

터널 1차 지보재 내구성 확보방안



김성수
(주)동일기술공사
터널부 전무



이병철
(주)동일기술공사
터널부 부장



김종진
(주)전엔지니어링
터널부 이사



지동한
한국도로공사
기술심사실 부장

1. 서론

1.1 개요

터널 설계에서 지보재란 굴착 후 공동 주변암반의 변형을 신속히 제어하여 터널의 안정성을 조기에 확보하는데 필요한 보강재를 뜻한다.

터널지보의 광역적 의미로는 정밀발파에 의한 발파영향의 최소화, 신속한 지보 설치시기에 의한 초기변형의 최소화, 양질의 보강재 적용으로 지보재의 장기적 내구성 확보 등을 들 수 있다.

■ 터널의 장기적 안정성

- 충분한 사전조사 및 정밀분석에 의한 지반등급 추정 시 정확성 확보.
- 설계기준에 적합한 적정보강패턴 적용.
- 굴착막장의 지반등급 판정에 따른 최적의 보강패턴 결정.
- 신속한 지보재 설치 및 품질관리.
- 필요개소에 대한 적정계측으로 안정성 확보여부 확인 등

터널의 장기적 안정성은 위의 내용으로 시방서상 요구하는 내구성 100년 이상 확보에 필요한 안전도를 갖출 수 있다고 판단하고, 현재 조사 및 설계, 시공감리분야에서 각각의 노력을 경주하고 있다.

그러면 터널 안정성 확보에 필요한 모든 절차를 굴착 보강시 다하고 있는데 “왜 터널에서의 콘크리트 라이닝이 지보재로서의 강도를 가져야하는가?” 하는 의문이 제기될 수 있다.

본 고에서는 일반 터널에서 굴착 보강 후 모든 변형이 수렴되어 공동 자체의 안정성을 확인하고 일정 시간이 지난 후에 시공하는 콘크리트라이닝에 부담을 주지말아야 한다는 판단하에 터널의 안정성확보에 최우선적으로 작용하는 1차 지보재의 내구성을 최대한 확보할 수 있는 방안을 설계 및 시공의 전반적인 범위에서 모색하고자 한다.

1.2 검토 내용

- 라이닝의 기능과 터널 지보 매카니즘
 - 라이닝의 기능
 - 터널의 지보 매카니즘
- 지보패턴 설계요령

- 공동 등가치수 산정
- Q값에 따른 지보 검토
- 패턴별 지보량 산정
- 강섬유보강 슛크리트 내구성 확보 방안
- 시방 기준 검토
- 급결재 검토
- 타설 장비 검토
- 록볼트 내구성 확보 방안
- 국내외 적용 기준 및 내부식 앵커볼트

2. 라이닝의 기능과 터널 지보 매커니즘

2.1 라이닝의 기능

토사터널 및 비배수 터널

- 역학적 구조체 기능
- 현장여건 등으로 인해 필요한 경우 콘크리트 라이닝이 지보재의 일부로써 지반으로부터 전달되는 하중을 분담
 - 슛크리트 등 지보재의 안전율이 부족한 경우
 - 지반변위 수렴이전 라이닝을 시공하는 경우
 - 토피가 작은 토사 지반 등에 설치되는 경우
- 비배수 터널과 같이 완전방수가 요구되는 경우 콘크리트 라이닝이 수압에 의한 하중을 지지

산악지 배수형 터널

- 시각적 마감재 기능
- 운전자의 시각적 안정감 확보 및 시선 유도
- 터널내의 미관개선
- 매끄러운 표면처리를 통해 공기 역학적 저항감소
- 조명, 환기시설 등 부속시설물 거치

2.2 터널의 지보 매커니즘

터널의 지보구조는 원지반의 지지능력을 최대한으로 활용하면서 슛크리트와 록볼트를 1차 지보재로 하고 기타 보강공법을 적절히 혼용하여 터널의 안정성을 유지한다.

NATM에서는 계측관리에 의한 변위수렴 판단에 따라 라이닝 타설시기를 결정하며, 일반적으로 계측결과 변위의 수렴이 확인된 후 내부 콘크리트 라이닝을 타설하므로 라이닝은 지반하중의 영향을 받지 않아 구조체 기능을 하지 않는다.

따라서, NATM의 기본적지보 매커니즘은 터널에 작용하는 모든 응력을 원지반의 지지능력과 주지보재인 슛크리트와 록볼트로 지지하여 터널을 안정시키므로써 이완하중의 추가발생을 제거시키는 것이라 할 수 있다.

즉 원지반의 상태를 고려한 슛크리트와 록볼트의 적정량 시공으로 터널의 장기적 내구성을 확보하여야 한다.

2.3 북유럽 터널의 지보 매커니즘

북유럽, 스칸디나비아 반도에서 적용하고 있는 터널 시공법(NMT)도 원지반의 지지능력을 최대한으로 활용하고 1차 지보재로 보강하여 터널을 장기적으로 안정시키는 NATM의 개념과 일치한다.

암반내 절리에서 발생하는 이완영역을 최소화시키기 위해서 봉합하는 고강도의 록볼트를 주 지보재로 하고, 와이어메쉬와 일반 슛크리트 대신 점착력이 양호한 고강도의 강섬유 보강 습식 슛크리트를 사용하여 주변 암반과 일체화하는 지보공법(NMT등)을 개발하여 사용중이다.

노르웨이는 세계에서 터널을 가장 많이 굴착하는 나라 중의 하나이며, 주로 강도가 높은 암반으로 구성되었다 하더라도 단층이나 파쇄대 또는 연약지반을 통과하는 터널을 굴착하는 경우도 빈번하지만, 터널 주변에 발생하는 모든 하중을 록볼트와 강섬유 보강 슛크리트로 지지시키고 있다.

2.4 국내의 터널 라이닝 적용과 전망

일반적으로 국내의 터널에서 도심을 통과하는 지하철 터널을 제외하면 대체로 양호한 지반조건을 갖는 산악터널이 대부분으로서 양호한 암반일 경우에는 1차 지보재의 강도와 내구성을 높여 터널의 장기적 안정성을 확보하고, 터널라이닝은 운전자의 안정감을 향상시키기 위한 마감재로 적극 적용할 필요가 있다.

이때 1차 지보재는 적정 설계를 통하여 합리적인 지보패턴이 선정되어야 한다.

3. 지보패턴 설계요령

터널의 안정성을 확보하기 위해서는 첫째 적정 지보량 설계, 둘째 적정 사공장비 확보, 셋째 숙련된 시공기술 제 공등 합리적인 여건의 준비가 우선 되어야 한다.

이에 지금까지 일반적으로 설계된 2차로 병설터널보다 최근 환경적 측면에서 많이 적용하고있는 2 arch 터

널의 지보패턴을 예로 한 설계과정을 먼저 설명하면 다음과 같다.

■ 터널설계 요령

- ① 터널규모에 대한 공동 등가치수 산정
- ② 대상 암반등급에 따른 지보여부 검토
- ③ 지보패턴별 표준 지보량 산정
 - Q값에 의한 산정
 - RMR에 의한 산정
 - 적정 지보량 결정
 - 표준지보 패턴 제시

3.1 공동 등가치수(equivalent dimension) 산정

Barton, Lien, Lunde등에 의한 공동의 크기에 대한 등가치수를 구하면

$$De = \frac{\text{공동스팬, 직경 또는 높이(H)}}{\text{공동지보비(ESR)}}$$

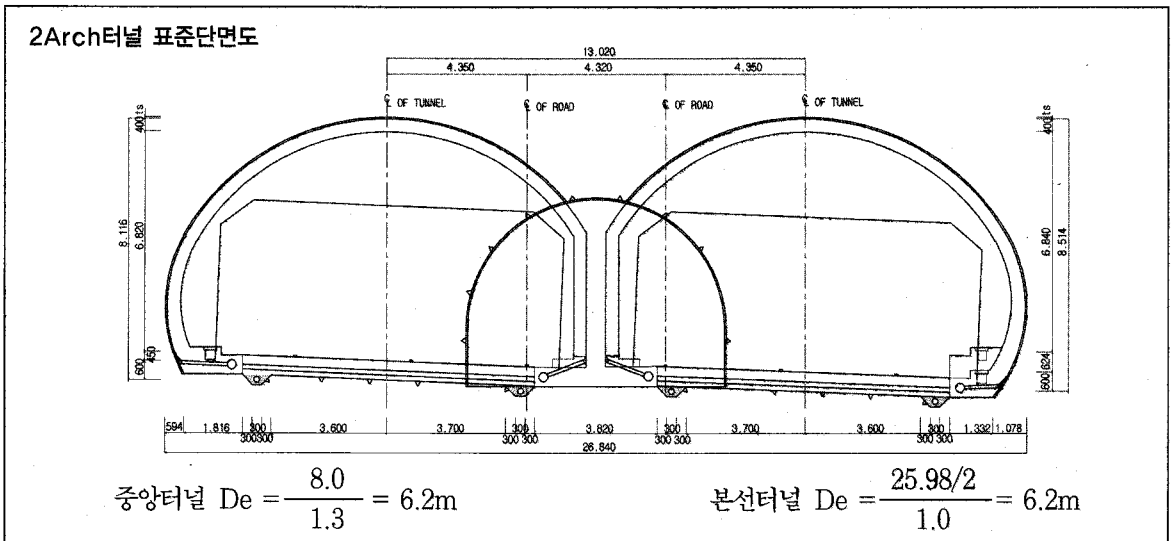


그림 1. 2Arch터널 De산정

- ▶ 터널의 용도에 따라 공동지보비를 산정하며 공동지보비는 그 공동의 사용목적 또는 불안정성의 허용정도와 관계있다.

표1. 공동의 사용목적에 따른 ESR

공동의 분류 및 용도	ESR	적용
A. 임시적인 채광공동	3~5	
B. 영구적인 광산의 공동, 수력 발전용 수로터널(고압의 수압관은 제외), 대규모 굴착을 위한 도갱통로 및 막장	1.6	
C. 저장실, 물처리 플랜트 중단면의 도로 또는 철도용 터널, Surge chamber 또는 도수터널	1.3	
D. 발전소, 대단면의 도로 또는 철도용 터널, 방공호, 공동갱구, 교차부	1.0	
E. 지하 원자력 발전소, 지하철도역 지하체육관, 지하 공공시설, 지하공장	0.8	

3.2 암반등급(Q값)에 따른 지보 검토

지반조사 결과에 의거 추정된 암반등급에 의거 지보의 필요성을 검토한다.

Barton, Lien과 Lunde에 의한 무지보 지하공동의 최대 등가치수 De와 NGI터널 굴착 암반지수Q와의 관계에

표2. De와 Q와의 관계

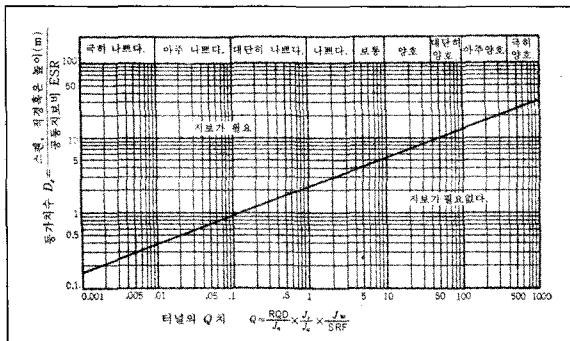


표3. 터널별 지보 필요성

구분	중앙터널	본선터널
T-1	불필요	필요
T-2	필요	필요
T-3	필요	필요
T-4	필요	필요
T-5	필요	필요

※ 중앙터널의 Crown부는 영구지보로 고려 하며 본선터널의 지보 시공상황 및 지보 재 설치위치를 고려하여 적절히 배치한다.

서 지보의 필요성을 분석한다.

또한 2Arch구조는 중앙벽체(또는 기둥)부가 하나의 Pillar로서 제기능을 발휘해야 좌,우 각각 1Arch본선터널 단면으로 가정될 수 있으므로 중앙부의 구조적 검토가 반드시 필요하다.

3.3 패턴별 지보량 산정

(1) Q값에 의한 지보량 산정

Grimstad와 Barton에 의해 1993년에 발표된 Q값에 의한 예측 지보량 표에서 지보량을 산정한다.

표에서 중앙터널과 본선터널의 폭(또는 높이)을 L로 하여 지보량을 추정한다.

표4. Q값에 의한 지보량 산정표

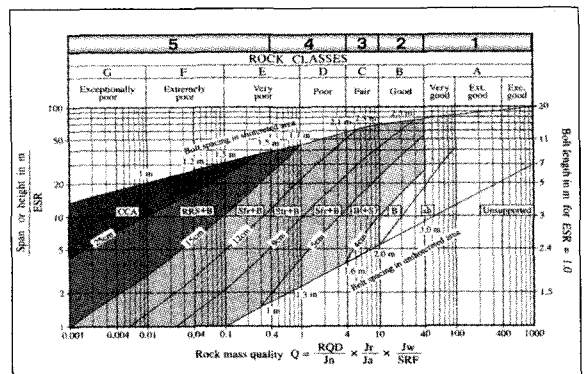


표5. 슛크리트량 산정결과

스�크리트	중 앙	본 선
T-1	불필요	Random
T-2	5cm	5(일반)
T-3	5cm	8(강섬유)
T-4	8cm	12(강섬유)
T-5	12cm	15(강섬유)

표6. 록볼트량 산정결과

록볼트	중 앙		본 선	
	길이	간격	길이	간격
T-1	3.0	무지보	4.0	Random
T-2	3.0	2.5	4.0	2.5
T-3	3.0	2.3	4.0	2.1
T-4	3.0	2.1	4.0	1.7
T-5	3.0	1.7	4.0	1.5

(2) RMR에 의한 지보량 산정

RMR 산식에 의거 지보량을 산정한다.

$$L = 0.5 \times B - \frac{R}{200} \times B > 3.0$$

표7. RMR에 의한 지보량 산정표

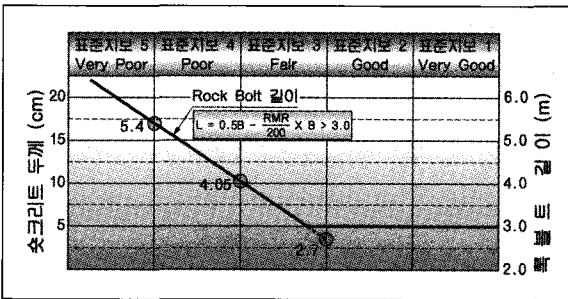


표8. 슛크리트량 산정결과

스�크리트	중 앙	본 선
T-1	불필요	불필요
T-2	불필요	불필요
T-3	불필요	5cm
T-4	불필요	10cm
T-5	5cm	18cm

표9. 록볼트량 산정결과

록볼트	중 앙		본 선	
	길이	간격	길이	간격
T-1	Random			
T-2	3.0	2.5m	3.0	2.5m
T-3	3.0	1.5~2.0	3.0	1.5~2.0
T-4	3.0	1.0~1.5	4.0	1.0~1.5
T-5	3.0	1.0~1.5	5.0	1.0~1.5

(3) 적용 지보량 산정

RMR에 의한 지보량과 Q값에 의한 지보량을 종합적으로 분석하고 국내 적용되었던 지보패턴을 고려하여 다음과 같이 산정한다.

표10. 슛크리트량 결정량

스�크리트	중 앙	본 선
T-1	일반 슛크리트 5cm	일반 슛크리트 5cm
T-2	강섬유 S/C 5cm	강섬유 S/C 5cm
T-3	강섬유 S/C 8cm	강섬유 S/C 8cm
T-4	강섬유 S/C 12cm	강섬유 S/C 12cm
T-5	강섬유 S/C 16cm	강섬유 S/C 16cm

표11. 록볼트량 결정량

록볼트	중 앙		본 선	
	길이	간격	길이	간격
T-1	Random			
T-2	3.0	2.0	4.0	2.0
T-3	3.0	1.5	4.0	1.5
T-4	3.0	1.5	4.0	1.5
T-5	3.0	1.2	4.0	1.2

■ 격자지보량 결정

중앙터널과 본선터널 강지보는 본선부 굴착 후의 연결을 고려하여야 할 것이다.

표12. 격자 지보재 결정량

	중 앙		본 선	
	길이	간격	길이	간격
T-4	50×20×30	1.5	50×20×30	1.5
T-5	70×20×30	1.0	70×20×30	1.0

■ 굴진장 결정

공동 지보비(ESR)에 대한 최대 무지보 스패를 Q값에 대해 표기하면 다음과 같다.

$$\text{span } L = 2 \times \text{ESR} \times Q^{0.4}$$

표13의 값은 안전과 우선적으로 관련되므로 보수적으로 접근하여 적용토록 한다.

표13. 굴진장 산정량

Q	1이하	1-4	4-10	10-40	40이상
L	2.0이하	2.6	4.5	6.5	11.3

표14. 굴진장 결정량

록볼트	중 앙		본 선	
	길이	간격	길이	간격
T-1	3.5	전단면	3.5/3.5	분할단면
T-2	3.5	전단면	3.5/3.5	분할단면
T-3	2.0	전단면	2.0/2.0	분할단면
T-4	1.5	전단면	1.5/3.0	분할단면
T-5	1.0	전단면	1.0/1.0	분할단면

(4) 표준지보패턴 설계

1) 개요

- 중앙터널의 모든 지보패턴에 대해 전단면 굴착공법 적용
- 지형 및 지질여건(편토압, 절리구조, 암반상태 등)을 고려하여 현장여건에 적합한 지보패턴을 설정하여 적용
- 중앙터널 및 본선 터널의 규격이 폭10m 내외의 일반적 2차선 규격과 유사하며 이의 지보패턴은 현재 적용되고있는 도로공사 2차선 터널 지보패턴과 아주 비슷한 수준으로 선정된다.

2) 표준지보패턴(안)

표15, 표16 참조

표15. 중앙터널 지보패턴표

구분	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	비고	
1회 굴진장	3.5m/	3.5m	2.0m	1.5m	1.0m	전단면굴착	
숫크리트	5cm	5cm	8cm	12cm	16cm		
록볼트	길이	3m	3m	3m	3m		
	중간격	Random	3.5m	2.0m	1.5m	1.0m	
	횡간격 (천단부/측벽부)	System /Random	System2.0 /Random	System /1.5m	System /1.5m	System /1.2m	천단부 3EA 설치
강지보재	-	-	-	LG-70×20×30	LG-70×20×30	격자지보	

표16. 본선터널 지보패턴표

구분	Type-1	Type-2	Type-3	Type-4	Type-5	비고
1회 굴진장(상/하)	3.5m/3.5m	3.5m/3.5m	2.0m/2.0m	1.5m/30.m	1.0m/1.0m	반단면 굴착
숫크리트	5cm(일반)	5cm	8cm	12cm	16cm	강섬유 보강
록볼트	길이	4m	4m	4m	4m	
	중간격	3.5m	2.0m	1.5m	1.0m	
	횡간격	Random	2.0m	1.5m	1.5m	1.2m
강지보재	-	-	-	LG-70×20×30	LG-70×20×30	격자지보

※ 합리적 설계가 진행되었다라도 현장에서 실제 투입되는 지보재 재질에 따라 내구성이 좌우될 수 있으므로 현장 품질관리 차원에서의 지보재 내구성 확보 방안에 대한 검토가 필요하다.

4. 강섬유보강 슛크리트 내구성 확보 방안

4.1 시방기준 검토

(1) 품질관리기준 적용 사례

1) 실리카흙의 중요성

구분	한국 도로공사	노르웨이	영국	스위스	칠레
시멘트(kg)	450	520	360	400 ~450	400
급결재(%)	5	6	사용	3	7
물-시멘트비	0.45 이하	0.45 이하	0.45 이하	0.48 ~0.54	0.46
강섬유량(kg)	45	40	사용	사용	40

※ 내구성있는 슛크리트와 요구되는 설계강도의 확보를 위해서는 급결재의 사용량 제한이 필수적이며 실리카흙의 사용(시멘트량의 5~15%)이 중요하다고 사료된다.

콘크리트 내에는 반응이 되지 않은 자유석회(Free lime; $\text{Ca}(\text{OH})_2$)가 있는데 이 물질이 향후 공기나 수분 중 산성물질들과 결합하여 CaCO_3 등을 형성하고 중성화시키는 작용을 한다.

실리카흙은 이 자유석회와 결합하여 Calcium Silicate 라는 결정체를 만들어 조직을 치밀하게 해주어 강도를 증대시키고 내구성을 확보시켜준다 (강도 증진, 내화학성 증대). 또한 실리카흙은 미세분말 재료로서 슛크리트의 배합을 부드럽게 해주어 펌핑을 아주 원활하게 해주는 역할을 한다.

그리고 실리카흙은 점착효과가 있어서 슛크리트가 벽체나 천정에 붙어있게 해주므로써 급결재의 사용량을 최소화시킬 수 있다.

(3) 현장 여건을 고려한 주요 관리사항

- 세골재 + 조골재의 혼합 입도 분포관리 철저히 하고 $\phi 13\text{mm}$ 이상 골재의 사용은 제한하도록 한다 : 근본적 성공 요인

- 실리카흙 배합철저 및 시멘트량의 10% 사용 제한; 칼슘 실리케이트에 의한 치밀 조직 확보
- W/C비를 45%이하로 제한하는 등 현장 배합에 따른 최적 배합비 선정 및 배합량의 관리를 철저히 하고 필요시 유동화제 사용토록 한다 : 강도증진
- 급결재량(시멘트의 5% 이내) 제한 철저 : 장기강도 확보 및 탈락율 감소의 효과가 크며 국내 터널 현장에서 가장 사용량이 선명치 못한 부분으로서 현장 관리자들이 가장 주의해야 할 사항으로 사료된다.
- 휨강도에 의한 관리기준 설정의 공정성 확인 : 고품질 확보
- 슛크리트 타설장비 및 펌프(피스톤식)의 적정성능 기준제시 : 장기강도 증진
- 타설시 기온제한 : 5°C 이하일 경우 보온 장치 없이 타설 제한

4.2 급결재 검토

스�크리트의 환경성에 가장 큰 영향을 미치는 배합요소는 급결재로서 투입되는 급결재의 종류에 따라 공사용 배수설비의 사양을 침전조식, 또는 폐수처리식으로 선택해야하는 수처리 시설의 사양이 결정된다. 또한 슛크리트의 장기적

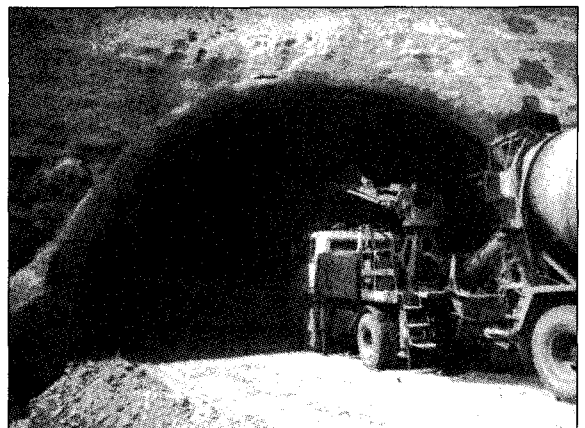


그림2. 슛크리트 펌프카 + 레미콘

내구성에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 급결재의 투입량으로서 시멘트량의 5%미만인 시방기준 준수가 절대적으로 필요하다.

■ 급결재 종류별 특징

구분	알루미늄산계	규산염계
성분	- PH > 12	- PH > 12 - Alkali함량: 10~18%
특징	- 사용량이 초과되면 장기강도와 내구성이 급격히 감소 - 작업원에 유해	- 사용량이 초과되면 장기강도의 현저한 저하 - 공극 및 풍화증가

구분	개선 규산염계	Alkali-free
성분	- PH < 11.5 - Alkali함량: 8.5%이하	- 저 자극 - Alkali함량: 1%이하
특징	- 장기강도 약간 저하 - 작업환경 보통	- 장기강도에 거의 영향이 없고 내구성 증진 - 작업환경 양호

※ 최근 국내터널 현장에서 분말형 시멘트 광물계 급결재를 사용한 시공사례가 보고 되고 있다.

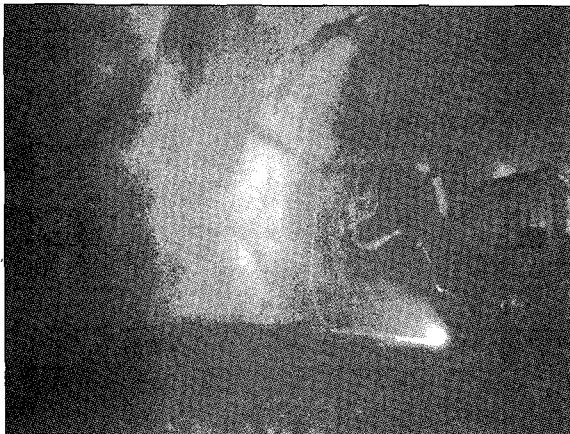
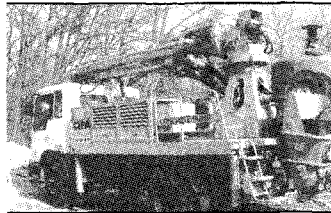


그림3. 막장내 슛크리트 타설

4.3 타설장비 검토

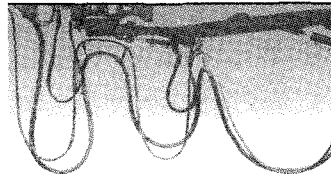
구분	검토내용	비고
토출 장비 선정	도로터널에서는 터널규모가 크므로 기계식 타설장비(로봇)의 사용이 가능하며 습식을 기준으로 사용하되 로터리식 습식장비는 골재와 시멘트의 분리현상 및 강섬유의 뭉침현상등 심각한 품질의 문제가 우려되므로 피스톤식 습식장비를 사용하여야 함.	
토출량 제한	토출량이 크면 시공은 빠르나 급결재의 과다사용으로 장기강도등의 품질이 저하되므로 토출량을 제한시킬 필요가 있다. 슛크리트용 콘크리트 펌프 최대 토출량은 30m ³ /hr로 제한하여야 하며 슛크리트 장비의 호스는 최대 2.5인치를 넘어서는 절대적으로 안되며 또한 노즐의 직경은 50mm정도가 적절한 것으로 사료됨.	
급결재 펌프의 용량 제한	현장에서 시공자가 과다한 용량의 급결재 펌프를 장착하여 시공하는 경향이 있으므로 급결재펌프의 최대 용량을 제한하여야 한다.	



스�크리트 재료투입 및 타설을 한 장비로 사용하므로 단순시공이 가능



노즐까지 강관으로 압송하므로 강섬유사용시 막힘현상 없음



노즐까지 고무호스를 사용하여 압송할 경우 강섬유 사용시 불리함

그림4. 타설장비의 압송파이프 비교

구분	단위	장비 사양		비고
장비명		DM280 (아리바)	PAS307 D/E6	
송출거리	m	200	막장에 장비투입	
송출높이	m	100		
토출량	m ² /h	1단:12 2단:16	30	
노즐직경	mm		63.5-75	
자갈크기	mm	8-16	15-18	
공기압력	BAR	10	65.57	
로터리 회전수	RPM	1단:14 2단:16.5		로타리식 적용
피스톤 압력	kg/m ²		65.57	피스톤식 적용
길이	mm	1650	8450	
넓이	mm	820	2500	
높이	mm	1550	3600	
무게	kg	970	13500	
작동방식		인력타설	장비타설	

5. Rock-Bolt 내구성 확보 방안

5.1 국내 적용기준

- ▶ 국내 록볼트 적용 실적 상 SD35~SD40의 이형 철근 사용
- ▶ 보강 기준: NATM기법에 의한 적정 보강량 산정후 설치
- ▶ 보강 특징: 양질의 암반이어도 일정두께의 슛크리트 로 완전하게 밀봉
- ▶ 내부식성: 완전 슛크리트 밀봉이므로 별도의 내부식 보완 불필요

5.2 외국 적용기준(노르웨이)

- ▶ 사용 강도: SD50 (한 종류만 적용)
- ▶ 보강 기준: NMT기법에 의한 적정 보강

- ▶ 보강 특징: 양질의 암반일 경우 록볼트가 주지보재로 사용되며 슛크리트가 랜덤하게 타설되므로 일부 노출 또는 일부 매몰상태로 시공
- ▶ 내부식성: 일부 노출을 고려하여 록볼트 자체를 열간 에폭시 도금상태로 사용

5.3 내부식 앵커볼트 적용

- ▶ 조립식 라이닝 현장에서의 패널 조립용 앵커볼트는 노출 볼트로서의 내부식성을 갖추어야하므로 선진 외국의 설치 사례를 기준하여 시공
- ▶ 시공 사례상의 노르웨이에서는 노출 볼트로서 일반 록볼트와 동일한 기준 적용중
 - 사용강도: SD50 (한 종류만 적용)
 - 설치기준: 패널내의 설계 위치에 설치
 - 설치특징: 노출볼트
 - 내부식성: 노출을 고려하여 록볼트 자체를 열간 에폭시 도금상태로 사용

6. 결론

본 고에서는 터널에서의 1차 지보재가 터널 장기안정에 매우 중요하다는 것을 강조하고 싶어 길고 긴 글을 썼으나 정말 하고 싶은 말은 몇 자 되지 않는다고 할 수 있다. 이를 정리하면

- ▶ 터널 1차 지보재의 장기적 안정성은 내구성있는 슛크리트와 내부식성 록볼트를 사용하여 확보한다.
- ▶ 내구성있는 슛크리트는 점착성이 좋은 질긴 반죽의 슛크리트를 고압의 펌프로 일정하게 타설해야 하고
- ▶ 질긴 반죽의 슛크리트는 최적의 배합 입도를 갖추어야 가능하며
- ▶ 최적의 배합입도는 실리카흙등의 미세 입자 재료를 첨

가하면 일반 현장에서 도 충분한 내구성을 확보하기가 쉬울 것으로 사료된다.

- ▶ 내부식성 록볼트는 열간 에폭시 도금 한 이형철근을 사용하여 노출과 관계없이 사용할 수 있도록 해야 할 것이다.

이상에서 살펴본 바와 같이 적절한 지반조건과 1차 지보재의 보완이 수반되는 경우 1차 지보재로 터널을 안정화시키고 마감재로써 라이닝을 구축할 수 있으므로 라이닝의 재질에 대한 선택권은 무한히 펼쳐질 수 있을 것으로 판단되며 이는 산악지형의 좁은 국토안에서 원활한 교통체계를 갖추어야만 하는 우리의 현실과 양질의 암반조건을 가지고 있는 자연적 혜택을 최대한 고려하여 다양한 기술개발의 의지를 가지고 접근한다면 국내 터널 발전의 획기적인 방향을 제시할 수 있다고 생각된다.

참고 문헌

1. 도로공사 표준시방서, 건설교통부, 1996.
2. 건설교통부 제정 터널표준시방서, 대한터널협회, 1999.
3. 터널과 지하공간 Vol.10, 한국암반공학회, 2000., pp.544~552, 노르웨이의 암석 굴착기술, 김민규
4. 경춘선 복선전철 본선터널의 PCL 공법 적용 타당성에 관한 연구(제7공구), 대한터널협회, 2001. 9., pp.38~52
5. 대한토목학회 2002년 학술발표회, 대한토목학회, 2002., Single-shell 터널공법의 국내 적용방안, 배규진 외 2인
6. 무라이닝 터널공법의 국내 적용기준, 이인모 외 4인, 2002.
7. 2002년 한국터널공학회 정기학술발표회, 한국터널공학회, 2002., pp.204~216, 무라이닝 공법 국내 적용을 위한 지보재의 안정성, 서영화 외 4인
8. Rock Bolts for permanent support, Ørsta Stålindustri AS, Brochure
9. Prosjektering av betongkonstruksjoner Beregnings- og konstruksjonsregler, Norsk Standard, 1998