

터널내 소화설비구간 라이닝 설계개선방안



허 인
한국도로공사
기술심사처장



김석출
한국도로공사
기술심사처
VE사업부장



김형무
한국도로공사
기술심사처 차장



백경민
한국도로공사
기술심사처 과장



오한빈
용진엔지니어링
터널부 차장

1. 서론

터널내 소화설비는 소화기함과 소화전함으로 분류하며 라이닝 벽체를 Block out 후 매립하여 설치하는 것을 표준으로 하고 있지만, Block out부의 시공은 공간확보를 위해 기설치된 지보재를 제거하는 등 비효율적으로 수행되고 있다. 따라서 현 라이닝 Block out부의 단면구성 및 보강방법의 문제점을 분석하여 설계개선 방안을 도출하고자 하였다.

2. 현 설계 및 문제점

2.1 Block out부 설계 현황

현재 라이닝 콘크리트의 Block out부 설계는 라이닝 콘크리트 단면유지 및 보강철근 반영으로 그림 1~3과 같

은 단면을 일반적으로 적용하고 있으며, 소화설비 시설은 터널 연장 및 위험도지수 기준에 의한 방재등급에 따라 표 1의 규격이 적용된다.

2.2 문제점

라이닝 콘크리트 Block out 부의 설계 및 시공상의 문제점은 다음과 같이 분석되었다. 첫째, 설계 측면에서는 Block out부의 라이닝 두께 축소에 따른 상세 구조검토 없이 단면 확보를 우선으로 설계하고 있으며 보강철근은 지반조건에 관계없이 일률적으로 적용하는 있는 것으로 조사되었다. 둘째는 안전성 측면으로 라이닝 Block out을 위한 지반 추가절취로 지반이완 가능성이 있으며, 지보재 절단 및 보강 철차 등에 대한 상세 시공방법 없이 현장에서 임의 시공하고 있어 안전관리에 취약하다. 마지막으로 시공측면에서는 Block out부의 단면 확보를 위한 추가 절취, 지보재 절단 등으로 시공 절차가 복잡하며 보강

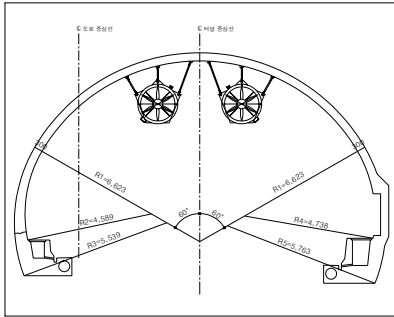


그림 1. 단면도

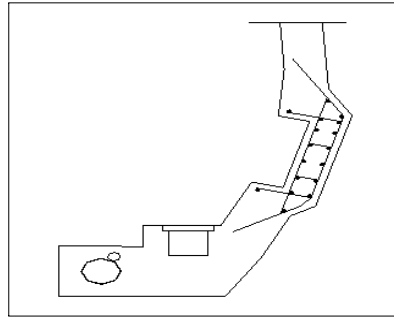


그림 2. 단면상세도

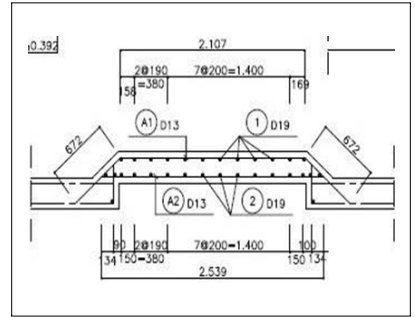


그림 3. 철근배근도

표 1. 설치 규격

(단위 : mm)

구 분	A타입	B타입	C타입	D타입	비 고
소화기함	760W×810H	850W×1,240H	-	-	두께 : 250
소화전함	2,380W×1,530H	2,780W×1,530H	2,880W×1,530H	3,280W×1,530H	두께 : 250

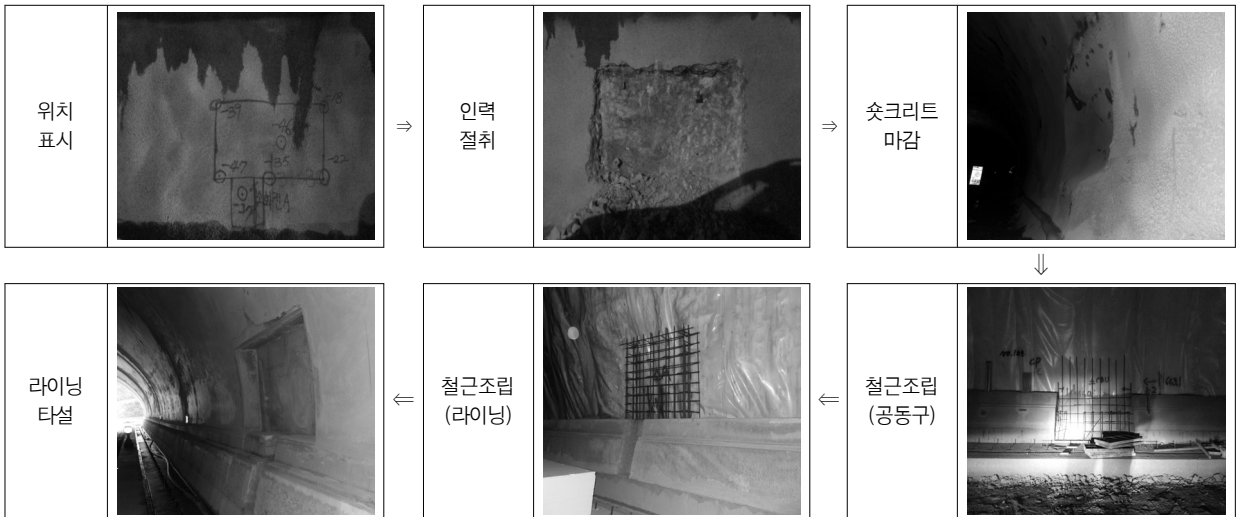


그림 4. Block out 시공순서

철근 시공에 따른 Block out 구간 공동구 인력시공으로 작업성이 떨어지는 것으로 나타났다.

3. Block out부 단면개선 검토

3.1 검토방향

현재 Block out부에 적용중인 라이닝 콘크리트 단면확

보 및 철근보강방법은 시공성 및 경제성 측면에서 불리하므로 3차원 구조해석을 통해 Block out부 배면 라이닝 단면 삭제에 대해 검토를 하였다.

3.2 단면검토

Block out부 배면 라이닝 단면 삭제에 대한 안정여부를 확인하기 위해 3차원 구조해석 프로그램인 ‘MIDAS CIVIL 2009’를 사용하였다. 적용단면은 그림 5와 같은 소화전함 Block out(D-type)이고, 모델링은 그림 6과 같다. 또한 라이닝에 작용하는 하중은 고속도로 터널의 일반하중 조건이며 표 2와 같다.

3.2.1 해석결과

3차원 구조해석 결과 표 3과 같이 Block out부의 라이

닝 콘크리트를 삭제하여도 충분한 안정성이 확보되는 것으로 확인되었다.

3.3 Block out 위치별 검토

시공이음부에서 Block out 위치까지의 이격거리에 따른 라이닝 콘크리트의 안정성을 검토하였으며 검토 조건은 그림 7과 같이 중앙위치, 시공이음부 2m 이격, 시공이음부 1m 이격의 3가지 조건에 대해 구조해석을 수행하였다.

3.3.1 허용응력 검토 결과

시공이음부에서의 이격거리에 따른 허용응력 검토 결과 중앙부 및 시공이음부 2m 이격시 조건에서는 발생응력이 허용응력 이내로 안정성을 만족하였다. 하지만 시공

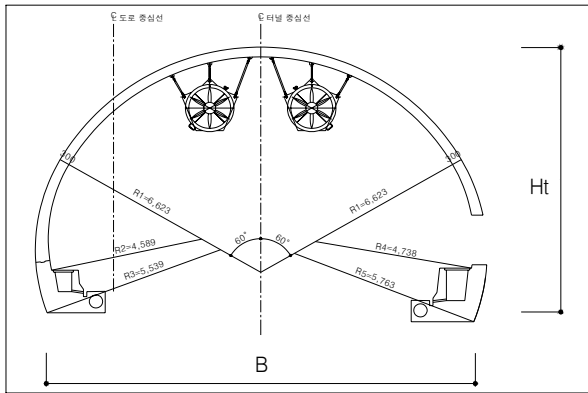


그림 5. 해석단면

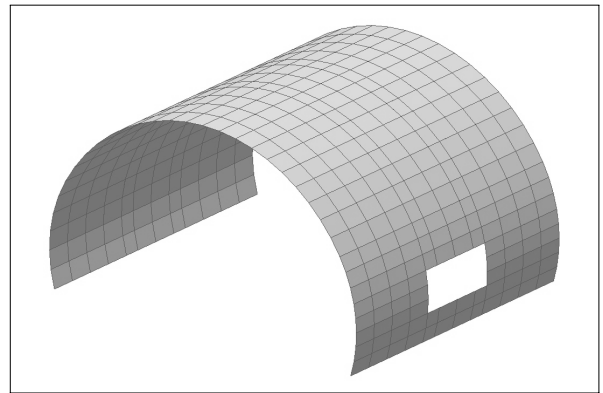


그림 6. 모델링

표 2. 작용하중

구 분	자 중	이완하중고	잔류수압	온도하중	건조수축
무근라이닝 (P-V)	단위중량 23.5kN/m ³	0.2×(B+Ht)	Ht×0.5	-	-
철근라이닝 (P-VI)	단위중량 25.0kN/m ³	0.6×(B+Ht)	Ht×0.5	콘크리트온도차 ±5℃ 계절별온도차 ±20℃	-15℃

※ 이완하중고 : 수정된 Terzaghi의 암반하중 분류표에 의함(B:터널폭, Ht:터널높이)

표 3. 해석결과

구 분		아 치 부	Block out부(측벽부)
해석결과	무근 (P-5)	<ul style="list-style-type: none"> • 압축응력 3.32MPa < 9.6MPa O.K • 인장응력 0.0MPa < 0.64MPa O.K 	<ul style="list-style-type: none"> • 압축응력 7.88MPa < 9.6MPa O.K • 인장응력 0.30MPa < 0.64MPa O.K
	철근 (P-6)	<ul style="list-style-type: none"> • Mu=80.1kN-m < φ Mn=118.3kN-m O.K 	<ul style="list-style-type: none"> • Mu=184.0kN-m < φ Mn=201.3kN-m O.K
결 론		<ul style="list-style-type: none"> • 발생응력이 허용응력 범위 이내로 안정성 만족 ⇒ Block out부 라이닝 콘크리트 및 철근보강 불필요 	

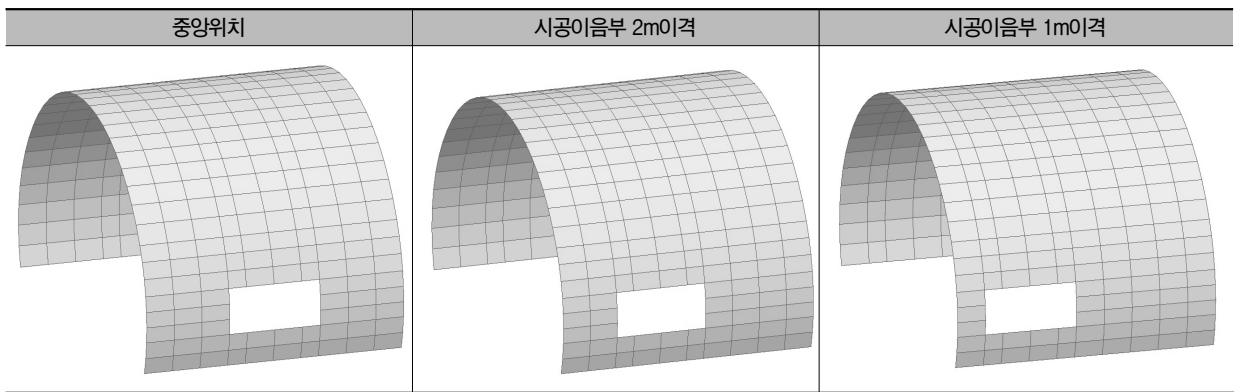


그림 7. 검토조건

표 4. 중앙위치

[단위:MPa]

하중조합	하중조합	압축응력	검 토	인장응력	검 토	전단응력	검 토
아치부	Comb.1	3.317	O.K	-	O.K	0.043	O.K
	Comb.2	3.299	O.K	-	O.K	0.042	O.K
측벽부 (블럭아웃부)	Comb.1	7.879	O.K	-	O.K	0.177	O.K
		5.030	O.K	0.303	O.K	0.287	O.K
	Comb.2	7.874	O.K	-	O.K	0.175	O.K
		5.038	O.K	0.295	O.K	0.287	O.K

이음부 1m 이격시 조건에서는 Block out부 주위에 작용하는 발생응력이 허용응력을 초과하여 안정성을 만족하지 못하므로 시공이음부와 이격거리가 2m이상 미확보된

경우에는 위치조정 및 철근보강 검토가 필요한 것으로 검토되었다.

표 5. 시공이음부 2m이격

[단위:MPa]

하중조합	하중조합	압축응력	검 토	인장응력	검 토	전단응력	검 토
아치부	Comb.1	3.275	O.K	-	O.K	0.159	O.K
	Comb.2	3.241	O.K	-	O.K	0.157	O.K
측벽부 (블럭아웃부)	Comb.1	8.884	O.K	-	O.K	0.297	O.K
		5.205	O.K	0.328	O.K	0.317	O.K
	Comb.2	8.870	O.K	-	O.K	0.296	O.K
		5.213	O.K	0.320	O.K	0.317	O.K

표 6. 시공이음부 1m이격

[단위:MPa]

하중조합	하중조합	압축응력	검 토	인장응력	검 토	전단응력	검 토
아치부	Comb.1	2.363	O.K	0.450	O.K	1.687	N.G
	Comb.2	2.357	O.K	0.416	O.K	1.670	N.G
측벽부 (블럭아웃부)	Comb.1	11.915	N.G	-	O.K	2.181	N.G
		5.587	O.K	0.039	O.K	0.312	O.K
	Comb.2	11.890	N.G	-	O.K	2.164	N.G
		5.604	O.K	0.036	O.K	0.312	O.K

4. Block out 배면부 및 우각부 처리방법

4.1 Block out 배면부 처리 방법

4.1.1 개요

터널 라이닝 Block out부 개선단면(배면부 두께확보→삭제) 적용시 라이닝 단면과 방재 설비시설 합체 두께차이(라이닝 30cm, 합체 25cm)로 인해 배면부 공간이 발생하게 된다. 이는 장래 방수막 처짐 등에 따른 방수기능 저하가 우려되므로 배면부 공간 채움 방안을 검토하였다.

4.1.2 검토내용

Block out 배면부 처리는 충전재 역할의 비구조체로 검토하였으며, 시공방법 및 장·단점을 비교·검토하여 3가지 대안(표 7) 중 시공성이 우수하고, 배면의 밀실한 채움이 가능한 동시타설 +줄눈 설치안(1안)을 채택하였다.

단, 합체 규격확대(25cm→30cm)는 터널내공단면의 불균일, 공사비 상승 및 무게증가에 따른 시공성 저하로 검토에서 제외하였다.

4.1.3 시공이음부 시공방법

위에서 검토된 Block out 배면부 처리방법(라이닝 콘크리트 타설시 배면부 공간 동시타설)으로 시공시에 발생하는 Block out부 배면 콘크리트의 응력전달을 차단하기 위하여 줄눈을 설치하여야 하며, 줄눈 설치방법은 Block out부의 거푸집 상면을 벽면과 접하도록 연장 설치하여 라이닝 콘크리트를 타설하는 것으로 하였다.

4.2 Block out 우각부 처리방법

구조해석결과 Block out부는 별도의 철근보강 없이도 발생응력에 만족하는 것으로 검토되었으나 Block out 단

표 7. Block out 배면부 처리방법 검토

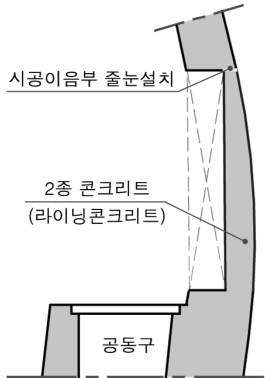
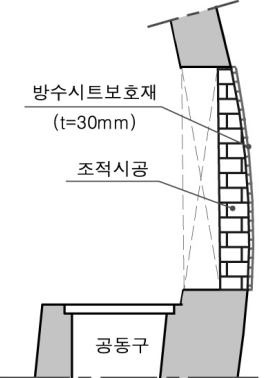
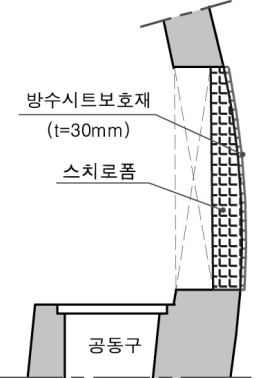
구 분	1안	2안	3안
개 요	동시타설 + 줄눈설치	발포단열제 + 조적시공	발포단열제 + 스티로폼
개 념도			
시공 방법	<ul style="list-style-type: none"> • Block out 거푸집 설치 • 라이닝과 배면 콘크리트의 구조적 분리를 위해 Block out 상면거푸집 확대로 시공이음 실시 • 라이닝 콘크리트 타설시 Block out 배면 공간 동시 채움(비구조체) • 배면 면관리를 위한 몰탈바름 실시 	<ul style="list-style-type: none"> • 방수시트 보호재 설치 • Block out 거푸집을 방수시트 보호재까지 설치 후 콘크리트 타설 • 함체 배면 여유공간은 벽돌쌓기로 채움 • 배면 면관리를 위한 몰탈바름 실시 	<ul style="list-style-type: none"> • 방수시트 보호재 설치 • Block out 거푸집을 방수시트 보호재까지 설치 후 콘크리트 타설 • 함체 배면 여유공간은 스티로폼으로 채움
장단점	<ul style="list-style-type: none"> • 동시타설로 시공편리 • 배면 밀실채움 가능 • 응력전달 방지를 위한 시공이음시 주의필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 응력전달 차단효과 우수 • 공중 추가로 시공성 불리 • 배면공간 밀실채움 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> • 응력전달 차단효과 우수 • 공중 추가로 시공성 불리 • 배면공간 밀실채움 곤란
채 택	○		



그림 8. 시공이음부 시공방법

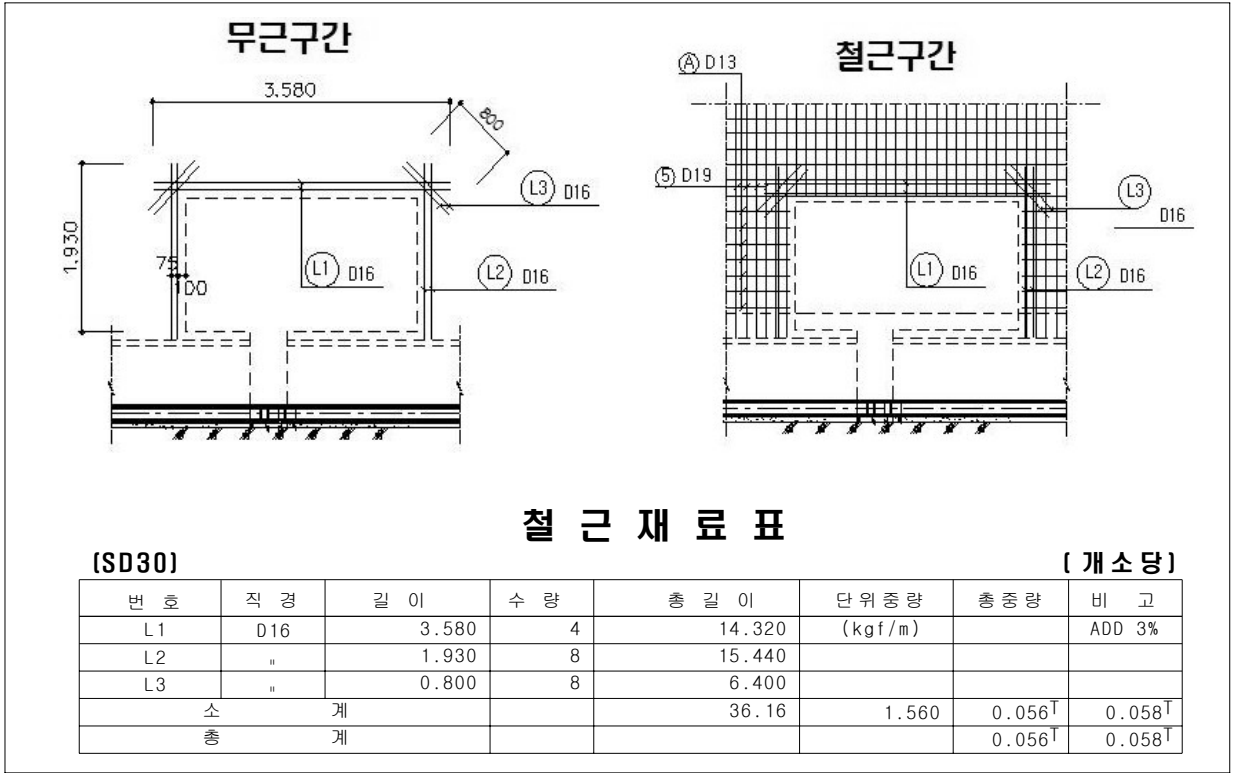


그림 9. Block out 우각부 철근 보강 상세도(소화전함 Type-D 기준)

표 8. Block out부 적용기준

구분	현재	개선
개념	Block out부 라이닝 두께유지(일체화)	Block out부 라이닝 삭제(분리)
단면도		
배면처리	<ul style="list-style-type: none"> 라이닝 두께확보(구조체) Block out배면 전면 철근보강 	<ul style="list-style-type: none"> 배면 공간채움(비구조체) Block out 우각부 철근보강

부의 예측치 못한 균열 발생을 방지하기 위해서 그림 9와 같이 우각부에 보강철근을 배치하였다.

5. 결론

현재 터널 라이닝에 있어 방재 소화설비의 설치공간 확보를 위한 라이닝 Block out 방법, 즉 콘크리트 단면확보 및 철근보강 방법은 기시공된 지보재 제거, 추가굴착 및 지보재 재설치 등으로 안정성, 시공성 및 경제성 측면에서 불리하다. 따라서 라이닝 Block out부는 3차원 구조해석 결과에 의거 콘크리트 단면은 삭제하고, 그 공간은 충

전재(비구조체)로 채우는 것이 타당하다고 판단된다.

본 터널 라이닝 Block out부 설계개선방안은 시공의 효율성이 향상되며, 작업공중 단순화 및 철근조정으로 원가절감 약 17백만원 및 20ton의 CO₂ 감축(터널 일방향 1km 기준)이 기대된다.

다만 본 검토에서는 고속도로 터널의 일반 조건을 적용한 것으로 기반암의 특성에 따라 작용하중 및 변형여건이 검토조건과 상이할 경우 별도의 검토가 필요하며, 물분무 시설 등 라이닝 두께를 초과하는 소화설비시설의 Block out은 현재 방법과 같이 라이닝 단면확보 및 철근보강 방법 적용하도록 하여야 한다.