

지하철 9호선 흩막이 구조물의 설계 사례 분석

Case Studies for Temporary Soil Support Walls of Subway No.9

주재건¹⁾, Jae-Keon Choo, 김영진²⁾, Young-Jin Kim, 김경태³⁾, Kyung-Tae Kim

¹⁾ (주)다산이엔지 대표이사, President, Dasan Engineering Co., Ltd.

²⁾ (주)다산이엔지 지반사업부 실장, Project Manager, Geotechnical Dept., Dasan Engineering Co., Ltd.

³⁾ (주)대우건설 과장, Manager, Geotechnical Engineering Team, Daewoo Corporation

SYNOPSIS : In this study, design concepts of Seoul Subway Construction (901~914) are reviewed in relation to the cases for temporary soil support wall systems which are revealed in highly developed design competitions such as Turnkey and Alternative based on. Especially soil and rock properties, various design schemes for dealing with soil and water pressures, new technology adopted etc are discussed very profoundly and broadly for the better understanding and additional clues for constructing new design technologies.

Key words : temporary soil support wall, excavation method, soil and water pressure

1. 서론

지난 해부터 시행해 온 서울지하철 9호선 건설공사의 대안입찰 설계에서는 가설흩막이 구조물에 대한 대안의 중요성이 어느 공사보다도 중요하게 다루어졌다. 현재에는 1단계인 901공구(김포차량기지)부터 914공구(강남 노보텔) 까지의 대안설계가 모두 마친 상태이므로 그동안 각 시공사에서 제시된 흩막이 구조물의 대안내용을 살펴보면 국내에서 사용되는 모든 첨단공법이 총망라되어 있을 정도로 풍부한 자료를 가지고 있다.

본 Session에서는 각 공구의 대안설계 자료를 최대한 수집하고 수집된 자료의 내용 중 엔지니어들에게 좋은 자료가 될 수 있는 대안내용과 각종 공법을 중심으로 사례를 분석하여 가시설 흩막이 구조물 설계의 최신 동향을 소개하고자 한다. 이 주제는 실무엔지니어들의 관심이 높아 차후의 대안설계 및 실시설계에 적용할 수 있는 자료로 활용될 뿐만 아니라 향후의 연구개발의 방향을 설정하는데 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

여기에 수록된 내용은 지하철 9호선 대안설계 보고서의 가시설 흩막이 구조물 설계 부분과 인터넷에서 수집한 자료를 바탕으로 작성하였는데 대안설계 보고서는 입찰 당락 여부와는 관계없이 개인적으로 수집이 가능했던 자료를 기준으로 작성하였는바 실제 선정된 내용과 상이할 수도 있으며, 단기간에 수집된 자료이므로 서울지하철 9호선의 전체 내용을 반영하지는 못했음을 전제하여 두고자 한다.

2. 서울지하철 9호선 건설공사 개요

지하철 9호선은 한강 남측지역을 동서로 연결하는 간선 교통축으로서 그림 1과 같이 김포공항~당산동~여의도~노량진~강남고속버스터미널~코엑스~종합운동장~올림픽공원~방이동으로 노선이 계획되어 있으

며, 총 37개 정거장(13개 환승역)이 설치된다. 전체 노선의 길이는 약 38km로서 이중 2001년에 착공하는 25.5km의 1단계 구간인 14개 공구의 시공사가 선정되어 공사가 발주되었다. 각 공구의 과업구간 및 특징을 요약하면 표 1과 같다.

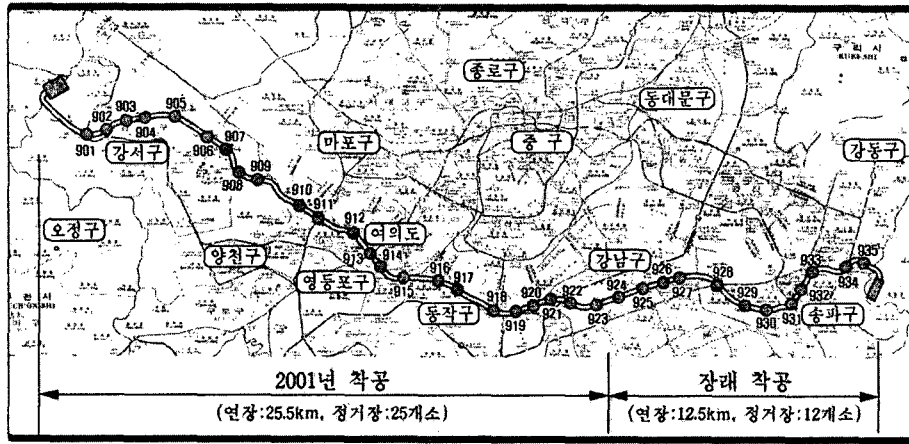


그림 1. 서울지하철 9호선 전체노선도

표 1. 지하철 9호선 각 공구 비교

| 공구 | 시공사 | 구 간 | 연 장 (m) | 개착연장 (m) | 터널연장 (m) | 정거장 (m) | 환기구 (개소) | 홈페이지 | 비 고 |
|-----|----------------|------------------------|---------|----------|----------|--------------------|----------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 901 | 대우건설 삼성건설 | 강서구 개화동 ~김포공항계류장 | 3285.5 | 2716.5 | 446.5 | 165 (901) | 2 | www.dwenc.com/ sub901 | 인입선(1526m) 반입선(485m) 회차선(389m) |
| 902 | 현대건설 | 강서구 방화동 ~공항동 | 875 | 875 | - | - | 3 | subway.hdec.co.kr/ 902 | 회차선(502m) |
| 903 | 현대산업개발 대우건설 | 강서구 공항동 ~마곡동 | 1630.5 | 767.5 | 533 | 330 (903,904) | 7 | www.dwenc.com/ sub903 | |
| 904 | LG건설 SK건설 | 강서구 마곡동 ~가양동 | 1950 | 1950 | - | 578.4 (905,906) | 5 | www.subway904.com | |
| 905 | 한진중공업 대우건설 | 가양동 제일제당 ~강서소방서 | 1540 | 1375 | - | 165 (907) | 4 | www.subway905.com | |
| 906 | 대림산업 | 가양동 강서소방서 ~목2동사무소 | 1820 | 1031.6 | 788.4 | (908,909) | 5 | www.subway906.co.kr | |
| 907 | 삼성물산 대림산업 | 목2동사무소 ~양평동 Spa Box | 2075 | 1745 | - | 330 (910,911) | 6 | www.seoulmetro907. com | |
| 908 | 현대건설 울트라건설 | 양평동 Spa Box ~당산동 | 1350 | 780 | - | 570 (912,913) | 5 | subway.hdec.co.kr/ 908 | |
| 909 | 두산건설 | 영등포구 당산동 ~여의도동 | 2670 | | | (914,915) | 5 | www.subway.seoul.kr/ sub3_body1-09 | |
| 910 | 동부건설 | 여의도동 KBS별관 ~사육신공원 | 2100 | 1178 | 447 | 445 (916,917) | 6 | www.subway910.co.kr | |
| 911 | 대우건설 삼성물산 | 노량진 사육신공원 ~동작동 능인사앞 | 2540 | 104.8 | 2105.2 | 330 (918,919) | 6 | www.dwenc.com/ sub911 | |
| 912 | 현대건설 SK건설 | 동작동 능인사앞 ~반포동 세화여중 | 1720 | 599.3 | 1120.7 | 330 (920,921) | 6 | subway.hdec.co.kr/ 912 | 환승교량(43m) |
| 913 | 쌍용건설 | 반포동 세화여중 ~고속버스터미널 | 1780 | | | (922,923) | | www.subway.seoul.kr/ sub3_body1-13 | |
| 914 | 대우건설 쌍용건설 | 고속버스터미널 ~역삼동 | 2152 | 814.5 | 956 | 382.5 (924,925) | 6 | www.subway.seoul.kr/ sub3_body1-14 | 빗물펌프장 유출입관로 |

표 1에서 보는바와 같이 전체 공사구간 중 정거장 및 본선 개착구간이 차지하는 비율은 조사된 자료 중 약 77%로 상당히 많은 부분을 차지하고 있다. 이처럼 개착구간의 비율이 높은 이유는 지하철 9호선이 한강을 따라 계획되어 두터운 하상 퇴적지반을 통과하게 되므로 터널 보다는 개착에 의한 굴착이 유리하다고 판단하였기 때문인 것으로 보여진다.

또 하나 지하철 9호선 공사의 특징으로는 각 공구별로 정보화 시대에 발맞추어 홈페이지를 운영하고 있다는 것이다. 홈페이지에는 공사개요, 공사 진행상황, 적용공법, 교통통제상황 등 대민홍보를 위한 여러 가지 정보들을 수록하고 민원처리를 위한 게시판을 운영하고 있으며, 914공구의 경우에는 실시간 무선인터넷 카메라(Webcam)를 설치하여 계측 및 홍보용으로 사용하도록 계획하고 있다.

3. 가시설 흠막이 및 굴착 공법 비교

지하철 가시설 흠막이 및 굴착 공사는 복잡한 도심을 통과하므로 지반조건, 인접구조물 및 지하매설물 현황, 차량통행 등을 충분히 고려하여 대부분 굴착으로 인해 주변에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 공법을 선정하여야 하며 안전한 공사가 수행될 수 있는 설계가 되어야 한다. 가시설 공법은 크게 벽체공법, 지지공법, 차수 및 지반보강공법으로 나눌 수 있는데 지층조건 및 주변 여건에 따라 공법의 적용이 매우 다양하게 이루어진다. 본 장에서는 각 공구별로 적용된 다양한 가시설 공법을 비교, 검토하여 보기로 한다.

3.1 가시설 벽체공법 및 차수, 지반보강공법

각 공구별로 적용된 가시설 벽체공법 및 차수, 지반보강공법을 정리하면 표 2와 같다. 가시설 벽체공법으로 주로 적용되는 것은 H-pile+토류판 또는 토류벽 Con'c 공법으로 배면에 별도의 차수 및 지반보강공법과 함께 조합하여 적용되고 있다. 일반적인 지층조건에서 차수 및 지반보강공법으로 가장 많이 적용된 공법은 MSG(Micro Silica Grouting) 공법으로서 초미립 계열의 마이크로 실리카를 주재료로 한 그라우트재를 이용하여 고침투성 및 고강도를 발휘하게 하는 공법이다. 한편 모래-자갈로 구성된 퇴적층에서는 SCW(Soil Cement Wall), SRC(Slime Reused Column jet grout) 공법이 주로 적용되었다.

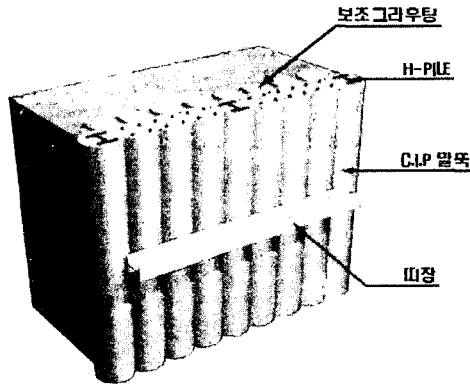
표 2. 각 공구별 가시설 벽체 및 차수, 지반보강공법

| 공구 | 일 반 구 간 | | 보강구간, 인접구조물 구간 | | 비 고 (선정:○) |
|-----|-----------------------------------|------------------------|----------------------|------------------|---------------|
| | 벽체공법 | 차수 및 지반보강공법 | 벽체공법 | 차수 및 지반보강공법 | |
| 901 | Sheet pile H-pile+토류판 | MSG | CIP | LW Grouting | ○ |
| 902 | H-pile+토류판 H-pile+토류벽 | MSG, SCW SCW, SRC | H-pile+토류벽 | MSG, SRC, TAM 2열 | ○ |
| 903 | H-pile+토류벽 H-pile+토류판 | MSG | - | - | 농경지구간 |
| 904 | Open cut+Sheet pile H-pile+토류판 | MSG | H-pile+토류벽 | MSG | ○ |
| 905 | CIP | MSG | CIP Diahragm wall | SIG | ○ |
| 906 | CIP H-pile+토류판 | Packer Grouting MSG | CIP | Packer Grouting | ○ |
| 907 | H-pile+토류판(벽) Sheet pile | 바닥지면 LW Grouting | CIP H-pile+토류벽 | JSP, C-RJP | ○ |
| 908 | H-pile+토류판 CIP | MSG MSG | H-pile+토류판 | MSG 2열, TAM | - |
| 909 | H-pile+토류벽 | 3중관 고압그라우팅 | - | - | - |
| 910 | H-pile+토류벽 H-pile+토류판 | SGR Sheet pile | CIP CIP | MSG SGR | - |
| 911 | H-pile+토류벽 H-pile+토류판 | MSG | H-pile+토류판 | 무근 CIP | ○ |
| 914 | H-pile+강재토류판 | SRC, MSG | H-pile+강재토류판 | 무근 CIP | ○ |

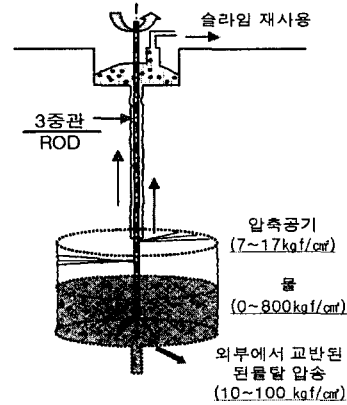
굴착현장에 인접하여 구조물이나 지장물이 있는 경우에는 영향정도를 최소화하기 위해 별도의 지반보강공법을 적용하였다. 표 2에 나타나 있는 바와 같이 지하철 공사에서 가장 많이 사용되는 지반보강공

법은 그림 2의 a)와 같이 지중에 주열식콘크리트 벽체를 형성하는 CIP 공법으로서 시공 장비가 소형이고 벽체 강성이 크기 때문에 많이 적용하고 있다.

그러나 CIP 공법은 확산경이 작고 이음부에서의 결함 때문에 자갈층에서는 고압분사주입공법이 많이 사용되는데 벽체 배면에 시공할 수 있는 공법으로는 JSP, SIG, RJP, SRC 등이 있다. 이들 중 기존에는 SIG, RJP가 많이 적용되었으나 최근에는 그림 2의 b)에 있는 SRC 공법이 주를 이루는데, 이 공법은 기존의 고압분사주입공법의 가장 큰 문제점이 되고 있는 배출슬라임(배니)을 외부에서 양질토사와 교반하여 재주입하는 환경친화적 공법이며, 강도가 양호하여 품질관리면에서 관리가 용이한 이점이 있다.



a) CIP 벽체 시공도



b) SRC 시공 개념도

그림 2. CIP 공법 및 SRC 공법 시공 개념도

3.2 가시설 사용 부재

지하철 공사에 사용되는 일반적인 가시설 부재의 규격과 배치간격은 표 3과 같으며, 공구에 따라 사용되는 부재의 규격이 조금씩 차이가 있으나 가장 많이 사용되는 H-pile 규격은 H-300×305×15×15로서 측벽, 중앙파일, 띠장 등으로 사용되고 있다. 설계에 적용되는 토압, 수압조건에 따라 부재력이 크게 작용하는 구간에서는 강재의 규격을 부분적으로 크게 사용하는 경우도 있다.

표 3. 지하철 가시설 공사에 사용되는 강재 규격

| 가시설 부재 | 강재 규격 | | 배치간격 | 재료 특성값 |
|--------|------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------|------------------------|
| 주형보 | H-700×300×13×24 | H-800×300×14×26 | 2.0m | • 사용강종 SS400, SM490 |
| H-Pile | 측벽 H-300×305×15×15 | H-300×300×10×15 | 1.0~2.0m | |
| | 중앙 H-300×305×15×15 | H-300×300×10×15 H-250×255×14×14 | 2.5~6.0m | |
| 띠장 | H-300×305×15×15 H-300×300×10×15 | H-440×300×11×18 H-400×400×15×15 2H-300×305×15×15 | 2.0~3.0m | |
| | Sheet Pile | 400×150×13 | 400×170×15.5 | |
| 버팀보 | H-300×305×15×15 | | 2.5~3.0m | |
| 어스앵커 | PC Strand ϕ 12.7×4~6EA | | 1.5~2.0m | |

가시설 부재의 선정에서 새로운 것은 재료의 강종을 고강도로 변경하는 것이다. 표 4의 예에서 보는 바와 같이 일반적으로 사용되는 강종은 SS400으로서 인장강도가 4000kg/cm² 이나 SM490은 4900kg/cm²으로서 재료의 강도가 증가되어 간격을 넓게 설치할 수 있으므로 시공성 및 경제적인 측면에서 유리한 것으로 분석하고 있다.

표 4. 가시설 부재의 강종 비교 예

| 구분 | SS400 | SM490 |
|-------------|-------------------------------------|-------|
| 산정도 | | |
| H-pile 설치간격 | 1.35m | 1.6m |
| 공사비 비율 | 1.12 | 1.00 |
| 검토 의견 | SM490 강종이 시공성, 경제성 면에서 유리하므로 설계에 적용 | |

4. 구조검토를 위한 지반 물성값 비교

가시설 설계를 위한 구조검토시 실제 지반의 거동과 유사한 결과를 얻기 위해서는 지반의 특성을 공학적인 수치로 표현한 지반물성값을 적절히 선정하여야 한다. 아무리 좋은 프로그램을 사용하여 해석을 수행하더라도 입력되는 값이 적절하지 못하면 합당한 결과를 얻을 수 없으므로 현장 및 실내시험 결과, 기존의 경험적인 자료 및 산정식 등 여러 가지 자료들을 종합적으로 분석하여 지반 물성값을 선정하는 것이 가장 중요한 사항이 될 것이다.

가시설 설계에 사용되는 지반의 대표적인 물성값으로는 점착력(c)과 내부마찰각(ϕ)이 있으며, 그밖에 지반의 변형 해석시 사용되는 변형계수(E)와 포아송비(μ) 등이 있다. 또한 가시설 벽체의 차수 및 유입수량 검토를 위해서 투수계수(k)를 선정하여야 하며, 내진설계를 위해서는 동탄성계수, 동포아송비 등의 물성값이 필요하다. 이상의 지반 물성값을 산정하기 위해 수행되는 현장 및 실내시험들은 표 5와 같다.

표 5. 현장 및 실내시험 결과의 활용

| 항 목 | 설계적용 및 선정 물성값 | 항 목 | 설계적용 및 선정 물성값 |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 시추조사 | 지층구분 및 암반분류 | 시추공전단시험 | 풍화암 강도정수(c, ϕ) 선정 |
| 표준관입시험 | 토층의 강도특성 산정, N값을 이용한 경험식으로 강도정수 추정 | 공내재하시험 | 지층의 변형계수(E) 선정 지반변형해석에 활용 |
| 지하수위 측정 | 설계 지하수위 선정 | 토질시험 | 토질의 공학적 특성 파악 |
| T.P, 들밀도시험 | 표층의 단위중량(γ) 선정 | 암석시험 | 암반 분류, 탄성계수(E) 산정 |
| 현장투수시험 수압시험 | 지층의 투수계수 선정 침투류해석, 유입수량 검토 | Cross Hole 시험 Down Hole 시험 | 동탄성계수(E_D) 및 동전단계수(E_G) 선정 |
| 배인시험 | 점성토의 강도정수(c) | Suspension P.S 검층 | 내진설계에 활용 |

각 공구별로 설계에 적용한 지반물성 중 가장 대표적인 값인 지반강도정수(c, ϕ)를 비교하면 표 6 및 그림 3과 같다. 대부분 지반물성값 선정에 시험값을 최대한 활용하여 선정하는 것을 원칙으로 하였으나 암반층의 점착력에서는 상당한 차이를 나타내고 있다.

표 6. 각 공구별 지반강도정수 값 비교

(단위 : c- tf/m^2 , ϕ -deg)

| 항목 | 매립층 | | 충적층(점토) | | 충적층(모래) | | 충적층(자갈) | | 풍화토 | | 풍화암 | | 연암 | | 경암 | |
|-----|-----|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|-----|--------|-----|--------|------|--------|-------|--------|
| | c | ϕ | c | ϕ | c | ϕ | c | ϕ | c | ϕ | c | ϕ | c | ϕ | c | ϕ |
| 최소값 | 0 | 25 | 0.8 | 10 | 0 | 25 | 0 | 34 | 0.7 | 30 | 2 | 33 | 7 | 35 | 15 | 40 |
| 최대값 | 1.3 | 32 | 4 | 27 | 3 | 32 | 0 | 36 | 3 | 35 | 7 | 40 | 300 | 40 | 346.7 | 40 |
| 평균값 | 0.3 | 27.8 | 2.1 | 21.3 | 1.2 | 29.2 | 0 | 35.0 | 1.8 | 32.4 | 4 | 35.2 | 40.7 | 36.7 | 107.7 | 40.0 |

지하굴착공사에서는 암반층의 거동이 크게 발생될 수 있으므로 토사층과 같은 토압 발생층으로 간주하여 강도정수를 낮추어 선정하는 것이 일반적인데, 실제로 연암층은 300tf/m²으로 선정한 1개 공구를 제외하면 대체로 7~20tf/m² 정도로 적용하고 있고 경암층의 경우도 300tf/m² 이상 적용한 2개 공구와 100tf/m² 이상 적용한 1개 공구를 제외하면 대체로 15~30tf/m² 정도를 적용한 것으로 나타났다.

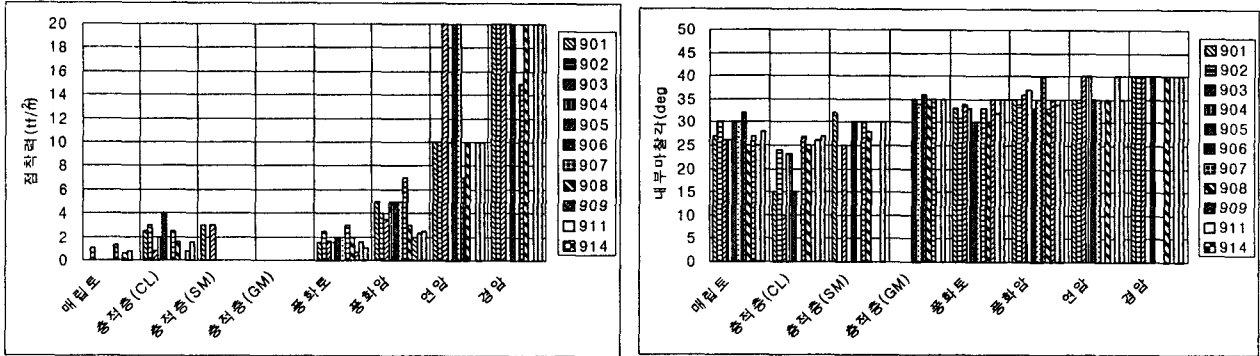


그림 3. 각 공구별 점착력 및 내부마찰각 비교

5. 적용 토압 및 수압 비교

가시설 설계에 영향을 미치는 가장 중요한 항목 중 하나는 각 가시설 부재의 단면에 작용하는 하중 조건인 토압과 수압에 대한 적용기준이다. 일반적으로 가시설 설계에는 굴착단계별로 탄소성 해석을 수행하여 각 부재에 작용하는 응력을 산정하고 설계기준에 대한 적합여부를 검토하여 제원을 결정하게 된다. 지하철 9호선 가시설 설계에 적용된 토압은 Rankine 토압과 Terzaghi-Peck의 수정토압(경험토압)을 혼합하여 적용하였으며, 표 7과 같이 지반조건과 굴착 단계에 따라 토압적용 방법을 구분하고 있다

표 7. 굴착 단계별 토압 적용 방법

| 항목 | 굴착단계 | 최종 및 해체단계 | 적용 공구 |
|------|----------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|
| 방법 1 | Rankine 토압 | Terzaghi-Peck 토압 | 901, 904~906, 910, 914 |
| 방법 2 | 토사 : Terzaghi-Peck 토압 암반 : Rankine 토압 | 토사 : Terzaghi-Peck 토압 암반 : Rankine 토압 | 902 |
| 방법 3 | 연성벽체 : Terzaghi-Peck 토압 강성벽체 : Rankine 토압 | Terzaghi-Peck 토압 | 907, 908 |
| 방법 4 | Terzaghi-Peck 토압 | Terzaghi-Peck 토압 | 909, 911 |

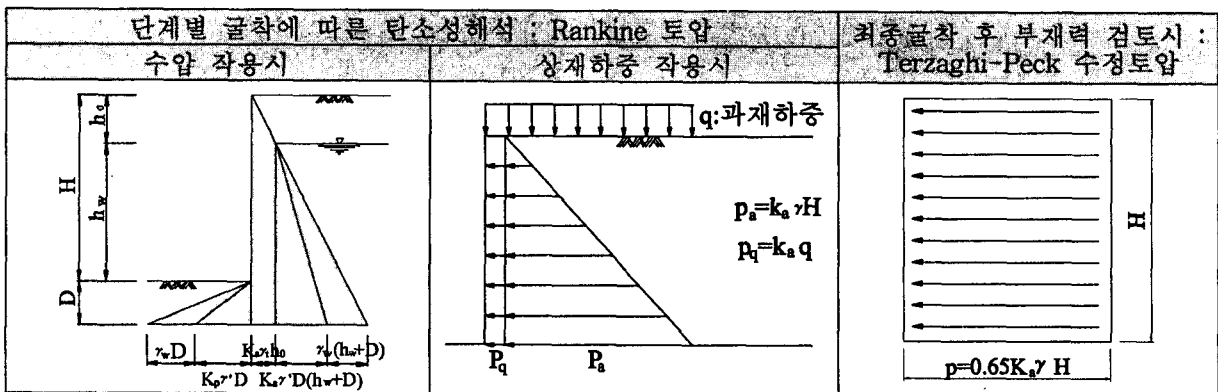


그림 4. 가시설 설계에 적용된 토압 예

이중 일반적으로 적용하고 있는 방법은 표 7의 방법 1로서 그림 4와 같이 굴착단계별로 Rankine 토압에 의한 탄소성 해석토압으로 검토하고 최종 굴착단계에서 Terzaghi-Peck의 경험토압을 작용하여 검토를 수행하는 방법이다. 그러나 방법 2 ~ 4와 같이 굴착단계에서도 토사구간은 경험토압을 적용하고 압반구간은 Rankine 토압을 적용하는 방법, H-pile+토류관 벽체는 경험토압을 적용하고 CIP, Sheet pile 벽체는 Rankine 토압을 적용한 방법, 모든 굴착 과정에 경험토압을 적용한 예가 있는데 굴착단계에서 토압재분배를 고려한 경험토압 적용은 다소 무리가 있다고 판단된다.

흙입자에 의해 발생하는 토압과는 달리 지하수에 의한 수압은 지반조건, 지하수위 위치, 가시설 벽체 형식 등 다양한 변수에 의해 영향을 받게 되므로 설계 수압을 정확히 산정하는 것은 어려운 일이다. 또한 수압은 토압계수와는 달리 방향에 따라 작용력이 균등하여 수위차가 발생할수록 가시설 벽체에 미치는 영향이 토압보다 훨씬 커지게 되므로 신중하게 결정하여야 한다.

가시설 벽체에 작용하는 수압을 산정하는 과정은 표 8의 예에서 나타나 있는바와 같이 지반조건과 벽체형식에 따라 지하수 침투해석을 수행하여 굴착 단계별로 수압을 계산하고 결과를 분석하여 작용수압 분포를 결정하는 방법이 주로 사용되고 있다. 한편 경험토압을 사용하는 경우에는 수압을 고려하지 않은 상태를 전제로 한 분포이므로 같이 적용하는 것은 실제와는 매우 다르므로 유의해야 한다. (구조물기초설계기준 6.3.3.3 참조)

표 8. 차수 및 개수성 벽체에 대한 적용 수압 검토 예

| 벽체종류 | 차수성 벽체 (블투수층에 미도달) | 개수성 벽체 (풍화암 상단까지 차수) |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 유한요소 침투해석 결과 | | |
| 벽체에 작용하는 수압분포 | | |
| | | |
| 적용 수압 | <ul style="list-style-type: none"> • 침투류 발생에 따른 수두손실 20% 고려 • $P_w = 0.8 \times \gamma_w \cdot h_w$ | <ul style="list-style-type: none"> • 설계수위 : 굴착면 상부 3m 정수압 적용 • $P_w = \gamma_w \cdot h_w$ (정수압) |

6. 신기술 및 신공법

지하철 9호선 가시설 설계에 적용된 신기술, 신공법 및 설계 개선 사항들을 항목별로 정리하면 표 9와 같다. 적용된 내용들을 살펴보면 대체로 공사의 안정성을 증대시키는 공법과 인접지역에 대한 소음, 진동 영향을 감소시키는 방안들이다. 이들 공법들 중에서 최근에 많이 도입되는 항목들은 MSG 공법, SRC 공법, 제거식앵커, 선행하중재, Webcam, 무진동발파, 강제토류판 등이 있으며 미끄럼방지 및 저소음 복공판도 적용되고 있다.

표 9. 지하철 설계에 적용된 신기술, 신공법의 사례

| 항 목 | 신기술 및 신공법 | 공법특징 및 기대효과 |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 가시설 지지공법 | <ul style="list-style-type: none"> • 제거식 앵커 • 강관버팀보 • 선행하중재 • PS 띠장 | <ul style="list-style-type: none"> • 사용후 제거가능, 하중분산형은 장기안정성 개선 • 강관의 우수한 단면 특성을 활용하여 지지 • 선행하중을 주어벽체변형 및 지반침하 억제 • 띠장에 프리스트레스 도입하여 지간증대 |
| 차수 및 지반보강 | <ul style="list-style-type: none"> • MSG 공법 • SRC 공법 | <ul style="list-style-type: none"> • 마이크로 시멘트로 고침투성, 고강도 벽체형성 • 천공시 발생하는 Slime을 재활용하는 환경친화적 공법 |
| 파일 천공 | <ul style="list-style-type: none"> • NVNN 공법 | <ul style="list-style-type: none"> • 오거드라이버 끝에 암반천공용 비트 장착 (Tricon Bit) |
| 토 류 판 | <ul style="list-style-type: none"> • 투명토류판 • 강제토류판 | <ul style="list-style-type: none"> • 상부 GL-1.2m 구간에 설치하여 굴착지반 육안관찰 및 토사유동징후 사전 감지 • 장기공사시 부식우려 없으며 경량으로 작업성 향상 |
| 복 공 | <ul style="list-style-type: none"> • 미끄럼방지, 저소음 복공판 | <ul style="list-style-type: none"> • MMA 코팅 복공판 • ECNS 복공판 |
| 암 파 쇄 | <ul style="list-style-type: none"> • 미진동제어발파 • 전기충격식 파암공법 • 무진동 할암절개공법 • 제어발파암단전달공법 | <ul style="list-style-type: none"> • AIR TUBE 공법 • PLAZMA 공법 • HRS(Hydro Rock Splitter) 공법 • NPS(New Pre-Splitting) 공법 |
| 계측 관리 | <ul style="list-style-type: none"> • Webcam 설치 및 홈페이지 운영 | <ul style="list-style-type: none"> • 인터넷을 이용한 무선카메라를 설치하여 시공관리, 거동 분석, 대민홍보를 시행 |

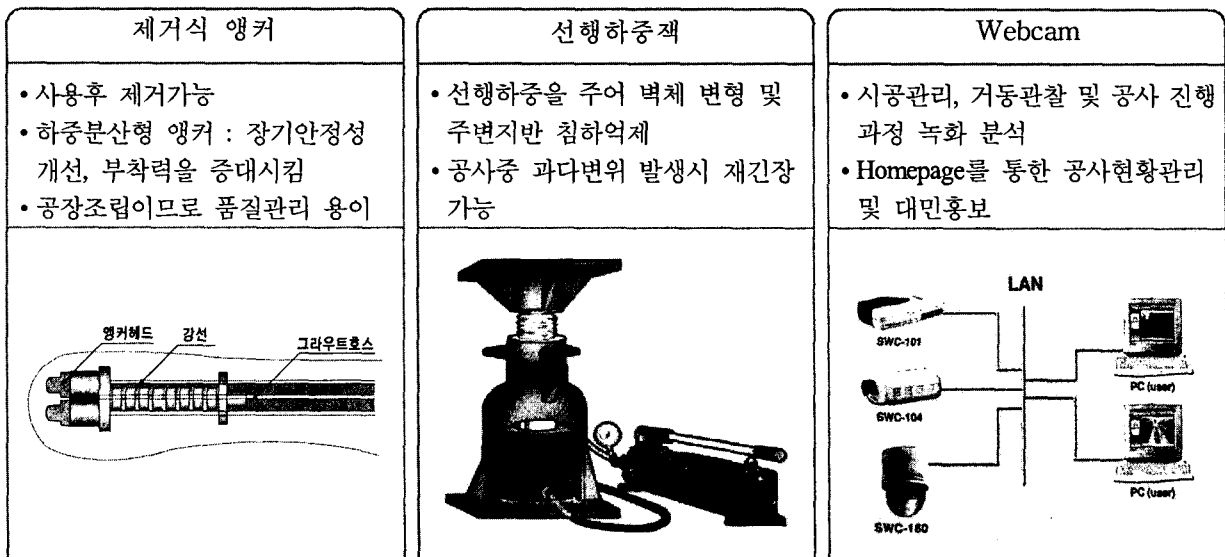


그림 5. 지하철 설계에 반영되고 있는 신기술, 신공법의 예