

운행중인 도시철도 직상부의 초고층빌딩 신축에 따른 지하구조물 안정성 확보방안 연구

이선길

본 연구에서는 잠실역 구간중 초고층 빌딩이 지하 8호선 구조물 직상부에 근접 시공되는 구간에 대하여 지하철 상부 및 측면 굴착후 신설 구조물을 시공하는 경우 기존 8호선 구조물의 안정성을 종합적으로 검토하기 위해 굴착 및 보조공법 검토, 시공단계별 상세 안정성 검토, 양압력 안정성 검토, 상부 구조물 시공시 하중지지 구조의 안정성 검토, 8호선 운행중 열차진동 영향 검토 등을 수행하였다.

1. 서론

최근 도심에서는 수평적 확장의 한계로 수직적 확장과 지역적 랜드마크의 일환으로 초고층빌딩의 건설이 활발해지고 있으며, 도심지에서의 초고층빌딩의 건설은 지하철, 지하차도, 각종 매설관 등의 영향으로 설계 및 시공뿐만 아니라 계획단계에서부터 매우 많은 제약조건의 극복이 필요하다.

지하 인프라 시설이 밀집한 도심지에서 초고층 빌딩의 건설은 지반 굴착시 굴착에 따른 지반의 변형으로 지하시설물의 균열, 지상건물 및 도로의 침하, 대규모 굴착으로 인한 지하수 저하 등 다양한 문제를 유발시킬 수 있으며 소음·진동에 대한 사회적 인식도 높아져 시공중, 운영중 민원 발생 및 인접시설물 관계기관의 클레임이 발생할 가능성이 매우 높다. 또한 사회간접 시설물들은 그 기능을 상실하였을시 사회적 파장이 매우 클 수 있으며, 특히 지하철은 대중교통으로서 의존도가 매우 높아 시설물에 문제가 발생했을 경우 사회적 피해 및 복구를 위한 비용은 천문학적일 것으로 예상된다.

따라서, 기시공된 시설물과 근접하여 지반을 굴착하는 경우 굴착깊이, 지반조건, 지하수 조건 등을 고려한 굴착공법 및 보강공법을 면밀히 검토해야하며, 수치해석적 검토를 통한 안정성 평가를 수행하여 기설 구조물의 안정성을 검증하고 근접시공에 따른 기존 구조물의 안정성을 종합적으로 검토하여 안전한 시공이 되도록 하여야 한다.

2. 본 론

본 현장은 서울시 송파구 신천동 29번지 일대에 위치하고 있으며, 동쪽으로는 송파구청 (지하2층, 지상 7층) 및 한국통신 송파전화국(지하1층 지상5층)이 있으며 서쪽은 50m도로 (송파대로)를 이격하여 롯데월드가 있고, 남쪽으로는 25m 도로와 석촌호수(동호)가 위치하며 북쪽으로 근접하여 지하철2호선과 8호선 잠실역이 위치하고 있다.

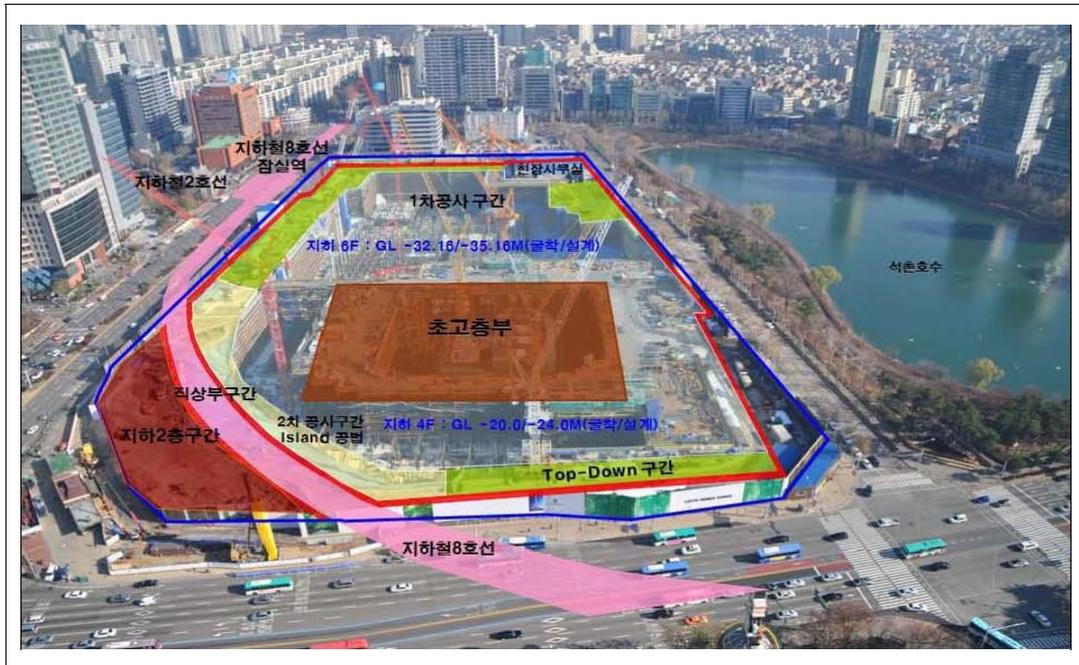


Fig. 2.1 공사구간 현황도

공사구간은 1차, 2차로 구분되어 있으며 1차 공사구간의 경우 기시공 구간이고 지하철 8호선 통과구간인 2차 공사구간은 미시공 구간으로 구간별로 적용된 지하 흩막이 공법은 Table 2.1과 같다.

구분	흩막이 적용 공법
1차공사 (기시공)	<ul style="list-style-type: none"> H-Pile + 앵커 공법 : 동측 및 서측, 북측 구간 슬러리월 + 앵커 공법 : 남측 구간 J.S.P 그라우팅 : 기 시공된 H-Pile 구간(북측 및 동측) S.G.R 그라우팅 : 신설 구간(동측 및 서측, 남측)

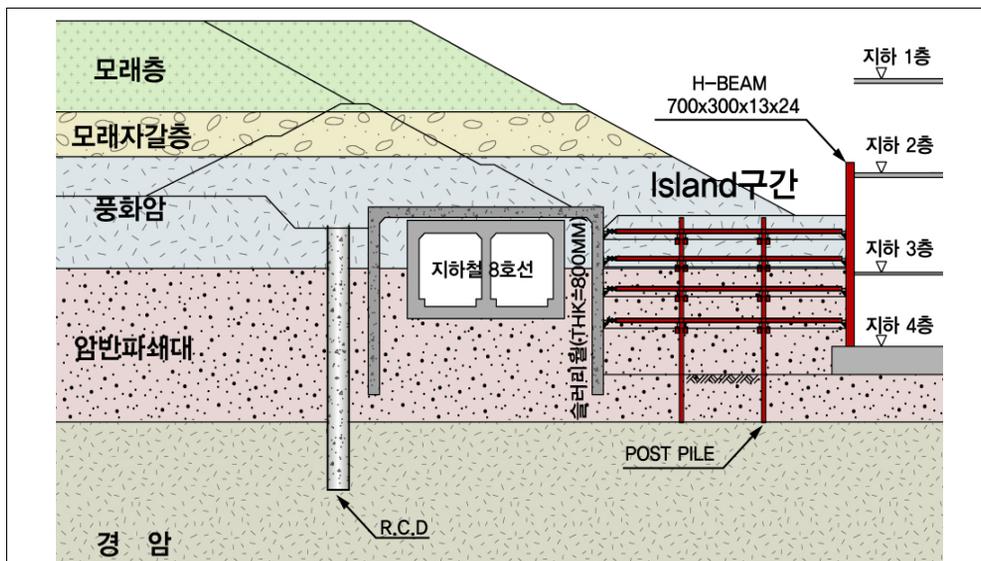
2 차공사	<ul style="list-style-type: none"> • Top-Down 공법 : 슬러리월 + 슬래브 공법(북측 및 동측, 서측 구간) • 슬러리월 + 슬래브 공법 : 지하철 본선 BOX 측면부(아일랜드 구간) • C.I.P + 버팀보, 앵커, 쏘일네일 공법 : 지하철 인접 및 횡단 구간 • H-Pile + 앵커 공법 : 송파대로 구간 • M.S.G 그라우팅 : 지하철 횡단 및 역사 인접구간
지하수 공법	<ul style="list-style-type: none"> • 굴착공사 중 지하철 구조물 시.종점부에 Deep Well 4 공 설치

본 현장은 1997년에 지질조사를 실시하였으며, 시추조사 결과 본 지역의 지질적 특징은 선캠브리아기의 경기편마암 복합체에 해당하는 호상편마암이 기반암으로 나타나며, 부분적으로 운모편마암이 잔류되어 분포하고 있다.

기반암의 풍화대는 전반적으로 연약한 발달을 보이며, 그 상부에는 한강에 의한 퇴적된 신생대 제4기의 충적층과 홍적층이 모래자갈 형태로 분포한다. 특히 중요한 지질구조로서 단층이 이 지역을 관통하는 것으로 추정되며 본 지역은 그 영향을 상당히 받은 것으로 판단된다.

지하철 구조물 상부 굴착 및 측면 굴착에 따른 구조물 및 궤도의 안정성을 검토하여 적정 굴착공법을 선정하기 위하여 수치해석적 방법을 사용하였다.

본 검토를 위한 해석프로그램은 연속체 해석이 가능한 범용 유한요소해석 프로그램인 MIDAS-GTS를 사용하였고 지반구성모델은 Mohr-Coulomb 탄소성 모델을 적용하였다.



굴착공법별 안정성 검토결과 지하철 구조물의 수직변위의 경우 상부 토피 제거시 가장 많은 변위가 발생했으며 상부토피제거 및 아일랜드 굴착의 선후 관계에 따른 영향은 작은 것으로 나타났다. 그러나 수평변위의 경우 아일랜드 선 굴착조건에서 다소 크게 발생하는 것으로 나타났다으며 변위방향 또한 상이한 것으로 나타났다.

최적의 지반보강공법 선정을 위해 쏘일네일링 보강 공법과 지반보강 그라우팅+쏘일네일링의 두가지 공법에 대해 수치해석을 수행하여 적용성을 검토하였다. 수치해석을 통한 안정성 검토 구간은 상대적으로 시공계획이 복잡한 종점부를 선정하였고 8호선 상부 지반조건은 되메움토를 적용하였다.

도심지에 운행중인 지하철 구조물과 인접하여 초고층 빌딩이 시공되는 현장사례를 대상으로 8호선 구조물 상부에 초고층 빌딩의 근접시공에 따른 지하철 8호선의 안정성을 종합적으로 검토하고 안전한 시공이 되도록 하기 위해 굴착 및 지반보강공법 검토, 시공순서를 고려한 3차원 상세 안정성 검토, 양압력 안정성 검토, 8호선 직상부 대형 구조물의 하중지지 구조의 안정성 검토, 8호선 운영중 인접 구조물의 열차진동 영향검토 등을 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지하철 8호선 중앙부 최적의 굴착공법을 선정하기 위해 수치해석을 통한 안정성 검토 결과, 8호선 상부를 선굴착하는 공법과 비교하여 지하철 구조물의 측면을 선 굴착후 상부토피를 제거하는 것이 8호선 구조물의 안정성 측면과 장비 및 굴착토 반출입을 고려한 시공성 측면에서 유리한 것으로 판단되었다. 따라서, 아일랜드 선굴착 공법(지하철 구조물의 측면을 선굴착)을 8호선 근접구간의 굴착공법으로 선정하여 8호선 구조물의 안정성 및 시공성을 확보할 수 있도록 하였다.

2. 8호선 시.종점부는 2열의 CIP 벽체가 계획되어 있으나 지하철 8호선과의 간섭으로 인해 근입심도를 확보하지 못하는 취약한 구간으로 벽체 변위 최소화와 구조물 및 가시설의 안정성 향상을 위해 수치해석을 통한 지반보강공법의 적용성 검토를 수행하였다. 그 결과, 쏘일네일링 공법을 적용하는 경우 최대 수평변위가 허용변위를 초과하였으나 지반보강 그라우팅+쏘일네일링 공법을 적용하는 경우에는 최대 수평변위가 허용변위 이내로 크게 감소하는 것으로 나타나 변위발생 최소화 및 구조물 안정성 증대를 고려하여 지반보강 그라우팅+쏘일네일링 공법을 보강공법으로 선정하여 적용하였다.

3. 본 연구의 대상구간은 초고층 빌딩이 기존 지하철 구조물에 근접하여 시공되는 구간으로 시공순서가 매우 복잡하고 다양한 구조물의 간섭이 예상되므로 3차원 정밀 안정성 검토를 통해 8호선의 안정성을 검증하였다.

8호선 중앙부에 대한 검토 결과, 지하철 구조물과 선로에 대한 변위는 모두 허용기준을 만족하는 것으로 평가되었으며, 아일랜드 구간의 버팀보 응력도 허용치 이내로 발생하여 안정성 확보가 가능한 것으로 판단되었다.

8호선 시점부 및 종점부에 대한 안정성 검토 결과, 중앙부에 비해 상대적으로 큰 변위가 발생하는 것으로 평가되었으나 지하철 구조물 및 선로에 대한 변위 허용기준을 모두 만족하였다. 우각부에 대한 검토결과, 시점부의 경우 최대 70mm, 종점부의 경우 최대 44mm의 변위가 발

생하였으며 모두 허용기준을 만족하여 안정성 확보가 가능한 것으로 판단되었으나, 발생 변위가 허용기준에 매우 근접하여 발생하므로 시공시 철저한 시공 및 계측관리가 요구되는 것으로 나타났다.

4. 8호선 시점부, 중앙부, 종점부에 대한 양압력 안정성 검토결과, 각각 안전율이 0.53, 0.56, 0.57로 허용안전율 1.2를 만족하지 못하는 것으로 나타나 지하수 저감대책이 필요한 것으로 나타났다.

지하수위 저하를 위한 양수공법으로 Deep well 적용시 영향반경 산정을 위해 시점부 및 종점부에 대하여 수리해석을 수행하였으며 그 결과 Deep well의 영향반경은 시점부 약 17m, 종점부 약 29.0m로 검토되었다. 따라서, 지하철 8호선의 양압력 안정성 확보를 위해 시점부 및 종점부에 대한 영향반경의 평균값을 고려하여 총 7공의 Deep well을 설치하도록 계획하였다.

5. 트랜스퍼 거더는 지상구조물의 하중을 지지하며 RCD말뚝을 통해 하중을 지반으로 분산시켜 지하철 구조물에 직접적인 영향이 없도록 하는 매우 중요한 구조부재이므로 이에 대한 면밀한 검토가 필요하다. 트랜스퍼 거더의 구조안정성 검토결과, 모든 부재에서 안정성을 확보하는 것으로 나타났다. 또한, RCD말뚝에 대한 지지력 및 침하에 대한 안정성 검토 결과, 지지력 및 침하 모두 허용기준을 만족하여 안정한 것으로 평가되었다.

6. 지하철 구조물과 근접하여 상부 지상구조물이 건설되므로 운영중 지하철 열차진동에 의한 구조물의 안정성을 평가하기 위하여 2차원 열차진동 해석을 수행하였다. 열차진동 해석결과, 트랜스퍼 거더 및 지상구조물 모두 허용기준 5.0cm/sec를 만족하여 열차진동에 의한 구조물의 안정성 확보가 가능한 것으로 평가되었다.

3. 결 론

본 연구를 수행한 근접시공 현장 사례와 같이 기존 지하구조물에 근접하여 대형 구조물이 신설되는 경우 기존 구조물의 안정성 확보를 위해서는 구조물 시공시 굴착영향이 최소화 되는 굴착공법 및 지반보강공법을 선정하고, 시공단계를 고려한 상세 안정성 검토를 통한 구조물 안정성 평가와 함께 상부에 시공되는 구조물의 하중을 주변지반으로 분산시켜 기존 구조물에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 하중지지 구조의 검토가 매우 중요할 것으로 판단되었다. 또한, 지하수의 영향이 예상되는 경우에는 굴착공사시 구조물 상부 토피제거로 인한 양압력 안정성 검토를 수행하여 필요한 경우에는 지하수위 저감대책을 수립하여야 할 것으로 판단된다.