

상임감사위원

팀 장	처 장	본부장

등록번호	설계처 -
보존기간	2016. . .
결재일자	2016. . .
공개구분	공 개

건 설 처 장 :
환경품질처장 :

국민 안전성 향상 및 시공성·경제성 개선을 위한 콘크리트 라이닝 세부 설계기준(안)

2016. 5.

목 차

- I. 검 토 목 적
- II. 라 이 닝 설 계
- III. 현실태 및 문제점
- IV. 개선방안 검토
- V. 검 토 결 론
- VI. 적 용 방 안 및 기 타

설계계획팀장 :

설계기준부장 :

도로설계팀장 :

ex 한국도로공사

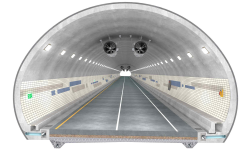
설 계 처

I 검 토 목 적

터널의 미관, 내부시설물 보호 및 구조체로서의 기능을 수행하는 콘크리트 라이닝의 세부기준이 미흡함에 따라 이를 수립하여 고속도로 이용객의 안전성을 향상시키고, 시공성·경제성 향상을 도모하고자 함

✓ 콘크리트 라이닝의 역할 [터널설계기준, 2007]

- ① 내구연한 동안 구조체로서의 역할적 기능
- ② 터널내장재로서 미관유지 기능
- ③ 터널 내부 시설물 보호 및 보존기능
- ④ 점검 및 보수 관리기능



II 라이닝 설계

□ 설계개념

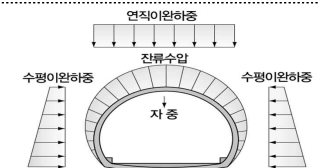
- 장기적으로 지보재(shotcrete, 록볼트 등)의 기능저하에 따른 추가 하중을 부담하도록 설계

※ 일반적으로 NATM 터널은 지보재로 지반을 안정시키고 지반변형이 수렴된 후에 라이닝 콘크리트를 시공하기 때문에 라이닝에는 외력이 작용하지 않아 비역학적 기능을 가지는 경우가 많으나, shotcrete의 열화 등 예상치 못한 외력에 대비하기 위하여 구조검토 시행

□ 작용하중

- 발생이 예상되는 다양한 하중을 조합하여 적용

- ① 이완하중
- ② 잔류수압
- ③ 라이닝 자중
- ④ 온도하중 및 건조수축 하중 등



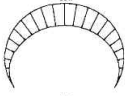
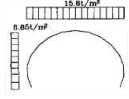
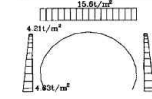
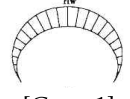
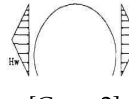
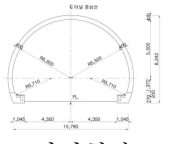
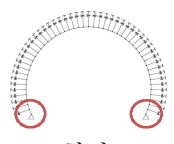
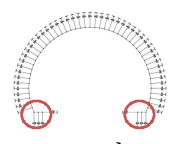
□ 현행 설계법

- 무근콘크리트로 허용응력설계법 수행 후 발생응력이 허용응력을 초과할 경우 강도설계법 적용 후 철근보강

III 현실태 및 문제점

□ 세부기준이 미흡하여 과업별 검토 결과 상이

○ 하중재하형상, 하중조합, 라이닝 단부 경계조건 등 [붙임#1]

구 분	검토조건			비고
이완하중	 [Case 1]	 [Case 2]	 [Case 3]	
잔류수압	 [Case 1]	 [Case 2]		
설계방법	철근보강시 강도설계법으로 재검토 필요 [허용응력설계법]		무근·철근 모두 적용 가능 [강도설계법]	
단부 경계조건	 단면형상	 [한지]	 [스프링]	
지반반력계수	$K_s = \frac{E_s}{R} \times L \text{ (Wölfer식)}$ [Case 1]	$K_s = \frac{E_s}{(1+\nu)R} \times L \text{ (AFTES식)}$ [Case 2]		

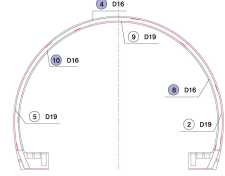
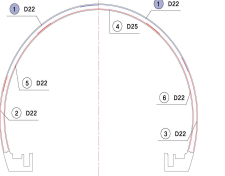
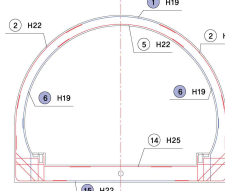
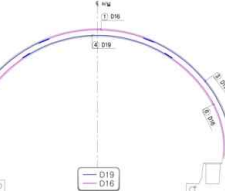
※ 이완하중고의 경우 국내외에서 최적화를 위한 다양한 연구가 진행되고 있음

○ 동일한 하중조건에서도 검토방법에 따라 결과 상이


구 분	차로	암반등급	이완하중	보강	비고
OO-OO고속도로 4공구	2	V	0.2(B+H _t)	무근	담양
OO-OO고속도로 11공구	2	V	0.2(B+H _t)	철근	성산
●●-●●고속도로 1공구	2	V	0.2(B+H _t)	무근	부산
●●-●●고속도로 4공구	2	V	0.2(B+H _t)	무근	부산
△△-△△고속도로 5공구	2	V	0.2(B+H _t)	철근	춘천
△△-△△고속도로 15공구	2	V	0.2(B+H _t)	무근	양양
▲▲-▲▲고속도로 3공구	2	V	0.2(B+H _t)	무근	울산
▲▲-▲▲고속도로 4공구	2	V	0.2(B+H _t)	무근	포항

□ 라이닝 보강시 시공성, 경제성 향상 필요

- 암질이 불량하여 철근으로 보강한 구간의 경우 구조검토 결과와 관계없이 동일한 규격으로 복철근 배근
- 최근 국내 지하철, 철도 등 다양한 터널에서 구조계산 결과를 바탕으로 인장/압축 철근 구분 사례

호남 고속철도 1-2공구	경부 고속철도 13-3공구
	
원주~강릉 철도 11-1공구(개착터널)	울산~포항 고속도로 6,7공구
	

- 전단철근의 경우 구조검토 결과와 관계없이 동일한 형상(스터럽)으로 배근되어 시공성 불리

시공현황	문제점
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 실질적으로 간격유지(조립용 철근)만 필요하나 폐합형배근(스터럽) 반영으로 비경제적 ▪ 철근배근 복잡으로 시공성 저하 및 품질관리 어려움

가외철근

- 스테럽 : 보의 주철근을 둘러싸고 이에 직각되게 또는 경사지게 배치한 복부보강근으로서 전단력 및 비틀림모멘트에 저항하도록 배치한 보강철근
- 조립용 철근 : 철근을 조립할 때 철근의 위치를 확보하기 위하여 사용하는 보조철근

IV 개선방안 검토

□ 콘크리트 라이닝 세부 설계기준 정립

개념도	모델링	설계법
		<div>④ 허용응력설계법(무근)</div> <div>④ 라이닝 단면력 산정</div> <div>④ 발생 응력 산정</div> <div>④ 발생응력과 허용응력 비교</div> <div>④ (만족시) 검토종료</div> <div>강도설계법(철근)</div> <div>④ (불만족시) 라이닝 단면력 재산정</div> <div>④ 부족한 단면력만큼 철근보강 실시</div>
① 하중재하방향	② 지반반력계수	③ 단부경계조건 ④ 설계절차

① 하중재하방향

- (이완하중) 발파 및 굴착에 따른 지반의 이완으로 발생하므로 중력 방향으로 작용하는 것이 타당
 - (잔류수압) 배수터널 특성을 감안하고 부재에 직각방향으로 작용하는 것이 타당
- ⇒ 이완하중 및 잔류수압 형상은 산지부 암반터널(배수터널)에 한하여 적용하며, 이외의 경우에는 별도 검토 필요

구 분	이완하중 (중력방향)	잔류수압 (부재 직각방향)
형 상		

② 지반반력계수

- 지반공학적 특성을 반영한 AFTES식 적용
- ⇒ 당초대비 보수적이거나, 안전성 향상을 위해 적정식 반영

구 분	당 초 (Wölfer식)	개 선 (AFTES, 미공병단이론식)
특 징	지반공학적 특성을 반영하지 않고, 출차가 불명확	지반공학적 특성을 반영하고, 출차가 명확
이론식	$K_s = \frac{E_s}{R} \times L$ <p>여기서, Ks : 단위점선 길이당 스프링 계수 Es : 주변지반의 탄성계수 R : Lining의 등가반경 ($R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$) L : 부재 중앙과 종양 사이의 길이</p>	$K_s = \frac{E_s}{(1+\nu)R} \times L$ <p>여기서, Ks : 단위점선 길이당 스프링 계수 Es : 주변지반의 탄성계수 R : Lining의 등가반경 ($R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$) L : 부재 중앙과 종양 사이의 길이 ν : 포아송비</p>

③ 단부 경계조건

- 단부도 아치부와 동일한 암반임을 감안하여 스프링으로 처리
- ⇒ 당초 조건이 실거동 대비 과소평가되므로, 안전성 향상을 위해 개선

구 분	당 초 (현지)	개 선 (스프링)
특징, 개념도 (예시)	<ul style="list-style-type: none"> 하부지반 침하 미고려 실제 거동 대비 과소평가 연직방향으로 적용 	<ul style="list-style-type: none"> 하부지반 침하 반영 실제 거동대비 보수적 평가 라이닝 축선에 따라 적용

경계조건별 검토예 [붙임#2]

구 분		지점조건 : 현지	지점조건 : 스프링	증감	비 고
모멘트 (kN-m)	아치부	28.990	31.764	2.774	9.57%
	어깨부	-25.935	-24.793	1.142	4.40%
	측벽부	-71.218	-35.569	-35.649	-50.06%
축 력 (kN)	아치부	515.532	513.028	-2.504	-0.49%
	어깨부	558.302	555.879	-2.423	-0.43%
	측벽부	616.134	610.768	-5.366	-0.87%
전단력 (kN-m)	아치부	45.003	45.736	0.733	1.63%
	어깨부	39.183	37.402	-1.781	-4.55%
	측벽부	73.093	35.866	-37.227	-50.93%

④ 설계절차

- 해석이 간편하고 하중조합에 대한 근거가 명확한 강도설계법 적용
- ⇒ 향후 한계상태설계법 정착 후 전환

구 분	내 용
당 초	<p>허용응력설계법</p> <p>발생응력산정 (프로그램 모델링) → 허용응력 산정 → 발생응력 < 허용응력? → Yes → 무근 콘크리트</p> <p>No → 극한강도 산정 (프로그램 모델링) → 설계강도 산정 (철근보강량 검토) → 극한강도 < 설계강도? → No → 보강완료</p> <p>Yes → 설계강도 산정 (철근보강량 검토) → 극한강도 < 설계강도? → No → 보강완료</p> <p>강도설계법</p>
개 선	<p>무근콘크리트의 경우에도 강도설계법 적용</p> <p>하중조합이 명확하고, 추가해석 불필요</p> <p>극한강도 산정 (프로그램 모델링) → 설계강도 산정 (무보강) → 극한강도 < 설계강도? → Yes → 무근 콘크리트</p> <p>No → 설계강도 산정 (철근보강량 검토) → 극한강도 < 설계강도? → No → 보강완료</p>

□ 합리적 보강방안 검토

○ 인장측, 압축측 철근 구분을 통한 철근배치 최적화 [붙임#3]

- (철근규격) 모든 하중조합 중 부재에 발생하는 최대값을 반영
- (보강범위) 모든 하중조합 중 가장 넓은 영역에 겹이음길이를 더하여 선정
- (적용대상) 압질이 균등하고 이상 하중이 예상되지 않는 일반구간에 한하여 반영(파쇄대, 편토압 발생구간 등 제외)

☞ 시공시 현장기술자가 최종 판단하여 정산(설계시 일정물량 반영)

당 초	개 선

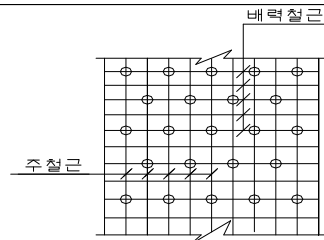
○ 시공성 향상을 위한 전단철근 개선

- (현행) 전단보강 필요유무와 관계없이 스테럽 형태로 철근 배치
- (개선) 전단보강 불필요 구간 철근 형상 변경 (조립용 철근)

구 분	당 초(스테럽)	개 선(조립용 철근)
철근 형상		

※ 개선행상(조립철근) 배근방법

철근의 이동 방지를 위해
지그재그로 배근



IV 검토 결론

□ 안전성 향상을 위한 라이닝 콘크리트 세부 설계기준 정립

구 분	당 초	개 선
하중 재하 방향	 검토행상 상이	 이완하중 (중력방향) 잔류수압 (부재에 직각방향)
지반 반력 계수	$K_s = \frac{E_s}{R} \times L$ 여기서, K_s : 단위접선 길이당 스프링 계수 E_s : 주변지반의 탄성계수 R : Lining의 등가반경 ($R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$) L : 부재 중앙과 중앙 사이의 길이 Wölfer식	$K_s = \frac{E_s}{(1+\nu)R} \times L$ 여기서, K_s : 단위접선 길이당 스프링 계수 E_s : 주변지반의 탄성계수 R : Lining의 등가반경 ($R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$) L : 부재 중앙과 중앙 사이의 길이 ν : 포아송비 AFTES(미공병단이론식)
단부 경계 조건	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 하부지반 침하 미고려 ▪ 실제 거동 대비 과소평가 ▪ 연직방향으로 적용 한지	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 하부지반 침하 반영 ▪ 실제 거동대비 보수적 평가 ▪ 라이닝 축선에 따라 적용 스프링
설계 절차	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 허용응력설계법으로 우선검토 후 철근보강 필요시 강도설계법 적용 → 하중조합이 명확하지 않고, 철근보강시 추가해석(강도설계법) 필요 <pre> graph TD A[발생응력산정 (프로그램 모델링)] --> B[허용응력 산정] B --> C[발생응력 < 허용응력] C -- Yes --> D[무근 콘크리트] C -- No --> E[극한강도 산정 (프로그램 모델링)] E --> F[설계강도 산정 (철근보강량 검토)] F --> G[극한강도 < 설계강도] G --> H[보강완료] G -- No --> I[무근 콘크리트] </pre>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 무근콘크리트의 경우에도 강도설계법 적용 - 하중조합이 명확하고, 추가해석 불필요 <pre> graph TD A[극한강도 산정 (프로그램 모델링)] --> B[설계강도 산정 (철근보강량 검토)] B --> C[극한강도 < 설계강도] C --> D[보강완료] C -- No --> E[무근 콘크리트] </pre>

※ 이완하중 및 잔류수압 형상은 산지부 암반타널(배수터널)에 한하여 적용하며, 이외의 경우에는 별도 검토 필요

□ 합리적 보강방안 검토

- 인장측, 압축측 철근 구분을 통한 철근배치 최적화
 - 압질이 균등하고 이상 하중이 예상되지 않는 일반구간에 한하여 반영 (파쇄대, 편토압 발생구간 등 제외)
 - ☞ 시공시 현장기술자가 최종 판단하여 정산(설계시 일정물량 반영)

당 초	변 경

- 시공성 향상을 위한 전단철근 개선

구 분	당 초(스터럽)	개 선(조립용 철근)
철근 형상		

[붙임#1]

과업별 세부 적용 현황

□ 항목별 검토조건

구 분	검토조건			비고
이완하중				
잔류수압				
설계방법	무근 : 허용응력설계법 철근 : 강도설계법 ①	무근 : 강도설계법 철근 : 강도설계법 ②		
단부 경계조건				
지반반력계수	$K_s = \frac{E_s}{R} \times L$ (Wölfer식) ①	$K_s = \frac{E_s}{(1+\nu)R} \times L$ (AFIES식) ②		

□ 과업별 적용 현황

구 분	이완하중	잔류수압	설계방법	단부조건	지반반력계수	비고
상주영덕 0공구	②	①	①	①	①	고속 도로
충주제천 0공구	①	①	①	①	①	고속 도로
부산외곽 0공구	①	①	①	①	①	고속 도로
춘천양양 0공구	①	①	①	①	①	고속 도로
울산포항 0공구	①	①	①	①	②	고속 도로

V 적용방안 및 기대효과

□ 적용방안

- 설계중인 노선 : 본 기준 적용
- 시공중인 노선 : 공사 주관(시행)부서에서 판단 후 적용

□ 기대효과

- 세부기준 정립을 통해 더욱 안전한 고속도로 서비스 제공
- 합리적 보강방안 수립으로 경제성 및 시공성 향상
 - * 설계중인 노선 적용시(미착공 포함) : 약 84억원 절감 [붙임#4]

구 분	이완하중	잔류수압	설계방법	단부조건	지반반력계수	비고
부산외곽 0공구	㉔	①	①	①	①	고속 도로
춘천양양 0공구	㉔	①	①	①	①	고속 도로
함양울산 0공구	①	①	①	①	①	고속 도로
함양울산 0공구	①	①	①	①	①	고속 도로
함양창녕 0공구	①	①	①	①	①	고속 도로
포항영덕 0공구	①	①	①	①	①	고속 도로
과주포천 0공구	①	①	①	①	①	고속 도로
보령태안 0공구	①	①	①	①	①	국도
거제마산 0공구	㉔	①	①	①	①	국도
신림봉천 0공구	㉔	①	①	①	①	강남 순환
수서평택 0공구	①	①	①	㉔	㉔	고속 철도
원주제천 0공구	①	①	①	①	①	철도
원주강릉 0공구	①	①	①	㉔	㉔	철도
동해선 보완0공구	①	①	㉔	①	㉔	철도

[붙임#2]

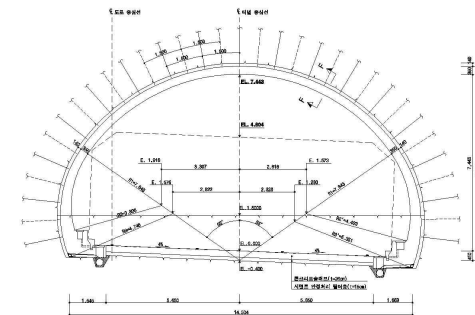
경계조건별 검토 결과

□ 검토조건

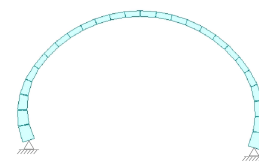
- 지보패턴 D-1 [암반등급(V)] - 무보강

$f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ $f_y = 400.0 \text{ MPa}$
 단면의 두께 $H = 350.00 \text{ mm}$ (아치부), $H = 350 \text{ mm}$ (어깨부),
 $H = 545.00 \text{ mm}$ (어깨부) ※어굴량을 반영하여 보수적 결과 유도
 단 면 폭 $B = 1000.00 \text{ mm}$

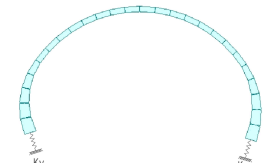
< 검토단면 형상 >



당초(힌지+Wölfer)



변경(스프링+AFTES)



- 경계조건 및 지반 스프링계수 산정

○ 힌지 (Wölfer공식)

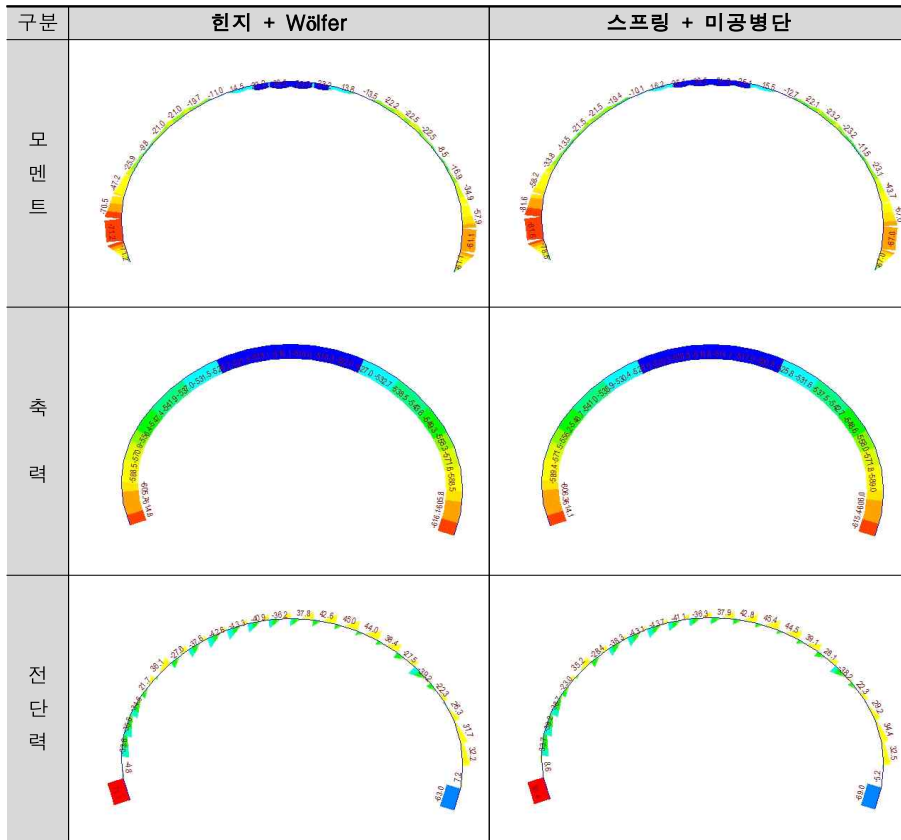
구 분	E_s (MPa)	R (m)	포아송비(ν)	$K_s(\text{kN/m}^3)$	$K_v(\text{kN/m}^3)$
암반등급(V)	800	5.75	0.30	139,044	-

○ 스프링 (AFTES)

구 분	E_s (MPa)	R (m)	포아송비(ν)	$K_s(\text{kN/m}^3)$	$K_v(\text{kN/m}^3)$
암반등급(V)	800	5.75	0.30	106,957	좌측 : 513,009,466 우측 : 491,066,954

□ 검토결과

- 조건별 검토결과



구분		한지 + Wölfer	스프링(Kv) + 미공병단
모멘트 (kN · m)	아치부	28.990	31.764
	어깨부	-25.935	-24.793
	측벽부	-71.218	-35.569
축력 (kN)	아치부	515.532	513.028
	어깨부	558.302	555.879
	측벽부	616.134	610.768
전단력 (kN · m)	아치부	45.003	45.736
	어깨부	39.183	37.402
	측벽부	73.093	35.866

[붙임#3]

철근 최적배치 검토 예

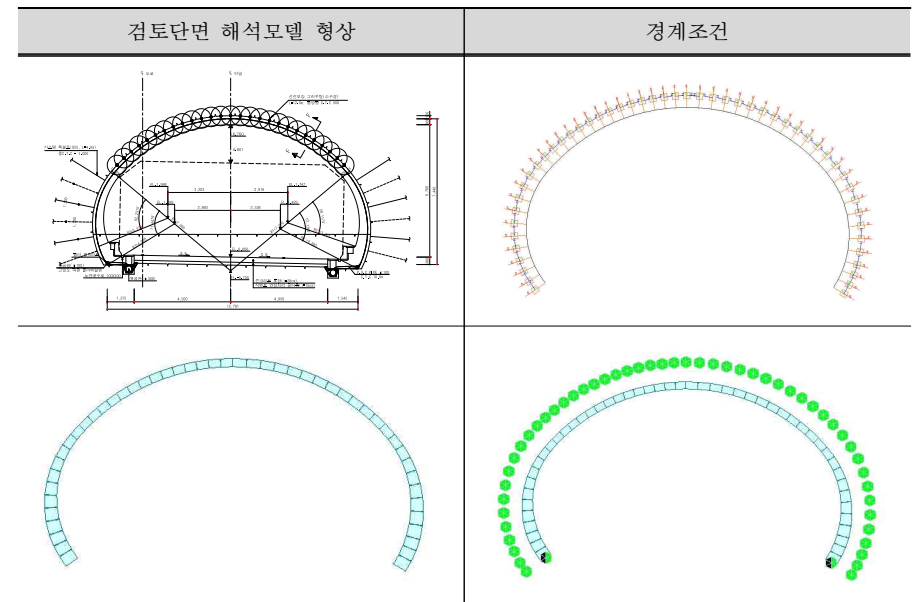
□ 검토조건

- 지보패턴 P-6 [암반등급(V)] - 철근보강

$f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ $f_y = 400.0 \text{ MPa}$
 단면의 두께 $H = 300.00 \text{ mm}$ (아치부), $H = 300 \sim 416 \text{ mm}$ (어깨부),
 $H = 416 \sim 517.00 \text{ mm}$ (어깨부)
 단면 폭 $B = 1000.00 \text{ mm}$
 유효 깊이 $D = 240.00 \text{ mm}$ 피복 두께 $D_c = 60.00 \text{ mm}$

- 경계조건 및 지반 스프링계수 산정

구분	Es (MPa)	R (m)	K단위길이(kN/m)	비고
암반등급(V)	700	5.259	133,105	지보패턴 P-5



- 하중조합

구 분	자 중	이완 하중	잔류 수압	온도하중		내외면온도차		건조수축	비 고
				+15℃	-15℃	+5℃	-5℃	-15℃	
극한 1	1.4								단 면 검 토
극한 2	1.2	1.6	1.6	1.2		1.2			
극한 3	1.2	1.6	1.6		1.2		1.2	1.2	
극한 4	1.2	1.2	1.2						
사용 5	1.0	1.0	1.0						사용성 검 토
사용 6	1.0	1.0	1.0	1.0		1.0			
사용 7	1.0	1.0	1.0		1.0		1.0	1.0	

□ 검토 결과

- 단면력 산정

구 분		모멘트 (kN · m)	축력 (kN)	전단력 (kN · m)	사용하중 모멘트 (kN · m)
아치부	Mmax	180.89	3043.24	193.13	158.40
	Pmax	40.20	3160.41		
어깨부	Mmax	249.45	3163.11	170.95	159.08
	Pmax	238.74	3237.23		
측벽부	Mmax	340.50	3206.99	525.61	216.04
	Pmax	317.23	3290.66		

- 단면 검토

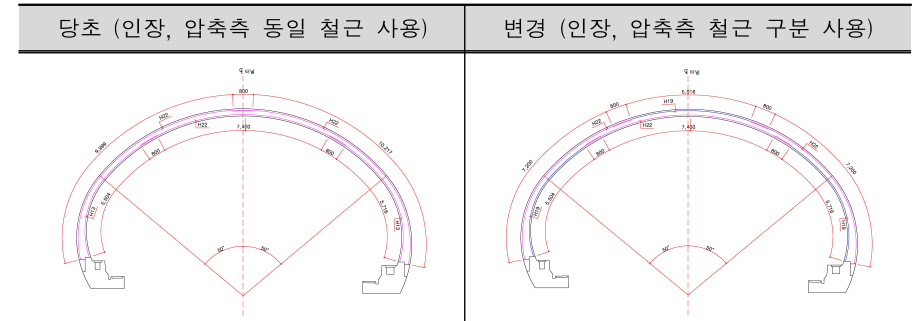
1) 당초 (인장, 압축측 동일 철근 사용)

구 분		Pu	ΦPn	Mu	ΦMn	사용 철근
아치부	Mmax	3043.24	3707.07	180.89	220.34	H22@125 (인장측) H22@125 (압축측)
	Pmax	3160.41	4794.55	40.20	132.58	
어깨부	Mmax	3163.11	5008.36	249.45	394.97	H22@125 (인장측) H22@125 (압축측)
	Pmax	3237.23	5156.88	238.74	380.31	
측벽부	Mmax	3206.99	5811.37	340.50	617.01	H22@125 (인장측) H22@125 (압축측)
	Pmax	3290.66	6077.42	317.23	585.88	

2) 변경 (인장, 압축측 철근 구분 사용)

구 분		Pu	ΦPn	Mu	ΦMn	사용 철근
아치부	Mmax	3043.24	3553.97	180.89	211.24	H22@125 (인장측) H19@125 (압축측)
	Pmax	3160.41	4386.10	40.20	114.33	
어깨부	Mmax	3163.11	4845.83	249.45	382.15	H22@125 (인장측) H19@125 (압축측)
	Pmax	3237.23	4991.92	238.74	368.14	
측벽부	Mmax	3206.99	5648.56	340.50	599.73	H22@125 (인장측) H19@125 (압축측)
	Pmax	3290.66	5911.22	317.23	569.67	

- 배근도



- 철근량 비교 (1M당)

구분	당초 (인장, 압축측 동일 철근 사용)		변경 (인장, 압축측 철근 구분 사용)		증 · 감	비고
	직경	총길이(mm)	총길이(mm)	총중량(ton)		
H22		349,088	200,000	0.608	0.453 ton(감)	주철근
H19		-	155,488	0.350	0.350 ton(증)	주철근
H13		300,214	300,214	0.298	-	배력근
총계				1.256	0.103 ton(감)	7.58% 감소

※ 단위 중량 : H22=3.040kg/m, H19=2.250kg/m, H13=0.298kg/m

[붙임#4]

공사비 절감금액 산출근거

□ 기초자료

o km당 절감액(현장 적용사례)

구 분	터널명	연장	절감액	절감액(억원/km)	비고
내 용	양북1터널 (양남터널)	7.5km	6.9억원 ※ 설계심의시 제시값 [기술심사처-448호, 2014.03.04]	0.9억	울산 포항

o 설계중(미발주 포함)인 터널

구 분	노 선	터널명	연장(km)	비고
계			93.2km	
설계중	소 계		42.1	
	새만금~전주	원당터널 등 6개소	10.6	
	광주~강진	봉황1터널 등 12개소	19.9	
	서울~세종 (안성~구리)	치재터널 등 14개소	11.6	
	소 계		51.1	
미발주	함양~밀양	지곡터널 등 37개소	51.1	

□ 노선적용시 절감액

o 절감액 산출

- km당 절감액 x 터널연장

$$= 0.9\text{억원/km} \times 93.2\text{km} = 83.9\text{억원}$$