

터널 피난갱 접속부의 본선 라이닝 철근보강 범위에 대한 연구



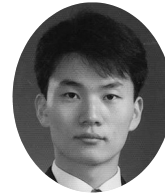
김낙주
한국도로공사
건설본부장



정진민
한국도로공사
설계처 처장



정국영
한국도로공사
설계처 부장



김태건
한국도로공사
설계처 차장

1. 서론

건설기술의 발달로 인해 터널은 점점 장대화 되고있으며, 이로 인해 터널 내부에 설치되는 피난갱의 설치 개소가 증가되고 있다. 피난갱 접속부는 응력집중 및 변위발생 증가로 지보 등을 추가 보강을 하고 있으며, 보강범위는 과거 일본도로공단 기준을 준용하고 있다.

일본도로공단 기준은 차량용 피난갱을 기준으로 본선과의 접속각도에 따라 본선터널의 직경에 비례하여 보강범위를 산정하고 있으며, 피난갱의 규모, 접속부의 암질에 대한 영향은 보강범위 산정에 반영되어 있지 않는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 설치 규격 차이가 큰 대인용과 차량용 피난갱 접속부의 응력영향범위 차이를 규명하고, 이에따른 본선 접속부의 라이닝 철근보강 적정범위를 산정하여 경제적이고 최적화 된 방안을 제시하고자 한다.

2. 피난갱 접속부 보강범위 관련기준

터널내 접속부 발생시 보강범위에 대한 국내 및 일본설계기준을 살펴보면 다음과 같다. 국내 도로터널의 접속부 보강범위는 일본도로공단 기준을 준용하여 표 1과 같이 사용하고 있으며, 한국도로공사는 별도의 연구결과(2007년)에 따라 접속부에 대한 1차 지보재의 보강범위를 그림 1과 같이 암반등급별로 구분하여 적용하고 있으나, 라이닝의 철근보강 범위는 별도 구분없이 일반 도로터널과 동일하게 적용하고 있는 실정이다.

따라서, 라이닝 관점에서 접속부에 대한 영향범위를 검토하여 국내실정에 적합하도록 피난갱의 규모별, 암반등급별 접속부 본선 라이닝의 철근보강영역을 제시하고자 한다.

표 1. 일본도로공단 설계요령(設計要領 第三集 第九編 제7장 기타구조물의 설계)

구분	교차각 90°	교차각 60°	교차각 30°
개요도			
보강 범위	<ul style="list-style-type: none"> • 본선 보강범위 : 2.0D • 피난갱 보강범위 : 1.0d 	<ul style="list-style-type: none"> • 본선 보강범위 : 3.0D • 피난갱 보강범위 : 2.0d 	<ul style="list-style-type: none"> • 본선 보강범위 : 5.0D • 피난갱 보강범위 : 4.0d

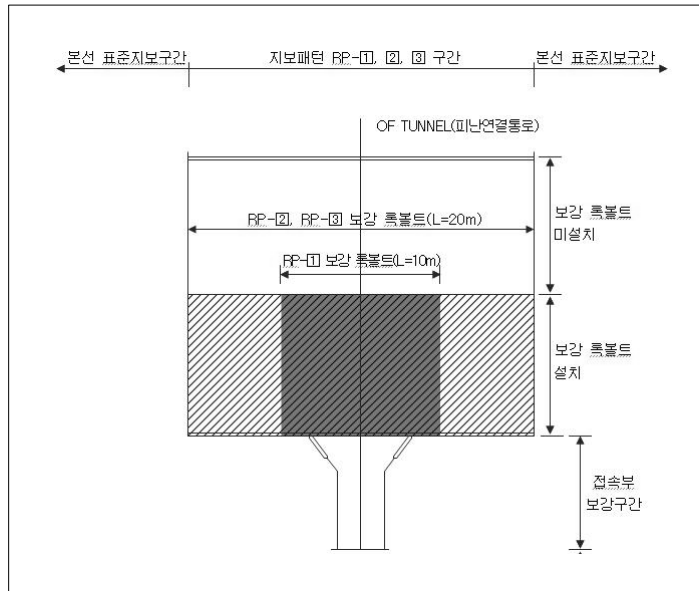


그림 1. 한국도로공사 설계실무자료집-지보 보강구간(2007.10)

3. 접속부 본선라이닝 철근보강 범위검토

3.1 검토단면 및 구조모델링

접속부 본선 라이닝의 철근보강 영역 검토를 위해 가장 최근에 착공된 부산외곽고속도로 터널표준단면을 선정하였으며, 규격별 적용단면 및 접속부 모델링 개요도는 그림 2와 같다.

구조해석 프로그램은 Midas Civil(2009)을 사용하여 3차원 해석을 실시하였으며, 접속부를 중심으로 본선 50m 구간을 모델링하였다.

3.2 접속부 패턴별 적용물성

현재 한국도로공사 설계실무자료집에서 제시하고 있는 터널 접속부 패턴 및 암반등급은 표 2와 같으며, 피난갱

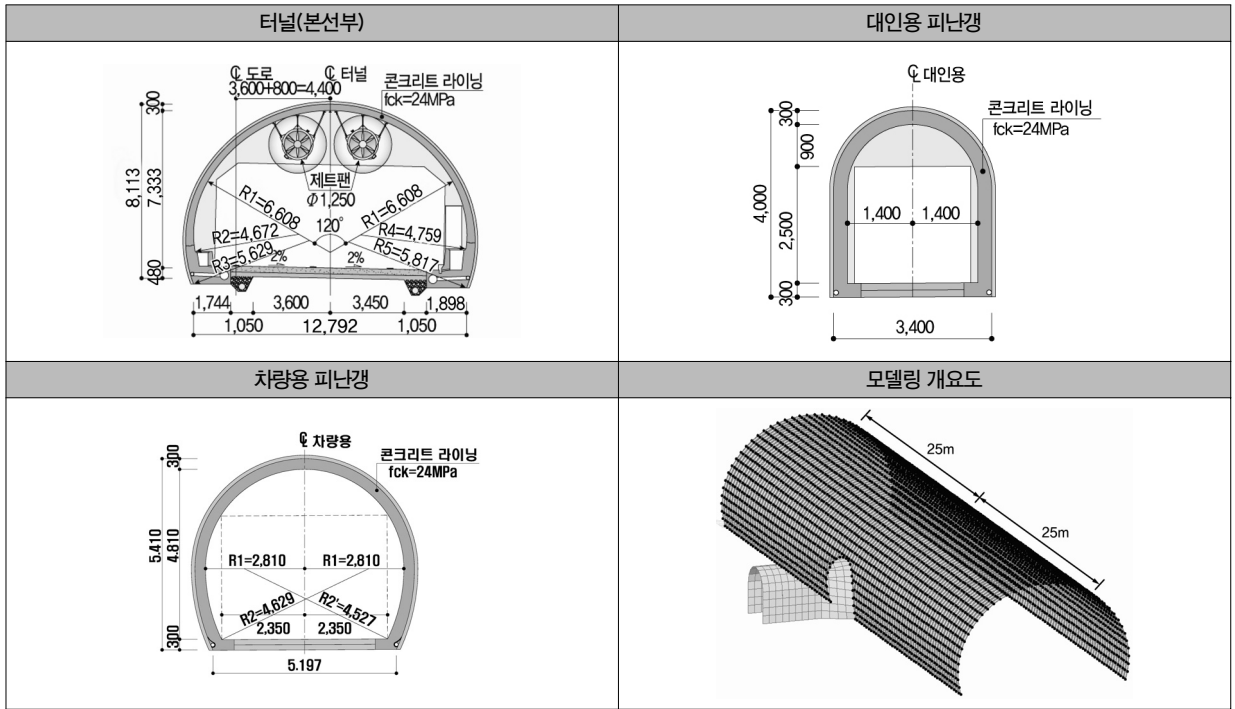


그림 2. 검토단면 및 모델링 개요도

표 2. 접속부 지보패턴별 적용 암반등급

접속부 지보패턴	RP-1	RP-2	RP-3
암반등급(본선기준)	Type-2 이하	Type-3	Type-4 이상

표 3. 암반등급별 적용물성(고속도로 실시설계 사례조사 결과 평균치)

암반등급	단위중량 (kN/m ³)	변형계수 (MPa)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	포아손비
Type-1	27.0	18,000	2,000	47	0.20
Type-2	26.0	10,000	1,500	45	0.22
Type-3	25.0	7,000	800	40	0.25
Type-4	23.0	2,500	300	35	0.27
Type-5	21.0	500	50	33	0.30

의 위치는 양호한 지반(Type-1~4)에 설치하도록 권장하고 있다.

암반등급별 적용물성은 최근 설계한 고속도로 실시설

계 약 20개 공구의 평균치를 계산하여 표 3과 같이 적용하였으며, 콘크리트 라이닝 재료특성치는 콘크리트 구조 설계기준(2007)에서 제시한 값을 준용하였다.

표 4. 터널별 잔류수압 산정결과

구 분	잔류수압고	비 고
본 선	$1/3 \times 8.1\text{m} = 2.7\text{m}$	암반 Type 1~4
대인용 피난갱	$1/2 \times 4.0\text{m} = 2.0\text{m}$	
차량용 피난갱	$1/2 \times 5.4\text{m} = 2.7\text{m}$	

3.3 암반이완하중 산정

현재 학계 및 업계에서는 터널 라이닝 철근보강과 관련하여 과다적용에 대한 인식이 확산되고 있는 추세이며 이를 개선하고자 하는 노력이 지속되고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서도 이에 대한 인식을 반영하여 암반 이완하중산정의 적정성을 검토하였다.

라이닝에 가장 큰 영향을 미치는 요소인 암반이완하중의 고속도로 실시설계 사례조사 결과 Type-3까지는 암반 이완 하중고를 0.5m로 동일하게 적용하고 있고, Type-4는 지반조사 결과에 따라 Terzaghi 암반분류표를 이용하여 $0.5\text{m} \sim 0.2(B+Ht)\text{m}$ 를 적용하였다. 일반적으로 암질이 불리한 구간에서는 Terzaghi 암반분류표에 의한 방법을 사용하고 있다.

본 연구에서는 설계사례 및 연구동향을 종합하고, 접속부 발생에 따른 추가 이완하중의 영향성을 감안하여 암반 등급별 이완하중고를 RP-1은 0.5m, RP-2는 $0.25(B)\text{m}$, RP-3는 $0.2(B+Ht)\text{m}$ 를 적용하였다.

3.4 잔류수압 산정

배수형터널의 경우 완전배수를 유도하여 수압이 발생되지 않게 하는 것이 원칙이나, 우기시 등 지하수량 상승에 따른 배수정체, 부직포 열화현상으로 인한 배수능력 저하 등으로 원활한 배수가 이루어지지 않으면 잔류수압이 발생하게 된다.

암반이완하중과 더불어 잔류수압 또한 라이닝에 영향을 미치는 주요요소로 설계사례 조사결과 암반등급에 따라 $(1/2 \sim 1/3) \times Ht (m)$ 를 적용하고 있으며, 도로설계편

람-터널편에서도 토사 및 풍화암은 $1/2 \times Ht(m)$, 연암 이상은 $1/3 \times Ht(m)$ 로 구분하여 사용할 것을 제시하고 있다.

본 연구에서는 설계사례 및 연구동향에 따라 접속부 발생에 따른 잔류수압의 영향성을 감안하여 본선 $1/3 \times Ht(m)$, 대인용 및 차량용 피난갱은 $1/2 \times Ht(m)$ 를 적용하였으며 이에 대한 산정결과는 표 4와 같다.

4. 접속부의 응력영향범위 검토

4.1 검토축선 위치선정

피난갱 접속부의 본선구간 응력영향범위 분석을 위하여 접속부측은 피난갱 규모별로 위치를 달리하여 2개의 축선을, 응력변화 영향이 상대적 작을 것으로 예상되는 접속부 반대측과 천단부는 각 1개의 축선을 그림 3과 같이 선정하여 검토하였다. 각 축선 지점별 허용응력에 대

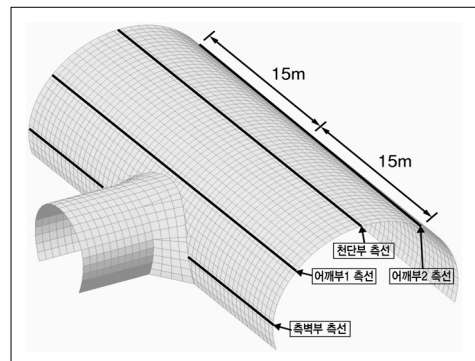


그림 3. 응력영향범위 검토축선

한 발생응력(합성응력)의 비를 계산하여 접속부의 응력변화가 수렴되는 영향범위를 산정하였다.

4.2 접속부 응력영향범위 검토결과

대인용 피난갱 접속부의 응력영향 변화를 살펴보면, 각 축선에 대한 응력비 변화패턴은 모든 축선이 비슷한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었으나, 접속부에서 상대적으로 거리가 먼 천단부, 어깨부2에서는 응력비의 변화가 미미한 것으로 나타났다. 어깨부1과 측벽부 축선의 응력비를 보면 피난갱에 가까워질수록 증가하여 접속구간에서는 허용값을 넘어 파괴가 발생하는 것으로 나타났으며,

그림 4와 같이 대인용 피난갱 접속부의 본선 라이닝 응력비 영향범위는 피난갱 중심으로 좌우로 각 4~5m의 영역을 초과하면 수렴되는 것으로 나타났다.

차량용 피난갱 접속부의 응력비 검토결과 모든 축선에서 패턴이 비슷한 경향을 보였으나, 대인용과 달리 천단부 축선에서 응력비의 변화가 증가함을 확인할 수 있다. 이는 차량용 피난갱의 단면규격이 훨씬 커 응력변화가 천단부까지 영향을 주는 것을 의미한다. 그림 5와 같이 차량용 접속부에 대한 본선부 응력비 영향범위 검토결과 피난갱 중심으로 좌우로 각 9~10m의 영역을 초과하면 수렴되는 것으로 나타났다.

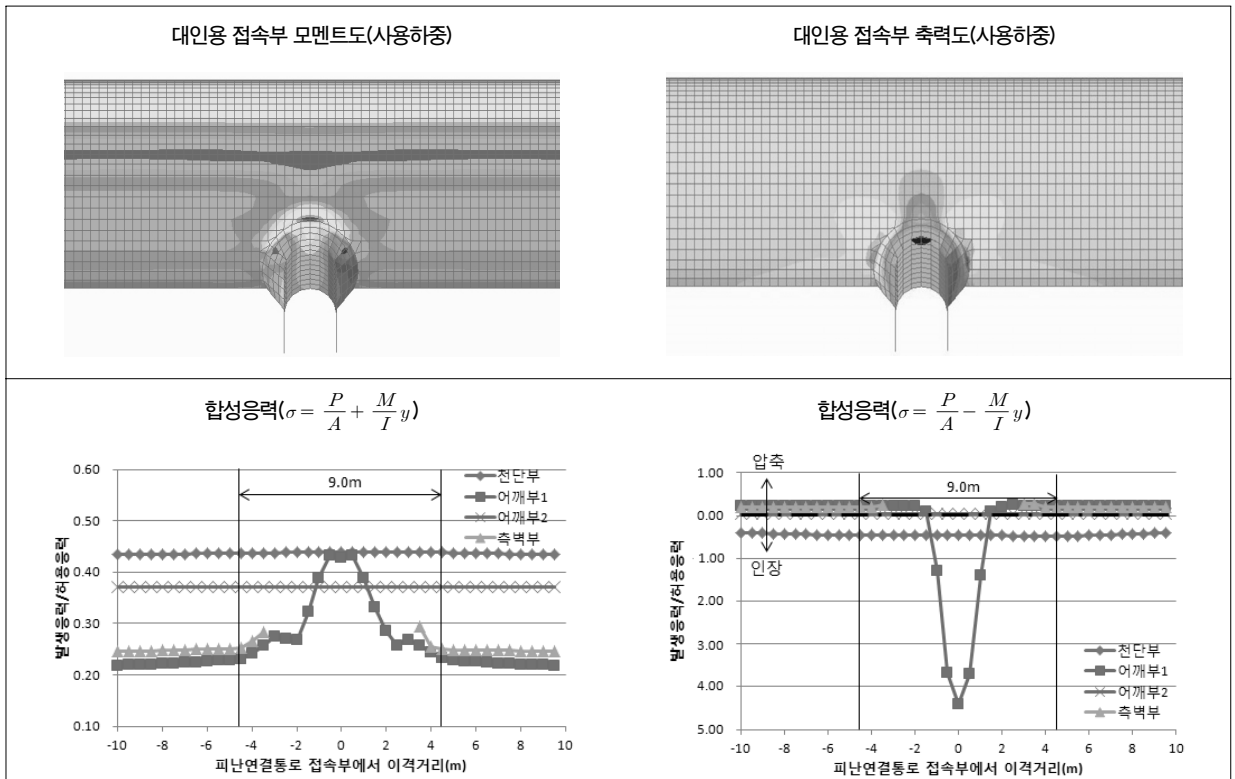


그림 4. 대인용 RP-3 구간 응력영향범위 검토결과

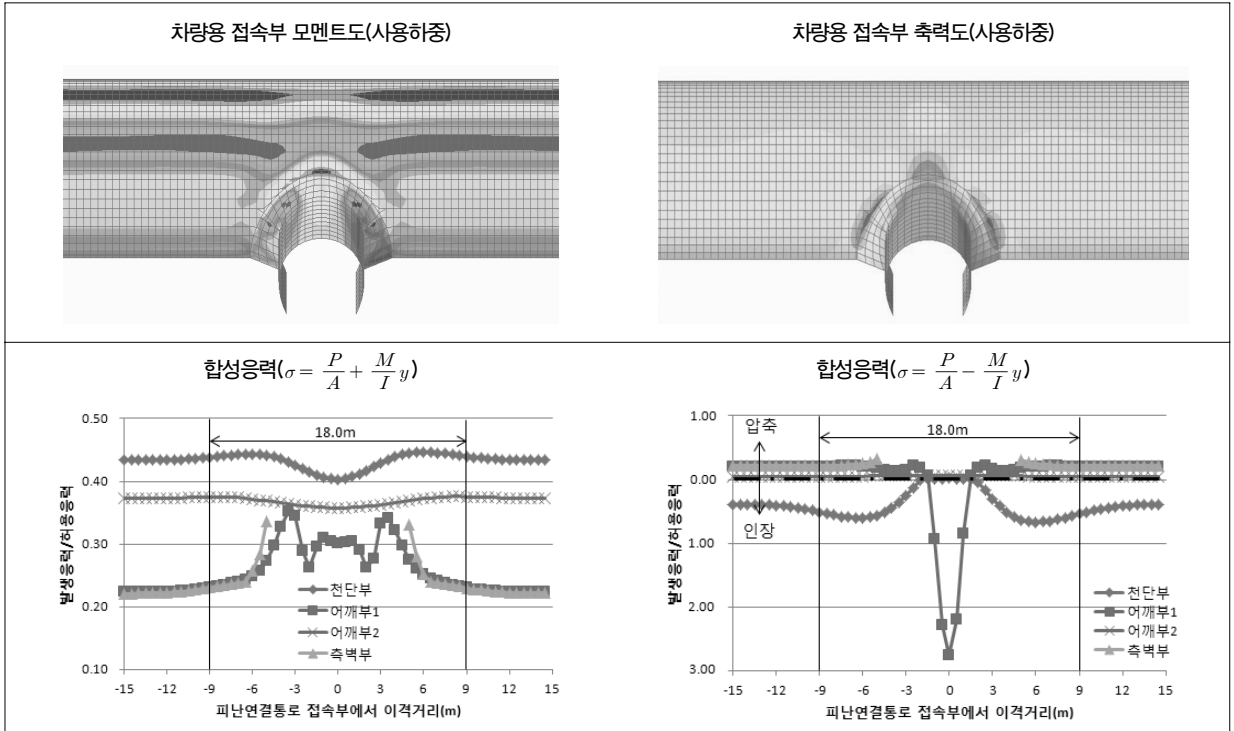


그림 5. 차량용 RP-3 응력영향범위 검토결과

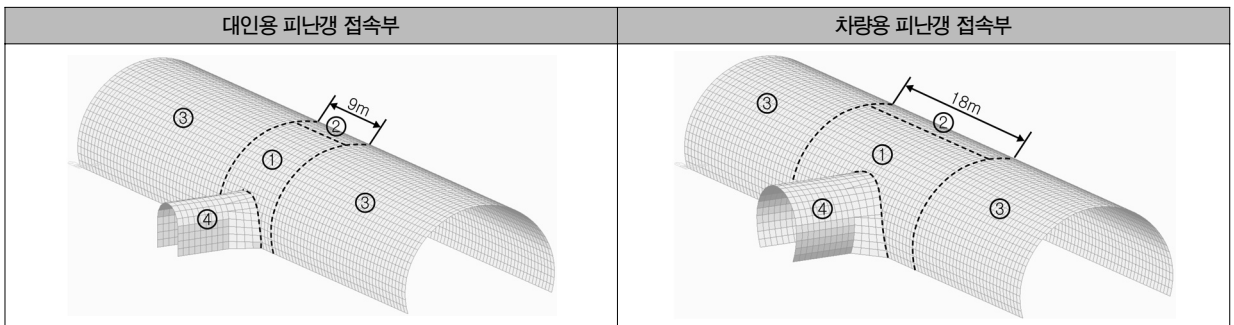


그림 6. 접속부 라이닝 철근보강 검토영역

5. 라이닝 보강철근량 산정

5.1 철근보강여부 검토영역 선정

접속부 라이닝의 응력 변화범위를 고려한 보강범위는

라이닝 거푸집 규격을 고려하여 대인용은 9m, 차량용은 18m로 결정하였다. 이에 따라 그림 6과 같이 영역별로 철근보강여부 및 철근량을 검토하고자 각 단면별로 4개의 영역을 구분하여 검토하였다.

5.2 접속부 영역별 철근량 산정

각 영역별로 최대모멘트 및 축력, 전단력값을 추출하여 허용응력에 대한 안정성을 검토하였으며, 이를 만족하지 못하는 경우 강도설계법에 의해 철근보강량을 산정하였다.

검토결과 대인용, 차량용 모두 접속지점에서 허용응력을 초과하나 접속부 반대편(②영역)은 응력변화가 미미하여 전구간 철근보강이 필요하지 않은 것으로 분석되었다. 이에 따라 신설한 암반인 RP-1구간은 접속부(①영역)만

철근보강을 하고, 암반상태의 장기적인 불확실성을 감안하여 RP-2, 3구간은 접속부 반대편(②영역)까지 철근보강을 계획하였으나 ①영역보다 주철근 직경 축소 및 배력 철근 간격을 넓게 계획하였다.

RP-1구간의 접속부(①영역)는 본선 천단부까지 철근을 보강할 경우 철근 겹이음 발생 등 시공성이 불리하므로 철근 길이를 감안하여 공동구에서 8m 높이까지만 보강하여 철근이음부가 생기지 않도록 하였다. 접속부 영역별 철근보강 검토결과 및 철근보강 범위는 표 5, 그림 7, 8과 같다.

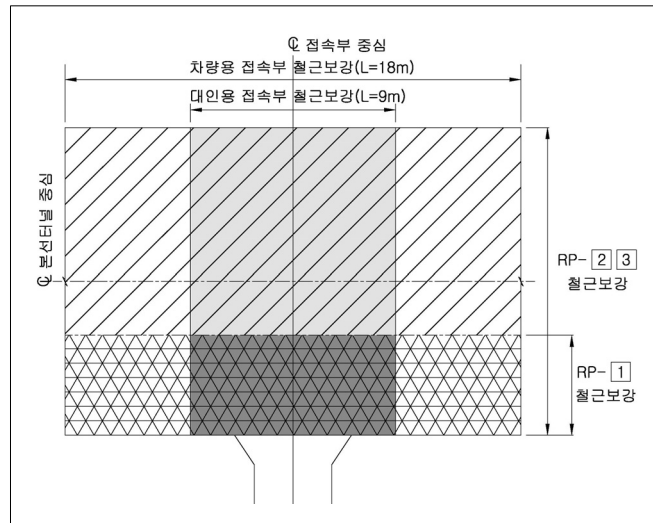


그림 7. 접속부 본선라이닝 타입별 철근보강 범위(평면도)

표 5. 패턴별 철근보강 검토결과(예)

구 분	본선 라이닝				피난갱 라이닝		
	접속부		본선부		주철근	배력철근	
	주철근	배력철근	주철근	배력철근			
대 인 용	RP-1	D16@200	D13@200	-	-	D16@200	D13@200
	RP-2	D16@200	D13@200	D13@200	D13@250	D16@200	D13@200
	RP-3	D19@200	D13@200	D16@200	D13@250	D16@200	D13@200
차 량 용	RP-1	D16@200	D13@200	-	-	D16@200	D13@200
	RP-2	D16@200	D13@200	D13@200	D13@250	D16@200	D13@200
	RP-3	D19@200	D13@200	D16@200	D13@250	D16@200	D13@200

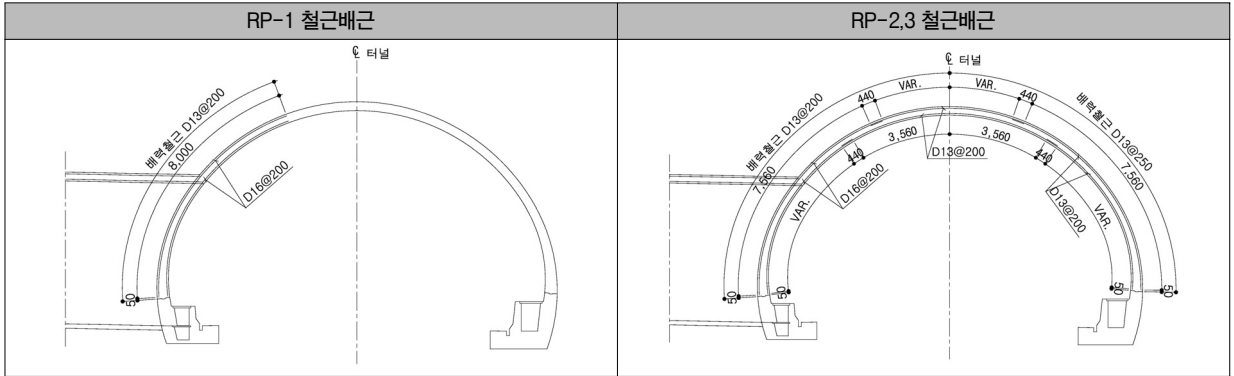


그림 8. 접속부 구간 라이닝 철근배근도(예시)

표 6. 접속부 본선구간 철근보강 개선에 따른 패턴별 경제성 분석(부산외곽고속도로 직접공사비 기준)

구분	대인용 접속부 본선구간			차량용 접속부 본선구간			
	RP-1	RP-2	RP-3	RP-1	RP-2	RP-3	
개선 전	보강연장	10m(전단면)	20m(전단면)	20m(전단면)	10m(전단면)	20m(전단면)	20m(전단면)
	철근량	7.371ton	14.930ton	14.930ton	6.712ton	11.950ton	11.950ton
	공사비	9,792,100원	19,812,000원	19,812,000원	8,992,400원	16,211,700원	16,211,700원
개선 후	보강연장	9m(반단면)	9m(전단면)	9m(전단면)	18m(반단면)	18m(전단면)	18m(전단면)
	철근량	1.693ton	4.141ton	5.252ton	3.161ton	8.057ton	10.232ton
	공사비	2,628,200원	5,889,100원	7,221,300원	4,988,200원	11,509,900원	14,115,300원
공사비 증감		-7,163,900원	-13,922,900원	-12,590,700원	-4,004,200원	-4,701,800원	-2,096,400원

6. 경제성 분석

라이닝 철근보강범위 축소에 따른 피난갱 규격 및 암반 등급별 개소당 공사비는 표 6과 같이 절감되는 것으로 분석되었으며, 특히 차량용 피난갱 접속부에 비해 보강범위가 많이 축소된 대인용 피난갱 접속부의 공사비 절감이 크게 나타났다.

7. 결론

터널내 피난갱 접속부의 본선 라이닝 철근보강 범위와 관련하여 명확한 기준이 수립되지않아 과거 도입된 일본

의 설계기준을 관습적으로 설계에 적용하여 보강이 과다하게 되고있는 실정으로, 피난갱의 규모(차량용, 대인용) 및 암반등급별로 접속부 라이닝의 보강범위를 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 본선 접속부 라이닝의 응력변화 영향범위를 검토한 결과, 대인용은 접속부 중심에서 본선 좌우 각각 4.5m, 총 9m 구간의, 차량용은 각각 9m, 총 18m 구간의 응력변화 영향범위를 나타내었다.
2. 접속부를 총 4개영역으로 구분하여 보강 철근량을 검토한 결과, RP-1 구간은 접속부만 보강하고, RP-2, 3 구간은 전단면을 보강하나 접속부 외 구간은 철근량을 줄여서(주철근 직경축소 및 배력철

근 간격 조정) 보강하도록 계획하였다.

피난갱 구간의 보강범위는 한국도로공사에서 별도로 검토한 “피난연결통로 지보패턴 적용방안 검토(학회지 VOL14/NO4 수록)” 결과에 맞춰 적용하면 되어, 본 연구

에서는 본선 구간에 대하여만 검토하였다.

본 검토에 사용된 이완하중 및 지반물성은 고속도로 기존설계사례의 평균치를 적용 한 바, 상세 설계시 지반조사 결과에 따라 제시된 검토방법을 준용하여 현장상황에 맞춰 설계하는 것이 타당하다.