

부산지하철 2호선 서면 정거장 TOP-DOWN 공법



류중열*



박규수**



강원호***

1. 전체 공사의 개요

전국의 대도시 중 최악의 교통 혼잡을 보여 온 부산지하철 2호선 1단계 구간이 지난 6월 30일 오후 4시에 개통되었다. 이는 부산지하철이 착공된 지 18년만의 일이며, 2호선이 착공된 지는 7년 7개월만의 일이다. 금번에 개통된 2호선 1단계는 서면-양산 호포간의 길이 22.4km(운행거리 21.7km)로 21개역이 설치되어 있으며, 편도 운행 소요시간은 41분이 걸린다. 이 구간의 개통으로 서부산권의 만성적인 교통체증을 덜게 되었으며 부산 북구, 사상구 등의 비교적 낙후한 지역의 발전이 가속화될 것으로 기대하고 있다. 또한 양산, 물금 등의 부산 광역권 부도심 개발을 촉진하여 도심 인구 분산과 도시의 균형 발전에 기여할 것으로 전망하고 있다. 2호선은 현재 공사가

진행중인 서면-해운대 좌동간의 16.7km의 2단계 공사가 오는 2002년 준공되면 부산의 동서와 남북을 가로지르는 새로운 지하철 시대를 열게 된다.

2호선 1단계는 하루 30여 만명을 수송하여 부산 지하철의 수송분담률을 현재의 10.5%에서 14.6%로 증가시킬 것으로 기대하고 있다. 2호선의 자랑거리로는 건축·설비 분야에서 생활 공간의 개념을 도입하여 지하철을 시민문화 공간으로 꾸민 것을 들 수 있겠다. 또 장애인 편의 시설과 환승, 이동 편의 시설을 완비해 이용객의 편의를 도모했으며 역무 자동 설비, 객실 비상인터폴 설치, 자동제어 냉, 난방장치, 차량 내, 외부 열차 운행 정보 안내 장치 등을 설치한 것이 특징이다.

이 구간의 공사를 위해 투입된 사업비는 총 1조 3천 6백 71억 원이며, 차량 기지를 포함하여

* 부산교통공단 공사2처 건설1부장

** 부산교통공단 공사2처장

*** 정회원, 동아대 토목공학과 교수

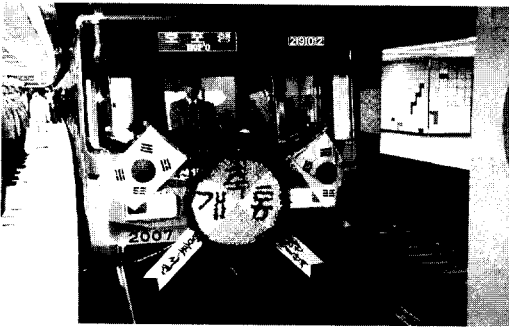


사진 1 부산지하철 2호선 1단계 개통

총 22개 공구에 7개 분야 1백 67개의 건설회사가 공사에 참여하였다. 91년 11월 착공 이후 레미콘 1백 7만³m³, 시멘트 4백 7만톤이 사용되었으며, 총 3백 50만 명의 인력과 47여만 내의 각종 장비가 건설 현장에 투입되었다. 국내에서 최초로 도입한 신호체제의 자동화 부분 장애로 개통 시기가 약 3개월 지연되는 어려움을 겪었으나, 이는 향후의 공사에서 좋은 경험이 될 것이다. 그러나 공사 관리 및 안전관리에 특히 신경을 써서 어려운 공정 중에서도 무재해 시공 기록을 달성하는 등 기술자로서 긍지를 드높인 공사였다.

지하철 2호선 구간은 도시 건설 공사가 부딪히게 마련인 교통통제, 각종 시설물의 이설, 건설 안전 문제 등의 난관 외에도 낙동강 하구에 위치하여 지하 수위가 높고 층적·퇴적층으로 형성된 연약 지반 문제로 어려움이 많았다. 대부분의 공사 구간은 개착식 및 NATM 시공이 이루어졌으며 환승 구간인 서면은 지하철 역사로서는 국내 최초로 TOP-DOWN 공법이 사용되었다. 또한 경부선 철도 횡단구간의 터널시공과 호포 기지창

근처의 육상 고가 구간을 Preflex보를 가설한 점도 특기할 만 하다.

본 기사에서는 부산 지하철 2호선 1단계 공사 중 본 학회의 회원들이 비교적 관심을 가질만한 서면 정거장 TOP-DOWN 시공을 소개하고자 한다.

2. 서면 정거장 TOP-DOWN 공법

2.1 공사개요

2호선 1단계구간 중 서면 (구)부산상고 근처의 222공구는 총연장 825.55m로 부산의 대표적 간선도로인 가야로, 중앙로 등 5개 도로가 교차하는 서면로타리를 포함하고 있다. 공사구간중 서면정거장은 기존지하철 1호선과 환승하게 되어 있어서 다른 역사에 비하여 면적이 넓다. 당초 정거장을 포함한 전구간을 개착식으로 시공하게 되어 있었으나, 교통량이 많으며 도로폭이 좁아서 서면지역의 심각한 교통체증을 유발하게 되어 당초의 설계공법을 수정하게 되었다. 따라서 공기를 줄이고 교통체증을 막을 수 있으며 주위 건물에 영향을 줄일 수 있는 공법을 모색하게 되었으며, 그 후보로 TOP-DOWN 공법이 검토되었다.

2.2 TOP-DOWN 공법의 개요

지하철 공법은 대별하여 개착식과 굴착식으로 나눌 수 있으며, 개착식은 일반개착식과 반개착식으로 나눌 수 있다.(그림2) 가장 많이 사용하는 방법은 일반개착식중 복공 흙막이 공법으로 공사비가 싸고, 개착공간을 최소화하여 교통소통에 이

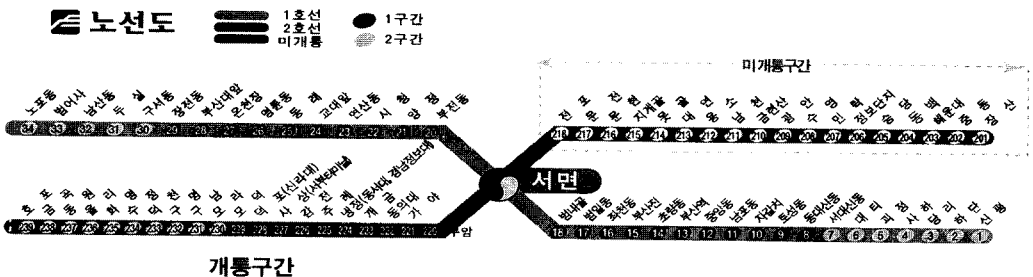


그림 1 부산 지하철 노선도

점이 있다. 그러나 복공 흠막이 공법을 사용하기 힘들 정도로 교통체증이 심한 구역에서는 굴착식에 비하여 상대적으로 공사비가 저렴하고 교통장애를 줄일 수 있는 공법으로 반개착식을 고려할 수 있다. 대표적인 반개착식 공법으로 흠막이 설치후 상부 슬래브를 먼저 타설하고 되메운 다음 구조물을 완성하는 방법이 있으며(그림3) 이중

상부 슬래브 타설 이후 여러층의 구조물을 위에서부터 타설하여 완성하는 방법을 TOP-DOWN 공법이라 한다. 상부슬래브를 타설하고 구조물 완성전에 되메우기하는 방법은 이미 1957년에 Milano 지하철에서 시도 되었으며, 상부에서부터 하부로 구조물을 시공하는 TOP-DOWN 공법은 주로 지하철역사 시공을 위해 많이 시공되었다.(그 예로 독일 Duisburg 지하철이 있다. 1975-1979 시공) TOP-DOWN 공법의 가장 중요한 장점은 노면 되메우기가 구조물의 완성전에 이루어져 교통장애 기간을 최소화 할 수 있다는 것이다. 또 흠막이 부재의 강성을 크게 하고 지하수위의 변화를 줄여 주변지반의 변동을 최소화 할 수 있다. 그 외에도 공사중 기후변화에 무관하고 공사공간을 줄이며, 개착식 공사에서의 가시설의 양을 크게 줄일 수 있는 장점이 있다. 단점으로는 상부슬래브 아래의 흠을 지하에서 운반해야 하므로 지하운반거리가 길어지거나, 출입구가 적절히 마련되지 않을 때는 오히려 비경제적일 수 있다. 또한 크레인 등 중장비사용이 다소 제한되며 상부슬래브와 흠막이의 연결, 공간이 넓은 경우 중앙 기둥의 가설과 연결, 그외의 슬래브와 흠막이의 연결, 방수처리등의 문제가 있다. 본 기사에서는 이러한 문제점들이 본 공사에서는 어떻게 처리되었는지 소개하며 외국 등 다른 시공예와 비교하여 고찰한다.

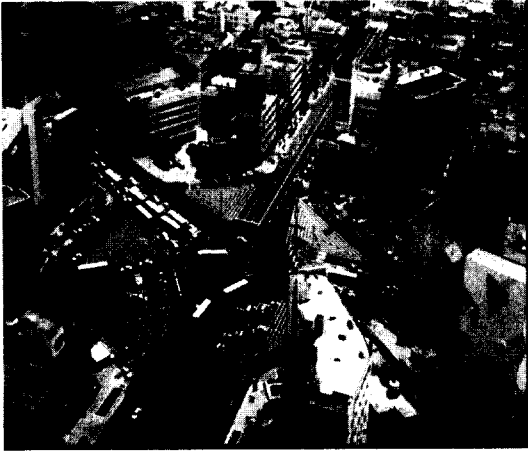
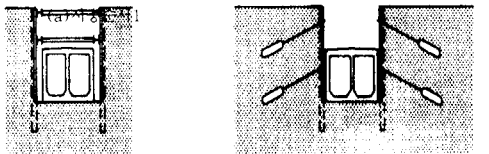
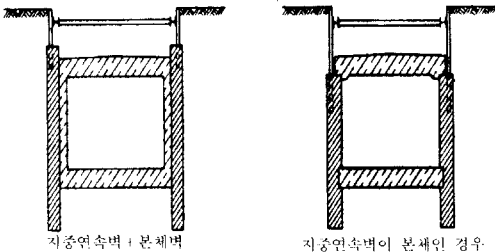


사진 2 서면정거장 구간의 육상 위치



H파일 + 버팀보

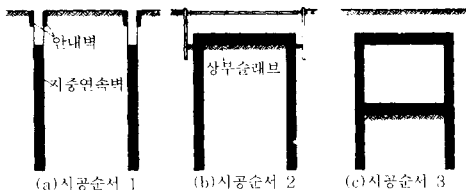
H파일 + 지중앵커



지중연속벽 + 본체벽

지중연속벽이 본체인 경우

그림 2 흠막이 벽이 있는 완전 개착식 공법



(a)시공순서 1

(b)시공순서 2

(c)시공순서 3

그림 3 반개착식 공법

2.3 서면정거장 TOP-DOWN 공법의 채택

당초의 서면정거장의 설계는 지중연속벽을 흠막이로 하는 완전 개착식 공법으로 약 20개월의 공기와 17억 5천만원이 예상되었다. 이에 대하여 TOP-DOWN 공법을 채택한 경우에는 공기를 14개월로 단축하고 공사비는 16억 1천만원으로 절감할 수 있을 것으로 예상 검토되었다. 표 1은 서면 정거장을 일반개착식 공법과 TOP-DOWN 공법으로 가설한 경우를 비교한 것이다. 지하철 공사에서 사용할 수 있는 TOP-DOWN 공법은 완전(full) TOP-DOWN 공법과 부분(partial) TOP-DOWN 공법으로 나눌 수 있는데, 이들의 특징을 비교한 것이 표 2이다. 서면

정거장은 부분 TOP-DOWN 공법을 채택하여 본 구조물이 완성될 때까지 버팀보를 거치하여 상대적으로 넓은 면적에 큰 하중을 부담하는 중앙 기

둥 단면을 줄일 수 있었다.

표 3은 서면 정거장 TOP-DOWN 공법의 주요시공 순서이며, 그림 4는 시공순서도이다.

표 1 당초공법과 TOP-DOWN공법의 시공계획 비교

구 분	당 초 공 법	TOP-DOWN 공법
시 공 순 서	<ol style="list-style-type: none"> 1. 지중연속벽 완료 2. 중앙 H-PILE 시공 3. CAP BEAM 설치 4. 초기굴착 및 주보 복공 설치 5. 1~8단 굴착 + STRUT 설치 6. 승강장 구조물 7. 대합실(지하2층) 8. 대합실(지하1층) 9. STRUT 철거 10. 상부되메움 11. 복공 철거 12. 노면 복구 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 지중 연속벽 + CAP BEAM 시공 2. 중앙 PILE 시공(가시철용) 3. 기둥공사 (Ø812.5 강관+Con'c) 4. 초기굴착 및 주보 복공 설치 5. 1단굴착 + STRUT 설치 6. TOP SLAB 시공 7. 2단굴착 + 대합실(지하1층)SLAB시공 8. 부대시설공사 진행 9. 3단굴착 + 대합실(지하2층) SLAB시공 10. 승강장 바닥 SLAB 시공 11. 상부되메움 12. 복공 철거 13. 노면 복구
노면복구시기	착공후 약 20개월	착공후 약 14개월
공사비 대비	17억 5천	16억 1천
연 관 공 사	부대공사 공기 지연(출입구, 연결통로, 변전실, 정화조, 공동구)	부대공사 조기 착수 및 전체 공기 단축(출입구, 연결통로, 변전실, 정화조, 공동구)

표 2 완전 역타공법과 부분 역타공법 비교

구 분	완전 역타공법(FULL TOP DOWN)	부분 역타공법(PARTIAL TOP DOWN)
개 요	<ul style="list-style-type: none"> · 상부슬래브 시공 후 되메우기 및 복공철거 후 노면복구 실시 · 지하2층 이후는 계속 지표하에서 시공 진행하며 노면으로는 원활한 교통소통 진행 	<ul style="list-style-type: none"> · 상부슬래브에서 중간슬래브, 하부슬래브 시공 등 구조물 시공을 완료한 후 복공철거 및 노면복구 실시
특 징	<ul style="list-style-type: none"> · 조속한 노면복구로 지상의 교통이 원활함 · 상부슬래브 시공후 되메우기 되므로 상부 토피가 중앙기둥에 바로 전달되므로 시공중 중앙기둥의 단면 증가(지지력 확보 어려움) · 시공시 중앙기둥 단면이 증가하므로 공사비 증대 	<ul style="list-style-type: none"> · 지하구조물 최종 시공 후까지 복공이 유지되므로 다소의 교통불편 발생 · 하부슬래브 시공후에 되메우기가 진행되므로 상부 토피를 하부슬래브와 중앙기둥이 분담하므로 시공 중 중앙 기둥의 단면 감소 · 시공시 중앙기둥 단면이 감소로 공사비 절감
노면복구시기	착공 후 약 10개월	착공 후 약 14개월
본 설계 적용		○
검 토 의 건	<ul style="list-style-type: none"> · 본 구간은 교통체중 심화지역이며 노면복구 시기에서 4개월이 차이는 있으나 경제성과 중앙기둥 시공의 난이성을 고려하여 부분 역타공법을 적용하였음. 	

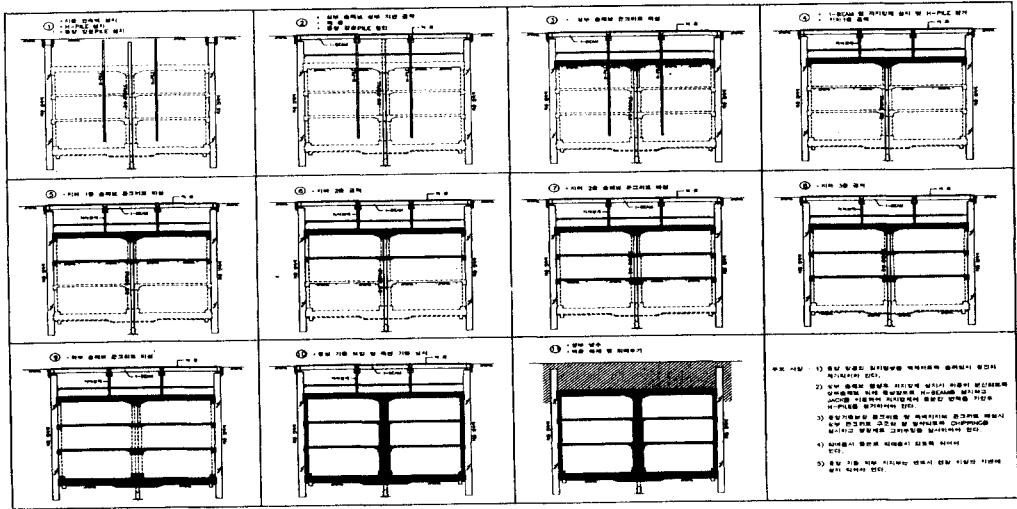


그림 4 서면정거장 시공순서도

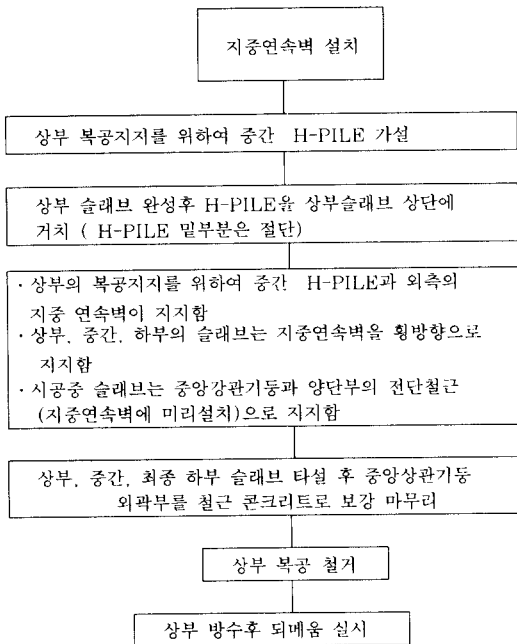


표 3 서면정거장 TOP-DOWN공법의 주요시공순서

2.4 흙막이 공법

TOP-DOWN 공법에서 흙막이로 지중연속벽 공법을 사용하는 경우가 많다. 이는 공사기간중 강성이 크고 차수의 성능이 좋은 흙막이가 필요하기 때문이다. 지중연속벽은 일반개착식에서 쓰

이는 H-파일+토류판에 비하여 공사비가 많이 들고, 재사용할 수 없으므로 TOP-DOWN 공법에서는 이를 본 구조물로 사용하는 경우가 많다. 지중연속벽 공법을 서면지역과 같은 도심에서 인접 구조물에 미치는 영향을 최소화하고, 지하수위의 변동을 억제할 수 있는 장점이 있다. 그런데 지중연속벽이 본 구조물로 사용되는 경우에는 다음의 몇가지 문제점이 해결되어야 한다.

- 1) 차수/ 방수의 문제
- 2) 상부 슬래브와의 연결 문제
- 3) 중간 슬래브 및 하부 슬래브와의 연결문제

본 공사에서는 지중연속벽 판넬의 수직도를 유지하여 판넬간의 이탈을 막을 수 있고 누수를 최소화할 수 있는 공법으로 하이드로 밀 공법을 적용하였다. 일반적인 그랩 방법과 본 구간에 적용한 하이드로 밀 공법을 비교하여 보인 것이 그림 5이다.

지중연속벽을 본 구조물로 사용하는 경우에는 별도의 벽체를 타설하지 않는 방법과 연속벽과 같이 하중을 분담하도록 본체 벽체를 붙여서 시공하는 경우가 있다. 이때 본체 벽체는 공사전후의 수위차에 따른 하중부분을 분담할 수 있고, 방수에 유리한 장점이 있다. 본 구조물은 본체 벽체를 덧붙여 시공했으며, 방수방법은 기존의 Asphalt계가 아니라 벤토나이트계를 사용하였는데 방수효과가 매우 우수 하였다.(사진3)



사진 3 벤토나이트계 방수 시공

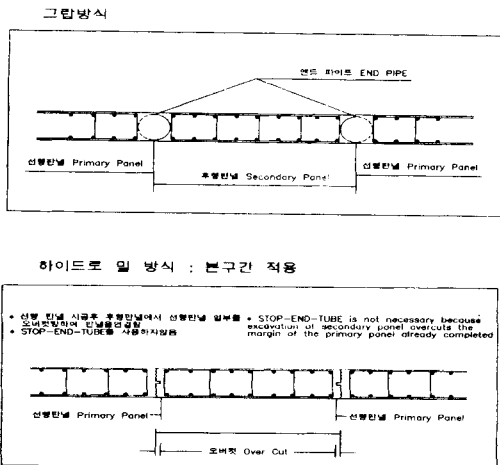


그림 5 지중 연속벽판넬

2.5 지중연속벽과 슬래브의 연결

지중연속벽과 슬래브는 일체 시공되지 않으므로 연결부가 구조적인 취약부가 될 수 있다. 이음부의 철근이음은 어떻게 할 것인지와 연결지점조건이 어떻게 되는지, 지중연속벽내부의 본체벽체와의 내력분담이 어떻게 되는지는 어려운 구조적인 문제가 된다.

본공사에서는 그림 6와 같이 슬래브 하단에 중앙방향 거더를 설치하여 전단마찰철근을 충분히 배근하여 이 문제를 해결하였으며, 구조계산에서는

극한 상태를 가정하여 활절로 취급하였다. 이때 전단연결철근은 지중연속벽내에 Mild bar를 굽혀서 설치하고 굴착후 이를 펴서 사용하였다. 사진 4는 지중연속벽내 철근망을 삽입하는 모습이다.

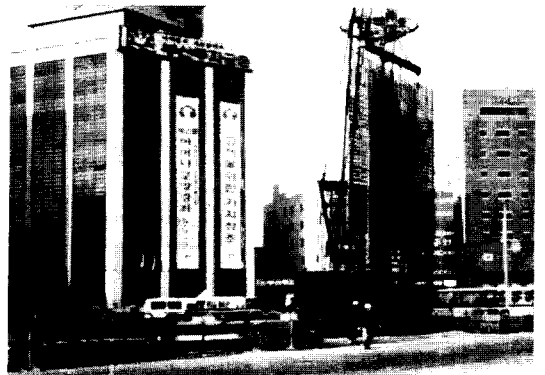


사진 4 지중연속벽내 철근망 삽입

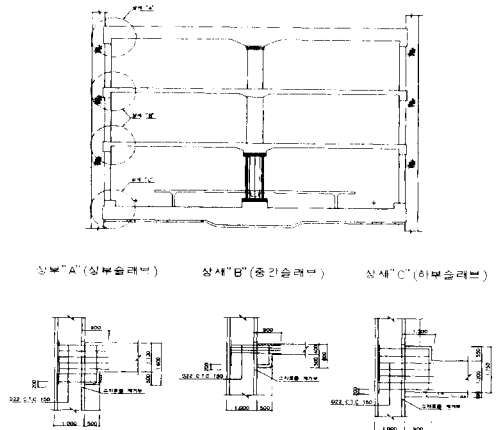


그림 6 슬래브 연결부의 상세

2.6 중앙 기둥

넓은 면적을 포함하는 TOP-DOWN 공법의 경우 중앙기둥을 중간 슬래브 타설이전에 가설하는 것이 필요하다. 시공중에 중앙 기둥은 슬래브를 통하여 전달되는 시공중 하중을 지탱하게 한다. 본 구조물에서 중앙기둥을 먼저 콘크리트 강관으로 가설하여 시공중 하중을 부담하고, 바닥슬래브가 완성된 후 철근 콘크리트를 추가로 하부에서 상부로 보강하여 기둥을 완성하였다.(사진5)

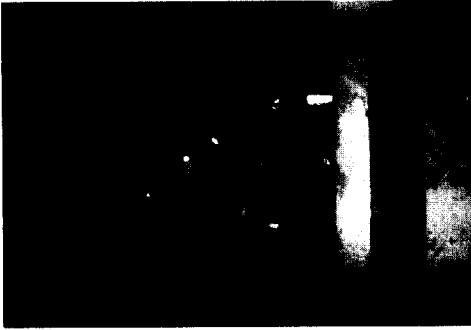


사진 5 시공중의 중앙기둥

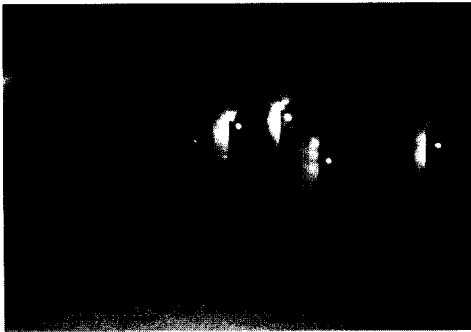


사진 6 완성된 중앙기둥

표 4 중앙기둥 시공시의 문제와 슬래브의 연결

문 제	대 책
· 상부 구조물 시공에 따르는 순차적인 하중증가에 대한 지지력 확보	· 중앙강관기둥 하단부에 현장타설 콘크리트 구체를 형성하여 주변마찰 및 선단지지 효과를 최대한 확보하고 필요시 TOE-GROUTING 실시
· 시공중 발생하는 중앙강관 침하에 의한 슬래브의 영향	· 침하량 15mm까지 견딜수 있는 구조조건 구비
· 중앙강관 내부콘크리트와 강관자체의 합성 거동을 위한 고려	· 강관내부에 미끄럼 방지 SHEAR KEY 설치
· 중앙강관과 슬래브의 연결	· 강관에 덧씌워진 보강관에 철근을 용접 (주요철근은 공장용접)
· 중앙강관 시공시 중장비 운전 하중에 대한 주형침도	· 작업 여건 및 운전하중을 고려하여 총150t의 가설 하중에 대하여 주형 및 주형지지보를 검토하여 구조적 안정성 확보
· 중앙강관 외곽부 콘크리트와 선 시공된 슬래브콘크리트와의 접속부 처리	· 레이턴스를 제거한 후 에폭시 모르타르를 주입
· 중앙기둥 외곽부의 (슬래브와 중앙기둥 외곽 콘크리트 연결부) 기둥 철근연결	· 슬래브 시공시 슬래브 하부로 1.0m 이상의 이음장만큼 철근(나중에 기둥의 축방향 철근으로 작용)을 뽑아 내고, 모래로 덮매 우기를 하고 거푸집을 설치한 후 슬래브 콘크리트를 타설

이는 시공시 중앙기둥의 크기는 줄이고 구조물 완성후의 하중부담에 대해서도 안전하게 하기 위한 것이다. 다소간 복잡한 시공순서를 밝힘에 따라서 슬래브와의 연결부에 주의가 필요하며 본 공사에서는 이를 그림 7과 같이 처리하였다.

표 4는 중앙기둥에서의 문제와 그 대책을 정리한 것이다.

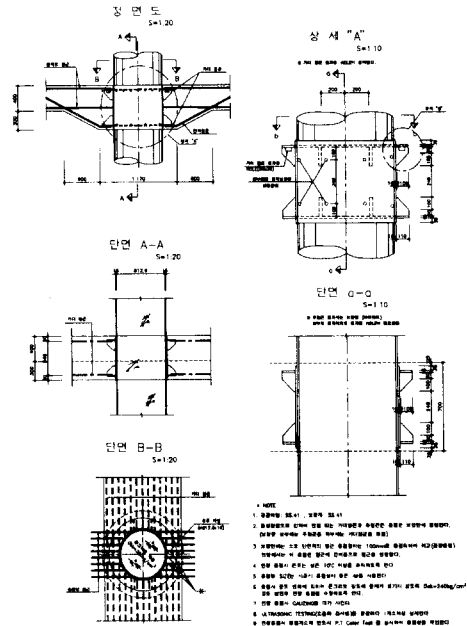


그림 7 중앙기둥과 슬래브의 연결부

2.7 기타 문제와 해결

그 외 TOP-DOWN 공사에 따른 문제와 그 해결 방법을 정리한 것이 표 5이다.

표 5 기타의 문제와 대책

문 제	대 책
· 지장물로 인하여 지중연속벽 시공이 어려운 구간의 TOP-DOWN 적용방법의 산정	· 흙막이용 H-PILE 이외에 추가로 슬래브 지지용 H-PILE을 설치하여 상부하중을 지지
· 슬래브지지 H-PILE과 슬래브간의 연결	· (슬래브 지지용) H-PILE의 상부하중 부담을 적게하기 위하여 벽체 구조물은 상부중간·하부슬래브 시공 후 하부로부터 상부방향으로 시공
	· H-PILE 외곽부의 미끄러짐 방지 KEY외에 하단의 T-형강에 의해 슬래브가 지지 되도록 함

3. 결론 및 고찰

3.1 TOP-DOWN 공법에 대하여

서면 정거장 TOP-DOWN 공법은 당초 완전 개착식으로 설계된 구간의 변경설계 공법으로 적용되었으므로 현장여건에 따른 많은 제약이 있었다. 특히 중앙강관의 직경 선택에 있어서도 대형 관로와 같은 지장물이 있어 어려움이 있었다. 이에 따라 중앙기둥을 일회 시공하지 못하고 ϕ 800 강관을 선시공한 후 외부에 철근콘크리트를 추가로 타설하여 기둥을 완성하는 순서를 택할 수 밖에 없었다. 또한 하부 슬래브 설치 및 중앙기둥이 완성된 후에 되메움을 실시하게 된 것은 완전한 TOP-DOWN 공법의 최대 이점을 활용하지 못한 것으로 아쉬움이 크다. 이러한 몇 가지의 계획 및 설계상의 아쉬움에도 불구하고 TOP-DOWN 공법의 도입은 안전시공, 공기절감, 경제성 제고 등의 많은 이점을 확보 할 수 있게 되었다. TOP-DOWN 공법을 지하철 정거장의 건설에 적용한 예는 외국에는 그 사례가 있었으나 국내에서는 최초이므로 많은 시행착오를 거듭하였으며 향후의 꾸준한 개선이 필요한 것이다.

3.2 슬래브 연결부 처리

지중연속벽체를 구조물 본체로 사용하는 경우에는 상,하부 및 중간 슬래브의 연결 및 방수가 항상 문제가 된다. 본 공사에서는 굵힘이 가능한 Mild Bar를 사용하고, 단부보를 덧붙여서 전단 마찰 연결하였으나, 그림 8과 같이 철근나사이음, 강재용접등 다양한 방법이 있다. 우리나라의 경우에는 이러한 경우에 적절한 제품을 구하기 어려워 기술자가 자유롭게 선택할 수 있는 폭이 좁다. 고급 건설 기술에 관계되는 제품 생산이 보다 활성화 될 필요가 있다고 하겠다. 콘크리트 구조물의 설계에서 자주 부딪히는 문제가 우각부, 연결부 등 특수부분의 철근 배근 문제이다. 본 공사에서 연결부는 전단 마찰 철근만으로 처리하였으나, 그림 8에서와 같이 힘의 흐름에 따른 경사 철근의 사용과 같은 효율적인 철근 배근이 보다 이상적이다. 관계되는 시방서와 설계편람등의 기

술자료가 제공되어 기술자가 개선된 배근예를 참고할 수 있기를 기대한다.

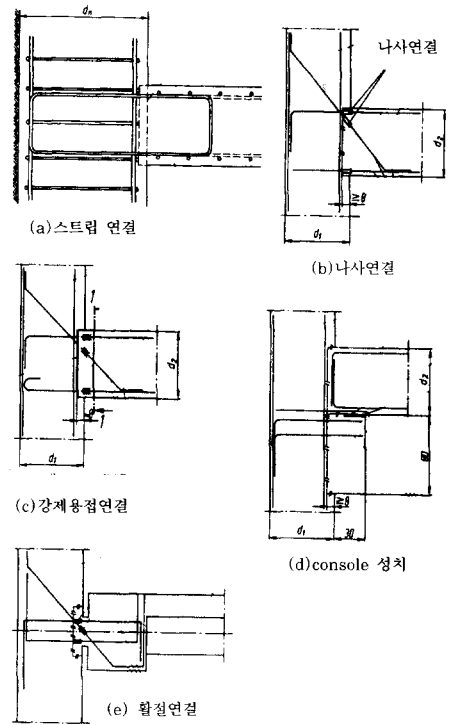


그림 8 지중연속벽과 슬래브의 연결부 시공예

3.3 고찰 및 제언

본 구간의 TOP-DOWN 공법은 여러 가지 제약 조건하에서 비교적 성공적으로 수행되었다고 볼 수 있다. 본 공법의 시공에 따른 문제점과 해결의 예가 다른 공사에서 보탬이 되기를 기대한다.

우리나라에 지하철 공사가 시작되지는 20년이 넘지만 대부분 터널 시공 및 기초공법에 관한 분야로 치부되어 상대적으로 콘크리트 재료 및 구조설계와 시공에 관한 연구가 미흡하다. 지하철 구조물의 대부분이 콘크리트 구조물인 점을 감안하면 이러한 경향은 크게 잘못된 것이다. 아직도 재료의 품질관리, 방수, 이음, 연결부처리, 배근 및 구조해석 등 콘크리트를 전공하는 연구자와 기술자가 해결해야 될 문제가 산적해 있다. 현장에서 적용가능성이 높은 우수한 연구가 수행되기를 콘크리트 학회에 기대한다. []