

# 마성터널 피난연락갱 시공사례

## Construction Example of Cross Connection Tunnel in Ma-Sung Tunnel

**박성태**  
Seong-Tae Park  
한국도로공사 수도권건설사업단  
단장

**엄인섭**  
In-Sub Eum  
한국도로공사 수도권건설사업단  
공사관리팀장

**김태건**  
Tae-Geon Kim  
한국도로공사 수도권건설사업단  
설계차장

### 1. 개요

영동고속도로는 안산 ~ 신갈(2001년 준공), 호법 ~ 가남(2003년 준공) 구간은 8차로 확장 개통되었으나 신갈 ~ 호법 구간만 미 확장되어 차로수 불균형과 주변지역 개발에 따른 교통량 증가로 교통정체가 극심하여 2007년 10월 기존 4차로를 8 ~ 10차로로 확장하는 공사에 착수하였다.

공사구간은 경기도 용인시 기흥구에서 경기도 이천시 호법면까지이며, 약 33.6 km 구간을 3개 공구로 나누어 확장하는 사업이다.

### 2. 마성터널 개요

마성터널은 고속국도 제50호선 신갈 ~ 호법간 확장공사 제1공구 구간의 경기도 용인시 기흥구 동백동에서 경기도 용인시 처인구 마성리 구간에 위치한 터널로 <표 1>과 같이 기존 2차로 병렬터널과

신설 3차로 병렬터널로 계획된 장대터널이다.

국내 터널 방재기준 강화에 따라 신설 터널과 기존 터널 사이에 피난연락갱을 연결토록 계획되어 있다.

이는 국내 최초로 기존 터널에 피난연락갱을 직접적으로 굴착한 사례로, 기존 마성터널의 차량용 피난연락갱을 중심으로 설계검토 및 시공과정을 소개하고자 한다.

### 3. 피난연락갱 기준 및 규격

피난연락갱은 터널 내부에서 화재 또는 긴급상황 발생시 화염 및 가스(매연) 등으로 인한 피해로부터 운전자와 승객을 우선 피난시키기 위한 시설로 매연 확산속도와 대피속도를 고려하여 위험도 지수 검토결과에 따라 2등급 이상 터널에 대하여 차량용 750 m, 대인용 250 m 간격으로 설치토록 되어있으며, 마성터널은 연장이 약 1,500 m로 <그

표 1. 마성터널 현황

구분	마성터널			
	인천방향(신설)	인천방향(기존)	강릉방향(기존)	강릉방향(신설)
터널 연장	1,500 m	1,450 m	1,460 m	1,560 m
평면선형(m)	R=5,000	R=6,000	R=5,250	R=4,800
종단경사(%)	+0.6189	+0.6189	-0.6189	-0.6189
편경사(%)	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0
차로수	일방향 3차로	일방향 2차로	일방향 2차로	일방향 3차로
환기 방식	기계환기	기계환기	기계환기	기계환기

림 1)과 같이 방향별 피난연락갱 1개소, 대인용 피난연락갱 4개소를 설치하는 것으로 계획되었다. 피난연락갱 규격은 <그림 2>와 같이 계획되었다.

#### 4. 기존 터널 피난연락갱 시공

공용중인 기존 마성터널의 교차부 라이닝은 무근 콘크리트로 시공이음 간격은 9m이며, 이완하중에 의한 라이닝의 응력이력 측정이 불가능하여 본선 라이닝 측면을 굴착할 경우 상부 라이닝의 낙반 등의 우려가 있어 시공 중 안전성을 확보하여야 하며, 피난연락갱 완공 후 구조적 안전성을 검토할 필요가 있다.

현재 설계기준에 맞추기 위해서는 기존 라이닝 20m

구간에 지보 및 철근 보강이 필요하나 현실적으로 기존 터널 내부 라이닝을 철거 후 재시공 할 수 없는 상황이다. 따라서 기존 라이닝을 존치한 상황에서 피난연락갱 시공을 한다는 전제에서 시공계획 및 설계검토를 시행하였으며, 시공순서는 <그림 3>과 같다.

#### 4.1 기존 마성터널 교차부 조사

1994년도 준공된 기존 마성터널의 공사시 자료 확인이 곤란한 상황에서 직접 시공의 대상이 되는 기존 라이닝의 구조 현상(라이닝 상태 및 두께, 배면 공동의 유무, 변상의 유무·정도·범위, 보강·보수이력 등)의 상태를 상세히 조사하였으며, 공사전 상황에 대한 사진 촬영 등

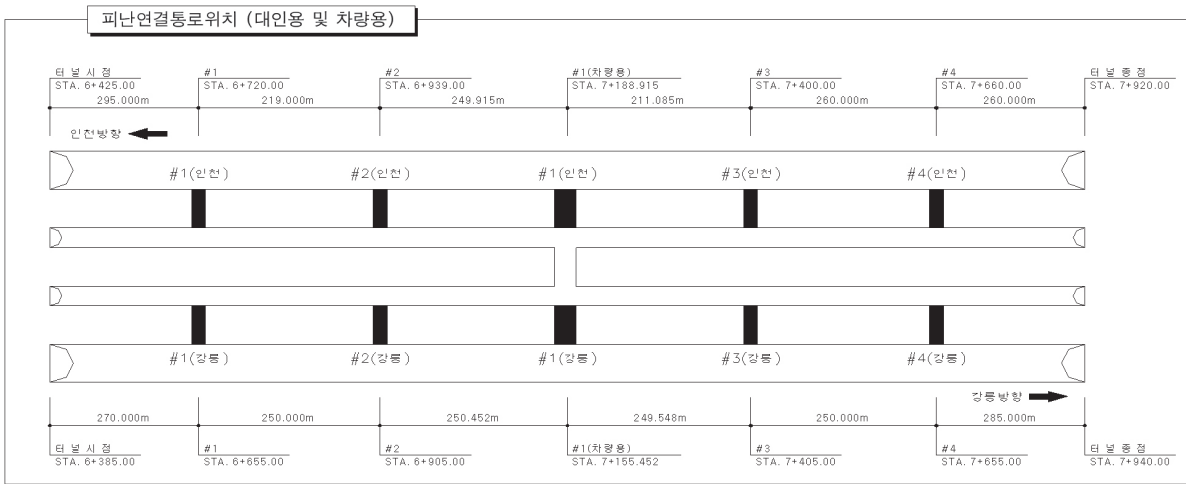


그림 1. 마성터널 피난연결통로 위치도

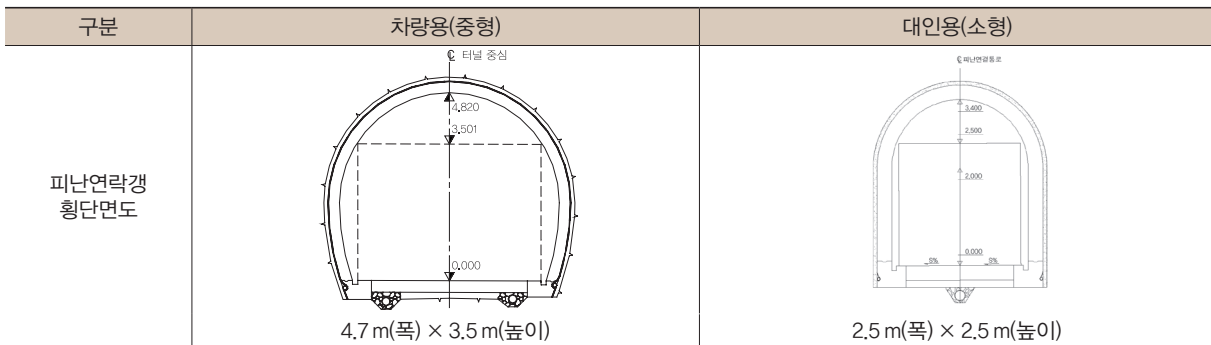


그림 2. 피난연락갱 제원



그림 3. 피난연락갱 시공순서

을 관찰·기록하는 것에 따라 시공 중·후 변화 확인의 기본 자료가 된다.

지반조사는 설계시 조사된 토질보고서를 기초로 신설 터널측 피난연락갱 굴착시 관측된 지반과 기존 터널 라이닝 천공시 관측된 지반으로 해당 지역의 지형·지질조건을 파악하였다.

#### 4.1.1 현장조사 결과

콘크리트 라이닝의 건전도 조사 결과 차량용 피난연락갱 시공위치의 라이닝 천단부에 <그림 4>와 같이 균열이 관측되었다. 이러한 형태의 균열은 일반적으로 잘 알려진 비구조적인 균열인 것으로 관측되나 피난연락갱 시공시 라이닝 단부 지지점이 상실된 상태에서는 콘크리트 라이닝의 변형 및 낙반 가능성을 배제할 수 없어 시공중 안전성 여부에 대한 검토가 필요하다.

차량용 피난연락갱 시공위치에서 기존 콘크리트 라이닝의 코어를 채취하여 라이닝 두께 및 비파괴 시험을 측정한 결과 소요 두께(30 mm) 및 설계강도(24 MPa) 이상으로 양호한 상태였다.

신설 터널측 피난연락갱 굴착부와 기존 터널 천공부를 통한 내부지반 확인 결과 1등급의 견고한 암반으로 이완·하중 작용에 따른 균열의 가능성은 매우 낮은 것으로 평

가되었다. 그러나 현 설계기준을 만족하는 강지보나 락볼트 보강이 적용되지 않은 상태로 기존 터널 라이닝의 응력상태 및 여유력을 확인할 수 없는 문제점이 있어 공사중 및 공사완료 후 안전성을 검토하였으며, 특히 공사중 라이닝의 지점상실에 따른 낙반 위험요소, 피난연락갱 단면축소 등 대책방안을 수립하였다.

#### 4.2 피난연락갱 시공중 안전성 확보 방안

기존 마성터널 차량용 피난연락갱 교차부는 <그림 5>와 같이 시공이음 간격이 9 m이나 계획된 차량용 피난연락갱 굴착폭이 10.6 m로써 콘크리트 라이닝 굴착시 라이닝 하부지지점이 상실되어 별도의 대책없이 시공시 <그림 6>과 같이 라이닝 본체의 낙반 및 붕괴 가능성이 예상되어 이에 대한 공사중 안전성 확보방안을 검토하였다.

##### 4.2.1 피난연락갱 접속부 단면변경

공사중 및 공사 완료 후 안전성 확보를 위하여 우선 라이닝 굴착 폭원을 <그림 7>과 같이 당초 10.6 m에서 7.3 m로 축소하여 공사중 라이닝 붕괴 가능성을 최소화 하였다.

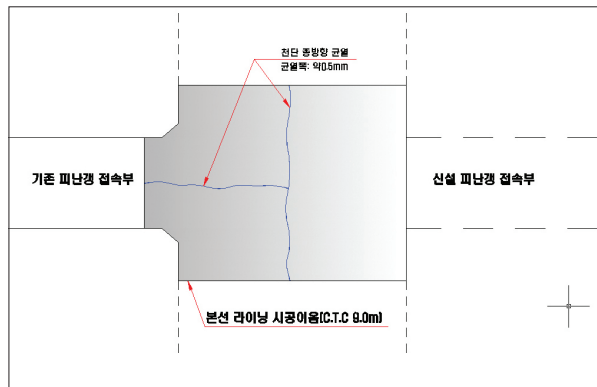


그림 4. 기존 터널 라이닝 균열조사 결과



그림 5. 기존 터널 차량용 피난갱 설치위치

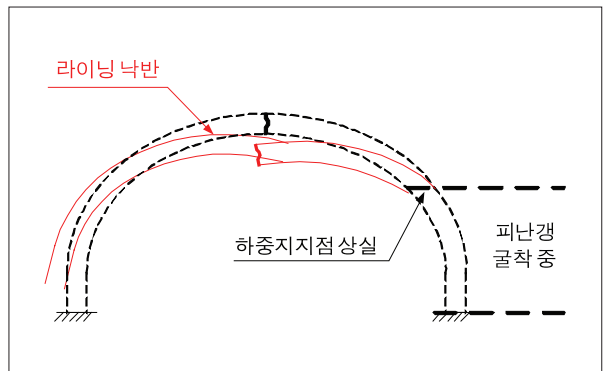


그림 6. 피난갱 굴착시 라이닝 붕괴 예상도

### 4.2.2 기존 라이닝 공사중 강지보공 설치

기존 터널에서 라이닝 굴착시 천단 균열부와 단면 손실에 따라 라이닝 붕괴발생이 예상되므로 H-형 강지보공을 설치하여 공사중 라이닝 안전성을 확보하였다. 강지보공은 기존 라이닝이 시공이음 9.0m의 분리구조임을 감안하여 <그림 8>과 같이 굴착폭원 7.3m에서 기존 라이닝 9.0m 범위 내에 설치될 수 있도록 계획하였다.

피난연락갱 굴착에 따른 이완하중 발생시 강지보공의 안전성 확보여부에 대하여 구조 검토를 수행하였으며, 모델링을 통한 구조검토 결과 최대 단면력 발생 부재에서도 안전성이 확보되는 것으로 검토되었다.

### 4.2.3 라이닝 안전성 평가

공사완료 후 안전성 확인 및 기존 라이닝을 지지하는 차량용 피난연락갱 교차부의 설계 적정성을 검토하기 위하여 대상 구간의 상세해석을 실시하였다. 지반조건 2등급암, 이완하중 0.5m의 조건에 따라 검토한 결과 공사완료 후 교차부 안전성을 확보하는 것으로 검토되었다.

### 4.3 굴착방법

피난연락갱은 신설 마성터널측에서 공사연장의 반 이상 시공되었고, 잔여 구간은 기존 터널로부터 약 8.0m 정도를 남겨둔 상태로 기존 터널로부터 신설 터널측으로 굴착토록 설계되었다. 터널 위치별 암반조건은 앞서 현장조사 결과에서와 같이 RMR 70 이상의 매우 양호한 상태이다.

피난연락갱의 굴착방법은 기존 터널 영향을 최소화하기 위하여 설계에서 전구간 미진동 발파를 제시하였으나, 기존 터널(무근 콘크리트 구조물)의 이격거리에 따른 진동기준치 5.0kine 기준으로 발파영향검토를 실시하여 <그림 9>와 같이 기존 터널 접합부에서 3.0m는 무진동 굴착공법을, 3.0m 이후 지역은 5.0kine 이내가 되도록 굴착공법 및 장약량 조절을 하여 시공하였다. 발파시 기존 및 신설 터널 라이닝에 대한 계측 및 균열발생 관측을 통하여 굴착 방법의 적정성을 확인하였으며, 제트팬 등 터널내부 상단에 장착되는 시설물을 철거한 상태로 기존 라이닝에 대한 영향은 미미한 것으로 판단된다.

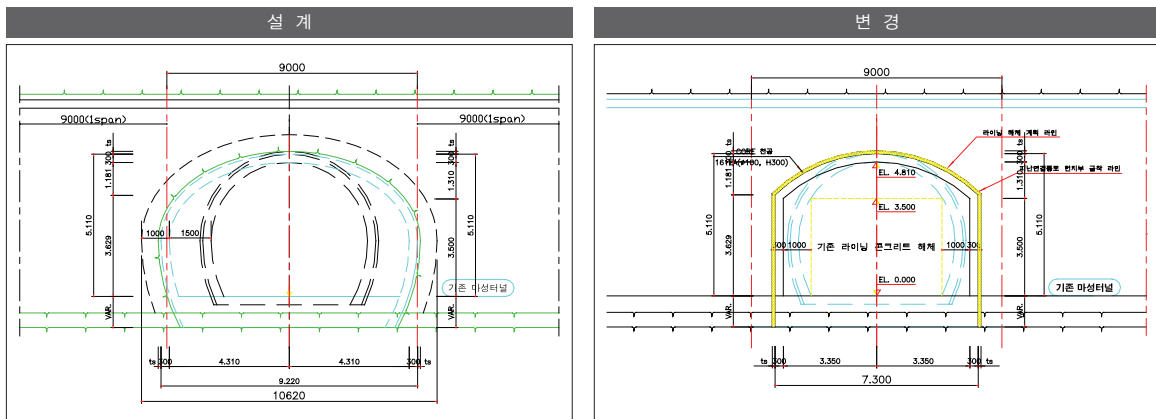


그림 7. 기존 마성터널 차량용 피난갱 접속단면 축소

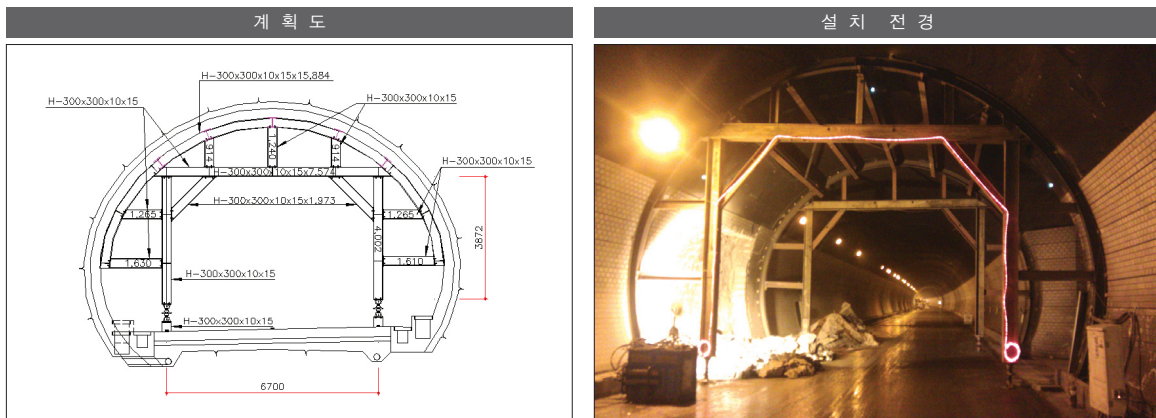


그림 8. 라이닝 공사중 지보공 계획도 및 전경

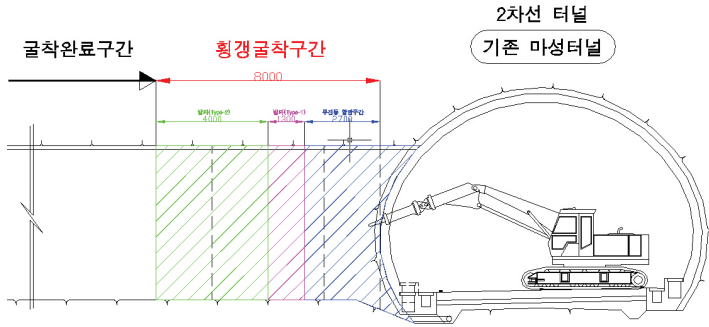


그림 9. 피난연락갱 굴착 개요도 및 굴착 사진

#### 4.4 계측을 통한 시공관리

공사중 및 공사완료 후 라이닝 안전성을 검토하여 보강방안을 수립하였고, 차량용 피난연락갱 굴착시 기존 터널 교차부에 영향 여부에 대한 계측계획을 수립해 계측결과에 따라 유해의 유무를 판단하여 보강방안의 적정성 여부를 확인하였다.

신설 피난연락갱 굴착시 지반의 응력이 해방되어 기존 라이닝부에 이완 및 측압이 작용하게 되므로 균열 게이지 및 변위계를 설치하였다. 변위계는 라이닝 천단부 및 어깨부에 설치하여 굴착에 대한 변위응답을 측정하였고, 균열 게이지는 천단부 균열 시점, 중앙점, 종점 및 기존 피난연락갱 접속부 균열부에 설치하여 균열의 확대여부를 측정하였다. 시공전 균열 상세조사를 통하여 균열 폭, 균열 개소 등을 조사하고 굴착에 따른 균열폭 확대 및 추가균열이 발생하는지를 확인하여 기존 라이닝의 응력 변화 추이를 관측하였다.

계측결과 <표 2>와 같이 최대 측정값이 모두 관리기준 이하였으며, 이는 공사중 라이닝 강지보 설치가 본선 라이닝 구간의 변위를 효과적으로 제어하고 있는 것으로 확인되었다.

<그림 10>과 같이 동일한 시공단계에서 위치별 라이

닝 응력이력을 측정된 결과 라이닝 천단 및 어깨부 모두 횡압축 응력이 발생하였으며, 이는 천단부가 균열에 의해 힌지구조화 된 것으로 판단된다. 또한 피난연락갱 굴착으로 인하여 주변 지반의 이완이 기존 터널 라이닝 전체에 동일한 이완하중으로 작용하지 않는 것으로 판단되며, 향후 국부 지반손실에 따른 이완영역 이력에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

강지보공에서 계측된 응력 결과는 굴착작업중 응력이 최대가 되고 이후 수렴되는 것으로 나타났으며, 허용응력 이내로 시공중 안전성에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 계측결과로 볼 때 공사전 강지보 구조해석에 의한 단면력과 유사하게 나타나 굴착 작업중 라이닝 자중 및

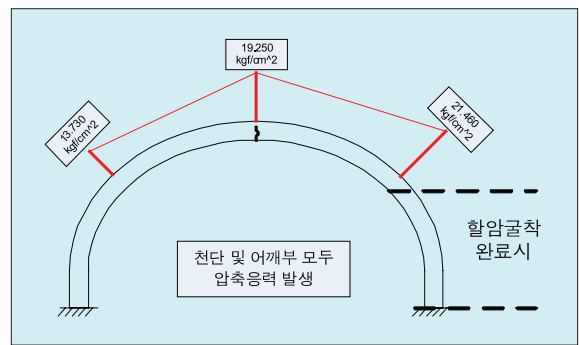


그림 10. 위치별 라이닝 응력계 측정결과

표 2. 차량용 피난연락갱 계측기 설치위치 및 측정결과


계측기 설치위치	구분	계측항목	측정값(최대값)	관리기준	판정
	인천 방향	천단침하계	0.0 mm	± 5.0 mm 이내	OK
		내공변위계	-1.0 mm	± 5.0 mm 이내	OK
		구조물응력계	609.12 kgf/cm <sup>2</sup>	2,100 kgf/cm <sup>2</sup>	OK
		라이닝응력계	19.42 kgf/cm <sup>2</sup>	96 kgf/cm <sup>2</sup>	OK
	강릉 방향	천단침하계	0.0 mm	± 5.0 mm 이내	OK
		내공변위계	-1.0 mm	± 5.0 mm 이내	OK
		구조물응력계	396.57 kgf/cm <sup>2</sup>	2,100 kgf/cm <sup>2</sup>	OK
		라이닝응력계	21.26 kgf/cm <sup>2</sup>	96 kgf/cm <sup>2</sup>	OK

이완하중이 상당부분 작용한 것으로 판단되며, 피난연락 갱 굴착에 따른 라이닝 붕괴 예방을 위한 보강공법으로 적용된 방안은 적절한 보강대책인 것으로 판단된다.

### 5. 맺음말

터널내 대형사고 발생에 대한 피해를 최소화하기 위하여 터널 방재기준은 지속적으로 강화되고 있어 기존 터널에서의 피난연락갱 설치는 더욱 증가될 것으로 예상된다. 하지만 기존 터널의 피난연락갱 교차부는 현황 확인이 제한적이며, 설계 및 공사에 대한 세부기준이 수립되지 않았다. 또한 터널 내부의 협소한 공간과 교통차단기간 최소화 필요 등의 주변상황을 고려할 경우 기존 라이닝 철거후 피난연락갱 설치는 현실적으로 어렵다.

국내 최초로 시공한 기존 마성터널에서의 피난연락갱 사례는 좋은 선례가 될 것이다. 특히 공사중 및 완료 후 라이닝 교차부의 안전성 확보를 위한 검토내용과 시공 사례는 시공 전 반드시 참고하여 조치하여야 할 것이다. 그리고 터널의 라이닝 시공이음을 고려한 피난연락갱 접속 단면과 공사중 및 완료 후에 대한 설계검토와 안전성 확보방안은 다양한 방법이 제시되어야 할 것이다.

기존 마성터널 피난연락갱 교차부는 현 설계 기준에서 요구하는 지보 및 라이닝 철근보강이 본선구간에 적용되지 않았다. 이로 인해 기존 터널 미보강에 따른 장기 안전성 확보여부 또는 현 설계기준의 안전율 과다의 논란 소지가 남아있다. 이를 위하여 현재 굴착중인 터널현장을 다수 선정하여 공사완료 후까지 지반의 이완하중 변동 여부에 대한 장기간 계측 결과와 기 시공된 미보강 피난연락갱 구간의 관측을 통하여 현실에 맞는 설계기준 정립이 필요하다. 

### 저자약력



**박성태 처장**은 중부내륙고속도로 공사 팀장, 도로처 포장팀장을 거쳐 성서-옥포간 확장공사 및 88선확장공사 사업단장과 신갈-호법 확장공사 사업단장을 역임하는 등 주로 확장공사를 사업책임자로 담당하였으며, 현재는 한국도로공사 교통센터 센터장으로 재직중에 있다.

bstar1@ex.co.kr



**엄인섭 팀장**은 경희대학교 토목공학과에서 프리스트레스 접속슬래브포장에 관한 연구로 박사학위를 취득하였고, 1991년부터 한국도로공사에서 고속도로 건설정책, 유지관리, 설계 및 공사관리 업무를 수행하였으며, 특히 국내 최대 최초의 4차로 청계터널과 영종대교 민자사업 등 다수의 건설사업 경험을 바탕으로 현재는 VE활동에 주력하고 있다.

dthree@ex.co.kr



**김태건 차장**은 경기대학교 토목공학과를 졸업한 후 한국도로공사에 입사하였다. 신갈~호법간 고속도로 확장공사 설계차장으로 근무하면서 우리나라 최초로 기존 터널에서 피난연락갱 시공을 위한 설계검토를 시행하였으며, 현재 한국도로공사 설계처에서 터널 관련 설계업무를 담당하고 있다.

gunk918@ex.co.kr