



02



싱가폴 NSLe C156 지하철공사의 다이하프램 월 시공

Construction of Subway Diaphragm Wall of NSLe C156 in Singapore

강동욱 Dong-Ok Kang
삼성C&T 싱가포르 NSLe
C156현장 공사차장

이창건 Chang-Gun Lee
삼성C&T 싱가포르 NSLe
C156현장 설계주임

박신경 Sin-Gyeong Park
삼성C&T 싱가포르 NSLe
C156현장 현장소장

1. 머리말

현재 싱가포르에서 삼성C&T는 7개의 토목 프로젝트를 수행 중에 있다. 고속도로(MCE)를 건설하는 C483과 C486 현장, 지하철(MRT)을 건설하는 C908, C156, C922 및 C923현장, 매립공사를 수행하고 있는 멀바우 현장이 그 주인공들이다(그림 1). 본 고에서는 싱가포르 지하철 노선중 하나인 North-South Line의 연장구간(NSLe)을 시공 중인 C156현장의 다이하프램 월(Diaphragm Wall) 시공을 중심으로 기술하고자 한다.

2. 구조물 이전 공정

구조물 착공 전 수행되어야 하는 공종들은 <표 1>과 같으며, 현재 완료되었거나 완료를 목전에 두고 있는 상태이다.

3. 다이하프램 월 시공

C156 현장의 다이하프램 월은 굴착시 토압을 지지함과 동시에 영구벽체로 사용되는 구조벽체이다. 두께에 따라 세가지 유형(800 mm, 1,000 mm, 1,200 mm)이 있고, 너비는 2.8 m ~ 6.78 m이며, 실제 굴착 깊이는 트라우저 방식을 사용함에 따라 20.9 m ~ 86.3 m로 다양하다.



그림 1. 싱가포르 삼성C&T 토목현장 위치도

표 1. 구조물 이전 공사의 공정률

구분	지반개량(DSMorJGP)	말뚝(Bored Pile)	다이하프램 월	굴착
총 수량	12,407 hole	175본	809 panel	548,024 m ³
완료 수량	12,407 hole	175본	809 panel	476,719 m ³
잔여 수량	0hole	0본	0 panel	71,305 m ³
공정률(%)	100%	100%	100%	87.0%

3.1 트라우저 방식

트라우저(Trouser) 방식이란, 굴착 시 발생하는 수평력을 분담하는 숏패널(Short Panel)과 수평력 및 수직력 모두를 지지하는 롱패널(Long Panel)로 이루어진 다이아프램 월의 구성을 말한다. C156현장의 지질은 20여년 전에 매립된 곳으로써 40~50m까지 수직력에 대한 지지가 약한 매립토나 Kallang Formation(주로 marine clay)으로 이루어져 있다. 따라서 모든 패널이 수직력을 받는 구성에 비해 트라우저 타입을 사용하는 경우 롱패널의 길이는 약간 증가하지만 다이아프램 월 전체 물량은 줄일 수 있는 장점이 있다.

3.2 굴착면 보강

C156 현장에서는 지반개량을 위해 주로 DSM(deep soil mixing) 공법을 사용하였으며, 부분적으로 JGP(jet grouting pile) 공법도 사용하였다. DSM은 기존 지반을 교란시키는 방법이기 때문에 DSM 완료 후 다이아프램 월을 시공하게 되면 공벽 안정성에 문제가 발생하게 된다. 따라서 우리 현장에서는 <그림 2>와 같이 다이아프램 월이 시공되는 양벽면부에 DSM을 추가적으로 시공하여 이러한 공벽 안정성 문제를 해결하였다. 원래 계획되어 있는 DSM 시공위치와 동일하기 때문에 DSM과 동시에 시공함으로써 공정에 미치는 영향을 최소화하였다. 참고로 2축 DSM 장비를 사용하였으며, 공당 직경은 1.3m이다.

3.3 다이아프램 월 장비 구성

C156 현장의 지층 구성은 굴착 측면에서 크게 세 개

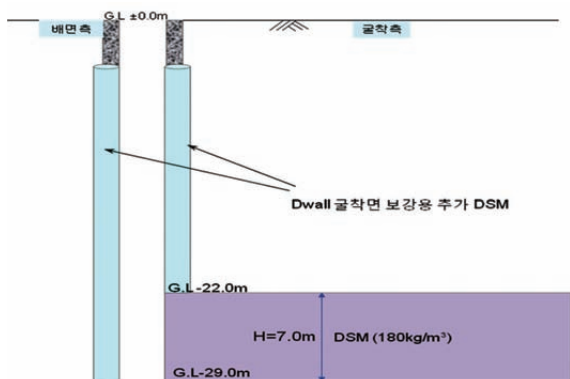


그림 2. 추가 DSM을 통한 다이아프램 월 굴착면 보강

로 나눌 수 있다. 첫 번째 구간은 지반면에서 구조물 시공을 위한 굴착 깊이까지의 구간으로써, 위에서 언급한 대로 벽면 안정성을 위해 다이아프램 월 양측면으로 굴착 깊이까지 DSM이 시공된 상태이다. 두 번째 구간은 marine clay로 이루어진 구간이며, 마지막 구간은 marine clay 밑에 존재하는 OA(old alluvium)구간으로 연직력을 지지할 수 있는 단단한 구간이다.

첫 번째 구간에서 Grab을 이용하여 굴착하는 경우 기술자의 숙련도에 따라 작업 효율 및 수직도에 큰 차이가 발생하여 관리에 어려움이 있었다. 따라서 DSM이 시공되어 있는 깊이까지는 BC cutter 장비로 굴착하여 작업 효율 및 수직도를 관리할 수 있었다. 교량 하부 등 형하고의 제한을 받는 곳이 아니라면 long body의 BC cutter를 사용하였을 때 굴착 시 수직도 관리에 유리하였다. Short body의 경우 자중이 작아서 DSM층 굴착 시 수직도 관리에 어려움이 있었다.

두 번째 구간에서 BC cutter를 이용하는 경우 marine clay가 BC cutter의 휠(wheel)에 쉽게 달라붙기 때문에 이것을 청소하는 소요시간이 대부분을 차지하였다. 따라서 Grab 장비를 이용하는 것이 보다 효율적이었다.

세 번째 구간에서는 지반의 단단한 정도에 따라 BC cutter와 Grab을 혼용하여 사용하였으며, 최하단의 경우 BC cutter를 이용하여 굴착 및 바닥 cleaning 작업을 동시에 수행하였다.

위와 같은 지질의 특성에 따라 당 현장에서는 기본적으로 1개의 팀을 1대의 BC cutter와 1대의 Grab(또는 2대의 Grab)으로 구성하였다(사진 1, 2).



사진 1. 굴착 장비(BC cutter)



사진 2. 굴착 장비(Grab)

플랜트의 용량이 부족하게 되면 filter pressure를 통한 폐액 처리가 공사기간에 큰 영향을 미친다. 즉, 플랜트의 용량은 굴착할 수 있는 최대량(장비의 운용 효율)을 좌우하는 중요한 인자이다. 우리 현장에서는 최대 패널(설계 굴착량 568 m³)의 3배 정도에 해당하는 용량(1,600m³)을 갖추어서 장비의 효율을 극대화시킬 수 있었다(사진 3).

3.4 다이아프램 월 시공 순서

다이아프램 월 시공 순서는 <그림 3>과 같다.



사진 3. 플랜트 전경

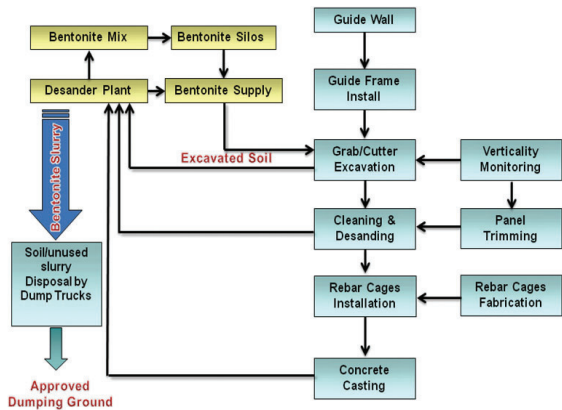


그림 3. 다이아프램 월 시공 순서

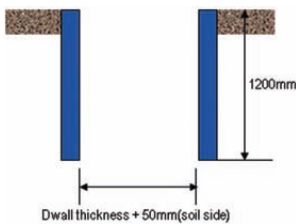


그림 4. 가이드 월 단면도



사진 4. 가이드 월 시공 전경



사진 5. 철근망 근입 전경



사진 6. 철근망 인양 전경

3.5 가이드 월 시공

가이드 월(Guide Wall)은 굴착장비 진입시 가이드 역할을 수행함으로써 수직도를 유지해 주고, 중장비의 하중에 따른 상층부 공벽 붕괴를 방지시켜 주며, 철근망 근입 시 거치대 역할을 한다. 가이드 월은 굴착시 발생하는 수직도 오차와 추후 구조물 시공을 위한 굴착시 발생하는 Dwall의 변위를 고려하여 시공(set back)하였다. 가이드 월은 두께 300 mm, 깊이 1.2m로 시공하였으며, 가이드 월의 간격은 아래 <그림 4>와 같이 굴착 폭보다 50 mm 굴착매면 방향으로 크게 하였다. 또한, 굴착장비가 올라서게 되는 working platform과 철근으로 연결시킴으로써 전체적인 강성을 키울 수 있도록 시공하였다. 콘크리트의 압축강도는 25 MPa를 사용하였다(사진 4).

3.6 철근망 제작

다이아프램 월 시공 시 트렌치 안정성 측면에서 가장 불리한 시기가 desanding을 마치고 철근망을 근입하는 시기이며(사진 5), 철근망 근입에서 가장 많은 시간을 요하는 작업이 철근망의 연결 작업이다. 따라서 철근망 연결 작업을 최소화하기 위해서는 철근망의 길이를 연장하는 것이 필요하다. 이때, 철근망의 길이 및 중량은 사용해야 하는 크레인의 용량 및 비용을 결정하는 중요한 요소이기도 하다. 또한, 영구 구조물(slab)의 위치 및 철근의 손실률도 철근망의 길이를 결정하는 주요 인자이다. 우리 현장에서는 주철근의 연결을 일반적으로 사용되는 겹이음 대신 커플러를 사용함으로써 철근망의 중량을 줄였으며, 다이아프램 월 작업 시 일반적으로 사용하는 120 ton 크레인을 이용하여 인양 가능하도록 철근망을 20 m 내외로 현장 제작하였다.

3.7 철근망 인양 및 근입

철근망은 <사진 6>과 같이 풀리(pulley)를 이용하여 3점 인양하였다. 인양 시 크레인의 보조 인양 고리에 허용 하중 이상의 힘이 걸리지 않도록 하는 것이 아주 중요하며, 조작자의 숙련도를 미리 챙겨보아야 한다.

4. 구조물

이번 프로젝트는 현재 구조물 타설이 한창 진행되고 있으며, 구조물의 공정률은 36.8%이다. 현장 설계팀에서는 복잡한 지하철 역사의 특성을 고려하여 BIM(Building Information Modeling)을 초기 설계 단계에서부터 자체적으로 수행함으로써 아래와 같은 효과들을 얻고 있다.

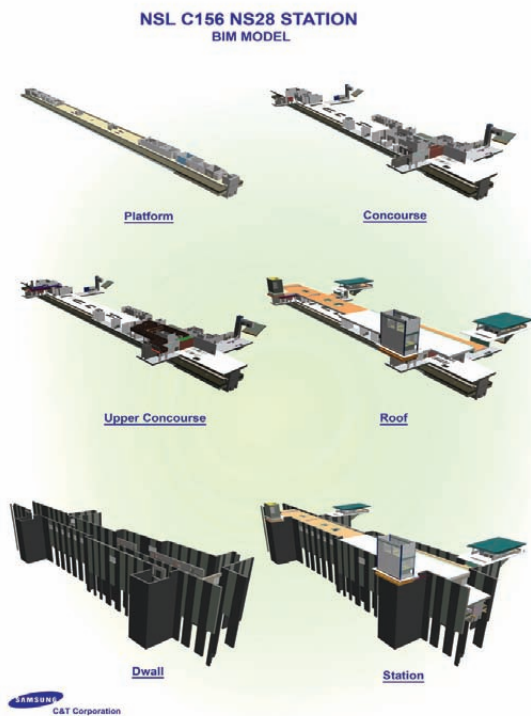


그림 5. 정거장 구간의 BIM 모델



그림 6. 조물 완공 후의 역사 입구 모습

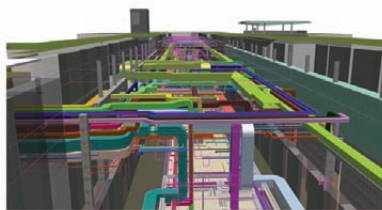


그림 7. 정거장 내부 M&E 파이프

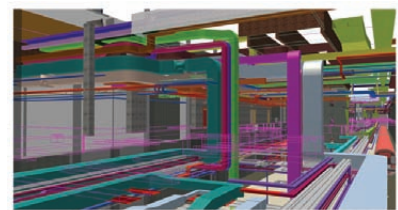


그림 8. M&E 파이프 간섭 체크

(1) 설계 단계에서 간섭 사항 검토 및 변경

평면 도면의 한계를 넘어 3차원 방식을 통해 지하철 역사 내 복잡하게 얽혀있는 각종 M&E 파이프들간의 간섭 및 구조물과의 간섭을 사전에 인지하여 M&E 설치 업체인 SWC(System Wide Contractor)들과 사전에 협의가 가능하며, 차후 발생할 수 있는 시공 지연 및 에러를 방지하고 있다.

(2) 구조물의 높은 이해

협력업체를 포함하여 시공을 담당하는 모든 구성원들이 BIM을 통해 구현한 건설이 완료된 가상의 3차원 구조물을 공유하고 있으며, 이를 통해 구조물의 시공 시 일어날 수 있는 문제점을 미리 파악하여 시공계획에 반영한다. 또한 2차원 도면에서 찾기 힘든 시공에서의 문제점들을 명확히 찾아낼 수 있다.

(3) 공정 계획 수립

BIM은 단순히 3차원의 공간을 표현해 주는 기능뿐만 아니라 시간의 개념까지 더해 4D의 특성을 살려 Delivery Route를 고려한 시공 순서 및 자재, 장비의 이동 경로 수립 시에도 많은 도움을 주고 있다. 또한 작업자들의 동선, 대형 크레인의 위치, 인양 작업 시 충돌 가능성 등을 사전에 판단하여 실제 공사에 반영할 수 있다. 그리고 해외현장의 특성상, 언어의 장벽으로 인해 설명하기 어려운 부분들을 3차원 모델을 보면서 협의할 수 있다는 것도 큰 장점이다.

최근 해외 건설에서 BIM을 선택이 아닌 필수로 채택하는 사례가 많이 있다. 싱가포르 역시 건설 관련 기관인 BCA(Building & Construction Authority)가 건설 공사 발주 시 BIM을 필수 조건으로 분류하고 있다. 우리 현장은 다른 유사 공정에 비해 공기가 1년가량 짧은 돌관현장이다. BIM을 통해 짧은 시간 안에 단 한 번의 실수 없이 구조물을 시공해 왔으며, 남은 공사 또한 무사히 마칠 수 있을 것으로 기대하고 있다<그림 5~8>.

5. 맺음말

발주처로부터 “싱가포르에서 가장 깊고(최대 굴착 심도 86.3m) 가장 많으나(809 패널, 설계굴착량 163,124 m³) 가장 빨리 시공했다(월 최대 93 패널 시공).”는 평가를 받을 수 있도록, 어려운 현장 여건 속에서도 다이아프램 월 시공에 혼신의 힘을 기울여주신 삼보 E&C의 정해걸 소장님 이하 현장 분들에게 감사의 인사를 드립니다. 본 고가 싱가포르의 여러 프로젝트에서 근무하고 계신 많은 국내 건설업체 분들에게 조금이나마 도움이 되었기를 바랍니다. 📧

담당 편집위원 : 차수원(울산대학교) chasw@ulsan.ac.kr



강동욱 차장은 서울대학교 토목공학과에서 석사학위를 취득 후 1997년 삼성C&T 기술연구소에 입사하여 현재 싱가포르 NSLe C156 현장의 공사 차장으로 재직하고 있다.
okkang@samsung.com



이창건 주임은 KAIST 토목공학과에서 석사학위를 취득 후 2011년 삼성 C&T 토목사업본부에 입사하여 현재 싱가포르 NSLe C156 현장의 설계 주임으로 재직하고 있다.
cg.lee@samsung.com



박신경 소장은 서울대학교 토목공학과를 졸업한 후 2003년 삼성C&T 토목사업본부에 입사하여 현재 싱가포르 NSLe C156 현장에서 소장으로 재직하고 있다.
sg2003.park@samsung.com