

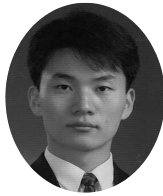
고속도로 양방향 4차로 대단면 터널 적용에 대한 연구



박권제
한국도로공사
설계처장



정국영
한국도로공사
설계처 부장



김태건
한국도로공사
설계처 차장



김지훈
한국도로공사
설계처 과장



김용식
(주)서영엔지니어링
부사장



최영진
(주)서영엔지니어링
전무이사

1. 개요

도시지역 주변에 계획되는 고속도로의 경우 불가피하게 터널이 계획될 수 밖에 없으며, 이에따른 선형분리시 편입용지 및 지장물이 과다하게 발생하는 것을 피하기 어려운 실정이다. 이를 최소화하기 위해 비분리 선형을 계획하게 되며 이때 터널은 일반적으로 2-Arch 터널로 설계 및 시공하고 있으나, 2-Arch 터널은 병설터널에 비해 경제성, 시공성이 불량하며 특히 유지관리시 중앙벽체부분의 누수 및 결빙 등의 문제점이 지속적으로 발생되고 있다.

국내 터널 설계 및 시공기술의 발전에 따라 서울외곽순환 고속도로의 사패산, 청계, 수리 터널 및 영동고속도로 신갈-호법 구간의 양지터널 등 일방향 4차로 대단면 터널이 시공·운용되고 있는 상황으로 비분리 선형을 위한 양방향 4차로 대단면 터널 형식의 적용 검토가 필요한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 고속도로 선형계획시 편입 용지 및 지장물이 최소화 될 수 있도록 양방향 4차로 대단면 터널 적용을 위해 국내 대단면 터널 설계·시공 사례조사 및 검토를 통하여 고속도로 양방향 4차로 대단면 터널 단면계획, 지보패턴, 굴착방법 및 환기·방재 등에 대하여 검토하였다.

2. 대단면 터널 단면계획 검토

고속도로 양방향 4차로 대단면 터널의 단면계획에 있어서 차도 및 길어깨 폭원, 시설한계 등이 검토되어야 한다. 현재 고속도로 일방향 4차로 터널의 경우 터널폭원 약 20m, 좌우측 길어깨 1.0m를 적용하고 있으며, 본 검토에서는 비분리 선형계획에 따른 양방향 4차로 고속도로 터널 단면계획에 대한 검토를 수행하였다.

2.1 대단면 터널 표준단면 사례조사

고속도로 및 국도에 적용된 표준단면은 그림 1과 같으며, 사례조사 결과는 표 1과 같다.

굴착단면적은 163~171m², 굴착폭원은 약 20m 내외로 이루어져 있다. 편평율(최대높이/최대폭 비율)의 경우 0.47~0.54의 범위로 조사되었다.

2.2 터널내 도로 폭원구성

양방향 4차로 터널내 도로 폭원구성은 주행의 연속성 및 안전성 확보를 위하여 차도 및 중앙분리대 폭원은 토공부와 동일하게 적용하였고, 우측 길어깨는 현재(1996년 이후) 편도 2차로 터널과 동일한 2.5m로 계획하였으며, 검토결과는 표 2와 같다.

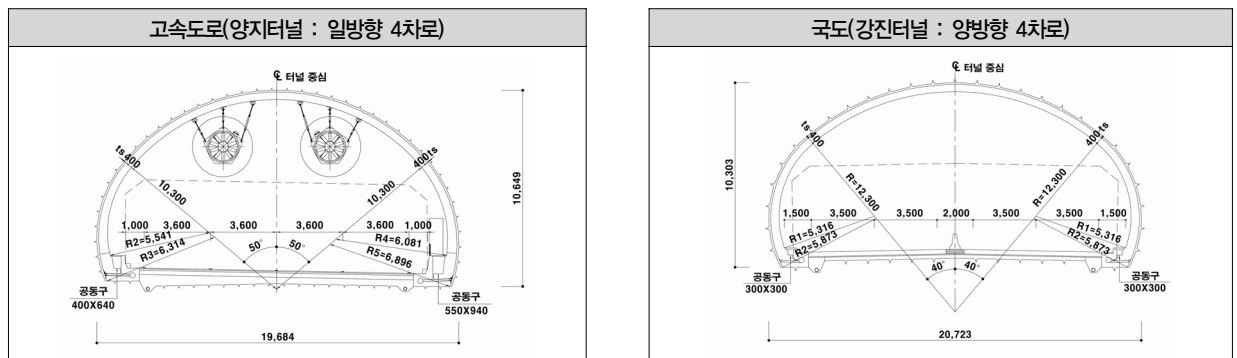


그림 1. 국내 대단면 터널 표준단면 사례

표 1. 고속도로 및 국도 대단면 터널 단면 현황

구분	터널명	노선	연장(m)	굴착폭원(m)	굴착면적(m ²)	편평률	차로수	비고
고속도로	청계	서울외곽선	450	19.68	167.2	0.53	편도4차로	이용중
	수리	서울외곽선	1,882	19.69	163.9	0.51	편도4차로	
	사패산	서울외곽선	3,993	19.69	166.1	0.52	편도4차로	
	양지	신갈~호법	730	19.68	171.6	0.54	편도4차로	
국도 및 기타	모악	구이~전주	325	20.95	170.3	0.47	왕복4차로	공사중
	강진	순창~운암	270	20.72	172.0	0.50	왕복4차로	
	청령포	영월~정양	473	20.32	172.6	0.52	왕복4차로	공사중
	신림1, 2	강남순환	2,194	20.03	165.8	0.50	편도4차로	

표 2. 고속도로 터널 폭원구성

구분	전체	길어깨	차도(2차로)	중앙분리대	차도(2차로)	길어깨
폭원	22.4m	2.5m	7.2m(3.6m×2)	3.0m	7.2m(3.6m×2)	2.5m

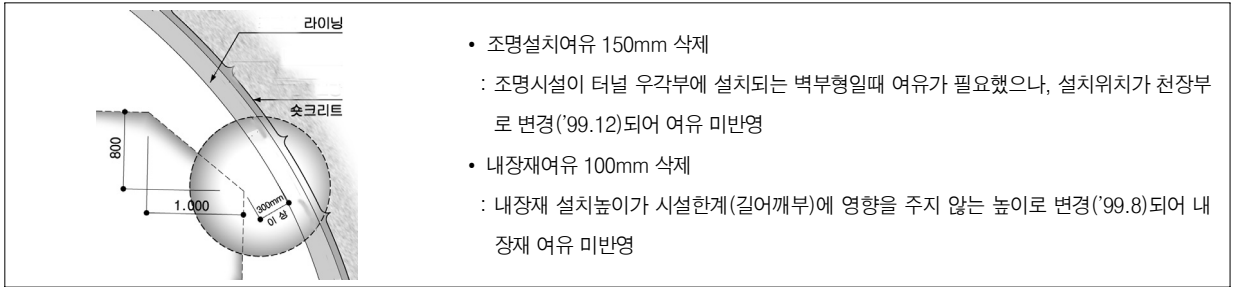


그림 2. 시설한계 여유폭 개선 사항

구분	기존안	개선안
단면도		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 종배수관(스파이럴썸덕트관) 설치 • 유공관 포장 하부 위치 • 터널 배면수와 바닥부 지하수 분리배수 	<ul style="list-style-type: none"> • 종배수관(스파이럴썸덕트관) 삭제 • 유공관 배수콘크리트 하부 위치 • 측방배수관을 하부에서 유공관 직접연결

그림 3. 터널내 배수체계 개선 방안

2.3 시설한계 여유폭

고속도로 터널내 시설한계의 경우 「터널 단면 최적화 방안 검토(한국도로공사, 2012)」에 따라 그림 2와 같이 터널내 시설한계 여유폭을 기존 300mm에서 50mm로 변경 적용하였다.

2.4 기타 사항

양방향 4차로 대단면 터널 표준단면 계획시 추가적으로 검토가 필요한 사항으로는 배수계획, 공동구 규격, 터널 바닥부 굴착지반 구배결정 등이 있으며, 고속도로 터

널 사례조사 및 한국도로공사 방침사항 등을 검토하여 단면 계획 시 반영하였다.

우선 고속도로 터널내 배수계획의 경우 배수체계를 단순화하여 시공성 및 유지관리 효율성을 향상하기 위해 그림 3의 「터널내 배수체계 개선방안(한국도로공사, 2011)」을 양방향 4차로 대단면 터널 단면계획에 반영하였다.

두번째로 연장 500m 미만 터널 공동구 규격의 경우 표 3의 사례조사결과와 같이 W300×H300 적용시 충분한 것으로 검토되었다. 그러나 터널 방재등급 검토를 통해 소화배관 설치가 필요하다고 판단될 경우 추가적인 공동구 공간확보가 필요하므로 이에 대한 검토가 필요하다.

마지막으로 터널 바닥부 굴착지반 경사의 경우 일반적

표 3. 양방향 4차로 터널 공동구 규격 현황

터널명	터널연장	공동구 규격	노선명	비고
매봉터널	305m	300×300mm	충남도계~관수 도로공사	양방향 4차로
청령포터널	473m	300×300mm	영월~정양간 도로공사	양방향 4차로
모악터널	325m	300×300mm	구이~전주간 도로공사	양방향 4차로
강진터널	270m	300×300mm	순창~운암간 도로공사	양방향 4차로

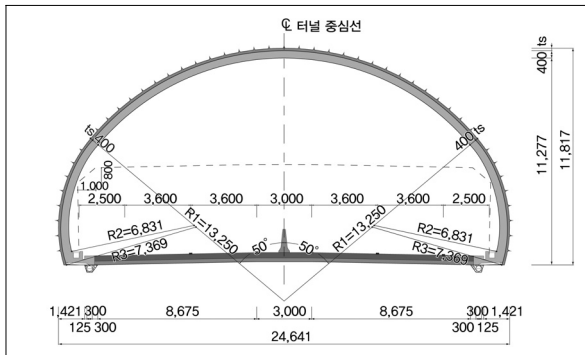


그림 4. 양방향 4차로 터널 표준단면도(안)

인 2차로 터널의 경우 터널 굴착지반을 포장면 구배와 평행하게 계획하나, 3차로 이상 또는 용수가 많은 터널의 경우 양쪽 경사의 터널 굴착 구배를 적용하도록 되어있다. 따라서 양방향 4차로 터널에서는 중앙분리대를 중심으로 굴착구배를 양쪽으로 계획 하였으며, 상기 검토내용을 바탕으로 고속도로 양방향 4차로 대단면 터널 표준단면(안)을 계획하였다.

3. 지보패턴 계획 및 콘크리트 라이닝 검토

지보패턴 계획의 경우 기존 4차로 대단면 터널 적용 지보패턴 설계사례 분석 및 RMR, Q-system이론식에 의한 지보량 범위 산정 등을 종합하여 양방향 4차로 대단면 터널 표준지보패턴(안)을 계획하였다. 설계 및 시공시 지반 특성을 확인하여 현장여건에 따라 적정성 확인 및 검토가

필요하다.

또한 대단면 터널은 굴착고가 높아 한 단면내에 여러지반이 복합적으로 출현할 가능성이 크므로 암선이 확인되는 구간에 대해 복합지층을 고려한 지반분류와 이에 상응하는 지보패턴 계획이 필요하다.

3.1 지보패턴 사례조사

국내 4차로 고속도로 및 국도 터널의 적용 지보패턴을 조사하였으며 그 내용은 표 4와 같다.

지보패턴 사례조사결과 슛크리트는 대부분 강섬유 보강 슛크리트를 적용하였으며, 록볼트의 경우 일반적으로 L=5.0m를 적용하였다. 강지보재의 경우 대단면 터널의 특성을 감안하여 강성이 큰H-형강을 주로 적용하여 터널 안정성을 확보한 것으로 검토되었다.

3.2 지보량 검토

양방향 4차로 터널의 경우 대단면 터널로 사례조사 및 RMR, Q-system이론식에 의한 지보량 범위를 산정하였으나, 터널폭 약 24.6m로 기존 대단면 터널에 비해 상대적으로 폭이 매우 넓어 터널 안정성 확보가 중요하다. 이에 따라 암반조건이 불량한 지보패턴에 대해 지보량 검토를 수행하였다.

수치해석적 검토시 필요한 지반물성치의 경우 고속도로 ○○구간의 기본설계 지반물성치 내용을 바탕으로 지보재 안정성 검토를 수행하였으며, 지보패턴 P-4, 5, 6에

표 4. 고속도로 및 국도 4차로 터널 적용 지보패턴

구분	P-1		P-2		P-3		P-4		P-5		
	고속도로	국도	고속도로	국도	고속도로	국도	고속도로	국도	고속도로	국도	
굴진장(m)	2.5~3.0	2.0~3.0	2.0~2.4	1.5~2.0	1.5~2.0	1.2~1.5	1.0~1.5	1.0~1.2	0.6~1.2	0.5~1.0	
S/C두께(cm)	5~10	10	12~15	12~15	10~20	16~20	12~25	20~25	18~25	25	
록볼트	길이(m)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0~6.0	5.0	
	종간격(m)	random	random~2.0	2.0~2.4	1.5~2.0	1.5~2.0	1.2~1.5	1.0~1.5	1.0~1.2	0.6~1.2	
	횡간격(m)	random	random~2.0	1.5~2.0	1.5~2.0	1.5~2.0	1.2~1.5	1.0~1.5	1.0	1.0~1.5	
강지보	규격	-	-	-	LG-70	-	LG-70 ~H-150	LG-50	LG-95 ~H-150	LG-70~H ~100~150	LG-115 ~H-150
	간격(m)	-	-	-	1.5	-	1.2~1.5	1.0~1.5	1.0~1.2	0.6~1.2	0.5~1.0
라이닝	두께(cm)	40 (무근)	40 (무근/철근)	40 (무근)	40 (무근/철근)	40 (무근)	40 (철근)	40 (무근/철근)	40 (철근)	40 (철근)	40 (철근)
	fck(Mpa)	24~27	24~27	24~27	24~27	24~27	24~27	24~27	24~27	24~27	24~27

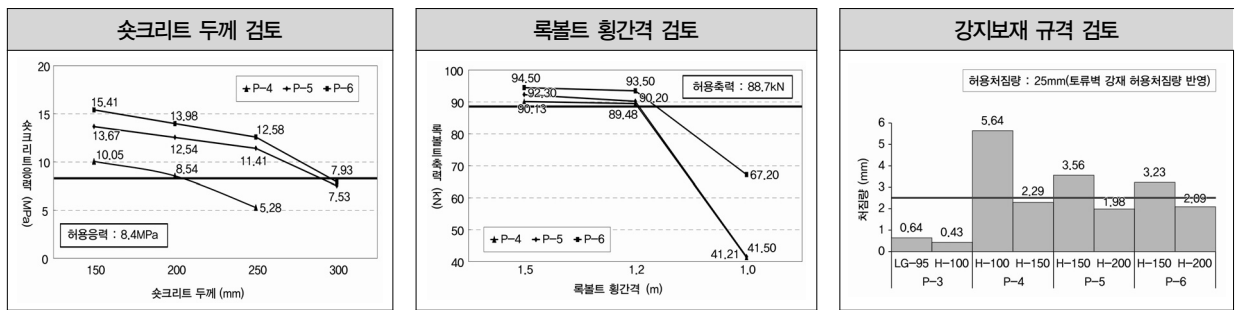


그림 5. P-4, 5, 6 지보량 검토

대해 shotcrete 두께 변화에 따른 터널 안정성 검토를 수행하여 각각의 지보패턴별 적정 shotcrete 두께를 산정하였다.

또한 록볼트 횡방향 간격변화에 대한 검토와 강지보재의 규격별 처짐에 대한 검토를 수행하여 적정 지보량을 산정하였으며 그 결과 내용은 그림 5와 같다.

수치해석 결과 P-5의 경우 shotcrete 두께 300mm, 록볼트 횡간격 1.0m, 강지보 H-200×200×8×12 이상의 지보량 적용이 필요한 것으로 검토되었다.

지보량 산정에 대한 검토는 현장 지반조건에 따라 상이한 바, 과업특성별 지반조건을 고려한 수치해석 등을 통

해 대단면 터널에 계획된 지보량(shotcrete, 록볼트)의 적정성 검토를 수행하여야 한다.

3.3 표준지보패턴(안)계획 및 적정성 검토

고속도로 및 국도의 4차로 대단면 터널 적용 지보패턴 사례조사와 RMR 및 Q-system에 의해 양방향 4차로 대단면 터널의 지보패턴 적용범위를 산정하였으며, 지반조건이 불량한 구간에 대해서는 수치해석을 수행하여 적정 지보량 산정을 검토하였다. 이러한 검토를 통해 양방향 4차로 터널의 표준지보패턴(안)을 표 5와 제시하였다.

표 5. 양방향 4차로 대단면 터널 표준지보패턴(안)

구 분	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	
RMR	100~81	80~61	60~41	40~21	20이하	갱구부	
Q값	40이상	40~10	10~4	4~0.1	0.1이하	갱구부	
굴진장(m)	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	
숫크리트(mm)	80	150	200	250	300	300	
록볼트 길이(m)	5	5	5	5	5	5	
록볼트	종간격(m)	Random	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8
	횡간격(m)	Random	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0
강지보	규격(m)	-	-	H-100×100×6×8	H-150×150×7×10	H-200×200×8×12	
	간격(m)			1.5	1.2	1.0	0.8
콘크리트 라이닝	40cm(무근)	40cm(무근)	40cm(무근)	40cm(철근)	40cm(철근)	40cm(철근)	
보조공법	-	-	-	포어폴링	선진보강 그라우팅	선진보강 그라우팅	

표 6. 표준지보패턴 적정성 검토 결과

구 분	연속체(MIDAS GTS)				
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
천단변위(mm)	1.83	2.65	5.06	8.32	16.27
내공변위(mm)	1.03	1.63	3.22	5.61	8.65
숫크리트응력(MPa)	2.48	3.32	7.34	5.28	7.08
록볼트축력(kN)	-	7.22	15.35	41.21	83.80

표 7. 콘크리트 라이닝 구조검토 결과

구 분	P-1~3	P-4	P-5	P-6	
라이닝 두께(mm)	400	400	400	400	
주철근 간격	무근라이닝	D22@125	D25@125	D29@125	
최대 단면력	모멘트(kN·m)	115.88	255.52	261.71	365.41
	축력(kN)	2111.8	3593.1	4688.1	4839.9
	전단력(kN)	123.04	254.61	299.95	419.2

계획된 표준지보패턴(안)에 대해 암반등급별 2차원 안정성 검토를 수행하여 최종적으로 지보패턴 적정성을 재검토 하였으며, 각각의 지보패턴별 발생변위, 숫크리트 응력, 록볼트 축력 결과는 표 6과 같다.

3.4 콘크리트 라이닝 검토

4차로 대단면 터널 콘크리트 라이닝 사례조사 결과 일반적으로 두께 40cm를 적용하여 설계 및 시공을 수행하였다. 따라서 양방향 4차로 대단면 터널의 콘크리트 라이

닝 검토시 우선적으로 두께 40cm에 대한 검토를 수행하였다. 지반 조건별 이완하중고 산정을 위해 4차로 터널의 이완하중고 산정내용을 검토하여 양방향 4차로 대단면 터널 콘크리트 라이닝 검토시 이를 반영하였으며, 적용 지반물성치의 경우 지보량 적정성 검증시 적용한 고속도로 ○○구간 기본설계의 지반 물성치를 적용하였다.

지반등급별 콘크리트 라이닝 구조검토 결과 표 7과 같이 지보패턴 P-4, 5, 6구간에 대해서는 철근보강이 필요한 것으로 나타났으며, 이 또한 지보패턴 적정성 검토와 같이 현장 특성별 지반물성치가 상이한 바 과업별 상세

검토가 필요하다. 또한 양방향 4차로 대단면 터널의 경우 굴착고가 높으며, 1회 콘크리트 타설시 물량이 많으므로 시공중 콘크리트 타설시 충분한 안정성 확보를 위해 강제 거푸집, 콘크리트 라이닝 시공순서, 고강도 콘크리트 적용을 통한 콘크리트 라이닝 두께 최소화 등에 대한 검토 등이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

4. 굴착공법 검토

4차로 대단면 터널 지보패턴별 분할 굴착공법 사례조사를 통해 양방향 4차로 대단면 터널에 적용가능한 굴착공법에 대해 검토를 수행하였다. 또한 수치해석을 통해 양방향 4차로 대단면 터널의 적정 분할 굴착공법 적용성을 검토하였으며, 양방향 4차로 대단면터널 굴착공법 계획시 참고자료로 활용할 수 있도록 하였다.

4.1 사례조사

고속도로의 4차로 대단면 터널의 굴착공법 조사 결과 표 8과 같이 상하반 분할굴착을 기본으로 상반 3분할 굴착으로 계획하였으며, 하반 굴착의 경우 분할계획 없이 굴착하는 것으로 계획되어 있다.

국도 양방향 4차로 터널인 모악, 강진 터널은 표 9와 같이 P-1, 2의 경우 암반구간 분할굴착수를 최소화 하였으며, P-4, 5에서는 측벽선진도갱 굴착을 적용하여 터널 안정성을 확보한 것으로 검토되었다.

결론적으로 암반등급이 좋은 P-1, 2의 경우 원활한 시공을 위해 분할굴착수를 적게 할 필요가 있으며, 암반등급이 불량한 P-4, 5, 6의 경우 지반조건별 적정 분할굴착공법을 적용하여 터널 안정성 확보가 필요하다.

표 8. 고속도로(편도4차로) 굴착공법 사례

구분	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
사패산터널 등 (서울외곽선)					
양지터널 (영동선)					

표 9. 국도(양복 4차로) 굴착공법 사례

구분	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
모악터널 (구이~전주)					
강진터널 (순창~운암)					

4.2 분할 굴착공법 검토

기존 4차로 터널 굴착공법 검토결과 상반굴착시 3분할 또는 2분할로 굴착계획을 대부분 적용하고 있는 상황으로, 이에 대한 터널굴착시 안정성 및 경제성 검토를 수행하여 적정 굴착공법 선정이 필요하다.

4차로 대단면 터널 적용방안 검토시 계획된 표준단면 및 표준지보패턴 (안)의 P-4, 5에 대해 상반 측벽선진도갱 굴착, 중벽분할굴착 및 상반3분할 굴착에 대한 터널

안정성 및 경제성 검토를 수행하여 지보패턴별 적정 굴착공법을 선정하였으며, 검토 결과는 다음 표 10, 11과 같다.

P-4, 5에 대한 굴착공법(측벽선진도갱, 중벽분할, 상반 3분할)별 안정성 검토 수행 결과 굴착공법별 지보재 응력이 허용치 이내인 것으로 검토되었다. 그러나 실제 설계시 지보량 부족으로 검토 될 경우 터널안정성이 확보되는 지보량 재산정과 적정 보조보강공법의 검토 및 적용이 필요하다.

대단면 터널 굴착공법의 경우 고속도로는 상반 3분할

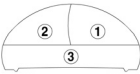
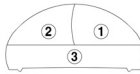
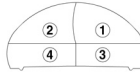
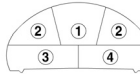
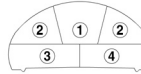
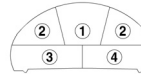
표 10. 대단면 터널 굴착공법 비교

구분	측벽 선진 도갱 굴착	중벽 분할 굴착	상반 3분할 굴착
개요도			
시공성	<ul style="list-style-type: none"> 측벽 선굴착으로 터널 안정성 확보 유리 필라부 임시지보재 설치 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 2분할 굴착으로 시공성 우수 중벽부 임시 지보재 설치 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 상반 중앙부 선굴착으로 시공성 우수 측벽부 임시지보 설치 없음
경제성(P-4기준)	2,890만원/m	2,620만원/m(▼270만원)	2,580만원/m(▼310만원)

표 11. 굴착공법별 안정성 검토

해석모델링(측벽 선진도갱)	해석조건		
	<ul style="list-style-type: none"> 해석모델 : Mohr-Coulomb 탄소성모델 해석프로그램 : MIDAS GTS 2D 해석영역 및 경계조건 : 좌우 4.0D 이상, 하부 3.0D 이상, 토피고 30m로 모델링 하고 좌우경계면과 바닥면에 각각 수평 및 연직방향 롤러지점, 모서리는 힌지지점을 적용 		
천단변위	측벽변위	숫크리트 응력	록볼트 축력

표 12. 양방향 4차로 대단면 터널 굴착공법(안)

구분	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6
개요						
굴진장(m)	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8
단면분할	상반2, 하반1	상반2, 하반1	상반2, 하반2	상반3, 하반2	상반3, 하반2	상반3, 하반2

굴착으로 주로 적용하며, 국도의 경우 측벽선진도갱 굴착 공법을 적용하고 있는 상황으로 지반조건별 특성을 고려한 굴착공법 선정이 필요하다.

경제성 검토결과 P-4의 경우 상반3분할, 중벽분할, 측벽선진도갱 순으로 검토되었다. 상반3분할의 경우 상반 중앙부 우선시공시 측벽부 임시지보 설치가 없어 경제성 측면에서 유리한 것으로 판단된다.

4.3 지보패턴별 굴착공법 제시

기존 설계·시공사례 및 시공성·안정성 등을 검토하여 지보패턴별 굴착공법(안)을 산정하였으며, 그 내용은 다음과 같다. 우선 상하반 분할굴착을 기본으로 암반조건이 양호한 P-1, 2, 3에 대해서는

상하반 각각 2분할 굴착토록 계획하였으며, P-4, 5, 6에서는 터널안정성이 확보되는 굴착공법 중 경제성 측면에서 유리한 상반 3분할 굴착공법을 제시하였다.

5. 환기 및 방재 검토

환기계획은 터널 전체계획의 주요한 부분이며, 터널 단면크기 및 형상 등과 같은 터널본체 구조를 결정하는 요소가 될 뿐만 아니라 노선 선정 등의 계획과도 밀접한 관계가 있기 때문에 전체 계획의 일부로서 면밀하게 계획되어야 한다. 즉, 환기계획은 환기에 큰 영향을 미치는 교통방식, 방재계획과의 관련, 주변 환경에 미치는 영향 등을

고려하여 가장 경제적인 방식의 기계설비 설치와 본체 시공에 대한 사항을 합리적으로 검토하여야 한다.

도로터널의 환기시설은 「도로의 구조·시설에 관한 규정 해설 및 지침」 제42조에 “터널에는 안전하고 원활한 교통을 확보하기 위해 필요하다고 인정하는 경우에는 도로의 계획교통량, 설계속도 및 터널길이를 참작하여 환기 시설 및 조명시설을 고려하여 설치하여야 한다.” 라고 규정한 제반 시설을 의미한다. 따라서 터널 환기 설비시설의 계획, 조사, 설계, 시공 및 유지관리를 할 때에는 본 기준을 이해하고, 종합적으로 검토하여 적절한 설비계획을 수립하여야 한다.

양방향 4차로 대단면 터널의 경우 대면교통의 특성에 맞추어 터널내의 환기가 자연환기로 충분하지를 검토하여야 하며, 고속도로터널 방재시설 설치 지침에 따른 제연설비 필요 유무를 검토하여야 한다.

5.1 환기량 검토

고속도로 양방향 4차로 터널 표준단면과 고속도로 ○○구간의 교통특성을 가지고 자연환기가 가능한 연장을 터널구간의 종단경사 및 연장을 변화시켜가며 환기량 검토를 수행하였으며, 검토내용은 다음 표 13, 14와 같다.

연장 500m 미만의 양방향 4차로 터널로 계획검토 중인 고속도로 ○○구간의 교통특성을 기초로 종단경사 및 터널연장을 변수로 적용하여 환기량을 검토한 결과 연장 700m까지 자연환기가 가능한 것으로 검토되었다. 그러나, 터널 연장증감에 따라 방재등급 변화가 생기며, 제연

표 13. 환기량 검토 조건

설계속도	터널내공단면	평균표고	교통량
100km/hr	A=201.9m ²	H=48.24m	67,183대/일

표 14. 환기량 검토결과

종단 경사(%) \ 연장(m)	400	500	700	1000	1500	1700
2.0	자연환기	자연환기	자연환기	기계 환기	기계 환기	기계 환기
1.0	자연환기	자연환기	자연환기	기계 환기	기계 환기	기계 환기
0.4	자연환기	자연환기	자연환기	기계 환기	기계 환기	기계 환기

표 15. 방재 등급 검토결과

종단경사(%) \ 연장(m)		400	500	700	1000	1500	1700
2.0	위험도 지수	23.5	26.5	28.5	33.5	34.0	34.0
	연장등급	4등급	2등급	2등급	1등급	1등급	1등급
1.0	위험도 지수	23.5	26.0	28.0	33.0	33.0	33.0
	연장등급	4등급	2등급	2등급	1등급	1등급	1등급
0.4	위험도 지수	23.5	26.0	28.0	32.5	32.5	32.5
	연장등급	4등급	2등급	2등급	1등급	1등급	1등급

시설인 기계환기 설비가 필요할 수 있으므로 환기량 검토와 더불어 방재시설 설치기준관련의 종합적인 검토가 필요하다.

또한 양방향 4차로 대단면 터널의 경우, 교통환기력이 전체 단면에 미치는 영향이 제한적일 수 있으므로, 연장이 길어지는 경우 이에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

5.2 방재 검토

터널의 종단경사와 연장변화에 따라 한국도로공사에서 최근 개정된 「고속도로터널 환기 및 방재기준(2012.4)」을 적용하여 방재 등급에 대하여 검토하였다.

고속도로 ○○구간의 터널조건 및 교통특성에 대해 방재등급 검토 결과 표 15와 같이 연장 500m이상 양방향 4차로 터널은 터널 경사에 관계없이 위험도 지수 2등급 이

상으로 산정되어 제연설비가 필요한 것으로 검토 되었다.

5.3 환기 및 방재 검토 요약

환기검토 결과 양방향 4차로 터널에서 연장 700m를 초과할 경우 기계환기가 필요한 것으로 검토되었으나, 방재 검토 시 대면통행 및 터널 연장 증가에 따라 방재등급이 높아지므로 표 16과 같이 터널 연장 500m이상의 경우 제연설비가 필요한 것으로 검토 되었다.

검토결과 터널 연장 500m이상일 경우 위험도 지수등급이 2등급 이상으로 산정되어 제연설비 설치가 필요하다. 상세설계 수행시 과업특성에 맞는 외부자연풍을 고려한 자연환기의 판별여부와 환기 및 방재 측면의 충분한 상세검토가 필요하므로, 고속도로 양방향 4차로 터널은

표 16. 환기 및 방재검토 결과

종단경사(%)		연장(m)	400	500	700	1000	1500	1700
			환기	제연	환기	제연	환기	제연
2.0	환기		자연환기	자연환기	자연환기	기계환기	기계환기	기계환기
	제연		미적용	적용	적용	적용	적용	적용
1.0	환기		자연환기	자연환기	자연환기	기계환기	기계환기	기계환기
	제연		미적용	적용	적용	적용	적용	적용
0.4	환기		자연환기	자연환기	자연환기	기계환기	기계환기	기계환기
	제연		미적용	적용	적용	적용	적용	적용

우선 500m 이하인 경우만 적용하는 것으로 결정하였다.

용 연장 검토

결론적으로 일반 터널구간 분리선형 계획시 용지·지장물 저축이 과다하게 발생하여 보상비 과다 및 다수의 민원발생이 예상되는 구간의 경우, 현재 비분리 선형의 2-Arch 터널형식을 적용하고 있으나, 암질이 양호할 경우 양방향 4차로 대단면 터널형식 적용에 대한 검토가 필요하다.

이를 통해 국내 최대폭원의 대단면터널에 대한 설계 및 시공기술 축적 및 2-Arch터널의 유지관리시 문제 해결 등 국내 터널 기술발전에 기여할 것으로 기대된다.

6. 결론

고속도로 및 국도의 대단면 터널 사례조사를 바탕으로 양방향 4차로 대단면터널 계획에 대한 검토를 수행하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

- 고속도로 터널 시설한계 여유폭을 현행 300mm에서 50mm로 축소, 공동구 규격, 개선된 배수체계 및 터널 바닥면 굴착구배 적용 검토를 통해 양방향 4차로 터널 표준단면(안) 계획
- 고속도로 및 국도의 4차로 대단면 터널의 사례조사 및 수치해석적 검토를 통해 지보패턴 및 굴착공법(안) 제시
- 고속도로 양방향 4차로 터널의 단면, 교통특성에 따라 종단경사 및 터널연장별 환기 방재검토를 수행하여 적

참고문헌

1. 한국도로공사(2009), 고속도로 맞춤형 터널 설계 가이드.
2. 국토해양부(2009), 도로의 구조시설에 관한 규칙
2. 국토해양부(2009), 도로터널방재시설설치 및 관리지침.
4. 국토해양부(2010), 도로설계 편람 제 6편 터널.
5. 한국도로공사(1999~2012), 도로공사 설계실무 자료집.