

## 터널공사 설계 및 시공관리 개선방안 소개

홍성채 · 이경태<sup>1)</sup> · 황현주 · 강성국<sup>2)</sup>

### 1. 서언

우리라는 70%이상이 산지로 형성되어 도로건설시 노선단축 효과와 자연훼손이 적은 터널공법은 필수적이며 도로고속화 및 철도의 신설에 따라 더욱 증가추세에 있다.

2005. 9 현재 건교부 소속 및 산하기관에서 시행중인 터널은 총 583개소이며 연장 767.1km로써 총공사비는 71,196억원으로 추산되고 있다.

터널설계는 간접조사 방법에 의한 불확실한 자료를 근거로 작성된 추정설계 개념임에도 불구하고 준공결과는 설계와 동일하게 정산되고 있으며 터널공사비가 외국에 비하여 크게 고가이고 저가하도급이 많다는 사실에 착안하여 설계내용 검토 및 현장조사 등을 현황과 문제점을 파악하였다.

설계단계에서는 지반조사의 불확실성으로 인한 예산확보 차원의 지나친 과다 설계 및 과거 70~80년대식 인력위주의 공사비 적산방법, 또한 시공단계에서는 현장 암반분류를 비전문가에 의한 시행으로 설계대로 짜맞추기식 시공관리가 이루어지는 등 막대한 예산낭비 요인이 파악되었다.

이와 같은 현장실사와 조사과정에서 도출된 문제점에 대한 개선방안을 마련함으로써 예산절감과 품질관리로 안전성 확보 및 노선선정 단계에서 경제성 문제로 터널공법이 배제되는 경우가 많았으나 터널공사비 현실화로 터널공사가 더욱 활성화가 될 수 있는 기반을 조성하기 위함이다.

### 2. 문제점 파악

#### 2.1 암반분류 등급의 과다설계 및 시공

- 1) 설계단계에서는 시추조사와 탄성파탐사등의 한정된 지반조사 자료로 터널암반을 분류하는 불확성 때문에 지나치게 안전측으로 암반등급을 분류하는 경향도 배제할 수는 없지만, 근본적인 원인은 암반등급 분류시 상관관계가 매우 떨어지는 전기비저항치가 이용되고 있어 과다설계가 되고 있는 것으로 파악되었다.

1) 건교부, 감찰팀, 토목사무관

2) 협승엔지니어링, 화약류관리 기술사

- 사례로 전기비저항치를 근거로 4등급으로 설계되었던 구간에 대해서 몇 개 현장의 막장 조사 결과에 의하면 1~2등급으로 분류될 수 있는 양호한 암반으로 파악되었다.
- 2) 건교부 산하기관에서 시행중인 터널은 대부분 풍화를 거의 받지 않는 기반암을 통과하는 산악터널임에도 불구하고 77개 터널설계 현황을 분석한 결과에 의하면 터널연장의 약 45~63%가 4등급(풍화암)이하로 과다설계 되었다.
  - 3) 시공단계에서는 현장의 암반조건에 따른 지질Mapping을 실시하여 적정등급에 맞게 보강공사를 실시해야 함에도 불구하고, 암반 분야의 전문지식 결여 및 안전한 것이 좋다는 무사안일한 생각으로 설계단계에서 불확실한 지반조사 자료로 분류되었던 암반등급에 의거 거의 동일하게 보강공사가 시행되고 있는 현실이다.
  - 4) 지질도 작성 및 암반등급 분류평가는 암반분야의 전문지식과 경험을 갖춘 기술자가 수행되어야 하나 시공사는 물론 감리단에도 전문기술자가 없는 실정이며 현장 지질도 작성은 전문지식이 없는 협력업체 직원등이 설계등급 짜맞추기식으로 조잡하게 작성되고 있는 실정이다.
  - 5) 사례로 최근 5개 국토관리청에서 시공완료한 66개 터널현황을 분석한 결과로 당초설계와 거의 동일하게 시공되었고 터널공사비는 약 5% 증액되어 준공되었다

표. 조사 터널공사비 현황(2차선 터널)

구분		서울청	원주청	대전청	익산청	부산청	계
m당 공사비 (백만원)	설계	10.1	10.8	10.3	12.7	13.7	11.9
	시공	9.6	11.7	10.7	12.7	14.9	12.5

- 6) 암반분류 등급 잘못으로 인한 경제적 손실을 파악하기 위해 2차선 국토터널의 암반분류 등급별 굴착 및 지보공사비는 다음과 같다.

단위 : 천원

등급	1등급	2등급	3등급	4등급	5등급	6등급
암반현황 (RMR)	경암 (100~80)	보통암 (80~60)	연암 (60~40)	풍화암 (40~20)	풍화토, 파쇄대 (20~0)	갱분부
굴착	1,536	1,451	1,683	2,219	3,100	3,693
버럭처리	833	825	906	900	1,104	1,232
지보	630	900	1,482	2,776	3,657	4,682
보조공법	-	-	-	-	208	4,841
계	3,049	3,176	4,071	5,885	8,068	14,448
등급별 비율	100%	104%	134%	193%	265%	474%

## 2.2 터널공법 및 암반분류 방법의 문제

- 1) 국내 터널은 NATM공법이 터널의 유일한 공법으로 인식되어 현재 시행중인 모든 터널이 NATM공법으로 설계시공되고 있으나 외국의 경우에는 연암반이나 천심도 터널의 경우에는 NATM공법이 적당하나, 산악터널과 같이 경암반 터널의 경우에는 암반의 불연속면이 터널안정성에 주지배 요소이므로 NMT공법이 적용되고 있다.  
국내에서도 지하유류 비축기지등에서는 NMT공법이 적용되어 경제적이고 안정되게 시행되고 있는 현실이다.

### 2) NATM공법과 NMT공법의 비교검토

구 분	NATM공법	NMT공법
적용암반 조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 토피가 얇은 심도와 풍화정도가 심한 연암반에 적용</li> <li>· 시간경과에 따라 이완하중 증가 (시간의존적)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 심도가 확보된 산악터널등의 경암반에 적용</li> <li>· 암반의 불연속성이 안정성의 주 지배 요소임</li> </ul>
굴착조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 연암반으로 기계굴착이나 인력 굴착</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 경암반으로 주로 발파공법 적용</li> </ul>
지반조건의 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암반의 압축강도, RQD 풍화도, 지하수등이 중요한 요소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암반의 구조(절리의 간격, 길이, 갯수, 방향등)</li> <li>· 절리의 특성 (거침도, 잔류마찰각등)</li> <li>· 지하수, 응력강도</li> </ul>
보강시기	굴진과 보강 동시시행	굴진 시 임시보강을 시행하고 영구보강은 굴진막장 후방에서 시행
적용현장	국내 도로 및 철도터널	지하비축기지
지보패턴	RMR 제시방법 적합 (폭10m 터널 지보패턴만 제시됨)	Q-System 제시방법 적합 (터널규모별로 지보패턴이 제시됨)
계 측	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 안정성과 2차 보강시기 결정에 중요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 매우 불량한 암반에만 선택적 시행</li> <li>· 지질 Mapping 작성이 필수적임</li> </ul>
보강재	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주보강재 : 슛크리트</li> <li>· 부보강재 : 록볼트, 강지보</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주보강재 : 록볼트</li> <li>· 부보강재 : 강섬유 슛크리트</li> <li>※ 강지보는 과굴로 인해 거의 사용안함</li> </ul>

- 3) 터널현장의 암반분류와 지보패턴을 설정하기 위해 국내외에서 대표적으로 사용되고 있는 암반의 공학적 분류방법인 RMR과 Q-System이나 국내의 모든 터널에서 RMR분류방법을

홍성채, 이경태, 황현주, 강성국

현장에서 적용되고 있음.

표. RMR과 Q-System의 비교

구분	RMR	Q-System
1. 제안자 (최초제안-보완)	Bieniawski (1973-1989)	Barton등 (1974-1994)
2. 평가인자별 점수	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암석강도(0~15)</li> <li>· RQD(3~20)</li> <li>· 불연속면 간격(5~20)</li> <li>· 불연속면 상태(0~30)</li> <li>· 지하수 상태(0~15)</li> <li>· 불연속면 방향의 보정(0~(-)12)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· RQD(10~100)</li> <li>· 절리군수, <math>J_n(0.5\sim20)</math></li> <li>· 절리면의 거칠기, <math>J_r(0.5\sim4)</math></li> <li>· 절리면의 변질도, <math>J_a(0.75\sim24)</math></li> <li>· 지하수 상태, <math>J_w(0.05\sim1)</math></li> <li>· 응력감소계수 SRF(0.5~20)</li> </ul>
3. 평점 산정방법	RMR값 : 각 인자의 합(0~100)	Q값: $\frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$ (0.001~1000)
4. 특 성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암석강도 반영</li> <li>· 불연속면의 방향성 반영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 암반의 전단강도와 응력상태 반영</li> <li>· 터널입구부와 교차부에서는 평점을 하향조정</li> </ul>
5. 분류 등급수	5등급	9등급
6. 굴착 및 지보패턴의 제시	· 10m폭의 마제형 터널을 기준해서 등급별 굴착방법과 지보패턴 제시	· 터널의 용도와 크기에 따른 지보패턴 제시
7. 연관 터널공법 (정립시기)	NATM (1955~1964)	NMT (1990년대 이후)

### 2.3 록볼트 시공관리

- 1) 암반터널의 주보강재인 록볼트는 공사비 적산방식상 저렴하다는 이유로 레진형으로 설계 및 시공되고 있으나 실제로 레진형은 시멘트밀크형에 비해 고가이고, 화학적변화에 대한 장기내구성 및 장공(4m이상)일 경우 교반이 불충분하여 기능상 문제가 예상되며
- 2) 특히 레진볼트는 경화후 긴장작업이 가장 중요한 공종으로 긴장이 적정하게 이루어지지 않으면 주지보재 기능이 상실되어 안전에 위험을 초래 할 우려가 있으나 이에 대한 명확한 시방기준이 없으며 실제 후속공정으로 인해 인장작업의 적정여부에 대한 확인이 곤란하다.

- 3) 록볼트는 터널구조 안정성에 가장 중요한 공중임에도 불구하고 시공후 즉시 슛크리트가 시공되어 품질관리가 가장 취약한 공중으로 파악되었다.

**2.4 현행 터널공사비 적산기준의 문제**

- 1) 터널공사의 적산방법이 단선터널 기준으로 산출되어 있어 병렬터널의 경우에는 연속작업이 가능하므로 같은 인원과 장비로 단선터널의 1.5~2배의 작업물량이 시공됨에도 불구하고 동일한 적산방법을 택하고 있음.  
 즉, 고정비 성격의 노무비에 대한 작업효율 증가분에 대한 고려를 하지 않으므로 공사비가 과다 계상됨.

구 분	단선터널	병렬터널	비 고
현설계기준	1.08발파	1.08발파	
실시공	2발파	3.5발파	

- 2) 현행의 터널공사는 장비위주의 작업형태임에도 불구하고 과거 70~80년대의 소형장비 위주로 적산방법을 적용하여 과다계상되고 있음

**표. 버럭처리 장비 적용기준 현황**

구 분	현설계	실 시공	비 고
상차장비	1.72~2.87m <sup>3</sup> 페이로더	3.5m <sup>3</sup> 타이어 페이로더	
운반장비	10.5Ton 덤프트럭	15Ton 덤프트럭	

- 3) 굴착, 버럭처리, 록볼트, 슛크리트의 4단계 작업을 1개 작업조로 시공이 가능하나 각각 별도의 작업조 편성으로 노무비 과다계상

표. 노무비 산정기준 사례(2차선 터널)

공종	1 type(전단면)				5 type(하반)			
	사이클 타임	적용일수 (8시간)	투입 인원수	노무비 공수 (8시간기준)	사이클 타임	적용일수 (8시간)	투입 인원수	노무비 공수 (8시간기준)
1.굴착(착암)	373분 (6.2시간)	1	9	9	104분 (1.7시간)	1	9	9
2.버럭처리	833분 (13.9시간)	2	4	8	113분 (1.9시간)	1	4	4
3.숫크리트	120분 (2시간)	1	6	6	51분 (0.9시간)	1	6	6
4.록볼트	43분 (0.7시간)	1	7	7	52분 (0.9시간)	1	7	7
계	1,329분 (22.2시간)			30	295분 (4.9시간)			26

- 주)① 노무비의 산정기준에서 소요시간이 1교대시간 8시간 미만일 경우 1공으로, 8시간이상 일 경우 2공으로 산정되고 있어 상기 도표에서와 같이 록볼트의 경우 43분(0.7시간)만 작업하여도 7인의 노무비가 산정되므로 과다 계상
- ② 최대 인원구성이 9명을 지속적으로 투입하는 것으로 볼 경우 1 type의 경우 22.2시간 ÷ 8시간 × 9인 = 25공수(설계적용 공수 30공)이며 5 type 하반의 경우 4.9시간 ÷ 8시간 × 9인 = 5.5공수(설계적용 공수 26공)으로 설계공수가 실제 공수보다 과다 계상됨을 알 수 있음.

4) 적산기준의 모순된 사례

(1) 굴착 및 버럭처리 단가

구분		5 type	6 type	비고
굴착비 (m <sup>3</sup> )	상부반단면	17,967원	19,817원	
	하부반단면	23,002원	26,172원	
버럭처리 (m <sup>3</sup> )	상부반단면	7,199원	7,482원	
	하부반단면	8,437원	9,039원	

주) 굴착비는 상부가 천공수가 많고 작업효율이 떨어지므로 하부보다도 단가가 높은 것이 상식적이나 하부단가가 오히려 높고, 버럭처리는 같아야 하나 오히려 하부가 높음

(2) 록볼트 단가

구 분	1 type	3 type	비 고
록볼트 L=4m(개)	874,764원	115,336원	

주) 록볼트 작업조를 별도 편성하고 실제 작업시간과 무관하게 노무비를 계상함으로써 단가 차이가 크게 발생

3. 개선방안

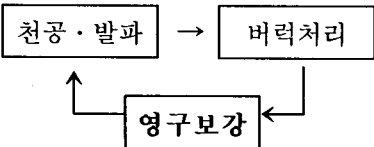
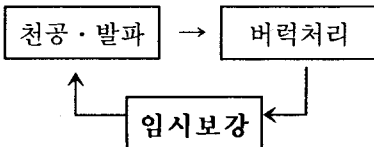
3.1 설계 및 시공관리 개선

1) 설계시 지반조사 및 암반분류 기준

구 분	현 행	개 선(안)
지반조사 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전기비저항 탐사</li> <li>· 탄성파탐사</li> <li>· 갱구부 시추조사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전기비저항치에 의한 분류 지양</li> <li>· 가탐심도를 깊게한 탄성파탐사(화약이용)</li> <li>· 갱구부 시추는 기반암 특성이 파악되도록 충분한 심도로 시행</li> </ul>
분류기준	<ul style="list-style-type: none"> <li>· RMR 분류법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Q-시스템과 RMR분류 혼용하여 적용 (상호환산값 적용)</li> </ul>

기 대 효 과
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상관성이 낮은 전기비저항 탐사에 의한 과다설계 방지</li> <li>· Q-시스템, RMR혼용 분류시 type별 보강방법 결정이 용이</li> </ul>

2) 터널공법

구분	현행	개선(안)
적용공법	NATM (연약지반 터널공법에 적합)	NMT : type 1~4 NATM : type 5
굴착방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>굴착과 영구보강 동시 시행</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>임시보강과 영구보강 분리 시행</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>영구보강(40~50m 후방) : 록볼트, 슛크리트시공</li> </ul>

기대효과
<ul style="list-style-type: none"> <li>국내 경암반 특성에 적합한 터널공법 정립</li> <li>- Cycle Time 단축(굴진속도 20%이상 향상)</li> <li>- 품질 및 장기 안정성 확보 유리</li> </ul>

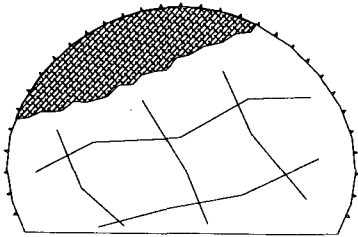
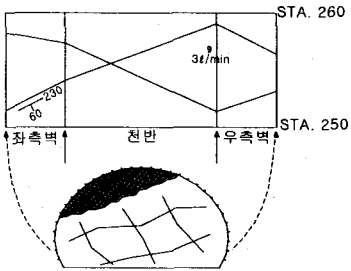
3) 굴착 및 보강

구분	현행	개선(안)
표준패턴	2차로 터널만 있음	대단면 3~4차로 표준패턴 제시
보강수량	천반과 벽체 동일	<ul style="list-style-type: none"> <li>천반과 벽체 차등적용</li> <li>강지보를 축소하고 록볼트·스�크리트로 대체적용</li> </ul>
록볼트	주로 레진형 사용	<ul style="list-style-type: none"> <li>전면 접착형인 시멘트 페이스트형 우선 적용</li> <li>- 레진형 : 용수개소 및 임시보강</li> <li>- 시멘트페이스트형 : 영구보강</li> </ul>

기대효과
<ul style="list-style-type: none"> <li>3차로이상 터널, 비상주차대등 교차부에서의 적정 지보패턴 적용</li> <li>경제성 있는 굴착 및 보강시스템 구축</li> <li>주 보강재인 록볼트 품질향상 및 예산절감</li> </ul>



4) 터널현장 시공관리

구분	현행	개선(안)
암질에 따른 type 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 확정설계</li> <li>• 설계변경 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 예비설계</li> <li>• 수량정산 의무화</li> </ul>
지질Mapping 방법	<p>Face Mapping</p> 	<p>전개도 Mapping</p>  <p>※ 암반분류(RMR, Q-System)에 대한 전문 기술자 확보</p>
지보패턴	원설계 적용	RMR, Q-System 평가결과에 의거 신축적 적용
지질Mapping 수행자	시공자(계측업체 직원)	감리자 : 지반분야 전문기술자 확보 (자격요건 강화)
터널계측	암질에 관계없이 전구간 시행	불량구간(type 4이하)에 제한적으로 시행

기대효과
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 암질상태의 정확한 분류로 적정 보강공법 시행(지질Mapping등 근거자료에 의해 과다 시공 방지)되므로 안전확보에 유리 및 예산낭비 방지</li> <li>• 실질적인 자료축적으로 터널 유지관리와 설계시 유용한 자료로 활용</li> <li>• 터널, 교량등 지질 관련자료를 한국지질자원연구원과 연계하여 국토의 지질정보 Data Base구축에 활용</li> </ul>

3.2 공사비 적산기준 개선

구 분	현 행	개선(안)		
1. 산출기준 현실화 1) 버럭처리 -장비규격 (로다/덤프트럭) -효율 (작업효율/버럭계수)	1.72~2.87m <sup>3</sup> /10.5Ton  0.25~0.35/0.55	3.5m <sup>3</sup> /15Ton  0.5/1.0 ※동일·반복작업으로 효율 극대화		
2) 점보드릴 천공속도	암질별 0.7~1.1m/분	평균치 0.9m/분 적용		
3) 조합장비	점보드릴, 로다, 슛크리트머신	굴삭기 및 고소대차 추가 (부석정리 등)		
2. 작업조 편성 1) 노임산정방식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1Cycle을 4개공종(작업조)로 분할편성</li> <li>• 4작업조별 8시간(1공수) 단위로 노임산출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1Cycle을 1개 작업조로 통합</li> <li>• 1Cycle 단위로 노임산출</li> <li>• 터널공 노임은 굴착비에 계상</li> </ul>		
2) 인원편성	구 분	인원수	구 분	인원수
	굴 착 버럭처리 슛크리트 록 볼 트	9~10 4 6 7~9	단선터널	계 12
	계	26~29	병렬터널	계 14
3. 병렬터널 공사단가	• 단선터널과 병렬터널의 공사 단가가 같음	• 작업조 편성노무비의 60%적용(단선터널 작업량의 1.66배 적용)		

기 대 효 과(type-1기준)				
구 분	현 행	개선(안)	비고	
굴착사이클 타임	22.2시간	13.5시간		
노무비 (소요공수)	단선터널	30공	20.3공	33%감소
	병렬터널	30공	14.2공	52%감소

#### 4. 결론

- 1) 본 개선방안에 의한 시행시에 터널공사비의 절감 예상비율은 약30% 수준이며, 적정 암반 분류 방법과 시공관리 개선으로 인한 예상 절감비율은 약 19%이고 적산방법 개선으로 인한 예산 절감배율은 약 11%인 것으로 파악되었다.
- 2) 현행 터널공사는 설계를 위주로 확정설계 개념으로 시행되어왔던 관행을 현장에서 지질 Mapping등을 토대로 암반을 분류하여 적정 보강과 굴착공사를 시행토록 하는 공사비 정산비 개념을 도입함으로써 현장여건에 부합되는 터널공사 시행으로 터널의 안정성 확보와 시공성 향상으로 공사비 절감효과가 예상되며, 국내의 암반 및 지질 전문기술자들의 터널현장 참여가 더욱 확대되므로써, 국내터널 기술개발이 더욱 가속화될 것으로 기대된다.
- 3) 또한 도로와 철도노선 선정단계에서 경제성 문제로 터널공사가 배제되는 경우가 많았으나, 적정터널 공사비 산정으로 터널공사는 더욱 증대되며, 국토의 자연훼손을 방지하면서 효율적인 국토개발이 이루어질 것으로 예상된다.

#### 참고문헌

- 터널공사 설계 및 시공관리 개선방안(2005.9 건설교통부)