안전하고 편리한
미래교통 플랫폼 기업

상임감사위원
김창환

부 장	처 장	본부장
배성기	강경득	윤한수

등록번호	설계처-2537
보존기간	10년
결재일자	2025. 9. 30.
공개구분	공 개

건 설 처 장: 손영호
품질환경처장: 김창호
기술심사처장: 김재래

고속도로 구조물 GFRP 보강근 확대적용 방안

2025. 07

설계계획부장 : 이진만
설계기준팀장 : 이예찬
도로설계부장 : 최홍석

한국도로공사 | 설 계 처 최광두
최정한

안전하고 편리한 미래교통 플랫폼 기업

상임감사위원

부 장	처 장	본 부 장

등록번호	설계처-
보존기간	
결재일자	2025. . .
공개구분	공 개

건 설 처 장:

품질환경처장:

기술심사처장:

고속도로 구조물 GFRP 보강근 확대적용 방안

2025. 07

설계계획부장 :

설계기준팀장 :

도로설계부장 :

한국도로공사 | 설 계 처

ex ESG경영 자체 사전성과 평가표

▣ 과제명 : 고속도로 구조물 GFRP 보강근 확대적용 방안

Ⅰ. 전략목표 연계성 점검

〔복수선택 가능〕

목표	고품질의 스마트 고속도로 건설	유지관리 최적화로 쾌적한 주행환경 제공	원활한 교통소통 및 교통안전 선진화	영업 서비스 혁신 (휴게시설·통행요금)	효율·공정의 경영혁신 및 지속성장
과제	■ 튼튼한 고속도로 건설	□ 예방적 재난·안전관리	□ 국민안심 교통안전 강화	□ 영업 서비스 품질 제고	□ 디지털 기반 경영혁신
	□ 미래도로 건설 선도	□ 스마트 시설물 관리	□ 뉴모빌리티 인프라 구축	□ 인프라 기반 서비스 확대	□ 신사업 육성
	□ 민간협력 생태계 확산	□ 쾌적한 주행환경 조성	□ 막힘없는 고속도로 운영	□ 편리한 고객안심 서비스 제공	□ 지속가능한 책임경영

Ⅱ. ESG경영 사전성과 평가

① 계량평가 : 해당되는 기여성과에 체크 후 산식 및 결과 산출

기여성과	내 용	비 고
①기여성과 지표설명	-	
② 산 식	-	
③ 산출결과	-	

② 비계량평가 : 해당되는 추구가치 체크 후 비계량 성과 작성

〔복수선택 가능〕

부 문	E(환 경)	S(안 전)	S(사회적 책임)	G(기업경영)
구 분	□ 에 너 지 □ 환경보전	□ 플 랫 폼 ■ 건 설 □ 교 통 □ 작 업 장 □ 유지관리 □ 영 업	■ 상생협력 □ 지역발전 □ 취약계층 지원 □ 일 자 리 □ 시민참여	□ 윤 리 □ 정 책 □ 조 직
성 과	혁신	철근대체 신소재 GFRP 보강근 확대 적용을 통한 고속도로 구조물 내구성 향상 및 건설 신소재 활용 다각화		

Ⅰ 검토 목적

□ 교량 바닥판, 콘크리트 방호벽에 적용 중인 GFRP 보강근을 부식에 취약한 구조물 전반에 확대 적용하여 내구성 증진 및 LCC 향상 도모

※ GFRP 보강근 및 철근 특성 비교

구 분	강 도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	부식	가공방법
GFRP 보강근	850~1,200	45~60	無	공장
철 근	300~600	200	有	공장, 현장

Ⅱ 그 간의 추진 경위

□ '20. 07. : 철근 대체 신소재(FRP) 적용방안 검토

□ '21. 07. : 바닥판 시험시공 - 남구리IC R/E교(L=293m, B=10.2m)

□ '22. 06. : GFRP 보강근 설계 적용성 연구(~'23)

□ '22. 08. : 고속도로 GFRP 보강근 잠정 설계 및 시공지침 시행

□ '23. 06. : 콘크리트 난간방호벽 적용방안 수립(SB5, SB6 등급)

□ '24. 01. : 국가건설기준 제정 및 고시(KDS/KCS 24 50 05)

□ '24. 06. : GFRP 보강근 현장조립 잠정 일위대가 적용방안 수립

※ 표준품셈 제정 건의(도공→건설기술연구원) 및 품셈 제정 예정('25 말)

□ '24. 09. : GFRP 소재 관련 국가 R&D 연구 수행(~'27)

Ⅲ 국내·외 기준 및 사례분석

□ 국내 기준

○ 기 준 명 : GFRP 보강근용 콘크리트 교량 설계기준(KDS 24 50 05)

○ 적용범위

- 콘크리트 교량의 **휨지배 구조물에 대한 기준** 제시
- **휨, 전단**에 대한 **공통 설계기준**과 **교량 바닥판, 콘크리트 방호벽**에 대한 세부 설계 조항 포함

※ 휨지배 구조물 한정 취지

> · 국가기준 최초 제정임을 감안하여 **적용 사례가 많은 휨 지배 구조물에 대해 우선적으로 적용**하고, 향후 개정을 통해 점진적으로 확대
> · ACI, AASHTO 등의 규정에는 포함된 압축부재, 내진 및 내화설계 규정 등은 국내에서 추가적인 연구를 통해 적용성 확인 필요

- 교량의 주요 부재 외에도 **동일한 개념(휨지배)**으로 설계가 가능한 콘크리트 부재는 **KDS 24 50 05를 적용하여 설계 가능**

□ 해외 기준

○ 미국, 캐나다 등 북미지역은 AASHTO[1], ACI[2], CSA[3] 등에서 관련 기준을 마련하고 신규 연구 성과를 반영하여 지속 개정

○ 플로리다, 버지니아, 텍사스 등 주요 교통청(DOT)에서는 AASHTO, ACI 등을 기반으로 한 구조설계지침, 설계 매뉴얼 등 개발 및 적용

○ 유럽은 유로코드 개정 2판에 FRP 보강근 설계기준 포함 예정이며, fib MC(2020)[4]에는 FRP 보강근 설계기준 제시

1) American Association of State Highway Transportation Officials, 미국 도로교통 공무원 협회
2) American Concrete Institute, 미국 콘크리트 학회
3) Canada Standard Association Group, 캐나다 표준 협회
4) fib(International Federation for Structural Concrete,국제콘크리트연맹) Model Code for Concrete Structures

※ FDOT(플로리다) Structural **Design** Manual - Volume 4 (FRP Guidelines, 2024)



· **구조물 적용 범위**
- 교량 바닥판 및 접속슬래브
- 현장 타설 슬래브교
- 파일 벤트 캡 (**수중부는 GFRP, CFRP만 허용**)
- 교각 기둥 및 캡 (**수중부는 GFRP, CFRP만 허용**)
- 옹벽, 방음벽, 배수시설, 보강토옹벽 패널, 방호벽, 암거

· **설계는 AASHTO LRFD 및 ACI GFRP 규정에 따름**

□ 적용사례

○ **(북미)** '16년까지 약 500여개 이상의 교량, 항만시설 등 건설완료, GFRP 뿐만 아니라 고가의 내식성 소재 스테인리스 철근도 적용

※ 북미지역 GFRP 보강근 적용 사례

프리캐스트 바닥판	프리캐스트 말뚝	거 더
		

○ **(일본)** '10년부터 비금속성 소재 교량 기술 추진, 최근 철근 및 강연선 없이 FRP 소재로만 보강된 교량 건설 완료('20)

○ **(유럽)** 도로, 보도교 및 지하연속벽 등 지중 구조물 활용사례 다수

□ 소 결

◈ 해외에서는 '90년대 후반부터 **설계기준 마련, 장기 추적 조사 등을 통해 GFRP 보강근 도입하고 및 내구성 증진 등 효과 입증**

◈ **도로 구조물은 GFRP 보강근 적용 효과가 가장 큰 시설물로** 내구성 향상을 위해 **GFRP 보강근 확대 적용 방안 마련 필요**

Ⅳ GFRP 보강근 적용방안

검토 방향	· GFRP 보강근 적용 대상구조물 분류 및 적용 방안 · GFRP 보강근 특성을 고려한 적용 한계 및 대체재 제시

□ GFRP 보강근 적용 대상 검토

○ **(적용대상) 염화물, 동결융해 등 콘크리트 노출등급**에 따라 비부식 소재인 **GFRP 보강근 적용 대상 분류 및 적용**

※ GFRP 보강근 적용 노출등급

부식조건	탄산화	염화물, 해수	동결융해	황산염
노출등급	EC4	ES1~3	EF1~4	EA1~3
주요부재	옹벽, 암거 등 배수시설	바닥판, 방호벽, 교대, 방음벽 기초, 접속슬래브 등 염화물 직접 노출 및 비산 영향 범위* 내 주요 구조부재		-

* 염화물 비산 영향 범위

· **콘크리트구조물 내구성 설계 및 시공기준 적용 가이드라인(2023)**
- **차도로부터 수평방향 10m, 수직방향 5m 이내**에 있는 모든 콘크리트 노출면
- **해수 물보라 지역(비말대) 및 간만대**에 건설된 구조물

○ **(적용제외) 성능 규명이 필요한 구조시스템**은 **추후 적용** 검토

– **(지진저항시스템) 교각 기둥, 현장타설말뚝과 기초 결합부 등**은 국내 실정에 맞는 **내진 상세 등 설계기준 정립 후 적용**

※ ACI 440.11-22 Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer(GFRP) Bars

·내진설계범주 A 전체 및 B, C는 지진력 비저항 구조부재에 적용 가능
·내진설계범주 D~F는 현 기준에 포함하지 않으며 연구개발이 진행되고 있어 향후 개정판에 수록 예정

– **(내화성능) 터널 라이닝, 개착 박스(차도)** 등 내화설계 대상 부재는 **온도에 따른 GFRP 보강근 및 콘크리트 구조체 거동 특성 규명** 필요

□ GFRP 보강근 적용 등급

○ **(관련기준)** 국내 기준에서는 보장인장강도 및 탄성계수에 따른 등급 구분이 없이 **최소보장인장강도 및 탄성계수** 제시

○ **(등급적용)** 제조사 기술개발을 독려하고 과도한 배근에 따른 시공성 저하를 개선하기 위해 **2개 등급으로 분류하여 최소값 상향 적용**

구 분		Grade-B(Basic)	Grade-E(Extra)	KCS 24 50 05
최소보장 인장강도* (MPa)	직선 보강근	D25 이하 850 이상	D25 이하 1,000 이상	D19 미만 850 이상 D19 이상 800 이상
	굽힘보 강근	D25 이하 320 이상	D25 이하 390 이상	D19 미만 300 이상 D19 이상 280 이상
탄성계수 (GPa)	직선 보강근	50 이상	55 이상	45 이상
	굽힘 보강근**	45 이상	50 이상	-
적용대상		배수 시설 등 소구조물, 방호벽, 방음벽 기초 등	교량 주요 구조부재, 암거	-

* CSA S807:19 규정 참고 및 설계 활용도를 고려하여 D25 이하에 대해 정의함. D29이상 적용이 필요한 경우 설계 규격에 적합한 제품을 적용할 수 있음

** 굽힘보강근의 직선부 탄성계수

○ **(고성능 보강근)** 향후 탄성계수 60 GPa급 GFRP 보강근 개발 완료*시 **Grade-S(Super)** 부여

* 과제명: 건설용 친환경 열경화성·열가소성 인발성형 구조재(보강근, 형강) 및 이를 활용한 구조물 적용 기술개발(~ '27)

□ 설계도면 표기

○ **(목 적)** 현행 국가기준은 최소값을 표시한 것으로, 설계도서에 적용 등급을 명확히 표기하여 적정 자재가 선정, 사용될 수 있도록 함

○ **(도면 표기)** 직선 및 굽힘 보강근을 구분하여 **부재별로 설계에 적용한 보장인장강도(f_{fu}^*, f_{fb}^*) 및 탄성계수** 등을 표기

※ 설계도서 표기 예시(특기사항)

① 00교 GFRP 보강근 최소품질 요구사항

구 분	등 급	기호	항 목	규 격	적용값
직 선 보강근	Grade -E	GE00 (00:직경)	보장인장강도(f_{fu}^*)	직경별	1,000 MPa
			탄성계수(E_f)	직경별	55 GPa
굽 힘 보강근	Grade -E		보장인장강도(f_{fb}^*)	직경별	390 MPa
			탄성계수(E_f)	직경별	50 GPa

주) 상기 최소품질요구사항은 KCS 24 50 05의 최소 요구값을 상회하므로 공급원 승인 요청시 제조사별 성능을 확인하여야 한다.

□ 기타사항

○ **(참조기준)** 국가건설기준에 수록되지 않은 사항*은 **설계기술자의 판단**에 따라 **최신 AASHTO, ACI, CSA 등 해외기준 참조하여 설계 가능**

* 하이브리드(철근+GFRP) 설계, 응력교란영역 스트럿타이모델 설계 등

○ **(내식성 철근)** 용접이 필요한 요소 또는 커플러 이음이 필요한 위치 등 GFRP 보강근 사용이 불리한 부재는 **내식성 철근*** 적용

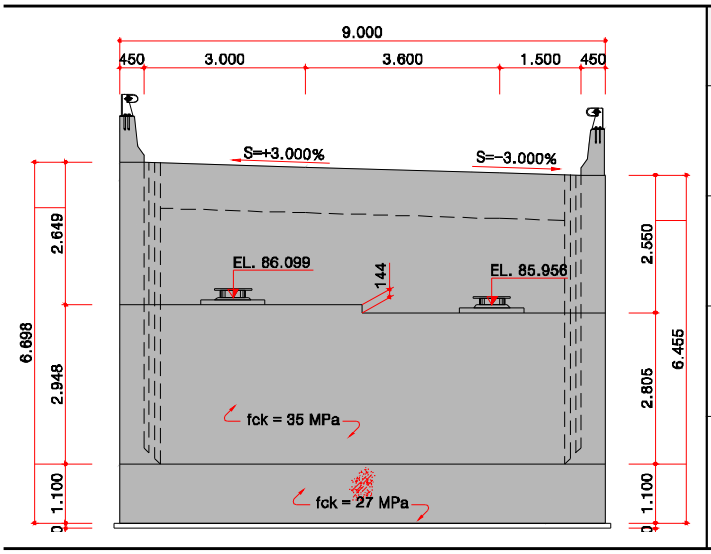
* 아연도금 (중공)철근, 스테인리스 철근 등 부식에 강한 철근

- 예) 신축이음부 1.5 m 이내, 교량 받침부 등

V 시범설계(교대)

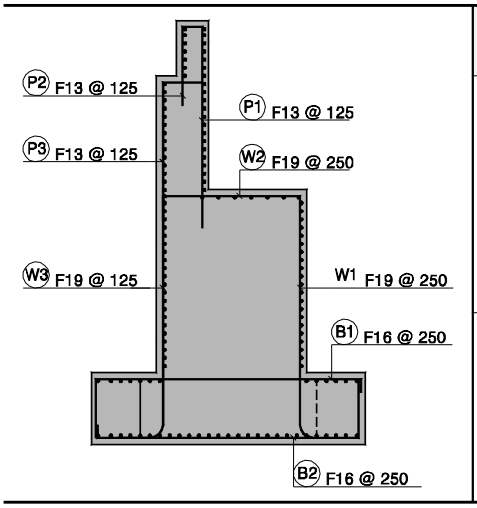
□ 설계조건

○ 고속도로에 주로 적용하는 벽체높이 7m 교대 검토



교대설계조건	
• 교대제원	높이(H) = 6.7 m 폭원(B) = 9.0 m
• 설계압축강도	기초 : 27 MPa 구체 : 35 MPa
• 노출등급	구체 : ED3 기초 : EC2
• GFRP보강근 적용등급	직선근 : Grade-E 곡선근 : Grade-E

□ 설계결과



구 분		① 철근	② GFRP	②/①
주보강근	전면저판	H16@125	GE16@125	100%
	후면저판	H16@125	GE16@125	100%
	벽체	H19@125	GE16@125	69%
	흉벽	H13@125	GE13@125	100%
온도/수축	기초	H16@150×2	GE19@125×2	173%
	벽체	H19@125×2	GE22@100×2	169%
	흉벽	H13@125×2	GE16@125×2	157%

○ 주보강근은 현행 철근 설계와 유사한 수준으로 소요배근량 결정

○ 건조수축 온도 보강근은 약 1.5배 이상 배근되며, 철근 대비 낮은 탄성계수로부터 결정 (철근 200 GPa, GFRP 보강근 55 GPa)

Ⅵ 적용방안 및 향후계획

□ 적용방안

○ (**설계중인 노선**) 본 방침 적용

○ (**건설중인 노선**) 예산, 공정추진 등 현장여건을 고려하여 본 방침 적용

□ 협조사항

○ (**품질환경처**) GFRP 소재 품질관리지침* 제정 및 시행

* 제품 현장 반입 시 육안 검사, 불량 자재 처리, 시공 중 품질관리 등 지침 필요

□ 향후계획

○'25. 07. : GFRP 보강근용 구조물 설계 예제집 제작 및 배포

○'25. 12. : GFRP 보강근용 방음벽 기초 개발

※ ('24.~ '25.) GFRP 보강근을 활용한 방음벽 기초 개발 연구(도로교통연구원, 설계처)

○'24. 09. ~ `25. 12. : 국가건설기준 해설서 발간

○'24. 09. ~ `27. 12. : GFRP 관련 국가 R&D 시행

○'25. ~ : GFRP 보강근 관련 기술개발 및 적용성 검증 연구 지속 추진

* 암거 표준도 개발, 내진성능 검증, GFRP 보강근망 공장 제작 모듈화 상세 개발 등

붙 임 : 1. 노출 등급 기준
2. 주요 부재별 GFRP 보강근 적용 조건표
3. LCC 분석(바닥판 기준)
4. 내식성 철근 규격
5. GFRP 바닥판 신축이음장치 연결부 상세(예시)
6. GFRP 보강근 설계 참조 기준
7. 설계자문 결과
8. GFRP 보강근용 구조물 설계 예제집

붙임 1 노출 등급(콘크리트 구조물 내구성 설계 및 시공기준 적용 가이드라인, 2023)

범 주	조 건	예
1. 일 반		
E0	·물리적, 화학적 작용에 의한 콘크리트 손상의 우려가 없는 경우 ·철근이나 내부 금속의 부식 위험이 없는 경우	·공기중 습도가 매우 낮은 건물 내부의 콘크리트
2. 탄산화		
EC1	·건조하거나 수분으로부터 보호되는 또는 영구적으로 습윤한 콘크리트	·공기 중 습도가 낮은 건물 내부의 콘크리트 ·물에 계속 침지 되어 있는 콘크리트
EC2	·습윤하고 드물게 건조되는 콘크리트로 탄산화의 위험이 보통인 경우	·장기간 물과 접하는 콘크리트 표면 ·외기에 노출되는 기초
EC3	·보통 정도의 습도에 노출되는 콘크리트로 탄산화 위험이 비교적 높은 경우	·공기 중 습도가 보통 이상으로 높은 건물 내부의 콘크리트[1)] ·비를 맞지 않는 외부 콘크리트
EC4	·건습이 반복되는 콘크리트로 매우 높은 탄산화 위험에 노출되는 경우	·EC2 등급에 해당하지 않고, 물과 접하는 콘크리트(예를 들어 비를 맞는 콘크리트 외벽, 난간 등[2)])
3. 해양환경, 제빙화학제 등 염화물		
ES1	·보통 정도의 습도에서 대기 중의 염화물에 노출되지만 해수 또는 염화물을 함유한 물에 직접 접하지 않는 콘크리트	·해안가 또는 해안 근처에 있는 구조물[3)] (해안선에서 250m 이내, 단 3면이 해풍 영향을 받을 경우 별도 검토) ·도로 주변에 위치하여 공기중의 제빙화학제에 노출되는 콘크리트
ES2	·습윤하고 드물게 건조되며 염화물에 노출되는 콘크리트	·수영장
ES3	·항상 해수에 침지되는 콘크리트	·해상 교각의 해수 중에 침지되는 부분

ES4	·건습이 반복되면서 해수 또는 염화물에 노출되는 콘크리트	·해양 환경의 물보라 지역(비말대) 및 간만대에 위치한 콘크리트 ·염화물을 함유한 물보라에 직접 노출되는 교량 부위[4] ·도로 포장 ·주차장[5]

4. 동결융해

EF1	·간혹 수분과 접촉하나 염화물에 노출되지 않고 동결융해의 반복작용에 노출되는 콘크리트	·비와 동결에 노출된 수직 콘크리트 표면
EF2	·간혹 수분과 접촉하고 염화물에 노출되며 동결융해의 반복작용에 노출되는 콘크리트	·공기 중 제빙화학제와 동결에 노출되는 도로구조물의 수직 콘크리트 표면
EF3	·지속적으로 수분과 접촉하나 염화물에 노출되지 않고 동결융해의 반복작용에 노출되는 콘크리트	·비와 동결에 노출되는 수평 콘크리트 표면
EF4	·지속적으로 수분과 접촉하고 염화물에 노출되며 동결융해의 반복작용에 노출되는 콘크리트	·제빙화학제에 노출되는 도로와 교량 바닥판 ·제빙화학제가 포함된 물과 동결에 노출되는 콘크리트 표면 ·동결에 노출되는 물보라 지역(비말대) 및 간만대에 위치한 해양 콘크리트

5. 화학적 침식[6]

EA1	·보통 수준의 황산염이온에 노출되는 콘크리트	·토양과 지하수에 노출되는 콘크리트 ·해수에 노출되는 콘크리트
EA2	·유해한 수준의 황산염이온에 노출되는 콘크리트	·토양과 지하수에 노출되는 콘크리트
EA3	·매우 유해한 수준의 황산염이온에 노출되는 콘크리트	·토양과 지하수에 노출되는 콘크리트 ·하수, 오폐수에 노출되는 콘크리트

주 1) 중공 구조물의 내부는 노출등급 EC3로 간주할 수 있다. 다만, 외부로부터 물이 침투하거나 노출되어 영향을 받을 수 있는 표면은 EC4로 간주하여야 한다.

2) 비를 맞는 외부 콘크리트라 하더라도 규정에 따라 방수 처리된 표면은 노출등급 EC3로 간주할 수 있다.

3) 비래 염분의 영향을 받는 콘크리트로 해양환경의 경우 해안가로부터 거리에 따른 비래 염분량은 지역마다 큰 차이가 있으므로 측정결과 등을 바탕으로 한계영향 거리를 정해야 한다. 측정을 통해 한계영향 거리를 정하지 않는 경우 해안선으로부터 250m 이내로 한다. 또한 공기 중의 제빙화학제에 영향을 받는 거리도 지역에 따라 편차가 크게 나타나므로 기존 구조물의 염화물 측정 결과 등으로부터 한계 영향 거리를 정하는 것이 바람직하다.

4) 차도로부터 수평방향 10m, 수직방향 5m 이내에 있는 모든 콘크리트 노출면은 제빙화학제에 직접 노출되는 것으로 간주해야 한다. 또한 도로로부터 배출되는 물에 노출되기 쉬운 신축이음(expansion joints) 아래에 있는 교각 상부도 제빙화학제에 직접 노출되는 것으로 간주해야 한다.

5) 염화물이 포함된 물에 노출되는 주차장의 바닥, 벽체, 기둥 등에 적용한다.

6) 설계자가 화학적 침식에 대한 검토가 필요하다고 판단하는 경우 「콘크리트 구조물 내구성 설계 및 시공기준 적용 가이드라인(2023)」 따라 별도 검토한다.

붙임 2 주요 부재별 GFRP 보강근 적용 조건표

구조물	부 재	GFRP	철근	적용가능한 조건
교 량	현장타설 바닥판	◎	X	·EC4, ES1 또는 4, EF4
	프리캐스트 데크	◎	○ (내식성)	·EC4, ES1 또는 4, EF4 (GFRP 불가시 내식성 철근)
	전단면 바닥판	◎	○ (내식성)	·EC4, ES1 또는 4, EF4 (GFRP 불가시 내식성 철근)
	슬래브(상부구조)	◎	○ (내식성)	·EC4, ES1 또는 4, EF4 (GFRP 불가시 내식성 철근)
	신축이음부	X	◎ (내식성)	·EC4, ES1 또는 4, EF4 (내식성 철근 적용)
	교좌면	X	◎ (내식성)	·EC4, ES1 또는 4, EF4 (내식성 철근 적용)
	코 핑	x	◎	·GFRP 시공성 검증 ·해상, 신축이음부 내식성 철근
	기 둥	x	◎	·GFRP 내진성능 검증 ·해상, 신축이음부 내식성 철근
	기 초	○	○	·EC1~2 또는 EC4, ES1~4
	교대 벽체 및 흉벽	◎	○(내식성)	·EC4, ES1 또는 ES4, EF2~4
	거 더	x	◎	·프리스트레스 구조 검증
	지하차도	x	◎	·GFRP 내화 검증
	방호벽	◎	x	·EC4, ES4, EF4
	접속슬래브	◎	x	·EC4, ES4, EF4
터 널	라이닝	x	◎	·내화 검증 ·EC1, ES4(내식성 철근)
	풍도슬래브	x	◎	·내화 검증 ·EC1
배 수	수로암거	◎	○	·EC4, EA1~EA4
	통로암거	○	○	·EC3
	개 거	◎	x	·EC4
방음벽	콘크리트 기초	◎	x	·EC4, ES4, EF4
옹 벽	철근콘크리트 옹벽	○	○	·EC4, ES1~4, EF1~4
	프리캐스트 패널식	○	○	·EC4, ES1~4, EF1~4

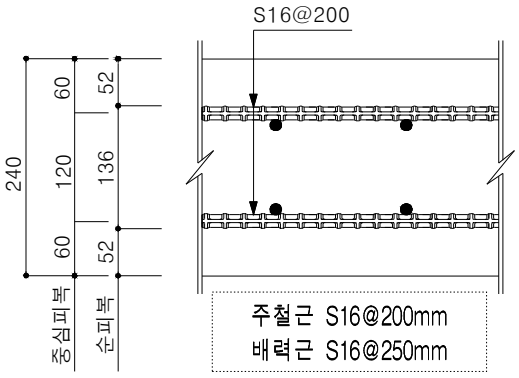
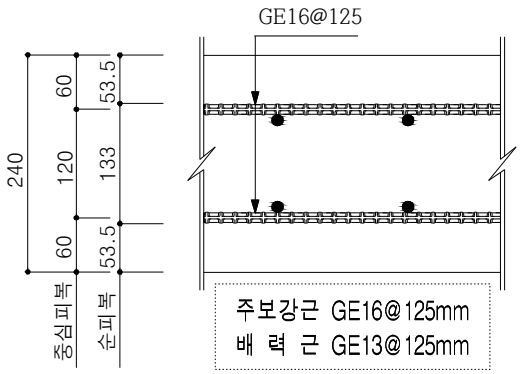
주1) ◎ 우선 적용, ○ 공법별 특성, 적용 여건, 경제성 등 비교 검토, x 미적용

주2) **설계자는 상기 표를 참조하여 노출조건, 작업여건, GFRP 보강근 적용 제한 사항 등을 종합적으로 검토하여 GFRP보강근, 내식성 철근, 일반 철근 적용을 결정하여야 함**

주3) 코핑, 기둥, 거더, 라이닝, 풍도슬래브는 내화, 내진 성능 및 시공성 등 검증 후 GFRP 보강근 적용 여부 판단

붙임 3 LCC 분석(바닥판 기준)

□ 바닥판 수량산출(L=100m, B=23m)

구 분	당 초 (일반철근, S16)	변 경 (GFRP 보강근, GE16)
단면도		
단위수량	50.61 kg/㎡ (31.55 m/㎡)	21.36 kg/㎡ (35.84 m/㎡)
사용수량	113.7 ton (72,713 m)	48.8 ton (79,235 m)

□ LCC 분석(24. 하반기 기준)

○ 일반철근

공 종	규 격	단위	수량	단 가	금 액	비고
합 계(공사비+유지관리비)					**1,081,622,000**	직공비
공사비 소계		식	1		**549,047,000**	
이형철근(SD500)	S13~S19	Ton	117.1	820,000	96,022,000	할증 3%
철근 가공 및 조립	현장	Ton	113.7	750,000	85,275,000	
기타 콘크리트 등	-	식	1	367,750,000	367,750,000	
유지관리비	내구연한 100년	식	1	532,575,000	532,575,000	

○ GFRP 보강근(GFRP 보강근 GE13~GE25 가중평균 환산: Grade-E)

공 종	규 격	단위	수량	단 가	금 액	비고
합 계(공사비+유지관리비)					**851,721,000**	직공비
공사비 소계		식	1		**574,323,000**	
GFRP 보강근	GE13~GE25	m	81,612	1,770	144,453,000	할증 3%
GFRP 가공 및 조립	공장 / 현장	m	79,235	784	62,120,000	
기타 콘크리트 등	-	식	1	367,750,000	367,750,000	
유지관리비	내구연한 100년	식	1	277,398,000	277,398,000	

□ 교량 바닥판 유지보수비 근거(건설기술연구원, 18.11)

FRP 보강근 콘크리트 바닥판의 설계와 시공

한국건설기술연구원

ICT BRIDGE

KICT 한국건설기술연구원

한국콘크리트학회 Korea Concrete Institute



경제성 분석

● 초기공사비(교량전체)

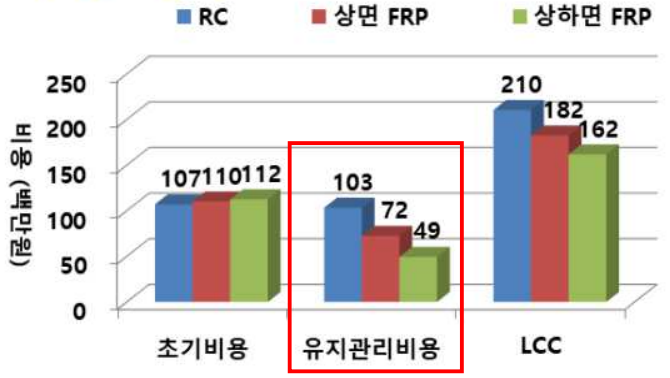
FRP 리바 단가(D16 1,180원/m)

	RC(상하면 철근)	상면 FRP 리바	상하면 FRP 리바
바닥판(천원)	107,010	110,124 (+2.9%)	112,400 (+5.0%)
거더(천원)	145,000	145,000	145,000
하부(천원)	267,525	267,525	267,525
계(천원)	519,535	522,649	524,925
RC 대비 추가 비용(천원)	-	3,114 (+0.6%)	5,390 (+1.0%)

→ RC 바닥판 대비 초기공사비 2.9%, 5.0% 증가(교량 총공사비 대비 : 0.6%, 1.0% 증가)

● 바닥판 LCC 분석

위 단가는 외국 수입 제품의 판매 가격



→ RC 바닥판 대비 LCC 비용 13.2%, 23.1% 절감

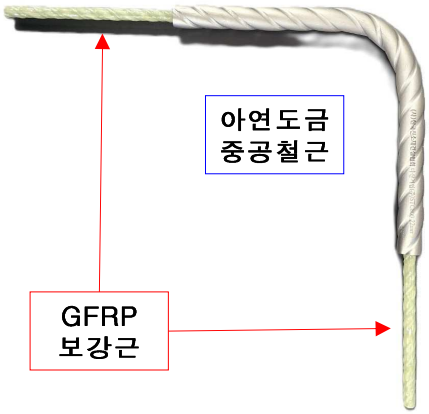
16

① RC바닥판 유지관리비용(유지관리비/초기공사비) : 103 / 107 = 96.3%

② FRP바닥판 유지관리비용(유지관리비/초기공사비) : 49 / 112 = 43.8%

붙임 4	내식성 철근 규격

□ 개 요

아연도금 중공철근	스테인리스 철근
	
·항복강도: 800 MPa 이상 ·연결부 성능 :GFRP 보강근 설계인장강도(f_{fu})의 125 %이상 ·GFRP 보강근과 화학적 연결(커플러) ·GFRP 굽힘보강근 대체제로 적용가능	·항복강도: 420 MPa, 520 MPa, 550 MPa ·북미, 유럽, 일본 등에서 적용 중 ·GFRP 보강근과 연결 불가 ·GFRP 보강근 적용 불가능한 경우 적용

※ 스테인리스철근 관련 전문시방서 개정 완료(EXCS 14 20 11), 아연도금철근 기반영

□ 아연도금 철근 및 중공철근

○ 아연도금 철근 EXCS 14 20 11에 따름

○ 아연도금 중공철근(KS D 3872, KS D 8308)

구 분	종류 및 기호	주요성분	함유량
화학성분	STC800	C	0.18이하
		Si	0.40이하
		Mn	2.00이하
		P	0.03이하
		S	0.03이하
		C_{eq}	0.44이하

구 분		품질기준
역학적특성	항복강도	800 MPa 이상
	인장강도	860 MPa 이상
	연신율	10 % 이상
	굽힘성, 편평성	외측에 균열이 없을 것
	용접부 인장강도	860 MPa 이상

구 분		품질기준	참조규격
아연도금규격	HDZ40	400 g/m^2	강관두께 2 mm 초과~3 mm이하
	HDZ45	450 g/m^2	강관두께 3 mm 초과~4 mm이하
	HDZ50	500 g/m^2	강관두께 5 mm 초과

□ 스테인리스 철근(KS D 3706, KS D ISO/TS 15510, ASTM A955/955M)

종 류	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	실측 항복강도에 대한 실측 인장강도 비[1)]	인 장 시 험 편	연신율 (%)	굽 힘 성	
						굽힘각도	안쪽 반지름
420	420 이상	620 이상	1.2배 이상	2호에 준한 것	20 이상	D36 이하 : 180° D36 초과 : :90°	D16 이하 : 공칭지름의 1.75배
				3호에 준한 것			
520	520 이상	690 이상	1.2배 이상	2호에 준한 것	20 이상		D16 초과 D25 이하 : 공칭지름의 2.5배
				3호에 준한 것			D25 초과 D36 이하 : 공칭지름의 3.5배
550	550 이상	690 이상	1.2배 이상	2호에 준한 것	16 이상		D36 초과 : 공칭지름의 4.5배
				3호에 준한 것			

주 1) 실측한 인장강도는 실측한 항복강도의 규정된 비율 이상이어야 한다.

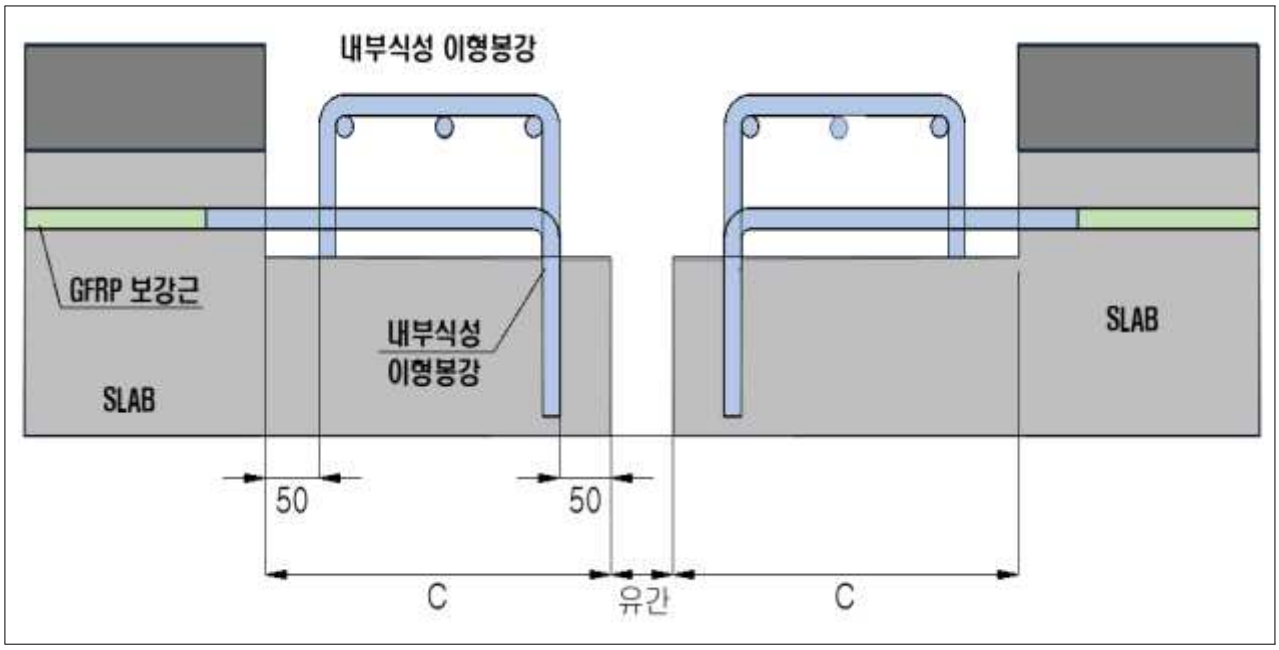
□ 현장 가용접 부위 부식 방지

○ 내식성 철근 고정용 가용접(tack welding)이 불가피한 경우 용접 부위 방식 처리(아연도금 스프레이 등) 시행

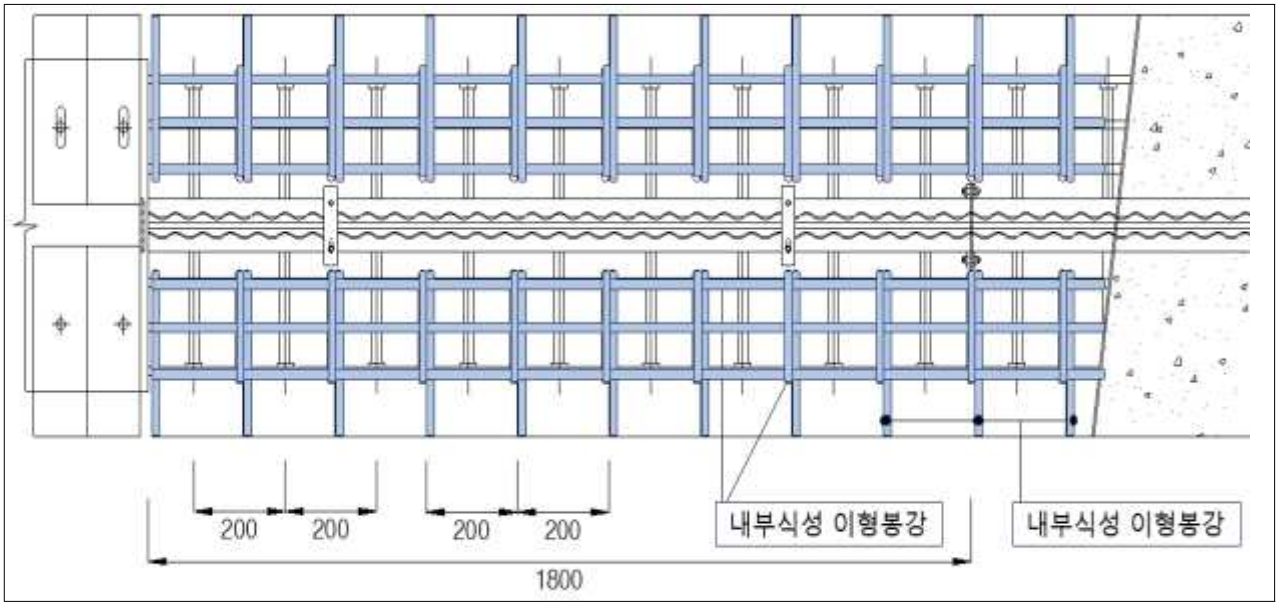
※ 원칙적으로 스테인리스, 아연도금 철근 등은 현장 용접이음 제한

붙임 5	GFRP 바닥판 신축이음장치 연결부 상세(예시)

□ 단면도



□ 평면도



※ 상기 도면은 예시도면으로, 신축이음장치 제조사별 규격에 따라 보강상세는 달리 적용할 수 있음

붙임 6	GFRP 보강근 설계 참조 기준

□ 참조 기준

○ GFRP 보강근용 콘크리트교 설계기준(KDS 24 50 05, 2024)

○ GFRP 보강근용 콘크리트교 공사(KCS 24 50 05, 2024)

○ 도로교설계기준 한계상태설계법(2015) 및 관련 국가건설기준

○ 콘크리트구조물 내구성 설계 및 시공기준 적용 가이드라인(국토교통부, 2023)

○ AASHTO LRFD Bridge Design Guide Specifications for GFRP Reinforced Concrete(2nd, 2018)

○ ACI Code-440.11-22 Building Code Requirements for Structural concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer Bars(1st, 2022)

○ CSA S6:19 Canadian Highway Bridge Design Code(2019)

○ CSA S806:12 Design and Construction of Building structures with Fibre-Reinforced polymers (2021)

※ 상기 기준은 현시점 최신 기준으로 설계 시점 최신 개정판을 적용할 수 있음

붙임 7	설계자문 조치결과

□ **조치결과 : 총 50건**(39건 반영, 11건 원안적용)

□ **의견종합**

○ 방침 관련 의견 : 보강근 등급 분류, 노출등급에 따른 적용 대상 선정, 내부식성 철근 적용에 대해 자문위원 전원 적절하다 판단

○ 예제집 관련 의견

- (바닥판) ① 캔틸레버부 전단설계 생략에 대해 적절하다 판단

  ② 원심하중 검토시 기존 기준이 아닌 AASHTO 기준으로 검토하였을때 편경사까지 고려 가능한 합리적인 설계가 가능하므로 원안 적용

  ③ 캔틸레버부 충돌 검토시 기존 기준을 활용에 대한 의견이 있었으나 추가로 축인장력을 고려하는 원안(AASHTO) 적용

- (암거) 사용성 검토시 축력 효과 고려 의견에 따라 반영 완료

- (접속슬래브) 전단근 배치간격 조정 의견에 따라 조치 완료

- (공통) 주근과 온도·수축근의 등급 분리 적용 의견에 따라 조치 완료

○ 기타의견

- 보강근은 철근 대비 온도수축근 수량이 증가하므로, 일정 조건 부합시 생략 가능한 경제적 설계방안 제시

- GFRP 관련 2개의 국가기준이 상충하는 부분이 있으므로 기준 정비 필요

- 향후 연구를 통해 구조물 설계 최적화 설계 필요

□ 조치결과 집계표

구분	위원명	의견서 내용	결과	비고
1	김성현	다양한 유리섬유 종류에 대한 명문화하여 구분 및 적용 필요	기반영	
2		보강근 등급 적용 적정 및 국가기준 개정을 통한 보장인장강도 향상 필요	원안	
3	노명현	노출등급에 따른 구분은 적정한 것으로 판단	반영	
4		보강근 등급 적용에 대해 적정한 것으로 판단 추가적으로 캐나다와 같이 직경별 세분화하여 적용 추천	원안	
5		내부식성 철근 적용도 사용 가능토록 수정 필요	반영	
6		바닥판 캔틸레버부 전단검토 제시안 적정하나 활하중이 바닥판에 직접 재하하지 않도록 거더배치 고민 필요	원안	
7		바닥판 원심하중 적용방법이 적정하다고 판단됨	기반영	
8		캔틸레버부 충돌검토시 기존 기준 활용하여 적용 추천	원안	
9		등가스트립법 적용 적정	기반영	
10		접속슬래브 전단근 배치간격이 불확실하므로 수정필요	반영	
11		암거 벽체 및 하부슬래브 검토시 축력 효과 검토	반영	
12		주근과 온도수축근의 등급분리 적용 필요	반영	
13	박창섭	철근의 부식과 관련된 노출등급은 제하고 콘크리트 손상과 관련된 노출등급만 적용하여 강도 결정 방안 검토	기반영	
14		GFRP 보강근 등급 적용 합리적, 관련 업계 의견 조회 필요	반영	
15		내부식성 철근 사용에 대해 합리적이다 판단됨	기반영	
16		보강근은 철근 대비 온도수축근이 수량 증가하나, 해외기준 의거 온도수축근 생략 조건(PC부재, 3.6m↓) 활용시 경제성 향상 방안 제시	반영	
17		캔틸레버부 전단검토 시 확대머리 정착장치 활용 보강방안 제시	반영	
18		암거 벽체 및 하부슬래브 검토시 축력 효과 고려	반영	
19		주근과 온도수축근의 보강근 등급 분리는 합리적이다 판단	반영	
20	손윤기	노출등급에 따른 구분은 적정한 것으로 판단	반영	
21		보강근 등급 분류시 철근 등급구분과 유사 체계 적용 필요	반영	
22		코팅철근 적용 불가한 것인지 확인 필요	반영	
23		GFRP 관련 2개의 국내기준이 상충되는 부분에 대해 기준 정비 필요	반영	
24		바닥판 캔틸레버부 전단검토 생략에 대해 경험적으로 적정하다 판단하나 향후 추가적 연구를 통해 충분한 검증 필요	반영	

25	손윤기	바닥판 설계시 편경사와 원심하중 동시 고려한 방법이 적정하다 판단	기반영	
26		캔틸레버부 충돌검토 시 축인장 고려 추가적 인장근 배근방안 고려	원안	
27		등가스트립법 적용시 불리한 탠덤축을 이용한 것도 타당함	원안	
28		접속슬래브 전단근 배근 간격 조정 및 피복두께 상향	반영	
29		암거 벽체 및 하부슬래브 검토시 축력 효과 고려	반영	
30		주근과 온도수축근 등급 분리 적용이 타당함	반영	
31	이상열	노출등급에 따른 구분은 적정한 것으로 판단	기반영	
32		국내 기술수준 고려 탄성계수 재검토 필요	원안	
33		내식성 철근 적용에 대해 적절하다고 판단	기반영	
34		바닥판 캔틸레버부 전단검토가 필요하지 않을 것으로 판단	반영	
35		바닥판 원심하중 적용 방법 적정하다고 판단	기반영	
36		캔틸레버부 충돌검토에 대한 방법 적정하다고 판단	원안	
37		접속슬래브 배치간격에 적정하다고 판단	반영	
38		암거벽체 및 하부슬래브의 사용성 검토시 축력효과 고려 적정	반영	
39		주근과 온도수축근의 등급분리 적용은 시황 등 고려 종합적으로 면밀하게 검토할 필요가 있음	반영	
40		향후 연구를 통해 구조물별 최적화 설계 필요	반영	
41	이승우	바닥판 캔틸레버부 전단검토 필요할 경우 어떻게 계산할 것인지 검토할 필요가 있음	원안	
42		접속슬래브 전단철근 배치 간격 적절함	반영	
43		보강근 등급분류 시 향후 세분화하여 적용 필요	원안	
44		바닥 원심하중 적용을 상쇄시키기 위한 설치된 편구배 삭제 방안 검토	원안	
45		캔틸레버부 충돌 검토는 항복선이론 개발 전까지 현재 적용안이 적정하다고 판단함	기반영	
46		등가스트립 방법 적용하는것에 대해 적정하다고 판단	기반영	
47		암거 사용성 검토시 축력 효과 검토	반영	
48		주근과 온도수축근 등급 분리 적용이 타당함	반영	
49		노출등급에 따른 구분은 적정한 것으로 판단	기반영	
50		내부식성 철근 사용에 대해 합리적이다 판단됨	기반영	

붙임 8	GFRP 보강근용 구조물 설계 예제집

“ 별도 첨부”