

4-2 구조물공

GFRP 보강근 잠정 설계·시공지침 제정

설계처-2596
(2022.08.18.)

1 제 정 목 적

- ☐ 염화물에 의한 철근부식 예방의 일환으로 대체 신소재로서 발굴·도입 추진 중인 **GFRP¹⁾** 보강근을 현장에서 적극적으로 활용하기 위해 설계·시공에 관한 잠정 지침을 수립하고자 함.

※ 염화물에 의한 철근 부식 매커니즘(철근의 팽창성 부식)



1 추 진 경 과

- ☐ 철근 대체 신소재(FRP) 적용방안 검토(2020. 7)
- 교량 바닥판 철근을 GFRP 보강근으로 대체
- ☐ 교량 바닥판 시험시공(2021. 7) 및 설계 적용(2021. 12)
- (시험시공) 남구리나들목 R-E교(293m)
 - (설계) 대산~당진 전 교량
- ☐ GFRP 보강근 난간방호벽 개발(2022. 8월 현재)
- 단면설계 및 충돌 컴퓨터 시뮬레이션 완료
 - 실물충돌 시험체(SB5) 제작 완료 : 8월 중 시험 예정
- ☐ 국가기준²⁾ 등재 추진(2022. 8월 현재)
- 국토부 및 국가건설기준 센터 사전 협의 완료(2021)
 - 건설기준 정비 수요조사서 제출(→국가건설기준센터) ※ 검증 연구 수행 필요

1) Glass Fiber-Reinforced Polymer

2) 설계기준(KDS : Korean Design Standard) 및 표준시방서(KCS : Korean Construction Specification)

3 지 침 개 요

☐ 잠정 설계 지침

- 적용범위 : 교량 바닥판 및 난간 방호벽
- 재료의 물리적, 역학적 특성 등 명시
- 휨 설계, 전단 설계 및 정착, 이음 설계방법 제시

☐ 잠정 공사 지침

- 적용범위 : 공칭직경 32mm 이하의 GFRP 보강근
- 자재 품질기준 및 검사방법 등 수록

4 적용 방안

- ☐ 국가기준 등재(2023년 예상) 전까지 실무에 활용
- ☐ 설계 중 노선 : 본 방침 적용
- ☐ 공사 중 노선 : 공사주관 부서에서 판단하여 적용

붙임 : #1 GFRP 보강근 잠정 설계지침

#2 GFRP 보강근 잠정 시공지침

GFRP 보강근 잠정 설계지침

2022

 한국도로공사

설 계 처

목 차

- 1장 일반사항
- 2장 조사 및 계획
- 3장 재료
- 4장 설계 일반사항
- 5장 휨 설계
- 6장 전단 설계
- 7장 수축 및 온도 보강근
- 8장 정착과 이음
- 9장 보강근 상세
- 10장 콘크리트 교량 바닥판
- 11장 콘크리트 교량 방호울타리

1장 일반사항

1.1 적용범위

- 이 설계지침은 GFRP(Glass Fiber-reinforced Polymer) 보강근으로 철근을 대체하여 교량의 바닥판과 난간방호벽을 설계할 때 적용하는 것으로 하며, 국가건설기준이 제정되기 전까지 이 설계지침을 따르도록 한다.
- 이 설계지침에 규정되어 있지 않은 사항은 국토교통부 제정 관련 설계기준이나 지침에 따른다.
- 다만, 특별한 조사연구에 의하여 설계할 때에는 이 지침을 적용하지 않을 수 있으나, 이 경우에는 그 설계 근거를 명시하여야 한다.

구조물공

1.2 기호정의

- a : 등가직사각형 응력블록의 깊이, mm
- A_{cd} : 방호울타리에 충돌하는 차량 앞면으로부터 차량 중심까지의 거리, m
- A_f : GFRP 보강근 단면적, mm^2
- A_{fbar} : GFRP 보강근 한 개의 단면적, mm^2
- A_{fmin} : 균열시 취성적인 휨 파괴방지를 위한 최소 GFRP 보강 단면적, mm^2
- $A_{f,sh}$: 단위길이(m)당 온도 및 수축 GFRP 보강근 단면적, mm^2
- A_{fv} : 간격 s 내의 GFRP 스테럽의 단면적, mm^2
- A_{femin} : 간격 s 내의 GFRP 스테럽의 최소단면적, mm^2
- A_s : 인장철근의 단면적, mm^2
- b : 부재의 압축면의 유효폭, mm
- b_0 : 슬래브와 기초판에서 2방향 전단에 대한 위험단면의 둘레, mm
- b_w : 부재의 복부 폭, mm
- B_{cd} : 방호울타리에 충돌하는 차량의 폭, m

- c : 압축연단에서 중립축까지의 거리, mm
- c_b : 균형 상태에서 압축 연단부로부터 중립축까지의 거리, mm
- c_c : 피복 두께, mm
- C : 인장보강근의 중심간 간격 또는 보강근 중심에서 가장 가까운 콘크리트 외측까지의 거리, mm
- C_b : 부착 감소계수
- C_E : 다양한 GFRP 보강근 종류 및 노출환경에 따른 환경감소계수
- d : 보의 유효깊이, mm
- d_a : 굽은 골재 최대치수, mm
- d_b : GFRP 보강근의 공칭지름, mm
- d_c : 인장 연단부로부터 인장보강근 중심 또는 가장 가까운 보강근까지의 피복 두께, mm
- $d_{c,side}$: 측면 연단부로부터 인장보강근 중심 또는 가장 가까운 보강근까지의 피복 두께, mm
- D_{lat} : 방호울타리의 횡방향 변위, m
- E_c : 콘크리트 탄성계수, MPa
- E_f : GFRP 보강근 탄성계수{설계값은 시험편 샘플의 평균값으로 정의함($E_f = E_{f,ave}$)}, MPa
- $E_{f,ave}$: GFRP 보강근 평균 탄성계수, MPa
- E_s : 철근 탄성계수, MPa
- F_{ub} : 콘크리트 매립된 GFRP 스테럽 시험체의 파괴 시 최대하중, N
- f_{ck} : 콘크리트 설계기준 압축강도, MPa
- f_f : 압축단 콘크리트 변형률이 극한변형률에 도달할 때 GFRP 보강근 인장응력, MPa
- f_{fb} : GFRP 보강근 굽힘부 설계인장강도, MPa
- f_{fe} : GFRP 보강근의 정착응력, MPa
- f_{fr} : 요구되는 보강근 응력, MPa
- f_{fs} : 사용하중하에서의 GFRP 보강근 응력, MPa
- $f_{fs,sus}$: 지속하중하에서의 GFRP 보강근 응력, MPa
- f_{fu} : GFRP 보강근 설계인장강도(환경 감소계수가 적용된 인장강도), MPa
- f_{fu}^* : GFRP 보강근 보장인장강도(시험편 평균값에서 표준편차의 세 배를 제외한 값), MPa
- f_{fv} : 전단설계를 위한 GFRP 보강근의 인장강도(설계 인장강도 f_{fu} , GFRP 스테럽의 굽힘부 강도 f_{fb} , 또는 $0.004E_f$ 에 상응하는 응력 중 최소값), MPa

- $f_{fu,ave}$: GFRP 보강근 인장 시험편의 평균 인장강도, MPa
- F_{lat} : 방호벽 차량 충돌시 발생하는 최대 정적 횡방향 충돌하중, tonf
- h : 부재의 전체 두께 또는 깊이, mm
- I : 부재 단면의 단면2차모멘트, mm^4
- I_{cr} : 균열 단면 2차모멘트, mm^4
- I_e : 유효단면2차모멘트, mm^4
- I_g : 보강근을 무시한 콘크리트 전체 단면의 중심축에 대한 단면2차모멘트, mm^4
- k : 압축단으로부터 중립축과 인장보강근 중심과의 거리 비
- K_1 : 경계 조건에 따른 매개변수
- K_4 : 굽힘 보강근의 정착길이를 계산에 사용되는 계수
- l : 부재의 길이, m
- l_a : 받침부에서 그 중심선을 지난 문힘길이 또는 변곡점을 지난 문힘길이. 변곡점의 경우 부재의 유효깊이와 $12d_b$ 중에서 큰 값, mm
- l_{bhf} : 위험단면으로부터 갈고리 위측 단부까지 거리로 나타낸 인장을 받는 표준갈고리의 정착길이(위험단면과 갈고리 시작점 사이의 직선 문힘길이 + 구부림 내면반지름 + GFRP 보강근 공칭지름), mm
- l_d : 정착길이, mm
- l_e : 보강근 문힘 길이, mm
- l_{thf} : GFRP 보강근 갈고리의 꼬리 길이, mm
- M_a : 처짐을 계산할 때 사용하중조건에 대응하는 부재의 휨모멘트, N·mm
- M_{cr} : 외력에 의해 단면에서 휨균열을 일으키는 휨모멘트, N·mm
- M_n : 단면의 공칭휨모멘트, N·mm
- $M_{s,sus}$: 지속하중에 의한 모멘트, N·mm
- M_{serv} : 사용하중 모멘트, N·mm
- M_u : 단면의 계수휨모멘트, N·mm
- n_f : GFRP 보강근 탄성계수와 콘크리트 탄성계수와의 비
- P : GFRP 보강근 자체 절곡 인장시험에서 가해지는 파괴시 최대하중
- r_b : GFRP 보강근의 굽힘 내부 반경, mm
- S_b : GFRP 보강근의 굽힘(절곡)에 의한 감소 인장강도

- s : 보강근의 중심 간격, mm
- s_{max} : 휨 균열 제어를 위한 최대 허용 중심간 보강근 간격, mm
- T_g : 유리전이온도, $^{\circ}\text{C}$
- u : GFRP 보강근의 표면에 작용하는 평균 부착응력, MPa
- V_c : 콘크리트에 의한 단면의 공칭전단강도, N
- V_f : GFRP 스티럽에 의한 단면의 공칭전단강도, N
- V_s : 전단철근에 의한 단면의 공칭전단강도, N
- V_n : 단면의 공칭전단강도, N
- V_u : 단면에서 계수전단력, N
- w_{slab} : 슬래브의 자중, N/m^2
- w : 한계 균열폭, mm
- W_{cv} : 방호벽에 충돌하는 차량의 중량, ton
- y_t : 보강근을 무시한 전체 단면적의 중심축에서 인장축 연단까지 거리, mm
- α : 상단 보강근 위치 보정계수
- α_1 : 등가 직사각형 응력 블록의 평균 응력비
- β : 중립축에서 인장 연단면까지 거리와 중립축에서 인장보강근 중심까지 거리 비
- β_1 : 등가직사각형 응력블록과 관계된 계수(28 MPa의 콘크리트 압축강도까지는 0.85 사용. 28 MPa를 초과하는 강도의 경우 7 MPa당 0.05를 차감함. 어떠한 경우에도 0.65보다 작을 수 없음)
- β_d : 처짐 계산에 사용되는 감소계수
- $\Delta_{(cp+sh)}$: 지속하중 하에서 크리프와 건조수축에 의한 추가 처짐, mm
- $(\Delta_i)_{sus}$: 지속하중에 의한 즉시 처짐, mm
- $(\Delta/l)_{max}$: 처짐-경간비에 대한 제한값
- ϵ_c : 콘크리트의 변형률
- ϵ_{cu} : 콘크리트의 극한 변형률
- ϵ_f : GFRP 보강근의 변형률
- $\epsilon_{f,ave}$: GFRP 보강근 인장시험편의 파괴 시 평균 인장변형률
- ϵ_{fs} : 사용하중에서의 GFRP 보강근 변형률
- $\emptyset$: 저항계수

- γ : 처짐을 계산할 때 부재 길이방향의 강성변화를 고려하는 계수
- γ_h : 헤드드(Headed) GFRP 보강근의 유효강도계수
- η : 압축 연단부에서 인장보강근 중심까지의 거리(d)와 휨 부재 높이(h)와의 비
- λ : 경량 콘크리트 계수
- λ_Δ : 장기 추가처짐에 대한 계수
- μ : 온도 수축 및 보강근의 계산을 위한 지반의 마찰계수
- θ_s : 스테럽 또는 나선형 보강근의 경사각
- θ_{cs} : 차량 충돌각도
- ρ_f : GFRP 보강근의 보강비
- ρ_f' : 압축 보강 GFRP 보강근의 보강비
- $\rho_{f,ts}$: 온도 및 수축 GFRP 보강근의 보강비
- ρ_{fb} : 균형단면 GFRP 보강근의 보강비
- ρ_{fv} : 전단 GFRP 보강근의 보강비
- σ : 표준편차
- ξ : 지속하중에 대한 시간경과계수
- f_{fuh} : 헤드드 GFRP 보강근의 인장강도, MPa
- X : 굽힘에 의한 스테럽의 저항계수

1.3 용어의 정의

- KDS 14 20 01(1.4)에 따른다.

2장 조사 및 계획

· 내용 없음

3장 재료

3.1 일반사항

- 이 기준이 적용되는 GFRP 보강근은 연속섬유와 열경화성 수지를 사용하여 붕상 형태로 공장 제작하여야 한다.
- GFRP 보강근에 사용되는 수지는 비닐에스테르 또는 에폭시 수지를 사용하여야 하며, 충전제 또는 첨가제가 사용되는 경우 그 양은 수지 질량의 20%를 넘지 않아야 한다.
- 유리섬유는 알칼리 부식성 환경에 취약한 붕소(B_2O_3) 성분이 포함된 E-glass 유리섬유 계열은 허용되지 않으며, 내부식성을 갖는 E-CR 유리섬유 계열을 사용하여야 한다.
- 검사 시 겉모양은 균일하고 육안손상면적은 표면적의 2%이내 이어야 하며, 단위 길이당(30cm) 손상의 깊이는 1.0mm 이하이어야 한다.
- 절곡된 GFRP 보강근을 사용하는 경우, 절곡된 보강근 자체의 인장성능 시험 및 콘크리트에 매립된 스티럽에 대하여 구분하여 성능평가를 수행해야 한다.

구조물공

3.2 물리적 특성

3.2.1 섬유함유량

- GFRP 보강근에 사용되는 섬유의 함유량은 중량 비율 75% 이상이어야 한다. 단, 절곡된 보강근의 경우는 섬유함유량을 70% 이상으로 한다.
- GFRP 보강근 섬유함유량 측정은 한국산업표준(KS)에 따라 구한다.

3.2.2 치수

- GFRP 보강근 치수는 한국산업표준(KS)에 규정된 봉강의 공칭 지름, 공칭 단면적을 따르되 이 기준이 적용되는 GFRP 보강근은 공칭 지름 6 mm ~ 32 mm 사이로 한정한다.
- GFRP 보강근의 공칭 단면적, 공칭 지름은 한국산업표준(KS)에 따라 구한다.

3.3 역학적 특성

3.3.1 인장강도와 탄성계수

- GFRP 보강근은 파단 시까지 선형 탄성 재료로 가정한다.
- GFRP 보강근 생산자는 주기적으로 한국산업표준(KS)에서 제시한 GFRP 보강근 인장 특성 실험을 실시하고, 측정된 인장강도와 탄성계수에 대한 기록을 유지·보관해야 하며, 사용자가 요구할 때 제시하여야 한다.
- 인장 특성 실험을 통해 식 (3.1)로 인장강도를 구한다.

$$f_{fu}^* = f_{fu,ave} - 3\sigma \quad (3.1)$$

f_{fu}^* : GFRP 보강근의 보장인장강도(MPa)

$f_{fu,ave}$: 시험으로 구한 GFRP 보강근의 평균인장강도(MPa)

σ : 각 시험의 표준편차

(최소 5개 이상의 시편에 대하여 인장강도의 평균과 표준편차를 구한다)

단, KCS 14 20 12 2.1(2)의 최소인장하중이 품질관리를 통해 보장이 가능한 경우, 이에 해당하는 인장강도를 적용할 수 있다.

- 인장 특성 실험을 통해 구한 GFRP 보강근 탄성계수는 45GPa 이상이어야 한다.
- 필요한 경우 GFRP 보강근의 극한변형률은 선형 탄성 가정을 통해 유도할 수 있다.

3.3.2 절곡강도

- 본 절의 절곡강도는 시험체 성능규명을 위한 인장강도이다.
- GFRP 보강근 자체 절곡부의 인장특성은 절곡반경에 의한 감소 인장강도 S_b 를 산출하게 되며, 식 (3.2)에 따라 감소된 인장강도를 계산한다.

$$S_b = \frac{P}{2A_{fbar}} \quad (3.2)$$

P : 시편의 최대하중(N)

A_{fbar} : GFRP 보강근 시편 1개의 단면적(mm^2)

- 콘크리트 매립된 GFRP 스테럽 보강근의 절곡부 반경 및 절곡부에서 굽힘 길이를 제외한 나머지 구간은 비부착구간으로 설정하여 절곡부에 대한 성능만을 평가한다. 식 (3.3)을 통해 스테럽의 휨 응력 f_{ub} 을 산출하고, 식 (3.4)를 적용하여 극한강도와 비교한 저항계수로 평가한다.

$$f_{ub} = \frac{F_{ub}}{2A_{fbar}} \quad (3.3)$$

$$X = \frac{f_{ub}}{f_u} \quad (3.4)$$

F_{ub} : 콘크리트 매립된 GFRP 스테럽 시험체의 파괴 시 최대하중(N)

A_{fbar} : GFRP 보강근 시편 1개의 단면적(mm^2)

f_u : 3.3.1절에 따른 인장 특성 실험을 통한 극한인장강도(MPa)

X : 굽힘에 의한 저항계수

3.3.3 부착강도

- GFRP 보강근 콘크리트와의 인발 부착강도는 한국산업표준(KS)에 따라 구한다.
- GFRP 보강근은 콘크리트와의 부착성능이 확보되도록 제작하여야 한다. 콘크리트에 사용되는 유리섬유보강근의 인발 부착강도는 10 MPa 이상을 확보하여야 한다.

3.3.4 온도팽창계수

- GFRP 보강근의 종방향 온도팽창계수는 $6.0 \sim 10.0 (\times 10^{-6} / ^\circ\text{C})$ 범위이어야 한다.

4장 설계 일반사항

4.1 일반

- GFRP 보강근으로 보강된 콘크리트 부재 설계는 기존 콘크리트 설계기준과의 일관성을 위하여 강도설계법을 준용하는데, 설계이론은 많은 부분을 한계상태설계 이론을 근거로 한다.
- GFRP 보강근으로 보강된 콘크리트 부재의 필요강도를 산정하는 데 필요한 하중계수는 기존 KDS 14 20 10 (2021)에 제시된 값을 사용한다.

구조물공

4.2 설계 재료물성

- 공급사가 제시하는 GFRP 보강근의 보장인장강도 등의 물성은 노출된 환경에서의 장기적 영향을 고려하지 않았으므로 GFRP 보강근의 설계인장강도는 다음과 같은 환경감소계수를 적용하여야 한다.

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \quad (4.1)$$

f_{fu} : 설계인장강도

f_{fu}^* : 보장인장강도

C_E : 환경감소계수

- 설계 파괴변형률은 다음과 같은 식으로 산정한다.

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^* \quad (4.2)$$

ε_{fu} : 설계 파괴변형률

ε_{fu}^* : 보장파괴변형률

- 설계 탄성계수는 공급사가 제시하는 값과 동일하게 적용한다.

- 환경감소계수 C_E 는 콘크리트 구조물의 노출 환경에 따라 표 4.1과 같다.

표 4.1 환경감소계수(C_E)

노출 조건	환경감소계수 C_E
옥내 또는 흙에 노출되지 않는 콘크리트	0.8
옥외 또는 흙에 노출되는 콘크리트	0.7

- GFRP 보강근를 절곡시키는 경우 직선형에 비하여 설계인장강도는 감소하게 되며, 다음과 같은 식에 의하여 산정한다.

$$f_{fb} = (0.05 \frac{r_b}{d_b} + 0.3) f_{fu} \leq f_{fu} \quad (4.3)$$

f_{fb} : GFRP 보강근의 절곡부 설계인장강도

f_{fu} : 직선형 GFRP 보강근의 설계인장강도

r_b : GFRP 보강근 내부 절곡반경

d_b : GFRP 보강근 직경

4.3 처짐

- 콘크리트 부재 또는 구조물의 변형은 원래의 구조기능 및 외관에 심각한 영향을 주지 않아야 한다.
- GFRP 보강근 콘크리트 구조에 대한 활하중 및 충격에 의한 순간 처짐은 KDS 14 20 30 4.2.1 (7)에 따른다.

4.4 내화 설계

- 교량 상부거더와 교량 하부구조에 GFRP 보강근을 사용할 경우 내화설계를 고려할 수 있다.

- GFRP 보강근이 고온에 노출되는 경우의 영향에 대하여 잘 알려져 있지 않으므로 이를 적용하고자 하는 경우 발주자와 협의하여 별도의 연구 또는 검증을 거쳐 적용할 수 있다.

4.5 다발 GFRP 보강근

- GFRP 보강근을 적용할 때 겹침이음을 제외하고는 다발 보강근을 사용하여서는 안 된다.

5장 휨 설계

5.1 일반사항

- 휨부재 단면 설계 시 강도는 다음과 같은 가정사항을 기초로 산정하여야 한다.
- 콘크리트와 GFRP 보강근의 변형률은 중립축으로부터 떨어진 거리에 비례한다.
즉, 하중재하 이후에도 단면은 하중재하 전의 평면을 유지한다.
- 콘크리트의 최대 압축변형률은 0.0033이며 콘크리트의 인장강도는 무시한다.
- GFRP 보강근의 인장은 파괴될 때까지 선형적으로 탄성 거동한다.
- 콘크리트와 GFRP 보강근은 완전하게 부착된다.

5.2 휨강도

5.2.1 일반사항

- 설계휨강도는 공칭휨강도 M_n 에 식 (5.9)에서 제시한 저항계수 ϕ 를 곱한 값으로 정의되며, 이 값은 외력에 의한 계수휨모멘트 M_u 를 식 (5.1)과 같이 상회하도록 하여야 한다.

$$\phi M_n \geq M_u \quad (5.1)$$

5.2.2 강도한계상태

- GFRP 보강 직사각형 휨부재의 파괴 거동은 콘크리트 파쇄 또는 GFRP 보강근 파열으로부터 기인하며, 그 한계상태는 식 (5.2)의 GFRP 보강근비 ρ_f 와 식 (5.3)의 균형 GFRP 보강근비 ρ_{fb} 를 비교하여 산정할 수 있다.

$$\rho_f = \frac{A_f}{bd} \quad (5.2)$$

$$\rho_{fb} = 0.85\beta_1 \frac{f_{ck}}{f_{fu}} \frac{E_f \epsilon_{cu}}{E_f \epsilon_{cu} + f_{fu}} \quad (5.3)$$

5.2.3 공칭 휨강도

- $\rho_f > \rho_{fb}$ 일 때, 한계상태는 콘크리트 파괴지배이며, 공칭 휨강도는 식 (5.4)를 사용하여 산정한다.

$$M_n = A_f f_f \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (5.4)$$

$$a = \frac{A_f f_f}{0.85 f_{ck} b} \quad (5.5)$$

$$f_f = \left(\sqrt{\frac{(E_f \varepsilon_{cu})^2}{4} + \frac{0.85 \beta_1 f_{ck}}{\rho_f} E_f \varepsilon_{cu}} - 0.5 E_f \varepsilon_{cu} \right) \leq f_{fu} \quad (5.6)$$

구조물공

- $\rho_f < \rho_{fb}$ 인 경우, 한계상태는 GFRP 보강근 파열지배이며, 식 (5.7)을 사용하여 공칭 휨강도를 계산할 수 있다.

$$M_n = A_f f_{fu} \left(d - \frac{\beta_1 c_b}{2} \right) \quad (5.7)$$

$$c_b = \left(\frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{fu}} \right) d \quad (5.8)$$

5.2.4 휨 저항계수

- GFRP 부재는 취성거동으로 휨에 대한 저항계수는 보수적으로 적용하되, GFRP 보강근비에 따라 식 (5.9)와 같다.

$$\phi = \begin{cases} 0.55 & \text{for } \rho_f \leq \rho_{fb} \\ 0.3 + 0.25 \frac{\rho_f}{\rho_{fb}} & \text{for } \rho_{fb} < \rho_f < 1.4 \rho_{fb} \\ 0.65 & \text{for } \rho_f \geq 1.4 \rho_{fb} \end{cases} \quad (5.9)$$

- $\rho_f \leq \rho_{fb}$ 인 경우는 GFRP 보강근 파열에 의한 인장지배 단면이며, $\rho_f \geq 1.4 \rho_{fb}$ 인 경우는 콘크리트 파쇄에 의한 압축지배 단면으로 간주한다. $\rho_{fb} < \rho_f < 1.4 \rho_{fb}$ 인 경우는 이론적으로 콘크리트 파쇄에 의한 압축지배 단면이지만 감소된 저항계수를 적용한다.

5.2.5 최소 보강근량

- $\rho_f \leq \rho_{fb}$ 에 대하여 GFRP 보강 휨부재는 식 (5.10)에서 제시하는 최소보강량 이상 보강되어야 한다.

$$A_{fmin} = \frac{0.41\sqrt{f_{ck}}}{f_{fu}}b_wd \geq \frac{2.3}{f_{fu}}b_wd \quad (5.10)$$

- 다만 모든 단면에서 해석에 의해 요구되는 GFRP 보강근량 보다 1/3 이상 보강근이 더 배치되는 경우에는 식 (5.10)의 요구사항을 적용하지 않아도 된다.

5.2.6 압축 보강근

- GFRP 보강근의 압축강도는 인장강도보다 매우 낮으므로 GFRP 보강근의 압축 강도는 설계 계산 시 무시한다.

5.3 사용성

5.3.1 일반

- GFRP 보강근은 철근에 비하여 낮은 탄성계수를 가지므로 사용성 검토가 단면을 결정하는데 지배될 수 있다. 사용성 검토 항목은 균열, 처짐, 그리고 사용하중 상태 응력제한이다.
- GFRP 보강근은 철근에 비하여 우수한 내부식성으로 허용 균열폭은 철근에 비하여 더 크게 산정할 수 있다.

5.3.2 균열

- 액체유입으로 인한 성능제한을 방지하고 외관상 수용할 수 없을 정도의 균열폭은 제한하여야 한다.

- 사용하중에 대한 한계 균열폭은 0.7mm로 제한한다. 단 발주자가 특별히 지정하는 경우 한계 균열폭을 변경할 수 있다.
- GFRP로 보강된 콘크리트 보 또는 일방향 슬래브에 대한 사용하중상태에서의 인장면에 가장 가까운 보강근의 최대 배치간격은 식 (5.11)을 만족하여야 한다.

$$s_{\max} = 1.15 \frac{C_b E_f w}{f_{fs}} - 2.5 c_c \leq 0.92 \frac{C_b E_f w}{f_{fs}} \quad (5.11)$$

- 선택된 GFRP 응력수준과 목표 균열폭 제한을 위하여 식 (5.11)은 식 (5.12)의 인장 연단부로부터 인장 보강근 중심 또는 가장 가까운 보강근까지의 피복 두께 d_c 를 만족하여야 한다.

$$d_c \leq \frac{C_b E_f w}{2 f_{fs} \beta} \quad (5.12)$$

- 식 (5.11)과 (5.12)에서 C_b 는 GFRP 보강근과 콘크리트와의 부착 감소계수로서, 실험으로 결정하되, 실험 데이터가 없는 경우 0.83으로 사용한다, 다만 추가적인 표면 처리 등을 통해 철근과 비교하여 부착력이 향상되었다고 실험적으로 검증된 경우 보다 큰 값을 적용할 수 있다.

5.3.3 처짐

5.3.3.1 일반

- 일방향 휨부재에 대하여 처짐을 제어하는 방법은 표 5.1의 최소두께 규정을 따르거나 5.3.3.3절의 직접 계산법을 적용해 제한처짐을 산정하여야 한다.
- GFRP로 보강된 콘크리트 부재의 처짐은 철근콘크리트보다 민감하며, 낮은 탄성계수로 인하여 처짐이 증가할 수 있으므로 직접계산에 의한 처짐제한 방법이 보다 합리적이다.
- 5.3.3.2의 최소두께 규정은 단면설계를 위한 부재 형상의 초기 비율을 수립하는데 한정적으로 적용한다.

5.3.3.2 최소두께

- 일방향 슬래브와 보에 대한 최소두께는 표 5.1과 같다. 본 규정은 초기 설계단계에서만 고려하며, 개별 구조물별로 치짐 제한은 별도로 검토하여야 한다.

표 5.1 프리스트레스되지 않은 보와 일방향 슬래브에 권장되는 최소두께

구 분	단순지지	1단 연속	2단 연속	캔틸레버
일방향 슬래브	$l/13$	$l/17$	$l/22$	$l/5.5$
보	$l/10$	$l/12$	$l/16$	$l/4$

5.3.3.3 단기 처짐

- 일방향 GFRP 보강 직사각형 휨부재의 사용하중하의 단기처짐은 식 (5.13)의 균열 2차모멘트 I_{cr} 및 식 (5.15)의 유효단면2차모멘트 I_e 로부터 산정한다.

$$I_{cr} = \frac{bd^3}{3}k^3 + \eta_f A_f d^2 (1-k)^2 \quad (5.13)$$

$$k = \sqrt{2\rho_f n_f + (\rho_f n_f)^2} - \rho_f n_f \quad (5.14)$$

$$I_e = \frac{I_{cr}}{1 - \gamma \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^2 \left[1 - \frac{I_{cr}}{I_g} \right]} \leq I_g \quad M_a \geq M_{cr} \quad (5.15)$$

$$\gamma = 1.72 - 0.72 \frac{M_{cr}}{M_a} \quad (5.16)$$

- 균열모멘트 M_{cr} 의 산정은 식 (5.17)과 같다.

$$M_{cr} = \frac{0.62\lambda \sqrt{f_{ck}} I_g}{y_t} \quad (5.17)$$

5.3.3.4 장기 처짐

- GFRP 보강 부재의 크리프와 건조수축에 의한 장기처짐 $\Delta_{(cp+sh)}$ 은 식 (5.18)로부터 산정한다.

$$\Delta_{(cp+sh)} = 0.6\xi(\Delta_i)_{sus} \quad (5.18)$$

- 여기서, $(\Delta_i)_{sus}$ 는 해당 지속하중에 의하여 발생된 순간처짐을 의미하며, ξ 은 지속하중에 대한 시간경과계수로서 5년이상 2.0, 12개월 경과시 1.4, 6개월 경과시 1.2, 그리고 3개월 경과시 1.0을 적용한다.

5.4 크리프 파괴 및 피로

5.4.1 일반

- GFRP 보강 부재의 크리프 파괴를 피하기 위하여, 반복응력 및 피로조건 하의 GFRP 보강의 응력수준은 제한하여야 한다.
- 이러한 응력수준은 부재의 탄성범위 이내이어야 하며, 응력은 탄성해석을 통하여 산정할 수 있다.

5.4.2 크리프 파괴 응력제한

- 크리프 파괴를 방지하기 위한 지속 사용하중하의 응력수준은 식 (5.19)로부터 산정한다.

$$f_{fs,sus} = M_{s,sus} \frac{n_f d(1-k)}{I_{cr}} \quad (5.19)$$

$M_{s,sus}$: 모든 지속하중에 의한 모멘트

I_{cr} 과 k : 식 (5.13) 및 (5.14)를 사용하여 계산

- 식 (5.19)로부터 계산된 응력은 식 (5.20) 이내로 만족하여야 한다.

$$f_{fs,sus} = 0.20f_u \quad (5.20)$$

5.4.3 피로 응력제한

- 구조물이 피로 하에 있는 경우, GFRP 부재의 응력은 식 (5.20)으로 제한되어야 한다.
이 경우, 식 (5.19)의 $M_{s, sus}$ 는 모든 지속하중에 대한 모멘트 값에 피로하중 사이클로부터 산정되는 최대모멘트를 더한 값으로 대체하여 적용한다.

6장 전단 설계

6.1 일반사항

· GFRP 보강 부재의 전단 설계에 대하여 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- ① 철근에 비하여 상대적으로 낮은 탄성계수
- ② 낮은 횡방향 전단저항성
- ③ 높은 인장강도 및 항복점 없음
- ④ GFRP 보강근의 직선부에 비하여 절곡부에서의 낮은 인장강도

구조물공

· GFRP 보강 전단 설계에서 설계전단강도 ϕV_n 을 구하기 위해 적용되는 저항계수 ϕ 는 0.75를 적용한다.

· 설계전단강도 ϕV_n 은 계수전단력 V_u 이상이 되어야 한다.

6.2 GFRP 보강근 부재의 전단강도

6.2.1 일반사항

· 부재의 공칭전단강도 V_n 은 콘크리트에 의한 단면의 공칭전단강도 V_c 와 GFRP 스티럽에 의한 단면의 공칭전단강도 V_f 의 합으로 산정한다.

· GFRP 보강근 콘크리트 휨부재의 콘크리트에 의한 전단강도 V_c 는 식 (6.1)를 사용하여 산정한다.

$$V_c = \left(\frac{2}{5} \right) \sqrt{f_{ck}} b_w (kd) \quad (6.1)$$

b_w : 부재의 복부 폭 (mm)

여기서, 균열 단면일 경우 k 는 (5.14)을 따르며, 비균열 단면일 경우 kd 는 다음과 같이 계산한다

$$kd = \frac{bh^2/2 + (n_f - 1)A_f d}{bh + (n_f - 1)A_f} \quad (6.2)$$

- 부재축에 직각인 GFRP 스티럽에 대한 전단강도 V_f 는 철근콘크리트의 경우와 동일한 방법으로 다음과 같이 계산한다.

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fv} d}{s} \quad (6.3)$$

A_{fv} : 거리 s 내의 전단보강근의 전체 단면적

f_{fv} : 전단설계를 위한 GFRP 보강근의 설계기준 인장강도

- 극한상태에서 GFRP 전단보강근의 응력제한은 식 (6.4)으로부터 산정하며, 이 값은 굽힘부의 인장강도 f_{fb} 이내이어야 한다.

$$f_{fv} = 0.004E_f \leq f_{fb} \quad (6.4)$$

- 부재축에 수직인 스티럽을 사용하는 경우 전단보강에 필요한 간격 및 면적은 식 (6.4)에 따라 계산하여야 한다.

$$\frac{A_{fv}}{s} = \frac{(V_u - \phi V_c)}{\phi f_{fv} d} \quad (6.5)$$

- 경사진 GFRP 보강근을 GFRP 스티럽으로 사용하는 경우 공칭전단강도 V_f 는 식 (6.6)을 사용하여 계산하여야 한다.

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fv} d}{s} (\sin \theta_s + \cos \theta_s) \quad (6.6)$$

θ_s : 경사스티럽과 부재축의 사이각

s : 부재축방향 보강근과 평행한 방향의 GFRP 스티럽 간격

- 연속 나선 형태의 GFRP 스테럽이 사용되는 경우 공칭전단강도는 식 (6.7)에 따라 계산하여야 한다.

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fv} d}{s} \sin \theta_s \quad (6.7)$$

6.2.2 최소 전단보강량

- 계수전단력 V_u 가 $\phi V_c/2$ 를 초과하는 모든 GFRP 보강근 부재의 경우에는 식 (6.8)에 의해 계산된 최소 GFRP 스테럽을 배치하여야 한다.

$$A_{fv, \min} = 0.35 \frac{b_w s}{f_{fv}} \quad (6.8)$$

6.3 GFRP 스테럽의 세부사항

- 수직 배치된 GFRP 스테럽의 최대 간격은 $\frac{d}{2}$ 와 600 mm 중에서 작은 값으로 한다.
- GFRP 스테럽의 절곡부는 전단에 취약하므로 작은 절곡반경은 피해야 하며, 최소 $\frac{r_b}{d_b}$ 는 3이상인 되도록 하여야 한다.
- GFRP 스테럽은 90도로 꺾어서 폐합시켜야 하며, $12d_b$ 이상의 꼬리 길이를 확보 하여야 한다.

6.4 2방향 GFRP 보강근 콘크리트 슬래브의 전단강도

- GFRP 보강 2방향 콘크리트 슬래브의 편칭전단강도는 식 (6.9)로부터 산정할 수 있다.

$$V_c = \left(\frac{4}{5} \right) \sqrt{f_{ck}} b_o (kd) \quad (6.9)$$

b_o : 슬래브와 기초판에서 2방향 전단에 대한 위험단면의 둘레로서, 기둥면에서 $\frac{d}{2}$ 떨어진 위치에서 산정하며 기둥의 형상과 같아야 한다.

- 이 식은 사각 또는 원형 내부기둥으로 지지되거나 집중하중을 받는 2방향 슬래브에 대하여 적용한다.

7장 수축 및 온도 보강근

- 건조수축 및 온도 보강을 위하여 배치되는 GFRP 보강근은 식 (7.1)의 보강비 이상으로 하나, 어떠한 경우에도 0.0014 이상이어야 한다. 단, 건조수축 및 온도 보강근 보강비 계산은 콘크리트 전체 단면적을 기준으로 한다.

$$\rho_{f,ts} = 0.0018 \times \frac{414}{f_{fu}} \frac{E_s}{E_f} \leq 0.0036 \quad (7.1)$$

구조물공

- 건조수축 및 온도에 대한 GFRP 보강근 배치간격은 부재 두께의 3배, 또는 300 mm 미만으로 하여야 한다.

8장 정착과 이음

8.1 일반사항

- GFRP 보강근 콘크리트 부재 각 단면의 GFRP 보강근에 작용하는 인장력이 단면의 양측에서 발휘될 수 있도록 문힘길이, 갈고리, 단부 헤드 또는 이들의 조합에 의하여 보강근을 정착하여야 한다.
- 갈고리와 단부 헤드는 인장 영역에 있는 보강근의 정착에만 사용하도록 한다.

8.1.1 직선 GFRP 보강근의 정착

- 직선형 GFRP 보강근의 평균 부착응력 u 은 식 (8.1)으로부터 산정할 수 있다.

$$\frac{u}{0.083\sqrt{f_{ck}}} = 4.0 + 0.3\frac{C}{d_b} + 100\frac{d_b}{l_e} \quad (8.1)$$

C : 보강근 중심으로부터 콘크리트 덮개와 보강근 중심 간격의 1/2 중 작은 값

- 식 (8.1)에서 $\frac{C}{d_b}$ 는 3.5이하이어야 한다.

- 직선형 GFRP 보강근의 정착응력 f_{fe} 는 식 (8.2)를 사용하여 산정할 수 있다.

$$f_{fe} = \frac{0.083\sqrt{f_{ck}}}{\alpha} \left(13.6\frac{l_e}{d_b} + \frac{C}{d_b}\frac{l_e}{d_b} + 340 \right) \leq f_{fu} \quad (8.2)$$

C : 보강근 중심으로부터 콘크리트 덮개와 보강근 중심 간격의 1/2 중 작은 값

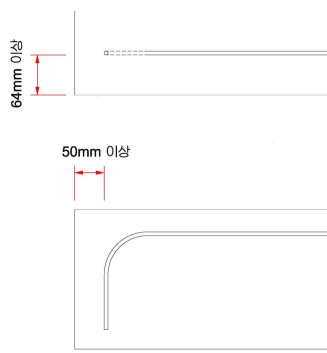
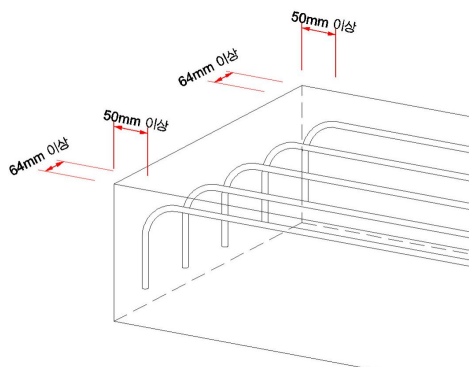
- 식 (8.2)에서 위치수정계수 α 의 기본값은 1.0이며, 단 상부 GFRP 보강근 아래에 300 mm 이상의 콘크리트를 타설하는 경우에는 1.5를 사용한다.

8.1.2 절곡 GFRP 보강근의 정착 길이

- 절곡한 GFRP 보강근의 정착길이 l_{bdf} 는 식 (8.3)으로 산정하며, $12d_b$ 와 230 mm 중에서 큰 값 이상이어야 한다.

$$l_{bdf} = \begin{cases} 165 \frac{d_b}{\sqrt{f_{ck}}} & f_{fu} \leq 520 \text{ MPa} \\ \frac{f_{fu}}{3.1} \frac{d_b}{\sqrt{f_{ck}}} & 520 < f_{fu} < 1,040 \text{ MPa} \\ 330 \frac{d_b}{\sqrt{f_{ck}}} & f_{fu} \geq 1,040 \text{ MPa} \end{cases} \quad (8.3)$$

- GFRP 보강근의 절곡반경은 $3d_b$ 이상이어야 한다.
- 갈고리 보강근의 연장길이 l_{thf} 는 $12d_b$ 이상이어야 한다.
- 표준갈고리를 갖는 인장 이형 보강근의 기본정착길이에 보정계수를 적용할 수 있다. 갈고리 평면에 수직방향인 측면 피복두께가 64mm 이상이며, 갈고리 부분의 피복두께가 50mm 이상인 경우 0.7을 곱하여 적용할 수 있다.



8.1.3 직선 GFRP 보강근의 정착 길이

- 직선형 GFRP 보강근의 인장 정착길이 l_d 는 식 (8.4)과 $20d_b$ 중에서 큰 값 이상이
어야 한다.

$$l_d = \frac{\alpha \frac{f_{fr}}{0.083\sqrt{f_{ck}}} - 340}{13.6 + \frac{C}{d_b}} d_b \quad (8.4)$$

$f_{fr} : f_{fu}$, 식 (5.6), 식 (8.2)에서 산정된 값 중 작은 값

α : 보강근 위치수정계수

C : 보강근 중심으로부터 콘크리트 덮개와 보강근 중심 간격의 1/2 중 작은
값

- 식 (8.4)는 식 (8.5)의 조건을 만족하여야 한다.

$$l_d \leq \frac{\phi M_n}{V_u} + l_a \quad (8.5)$$

l_a : 받침부에서 그 중심선을 지난 문힘길이 또는 변곡점을 지난 문힘길이
(변곡점의 경우 부재의 유효깊이와 $12d_b$ 중에서 큰 값을 사용)

8.1.4 휨 보강근의 정착

8.1.4.1 일반사항

- 일반사항은 KDS 14 20 52 4.4.1에 따르며, 이때의 보강근 응력 및 정착길이는
본 설계기준에서 산출된 값을 적용한다.

8.1.4.2 정모멘트 보강근의 정착

- 정모멘트 보강근의 정착은 KDS 14 20 52 4.4.2에 따른다.

8.1.4.3 부모멘트 보강근의 정착

- 부모멘트 보강근의 정착은 KDS 14 20 52 4.4.3에 따른다.

8.1.5 인장 겹침 이음

- 인장 보강근의 겹침이음 길이는 모든 경우에 대하여 $1.3l_d$ 이상이 되도록 하여야 한다.

9장 보강근 상세

9.1 간격 제한

- GFRP 보강근의 간격은 KDS 14 20 50 4.2.2(1)~(5)에 따른다. 또한, 7장의 수축 및 온도 보강근에 대한 규정도 만족하여야 한다.

9.2 콘크리트 최소 피복두께

- 발주자가 특별히 지정하지 않는 한, GFRP 보강근 콘크리트 피복두께는 화재보호에 필요한 값을 제외하고 모든 노출조건에 대하여 슬래브(직경 32mm 이하의 상하면 보강근)는 25mm 또는 $1.5d_b$ 이상, 보 및 스테럽은 25mm 이상, 그리고 그 외 보강근은 50mm 이상이어야 한다.

10장 콘크리트 교량 바닥판

10.1 일반 사항

- 이 절의 규정은 GFRP 보강근을 사용한 콘크리트 바닥판의 설계에 적용한다.
- 이 절에서 규정하지 않은 재료, 하중 및 설계방법은 1절~9절을 따른다.

10.2 구조 상세

구조물공

10.2.1 바닥판의 최소두께

- 특별히 요구되지 않는 한, 콘크리트 바닥판은 흙 또는 마모 방지층의 두께를 뺀 바닥판 최소두께는 220mm 이상이어야 한다. 프리스트레스트 콘크리트 바닥판의 최소두께는 200mm 이상이어야 한다.

10.2.2 경사진 바닥판

- 바닥판의 비스듬한 경사각도 (skew angle)가 25°이하의 경우에 대하여 GFRP 보강 주근은 경사각도 방향으로 배치한다. 그렇지 않으면, 주 지지 방향과 직각방향으로 배치하여야 한다.

10.2.3 보강근 사용직경

- 콘크리트 교량 바닥판에 사용하는 GFRP 보강근의 직경은 32mm를 초과하지 않아야 한다.

10.2.4 보강근의 배근 간격

- GFRP 보강근의 최대 배근 간격은 300 mm를 넘지 않아야 한다.

10.2.5 배력보강근

- 집중하중으로 작용하는 윤하중을 수평 방향으로 분산시키기 위해 정모멘트에 발생하는 바닥판 하부에는 주보강근의 직각 방향으로 배력 보강근을 배치하여야 한다. 이때 보강근량은 정모멘트에 의해 소요되는 주근량에 대해 식 (10.1) 및 식 (10.2)와 같이 계산한 백분율을 적용한 값으로 한다. 여기서 L 은 바닥판의 경간(m)이다.

- 주보강근이 차량 방향에 직각인 경우 :

$$\frac{120}{\sqrt{L}} \leq \frac{200}{3} \% \quad (10.1)$$

- 주보강근이 차량 진행 방향에 평행한 경우 :

$$\frac{55}{\sqrt{L}} \leq 50 \% \quad (10.2)$$

11장 콘크리트 교량 방호울타리

11.1 일반 사항

- 이 절의 규정은 GFRP 보강근을 사용한 콘크리트 교량용 방호울타리의 설계에 적용한다.
- 이 절에서 규정하지 않은 재료, 하중 및 설계방법은 1절~9절을 따른다.
- 방호울타리 등급 및 시험 요구조건에 관한 사항은 국토교통부 제정 도로안전시설 설치 및 관리지침의 차량방호 안전시설 편에 제시된 기준을 따른다.
- GFRP 보강근을 적용한 방호울타리의 설계에서 5.2.4에서 제시한 휨 저항계수는 책임감독자의 승인하에 상향하여 적용 가능하되, 실물충돌 시험으로 검증하여야 한다.
- GFRP 보강근을 적용한 방호울타리 설계는 보강근의 절곡부 성능시험을 포함한 기계적 물성 성능시험을 만족하여야 한다.

구조물공

11.2 구조 상세

11.2.1 바닥판 연결부

- GFRP 보강근을 적용한 방호울타리가 설치되는 교량 캔틸레버부 바닥판 연결부 설계에 대한 상세한 규정은 KDS 24 90 11의 교량 기타시설설계기준(한계상태설계법)에 따른다.
- 연결부의 전단강도 산정은 기존 철근과 동일하게 적용하며, 이 경우 GFRP 보강근의 전단마찰에 대한 불확실성을 고려하여 콘크리트 점착력 및 방호벽 자중은 고려하여서는 안 된다.

11.2.2 GFRP 보강근의 정착

- GFRP 보강근은 철근에 비하여 긴 정착길이가 요구되며, 8.1.2에서 제시한 매입길이 계산식을 적용하되, 바닥판 두께를 고려하여 소요보강근/사용보강근 비율에 따른 보정계수를 적용하여 산정한다.

11.2.3 설계 충돌하중 산정

- 방호울타리에 충돌하는 차량의 동적 하중은 종, 횡 및 수직 방향의 동등 정하중으로 환산하며, 이중 최대 횡방향 하중을 설계하중으로 반영한다.
- 최대 정적 횡방향 충돌하중 F_{lat} 계산은 Olson 모델을 적용하여 식 (11.1)과 같이 계산한다.

$$F_{lat} = G_{lat} \times W_{cv} \quad (11.1)$$

$$G_{lat} = \frac{V_{cs}^2 \sin^2 \theta_{cs}}{2g [A_{cd} \sin \theta_{cs} - 0.5 B_{cw} (1 - \cos \theta_{cs}) + D_{lat}]} \quad (11.2)$$

W_{cv} : 차량 중량(ton)

V_{cs} : 충돌속도(m/sec)

A_{cd} : 차량 앞면으로부터 차량 중심까지의 거리(m)

B_{cw} : 차량 폭(m)

θ_{cs} : 차량 충돌각도(°)

D_{lat} : 방호울타리의 횡방향 변위(m)

GFRP 보강근 잠정 시공지침

2022

 한국도로공사

설 계 처

목 차

1 장 일반사항

2 장 자재

3 장 시공

1장 일반사항

1.1 적용범위

- 이 시공지침은 GFRP 보강근 자재의 품질관리와 가공, 조립, 이음 등 시공에 필요한 일반적이고 기본적인 사항을 규정한다.
- 이 시공지침은 공칭직경 32mm 이하의 이형 GFRP 보강근에 적용하여야 한다.

구조물공

1.2 GFRP 보강근 공사 일반

- GFRP 보강근은 설계에 정해진 원칙에 의해 그려진 GFRP 보강근 상세도에 따라 재질을 해치지 않는 적절한 방법으로 정확한 치수 및 형상을 가지도록 가공하고, 이것을 소정의 위치에 정확하고 견고하게 조립, 이음하여야 한다.
- 설계도면에 따라 GFRP 보강근 상세도를 작성하여 책임기술자의 승인을 받은 후 GFRP 보강근을 가공, 조립 및 이음하여야 한다.
- GFRP 보강근의 현장 적용방법은 기존의 철근 보강근과 유사하게 적용할 수 있다.

1.3 참조 기준

- KS B ISO 3611 제품의 형상 명세(GPS) - 치수 측정장비: 외측 마이크로미터 - 설계 및 계측 특성
- KS B ISO 13385-1 제품의 형상 명세(GPS) - 치수 측정기 - 제1부: 캘리퍼스-설계 및 계측 특성
- KS D 3504 철근 콘크리트용 봉강

- KS F ISO 10406-1 콘크리트용 섬유강화폴리머(FRP) 보강재 - 시험방법 - 제1부: FRP 보강근 및 격자
- KS M ISO 1172 유리섬유 강화 플라스틱 - 프리프레그, 성형 콤파운드, 적층판 - 유리섬유 및 무기 충전제 함량의 측정 - 연소법
- KS M ISO 14127 탄소 섬유 강화 복합 재료 - 수지, 섬유, 공극률의 측정
- KS M ISO 11357-2 플라스틱 - 시차주사열량계(DSC) - 제2부: 유리전이온도의 측정
- KS M ISO 11359-2 플라스틱 - 열기계 분석(TMA) - 제2부: 선팽창계수 및 유리전이온도의 측정

1.4 용어의 정의

- 승인
책임기술자에 의하여 검증되어 공식적으로 승인된 사항
- 책임기술자
계약 문서를 발행하거나 계약 문서에 따라 작업을 관리하는 전문 기술자
- 간격재(Spacer)
GFRP 보강근 등에 소정의 피복을 가지게 하거나 그 간격을 정확하게 유지시키기 위하여 쓰이는 콘크리트제, 모르타르제, 플라스틱제 등의 부품
- 절연재
도자기, 유리 및 대부분의 플라스틱과 같이 부도체이지만 정전기장을 효율적으로 지지하는 물질

- 기계적 이음(Mechanical splice)
나사를 가지는 슬리브 또는 커플러, 에폭시나 모르타르 또는 용융 금속 등을 충전한 슬리브, 클립이나 편채 등의 보조장치 등을 이용한 이음
- GFRP 보강근(Glass Fiber-reinforced polymer, bar, rebar)
콘크리트를 보강하기 위해 콘크리트 속에 배치되는 이형봉 형상의 유리가 함유된 섬유강화폴리머 보강재

1.5 제출물

- 검사 및 시험계획서
- 시공계획서 및 도면
- 제품 자료 및 품질 확인서
- GFRP 보강근 상세도

2장 자재

2.1 GFRP 보강근

- GFRP 보강근의 내화학적 및 내구성을 확보하기 위해 폴리에스터 수지의 사용을 허용하지 않고, 비닐에스터 또는 에폭시 수지만을 허용하되 비닐에스터 수지와 동등 이상의 내화학적성이 확보된 수지는 사용을 허용한다. 또한, 충전제 또는 첨가제가 사용되는 경우 그 양은 수지 질량의 20%를 넘지 않아야 한다.
- GFRP 보강근의 단면특성은 표 2.1을 따르며, 무게를 제외한 KS D 3504에 따른 철근의 치수 허용 한도와 유사하게 적용할 수 있다.

표 2.1 GFRP 보강근 단면특성

호칭명	공칭치수		측정단면한계		최소인장 하중(kN)
	공칭지름(mm)	공칭단면적(mm ²)	최소(mm)	최대(mm)	
F06	6.35	31.67	29.14	-	25
F08	7.94	49.51	45.55	-	39
F10	9.53	71.33	67.05	75.61	57
F13	12.7	126.7	119.10	134.30	101
F16	15.9	198.6	188.67	208.53	160
F19	19.1	286.5	272.18	300.83	218
F22	22.2	387.1	367.75	406.46	294
F25	25.4	506.7	481.37	532.04	385
F29	28.6	642.4	616.70	668.10	493
F32	31.8	794.2	762.43	825.97	610

- GFRP 보강근에 사용되는 수지의 유리전이온도는 100 ℃ 이상이어야 한다.

- 직선 GFRP 보강근의 섬유함유량은 중량비율로 75% 이상이어야 하며, 절곡된 보강근의 경우는 중량비율을 최소 70%로 하여야 한다. 밀도는 1.9~2.2 (g/cm³)이어야 한다.
- GFRP 보강근은 콘크리트에 대한 부착강도는 10 MPa 이상이어야 하며, 인장강도, 탄성계수, 파괴변형률 등 역학적 특성은 표 2.2를 표준으로 한다.

표 2.2 GFRP 보강근 역학적 특성 표준

구분	GFRP	
인장강도(MPa)	F19 미만	850 이상
	F19 이상	800 이상
탄성계수(GPa)	45 이상	
파괴변형률(%)	1.2~3.1	

주 1) 내알칼리성 시험 후 인장강도 및 탄성계수는 상기 값의 80 % 이상이어야 함

- GFRP 보강근의 종방향 온도팽창계수는 $6.0 \sim 10.0 (\times 10^{-6} / ^\circ\text{C})$ 범위이어야 한다.
- GFRP 보강근의 허용 가능한 손상면적은 보강근의 단위길이당(30 cm) 표면적의 2 %, 손상깊이는 1 mm를 초과하지 않아야 한다.
- GFRP 보강근의 표면은 현장 작업자의 원활한 작업성을 위하여 수지코팅으로 가공 처리하여야 한다.

2.2 GFRP 보강근 고임재 및 간격재

- GFRP 보강근 고임재 및 간격재의 표준은 표 2.3에 따른다.

표 2.3 GFRP 보강근 고임재 및 간격재 표준

부위	종류	수량 또는 배치간격
기초	절연재, 콘크리트	8 개 / 4 m ² , 20 개 / 16 m ²
지중보	절연재, 콘크리트	간격은 1.5 m, 단부는 1.5 m 이내
벽, 지하외벽	절연재, 콘크리트	상단 보 밑에서 0.5 m, 중단은 상단에서 1.5 m 이내 횡간격은 1.5 m, 단부는 1.5 m 이내
기둥	절연재, 콘크리트	상단은 보 밑 0.5 m 이내, 중단은 주각과 상단의 중간 기둥 폭방향은 1 m 미만 2개, 1 m 이상 3개
보	절연재, 콘크리트	간격은 1.5 m, 단부는 1.5 m 이내
슬래브	절연재, 콘크리트	간격은 상·하부 GFRP 보강근 각각 가로 세로 1 m

주 2) 수량 및 배치간격은 5~6층 이내의 GFRP 보강근 콘크리트 구조물을 대상으로 한 것으로서, 구조물의 종류, 크기, 형태 등에 따라 달라질 수 있음.

- GFRP 보강근 고임재 및 간격재는 전기가 통하지 않는 재료를 이용하여 제작된 제품을 사용하여야 한다. 단, 철 성분이 포함된 지지물은 반드시 에폭시나 다른 형태의 폴리머 등 절연재를 이용하여 코팅하여야 한다.

2.3 GFRP 보강근의 이동 및 저장

- GFRP 보강근의 이동은 과도한 굽힘이 발생하지 않도록 다 지점으로 인상하여야 한다.
- GFRP 보강근은 직접 땅에 놓지 않도록 하고, 적당한 간격으로 지지하여 창고 내에 저장하든지 또는 실외에 두는 경우에는 자외선(UV)에 노출되지 않도록 적당한 씌우개로 덮어서 저장하여야 한다. 특히, 4개월 이상 실외에 두는 경우에는 불투명 플라스틱 재질의 보호막을 설치하여야 한다.

- 현장에서 시공 전 보관 중에는 섭씨 50℃ 이상의 온도 또는 화학 물질에 노출되지 않도록 하여야 한다.
- 취급 및 검사에 편리하도록 가공 또는 조립된 GFRP 보강근은 종류별, 지름별, 사용부위별로 저장하여야 한다.

2.4 자재 품질관리

- GFRP 보강근은 요구되는 품질의 만족 여부를 자재 선정단계에서 확인하여야 하며, 현장에 반입된 자재는 시공하기 전에 일정한 빈도를 정하여 검사하여야 한다.
- GFRP 보강근의 자재 선정단계에서 확인하여야 할 품질 항목과 현장에 반입된 자재에 대해 실시해야 하는 품질 검사 항목, 시험 및 검사 방법, 판정 기준 등은 표 2.4을 표준으로 한다.

표 2.4 GFRP 보강근의 품질 확인 및 검사 표준

구분	항목	상세	시기 및 횟수	시험 및 검사 방법	판정기준
자재선정 단계 품질 확인	단면특성	공칭단면적	선정 시	KS F ISO 10406-1	표 2.1-2에 따름
		공칭지름			
	인장특성	극한인장강도			F19 미만 : 850 MPa 이상 F19 이상 : 800 MPa 이상
		탄성계수			≥ 45 GPa
	부착력	부착강도			≥ 10 MPa
	내알카리성	극한인장강도			F19 미만 : 680 MPa 이상 F19 이상 : 640 MPa 이상
		탄성계수			≥ 36 GPa
	밀도	g/cm ³			1.9~2.2
	열팽창계수	종방향열팽창계수			6.0~10.0($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
	절곡부 성능 시험	강도감소계수		ACI 440.3R B5, B12	0.75 이상
		극한인장강도			F19 미만 : 300 MPa 이상 F19 이상 : 280 MPa 이상
	유리함유량	중량비		KS M ISO 1172	≥ 75 %
	유리전이온도			KS M ISO 11357-2 / KS M ISO 11359-2	≥ 100 °C
현장 반입된 자재 품질 검사	단면특성	공칭단면적	반입 시 공사 중 (제품 규격별 30,000m 마다)	KS F ISO 10406-1	상동
		공칭지름			
	인장특성 탄성계수	극한인장강도			
		탄성계수			
	유리함유량	중량비		KS M ISO 1172	

3장 시공

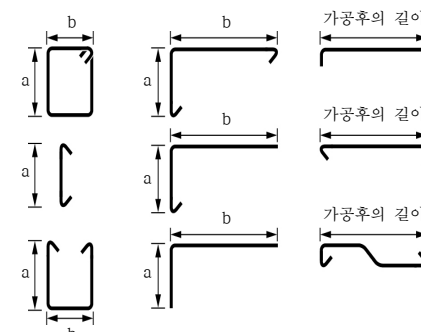
3.1 GFRP 보강근의 가공

- GFRP 보강근은 현장에서 고속 다이아몬드 그라인더나 전기톱 등으로 절단할 수 있으나, 현장 절단의 경우 분진이 발생하지 않도록 절단 방법을 책임기술자에게 승인받아야 한다.
- GFRP 보강근의 가공은 GFRP 보강근 상세도에 표시된 형상과 치수가 일치하고 재질을 해치지 않은 방법으로 이루어져야 한다.
- GFRP 보강근은 공장에서 가공하는 것을 원칙으로 하며, 현장에서는 굽힘이나 굽힘 보강근을 직선화하는 작업이 허용되지 않는다. (작업을 허용하여서는 안 된다.)
- GFRP 보강근 가공의 허용오차는 표 3.1에 따른다.

구조물공

표 3.1 가공치수의 허용오차

GFRP 보강근의 종류		부호 (오른쪽 그림)	허용오차 (mm)			
스터럽, 띠GFRP 보강근, 나선GFRP 보강근		a, b	±5			
그 밖의 GFRP 보강근	F25 이하	a, b	±15			
	F29 이상 F32 이하	a, b	±20			
가공 후의 전 길이		L	±20			



3.2 GFRP 보강근의 조립

- GFRP 보강근의 표면에는 부착을 저해하는 흙, 기름 또는 이물질이 없어야 한다.
- GFRP 보강근은 바른 위치에 배치하고, 콘크리트를 타설할 때 움직이지 않도록 충분히 견고하게 조립하여야 한다. 이를 위하여 필요에 따라서 조립용 강재를 사용할 수 있다. 또한 GFRP 보강근이 바른 위치를 확보할 수 있도록 결속선으로 결속하여야 한다.
- GFRP 보강근의 피복두께를 정확하게 확보하기 위해 적절한 간격으로 고임재 및 간격재를 배치하여야 한다. 고임재와 간격재를 선정하고 배치할 때에는 사용 개소의 조건, 이들의 고정 방법 및 GFRP 보강근의 중량, 작업하중 등을 고려할 필요가 있다.(고려가 필요하다)
- GFRP 보강근은 조립한 다음 장기간 콘크리트를 타설하지 않는 경우 자외선(UV)에 노출되지 않도록 적당한 씌우개로 덮어서 보호하여야 하며, 콘크리트 타설 전에 다시 조립 검사를 하고 손상 여부를 확인하여야 한다.

3.3 GFRP 보강근의 이음

- GFRP 보강근 상세도에 표시되어 있지 않은 곳에 GFRP 보강근의 이음을 둘 경우에는, 그 이음의 위치와 방법은 KDS 14 20 00의 각 하위 코드에 따라 정하여야 한다.
- GFRP 보강근은 원칙적으로 겹침이음만을 허용하고, 기계적이음은 허용되지 않는다. 단, 널리 알려진 이론이나 시험에 의해 기술적으로 증명된 경우에는 발주자의 승인을 받아 적용할 수 있다.
- 장래의 이음에 대비하여 구조물로부터 노출시켜 놓은 GFRP 보강근은 손상이나 열화되지 않도록 보호하여야 한다.

3.4 GFRP 보강근 가공, 조립 및 이음의 검사

- GFRP 보강근 가공 및 조립 완료 시 검사는 표 3.2에 따르고, 검사 성적서를 책임 기술자에게 제출하여 승인을 받아야 한다.

표 3.2 GFRP 보강근 가공 및 조립에 대한 품질 검사

항목		시험·검사 방법	시기·횟수	판정기준
GFRP 보강근의 가공치수		스케일 등에 의한 측정	조립 후 및 조립 후 장기간 경과한 경우	표 3.1-1의 허용오차 이내
간격재의 종류, 배치, 수량		육안 관찰		GFRP 보강근의 피복이 바르게 확보되도록 적절히 배치되어 있을 것 콘크리트를 타설할 때 변형, 이동의 우려가 없을 것
GFRP 보강근의 고정방법		육안 관찰		GFRP 보강근 가공조립도와 일치할 것
조립된 GFRP 보강근 의 배치	이음 및 정착 위치	스케일 등에 의한 측정 및 육안 관찰		허용오차 : d ≤ 200 mm인 경우 -10 mm, d > 200 mm인 경우 -13 mm
	콘크리트 최소피복 두께			허용오차 : d ≤ 200 mm인 경우 ±10 mm, d > 200 mm인 경우 ±13 mm
	유효깊이			

주 4) 다만, 하단 거푸집까지의 순거리에 대한 허용오차는 -7 mm이며, 피복두께의 허용오차는 도면 또는 설계기준에서 요구하는 최소 피복두께의 -1/3으로 하여야 한다.

- 검사 결과, GFRP 보강근 이음, 가공 및 조립이 적당하지 않다고 판정된 경우에는 GFRP 보강근 상세도의 치수에 맞게 수정하여야 한다.
- GFRP 보강근의 이음 완료 시 검사는 표 3.3에 따르고, 검사 성적서를 책임기술자에게 제출하여 승인을 받아야 한다.

표 3.3 GFRP 보강근 고임재 및 간격재 표준

종류	항목	시험·검사 방법	시기·횟수	판정기준
겹침 이음	위치	육안 관찰 및 스케일에 의한 측정	가공 및 조립 시	GFRP 보강근 상세도와 일치할 것
	이음길이			
가계적 이음	위치	육안 관찰, 필요에 따라 스케일, 버니어캘리퍼스 등에 의한 측정 (커플러 이음의 헐거움 여부를 중심으로 커플러 내·외경 및 길이, 철근 가공 치수 등이 이상 없을 것)	전체 개소	GFRP 보강근 상세도와 일치할 것
	외관 검사			제조회사의 시험 성적서에 사용된 시편과 일치할 것
	인장시험	제조회사의 시험 성적서에 의한 확인 또는 별도 인장시험	설계도서에 의함	극한인장강도 이상

3.5 GFRP 보강근 콘크리트 타설

- 콘크리트를 타설하는 동안 GFRP 보강근이 적절하게 지지, 결속되지 않아 침하, 부력 등으로 떠오름, 이동이 발생하는 경우 타설을 중단하고 적절한 조치를 취하여야 한다.
- 콘크리트에 진동다짐을 하는 경우 다짐기계에 의하여 GFRP 보강근이 손상되지 않도록 주의하여야 한다.

3.6 양생 및 마무리 작업

- 콘크리트가 경화되기 시작한 후에는 거푸집에 충격을 가하거나 노출된 GFRP 보강근에 외력을 가하여서는 안 된다.
- 콘크리트 타설 후에는 공사감독자의 승인을 받아 습윤양생으로 콘크리트를 양생한다.
- 콘크리트는 타설한 후 경화될 때까지 양생기간 동안 직사광선이나 바람에 의해 수분이 증발하지 않도록 보호하여야 한다.
- 콘크리트는 타설한 후 습윤상태로 유지하여 노출면이 마르지 않도록 하여야 하며, 수분 증발에 따라 살수하여 습윤상태로 보호하여야 한다.