

단선철도 터널의 합리적인 버력처리방안 연구 : 시공 중 터널재난 예방방안 (1)



김상철
㈜서현기술단/지반사업부
책임연구원/이사
sckim3460@naver.com



박주용
㈜서현기술단/지반사업부
과장
park7239@hanmail.net



박영준
㈜서현기술단/지반사업부
본부장상무
pyj@seohyuneng.co.kr



김동관
㈜서현기술단/지반사업부
주임
phandra@naver.com



정병률
㈜서현기술단
부사장
jbr@seohyuneng.co.kr



김준기
㈜서현기술단/철도사업부
차장
kjk@seohyuneng.co.kr



김문수
한국철도시설공단/
일반철도처 차장
kms@kr.or.kr

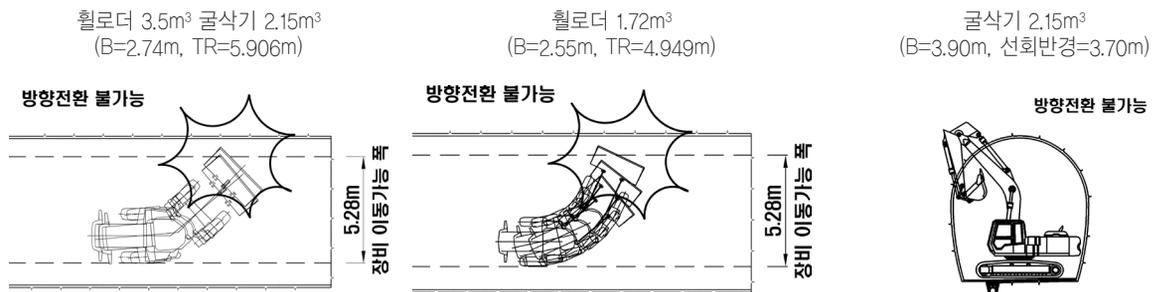


강영석
한국철도시설공단/
강원본부 부장
krtrain@kr.or.kr

1. 서론

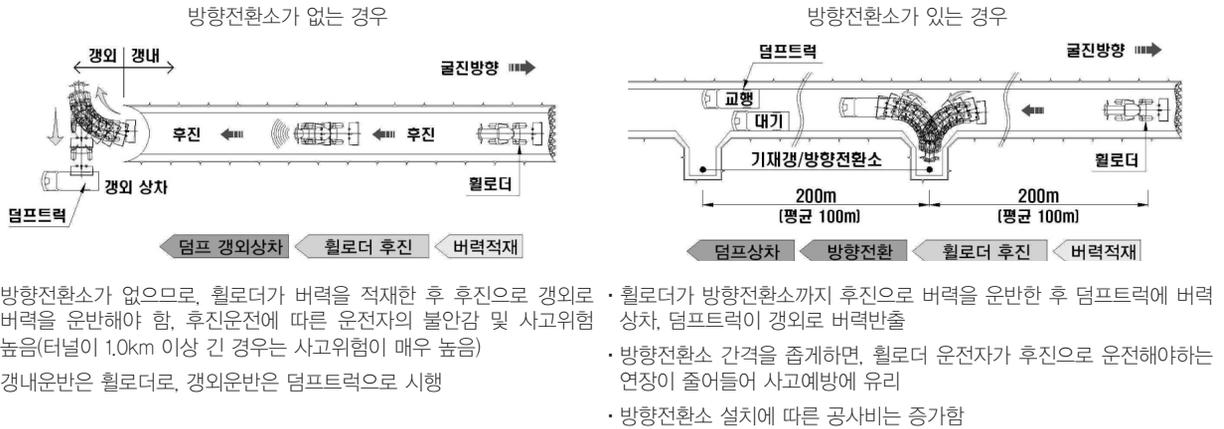
터널공사는 굴착(발파 또는 기계굴착) → 버력반출(휠로더+덤프트럭) → 지보(숏크리트+록볼트 등) → 굴착순의 반복 작업으로 이루어진다. 여기서, 버력반출은 1회 공정시간(Cycle Time) 22~48%를 차지하는 주요공정의 하나이다. 가장 일반적인 버력반출 공정은 굴진면의 버

력을 휠로더(3.5)가 적재 및 회전하여 덤프트럭(15ton)에 버력을 상차하면, 덤프트럭이 갱외로 버력을 운반하여 가적치장에 적치하는 것이다. NATM터널 원리상 굴착 즉시 가축성 지보(연성 숏크리트 등)를 설치하는 것이 터널 안정성 확보에 바람직하나, 실제로는 버력반출에 많은 시간이 소요되므로 지보설치가 그 만큼 늦어지는 경우가 많다. 복선철도 터널은 대부분 폭(B)이 12.0m 이상



- 장비이동 가능 터널 폭(B)이 휠로더의 최소화전반경(TR=5.166m)보다 2배 이상 커야, 터널내에서 회전가능하며, 덤프트럭에 버력 상차 가능
- 따라서, 휠로더가 터널내에서 회전하여 버력을 상차하기 위해서는, 3.5m³규격은 11.812m, 1.72m³규격은 9.898m 이상의 터널 폭원이 필요함
- 보통의 1단 굴절 굴삭기는 터널 내 이용이 불가함
- 2단 굴절이 가능한 휠형 굴삭기의 경우 사용 가능

〈그림 1〉 단선철도 터널 내 버력상차장비 작업가능성, 회전가능성 검토



<그림 2> 방향전환소 유·무를 고려한 버력처리 모식도

으로 버력상차 장비인 휠로더의 회전에 별 문제가 없으나. 단선철도 터널은 복선터널에 비해 폭이 B=6~6.5m로 좁아 휠로더의 회전이 곤란하다. 기존 단선철도 터널 설계사례에서는 소형 휠로더(1.72, 폭 B=2.55m, 최소회전반경 TR=4.949m)를 버력반출 장비로 적용하여 왔으나, 실제로는 단선터널 내에서 회전이 불가하다. <그림 1>은 터널 내에서 휠로더의 방향전환 가능성을 검토한 것으로 단선철도 터널 내에서는 버력상차 상용 장비인 휠로더의 방향전환이 불가함을 나타내고 있다(한국철도시설공단, 2012).

정지상태에서 자체회전이 가능한 장비인 해글로더(굴삭기와 컨베이어 벨트 기능을 혼합한 장비), 무한궤도 덤프트럭(탱크처럼 정지상태에서 자체회전이 가능하여 장비의 전·후 구분이 없는 트럭) 등의 장비를 단선철도 터널의 버력반출 장비로 적용하고자 하는 노력들이 있었으나(김준모 외5, 2010), 해외장비 도입 등에 따른 장비수급의 문제로 실용화는 되지 못하고 있다.

따라서, 소형 휠로더도 폭이 좁은 단선철도 내에서 회전이 불가하므로, 별도의 방향전환소가 필요하다. 방향전환소가 없는 경우 휠로더를 후진으로 운전하여 갱외로 벗어나 버력반출을 해야 하므로 사고위험이 크게 증가한다. 방향전환소 유무를 고려한 버력처리 모식도는 <그림 2>와 같다.

철도터널 내에는 통신기재갱, 신호기재갱, 대형대피소, 변압기굴 등의 필수적으로 설치해야 되는 부대시설이 있

으며, 이러한 시설을 방향전환소로 우선 활용하는 것이 바람직할 것이다.

2. 버력처리 장비조합

터널의 버력처리는 일반적으로 휠로더+덤프트럭으로 이루어진다. 휠로더 및 덤프트럭의 규격이 클수록 싸이클 타임이 짧아지므로 되도록 큰 장비를 사용하는 것이 유리하나, 도로터널에 비해 대체로 폭이 좁은 철도터널(복선의 경우 약 12m, 단선의 경우 약 6.5m)에서는 휠로더 3.5m³, 덤프트럭 15톤의 장비를 이용한다. 버력상차 장비인 휠로더가 굴진면 앞의 버력을 상차하여 덤프트럭에 적재하면, 덤프트럭은 버력을 갱외의 가적치장으로 운반하는 것이다. 여기서 휠로더가 버력을 상차하기 위해서는 터널 내에서 휠로더가 회전을 해야 가능하다. 폭이 약 12m 이상인 복선철도터널에서는 휠로더의 회전이 가능하나, 단선철도터널은 폭이 좁아(약 6.5m) 회전이 불가능하므로 별도의 대책이 필요하다. 기존 단선철도 설계사례에서 1.72m³의 휠로더를 적용하고 회전이 가능한 것으로 간주한 것은 오류로 판단된다.

지하철과 같이 이웃한 작업구[주로 연직갱(수직구)를 이용]간 거리가 매우 짧은 경우에는 휠로더가 버력을 적재하여 작업구까지 이동하고 크레인+버킷을 이용하여 버력을 반출하기도 한다.



〈그림 3〉 철도터널 이용가능 버력처리 장비조합 비교 검토

또한 ITC, 헤글로더 등의 장비를 이용하면 폭이 좁이 공간에서는 효과적으로 발생 버력을 상차할 수 있다. 하지만, 해당 장비들은 모두 수입장비들로 보편적으로 적용하기에는 어려움이 있다(<그림 3> 참조).

일반적인 굴삭기는 팔길이가 커 터널 내에 적용하기에 부적합하나, 굴삭기 팔을 일부절단(개조)하거나 휠링굴삭기를 이용하는 것은 가능하다. 그러나 굴삭기 팔을 절단하는 것은 법규위반의 문제가 있으며, 0.6m³의 굴삭기는 시공성이 매우 불량하다. 따라서, 철도터널내의 버력반출 장비조합은 휠로더(m³)+덤프트럭(15톤)이 적합하다.

3. 부대시설 방향전환소 활용검토, 장비교행 검토

철도터널의 부대시설 중에서 터널내에 설치해야 되는 부대시설은 대형대피소, 신호기재갱, 통신기재갱, 변압기 굴 등이 있다(<그림 4> 참조). 이러한 부대시설을 휠로더

나 덤프트럭을 방향전환소로 활용하면 버력처리 원활히 할 수 있을 것이다. 또한 버력처리 운반장비인 덤프트럭이 터널 내에서 교행가능 여부에 따라 버력처리 효율이 크게 달라질 것이다.

3.1 부대시설의 방향전환소 활용여부 검토

대형대피소는 4.1m(폭, B)×3.5m(높이, H) 규모의 시설로 터널 내 보선원의 휴식 및 대피공간으로 초기 철도에서부터 설치해 오던 것이나, 최근 설계개선사례에서 운영시 실제 활용도가 거의 없는 것으로 평가되어 최근에는 설치하지 않는 경우가 다수이다.

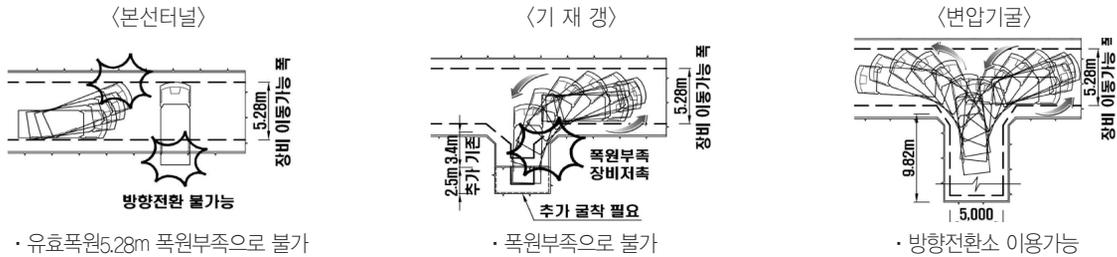
통신기재갱은 4.1m(B)×3.55m(H) 규모의 시설로 정보통신분야 설비설치를 위한 것이다. 관련규정²⁾에 따라 터널 내에 500m 간격으로 배치해야 한다.

신호기재갱은 3.3m(B)×3.8m(H) 규모의 시설로 철도 신호분야 설비설치를 위한 것이다. 관련규정²⁾에 따라 터널내에 300m 간격(복선) 또는 600m 간격(단선)으로 배치해야 한다.



〈그림 4〉 철도터널의 부대시설 종류 및 규격

1) 한국철도시설공단(2012.12. 1), “철도 정보통신 설계지침”, p.47
2) 한국철도시설공단(2012.12. 1), “철도 신호제어설비 설계지침”, p.57



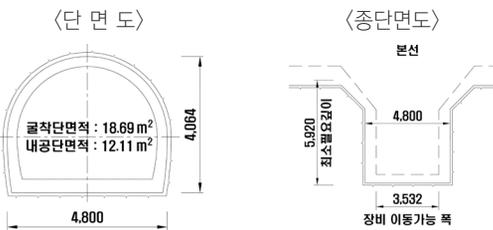
〈그림 5〉 본선터널 및 부대시설의 방향전환소 이용가능성 검토

통합기재갱은 4.6m(B)×3.7m(H) 규모의 시설로 통신 기재갱과 신호기재갱 겸용으로 이용할 경우에 적합하다. 공사비 절감차원에서 통합설치하는 경우가 많다.

변압기굴은 6.0m(B)×5.5m(H) 규모의 시설로 철도전철전력분야 설비설치를 위한 것이다. 관련규정³⁾에 따라 3.0km 이상의 터널인 경우에 터널 내 1,500m 간격으로 배치해야 한다.

단선철도 터널 내에서 통합기재갱과 변압기굴에 대해 버력처리장비(휠로더, 덤프트럭)의 방향전환소 이용가능성을 검토한 결과, 통합기재갱은 폭원부족으로 이용이 불가하며 변압기굴은 이용 가능한 것으로 검토되었다(<그림 5> 참조). 일반적으로 3.0km 이상의 터널은 많지 않으므로, 기재갱의 규격을 증가시켜 방향전환소로 이용하는 것이 바람직하다. 또한, (통합)기재갱의 실제 필요 설치간격은 해당 선구의 시스템분야 설계를 담당하는 통신분야 및 신호분야와의 협의를 통해 산정해야 한다. 관련규정은 최소한의 기준을 정한 것이며 실제적인 설치 간격 및 규모는 해당분야 상세 설계를 통해 이루어져야 한다.

휠로더의 방향전환 가능성을 검토한 결과 기재갱 폭은



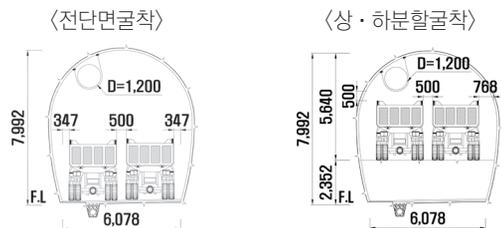
〈그림 6〉 공사장비(덤프트럭, 휠로더)의 방향전환을 고려한 적정 기재갱 단면 산정

4.8m이상, 높이는 4.064m 이상이 필요하였다. 또한, 덤프트럭의 방향전환 및 작업대기를 위해서는 5.92m의 깊이가 필요한 것으로 검토되었다(<그림 6> 참조).

3.2 단선터널 내 덤프트럭 교행가능 여부 검토

터널 내에서 버력운반용 장비인 덤프트럭이 교행가능하면 작업대기 시간이 단축되어 버력처리 효율이 향상될 수 있다. 터널 내 버력운반 장비로는 15톤 덤프트럭이 주로 이용되며, 그 규격은 일반적으로 7.595m(전장, L)×2.495m(전폭, B)×3.130m(전고, H) 정도이다. 전단면굴착(PS-1~3)인 경우 바닥 폭이 6.385m이며, 상·하분할굴착인(PS-4~5) 경우 상반하부 바닥 폭이 6.918m이다.

덤프트럭이 교행할 경우 전단면 굴착은 0.347m, 상·하분할굴착인 경우 0.768m의 여유가 있게 된다(<그림 7> 참조). 그러나, 시공중에는 좌·우측으로 가배수로를 설치해야 하므로, 최소 좌·우측 0.5m 이상의 여유가 필요하다. 따라서, 전단면 굴착인 경우 여유폭이 부족하여 교행이 어렵다.



· 이론적으로 교행가능, 여유폭 부족, 공사중 배수문제 발생

〈그림 7〉 단선 철도터널내에서 버력운반장비(덤프트럭)의 교행 가능성 검토

3) 한국철도시설공단(2012.12. 1), “철도 전철전력설비 설계지침”, p.65

〈표 1〉 기재갱/방향전환소 간격 Case별 Cycle Time 및 공사비 분석결과

○ CASE_1 : 기재갱 간격 500m+휠로더 3.5m ³		○ CASE_2 : 기재갱 간격 400m+휠로더 3.5m ³																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>C.T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①버력처리준비</td> <td>10분</td> </tr> <tr> <td>②작업량 (Q)</td> <td>0.23m³/분</td> </tr> <tr> <td>③버력처리(T₂)</td> <td>469.48분</td> </tr> <tr> <td>④운반차 입환</td> <td>4분</td> </tr> <tr> <td>⑤부식제거 및 정리</td> <td>35분</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>518.48분</td> </tr> </tbody> </table>	구분	C.T	①버력처리준비	10분	②작업량 (Q)	0.23m ³ /분	③버력처리(T ₂)	469.48분	④운반차 입환	4분	⑤부식제거 및 정리	35분	계	518.48분		<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>C.T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①버력처리준비</td> <td>10분</td> </tr> <tr> <td>②작업량 (Q)</td> <td>0.27m³/분</td> </tr> <tr> <td>③버력처리(T₂)</td> <td>388.62분</td> </tr> <tr> <td>④운반차 입환</td> <td>4분</td> </tr> <tr> <td>⑤부식제거 및 정리</td> <td>35분</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>437.62분</td> </tr> </tbody> </table>	구분	C.T	①버력처리준비	10분	②작업량 (Q)	0.27m ³ /분	③버력처리(T ₂)	388.62분	④운반차 입환	4분	⑤부식제거 및 정리	35분	계	437.62분
구분	C.T																														
①버력처리준비	10분																														
②작업량 (Q)	0.23m ³ /분																														
③버력처리(T ₂)	469.48분																														
④운반차 입환	4분																														
⑤부식제거 및 정리	35분																														
계	518.48분																														
구분	C.T																														
①버력처리준비	10분																														
②작업량 (Q)	0.27m ³ /분																														
③버력처리(T ₂)	388.62분																														
④운반차 입환	4분																														
⑤부식제거 및 정리	35분																														
계	437.62분																														
굴착+버력처리 : 60,515원/m ³ (30.72억원/km), 기재갱 : 1개소/km(0.18억원/km) → 계 : 44.20억원		굴착+버력처리 : 55,916원/m ³ (28.37억원/km), 기재갱 : 2개소/km(0.36억원/km) → 계 : 41.09억원																													
주1) Cycle Time(C.T) 산정기준 ⇒ 50.252m ³ (굴착), 53.208m ³ (버력처리), 2.0m(굴진장), 기재갱 공사비=18,226,003원/개소(작업공삽비) 주2) 공사비 계는 NATM터널 1.0km에 대한 개략공사비임, 제잡비 43%를 포함한 공사비																															
○ CASE_3 : 기재갱 간격 300m+휠로더 3.5m ³		○ CASE_4 : 기재갱 간격 200m+휠로더 3.5m ³																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>C.T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①버력처리준비</td> <td>10분</td> </tr> <tr> <td>②작업량 (Q)</td> <td>0.35m³/분</td> </tr> <tr> <td>③버력처리(T₂)</td> <td>307.71분</td> </tr> <tr> <td>④운반차 입환</td> <td>4분</td> </tr> <tr> <td>⑤부식제거 및 정리</td> <td>35분</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>356.71분</td> </tr> </tbody> </table>	구분	C.T	①버력처리준비	10분	②작업량 (Q)	0.35m ³ /분	③버력처리(T ₂)	307.71분	④운반차 입환	4분	⑤부식제거 및 정리	35분	계	356.71분		<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>C.T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①버력처리준비</td> <td>10분</td> </tr> <tr> <td>②작업량 (Q)</td> <td>0.47m³/분</td> </tr> <tr> <td>③버력처리(T₂)</td> <td>226.74분</td> </tr> <tr> <td>④운반차 입환</td> <td>4분</td> </tr> <tr> <td>⑤부식제거 및 정리</td> <td>35분</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>275.74분</td> </tr> </tbody> </table>	구분	C.T	①버력처리준비	10분	②작업량 (Q)	0.47m ³ /분	③버력처리(T ₂)	226.74분	④운반차 입환	4분	⑤부식제거 및 정리	35분	계	275.74분
구분	C.T																														
①버력처리준비	10분																														
②작업량 (Q)	0.35m ³ /분																														
③버력처리(T ₂)	307.71분																														
④운반차 입환	4분																														
⑤부식제거 및 정리	35분																														
계	356.71분																														
구분	C.T																														
①버력처리준비	10분																														
②작업량 (Q)	0.47m ³ /분																														
③버력처리(T ₂)	226.74분																														
④운반차 입환	4분																														
⑤부식제거 및 정리	35분																														
계	275.74분																														
굴착+버력처리 : 51,220원/m ³ (25.97억원/km), 기재갱 : 3개소/km(0.55억원/km) → 계 : 37.92억원		굴착+버력처리 : 46,526원/m ³ (23.56억원/km), 기재갱 : 4개소/km(0.73억원/km) → 계 : 34.74억원																													
○ CASE_5 : 기재갱 간격 400m+휠형굴삭기 0.59m ³		○ CASE_6 : 기재갱 간격 200m+휠형굴삭기 0.59m ³																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>C.T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①버력처리준비</td> <td>10분</td> </tr> <tr> <td>②작업량 (Q)</td> <td>0.25m³/분</td> </tr> <tr> <td>③버력처리(T₂)</td> <td>430.83분</td> </tr> <tr> <td>④운반차 입환</td> <td>4분</td> </tr> <tr> <td>⑤부식제거 및 정리</td> <td>35분</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>479.83분</td> </tr> </tbody> </table>	구분	C.T	①버력처리준비	10분	②작업량 (Q)	0.25m ³ /분	③버력처리(T ₂)	430.83분	④운반차 입환	4분	⑤부식제거 및 정리	35분	계	479.83분		<table border="1"> <thead> <tr> <th>구분</th> <th>C.T</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①버력처리준비</td> <td>10분</td> </tr> <tr> <td>②작업량 (Q)</td> <td>0.25m³/분</td> </tr> <tr> <td>③버력처리(T₂)</td> <td>430.83분</td> </tr> <tr> <td>④운반차 입환</td> <td>4분</td> </tr> <tr> <td>⑤부식제거 및 정리</td> <td>35분</td> </tr> <tr> <td>계</td> <td>479.83분</td> </tr> </tbody> </table>	구분	C.T	①버력처리준비	10분	②작업량 (Q)	0.25m ³ /분	③버력처리(T ₂)	430.83분	④운반차 입환	4분	⑤부식제거 및 정리	35분	계	479.83분
구분	C.T																														
①버력처리준비	10분																														
②작업량 (Q)	0.25m ³ /분																														
③버력처리(T ₂)	430.83분																														
④운반차 입환	4분																														
⑤부식제거 및 정리	35분																														
계	479.83분																														
구분	C.T																														
①버력처리준비	10분																														
②작업량 (Q)	0.25m ³ /분																														
③버력처리(T ₂)	430.83분																														
④운반차 입환	4분																														
⑤부식제거 및 정리	35분																														
계	479.83분																														
굴착+버력처리 : 56,239원/m ³ (28.50억원/km), 기재갱 : 2개소/km(0.59억원/km) → 계 : 41.59억원		굴착+버력처리 : 56,239원/m ³ (28.50억원/km), 기재갱 : 4개소/km(0.73억원/km) → 계 : 41.80억원																													
○ CASE_1의 Cycle Time 영향분석 결과																															
<ul style="list-style-type: none"> · 기재갱/방향전환소 간격을 500m(통신기재갱 기준의 최대간격)로 적용할 경우 버력처리 시간 과다 증대 · 기재갱/방향전환소 설치비는 감소하나, 휠로더 적재 버력운반거리가 과다해짐 → 버력처리 공사비 증대, 시공성 저하(버력운반 덤프트럭이 평균250m(최대 500m)를 후진해야 하므로 시공성 매우 불리, 운전자의 안전사고 위험 가능성 심각) 																															
○ CASE_2의 Cycle Time 영향분석 결과																															
<ul style="list-style-type: none"> · 기재갱/방향전환소 간격을 400m(대형대피소 기준의 최대간격)로 적용할 경우 버력처리 시간 과다 증대 · 기재갱 설치비는 감소하나, 휠로더 적재 버력운반거리가 과다함 → 버력처리 공사비 증대, 시공성 저하, 운전자의 안전사고 위험 가능성 높음 																															
○ CASE_3의 Cycle Time 영향분석 결과																															
<ul style="list-style-type: none"> · 기재갱/방향전환소 간격을 300m로 적용할 경우 버력처리 시간이 줄어 시공성이 많이 개선됨 · 기재갱 설치비는 다소 증가하나, 휠로더 적재 버력운반거리가 줄어듬 → 버력처리 공사비 감소, 시공성 보통, 운전자의 안전사고 위험 가능성 상존 																															
○ CASE_4의 Cycle Time 영향분석 결과																															
<ul style="list-style-type: none"> · 기재갱/방향전환소 간격을 200m로 적용할 경우 버력처리 시간이 줄어 시공성이 매우 개선됨 · 기재갱 설치비는 다소 증가하나, 휠로더 적재 버력운반거리가 크게 줄어듬 → 공사비 감소, 시공성 양호, 운전자의 안전사고 위험 가능성 낮음 · 실제 터널 내 덤프트럭 운전일자 문의 결과 "평균 100m후진 운전은 큰 무리가 없는 수준임" 																															
○ CASE_5의 Cycle Time 영향분석 결과																															
<ul style="list-style-type: none"> · 굴삭기의 경우, 1대의 덤프트럭 적재를 위해 30회의 상차 작업 필요(휠로더는 3회 필요) → 따라서, 상차 작업시간이 휠로더에 비해 1.7배 이상 증대함, 또한 굴삭기 적용시 덤프트럭의 교행이 가능해야 하는데, 실제 폭이 좁은 단선터널 내에서 교행이 어려움 → 실제적으로 더 많은 사이클 타임이 소요됨, 버력처리 공사비 증대, 시공성 저하, 운전자의 안전사고 위험 가능성 높음 																															
○ CASE_6의 Cycle Time 영향분석 결과																															
<ul style="list-style-type: none"> · 굴삭기의 경우, 1대의 덤프트럭 적재를 위해 30회의 상차 작업 필요(휠로더는 3회 필요) → 따라서, 상차 작업시간이 휠로더에 비해 1.7배 이상 증대함, 또한 굴삭기 적용시 덤프트럭의 교행이 가능해야 하는데, 실제 폭이 좁은 단선터널 내에서 교행이 어려움 → 실제적으로 더 많은 사이클 타임이 소요됨, 버력처리 공사비 증대, 시공성 양호, 운전자의 안전사고 위험 가능성 낮음 																															

최근 안전관련 기준의 강화로 시공 중인 터널 내에도 보행자(작업자) 안전통로를 확보토록 하는 경우가 많다. 보행자(작업자) 안전통로는 1.0m이상 편측으로 설치하게 되는데, 단선철도 터널내에 보행자 통로 설치시 실제적으로 덤프트럭의 교행은 어렵게 된다.

따라서, 폭이 좁은 단선 철도터널내에서는 덤프트럭의 교행이 불가능한 것으로 설계에 반영하는 것이 바람직할 것이다.

4. 단선철도 터널의 합리적인 버력반출 방안 검토

단선 철도터널은 폭이 좁은 관계로 버력처리장비의 회전이 불가하므로 방향전환소를 설치하는 것이 타당하다. 또한 부대시설로 기재갱(통신/신호)을 설치해야 되므로 시공중에는 방향전환소로 이용하고 운영중에는 기재갱으로 이용하는 것이 합리적일 것이다. 방향전환소를 설치하는 데 추가적인 공사비가 증가되므로, 작업원의 안전이 확보되는 전제조건하에 공사비/시공효율 등을 고려하여 방향전환소의 적정 배치간격을 산정하여야 할 것이다. 또한 기존의 설계 및 실제 시공사례를 분석을 통해 시공 적합성

을 검증하여야 할 것이다.

4.1 사이클타임(Cycle Time) 분석을 통한 합리적인 방향전환소 배치 계획

기재갱/방향전환소 간격을 4가지 Case(200m, 300m, 400m, 500m)로 하였다.

최대간격을 500m로 한 것은 기재갱의 최대 간격이 500m(통신)이기 때문이며, 버력처리 상차장비는 2가지 Case로 하였다(휠로더 3.5m³, 휠형굴삭기 0.59m³). 기재갱/방향전환소 간격 및 버력처리 상차장비 조합으로 전체 6CASE에 대하여 검토하였다. 대표단면(PS-3)을 기준으로 하였으며, 굴착단면적은 50.252m², 여굴량 2.956m², 굴진장 2.0m이다. 1 Cycle당 굴착버력량은 106.416m³{=(50.252m² + 2.956m²)×2.0m}이다. 공사비 분석은 CASE별 버력처리 공사비와 소요 기재갱/방향전환소 수(단위 km당)의 합으로 하여, 객관적인 비교가 되도록 하였다. Cycle Time분석은 다음의 식(1)(건설공사표준품셈, 2013)을 따라 산정하였다.

$$Q = \frac{3600 \times q \times K \times f \times E}{C_m} \quad \text{식(1)}$$

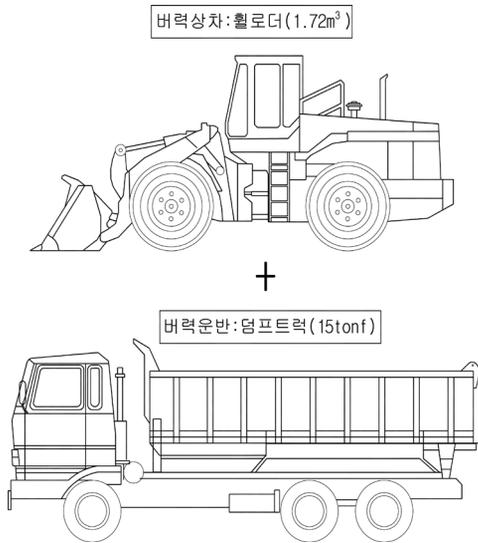
여기서, Q : 분당작업량(m³/hr),

q : 버켓용량(m³), K : 버켓계수(=0.90),

[표 2] 단선철도 터널의 버력처리방안 설계사례 조사

사 업 명	설계준공	버력처리 장비조합	방향전환 활용시설	비 고
영동선(동백산~도계간) 철도이설 (솔안터널, L=16.24km)	1999.12 (청석/유신)	휠로더(2.87m ³) + 덤프트럭(15톤)	횡갱 (400m간격) [4.84×5.11×12.6] ⁴⁾	· 설계당시 기준에 의거 대형대피소만 설치 · 버력처리에 굴삭기를 적용하지는 않음
동해선 포항~삼척 철도건설 공사 (신흥터널, L=1.385km)	2006.12 (도화/삼보)	휠로더(1.72m ³) + 덤프트럭(15톤)	대형대피소 (350m간격) [3.87×3.65×7.65]	· 설계당시 기준에 의거 대형대피소만 설치 · 버력처리에 굴삭기를 적용하지는 않음
중앙선 원주~제천 복선전철 건설공사 (주포4터널, L=0.555km)	2010.12 (청석/삼안)	휠로더(1.72m ³) + 덤프트럭(15톤)	신호/통신 통합기재갱 (268m간격) [3.97×3.72×3.06]	· 기재갱의 설치간격 기준 : 500m이내 · 터널연장이 523m로 기재갱 1개소 설치
경부고속철도와 동해남부선 연결선 (마산터널, L=1.35km)	2011. 5 (단우기술단)	휠로더(3.5m ³) + 덤프트럭(15톤)	대형대피소, 기재갱, 방향전환소 (200m간격) [5.66×4.13×6.3]	· 버력처리 고려, 대형대피소 등의 간격을 200m로 함(굴삭기를 적용하지는 않음)
원주~강릉 철도건설 제1공구실시 (보동터널, L=1.135km)	2012.12예 (KRTC/테조)	휠로더(1.72m ³) + 덤프트럭(15톤)	신호/통신 통합기재갱 (400m간격) [4.02×3.62×6.33]	· 대형대피소 삭제, 버력처리에 대한 고려 미흡, 버력처리에 굴삭기를 적용하지는 않음

4) [4.84×5.11×12.6] : 시공장비의 방향전환 활용을 위한 횡갱, 기재갱 등의 폭(B)×높이(H)×길이(L)이며, 단위는 m임



<그림 8> 단선 철도터널내에서 버력처리 장비조합(기준 설계사례)

- f: 토량환산계수(=1/L=1/1.63),
- E: 작업효율(=0.55)
- $C_m = m \times t + t_1 + t_2$: 휠로더작업 Cycle Time(sec),
- m: 계수(sec/m)(=타이어식 1.8),
- ℓ: 주행거리(휠로더 이동거리),
- t_1 : 버킷에 버력을 담는데 소요되는 시간 (18sec),
- t_2 : 기어변화 등 기본 시간과 다음 운반 기계가 도착할 때 까지의 시간 (=14sec)

전체 6 CASE에 대한 상세 검토결과는 다음과 같다(<표 1> 참조).

기재갱/방향전환소 배치간격별 사이클타임 및 공사비를 분석한 결과 CASE_4 : 기재갱 간격 200m + 휠로더 3.5m³의 조합이 사이클타임이 가장 짧으며, 안전성, 시공성, 경제성 측면에서 가장 우수한 것으로 평가 되었다. 또한 휠형 굴삭기는 버킷규격이 상대적으로 매우 작아, 부석 정리용으로 자주 사용되나, 버력처리용으로 시공사례가 거의 없는 것으로 나타났다.

4.2 설계사례 분석

단선철도 터널의 설계사례 분석하여 갱내 버력처리 장비조합 및 버력처리 방안을 조사분석 하였다. 또한, 횡갱(대형대피소, 기재갱, 변압기굴 등)의 설치로 공사장비의 방향전환이 가능한 시설의 설치여부 및 설치 간격 등을 파악하였다.

분석결과 요약은 <표 2>과 같다. 경부고속철도와 동해남부선 연결선 건설공사(마산터널)을 제외한 나머지 설계사례에서는 단선철도 터널의 버력처리 방안을 별도로 고려하지 않았다(<그림 8> 참조).

단선철도터널의 특성상 휠로더, 덤프트럭 등의 장비운용이 어렵다는 문제점을 설계단계에서 반영하지 못하였으며, 운용장비의 회차반경 미검토, 시설계획 측면의 대형대피소 및 기재갱만을 계획하였다. 이는 단선철도터널 건설에 있어서 가장 큰 문제점의 하나인, 버력처리 장비조합 및 운영에 관한 문제를 고려하지 못한 것이다. 설계단계에서는 대부분 복선터널 대비 단선터널의 단면적이 적은 것을 감안하여, 버력상차 장비인 휠로더 용량을 3.5m³(복선)→1.72m³(단선)로 규격을 축소 적용하였다. 이는 1.72m³의 휠로더도 최소회전반경이 약5.0m이상(회전을 위해서는 10.0m이상의 폭이 필요)으로, 폭이 좁은 단선터널내에서 회전이 불가하다는 사실을 고려하지 못한 것이다. 이는 분명한 설계오류에 해당된다 할 수 있다. 1.72m³의 휠로더는 상용장비가 거의 없어 장비수급에도 차질이 발생할 수 있다. 또한, 버력반출 시 휠로더의 후진이동 시간을 사이클타임에 반영하지 못하여, 버력반출 시간이 실제 소요 시간보다 훨씬 적게 산출되도록 하였다. 이러한 계획은 결국 공사비를 과소 책정하는 문제점을 유발하였다. 토목공사가 국민의 세금으로 이루어진다는 측면에서 최대한 공사비를 절감하는 것이 공익을 위해서 바람직하다. 그러나, 과도한 공사비 절감은 해당 건설업체의 경영을 악화시키고 부실시공을 유발할 위험성이 커 오히려 공익에 반하며, 인명재난의 원인이 될 수 있다.

4.3 시공사례 분석

단선철도 터널의 시공사례를 분석하여 갱내 버력처리 장비조합 및 버력처리 방안을 조사 분석 하였다. 또한, 설계대비 시공 시 어떠한 변화가 있었는지 파악하였다. 분석 결과의 요약은 <표 3>와 같다.

〈표 3〉 단선철도 터널의 버력처리방안 시공사례 조사

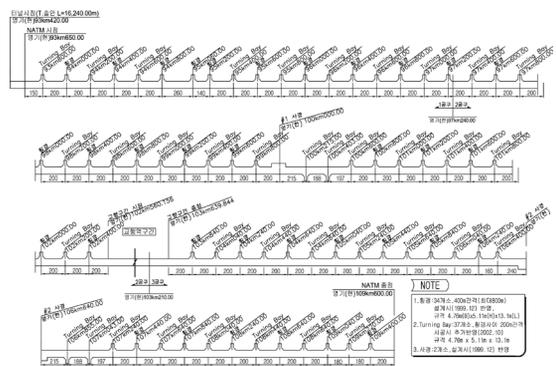
구 분	영동선(동백산~도계간)철도이설 (17.8km, 2012.12.31준공예정)		동해선 포항~삼척 철도건설 (1.4~1.8km, 2012.12.現 굴착중)		경부고속철도와 동해남부선 연결선 (1.35km, 2012.11.現 갱구부 시공)	
	버력상차 (휠로더)	부석정리(굴삭기)	버력상차 (휠로더, 횡갱)	개조형 횡형 굴삭기	버력처리1 (굴삭기, 갱구부)	버력처리2 (굴삭기, 갱구부)
시공전경						
장비조합	휠로더(2.87m³)+덤프트트럭(15톤)		휠로더(3.5m³)+덤프트트럭(15톤)		휠로더(3.5m³)+덤프트트럭(15톤)	
버력처리 장 비 방향전환	<ul style="list-style-type: none"> · 설계 : 대형대피소 400m간격 설치 · 시공 : 휠로더 방향전환을 위한 터닝베이(Turning Bay) 약400m간격 추가 설치 → 이용가능 방향전환소 약200m간격 		<ul style="list-style-type: none"> · 설계 : 대형대피소 400m간격 설치 · 시공 : 방향전환소 4개소 추가 (제2공구) → 이용가능 방향전환소 약200m간격 		<ul style="list-style-type: none"> · 설계 : 대형대피소 및 기재갱용 횡갱 약200m 간격 설치 → 이용가능 방향전환소 약200m 간격 	
굴삭기 이용여부	<ul style="list-style-type: none"> · 발파 후 부석정리에 이용 · 취약개소 보수/보강에 이용 		<ul style="list-style-type: none"> · 제4공구 지경터널의 경우, 횡형굴삭기를 개조(절단)하여 주 버력상차 장비로 적용 		<ul style="list-style-type: none"> · 갱구부(20m)구간의 버력처리용으로만 굴삭기를 이용하고 있음 	
특기사항	<ul style="list-style-type: none"> · 시공중 설치한 터닝베이는 발주처로부터 공사비 보전을 받지 못함 (시공시 설계변경 제도상의 한계로 부득이하게 반영을 못해줌) 		<ul style="list-style-type: none"> · 시공중 설치한 터닝베이는 발주처로부터 공사비 보전을 받지 못함 (시공시 설계변경 제도상의 한계로 부득이하게 반영을 못해줌) 		<ul style="list-style-type: none"> · 설계시부터 버력처리문제가 충분히 고려되어, 원활한 시공이 될 것으로 기대됨 	
분석결과	<ul style="list-style-type: none"> · 휠로더+덤프트트럭의 장비조합으로 버력처리를 할 경우, 1.0km이상 장대터널에서는 약200m간격으로 휠로더 방향전환을 위한 시설이 필요한 것으로 분석됨(휠로더 버켓 규격은 3.5m³이상을 적용하는 것이 시공성 및 경제성 유리) 					

영동선(동백산~도계간) 철도이설 공사(솔안터널, L=17.8km)에서는 설계단계에서 400m간격으로 설치된 대형대피소에 추가로 400m간격으로 방향전환소(Turning Bay)를 설치하여 시공하였다. 대형대피소와 Turning Bay를 이용한 실제적인 방향전환소를 200m간격으로 설치하여 시공한 것이다. 따라서, 휠로더 운전자는 평균 100m, 최대 200m를 후진으로 이동하여 덤프트럭에 버력을 상차하도록 시행한 것이다. “단선철도터널의 특성상 200m간격으로 방향전환소를 설치하여 원만히 버력을 반출토록 하는 것이 합리적이다.” 라는 사실이 실제적인 시공을 통해 확인된 것이다(<그림 9> 참조).

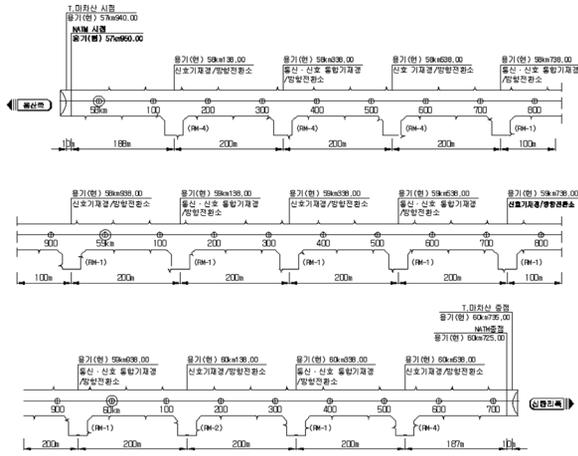
실제 시공현장에서는 발주처로부터 공사비 보전을 받지 못하면서도(방향전환소 추가 설치를 위한 추가공사비를 발주처에서 인정하지 않아 지급받지 못함), 추가적으로 방향전환소를 설치하여 방향전환소 간격을 약200m로 유지하였다. 이는 불합리한 관행이나, 시공사 입장에서는 적자 공사보다는 안전사고 발생이 더 큰 손실이 되므로 손해를 무릅쓰고 방향전환소를 추가 설치하였다. 시공단계에서는 설계 시 반영되지 않은 사항(신규공종)을 추가적

으로 반영하기가 현재 국내의 제도여건상 매우 어렵다. (특히, 시공단계에서 공사비가 증액되는 신규공종의 추가는 현실적으로 어렵다.) 따라서, 설계단계에서부터 폭이 좁은 단선철도 터널의 버력반출 관련 시공특성을 파악하여, 이를 위한 방향전환소 설치를 계획하는 것이 합리적인 대안이다.

설계단계에서부터 200m간격의 방향전환소를 반영한



〈그림 9〉 단선철도 터널에서 200m간격으로 방향전환소 설치사례



(그림 10) 시공중 설치된 방향전환소를 시스템분야에서 모두 활용한 사례

“마산터널(경부고속철도와 동해남부선 연결선)”의 경우는 합리적인 설계 및 시공의 좋은 사례라 판단된다.

4.4 적정 방향전환소 배치계획

폭이 좁은 단선철도터널의 버력처리를 위한 적정 방향전환소 간격을 검토한 결과, 약 200m간격으로 배치하는 것이 작업자의 안전을 위해 최선인 것으로 나타났다. 또한 시공성 및 경제성 측면에서도 합리적인 것으로 검토되었다. 대안으로 검토된 굴삭기의 경우 시공 효율성이 낮으며, 굴삭기 팔을 임의로 절단해야 하는 문제가 있었다.

설계 및 시공 사례를 살펴본 결과 설계단계에서는 버력처리 장비의 방향전환으로 고려한 사례가 거의 없으나, 실제 시공시에는 시공자가 발주처로부터 공사비 보전을 받지 못하면서도 방향전환소를 추가로 설치하여 시공하였다. 또한 그 배치 간격을 약 200m로 하였다. 실제 공사비 증대되더라도 작업자 안전과 버력처리 효율을 감안하면 부득이한 조치라 판단된다.

따라서, 폭이 좁은 단선철도터널의 버력처리를 위해서는 방향전환소를 반드시 설치하는 것이 타당하다 하겠다.

시공중 200m간격으로 방향전환소를 설치한 후 운영중 그 활용방안에 대한 고민이 필요하다. 기본적으로 통신분야와 신호분야의 기재갱으로 활용가능하며, 유지보수 작업자의 대피 및 휴식공간으로 활용이 가능하다. 만일, 운영중에 불필요한 개소가 있다면 되메우기를 검토해야 할

것이다.

관련기준상 단선철도터널내에서 통신기재갱은 최대 500m 이내로, 신호기재갱은 최대 300m 이내(복선기준이며, 단선에 대해서는 별도 규정 없음)로 설치해야 한다. 최근에는 대형대피소는 설치하지 않는 것이 일반적이다. 실제적인 시스템(통신/신호/전철/전력)분야의 필요시설은 해당분야의 설계에 따라 정해진다. 소요 기재갱은 전체 선구의 시스템설계에 따라 정해지면 곡선반경, 설계속도 및 입지여건에 따라 달라진다. 신호분야와 통신분야에서 함께 이용하는 기재갱을 통합기재갱이라 한다.

시공중 200m간격으로 방향전환소를 설치하면 신호 및 통신분야에서 소요 기재갱 배치간격을 좀 더 여유롭게 안전측으로 할 수 있다. 최근에 노반 설계가 완료된 동두천~연천 복선전철의 마차산터널의 경우 200m간격으로 설치된 방향전환소에 대하여 통신분야에서는 400m간격으로 통신기재갱을 계획하고, 신호분야에서는 200m간격으로 신호기재갱을 계획하여, 전체적으로 운영 시 활용하지 않는 방향전환소는 없는 것으로 계획되었다(<그림 10> 참조).

만일, 운영중 기재갱으로 활용하지 않는 방향전환소에 대하여 존치시와 되메우기 비용을 검토해 보았다. 콘크리트라이닝을 타설하여 영구적으로 존치할 경우 0.42억원/개소, 암버력으로 되메우기 시 0.40억원/개소로 나타났다. 따라서, 콘크리트라이닝을 타설하여 영구적으로 존치할 경우와 암버력으로 되메우기 시 비용적인 차이는 거의 없다고 할 수 있다. 따라서, 시공중 설치된 방향전환소를 시스템분야(통신/신호/전철/전력)에서 활용하지 않는 경우에도 콘크리트라이닝을 타설하여 영구 존치하면, 유지보수 시 작업자의 대피 및 휴식공간으로 이용 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

단선철도 터널과 같이 폭이 좁은 터널에서는 장비의 터널내 회전이 불가하여 버력반출방안이 매우 어렵다. 기존 설계사례에서는 이를 고려하지 않고 휠로더 장비의 규격만 줄여서 설계에 반영하였다. 그러나 시공시에는 장비의 회전이 불가하여 덤프트럭 및 휠로더 장비들이 터널내에

서 버력을 상차한 채로 후진운전을 하여 버력을 반출하거나, 별도의 비용을 들여서 방향전환소를 설치 운영하고 있는 실정이다. 제도 여건상 설계 시 반영되지 못한 공증을 시공시에 변경 반영하는 것은 거의 불가능하여, 경비문제와 아울러 현장 기술자 및 작업자들의 안전이 위협받고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 장비 특성에 대한 면밀한 분석과 다양한 Case별 버력반출 방안, 방향전환소 설치간격에 따른 사이클타임 분석을 통해 합리적인 버력반출 방안을 연구하여 제시하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 단선철도 터널과 같이 폭이 협소한(바다부 기준 6.385m) 터널의 경우, 버력상차 장비(휠로더) 및 버력운반 장비(덤프트럭)의 교행과 방향전환이 곤란하므로 부대시설(기재갱/변압기굴)을 적절히 활용하는 방안이 필요하다.

2. 기존 설계사레에서 적용된 휠로더 1.72m³ 최소회전 반경(TR)이 4.949m로 터널폭이 9.9m 이상이 되어야 터널 내에서 회전이 가능하다. 따라서 버력을 반출하기 위해서는 휠로더에 버력을 적재한 후 후진으로 갱외로 이동하거나, 별도의 방향전환소를 설치하는 방안이 필요하다.

3. 휠로더가 버력 적재 후 후진으로 갱외까지 이동하는 방안은 작업자의 안전이 위협받는 매우 비합리적인 방안이다. 따라서, 방향전환소를 설치하는 것이 타당한 방안으로 검토되었다.

4. 또한, 부대시설인 대형대피소, 신호기재갱, 통신기재갱들을 방향전환소로 이용하기 위해서는, 굴착 폭 4.6m 이상, 깊이 5.92m 이상이 되도록 약간 증대할 필요가 있는 것으로 검토되었다. 이러한 부대시설은 시공중에 버력처리 장비의 방향전환소로, 운영중에는 개별 부대시설의 기능을 수행토록 하면 된다.

5. 버력처리 상차장비 및 부대시설 배치간격에 따른 버력처리 Cycle Time 및 기재갱/방향전환소 설치 공사비를 검토한 결과, CASE_4 : 기재갱/방향전환소 간격 약200m+휠로더 3.5m³ 적용이 가장 합리적인 것으로 검토되었다.

6. 설계 및 기존사레 분석결과, 설계단계에서 단선철도의 버력반출 특성을 반영한 것은 “포항연결선(마산터널)”이 유일하며, 시공단계에서는 대부분의 사업에서 방향전환소를 설치하여 버력반출을 시행하였다. 시공단계에서 임의로 설치한 방향전환소는 발주처로부터 공사비 보전을 받지 못하였음에도 불구하고 시공자가 시행한 것이다.

이는 현장 기술자 및 작업자의 안전을 위한 부득이한 조치로 판단되며, “재난방지, 안전”이라는 측면에서 시사하는 바가 크다.

7. 최근에 설계완료 후 공사발주 된 “동두천~연천 복선전철 사업의 00터널”에는 본 연구 결과에 따라, 200m간격으로 기재갱/방향전환소가 설치되어 시공중에는 원활한 버력반출이 가능토록 하였으며, 운영중에는 신호/통신설비의 안정적인 운용이 가능케 하였다.

국가의 SOC 시설은 100년 이상 안전하게 유지되어야 하는 시설이며, 시공중·운영중 사고 발생시 불특정 다수의 인명피해가 발생한다. 본 연구는 단선철도 터널의 굴착 및 버력반출 중에 발생할 수 있는 안전사고를 방지하기 위한 것에 불과하며, 시공중·운영중 터널구조물 및 시공중 안전확보, 안전사고 및 재난을 방지하기 위해서는 앞으로 다양한 부문, 단계 및 재료에 대한 연구가 필요하고, 그러한 노력이 활발히 이루어 질 것으로 기대한다. ☺

◆ 참고문헌

[1] 국토해양부 (2009), “철도건설규칙”, 국토해양부, pp. 2-4.
 [2] 한국철도시설공단 (2011), “철도 전철전력설비 설계지침”, 한국철도시설공단
 [3] 한국철도시설공단 (2011), “철도 정보통신설비 설계지침”, 한국철도시설공단
 [4] 한국철도시설공단 (2011), “철도 신호제어설비 설계지침”, 한국철도시설공단
 [5] 한국철도시설공단 (2009), “철도 표준도(단선)”, 한국철도시설공단
 [6] 국토해양부 (2011), “철도시설 안전 세부기준”, 국토해양부
 [7] 한국철도시설공단 (2009), “철도전기설비 표준도”, 한국철도시설공단
 [8] 대한건설정보 (2012), “2012 건설공사 표준품셈”, 대한건설정보, pp. 410-690.
 [9] 한국철도시설공단 (2006), “철도 토목관련 전기설비 표준도 제정용역_설계기준서”, 한국철도시설공단, pp. 105-180.
 [10] 한국철도시설공단 (2011), “철도설계기준(노반편)”, 한국철도시설공단
 [11] 한국철도시설공단 (2011), “철도설계지침(노반편)”, 한국철도시설공단
 [12] 한국철도시설공단 (2004), “보성~임성리 철도건설 노반실시설계 보고서”, 한국철도시설공단
 [13] 한국철도시설공단 (2004), “보성~임성리 철도건설 노반실시설계 보고서”, 한국철도시설공단
 [14] 한국철도시설공단 (2014), “동두천~연천 복선전철 건설공사 노반 실시설계보고서”, 한국철도시설공단, pp. 1358~1422.
 [15] 한국철도시설공단 (2011), “철도설계편람(노반편)”, 한국철도시설공단
 [16] 고동춘, 정병률, 김준모, 정운기, 류동훈, 송충렬 (2010), “천공 & 발파터널에 대한 진보된 버력처리공법 연구(The study of advanced mucking for Tunneling)”, 한국터널공학회
 [17] 삼보기술단(2005), “단선철도 터널의 버력 처리 방안”, 삼보기술단
 [18] 한국철도시설공단 (2005), “터널구간 콘크리트케도 적용에 따른 설계기준 검토(문서번호:토이0962-579)”, 한국철도시설공단
 [19] 두산인프라코어(주) (2012), “건설장비 제품 사양서”, 두산인프라코어(주)
 [20] Atlas Copco (2012), “천공장비 제품 사양서”, Atlas Copco
 [21] 현대자동차(주) (2012), “대형트럭 제품 사양서”, 현대자동차(주)
 [22] 한국콘크리트학회 (2007), “콘크리트 구조서계기준 해설”, 한국콘크리트학회
 [23] 남성원 외(2010), 수사·평택 고속철도 “궤도중심간격 및 터널면적 검토 보고서”, 철도환경연구실
 [24] Subway Environmental Design Handbook (SEDH), United States Department of Transportation