

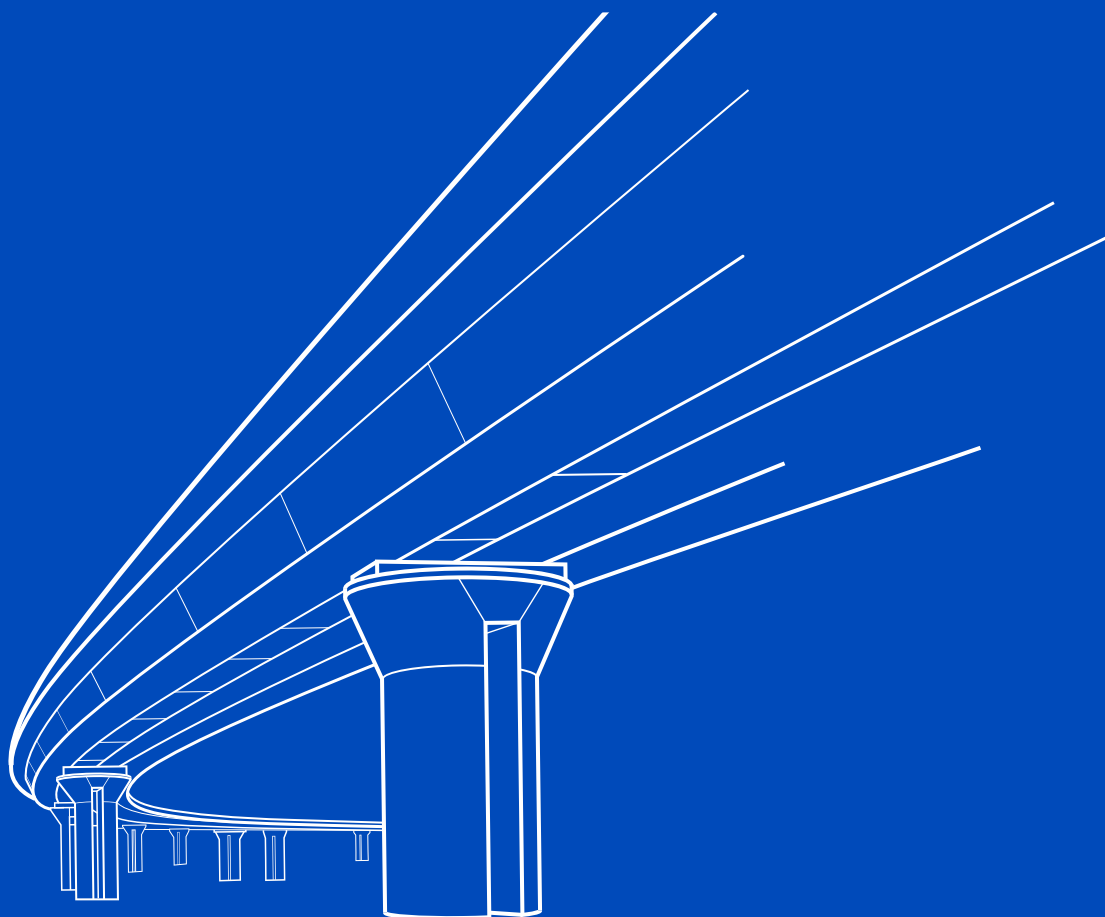
midas Civil

사용자 편의성을
극대화 할 수 있는 솔루션 !

SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION & DESIGN

토목 내진성능평가 및 설계

Option 13



SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION & DESIGN

토목 내진성능평가 및 설계 **Option 13**

NEWS

사용자 편의성을 극대화
할 수 있는 솔루션!

2019년 1월, 통합 내진설계 및 내진성능평가 본격 시행

보도자료

배출일시	2017.3.22.(수) 14:00	보도시점	2017.3.23.(목) 석간부터 [온라인매체 3.23.(목) 06:00부터]
담당과장	지진방재정책과장 직무대리 박하용	연락처	044-205-5181
담당	방재안전사무관 박하용	연락처	044-205-5181
쪽수/붙임	3쪽 / 있음	대변인실	044-205-1223

시설별로 통일된 내진설계기준을 마련한다

— 건축물, 교량 등 31종 시설별 내진설계기준 공통적용사항 제정 —



- 주요 제정내용
- [공통적용사항]
- 지반분류 체계 및 설계지반운동의 특성표현
 - ⇒ 지반 특성을 국내지반환경에 맞게 반영함으로써 **내진설계 기준 강화**
 - 국내지반은 암반까지의 깊이가 얕고(30m~20m), 저층건물에 영향이 큰 고주파가 작용
 - 설계지진 분류체계
 - ⇒ 4800년 주기 추가로 장대교량과 같은 **중요시설물의 안전성 강화**
 - 지진발생 주기(50년, 100년, 200년, 500년, 1000년, 2400년, 4800년 추가)
 - 내진성능수준 분류체계 및 시설물의 내진등급별 내진성능수준
 - ⇒ 다양한 구조물의 용도, 성격에 따른 **합리적 내진설계**
 - 기능수행 · 즉시복구 · 장기복구/인명보호 · 붕괴방지 및 지진발생주기와 내진성능수준 등급이 조합된 표
- [기타사항]
- (기존 내진보강시설물) 시행일 이전에 보강한 시설물은 내진성능 확보 인정
 - (시행일) 내진설계 공통적용사항은 '17.7.1부터 시행하고, 시설별 내진설계기준은 내진설계 공통적용사항 시행일로부터 1년 6개월 이내에 개정 시행 (31개 시설별 설계기준 변경)
- ⇒ 2019년 1월 본격 시행 예정

2019년 10월, 개정된 내진성능평가 (KISTEC 2019) 본격 시행

한국시설안전공단 KISTEC2019 개정 내용 반영

‘교량내진설계기준’에서 제시한 방법에 따라 교량의 지진해석방법 반영

- 한계상태설계법(LSD)에서 제시된 방법을 기본으로 적용
- 최신설계기준의 활하중을 고려한 지진하중조합으로 제시되어 내진성능평가에서도 필수

고정하중 분류에 따른 max/min 계수 조합

30% Rule에 의한 탄성지진하중조합 자동생성

활하중의 50%를 고려한 하중조합 생성

수직 지진운동을 고려한 탄성지진조합

한국시설안전공단 KISTEC2019 개정 내용 반영

벽식교각의 강축 전단강도 계산 방법 변경

- 한계상태설계법(KDS 24 17 11)에서 제시된 전단강도 식으로 변경
- 한계상태설계법(LSD) 기반의 전단강도식은 전단보강철근 유무에 따른 수식으로 분류

KISTEC 2015 벽식교각 전단강도

$$V_{n1} = 0.66 \sqrt{f_{ck}} b^L d^L$$

$$V_{n2} = (0.165 \sqrt{f_{ck}} + \rho_{sh} f_{yh}) b^L d^L$$

$$V_n = \min(V_{n1}, V_{n2})$$

NEW

KISTEC 2019 벽식교각 전단강도

$$V_n = [0.85 \phi_c k (\rho_{att} f_{ck})^{1/3} + 0.15 f_n] b d$$

$$\geq (0.85 \phi_c f_{ctk} + 0.15 f_n) b d$$

전단 보강 철근이 없는 경우

$$V_n = \frac{\phi_s f_{yh} A_v z}{s} \cot \theta \leq \frac{v \phi_c f_{ck} b_w z}{\cot \theta + \tan \theta}$$

전단 보강 철근이 있는 경우

교량 받침 평가 중 인발력이 발생하는 경우 인장파괴에 대한 추가 검토 옵션 제공

- 내진설계 시 수직운동의 영향을 고려한 경우 추가 검토
- 교량 받침의 부반력이 발생될 것으로 예상되는 경우 추가 검토

6) 인장을 받는 행커의 콘크리트 파괴

가) 인장을 받는 행커의 콘크리트 파괴강도

① 교축방향

▶ 인장을 저항하는 받침의 행커 중심으로부터 연단거리

- c_{s1} = 425.000 mm (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{s1}' = 425.000 mm
- c_{s2} = 750.000 mm (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{s2}' = 750.000 mm

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

$$s_1 < 2 \times 1.5h_{ef} \text{ 이고 } s_2 < 2 \times 1.5h_{ef} \text{ 이므로}$$

$$A_{Nc} = [\min(c_{s2}, 1.5h_{ef}) + (n^2-1)s_1 + \min(c_{s2}', 1.5h_{ef})] \times [\min(c_{s1}, 1.5h_{ef}) + (n^2-1)s_2 + \min(c_{s1}', 1.5h_{ef})]$$

$$= 800000.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 = 9 \times (200.000)^2 = 360000.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{Nc} < n \cdot A_{Nco} = 6 \times 360000.000 = 2160000.000 \text{ mm}^2$$

$$n = 6 \text{ EA}$$

$$\therefore A_{Nc} = 800000.000 \text{ mm}^2$$

▶ 인장을 받는 행커의 콘크리트 파괴강도 V_{cbg}

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \times \phi_{edN} \times N_b$$

$$= \frac{800000.000}{360000.000} \times 1.000$$

$$\psi_{edN} = 1.0$$

$$N_b =$$

② 교축직각방향

▶ 인장을 저항하는 받침의 행커 중심으로부터 연단거리

- c_{s1} = 750.000 mm (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{s1}' = 750.000 mm
- c_{s2} = 425.000 mm (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{s2}' = 425.000 mm

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

$$s_1 < 2 \times 1.5h_{ef} \text{ 이고 } s_2 < 2 \times 1.5h_{ef} \text{ 이므로}$$

$$A_{Nc} = [\min(c_{s2}, 1.5h_{ef}) + (n^2-1)s_1 + \min(c_{s2}', 1.5h_{ef})] \times [\min(c_{s1}, 1.5h_{ef}) + (n^2-1)s_2 + \min(c_{s1}', 1.5h_{ef})]$$

$$= 675000.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 = 9 \times (200.000)^2 = 360000.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{Nc} < n \cdot A_{Nco} = 6 \times 360000.000 = 2160000.000 \text{ mm}^2$$

$$n = 6 \text{ EA}$$

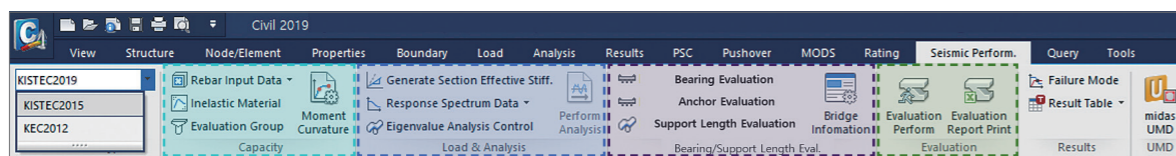
$$\therefore A_{Nc} = 675000.000 \text{ mm}^2$$



Option13

내진성능평가 및 설계 주요 특징점

1. 내진성능평가 및 설계 전용 메뉴 구성



STEP 1 최신 설계/평가 기준 제공 STEP 2 보유성능 산정 STEP 3 소요성능 산정 STEP 4 교량 받침부/지지길이 평가 평가 및 설계보고서 출력

- 4-Step(보유성능 → 소요성능 산정 → 교량 받침부/지지길이 평가 → 평가 및 설계보고서 출력)에 따른 효율적인 프로세스 제공
- 직관적인 내진 전용 메뉴를 통해 내진 성능 설계 및 평가 데이터 공유 가능
- 교각 평가와 받침부/지지길이 평가를 통합한 효율적인 내진성능평가/설계 프로세스를 제공
- 최신 설계기준/평가기준(KSCE-USD/LSD, KISTEC 2015/2019)에서 제시하는 내진성능 프로세스로 빠르고 정확하게 과업 수행 가능
- 내진에 대한 해석/설계/평가 결과를 연동한 내진성능평가 및 설계 통합 보고서 제공

2. 실시간 구조물의 비선형 특성을 고려한 거동 확인 및 업데이트

- 모멘트 - 곡률 곡선에서 휨성능곡선으로 변환하여 보유성능을 실시간으로 확인
- 모든 교각을 축력이 연계된 항복유효강성으로 일괄 업데이트 후 RS해석 가능
- 구조물의 휨과 전단 성능곡선을 통한 파괴모드 실시간 확인

3. 구조물의 거동 특성 자동 판단

- 동적해석의 결과 분석을 통한 교각의 거동(캔틸레버, 라멘거동) 특성 자동 판단

4. 교각 평가와 받침부/지지길이 평가를 통합한 효율적인 내진성능평가/설계 프로세스를 제공

- 직관적인 평가 그룹별 앵커배치에 따른 파괴형상 자동산정

5. 내진성능에 대한 평가 및 설계 보고서

- 내진에 대해 완벽히 대응할 수 있는 내진성능평가 및 설계 상세 보고서 제공

STEP 1

보유성능 산정

해석모델링 → 재료 비선형 정의 → 모멘트 - 곡률 곡선
보유성능에 따른 효율적인 데이터 관리

NEW Add/Modify Moment Curvature Curve

Name: P1-B

☒ Perform Seismic Evaluation

Evaluation Group: P1 Position: Bot

Section Data: column Position: 1

교축/교축 직각방향 동시 고려 가능

Inelastic Material Property

Concrete: Longitudinal: Unconfined Transverse: Unconfined

Steel: SD300

Curve Options

☒ Auto ☐ User

Load Case/Combination: CBSM: eLCB1

Axial Force (Comp. +): 15763.844 kN

Neutral Axis Angle: 0 [deg]

No. of Point: 50

☒ Display Idealized Model

☐ User Define Curvature (For Ideal Model) 0 1/m

Option: ☒ Option 1 ☐ Option 2 ☐ Option 3 Guide

Estimate Condition of Ultimate Curvature

Moment Curvature... OK Cancel Apply

교축 방향

Moment Curvature Curve

Axial load = 12968.1

Neutral Axis Angle = 0

휨 - 성능곡선 변환

휨강도 (kN) 변위 (mm)

교축 직각 방향

Moment Curvature Curve

Axial load = 12968.1

Neutral Axis Angle = 90

휨 - 성능곡선 변환

휨강도 (kN) 변위 (mm)

최신 설계기준 자동하중조합 기능을 통한 축력 연동 (이동하중을 포함한 다양한 하중조합 케이스 생성)

Automatic Generation of Load Combinations

Option: ☒ Add ☐ Replace ☒ Add Envelope

Method: KSCE-LSD15

Define Load and Factors for Gravity Load

Load Factor (DC): ☐ 1.25 ☐ 0.90 ☒ Both

Load Factor (DW): ☐ 1.50 ☐ 0.65 ☒ Both

Unselected

Load Case Name: 1st Dead

Load Case Name: 2nd Dead

Effective Load

Load Case: MV

Load Factor: 0.5

Load Case: MV

Factor: 0.5

Add Modify Delete

☐ Consider Orthogonal Effect (100 : 30 Rule)

Set Load Cases for Orthogonal Effect

OK Cancel

NO	Description
Case 1	1.25DC + 1.50DW + 0.50MV
Case 2	1.25DC + 0.65DW + 0.50MV
Case 3	0.90DC + 1.50DW + 0.50MV
Case 4	0.90DC + 0.65DW + 0.50MV
Envelope	Seismic Evaluation Envelope

Nonlinear properties

Hysteresis Model (Curve Type): Mander Model

Compressive Stress, f_c

Compressive Strain, ϵ_c

Unconfined Concrete

Confined Concrete

Assumed for Cover Concrete

Elastic modulus of Concrete: $E_c = 5,000\sqrt{f_{cm}}$ MPa

Tensile Strength of Concrete: $f_t = 0.62\sqrt{f_{cm}}$ MPa

Tensile Strain of Concrete: $\epsilon_t = \frac{f_t}{E_c}$

Skeleton Curve

f_{co} : 35000 kN/m² ϵ_{cy} : 0.0014

ϵ_{co} : 0.002 ϵ_{sp} : 0.005

E_c : Mander $2,96e+007$ kN/m²

f_t' : Mander 3667.969 kN/m²

ϵ_t' : 1.240e-004

OK Close

Mander Model 지원

Inelastic Material Model

Name: SD300 (KSCE-LSD15(RC)_SD300)

Material Type: Steel

Hysteresis Model: Park Model

Reference Material: C40 Import

σ (tension)

f_y

E_s

ϵ_y

ϵ_{sh}

ϵ_{su}

ϵ (tension)

Skeleton Curve

f_y : Yield Stress of Steel 300 N/mm²

f_u : Ultimate Stress of Steel 440 N/mm²

E_s : Elastic Modulus of Steel 200000 N/mm²

ϵ_y : Yield Strain of Steel (f_y/E_s) 0.0015

ϵ_{sh} : Strain at the Onset of Strain Hardening 0.0115

ϵ_{su} : Strain at the Steel Rupture 0.125

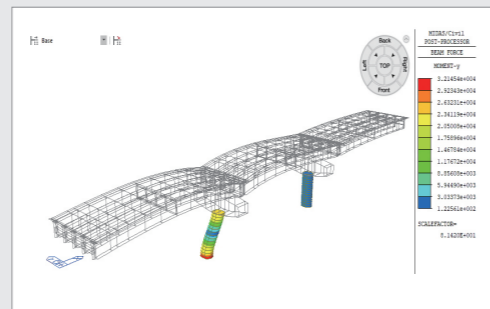
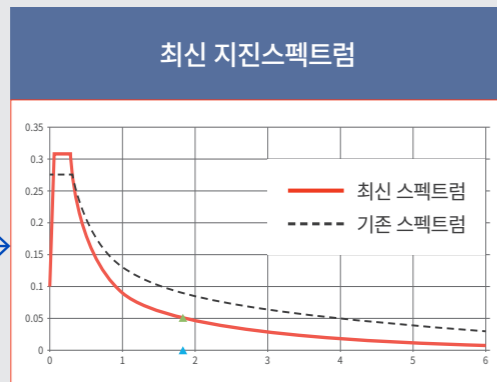
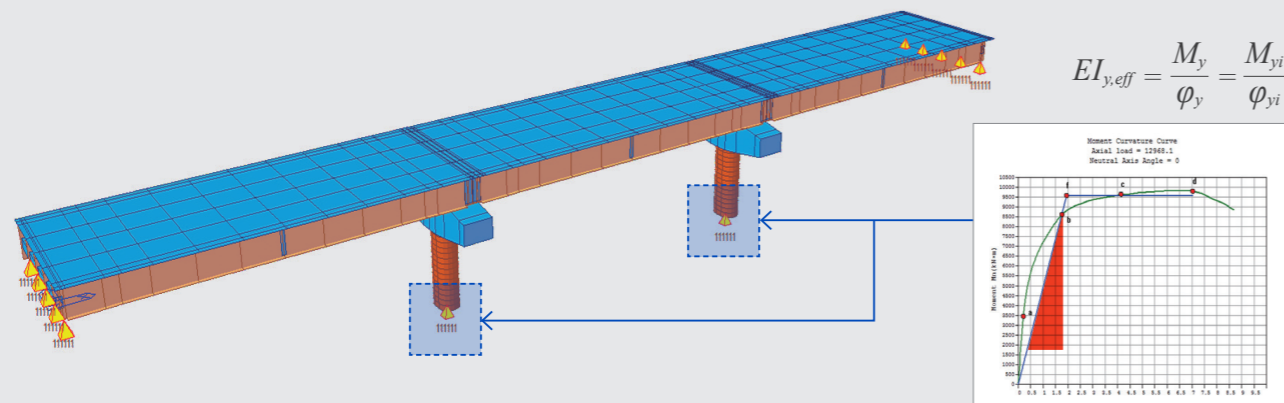
OK Cancel Apply

Park Model 지원

STEP 2

소요 성능 산정

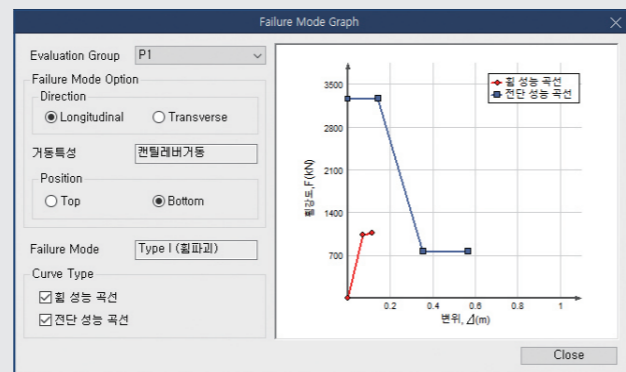
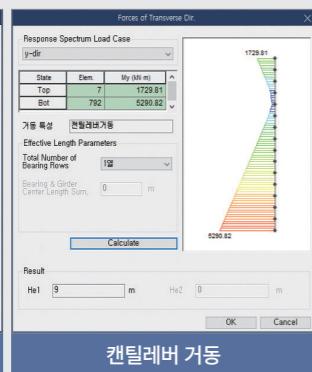
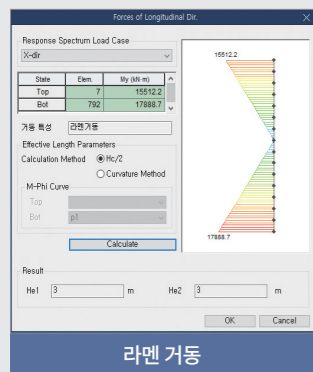
교각별 항복유효강성 업데이트 후
최신 통합지진 스펙트럼을 통한 RS 해석 수행



항복유효강성 적용 후 최신 내진통합기준에 의한
스펙트럼 하중을 적용한 RS 해석 수행

교각의 성능 결과 확인

교각별 거동특성(캔틸레버, 라멘거동) / 휨 - 전단성능에 의한 파괴모드 산정 기능



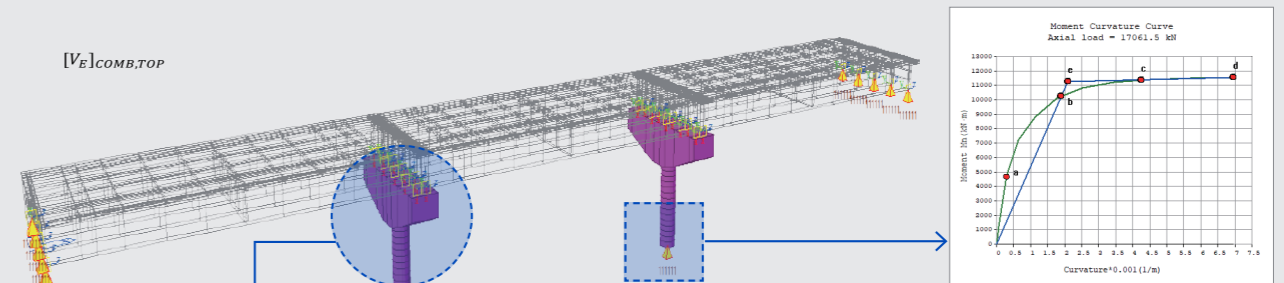
응답스펙트럼의 해석결과를 통해 거동분석(캔틸레버, 라멘거동) 및
각 방향별 유효높이 산정기능 제공

휨성능곡선과 전단성능곡선을 통해 각 방향별 교각의
파괴모드 산정기능 제공

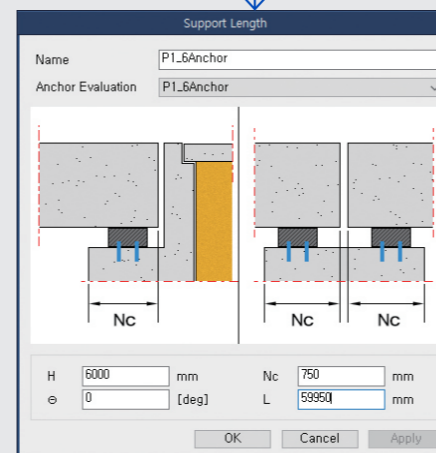
STEP 3

교량 받침부/지지길이 평가

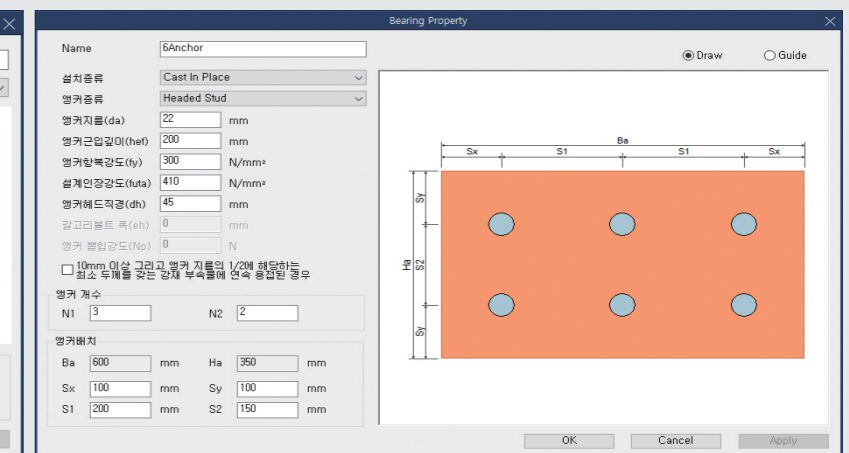
받침본체 / 앵커부 / 받침길이
평가 및 상세 보고서 제공



모멘트 - 곡률 곡선에 따른
최대 소성 한지력 산정
 $F_{B,D} = \min(F_n, [V_E]_{COMB, TOP})$

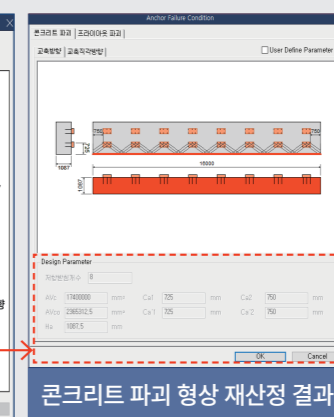
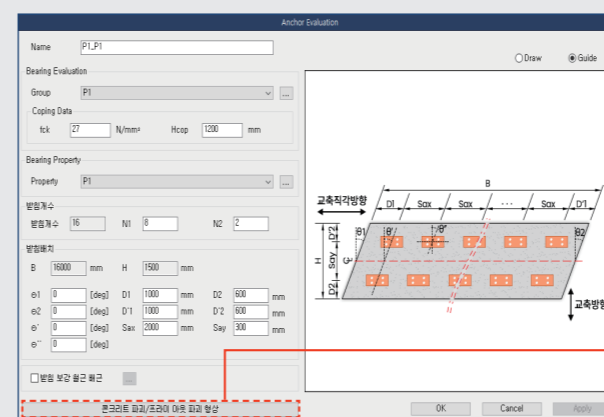


교량 받침 지지길이 평가

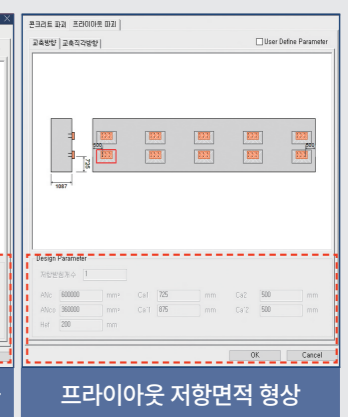


교량 받침 본체의 앵커배치 및 제원 정의

직관적인 평가 그룹별 앵커배치에 따른 파괴형상 자동산정



콘크리트 파괴 형상 재산정 결과



프라이아웃 저항면적 형상

STEP 4

평가 및 설계보고서 출력

비선형 단면해석과 내진해석의 결과를 취합한 보유성능과 소요성능을 통해
내진성능 상세평가 보고서를 엑셀 포맷으로 제공

1. 교량현황

교량제원/기준강도 내진성능평가 개요

2. 구조해석

구조 해석모델
고정하중에 대한 축하중 산정

3. 탄성지진력

입력지진하중
고유치해석결과

4. 복합모드 결과

입력지반운동
지진력 조합(30%조합)
조합 탄성지진력

5. 검토조건

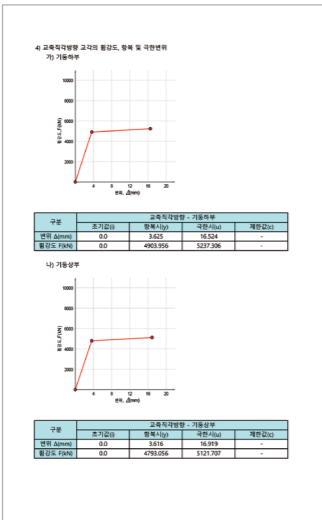
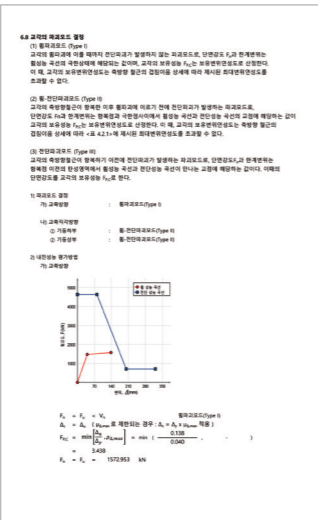
구조물 제원
재료모델(콘크리트,철근)

6. 내진성능평가

교각 단면해석
교각의 휨성능곡선
교각의 전단성능곡선
교각의 파괴모드
교각의 성능평가 최종결과
받침본체/앵커부/받침길이평가

7. 상세보고서 출력

엑셀포맷으로 제공

[illegible][illegible][illegible][illegible][illegible]

7. 발원부 내진성능평가 - 탄성범위

7.1. 발원부 내진성능 평가

(1) 수평방향 지진동

가. 지진지대 1형 지진동형 지진동형

① 수평방향

$$F_h = \frac{1}{2} \times 350,000 \text{ kN}$$

$$F_v = \frac{1}{2} \times 350,000 \text{ kN}$$

나. 수평방향 F_{hx} 지진동형 지진동형

① 수평방향

$$F_{hx} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 350,000 \times 16 = 500,000 \text{ kN}$$

$$F_{hy} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 350,000 \times 16 = 500,000 \text{ kN}$$

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

(2) 수평방향 F_{hx} 지진동형 지진동형

① 수평방향

$$F_{hx} = \max \{ 3145.807 \times 1792.339 \} = 1792.339 \text{ kN}$$

② 수평방향 지진동형

$$F_{hy} = \max \{ 3145.807 \times 2041.186 \} = 2041.186 \text{ kN}$$

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

\Rightarrow 발원부 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형 지진동형

8.1 P1 발원지치밀도 평가
 1) 토질정보 N_{60} , 교각의 발원지치밀도

$N_{60} = 1050.000 \text{ mm}$

2) 토질정보 N_{60} , 교각의 중앙치밀도

3) 중첩계수

교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를
 교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를
 교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를

교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를	교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를	교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를	교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를
$N_{60} \text{ (mm)}$	$N_{60} \text{ (mm)}$	$N_{60} \text{ (mm)}$	$N_{60} \text{ (mm)}$
53.177	870.763	1061.579	1.000

4) 토질정보 N_{60}

$N_{60} = \max(\text{중첩계수}, N_{60}) = [53.177 \quad 206.533] = 206.533 \text{ mm}$

$N_{60} = (206 + 1.67 \times L - 6.66 \times W) \times (1 - 0.000102 \times W^2) = 206.533 \text{ mm}$

$L = 19.900 \text{ (중첩계수)}$
 $W = 5.000 \text{ (중첩계수)}$
 $\sigma = 0.000 \text{ (중첩계수)}$

5) 발원지치밀도 중앙치밀도

$N_{60} = \frac{1050.000}{206.533} = 5.08 > 1 \quad \text{OK}$

8.2 발원지치밀도 평가 요약

교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를	교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를	교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를	교각내 치밀도 분포 (중첩계수)를
206.533	206.533	1.000	OK

마이 다스 교

내진 성능 평가

결과 요약

- 교량명 : 마이다스교

위치 : 경기도 성남시 분당구 판교로

설계하중 : KSCE-LSD15

: KSCE-LSD15

: KL-510TRK
- 총연장 : 300.00 m

내진등급 : 1 등급

교폭 : 13.00 m

지진구역 : 1 구역

구분	내진성능 평가구간			
대상교량 특징	상부형식	: PSC-I Girder	받침제원	: 고력항동받침
	교대형식	: 역T형	받침용량(교대)	: 1000.00 kN
	교대기초	: 직접기초	받침용량(교각)	: 1000.00 kN
	교각형식	: T형		
	교각기초	: 말뚝기초(PHC)		

구분			기존교량 내진성능 평가결과					
주각 이름			P1					
검토			파괴모드(항목)		보유성능	소요성능	비율	판 정
■ 기둥 C_1								
변위연성도	교축		휨파괴모드(Type I)		3.438	1.000	3.438	O.K
	교축 직각	하부	휨-전단파괴모드(Type II)		1.039	1.000	1.039	O.K
		상부	휨-전단파괴모드(Type II)		2.018	1.000	2.018	O.K
			판 정	O.K				
■ 기둥 C_2								
변위연성도	교축		휨파괴모드(Type I)		3.438	1.000	3.438	O.K
	교축 직각	하부	휨-전단파괴모드(Type II)		1.039	1.000	1.039	O.K
		상부	휨-전단파괴모드(Type II)		2.018	1.000	2.018	O.K
			판 정	O.K				
■ 받침부 평가								
받침본체	교축	수평저항력 (kN)		5600.000	1762.590	3.177	O.K	
		전단변위 (mm)		0.060	0.053	1.130	O.K	
	교축직각	수평저항력 (kN)		5600.000	2041.186	2.744	O.K	
		전단변위 (mm)		0.060	0.054	1.115	O.K	
			판 정	O.K				
앵커볼트 (전단)	교축	강재파괴 (kN)		935.126	110.162	8.489	O.K	
		콘크리트 파괴 (kN)		342.591	110.162	3.110	O.K	
		콘크리트 프라이아웃 (kN)		489.898	110.162	4.447	O.K	
	교축	강재파괴 (kN)		935.126	127.574	7.330	O.K	
		콘크리트 파괴 (kN)		370.662	255.148	1.453	O.K	
		콘크리트 프라이아웃 (kN)		367.423	127.574	2.880	O.K	
			판 정	O.K				

앵커볼트 (인장)	교축	강재파괴 (kN)	935.126	314.651	2.972	O.K
		콘크리트 파괴 (kN)	326.599	314.651	1.038	O.K
		앵커 뺄힘 (kN)	754.246	314.651	2.397	O.K
		콘크리트측면 파열 (kN)	-	-	-	-
	교축	강재파괴 (kN)	935.126	314.651	2.972	O.K
		콘크리트 파괴 (kN)	322.553	314.651	1.025	O.K
		앵커 뺄힘 (kN)	754.246	314.651	2.397	O.K
		콘크리트측면 파열 (kN)	-	-	-	-
	판 정	O.K				
앵커볼트 인장과 전단 상관 작용		-	-	-	-	-
▣ 받침지지길이 평가						
-		받침지지길이 (mm)	1.050	0.267	3.939	O.K

4. 복합모드

4.1 P1(C_1) 복합모드 해석 결과

1) 입력지반운동에 대한 탄성지진력

• 교축 방향 지진하중

부재력		X-dir	지진하중 재하시
		$[F_E^L]_L$	$[F_E^T]_L$
축하중 (kN)	교각 상부	3350.70	
	교각 하부	4863.62	
받침상단 변위(mm)		57.46	0.22
전단력 (kN)	기둥 상부	802.28	51.93
	기둥 하부	820.49	53.48
기둥 상단 모멘트(kN·m)		558.12	165.11
기둥 하단 모멘트(kN·m)		3520.39	99.21

• 교축직각 방향 지진하중

부재력		Y-dir	지진하중 재하시
		$[F_E^L]_T$	$[F_E^T]_T$
축하중 (kN)	교각 상부	3350.70	
	교각 하부	4863.62	
받침상단 변위(mm)		0.17	55.68
전단력 (kN)	기둥 상부	18.28	845.75
	기둥 하부	21.36	882.23
기둥 상단 모멘트(kN·m)		32.98	1854.66
기둥 하단 모멘트(kN·m)		69.69	2488.36

• 연직 방향 지진하중

부재력		Z-dir	지진하중 재하시
		$[F_E^L]_V$	$[F_E^T]_V$
축하중 (kN)	교각 상부	3350.70	
	교각 하부	4863.62	
받침상단 변위(mm)		1.35	0.66
전단력 (kN)	기둥 상부	190.16	233.37
	기둥 하부	209.74	243.22
기둥 상단 모멘트(kN·m)		256.66	744.31
기둥 하단 모멘트(kN·m)		806.63	452.01

여기서, $[F_E^L]_L$, $[F_E^T]_L$, $[F_E^L]_T$, $[F_E^T]_T$, $[F_E^L]_V$, $[F_E^T]_V$: 복합모드 해석시 탄성지진력을 의미
첨자 L은 교축 방향, T는 교축직각 방향, V는 연직 방향을 의미하며,
위첨자는 응답방향을, 아래첨자는 입력지반운동의 재하방향을 의미

2) 하중경우별 탄성지진력 조합(30% 규정 적용)

부재력		하중 경우 1 (Comb 1)	
		$[F_E^L]_{com 1}$	$[F_E^T]_{com 1}$
축하중 (kN)	교각 상부	3350.70	
	교각 하부	4863.62	
받침상단 변위(mm)		59.31	17.87
전단력 (kN)	기둥 상부	884.93	464.96
	기둥 하부	909.94	480.41
기둥 상단 모멘트(kN·m)		906.13	1215.81
기둥 하단 모멘트(kN·m)		3943.85	1156.81

부재력		하중 경우 2 (Comb 2)	
		$[F_E^L]_{com 2}$	$[F_E^T]_{com 2}$
축하중 (kN)	교각 상부	3350.70	
	교각 하부	4863.62	
받침상단 변위(mm)		19.27	56.03
전단력 (kN)	기둥 상부	336.13	1020.64
	기둥 하부	350.54	1060.54
기둥 상단 모멘트(kN·m)		538.54	2398.50
기둥 하단 모멘트(kN·m)		1528.36	2829.21

부재력		하중 경우 3 (Comb 3)	
		$[F_E^L]_{com 3}$	$[F_E^T]_{com 3}$
축하중 (kN)	교각 상부	3350.70	
	교각 하부	4863.62	
받침상단 변위(mm)		19.53	18.17
전단력 (kN)	기둥 상부	456.44	591.97
	기둥 하부	482.41	613.23
기둥 상단 모멘트(kN·m)		695.11	1621.25
기둥 하단 모멘트(kN·m)		2044.22	1403.77

여기서, $[F_E]_{com 1} = 1.0 \times [F_E]_L + 0.3 \times [F_E]_T + 0.3 \times [F_E]_V$ $[F_E]_{com 2} = 0.3 \times [F_E]_L + 1.0 \times [F_E]_T + 0.3 \times [F_E]_V$
 $[F_E]_{com 3} = 0.3 \times [F_E]_L + 0.3 \times [F_E]_T + 1.0 \times [F_E]_V$ 단, 교각부 축하중은 30% 규정에서 제외

3) 조합탄성지진력 및 조합탄성변위 산정

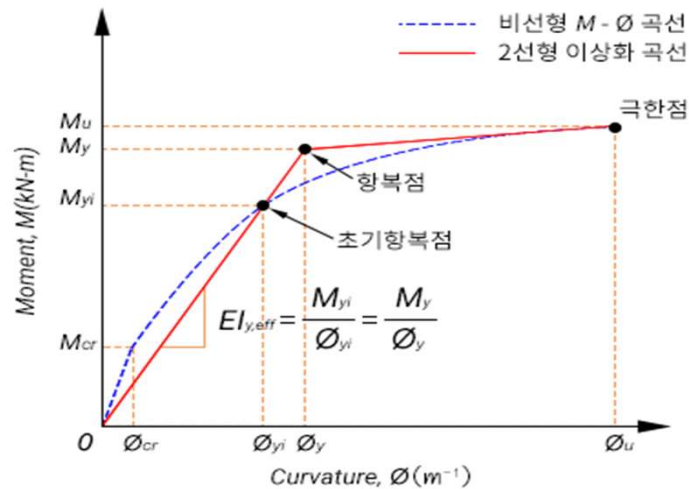
부재력		교축방향지진력	교축직각방향지진력	기 호
		$[F_E^L]_{comb}$	$[F_E^T]_{comb}$	
축하중 (kN)	교각 상부	3350.70		P
	교각 하부	4863.62		P _{bot}
받침상단 변위(mm)		59.31	56.03	$[\Delta_E]_{comb}$ (mm)
전단력 (kN)	기둥 상부	884.93	1020.64	$[V_E]_{comb,Top}$ (kN)
	기둥 하부	909.94	1060.54	$[V_E]_{comb,Bot}$ (kN)
기둥 상단 모멘트(kN·m)		906.13	2398.50	$[M_E]_{comb,Top}$ (kN·m)
기둥 하단 모멘트(kN·m)		3943.85	2829.21	$[M_E]_{comb,Bot}$ (kN·m)

여기서, $[F_E^L]_{comb} = \text{MAX} \{ [F_E^L]_{com 1}, [F_E^L]_{com 2} \}$ $[F_E^T]_{comb} = \text{MAX} \{ [F_E^T]_{com 1}, [F_E^T]_{com 2} \}$

6. 내진성능평가 - 원형

6.1 교각 단면 해석

- 교각의 단면강도, 수평변위 및 유효강성을 산정하기 위하여 단면해석프로그램인 "midas Civil"를 통해 앞에서 구한 축력의 효과를 고려하여 아래 그림과 같은 모멘트-곡률 관계곡선을 산정한다.



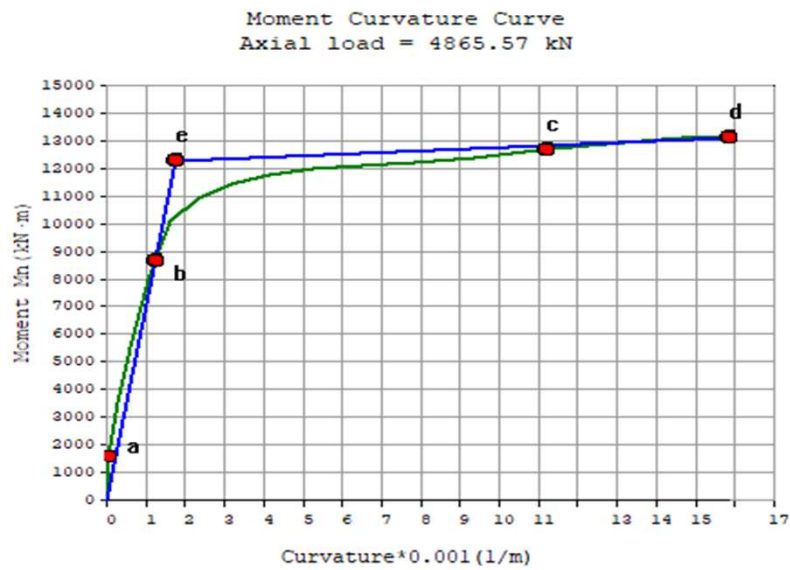
< 모멘트-곡률 관계 곡선 >

여기서, M_{yi} : 초기항복시의 초기항복힘강도 ϕ_{yi} : 초기항복시 곡률
 M_y : 항복시의 항복힘강도 ϕ_y : 항복시 곡률
 M_u : 극한시의 힘강도 ϕ_u : 극한시 곡률

- 대상부재의 모멘트-곡률 관계곡선을 바탕으로 Bilinear의 이상화된 모멘트-곡률 관계곡선을 산정하고 초기 항복시 곡률은 인장철근이 항복하는 점에서, 항복시 곡률은 이상화된 모멘트-곡률 관계곡선의 변곡점에서, 극한시 곡률은 콘크리트 압축연단의 변형율 ϵ_{cu} 에 도달할 때의 곡률로 산정하였다.
- 단면강도를 평가하기 위한 공칭 모멘트는 이상화된 모멘트-곡률 관계곡선의 항복시 및 극한시 곡률에 해당하는 모멘트로 산정하였다.

6.2 이상화된 모멘트-곡률 해석결과

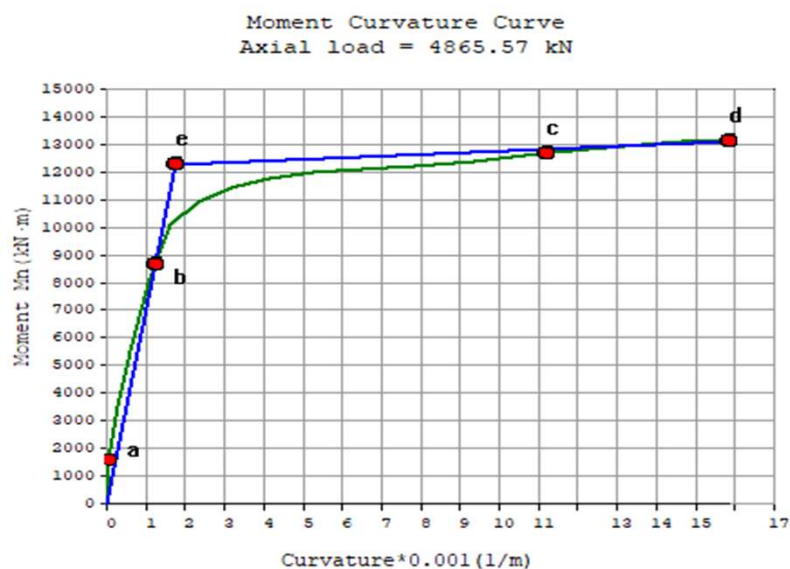
1) 교축방향



State	Curvature $\times 10^{-3}(1/m)$	Moment (kN·m)
a. Crack	0.065	1546.9
b. Yield(init.)	1.226	8636.1
c. Yield	11.212	12668.3
d. Ultimate	15.856	13093.3
e. Yield(Ideal)	1.740	12259.9

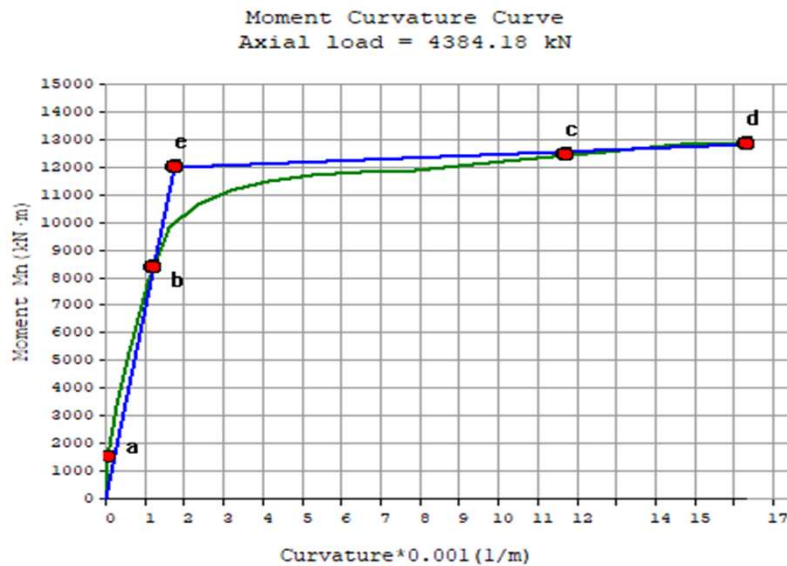
2) 교축직각방향

가) 기둥하부



State	Curvature $\times 10^{-3}(1/m)$	Moment (kN·m)
a. Crack	0.065	1546.9
b. Yield(init.)	1.226	8636.1
c. Yield	11.212	12668.3
d. Ultimate	15.856	13093.3
e. Yield(Ideal)	1.740	12259.9

나) 기동상부



State	Curvature $\times 10^{-3}(1/m)$	Moment (kN·m)
a. Crack	0.065	1522.4
b. Yield(init.)	1.212	8370.4
c. Yield	11.717	12427.6
d. Ultimate	16.301	12804.3
e. Yield(Ideal)	1.736	11982.6

6.3 항복유효강성 산정

1) 항복유효강성

가) 교축방향

$$E_c I_{y,eff}^L = M_y^L / \phi_y^L = \frac{12259.891}{0.00174} = 7045314.718 \text{ kN/m}^2$$

나) 교축직각방향

① 기동하부

$$E_c I_{y1,eff}^T = M_{y1}^T / \phi_{y1}^T = \frac{12259.891}{0.00174} = 7045314.718 \text{ kN/m}^2$$

② 기동상부

$$E_c I_{y2,eff}^T = M_{y2}^T / \phi_{y2}^T = \frac{11982.640}{0.00174} = 6904001.295 \text{ kN/m}^2$$

2) 항복유효단면2차모멘트

가) 교축방향

$$I_{y,eff}^L = E_c I_{y,eff}^L / E_c = \frac{7045314.718}{27804000.000} = 0.253 \quad m^4 = 0.323 \quad I_g^L$$

나) 교축직각방향

① 기둥하부

$$I_{y1,eff}^T = E_c I_{y1,eff}^T / E_c = \frac{7045314.718}{27804000.000} = 0.253 \quad m^4 = 0.323 \quad I_g^T$$

② 기둥상부

$$I_{y2,eff}^T = E_c I_{y2,eff}^T / E_c = \frac{6904001.295}{27804000.000} = 0.253 \quad m^4 = 0.323 \quad I_g^T$$

6.4 교각의 유효높이(He)

1) 교축방향

$$H_e^L = 8.324 \quad m$$

2) 교축직각방향

가) 기둥하부

$$H_{e1}^T = 2.500 \quad m$$

나) 기둥상부

$$H_{e2}^T = 2.500 \quad m$$

6.5 진동주기(T)

1) 교축방향

$$T^L = 0.90 \quad sec$$

2) 교축직각방향

$$T^T = 0.88 \quad sec$$

6.6 교각의 휨성능 곡선

1) 휨강도(F) 산정

가) 교축방향

$$F_y^L = M_y^L / H_e^L = \frac{12259.891}{8.324} = 1472.836 \quad kN$$

$$F_u^L = M_u^L / H_e^L = \frac{13093.265}{8.324} = 1572.953 \quad kN$$

나) 교축직각방향

① 기둥하부

$$F_{y1}^T = M_{y1}^L / H_{e1}^L = \frac{12259.891}{2.500} = 4903.956 \quad kN$$

$$F_{u1}^T = M_{u1}^L / H_{e1}^L = \frac{13093.265}{2.500} = 5237.306 \quad kN$$

② 기둥상부

$$F_{y2}^T = M_{y2}^L / H_{e2}^L = \frac{11982.640}{2.500} = 4793.056 \text{ kN}$$

$$F_{u2}^T = M_{u2}^L / H_{e2}^L = \frac{12804.267}{2.500} = 5121.707 \text{ kN}$$

여기서, F_y^L, F_y^T : 교축 및 교축직각방향 항복 횡단면강도(kN)
 F_U^L, F_U^T : 교축 및 교축직각방향 극한 횡단면강도(kN)
 M_y^L, M_y^T : 교축 및 교축직각방향 항복시 휨모멘트(kN-m)
 M_U^L, M_U^T : 교축 및 교축직각방향 극한시 휨모멘트(kN-m)

2) 교각의 변위 및 보유변위연성도 산정

가) 교축방향

① 항복변위(Δ_y)

$$\Delta_y^L = \frac{\Phi_y^L (H_e^L)^2}{3} = \frac{0.00174 \times 8.324^2}{3}$$

$$= 0.040 \text{ m} = 40.191 \text{ mm}$$

② 소성힌지길이 (단, $L_p \geq 0.044f_y d_{bl}$)

$$L_p^L = 0.08H_e^L + 0.022f_y d_{bl}$$

$$= 0.08 \times 8.324 + 0.022 \times 300.000 \times 0.029$$

$$= 0.855 \text{ m}$$

$$L_{p,min}^L = 0.044f_y d_{bl}$$

$$= 0.044 \times 300.000 \times 0.029 = 0.378 \text{ m}$$

$$L_p^L \geq L_{p,min}^L \therefore L_p^L = 0.855 \text{ m}$$

③ 소성회전각

$$\theta_p^L = (\Phi_u^L - \Phi_y^L)L_p^L$$

$$= (0.01586 - 0.002) \times 0.855$$

$$= 0.01206$$

④ 소성변위

$$\Delta_p^L = \left(\frac{M_u}{M_y} - 1 \right) \Delta_y + \theta_p \left(H_e^L - \frac{L_p^L}{2} \right)$$

$$= \left(\frac{13093.265}{12259.891} - 1 \right) \times 0.040 +$$

$$0.01206 \times \left(8.324 - \frac{0.855}{2} \right)$$

$$= 0.098 \text{ m} = 98.003 \text{ mm}$$

⑤ 극한변위

$$\begin{aligned}\Delta_u^L &= \Delta_y + \Delta_p = 0.040 + 0.098 \\ &= 0.13819 \text{ m} = 138.19419 \text{ mm}\end{aligned}$$

⑥ 보유변위연성도 (표 4.2.1 참고)

$$\begin{aligned}\mu_{\Delta c}^L &= \min \left[\frac{\Delta_u^L}{\Delta_y^L}, \mu_{\Delta, max}^L \right] \mu_{\Delta, max}^L : \text{최대변위연성도 제한값 (표 4.2.1 참고)} \\ &= \min \left(\frac{0.138}{0.040}, - \right) = 3.438\end{aligned}$$

나) 교축직각방향

① 기둥하부

[1] 항복변위

$$\begin{aligned}\Delta_{y1}^T &= \frac{\Phi_{y1}^T (H_{e1}^T)}{3} = \frac{0.00174 \times 2.500^2}{3} \\ &= 0.004 \text{ m} = 3.625 \text{ mm}\end{aligned}$$

[2] 소성한지길이 (단, $L_p \geq 0.044f_y d_{bl}$)

$$\begin{aligned}L_{p1}^T &= 0.08H_{e1}^T + 0.022f_y d_{bl} \\ &= 0.08 \times 2.500 + 0.022 \times 300.000 \times 0.029 \\ &= 0.389 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L_{p1, min}^T &= 0.044f_y d_{bl} \\ &= 0.044 \times 300.000 \times 0.029 = 0.378 \text{ m}\end{aligned}$$

$$L_{p1}^T \geq L_{p1, min}^T \therefore L_{p1}^T = 0.389 \text{ m}$$

[3] 소성회전각

$$\begin{aligned}\theta_{p1}^T &= (\Phi_{u1}^T - \Phi_{y1}^T) L_{p1}^T \\ &= (0.01586 - 0.00174) \times 0.389 \\ &= 0.00549\end{aligned}$$

[4] 소성변위

$$\begin{aligned}\Delta_{p1}^T &= \left(\frac{M_{u1}^T}{M_{y1}^T} - 1 \right) \Delta_{y1}^T + \theta_{p1}^T \left(H_{e1}^T - \frac{L_{p1}^T}{2} \right) \\ &= \left(\frac{13093.265}{12259.891} - 1 \right) \times 0.004 + \\ &\quad 0.00549 \times \left(2.500 - \frac{0.389}{2} \right) \\ &= 0.013 \text{ m} = 12.899 \text{ mm}\end{aligned}$$

[5] 극한변위

$$\begin{aligned}\Delta_{u1}^T &= \Delta_{y1}^T + \Delta_{p1}^T = 0.004 + 0.013 \\ &= 0.017 \text{ m} = 16.524 \text{ mm}\end{aligned}$$

[6] 보유급변위연성도 (표 4.2.1 참고)

$$\begin{aligned}\mu_{\Delta c1}^T &= \min \left[\frac{\Delta_{u1}^T}{\Delta_{y1}^T}, \mu_{\Delta, max}^T \right] \mu_{\Delta, max}^T : \text{최대변위연성도 제한값 (표 4.2.1 참고)} \\ &= \min \left(\frac{0.017}{0.004}, - \right) = 4.558\end{aligned}$$

② 기둥상부

[1] 항복변위

$$\Delta_{y2}^T = \frac{\Phi_{y2}^T(H_{e2}^T)}{3} = \frac{0.00174}{3} \times \frac{2.500}{3}^2$$

$$= 0.004 \text{ m} = 3.616 \text{ mm}$$

[2] 소성힌지길이 (단, $L_p \geq 0.044f_y d_{bl}$)

$$L_{p2}^T = 0.08H_{e2}^T + 0.022f_y d_{bl}$$

$$= 0.08 \times 2.500 + 0.022 \times 300.000 \times 0.029$$

$$= 0.389 \text{ m}$$

$$L_{p2,min}^T = 0.044f_y d_{bl}$$

$$= 0.044 \times 300.000 \times 0.029 = 0.378 \text{ m}$$

$$L_{p2}^T \geq L_{p2,min}^T \quad \therefore L_{p2}^T = 0.389 \text{ m}$$

[3] 소성회전각

$$\theta_{p2}^T = (\Phi_{u2}^T - \Phi_{y2}^T)L_{p2}^T$$

$$= (0.01630 - 0.00174) \times 0.389$$

$$= 0.00566$$

[4] 소성변위

$$\Delta_{p2}^T = \left(\frac{M_{u2}^T}{M_{y2}^T} - 1 \right) \Delta_{y2}^T + \theta_{p2}^T \left(H_{e2}^T - \frac{L_{p2}^T}{2} \right)$$

$$= \left(\frac{12804.267}{11982.640} - 1 \right) \times 0.004 +$$

$$0.00566 \times \left(2.500 - \frac{0.389}{2} \right)$$

$$= 0.013 \text{ m} = 13.303 \text{ mm}$$

[5] 극한변위

$$\Delta_{u2}^T = \Delta_{y2}^T + \Delta_{p2}^T = 0.004 + 0.013$$

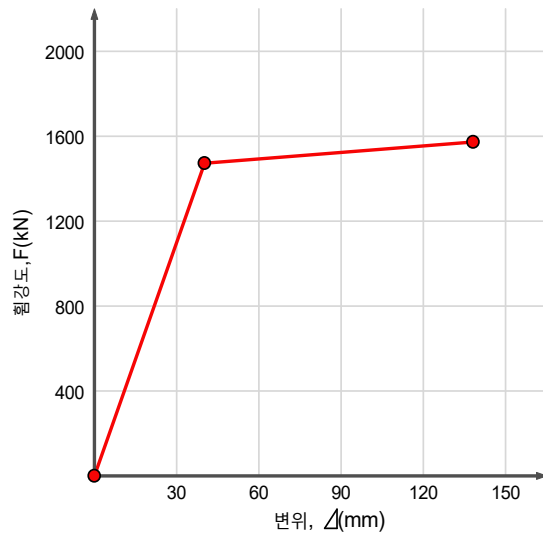
$$= 0.017 \text{ m} = 16.919 \text{ mm}$$

[6] 보유변위연성도 (표 4.2.1 참고)

$$\mu_{\Delta c2}^T = \min \left[\frac{\Delta_{u2}^T}{\Delta_{y2}^T}, \mu_{\Delta,max}^T \right] \mu_{\Delta,max}^T : \text{최대변위연성도 제한값 (표 4.2.1 참고)}$$

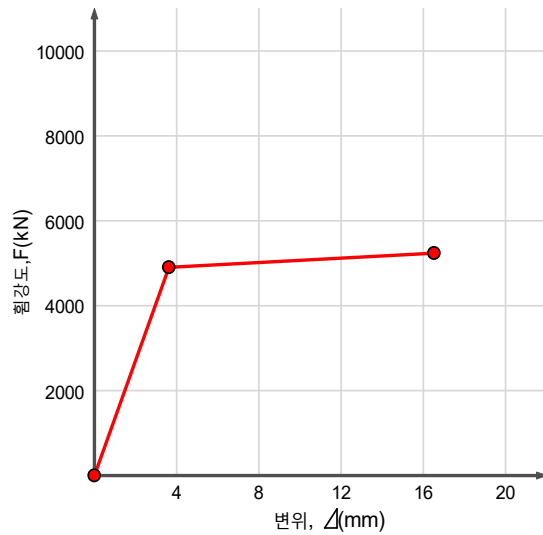
$$= \min \left(\frac{0.017}{0.004}, - \right) = 4.679$$

3) 교축방향 교각의 휨강도, 항복 및 극한변위



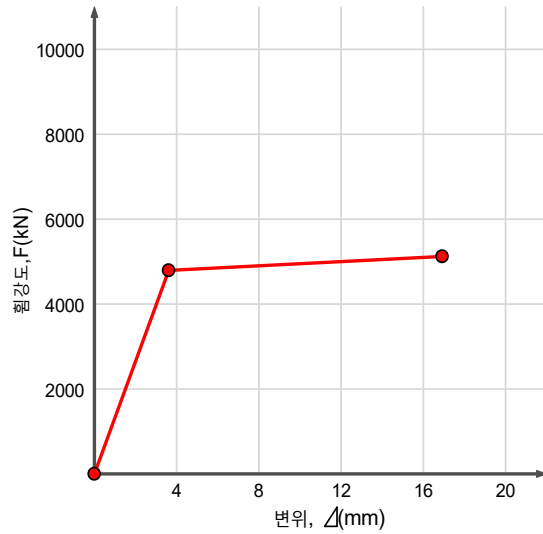
구분	교축방향			
	초기값(i)	항복시(y)	극한시(u)	제한값(c)
변위 Δ (mm)	0.0	40.191	138.194	-
휨강도 F(kN)	0.0	1472.836	1572.953	-

4) 교축직각방향 교각의 휨강도, 항복 및 극한변위 가) 기둥하부



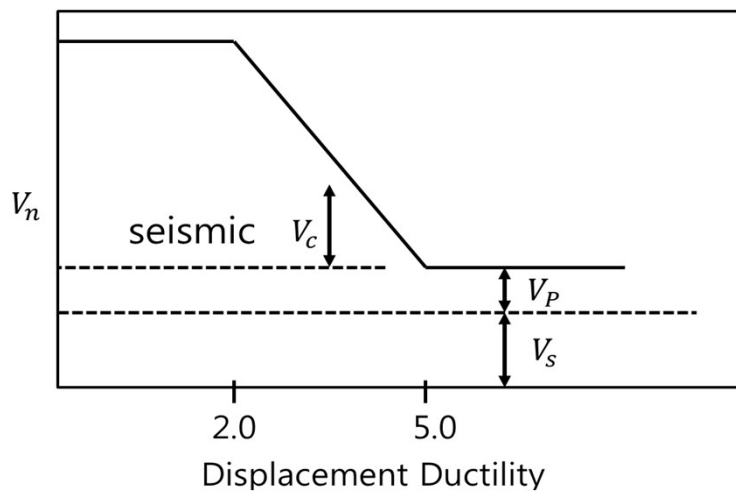
구분	교축직각방향 - 기둥하부			
	초기값(i)	항복시(y)	극한시(u)	제한값(c)
변위 Δ (mm)	0.0	3.625	16.524	-
휨강도 F(kN)	0.0	4903.956	5237.306	-

나) 기둥상부



구분	교축직각방향 - 기둥상부			
	초기값(i)	항복시(y)	극한시(u)	제한값(c)
변위 Δ (mm)	0.0	3.616	16.919	-
힘강도 F (kN)	0.0	4793.056	5121.707	-

6.7 교각의 전단성능 곡선



1) 교축방향

가) 콘크리트에 의한 전단강도

① 변위연성도 $\mu_\Delta \leq 2.0$ 인 경우의 V_c

$$V_c^L = k^L \sqrt{f_{ck}} A_e = 0.3 \times (27)^{0.5} \times 2.513 = 3917.807 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} k^L &= 0.3 \\ f_{ck} &= 27.000 \text{ MPa} \\ A_g &= 3.142 \text{ m}^2 \\ A_e &= 2.513 \text{ m}^2 \text{ (유효단면적)} \end{aligned}$$

② 변위연성도 $\mu_{\Delta} \geq 5.0$ 인 경우의 V_c

$$V_c^L = 0.0 \quad \text{kN}$$

$$k^L = 0.0$$

③ 변위연성도 μ_{Δ} 에 따른 Δ^L

$$\mu_{\Delta}=2.0 \text{인 경우} \quad \Delta^L = \mu_{\Delta} \Delta_y^L = 2 \times 0.040 = 0.080 \quad \text{m}$$

$$\mu_{\Delta}=5.0 \text{인 경우} \quad \Delta^L = \mu_{\Delta} \Delta_y^L = 5 \times 0.040 = 0.201 \quad \text{m}$$

나) 전단철근에 의한 전단강도

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{\pi A_{sp} f_{yh} D'}{2s} \\ &= \frac{\pi}{2} \times \frac{198.6 \times 300 \times 1884.1}{300} \\ &= 587.764 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

$$A_{sp} = 198.600 \quad \text{mm}^2$$

$$f_{yh} = 300.000 \quad \text{MPa}$$

$$D' = 1884.100 \quad \text{mm}$$

$$s = 300.000 \quad \text{mm}$$

다) 축하중 작용에 의한 전단강도

$$\begin{aligned} V_p^L &= 0.15 \times \frac{P_{Top} t_s^L}{L_s^L} \\ &= 0.150 \times \frac{3350.703 \times 2.000}{8.324} = 120.761 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

$$P_{Top} = 3350.703 \quad \text{kN}$$

$$t_s^L = 2.000 \quad \text{m}$$

$$L_s^L = 8.324 \quad \text{m}$$

2) 교축직각방향

가) 콘크리트에 의한 전단강도

① 기둥하부

[1] 변위연성도 $\mu_{\Delta} \leq 2.0$ 인 경우의 V_c

$$\begin{aligned} V_c^T &= k^T \sqrt{f_{ck}} A_e = 0.3 \times (27)^{0.5} \times 2.513 \\ &= 3917.807 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

$$k^T = 0.3$$

$$f_{ck} = 27.000 \quad \text{MPa}$$

$$A_g = 3.142 \quad \text{m}^2$$

$$A_e = 2.513 \quad \text{m}^2 \text{ (유효단면적)}$$

[2] 변위연성도 $\mu_{\Delta} \geq 5.0$ 인 경우의 V_c

$$V_c^L = 0.0 \quad \text{kN}$$

$$k^L = 0.0$$

[3] 변위연성도 μ_Δ 에 따른 Δ^T

$$\mu_\Delta=2.0\text{인 경우} \quad \Delta^T=\mu_\Delta\Delta_y^T = 2 \times 0.004 = 0.007 \text{ m}$$

$$\mu_\Delta=5.0\text{인 경우} \quad \Delta^T=\mu_\Delta\Delta_y^T = 5 \times 0.004 = 0.018 \text{ m}$$

② 기둥상부

[1] 변위연성도 $\mu_\Delta \leq 2.0$ 인 경우의 V_c

$$V_c^T = k^T \sqrt{f_{ck} A_e} = 0.3 \times (27)^{0.5} \times 2.513$$

$$= 3917.807 \text{ kN}$$

$$k^T = 0.3$$

$$f_{ck} = 27.000 \text{ MPa}$$

$$A_g = 3.142 \text{ m}^2$$

$$A_e = 2.513 \text{ m}^2 \text{ (유효단면적)}$$

[2] 변위연성도 $\mu_\Delta \geq 5.0$ 인 경우의 V_c

$$V_c^L = 0.0 \text{ kN}$$

$$k^L = 0.0$$

[3] 변위연성도 μ_Δ 에 따른 Δ^L

$$\mu_\Delta=2.0\text{인 경우} \quad \Delta^L=\mu_\Delta\Delta_y^L = 2 \times 0.004 = 0.007 \text{ m}$$

$$\mu_\Delta=5.0\text{인 경우} \quad \Delta^L=\mu_\Delta\Delta_y^L = 5 \times 0.004 = 0.018 \text{ m}$$

나) 전단철근에 의한 전단강도

$$V_s = \frac{\pi A_{sp} f_{yh} D'}{2s}$$

$$= \frac{\pi}{2} \times \frac{198.6 \times 300 \times 1884.1}{300}$$

$$= 587.764 \text{ kN}$$

$$A_{sp} = 198.600 \text{ mm}^2$$

$$f_{yh} = 300.000 \text{ MPa}$$

$$D' = 1884.100 \text{ mm}$$

$$s = 300.000 \text{ mm}$$

다) 축하중 작용에 의한 전단강도

① 기둥하부

$$V_{p1}^T = 0.15 \times \frac{P_{Top} t_s^T}{L_{s1}^T}$$

$$= 0.150 \times \frac{3350.703 \times 2.000}{2.500} = 402.084 \text{ kN}$$

$$P_{Top} = 3350.703 \text{ kN}$$

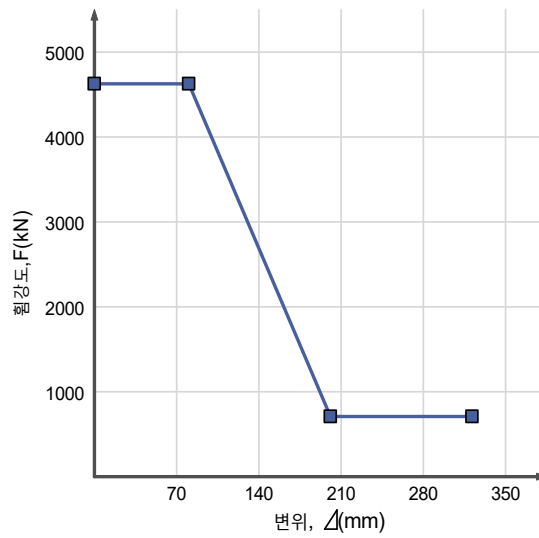
$$t_s^T = 2.000 \text{ m}$$

$$L_{s1}^T = 2.500 \text{ m}$$

② 기둥상부

$$\begin{aligned}
 V_{p2}^T &= 0.15 \times \frac{P_{TOP} t_s^T}{L_{s2}^T} \\
 &= 0.150 \times \frac{3350.703 \times 2.000}{2.500} = 402.084 \text{ kN} \\
 P_{TOP} &= 3350.703 \text{ kN} \\
 t_s^T &= 2.000 \text{ m} \\
 L_{s2}^T &= 2.500 \text{ m}
 \end{aligned}$$

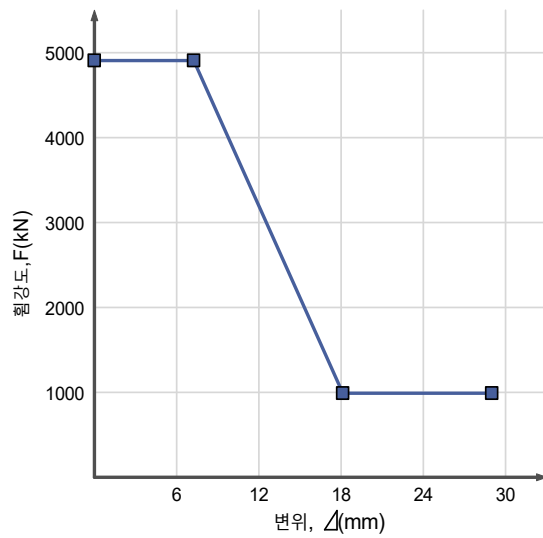
3) 보유변위연성도에 따른 교축방향 교각의 전단강도



구분	교축방향			
	$\mu_{\Delta} = 0$	$\mu_{\Delta} = 2$	$\mu_{\Delta} = 5$	$\mu_{\Delta} = 8$
변위 Δ(mm)	0.0	80.382	200.955	321.528
전단강도 V_n (kN)	4626.331	4626.331	708.525	708.525

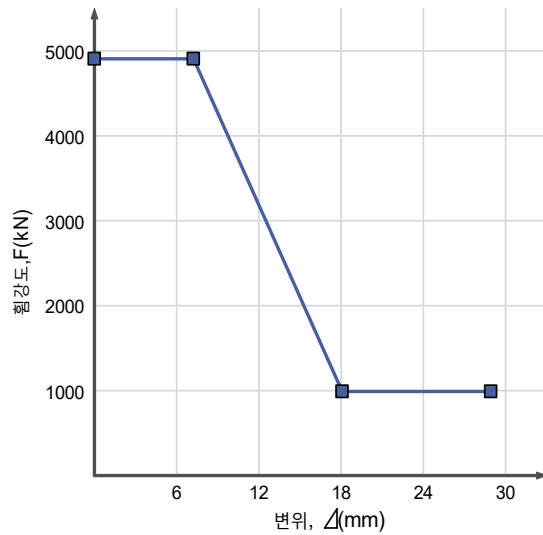
4) 보유변위연성도에 따른 교축직각방향 교각의 전단강도

가) 기둥하부



구분	교축직각방향 - 기둥하부			
	$\mu_{\Delta} = 0$	$\mu_{\Delta} = 2$	$\mu_{\Delta} = 5$	$\mu_{\Delta} = 8$
변위 Δ (mm)	0.0	7.251	18.127	29.002
전단강도 V_n (kN)	4907.655	4907.655	989.848	989.848

나) 기둥상부



구분	교축직각방향 - 기둥상부			
	$\mu_{\Delta} = 0$	$\mu_{\Delta} = 2$	$\mu_{\Delta} = 5$	$\mu_{\Delta} = 8$
변위 Δ (mm)	0.0	7.232	18.079	28.927
전단강도 V_n (kN)	4907.655	4907.655	4907.655	4907.655

6.8 교각의 파괴모드 결정

(1) 휨파괴모드 (Type I)

교각의 휨파괴에 이를 때까지 전단파괴가 발생하지 않는 파괴모드로, 단면강도 F_n 과 한계변위는 휨성능 곡선의 극한상태에 해당되는 값이며, 교각의 보유성능 $F_{p,C}$ 는 보유변위연성도로 산정한다. 이 때, 교각의 보유변위연성도는 축방향 철근의 겹침이음 상세에 따라 제시된 최대변위연성도를 초과할 수 없다.

(2) 휨-전단파괴모드 (Type II)

교각의 축방향철근이 항복한 이후 휨파괴에 이르기 전에 전단파괴가 발생하는 파괴모드로, 단면강도 F_n 과 한계변위는 항복점과 극한점사이에서 휨성능 곡선과 전단성능 곡선의 교점에 해당하는 값이며, 교각의 보유성능 $F_{p,C}$ 는 보유변위연성도로 산정한다. 이 때, 교각의 보유변위연성도는 축방향 철근의 겹침이음 상세에 따라 <표 4.2.1>에 제시된 최대변위연성도를 초과할 수 없다.

(3) 전단파괴모드 (Type III)

교각의 축방향철근이 항복하기 이전에 전단파괴가 발생하는 파괴모드로, 단면강도 F_n 과 한계변위는 항복점 이전의 탄성영역에서 휨성능 곡선과 전단성능 곡선이 만나는 교점에 해당하는 값이다. 이때의 단면강도를 교각의 보유성능 $F_{p,C}$ 로 한다.

1) 파괴모드 결정

가) 교축방향 : 휨파괴모드(Type I)

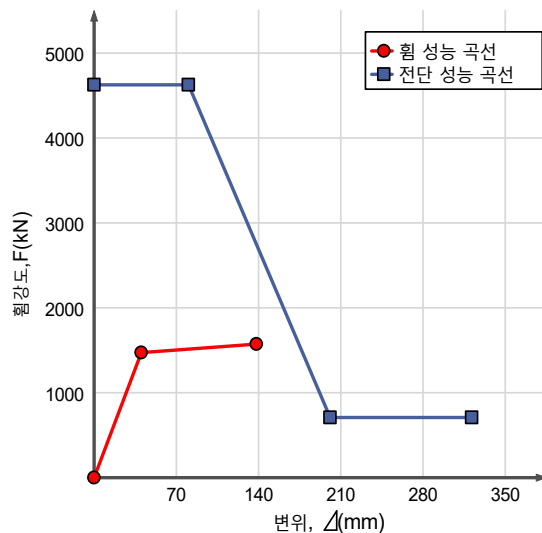
나) 교축직각방향

① 기둥하부 : 휨-전단파괴모드(Type II)

② 기둥상부 : 휨-전단파괴모드(Type II)

2) 내진성능 평가방법

가) 교축방향



$$F_n = F_u < V_n \quad \text{휨파괴모드(Type I)}$$

$$\Delta_c = \Delta_u \quad (\mu_{\Delta, \max} \text{로 제한되는 경우 : } \Delta_c = \Delta_y \times \mu_{\Delta, \max} \text{ 적용})$$

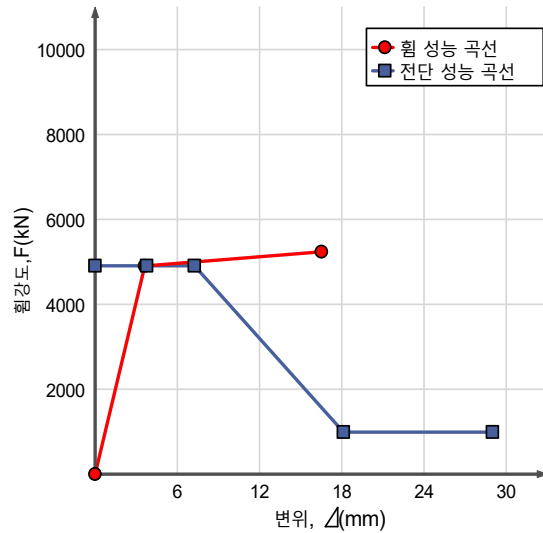
$$F_{P,C} = \min \left[\frac{\Delta_u}{\Delta_y}, \mu_{\Delta, max} \right] = \min \left(\frac{0.138}{0.040}, - \right)$$

$$= 3.438$$

$$F_n = F_u = 1572.953 \quad \text{kN}$$

나) 교축직각방향

① 기둥하부



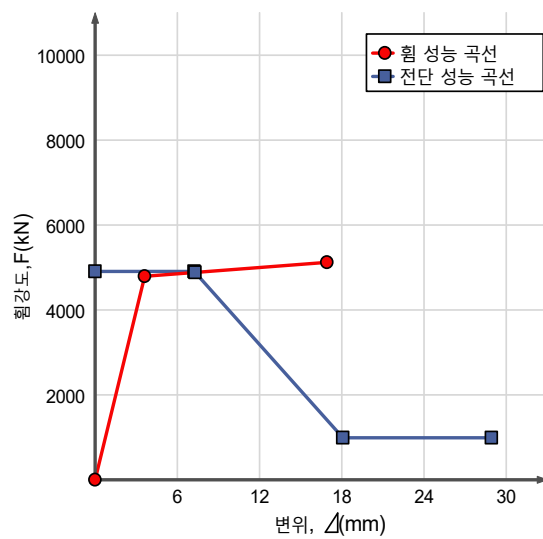
$$F_y \leq F_n < F_u \quad \text{and} \quad F_u = V_n \quad \text{휨-전단파괴모드(Type II)}$$

$$\Delta_y \leq \Delta_c < \Delta_u$$

$$F_{P,C} = \frac{\Delta_c}{\Delta_y} = \frac{0.004}{0.004} = 1.039$$

$$F_n = 4907.655 \quad \text{kN}$$

② 기둥상부



$$F_y \leq F_n < F_u \quad \text{and} \quad F_u = V_n \quad \text{휨-전단파괴모드(Type II)}$$

$$\Delta_y \leq \Delta_c < \Delta_u$$

$$F_{P,C} = \frac{\Delta_c}{\Delta_y} = \frac{0.007}{0.004} = 2.018$$

$$F_n = 4884.004 \text{ kN}$$

6.9 교각의 내진성능평가

1) 교축방향 : 횡파괴모드(Type I)

가) 보유성능 $F_{P,C}$

$$F_{P,C}^L = 3.438$$

나) 소요성능 $F_{P,D}$

① P-Δ 효과를 고려한 휨모멘트 $[M_E]_{\text{COMB,PD}}$

$$\begin{aligned} [M_E^L]_{\text{COMB,PD}} &= [M_E^L]_{\text{COMB}} + P_{\text{TOP}} \times 2 \times \frac{[\Delta_E^L]_{\text{COMB}}}{2} \\ &= 3943.854 + 3350.703 \times 2 \times 0.059 \\ &= 4241.951 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

② 단면강도비 R_S

$$\begin{aligned} [M_E^L]_{\text{COMB,PD}} &= 4241.951 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_y^L &= 12259.891 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_y^L &\geq [M_E^L]_{\text{COMB,PD}} \text{ 이므로} \\ R_S^L &= 1.000 \end{aligned}$$

③ 소요변위연성도-단면강도비 상관계수 λ_{DR}

$$\begin{aligned} T^L &= 0.896 \text{ sec} \\ 1.25T_S &= 1.25 \times 0.414 \text{ sec} = 0.517 \text{ sec} \\ T^L &\geq 1.25T_S \\ \lambda_{\text{DR}}^L &= 1.000 \end{aligned}$$

④ 소요성능 $F_{P,D}$

$$F_{P,D}^L = 1.000$$

다) 교축방향 평가결과

$$\frac{F_{P,C}^L}{F_{P,D}^L} = \frac{3.44}{1.00} = 3.438433898 \geq 1 \therefore \text{O.K.}$$

2) 교축직각방향

가) 기둥하부 : 횡-전단파괴모드(Type II)

① 보유성능 $F_{P,C}$

$$F_{P,C1}^T = 1.039$$

② 소요역량 $F_{P,D}$

[1] P-Δ 효과를 고려한 휨모멘트 $[M_E]_{\text{COMB,PD}}$

$$\begin{aligned} [M_E^T]_{\text{COMB,PD}} &= [M_E^T]_{\text{COMB}} + P_{\text{TOP}} \times \frac{1.5 \times [\Delta_E^T]_{\text{COMB}}}{2} \\ &= 2829.213 + 3350.703 \times \frac{2 \times 0.056}{2} \\ &= 2970.023 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

[2] 단면강도비 R_S

$$\begin{aligned} [M_E^T]_{\text{COMB,PD}} &= 2970.023 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_y^T &= 12259.891 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_y^T &\geq [M_E^T]_{\text{COMB,PD}} \text{ 이므로} \\ R_S^T &= 1.000 \end{aligned}$$

[3] 소요변위연성도-단면강도비 상관계수 λ_{DR}

$$\begin{aligned} T^T &= 0.881 \text{ sec} \\ 1.25T_S &= 1.25 \times 0.414 \text{ sec} = 0.517 \text{ sec} \\ T^T &\geq 1.25T_S \\ \lambda_{DR}^T &= 1.000 \end{aligned}$$

[4] 소요성능 $F_{P,D}$

$$F_{P,D1}^T = 1.000$$

③ 교축직각방향 평가결과

$$\frac{F_{P,C1}^T}{F_{P,D1}^T} = \frac{1.04}{1.00} = 1.04 \geq 1 \therefore \text{O.K}$$

나) 기둥상부 : 휨-전단파괴모드(Type II)

① 보유성능 $F_{P,C}$

$$F_{P,C2}^T = 2.018$$

② 소요성능 $F_{P,D}$

[1] P-Δ 효과를 고려한 휨모멘트 $[M_E]_{\text{COMB,PD}}$

$$\begin{aligned} [M_E^T]_{\text{COMB,PD}} &= [M_E^T]_{\text{COMB}} + P_{\text{TOP}} \times \frac{1.5 \times [\Delta_E^T]_{\text{COMB}}}{2} \\ &= 2398.497 + 3350.703 \times \frac{2 \times 0.056}{2} \\ &= 2539.307 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

[2] 단면강도비 R_S

$$\begin{aligned} [M_E^T]_{\text{COMB,PD}} &= 2539.307 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_y^T &= 11982.640 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_y^T &\geq [M_E^T]_{\text{COMB,PD}} \text{ 이므로} \\ R_S^T &= 1.000 \end{aligned}$$

[3] 소요변위연성도-단면강도비 상관계수 λ_{DR}

$$\begin{aligned} T^T &= 0.881 \text{ sec} \\ 1.25T_S &= 1.25 \times 0.414 \text{ sec} = 0.517 \text{ sec} \\ T^T &\geq 1.25T_S \\ \lambda_{DR}^T &= 1.000 \end{aligned}$$

[4] 소요성능 $F_{P,D}$

$$F_{P,D2}^T = 1.000$$

③ 교축직각방향 평가결과

$$\frac{F_{P,C2}^T}{F_{P,D2}^T} = \frac{2.02}{1.00} = 2.02 \geq 1 \therefore \text{O.K}$$

3) 최종평가결과

가) 교축방향

구분	파괴모드	보유성능	소요성능	보유/소요성능	평가결과
교축방향	휨파괴모드(Type I)	3.438	1.000	3.44	O.K

나) 교축직각방향

구분	파괴모드	보유성능	소요성능	보유/소요성능	평가결과
교축직각방향 (기둥하부)	휨-전단파괴모드(Type II)	1.039	1.000	1.04	O.K
교축직각방향 (기둥상부)	-	2.018	1.000	2.02	O.K

7. 받침부 내진성능평가 - 탄성받침

7.1 받침본체 검토

1) 수평저항력 평가

가) 받침1개의 횡방향 저항용량

① 교축방향

$$f_B^L = 350.000 \quad \text{kN}$$

② 교축직각방향

$$f_B^T = 350.000 \quad \text{kN}$$

나) 보유성능 $F_{B,C}$: 횡방향 저항용량

① 교축방향

$$F_{B,C}^L = f_B^L \cdot n_B^L = 350.000 \times 16 = 5600.000 \quad \text{kN}$$

② 교축직각방향

$$F_{B,C}^T = f_B^T \cdot n_B^T = 350.000 \times 16 = 5600.000 \quad \text{kN}$$

n_B : 평가지진하중 방향에 따라 저항하는 받침개수

다) 소요성능 $F_{B,D}$: 받침부 평가 지진력

① 교축방향

$$\begin{aligned} F_{B,D}^L &= \min[F_n^L, [V_E^L]_{\text{COMB, TOP}}] \\ &= \min [3145.907, 1762.590] = 1762.590 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

② 교축직각방향

$$\begin{aligned} F_{B,D}^T &= \min[F_n^T, [V_E^T]_{\text{COMB, TOP}}] \\ &= \min [9815.310, 2041.186] = 2041.186 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

F_n : 교각의 단면강도(kN)

$[V_E]_{\text{COMB, TOP}}$: 지진시 기둥상부의 조합탄성전단력(kN)

단, 교각이 탄성거동($R_s \leq 1.0$)인 경우 $[V_E]_{\text{COMB, TOP}}$ 적용

라) 수평저항력 성능평가

① 교축방향

$$\frac{F_{B,C}^L}{F_{B,D}^L} = \frac{5600.00}{1762.59} = 3.18 > 1 \quad \therefore \text{OK}$$

② 교축직각방향

$$\frac{F_{B,C}^T}{F_{B,D}^T} = \frac{5600.00}{2041.19} = 2.74 > 1 \quad \therefore \text{OK}$$

2) 전단변위 평가

가) 받침1개의 수평허용 전단변위

① 교축방향

$$\delta_{B,C} = 60.000 \quad \text{mm}$$

② 교축직각방향

$$\delta_{B,C} = 60.000 \quad \text{mm}$$

나) 보유성능 $F_{B,C}$

① 교축방향

$$F_{B,C}^L = \delta_{B,C} = 60.000 \text{ mm}$$

② 교축직각방향

$$F_{B,C}^T = \delta_{B,C} = 60.000 \text{ mm}$$

다) 소요성능 $F_{B,C}$: 받침부 발생 전단변위

① 교축방향

$$F_{B,D}^L = [\delta_E^L]_{\text{COMB}} = 53.107 \text{ mm}$$

② 교축직각방향

$$F_{B,D}^T = [\delta_E^T]_{\text{COMB}} = 53.795 \text{ mm}$$

라) 수평저항력 성능평가

① 교축방향

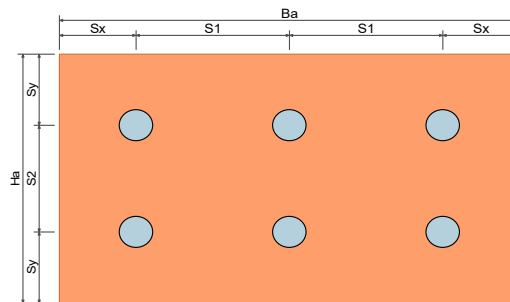
$$\frac{F_{B,C}^L}{F_{B,D}^L} = \frac{60.00}{53.11} = 1.13 > 1 \therefore \text{OK}$$

② 교축직각방향

$$\frac{F_{B,C}^T}{F_{B,D}^T} = \frac{60.00}{53.79} = 1.12 > 1 \therefore \text{OK}$$

7.2 앵커부 평가 검토

1) 받침제원



< 받침 앵커 배치 >

가) 본체 규격

B = 600.000 mm , 받침 교축직각방향 길이 (하판)

C = 350.000 mm , 받침 교축방향 길이 (하판)

d_a = 22.000 mm , 받침부 앵커 직경

h_{ef} = 200.000 mm , 받침부 앵커 근입 깊이

s_1 = 200.000 mm , 받침 교축방향 앵커 간격

s_2 = 150.000 mm , 받침 교축직각방향 앵커 간격

$n_A = n^L \times n^T = 3 \times 2 = 6$ EA

앵커 타입 : 선설치 - 헤드스터드 앵커

나) 기타 제원

f_{ck} = 27.000 MPa , 콘크리트 설계기준 강도

A_{se} = 380.133 mm² , 앵커의 유효단면적

$$\begin{aligned}
f_{ya} &= 300.000 \text{ MPa} , \text{ 앵커의 항복강도} \\
f_{uta} &= 410.000 \text{ MPa} , \text{ 앵커의 인장강도,} \\
&\text{단, } f_{uta} \leq \min(1.9f_{ya}, 860\text{MPa}] = 570.000 \text{ MPa} \\
h_{ef} &= 200.000 \text{ mm} , \text{ 앵커의 유효문힘 길이} \\
h_{cop} &= 1200.000 \text{ mm} , \text{ 코핑부 최대 깊이}
\end{aligned}$$

2) 전단을 받는 앵커의 강재파괴

가) 보유성능 $F_{AS,C}$: 강재강도

① 교축방향

$$\begin{aligned}
F_{AS,C}^L &= V_{sa}^L = n_A \cdot A_{se} \cdot f_{uta} \\
&= 6 \times 380.133 \times 410.000 \\
&= 935.126 \text{ kN}
\end{aligned}$$

② 교축직각방향

$$\begin{aligned}
F_{AS,C}^T &= V_{sa}^T = n_A \cdot A_{se} \cdot f_{uta} \\
&= 6 \times 380.133 \times 410.000 \\
&= 935.126 \text{ kN}
\end{aligned}$$

나) 소요성능 $F_{AS,D}$: 받침 1기당 평가지진력

① 교축방향

$$F_{AS,D}^L = \frac{F_{B,D}^L}{n_B^L} = \frac{1762.590}{16} = 110.162 \text{ kN}$$

② 교축직각방향

$$F_{AS,D}^T = \frac{F_{B,D}^T}{n_B^T} = \frac{2041.186}{16} = 127.574 \text{ kN}$$

다) 강재파괴 성능평가

① 교축방향

$$\frac{F_{AS,C}^L}{F_{AS,D}^L} = \frac{935.13}{110.16} = 8.49 > 1 \therefore \text{OK}$$

② 교축직각방향

$$\frac{F_{AS,C}^T}{F_{AS,D}^T} = \frac{935.13}{127.57} = 7.33 > 1 \therefore \text{OK}$$

3) 전단을 받는 앵커의 콘크리트 파괴

가) 보유성능 $F_{AC,C}$: 콘크리트 파괴강도

$$V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \times \psi_{ed,v} \times V_b$$

여기서, A_{Vc} = 단일앵커 또는 앵커그룹의 전단력 방향 자유단면에 형성되는 전단파괴면 투영면적, mm^2

A_{Vco} = 연단거리 또는 부재두께에 제한을 받지 않는 단일앵커의 전단력 방향 자유단면에 형성되는 전단파괴면 투영면적, mm^2

$$A_{Vco} = 4.5C_{a1}^2$$

$\psi_{ed,v}$ = 연단거리 영향에 대한 전단강도 수정계수

i) $c_{a2} \geq 1.5C_{a1}$ 인 경우 $\psi_{ed,v} = 1.0$

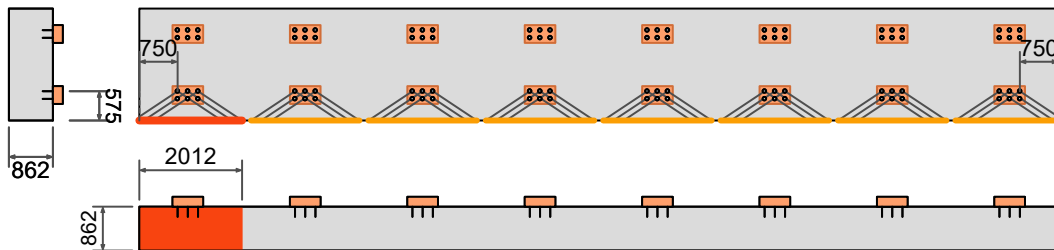
ii) $c_{a2} < 1.5C_{a1}$ 인 경우 $\psi_{ed,v} = 0.7 + 0.3 \cdot c_{a2}/1.5C_{a1}$

V_b = 균열 콘크리트에서 전단을 받는 단일 앵커의 기본 콘크리트파괴강도, N

i) 일반앵커 $V_b = 0.6(l_e/d_a)^{0.2} \sqrt{d_a} \sqrt{f_{ck}} C_{a1}^{1.5}$

- ii) $d_a \geq 10\text{mm}$, 헤드스터드, 헤드볼트, 갈고리볼트 $V_b = 0.7(l_e/d_a)^{0.2} \sqrt{d_a} \sqrt{f_{ck}} c_{a1}^{1.5}$
- c_{a1} = 앵커볼트 중심에서 하중작용방향으로 콘크리트 표면까지의 수직거리, mm
- c_{a2} = 앵커볼트 중심에서 하중작용직각방향으로 콘크리트 표면까지의 수직거리, mm
- s_1 = 받침 교축방향 앵커볼트 중심간 거리, mm
- s_2 = 받침 교축직각방향 앵커볼트 중심간 거리, mm
- h_a = 콘크리트 저항깊이, mm
- $h_a = \min[h_{cop, min}, 1.5c_{a1}]$
- l_e = 전단력에 대한 앵커의 지압 저항 길이, mm
- i) 헤드스터드 및 전체 묻힘깊이에 걸쳐 단일관을 가지는 후설치 앵커
- $l_e = \min[h_{ef}, 8d_a]$
- ii) 간격슬리브가 확장슬리브와 분리된 비틀림제어 확장앵커
- $l_e = 2d_a$

① 교축방향



< 콘크리트 파괴 투영면적 >

- $s_1 = 200.000 \text{ mm}$
- $s_2 = 150.000 \text{ mm}$
- $s_{ax} = 2100.000 \text{ mm}$
- $s_{ay} = 1050.000 \text{ mm}$

▶ 전단에 저항하는 받침의 앵커 중심으로부터 연단거리

- $c_{a1} = 575.000 \text{ mm}$ (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- $c_{a1}' = 575.000 \text{ mm}$
- $c_{a2} = 750.000 \text{ mm}$ (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- $c_{a2}' = 750.000 \text{ mm}$
- $1.5c_{a1} = 1.5 \times 575.000 = 862.500 \text{ mm}$

▶ 단일 앵커 및 앵커 그룹 판단

- 지진하중에 저항하는 받침 중 최소 연단거리를 갖는 받침열의 내측 앵커열 검토
- $s_1 < 2 \times 1.5c_{a1}$ 이므로 받침내 앵커간 간섭 발생
- $s_{ax} \geq 2 \times 1.5c_{a1}$ 이므로 이웃받침간 간섭 발생하지 않음

∴ 전단에 의한 콘크리트 파괴시 앵커 그룹으로 저 : $n_{BC} = 1 \text{ EA}$

▶ 콘크리트 저항깊이 h_a 결정

$$- h_a = \min[h_{cop}, 1.5c_{a1}] = \min [1200.000 , 862.500] \\ = 862.500 \text{ mm}$$

▶ 콘크리트파괴 저항면적 산정시 3면 이상 가장자리의 영향 검토

- 1면(연단거리 c_{a2} 를 갖는 콘크리트면 : $c_{a2} < 1.5c_{a1}$
 - 2면(연단거리 c_{a2}' 를 갖는 콘크리트면)에 대한 가장자리 효과 고려하지 않음
 - 3면(깊이,코핑부 하면) : $h_{cop} \geq 1.5c_{a1}$
- ∴ 가장자리의 영향을 받는 면이 3면 미만이므로 하중작용방향으로 연단거리 재산정 필요없음

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

$$- A_{Vc} = h_a * [\min(c_{a2}, 1.5c_{a1}) + (n^L - 1) * s_1 + 1.5c_{a1}] \\ = 1735781.250 \text{ mm}^2$$

$$- A_{Vco} = 4.5C_{a1}^2 = 4.5 \times (575.000)^2 = 1487812.500 \text{ mm}^2$$

$$A_{Vc} < n \cdot A_{Vco} = 3 \times 1487812.500 = 4463437.500 \text{ mm}^2$$

$$n = n_A \times n_{BC} = 3 \times 1 = 3 \text{ EA}$$

$$\therefore A_{Vc} = 1735781.250 \text{ mm}^2$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도 V_{cbg}

$$V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \times \psi_{ed,V} \times V_b \\ = \frac{1735781.250}{1487812.500} \times 0.961 \times 305.608 = 342.591 \text{ kN}$$

$$\psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}} = 0.7 + 0.3 \frac{750.000}{862.500} = 0.961 \quad (c_{a2} < 1.5c_{a1})$$

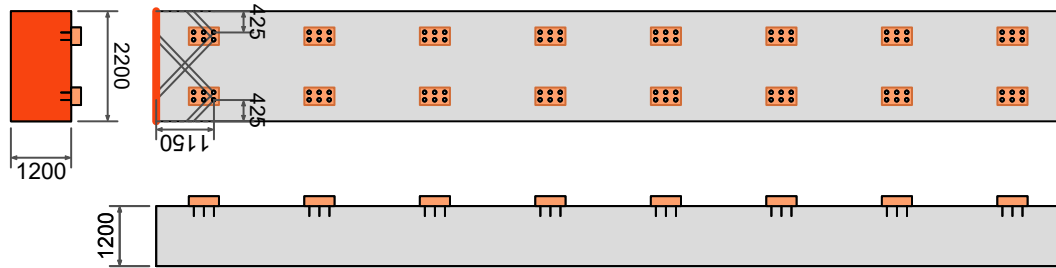
$$V_b = 0.6 \times \left(\frac{l_e}{d_a} \right)^{0.2} \times \sqrt{d_a} \times \sqrt{f_{ck}} \times (c_{a1})^{1.5} \\ = 0.6 \times \left(\frac{176.00}{22.00} \right)^{0.2} \times \sqrt{22.00} \times \sqrt{27.00} \times (575.00)^{1.5} \\ = 305.608 \text{ kN}$$

$$l_e = \min[h_{efr}, 8d_a] = \min [200.000 , 176.000] \\ = 176.000 \text{ mm}$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 파괴 보유성능

$$F_{AC,C}^L = V_{cbg} = 342.591 \text{ kN}$$

② 교축직각방향



< 콘크리트 파괴 투영면적 >

- $S_1 = 200.000 \text{ mm}$
- $S_2 = 150.000 \text{ mm}$
- $S_{ax} = 2100.000 \text{ mm}$
- $S_{ay} = 1050.000 \text{ mm}$

▶ 전단에 저항하는 받침의 앵커 중심으로부터 연단거리

- $c_{a1} = 1150.000 \text{ mm}$ (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- $c_{a1}' = 1150.000 \text{ mm}$
- $c_{a2} = 425.000 \text{ mm}$ (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- $c_{a2}' = 425.000 \text{ mm}$
- $1.5c_{a1} = 1.5 \times 1150.000 = 1725.000 \text{ mm}$

▶ 단일 앵커 및 앵커 그룹 판단

- 지진하중에 저항하는 받침 중 최소 연단거리를 갖는 받침열의 내측 앵커열 검토
- $s_2 < 2 \times 1.5c_{a1}$ 이므로 받침내 앵커간 간섭 발생
- $s_{ay} < 2 \times 1.5c_{a1}$ 이므로 이웃받침간 간섭 발생

∴ 전단에 의한 콘크리트 파괴시 앵커 그룹으로 저하 : $n_{BC} = 2 \text{ EA}$

▶ 콘크리트 저항깊이 h_a 결정

- $h_a = \min[h_{cop}, 1.5c_{a1}] = \min [1200.000 , 1725.000]$
 $= 1200.000 \text{ mm}$

▶ 콘크리트파괴 저항면적 산정시 3면 이상 가장자리의 영향 검토

- 1면(연단거리 c_{a2} 를 갖는 콘크리트면 : $c_{a2} < 1.5c_{a1}$
- 2면(연단거리 c_{a2}' 를 갖는 콘크리트면 : $c_{a2}' < 1.5c_{a1}$
- 3면(깊이,코핑부 하면) : $h_{cop} < 1.5c_{a1}$

∴ 3면이 가장자리의 영향을 받으므로 하중작용방향으로 연단거리 재산정 필요

$$c_{a1} = \max \left[\frac{c_{a2}}{1.5}, \frac{h_a}{1.5}, \frac{s_{ay}}{3} \right]$$

$$= \max \left[\frac{425.000}{1.5}, \frac{1200.000}{1.5}, \frac{1050.000}{1.5} \right] = 800.000 \text{ mm}$$

▶ 연단거리 재산정에 따른 단일 앵커 및 앵커 그룹 판단

- 지진하중에 저항하는 받침 중 최소 연단거리를 갖는 받침열의 내측 앵커열 검토
- $s_2 < 2 \times 1.5c_{a1}$ 이므로 받침내 앵커간 간섭 발생
- $s_{ay} < 2 \times 1.5c_{a1}$ 이므로 이웃받침간 간섭 발생

∴ 전단에 의한 콘크리트 파괴시 앵커 그룹으로 처리 : $n_{BC} = 2 \text{ EA}$

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

$$A_{Vc} = h_a * [\min(c_{a2}, 1.5c_{a1}) + \{ n_{BC} * (n^T - 1) * s_2 + (n_{BC} - 1) * s_{ay} \} + \min(c_{a2}', 1.5c_{a1})]$$

$$= 2640000.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{Vco} = 4.5c_{a1}^2 = 4.5 \times (800.000)^2 = 2880000.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{Vc} < n \cdot A_{Vco} = 4 \times 2880000.0 = 11520000.0 \text{ mm}^2$$

$$n = n_A \times n_{BC} = 2 \times 2 = 4 \text{ EA}$$

$$\therefore A_{Vc} = 2640000.0 \text{ mm}^2$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도 V_{cbg}

$$V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \times \psi_{ed,V} \times V_b$$

$$= \frac{2640000.000}{2880000.000} \times 0.806 \times 501.531 = 370.662 \text{ kN}$$

$$\psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}} = 0.7 + 0.3 \frac{425.000}{1200.000} = 0.806 \quad (c_{a2} < 1.5c_{a1})$$

$$V_b = 0.6 \times \left(\frac{l_e}{d_a} \right)^{0.2} \times \sqrt{d_a} \times \sqrt{f_{ck}} \times (c_{a1})^{1.5}$$

$$= 0.6 \times \left(\frac{176.00}{22.00} \right)^{0.2} \times \sqrt{22.00} \times \sqrt{27.00} \times (800.00)^{1.5}$$

$$= 501.531 \text{ kN}$$

$$l_e = \min[h_{efr}, 8d_a] = \min [200.000, 176.000]$$

$$= 176.000 \text{ mm}$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 파괴 보유성능

$$F_{AC,C}^T = V_{cbg} = 370.662 \text{ kN}$$

나) 소요성능 $F_{AC,D}$: 방향별 평가지진력

① 교축방향

$$F_{AC,D}^L = F_{AS,D}^L \cdot n_{BC}^L = 110.162 \times 1 = 110.162 \text{ kN}$$

② 교축직각방향

$$F_{AC,D}^T = F_{AS,D}^T \cdot n_{BC}^T = 127.574 \times 2 = 255.148 \text{ kN}$$

다) 콘크리트파괴 성능평가

① 교축방향

$$\frac{F_{AC,C}^L}{F_{AC,D}^L} = \frac{342.59}{110.16} = 3.11 > 1 \therefore \text{OK}$$

② 교축직각방향

$$\frac{F_{AC,C}^T}{F_{AC,D}^T} = \frac{370.66}{255.15} = 1.45 > 1 \therefore \text{OK}$$

4) 전단을 받는 앵커의 콘크리트 프라이아웃

가) 보유성능 $F_{AP,C}$: 콘크리트 프라이아웃 강도

$$V_{cp} = k_{cp} \times N_{cbg}$$

여기서, k_{cp} = 콘크리트 프라이아웃 강도 계수

$h_{ef} < 65\text{mm}$ 인 경우 : $k_{cp} = 1.0$

$h_{ef} \geq 65\text{mm}$ 인 경우 : $k_{cp} = 2.0$

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \times \varphi_{ed,N} \times N_b$$

A_{Nc} = 인장에 저항하는 단일앵커 또는 앵커그룹의 콘크리트 파괴면 투영면적, mm^2

A_{Nco} = 연단거리 또는 간격에 제한을 받지 않는 경우, 인장에 저항하는 단일앵커의 콘크리트 파괴면 투영면적, mm^2

$\varphi_{ed,N}$ = 연단거리 영향에 대한 인장단강도 수정계수

i) $c_{a,min} \geq 1.5h_{ef}$ 인 경우 $\varphi_{ed,N} = 1.0$

ii) $c_{a,min} < 1.5h_{ef}$ 인 경우 $\varphi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \cdot c_{a,min}/1.5h_{ef}$

N_b = 균열 콘크리트에서 인장을 받는 단일 앵커의 기본 콘크리트파괴강도, N

i) 일반적인 선설치 앵커 $N_b = 10\sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5}$

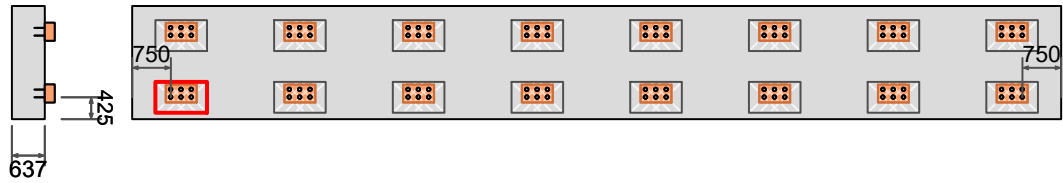
ii) 일반적인 후설치 앵커 $N_b = 7\sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5}$

ii) $280 \leq h_{ef} \leq 635\text{mm}$ 인 선설치 헤드스터드와 헤드볼 $N_b = 3.9\sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{5/3}$

$c_{a,max}$ = 앵커샤프트 중심부터 콘크리트 단부까지 최대 연단거리, mm

$c_{a,min}$ = 앵커샤프트 중심부터 콘크리트 단부까지 최소 연단거리, mm

① 교축방향



< 콘크리트 프라이아웃 투영면적 >

- $S_1 = 200.000 \text{ mm}$
- $S_2 = 150.000 \text{ mm}$
- $S_{ax} = 2100.000 \text{ mm}$
- $S_{ay} = 1050.000 \text{ mm}$

▶ 전단에 저항하는 받침의 앵커 중심으로부터 연단거리

- $c_{a1} = 425.000 \text{ mm}$ (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- $c_{a1}' = 425.000 \text{ mm}$
- $c_{a2} = 750.000 \text{ mm}$ (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- $c_{a2}' = 750.000 \text{ mm}$

▶ 단일 앵커 및 앵커 그룹 판단

- 지진하중에 저항하는 받침 중 최소 연단거리를 갖는 받침열의 외측 앵커열 검토
- $s_1 < 2 \times 1.5h_{ef}$ 이므로 받침내 앵커간 간섭 발생
- $s_{ax} \geq 2 \times 1.5h_{ef}$ 이므로 이웃받침간 간섭 발생하지 않음
- $s_2 + s_{ay} \geq 2 \times 1.5h_{ef}$ 이므로 전단하중 직각방향으로 이웃받침간 간섭 발생하지 않음

∴ 전단에 의한 콘크리트 프라이아웃시 앵커 그룹으로 저항 : $n_{BC} = 1 \text{ EA}$

▶ 프라이아웃 저항면적 산정시 4면 이상 가장자리의 영향 검토

- 1면(연단거리 c_{a1} 를 갖는 콘크리트면 : $c_{a1} \geq 1.5h_{ef}$
- 2면(연단거리 c_{a1}' 를 갖는 콘크리트면 : $c_{a1}' \geq 1.5h_{ef}$
- 3면(연단거리 c_{a2} 를 갖는 콘크리트면 : $c_{a2} \geq 1.5h_{ef}$
- 4면(앵커간 간격) : $\max(s_1, s_{ax}, s_2 + s_{ay}) \geq 2 \times 1.5h_{ef}$

∴ 가장자리의 영향을 받는 면이 4면 미만이므로 앵커의 유효깊이 재산정 필요없음

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

- $A_{Nc} = [\min\{c_{a2}, 1.5h_{ef}\} + (n^L - 1) \cdot s_1 + 1.5h_{ef}] \times [\min\{c_{a1}, 1.5h_{ef}\} + 1.5h_{ef}]$
 $= 600000.000 \text{ mm}^2$
- $A_{Nco} = 9h_{ef}^2 = 9 \times (200.000)^2 = 360000.000 \text{ mm}^2$
 $A_{Nc} < n \cdot A_{Nco} = 3 \times 360000.000 = 1080000.000 \text{ mm}^2$

$$n = n_A \times n_{BC} = 3 \times 1 = 3 \text{ EA}$$

$$\therefore A_{Nc} = 600000 \text{ mm}^2$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 프라이아웃 V_{cpg}

$$V_{cpg} = k_{cp} \times N_{cbg}$$

$$= 2.0 \times 244.949 = 489.898 \text{ kN}$$

$$k_{cp} = 2.0 \quad (h_{ef} \geq 65\text{mm})$$

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \times \varphi_{ed,N} \times N_b$$

$$= \frac{600000.000}{360000.000} \times 1.000 \times 146.969 = 244.949 \text{ kN}$$

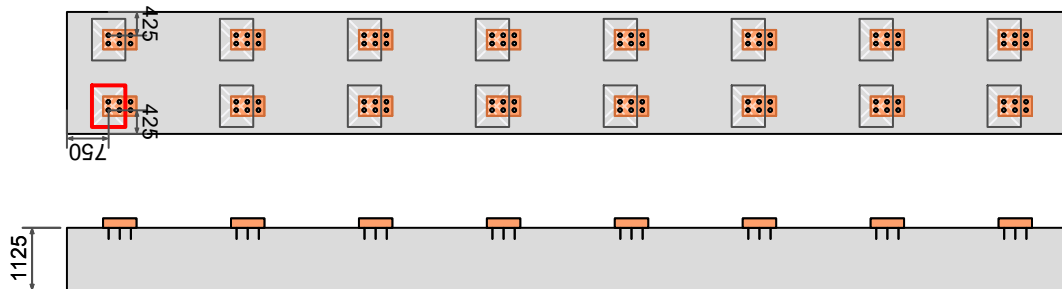
$$\varphi_{ed,N} = 1.0 \quad (c_{a,min} \geq 1.5h_{ef})$$

$$N_b = 10\sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5} = 10 \sqrt{27.00} \times (200.00)^{1.5} = 146.969 \text{ kN}$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 프라이아웃 보유성능

$$F_{AP,C}^L = V_{cpg} = 489.898 \text{ kN}$$

② 교축직각방향



< 콘크리트 프라이아웃 투영면적 >

- $s_1 = 200.000 \text{ mm}$
- $s_2 = 150.000 \text{ mm}$
- $s_{ax} = 2100.000 \text{ mm}$
- $s_{ay} = 1050.000 \text{ mm}$

▶ 전단에 저항하는 받침의 앵커 중심으로부터 연단거리

- $c_{a1} = 750.000 \text{ mm}$ (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- $c_{a1}' = 750.000 \text{ mm}$
- $c_{a2} = 425.000 \text{ mm}$ (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- $c_{a2}' = 425.000 \text{ mm}$

▶ 단일 앵커 및 앵커 그룹 판단

- 지진하중에 저항하는 받침 중 최소 연단거리를 갖는 받침열의 외측 앵커열 검토

- $s_2 < 2 \times 1.5h_{ef}$ 이므로 받침내 앵커간 간섭 발생
 - $s_{ay} \geq 2 \times 1.5h_{ef}$ 이므로 이웃받침간 간섭 발생하지 않음
 - $s_1 + s_{ax} \geq 2 \times 1.5h_{ef}$ 이므로 전단하중 직각방향으로 이웃받침간 간섭 발생하지 않음
- ∴ 전단에 의한 콘크리트 프라이아웃시 앵커 그룹으로 저항 : $n_{BC} = 1$ EA

▶ 프라이아웃 저항면적 산정시 4면 이상 가장자리의 영향 검토

- 1면(연단거리 c_{a1} 를 갖는 콘크리트면 : $c_{a1} \geq 1.5h_{ef}$
- 2면(연단거리 c_{a2} 를 갖는 콘크리트면 : $c_{a2} \geq 1.5h_{ef}$
- 3면(연단거리 c_{a2}' 를 갖는 콘크리트면 : $c_{a2}' \geq 1.5h_{ef}$
- 4면(앵커간 간격) : $\max(s_2, s_{ay}, s_1 + s_{ax}) \geq 2 \times 1.5h_{ef}$

∴ 가장자리의 영향을 받는 면이 4면 미만이므로 앵커의 유효깊이 재산정 필요없음

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

$$\begin{aligned}
 - A_{Nc} &= [\min\{c_{a2}, 1.5h_{ef}\} + (n^T - 1) \cdot s_2 + 1.5h_{ef}] \times [\min\{c_{a1}, 1.5h_{ef}\} + 1.5h_{ef}] \\
 &= 450000.000 \text{ mm}^2 \\
 - A_{Nco} &= 9h_{ef}^2 = 9 \times (200.000)^2 = 360000.000 \text{ mm}^2 \\
 A_{Nc} &< n \cdot A_{Nco} = 2 \times 360000.000 = 720000.000 \text{ mm}^2 \\
 n &= n_A \times n_{BC} = 2 \times 1 = 2 \text{ EA} \\
 \therefore A_{Nc} &= 450000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 프라이아웃 V_{cpg}

$$\begin{aligned}
 V_{cpg} &= k_{cp} \times N_{cbg} \\
 &= 2.0 \times 183.712 = 367.423 \text{ kN} \\
 k_{cp} &= 2.0 \quad (h_{ef} \geq 65\text{mm}) \\
 N_{cbg} &= \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \times \varphi_{ed,N} \times N_b \\
 &= \frac{450000.000}{360000.000} \times 1.000 \times 146.969 = 183.712 \text{ kN} \\
 \varphi_{ed,N} &= 1.0 \quad (c_{a,min} \geq 1.5h_{ef}) \\
 N_b &= 10\sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1.5} = 10 \sqrt{27.00} \times (200.00)^{1.5} = 146.969 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 프라이아웃 보유성능

$$F_{AP,C}^T = V_{cpg} = 367.423 \text{ kN}$$

나) 소요성능 $F_{AP,D}$: 방향별 평가지진력

① 교축방향

$$F_{AP,D}^L = F_{AS,D}^L \cdot n_{BC}^L = 110.162 \times 1 = 110.162 \text{ kN}$$

② 교축직각방향

$$F_{AP,D}^T = F_{AS,D}^T \cdot n_{BC}^T = 127.574 \times 1 = 127.574 \text{ kN}$$

다) 콘크리트파괴 성능평가

① 교축방향

$$\frac{F_{AP,C}^L}{F_{AP,D}^L} = \frac{489.90}{110.16} = 4.45 > 1 \therefore \text{OK}$$

② 교축직각방향

$$\frac{F_{AP,C}^T}{F_{AP,D}^T} = \frac{367.42}{127.57} = 2.88 > 1 \therefore \text{OK}$$

5) 인장을 받는 앵커의 강재파괴

가) 보유성능 $F_{NS,C}$: 강재강도

① 교축방향

$$\begin{aligned} F_{NS,C}^L &= N_{sa}^L = n_A \cdot A_{se} \cdot f_{uta} \\ &= 6 \times 380.133 \times 410.000 \\ &= 935.126 \text{ kN} \end{aligned}$$

② 교축직각방향

$$\begin{aligned} F_{AS,C}^T &= N_{sa}^T = n_A \cdot A_{se} \cdot f_{uta} \\ &= 6 \times 380.133 \times 410.000 \\ &= 935.126 \text{ kN} \end{aligned}$$

나) 소요성능 $F_{NS,D}$: 받침 1기당 평가지진력

① 교축방향

$$F_{NS,D}^L = [N_E^L]_{\text{COMB}} = 314.651 \text{ kN}$$

② 교축직각방향

$$F_{NS,D}^T = [N_E^T]_{\text{COMB}} = 314.651 \text{ kN}$$

다) 강재파괴 성능평가

① 교축방향

$$\frac{F_{NS,C}^L}{F_{NS,D}^L} = \frac{935.13}{314.65} = 2.97 > 1 \therefore \text{OK}$$

② 교축직각방향

$$\frac{F_{NS,C}^T}{F_{NS,D}^T} = \frac{935.13}{314.65} = 2.97 > 1 \therefore \text{OK}$$

6) 인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴

가) 인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도

① 교축방향

▶ 인장에 저항하는 받침의 앵커 중심으로부터 연단거리

- c_{a1} = 425.000 mm (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{a1}' = 425.000 mm
- c_{a2} = 750.000 mm (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{a2}' = 750.000 mm

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

$s_1 < 2 \times 1.5h_{ef}$ 이고 $s_2 < 2 \times 1.5h_{ef}$ 이므로

$$\begin{aligned} A_{Nc} &= [\min\{c_{a2}, 1.5h_{ef}\} + (n^L-1) \cdot s_1 + \min\{c_{a2}', 1.5h_{ef}\}] \times \\ &\quad [\min\{c_{a1}, 1.5h_{ef}\} + (n^T-1) \cdot s_2 + \min\{c_{a1}', 1.5h_{ef}\}] \\ &= 800000.000 \text{ mm}^2 \\ A_{Nco} &= 9h_{ef}^2 = 9 \times (200.000)^2 = 360000.000 \text{ mm}^2 \\ A_{Nc} &< n \cdot A_{Nco} = 6 \times 360000.000 = 2160000.000 \text{ mm}^2 \\ n &= 6 \text{ EA} \\ \therefore A_{Nc} &= 800000.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

▶ 인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도 V_{cbg}

$$\begin{aligned} N_{cbg} &= \frac{A_{Nc}}{A_{nco}} \times \varphi_{ed,N} \times N_b \\ &= \frac{800000.000}{360000.000} \times 1.000 \times 146.969 = 326.599 \text{ kN} \\ \psi_{ed,N} &= 1.0 \quad (c_{a,min} \geq 1.5h_{ef}) \\ N_b &= 146.969 \text{ kN (전단을 받는 앵커의 프라이아웃 참고)} \end{aligned}$$

② 교축직각방향

▶ 인장에 저항하는 받침의 앵커 중심으로부터 연단거리

- $c_{a1} = 750.000 \text{ mm}$ (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- $c_{a1}' = 750.000 \text{ mm}$
- $c_{a2} = 425.000 \text{ mm}$ (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- $c_{a2}' = 425.000 \text{ mm}$

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

$s_1 < 2 \times 1.5h_{ef}$ 이고 $s_2 < 2 \times 1.5h_{ef}$ 이므로

$$\begin{aligned} A_{Nc} &= [\min\{c_{a2}, 1.5h_{ef}\} + (n^T-1) \cdot s_2 + \min\{c_{a2}', 1.5h_{ef}\}] \times \\ &\quad [\min\{c_{a1}, 1.5h_{ef}\} + (n^L-1) \cdot s_1 + \min\{c_{a1}', 1.5h_{ef}\}] \\ &= 675000.000 \text{ mm}^2 \\ A_{Nco} &= 9h_{ef}^2 = 9 \times (200.000)^2 = 360000.000 \text{ mm}^2 \\ A_{Nc} &< n \cdot A_{Nco} = 6 \times 360000.000 = 2160000.000 \text{ mm}^2 \\ n &= 6 \text{ EA} \\ \therefore A_{Nc} &= 675000.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

▶ 인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도 V_{cbg}

$$\begin{aligned} N_{cbg} &= \frac{A_{Nc}}{A_{nco}} \times \varphi_{ed,N} \times N_b \\ &= \frac{675000.000}{360000.000} \times 1.000 \times 146.969 = 322.553 \text{ kN} \\ \psi_{ed,N} &= 1.0 \quad (c_{a,min} \geq 1.5h_{ef}) \\ N_b &= 146.969 \text{ kN (전단을 받는 앵커의 프라이아웃 참고)} \end{aligned}$$

나) 보유성능 $F_{NC,C}$

① 교축방향

$$F_{NC,C}^L = N_{cbg}^L = 326.599 \quad \text{kN}$$

② 교축직각방향

$$F_{NC,C}^T = N_{cbg}^T = 322.553 \quad \text{kN}$$

다) 소요성능 $F_{NS,D}$: 받침 1기당 평가지진력

① 교축방향

$$F_{NC,D}^L = F_{NS,D}^L = 314.651 \quad \text{kN}$$

② 교축직각방향

$$F_{NC,C}^T = F_{NS,D}^T = 314.651 \quad \text{kN}$$

다) 앵커뽑힘 성능평가

① 교축방향

$$\frac{F_{NC,C}^L}{F_{NC,D}^L} = \frac{326.60}{314.65} = 1.04 > 1 \quad \therefore \text{OK}$$

② 교축직각방향

$$\frac{F_{NC,C}^T}{F_{NC,D}^T} = \frac{322.55}{314.65} = 1.03 > 1 \quad \therefore \text{OK}$$

7) 인장을 받는 앵커의 뽑힘

가) 인장을 받는 단일 앵커의 뽑힘강도

$$N_p = 8 \cdot A_{brg} \cdot f_{ck} = 8 \times 581.980 \times 27.000 = 125.708 \quad \text{kN}$$

$$N_{pn} = \psi_{c,p} \cdot N_p = 1.0 \times 125.708 = 125.708 \quad \text{kN}$$

나) 보유성능 $F_{NP,C}$

① 교축방향

$$F_{NP,C}^L = n_A \cdot N_{pn} = 6 \times 125.708 = 754.246 \quad \text{kN}$$

② 교축직각방향

$$F_{NP,C}^T = n_A \cdot N_{pn} = 6 \times 125.708 = 754.246 \quad \text{kN}$$

다) 소요성능 $F_{NS,D}$: 받침 1기당 평가지진력

① 교축방향

$$F_{NP,D}^L = F_{NS,D}^L = 314.651 \quad \text{kN}$$

② 교축직각방향

$$F_{NP,C}^T = F_{NS,D}^T = 314.651 \quad \text{kN}$$

다) 앵커뽑힘 성능평가

① 교축방향

$$\frac{F_{NP,C}^L}{F_{NP,D}^L} = \frac{754.25}{314.65} = 2.40 > 1 \quad \therefore \text{OK}$$

② 교축직각방향

$$\frac{F_{NP,C}^T}{F_{NP,D}^T} = \frac{754.25}{314.65} = 2.40 > 1 \quad \therefore \text{OK}$$

8) 인장을 받는 앵커의 콘크리트측면 파열

가) 인장을 받는 단일 앵커의 측면 파열 강도

① 교축방향

$$h_{ef} < 2.5c_{a1} \text{이므로 검토할 필요 없음.}$$

② 교축직각방향

$$h_{ef} < 2.5c_{a1} \text{이므로 검토할 필요 없음.}$$

9) 인장과 전단의 상관 작용

가) 교축방향

① 전단 최소 안전율

$$F_{A,R}^L = 3.109883243$$

② 인장 최소 안전율

$$F_{N,R}^L = 1.037969841$$

③ 인장과 전단의 상관 작용

$$5 > F_{A,R}^L \text{ 이고 } 5 > F_{N,R}^L \text{ 이므로 상관 작용}$$

$$F_{NA,R}^L = F_{A,R}^L + F_{N,R}^L = 4.15 > 5/6 \therefore \text{OK}$$

나) 교축직각방향

① 전단 최소 안전율

$$F_{A,R}^T = 1.45$$

② 인장 최소 안전율

$$F_{N,R}^T = 0.88$$

③ 인장과 전단의 상관 작용

$$5 > F_{A,R}^L \text{ 이고 } 5 > F_{N,R}^L \text{ 이므로}$$

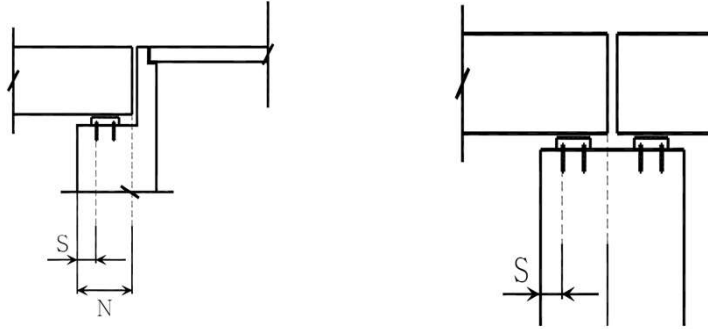
$$F_{NA,R}^T = F_{A,R}^T + F_{N,R}^T = 2.33 > 5/6 \therefore \text{OK}$$

7.3 받침부 평가 요약

구분		방향	보유성능(kN)	소요성능(kN)	보유/소요성능	평가결과
받침 본체	수평저항력	교축방향	5600.000	1762.590	3.177	OK
		교축직각방향	5600.000	2041.186	2.744	OK
	전단변위	교축방향	60.000	53.107	1.130	OK
		교축직각방향	60.000	53.795	1.115	OK
앵커 부 (전단)	강재파괴	교축방향	935.126	110.162	8.489	OK
		교축직각방향	935.126	127.574	7.330	OK
	콘크리트 파괴	교축방향	342.591	110.162	3.110	OK
		교축직각방향	370.662	255.148	1.453	OK
	콘크리트 프라이아웃	교축방향	489.898	110.162	4.447	OK
		교축직각방향	367.423	127.574	2.880	OK
앵커 부 (인장)	강재파괴	교축방향	935.126	314.651	2.972	OK
		교축직각방향	935.126	314.651	2.972	OK
	콘크리트 파괴	교축방향	326.599	314.651	1.038	OK
		교축직각방향	322.553	314.651	1.025	OK
	앵커뿔힘	교축방향	754.246	314.651	2.397	OK
		교축직각방향	754.246	314.651	2.397	OK
	콘크리트 측면파열	교축방향	-	-	-	-
		교축직각방향	-	-	-	-
인장과 전단의 상관작용		교축방향	-	-	4.148	OK
		교축직각방향	-	-	2.329	OK

8.1 P1 받침지지길이 평가

1) 보유성능 N_C : 교각의 받침지지길이



$$N_C = 1050.000 \text{ mm}$$

2) 소요성능 N_D : 교각의 응답변위

가) 응답변위

① 교각 상단의 탄성 변위(교축방향)

받침상단변위 [Δ_E] _{COMB} (mm)	상부 축력 P_{Top} (kN)	기둥 하단 모멘트 [M_E] _{COMB} (kN-m)	단면강도비 R_s	P- Δ 효과
53.107	3350.703	7883.579	1.000	미고려

나) 소요성능 N_D

$$N_D = \max [\text{응답변위}, N_{\min}] = [53.107, 266.533] = 266.533 \text{ mm}$$

$$N_{\min} = (200 + 1.67 \times L + 6.66 \times H) \times (1 + 0.000125 \times \theta^2) = 266.533 \text{ mm}$$

$$L = 19.900 \text{ m} \text{ (연속경간장)}$$

$$H = 5.000 \text{ m} \text{ (교각 높이)}$$

$$\theta = 0.000^\circ \text{ (사각)}$$

3) 받침지지길이 성능평가

$$\frac{N_C}{N_D} = \frac{1050.00}{266.53} = 3.94 > 1 \therefore \text{OK}$$

8.2 받침지지길이 평가 요약

교대/교각	보유성능(mm)	소요성능(mm)	보유/소요성능	평가결과
P1	1050.000	266.533	3.939	OK

