122	104%	⑨	-596	-34	562	94%
③	-252	-8	244	97%	⑩	-562	-25	537	96%
④	-289	-30	259	90%	⑪	-683	-52	631	92%
⑤	-464	-54	410	88%	⑫	-674	-34	640	95%
⑥	-475	-49	426	90%	⑬	-678	-21	657	97%
⑦	-500	-57	443	89%	<b>평균</b>		<b>419.5</b>	<b>94%</b>	

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 부등침하가 발생한 건물에 정밀다점 주입공법을 적용하여 기초 지반보강 및 복원공사를 실시하여 건물의 사용성 및 안전성을 확보한 사례에 대하여 소개하였다. 대상건물은 울진지역의 연약지반에 시공된 지하 1층, 지상 3층 규모의 도심지 건축물로 최대 678mm의 부등침하가 발생된 상태였다. 침하된 건물에 대한 지반보강 및 침하복원 주입공사 결과 최대복원량은 657mm 였으며, 평균 90% 이상의 복원율을 확보할 수 있었다. 또한 각 열과 행에 대한 기울기도 사용성에 지장이 없는 1/250 이상이 확보된 것으로 검토되었다.

## 참고문헌

1. 한국건설기술연구원 (2008), 구조물 성능복원 기술개발, 국가R&D, 국토해양부 도시재생사업단