중국 백운암구간 로드헤더를 이용한 터널공사 사례분석

김재영
(주)코템
공학박사/대표이사

한 걸
(주)코템
기계화 터널팀/주임

1. 머리말

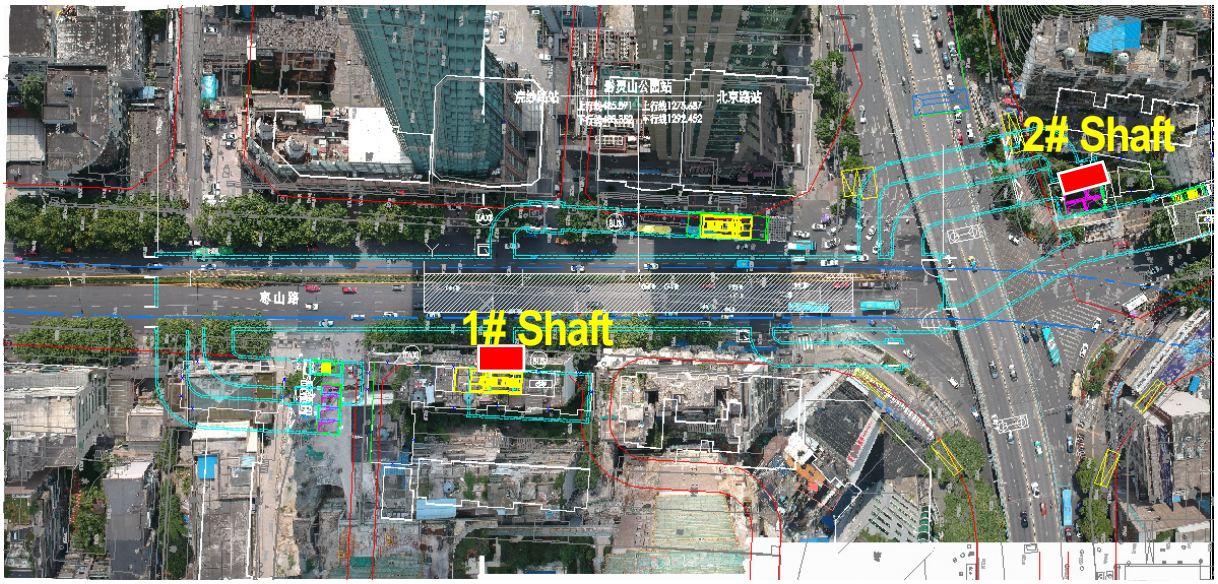
최근 국내 도심지에서도 NATM에 의한 소음·진동·민원의 영향을 최소화하고 연속굴착을 통해 터널공사의 굴진효율을 향상시키기 위해 발파공법을 대체하는 대표적인 기계화 굴착장비인 로드헤더의 적용성을 검토하고 활용하는 사례가 증가하고 있다. 그러나 아직까지 국내 터널현장에서 사용한 로드헤더의 시공실적이 공개되거나 데이터가 축적되어 있지 않아 설계시에는 해외 터널공사의 제한된 실적데이터 또는 제조사가 제시하는 이론적 굴착효율에 의존하고 있는 실정이다. 또한, 해외의 공개된 시공실적 중에는 국내의 지질조건과 상이한 경우가 많고, 특정구간의 데이터를 제시하고 있기 때문에 활용시에는 주의가 필요하다. 그러나, 국내의 데이터가 충분히 축적되고 적절한 효율검토가 이루어질 때까지는 해외의 제한된 실적데이터를 참고하면서 해당 과업의 조건에 맞춰 보완하는 과정을 병행하면서 최적의 계획을 수립할 필요가 있을 것으로 사료된다.

여기서는 중국의 도심지 지하철 정거장 공사 중 백운암으로 구성된 터널구간에서 약 3개월간 로드헤더를 사용한 시공일지를 수집하였고, 그 내용을 분석하여 향후 국내에서 유사한 지질조건에 대해 설계와 시공계획을 수립하는데 있어서 참고적 자료를 제공하고자 한다.

2. 귀양 지하철 3호선 치엔링산 공원역 프로젝트 개요

귀양 지하철3호선 치엔링산 공원역(Guiyang Metro Line No.3, Qianlingshan Park Station)은 조산로(Zaoshan Road)의 번화가 및 공원 근처이며, 주변에는 Howard Johnson Hotel, Guiyang Railway Building, China Tobacco Building 등 고층건물이 존재하고 시민과 차량의 이동이 많은 도심지 지역에 위치하고 있다.

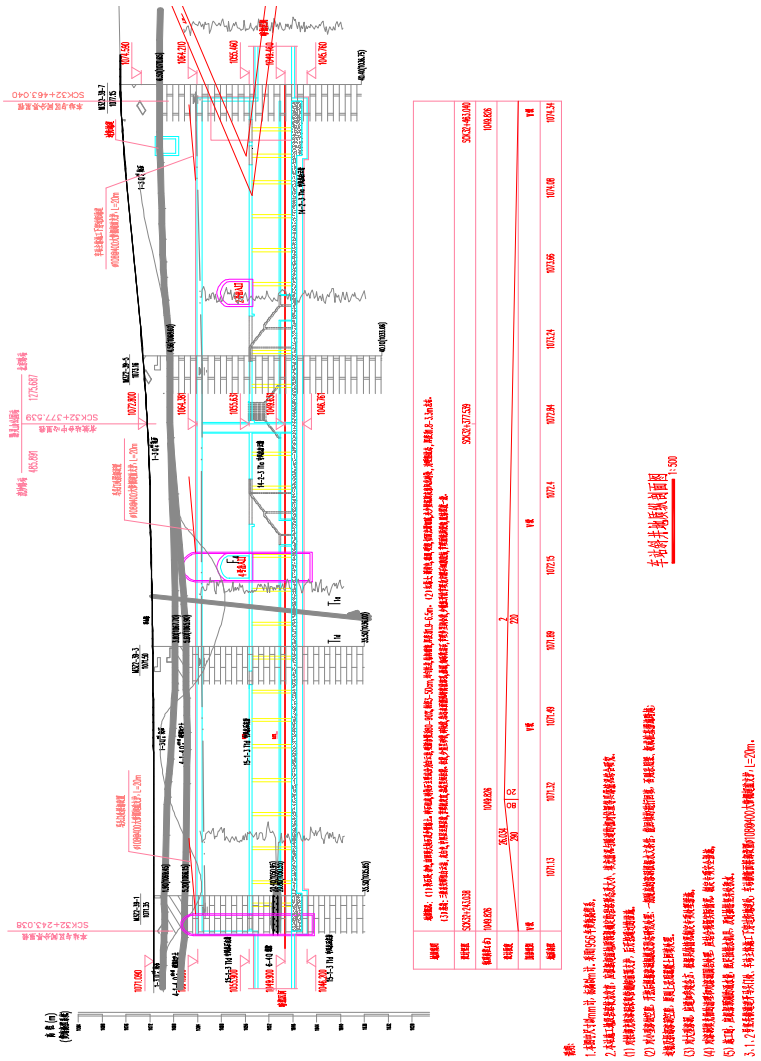
정거장 공사를 위한 1번 수직구의 작업장 면적은 1,310m^2, 2번 수직구(경사갱) 작업장 면적은 1,644.5m^{2}로 활용가능한 지상 작업장의 공간이 협소한 편이다. 또한 현장 주변에는 보수가 부족한 오래된 파이프라인이 많아 주변 건축물과 함께 보호하면서 공사해야 하는 복잡한 주변 환경이며, 인근 치엔링산에 비해 지리적 위치가 낮아 물이 많이 고일 수 있어 방수공사에도 주의를 기울여야 한다.



〈그림 1〉 치엔링산 공원역 평면도

3. 지반조건

정거장 구간의 주요 토질구성은 〈1-1〉혼합토, 〈1-3〉괴석층, 〈4-1-3〉붉은 점토, 〈14-2-3〉중간 정도 풍화 백운석, 〈15-1-3〉중간 정도 풍화 석회석으로 구성되어 있다. 지하수는 상부에는 분포가 불규칙하고 계절적인 특징을 가지고 있는 고인 지하수층과 하부에는 풍화된 균열(weathered fissures), 절리, 균열이 있으며, 용해된 공극은 지하수의 저장공간과 이동통로가 된다. 또한 주변으로부터의 보급범위가 비교적 넓고 보급원도 풍부하다.

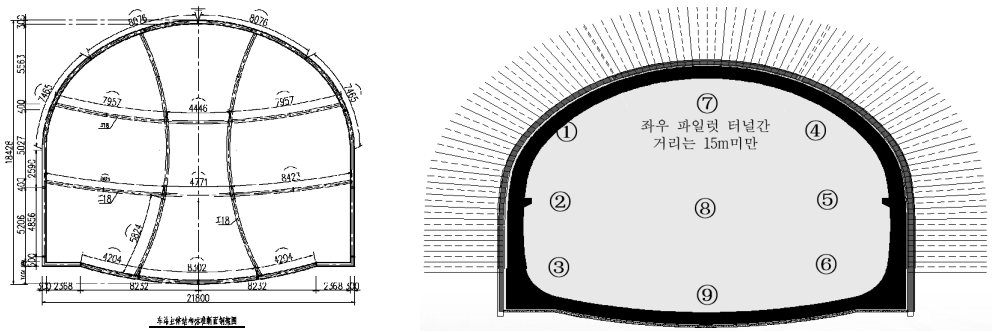


〈그림 2〉 정거강 구간 지질조건 횡단도

4. 터널공사

4.1 터널굴착 개요

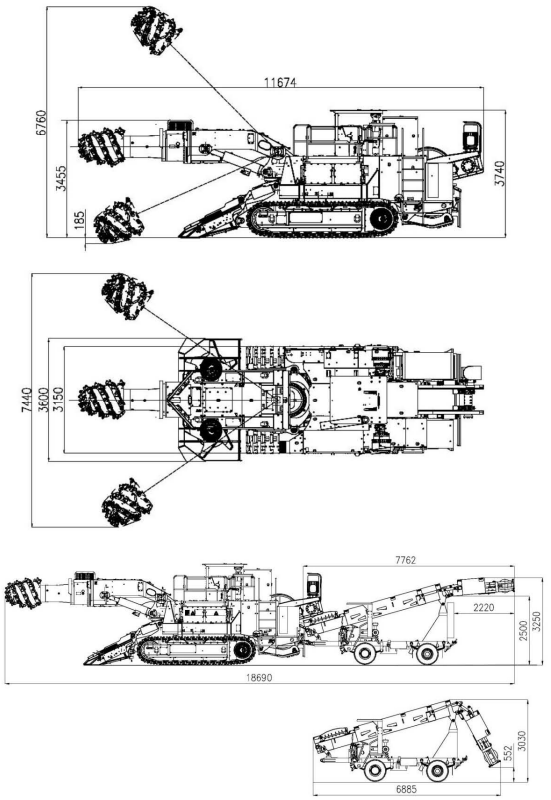
터널공사는 그림과 같은 단면계획을 바탕으로 분할굴착하여 시공하였다. 상중하로 분할하였고, 좌우 폭에 따라 분할굴착하는 9분할을 적용하였다. 굴착은 CTR 300D 로드헤더를 사용하여 상반을 굴착하고 후방에서 덤프트럭에 상차하여 버력을 반출하였다. 1차 지보는 Steel frame, Steel mesh, Shot concrete를 적용하였다.



〈그림 3〉 치엔링산 공원역 터널굴착 단면도

4.2 상반 굴착장비, CTR 300D 로드헤더

터널의 상반굴착에 사용한 로드헤더의 모델은 CTR 300D이며, 사양은 다음과 같다.



Parameter		CTR 300D
Totalweight (including dust removal and 2nd Belt conveyer)		100 ton
Dimensions	Length	11.67 m
	Width	3.6 m
	Height	3.75 m
Total installed power		488 kW
Recommended rock UCS (up to designed capacity)		80 MPa
		180 MPa
Positioning cutting range	Width	7.44 m
	Height	6.77 m
Ground pressure		0.18 MPa
Grade ability		±16°
Supply voltage		AC1140 V
Mini. cooling water		0–90 L/min
Transformer capacity to be configured		630 KVA

〈그림 4〉 로드헤더 CTR 300D, 장비개요도 및 사양

4.3 로드헤더 공사기록(CTR 300D Roadheader construction log)

현장에서 제공한 공사기록은 표 1과 같으며, 관련 내용을 정리하면 다음과 같다.

- Average hardness of rock : 90.88 MPa
- Cumulative operating time : 516.75 hrs
- Accumulative cutting square quantity : 5148 cubic
- Accumulative consumption of picks : 513 ea
- Average cutting efficiency : 10 m^3/hr
- Each cutter tooth wear in actual use is different, different position of different geological conditions need time is not the same, such as the front of the cutting head cutter tooth arrangement is dense, the back of the thin, some material easy to bond in the cutter tooth seat, to replace the cutter tooth produce certain difficulties, generally contain clear adhesive material change cutting pick the longest do not exceed four minutes, usually the pick is replaced in about 1 minute without preparation time.

〈표 1〉 CTR 300D Roadheader construction log

Div		Rock characteristics			Working time		Roadheader operation		Advance (m)	Excavation (m^3)	Remark
No	Date	Geology	UCS (MPa)	Grade	Hr	Min	Hr	Min	Upper	Upper	
1	2021-03-10	Dolomite	90	4	9	0	7	23	2.4	72	
2	2021-03-11	Dolomite	90	4	6	40	6	1	1.8	54	
3	2021-03-12	Dolomite	90	4	6	50	5	33	1.8	54	
4	2021-03-13	Dolomite	90	4	5	45	5	45	1.8	54	
5	2021-03-14	Dolomite	90	4	6	10	5	27	1.8	54	
6	2021-03-15	Dolomite	80	4	5	20	5	23	1.8	54	
7	2021-03-16	Dolomite	80	4	15	40	13	15	3.6	108	
8	2021-03-17										Holiday
9	2021-03-18	Dolomite	90	4	7	0	6	30	1.8	54	
10	2021-03-19	Dolomite	90	4	9	30	7	22	2.4	72	
11	2021-03-20	Dolomite	90	4	10	30	7	14	2.4	72	
12	2021-03-21	Dolomite	90	4	7	40	5	28	1.8	54	
13	2021-03-22	Dolomite	90	4	10	10	7	21	2.4	72	
14	2021-03-23	Dolomite	100	4	9	30	7	13	2.4	72	
15	2021-03-24	Dolomite	100	4	9	0	7	8	2.4	72	
16	2021-03-25	Dolomite	100	4	9	30	7	11	2.4	72	
17	2021-03-26	Dolomite	100	4	8	40	6	14	2.4	72	
18	2021-03-27	Dolomite	100	4	8	20	6	1	2.4	72	

〈표 1〉 CTR 300D Roadheader construction log (계속)

Div		Rock characteristics			Working time		Roadheader operation		Advance (m)	Excavation (m^3)	Remark
No	Date	Geology	UCS (MPa)	Grade	Hr	Min	Hr	Min	Upper	Upper	
19	2021-03-28	Dolomite	100	4	9	20	7	26	2.4	72	
20	2021-03-29	Dolomite	100	4	10	10	6	31	2.4	72	
21	2021-03-30	Dolomite	100	4	9	30	8	17	2.4	72	
22	2021-03-31	Dolomite	100	4	8	50	8	15	2.4	72	
23	2021-04-01	Dolomite	90	4	7	0	6	2	1.8	54	
24	2021-04-02	Dolomite	90	4	9	40	7	3	2.4	72	
25	2021-04-03	Dolomite	90	4	9	10	6	52	2.4	72	
26	2021-04-04	Dolomite	90	4	8	40	6	38	2.4	72	
27	2021-04-05	Dolomite	90	4	8	30	6	35	2.4	72	
28	2021-04-06										Holiday
29	2021-04-07	Dolomite	90	4	9	30	7	43	2.4	72	
30	2021-04-08	Dolomite	90	4	8	10	6	22	2.4	72	
31	2021-04-09	Dolomite	80	4	6	0	5	9	1.8	54	
32	2021-04-10	Dolomite	80	4	5	20	5	13	2.4	72	
33	2021-04-11	Dolomite	90	4	9	0	6	54	2.4	72	
34	2021-04-12										Holiday
35	2021-04-13	Dolomite	100	4	10	30	8	29	2.4	72	
36	2021-04-14	Dolomite	100	4	9	20	8	3	2.4	72	
37	2021-04-15	Dolomite	100	4	10	0	8	42	1.8	54	
38	2021-04-16	Dolomite	90	4	8	20	6	4	1.8	54	
39	2021-04-17	Dolomite	80	4	8	0	5	52	2.4	72	
40	2021-04-18	Dolomite	80	4	8	30	5	54	2.4	72	
41	2021-04-19	Dolomite	80	4	8	40	6	17	2.4	72	
42	2021-04-20	Dolomite	90	4	7	30	5	51	1.8	54	
43	2021-04-21										Holiday
44	2021-04-22	Dolomite	95	4	10	0	8	17	2.4	72	
45	2021-04-23	Dolomite	95	4	7	10	5	54	1.8	54	
46	2021-04-24	Dolomite	95	4	9	40	7	2	2.4	72	
47	2021-04-25	Dolomite	95	4	7	20	5	43	1.8	54	
48	2021-04-26	Dolomite	95	4	9	30	6	33	2.4	72	
49	2021-04-27	Dolomite	90	4	17	0	14	23	4.8	144	
50	2021-04-28										
51	2021-04-29	Dolomite	90	4	9	30	7	5	2.4	72	
52	2021-04-30	Dolomite	90	4	9	0	6	34	2.4	72	
53	2021-05-01	Dolomite	80	4	6	30	4	39	1.8	54	

〈표 1〉 CTR 300D Roadheader construction log (계속)

Div		Rock characteristics			Working time		Roadheader operation		Advance (m)	Excavation (m^3)	Remark
No	Date	Geology	UCS (MPa)	Grade	Hr	Min	Hr	Min	Upper	Upper	
54	2021-05-02	Dolomite	80	4	8	0	6	3	2.4	72	
55	2021-05-03	Dolomite	80	4	15	30	12	23	4.8	144	
56	2021-05-04	Dolomite	80	4							
57	2021-05-05	Dolomite	90	4	9	20	7	27	2.4	72	
58	2021-05-06	Dolomite	90	4	8	50	7	3	2.4	72	
59	2021-05-07	Dolomite	90	4	9	0	6	51	2.4	72	
60	2021-05-08	Dolomite	90	4	9	20	6	44	2.4	72	
61	2021-05-09	Dolomite	80	4	7	30	6	58	2.4	72	
62	2021-05-10	Dolomite	80	4	8	0	7	13	2.4	72	
63	2021-05-11	Dolomite	85	4	9	0	8	4	2.4	72	
64	2021-05-12	Dolomite	85	4	9	0	7	31	2.4	72	
65	2021-05-13	Dolomite	85	4	15	30	12	12	4.8	144	
66	2021-05-14	Dolomite	85	4							
67	2021-05-15	Dolomite	85	4	6	50	5	39	1.8	54	
68	2021-05-16	Dolomite	95	4	10	0	7	6	2.4	72	
69	2021-05-17	Dolomite	95	4	9	0	6	40	2.4	72	
70	2021-05-18	Dolomite	100	4	9	30	7	10	2.4	72	
71	2021-05-19	Dolomite	100	4	10	10	7	45	2.4	72	
72	2021-05-20	Dolomite	100	4	9	0	8	26	2.4	72	
73	2021-05-21	Dolomite	100	4	10	40	9	14	2.4	72	
74	2021-05-22	Dolomite	100	4	9	0	8	10	2.4	72	
75	2021-05-23	Dolomite	95	4	8	30	6	26	2.4	72	
76	2021-05-24	Dolomite	90	4	9	0	7	23	2.4	72	
77	2021-05-25	Dolomite	90	4	9	20	7	14	2.4	72	
78	2021-05-26	Dolomite	95	4	8	40	6	45	2.4	72	
79	2021-05-27	Dolomite	95	4	9	10	7	27	2.4	72	

5. 맺음말

국내에서 소음진동이 없는 기계화 터널공법 중 로드헤더를 사용하는 방법이 검토되고 있으나, 공개된 국내 사례가 없는 실정이다. 이에 해외의 CTR 300D 로드헤더 시공사례와 실적데이터로서 귀양 지하철 3호선의 백운암 구간에 대한 약 3개월간의 현장데이터를 수집, 분석하였다. 향후 국내 현장에서도 관련 데이터를 정리, 수집, 분석하여, 국내 실정에 맞는 검토방법을 도출하는데 참고자료로 활용되기를 기대한다.

참고문헌

1. 贵阳地铁3号线黔灵山公园2号斜井项目CTR-300D悬臂掘进机施工日志
2. CREG Roadheader, CTR 300D, Technical Description

[본 기사는 저자 개인의 의견이며 한국터널지하공간학회의 공식입장과는 무관합니다.]