교량 유지관리분야 Webinar

이정우 | 토목기술 총괄

CONTENTS

Part1_정밀안전진단

정밀안전진단 대상 확대

CVL

입법예고

[입법예고] 시설물안전법 시행령 및 시행규칙 일부개정령(안) 입법예고/ 시설물 정밀안전진단 대상 확대(※공동주택은 제외)

작성자: 이상인 1,090회 25-09-01 13:35

시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 시행령 및 시행규칙 일부개정령안 입법예고를 하는데 있어, 그 이유와 주요내용을 국민에게 미리 알려 이에 대한 의견을 듣기위하여 "행정절차법" 제 41조에 따라 다음과 같이 공고합니다.

(* 입법예고 기간 : 2025. 7. 31. ~ 2025. 9. 9.)

2025년 7월 31일

국토교통부장관

「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 시행령」 일부개정령안 입법예고(국토교통부공고 제2025-962호)

<개정 이유>

시설물 관리주체의 의무를 강화하는 내용으로 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 이 개정(법률 제20553호, 2024. 12. 3. 공포, 2025. 12. 4. 시행)됨에 따라 정밀안전진단 실시 대상, 긴급안전조치 및 보수·보강 등 의무 대상 등 법률에서 위임된 사항과 그 시행을 위하여 필요한 사항을 정하는 한편, 시설물 보수·보강 의무이행 기한 및 시설물사고조사위원회 구성·운영 요건 등을 구체적으로 규정함으로써 시설물 관리주체의 원활한 안전관리를 도모하고 시설물사고조사위원회의 운영을 활성화하려는 것임.

<주요 내용>

가. 정밀안전진단 실시 대상 규정(안 제10조제2항 및 제3항 신설)

안전등급 D·E등급으로 지정된 제2종시설물 및 준공 후 30년이 경과된 이후 정밀안전진단을 받지 않은 제2종시설물이나 제3종시설물 중 안전등급 C·D·E등급으로 지정된 시설물에 대하여 정밀안전진단 실시 의무를 규정함

신·구조문대비표

현 행	개 정 안
제10조(정밀안전진단의 실시) ① (생 략)	제10조(정밀안전진단의 실시) ① (현행과 같음)
<신 설>	② 법 제12조제1항에서 **"대통령령으로 정하는 제2종시설물"**이란 **정밀안전점검 결과 D등급(미흡) 또는 E등급(불량)으로 지정된 제2종시설물(건축물은 제외한다)**을 말한다.
<신 설>	③ 법 제12조제3항제2호에서 **"대통령령으로 정하는 안전등급으로 지정된 경우"**란 **C등급(보통), D등급(미흡) 또는 E등급(불량)으로 지정된 경우(건축물에 대해 해당 안전등급이 지정된 경우는 제외한다)**를 말한다.
②·③ (생 략)	④·⑤ (현행 제2항 및 제3항과 같음)

정밀안전진단 대상 확대

CVL

「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 시행규칙」 일부개정령안 입법예고 (국토교통부공고 제2025-977호)

<개정이유 및 주요내용>

준공 후 30년 이상이 경과된 시설물 중 대통령령으로 정하는 제3종시설물에 대하여 정밀안전진단 실시 의무를 부여하는 내용으로 **「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 이 개정(법률 제20553호, 2024. 12. 3. 공포, 2025. 12. 4. 시행)**됨에 따라, 안전점검뿐만 아니라 정밀안전진단을 통해서도 제3종시설물의 안전등급을 지정할 수 있도록 하려는 것임.

■ 참고사항

○ 시설물안전법 일부 개정법률안의 국회 심의과정에서, **시설물 정기(定期) 정밀안전진단 대상 확대 (1종 시설물 → 대통령령으로 정하는 2종 시설물까지 확대)와 관련해 향후 시행령 개정 시 "공동주택은 적용제외"하는 것으로 수정 의결(2024. 9. 25.)**된 바 있으며, 이와 같은 내용이 **이번 입법예고안(2025. 7. 31.)에 반영되었음**을 안내드립니다.

* 2025년 12월 4일부터 시행되는 "시설물안전법" 일부 개정법률 공포안(案)에 대해서는 아래 자료를 참조하시기 바랍니다.

☞ **「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 일부 개정법률 공포('24. 12. 3.) 및 시행('25. 12. 4.) 안내**

○ 관련 규정

▲ **시설물안전법 제2조(정의)** 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. **"시설물"이란 건설공사를 통하여 만들어진 교량·터널·항만·댐·건축물 등 구조물과 그 부대시설로서 제7조 각 호에 따른 제1종시설물, 제2종시설물 및 제3종시설물**을 말한다.

▲ **시설물안전법 제2조(정의)** 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. **"시설물"이란 건설공사를 통하여 만들어진 교량·터널·항만·댐·건축물 등 구조물과 그 부대시설로서 제7조 각 호에 따른 제1종시설물, 제2종시설물 및 제3종시설물**을 말한다.

▲ **시설물안전법 제7조(시설물의 종류)** 시설물의 종류는 다음 각 호와 같다.

1. **제1종시설물**: 공중의 이용편의와 안전을 도모하기 위하여 특별히 관리할 필요가 있거나 구조상 안전 및 유지관리에 고도의 기술이 필요한 대규모 시설물로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설물 등 대통령령으로 정하는 시설물

가. 고속철도 교량, 연장 500미터 이상의 도로 및 철도 교량

나. 고속철도 및 도시철도 터널, 연장 1000미터 이상의 도로 및 철도 터널

다. 갑문시설 및 연장 1000미터 이상의 방파제

라. 다목적댐, 발전용댐, 홍수전용댐 및 총저수용량 1천만톤 이상의 용수전용댐

마. 21층 이상 또는 연면적 5만제곱미터 이상의 건축물

바. 하구둑, 포용저수량 8천만톤 이상의 방조제

사. 광역상수도, 공업용수도, 1일 공급능력 3만톤 이상의 지방상수도

2. **제2종시설물**: 제1종시설물 외에 사회기반시설 등 재난이 발생할 위험이 높거나 재난을 예방하기 위하여 계속적으로 관리할 필요가 있는 시설물로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설물 등 대통령령으로 정하는 시설물

가. 연장 100미터 이상의 도로 및 철도 교량

나. 고속국도, 일반국도, 특별시도 및 광역시도 도로터널 및 특별시 또는 광역시에 있는 철도터널

다. 연장 500미터 이상의 방파제

라. 지방상수도 전용댐 및 총저수용량 1백만톤 이상의 용수전용댐

마. **16층 이상 또는 연면적 3만제곱미터 이상의 건축물**

바. 포용저수량 1천만톤 이상의 방조제

사. 1일 공급능력 3만톤 미만의 지방상수도

3. **제3종시설물**: 제1종시설물 및 제2종시설물 **외에** 안전관리가 필요한 **소규모** 시설물로서 제8조에 따라 **지정·고시된 시설물**

정밀안전점검 및 진단 예정 현황 (수정 보완)

CVL

라. 시설물의 안전성 평가

과업내용에 의거 실시한 조사 등의 결과를 분석하고 이를 바탕으로 이론적 계산과 해석을 통하여 구조물의 구조적, 기능적 안전성을 평가한 결과를 작성한다.

. 비파괴 재하시험 결과 및 분석 및 참여기술진의 작업내용이 포함된 시험과정 사진 또는 동영상
. 지형, 지질, 지반 및 토질조사 등 결과 분석 및 참여기술진의 작업내용이 포함된 조사과정 사진 또는 동영상
. 변위 및 거동 등의 측정결과 및 분석 및 참여기술진의 작업내용이 포함된 조사과정 사진 또는 동영상
. 구조해석 및 구조계산을 통한 분석결과
. 수문, 수리 등 해석결과 및 분석(관리주체의 요구 등 필요한 경우)
. 시설물의 내하력 평가
. 시설물의 내진성, 사용성 평가(관리주체의 요구 등 필요한 경우)
. 시설물의 안전성평가등급 결정

4.2 시설물의 안전성평가

가. 구조해석을 통한 구조 안전성평가 시 평가기준은 가장 최근의 "도로교 설계 기준" 및 "콘크리트 구조기준"을 적용한다.

나. 안전성평가는 시공된 구조물의 부재치수, 시공상태 등을 정밀 조사.분석하여 실측된 구조물의 치수에 의한 구조해석을 실시하고 재하시험에 의한 결과와 비교 검토하여야 한다.

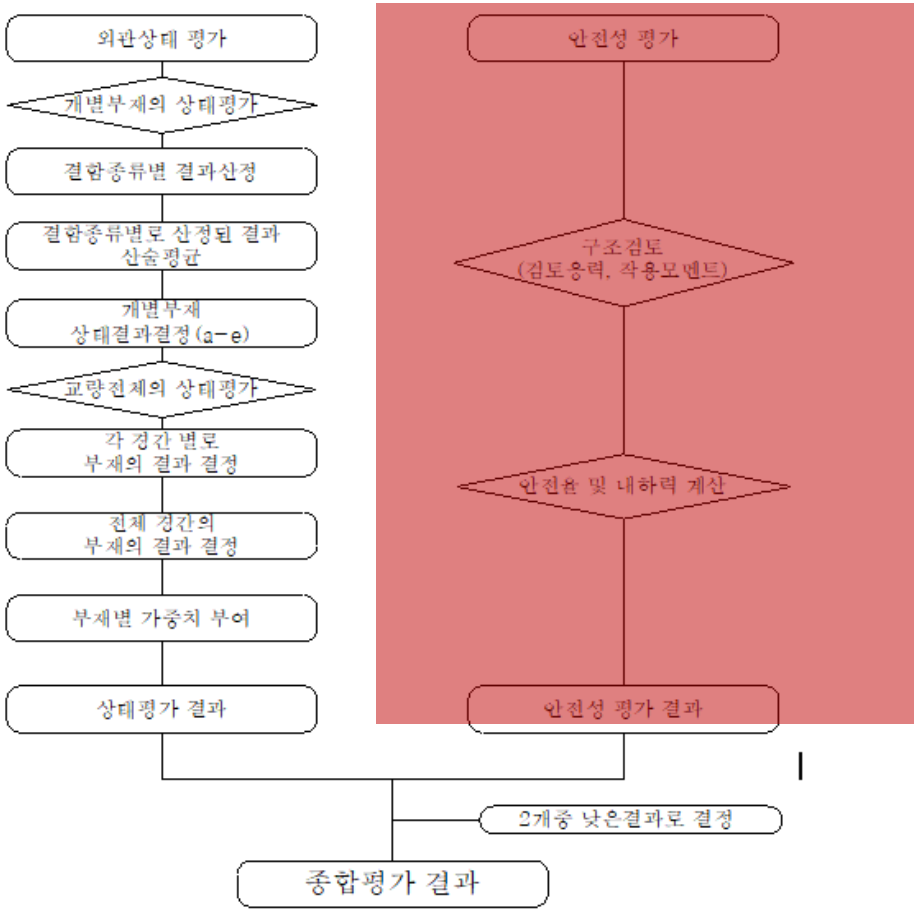
다. 비파괴 재하시험을 실시하는 경우 재하시험 결과를 이용하여 구조해석 모델의 적정성을 검증한 후 내하력 평가를 위한 단면력을 산정하여야 한다.

라. 외관조사, 비파괴 재하시험, 구조해석 등의 결과를 종합적으로 분석하여 내하력을 평가하고 공용하중을 선정하여야 한다.

나. 정밀안전진단

외관조사에 따른 상태평가 결과와 안전성 검토에 근거한 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 시설물의 종합평가 결과로 결정한다.

○ 종합평가 결과 = *MIN* (상태평가결과 , 안전성평가결과)



[그림 1.3] 종합평가 결과의 산정흐름도

1.5.2 안전성평가 기준

구조물의 안전성평가는 주요 구조부재의 정밀외관조사, 비파괴 현장시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다. 현재 도로교와 철도교는 강교의 경우 허용응력설계법, 콘크리트교는 강도설계법으로 설계되고 있다.

안전성 검토는 대상 교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 하고, 최근 도입되고 있는 신뢰성이론에 의한 평가방법은 충분한 통계자료가 뒷받침되어야 하므로 참고자료로 활용한다.

또한 교량의 안전성평가는 내하력평가 개념으로 규정되어 왔으나 내하력은 활하중여유도로서 하중비에 따라 내하력의 변동폭이 크게 변하므로 교량의 안전성을 일관되게 평가하는 기준으로 적절하지 못하다.

따라서 안전성평가는 교량의 안전율 개념을 도입하여 평가하였다. 그러나 안전율이 0.9에서 1.0 사이에 있어 재하시험에 의한 공용내하력 평가를 실시한 경우 공용내하력 산정결과에 따라 안전성평가 결과를 산정한다. 관리주체의 요구에 따라 내진안전성평가를 실시할 경우 '기존 시설물(교량)의 내진성능평가 및 향상요령'의 절차에 따라 내진안전성평가 과업을 수행한다.

[표 1.31] 구조물의 안전성평가 기준

기준	안전성평가 기준	비 고
A	SF > 1.0	◦허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}}$
B	0.9 ≤ SF < 1 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	0.9 ≤SF < 1	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	◦강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi Mn}{Mu}$
E	SF < 0.75	

내하력 개념 이해

CVL

구조물의 내하력이란?

구조물의 내하율에 영향을 미치는 하중

차량 이동하중

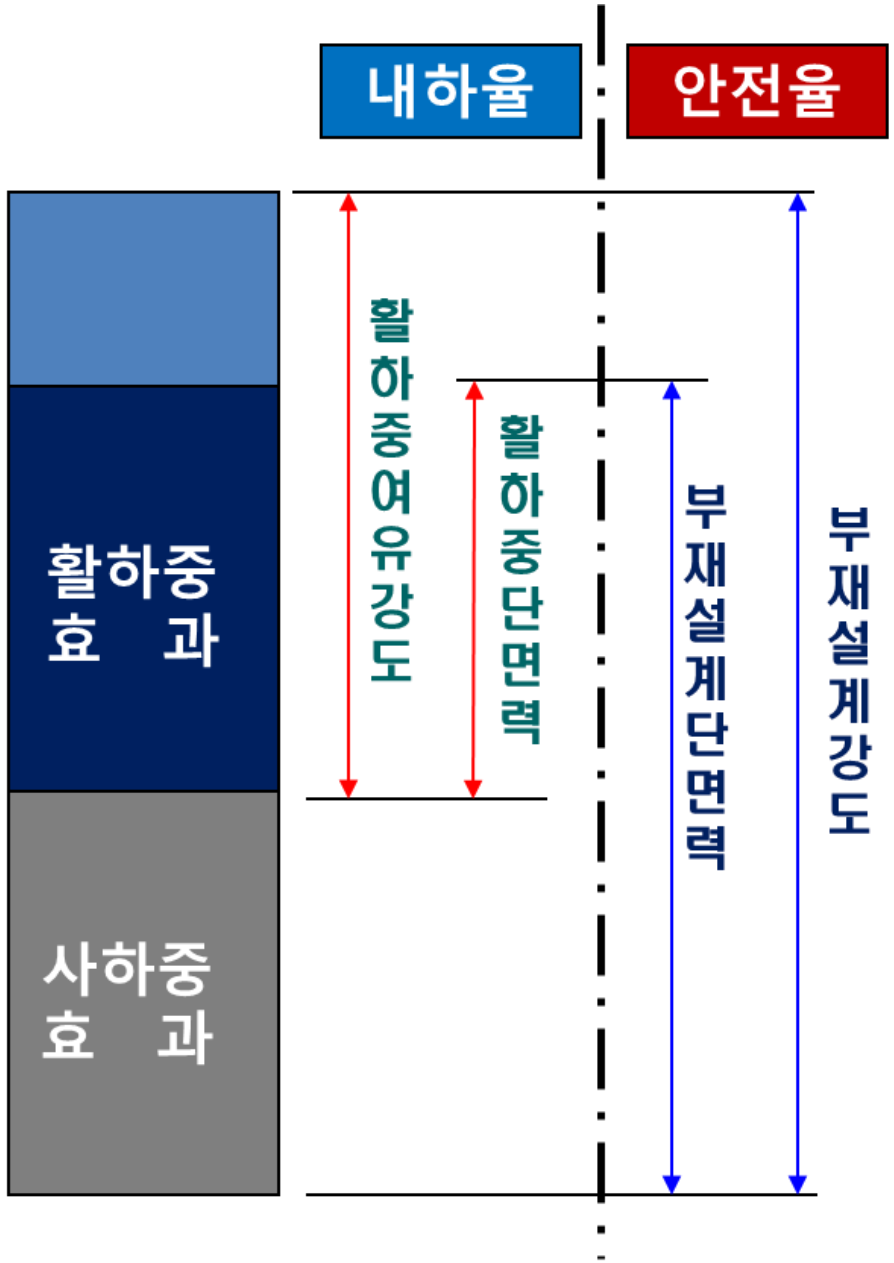
내하율 (Rating Factor)

부재 허용응력(부재력) – 고정하중 응력(부재력)

설계 이동하중에 의한 응력(부재력)

고정하중(자중 , 2차 사하중 , 포장)

내하율 VS 안전율



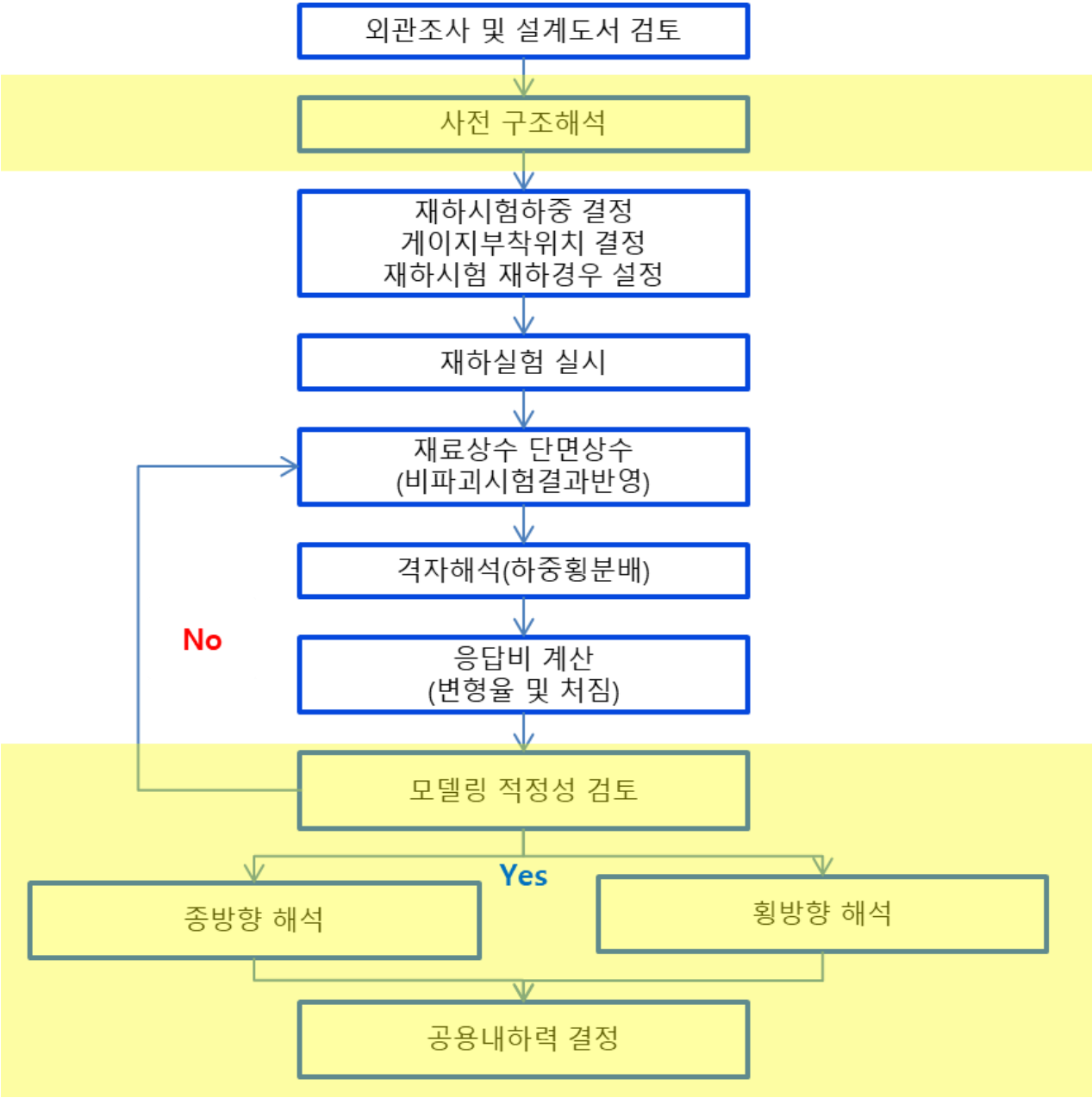
$$\text{내하율 (RF)} = \frac{\text{부재의 저항력} - \text{고정하중 효과}}{\text{활하중 효과}}$$

-〉 활하중에 대한 여유율을 의미

$$\text{안전율 (SF)} = \frac{\text{부재의 저항력}}{\text{고정하중 효과} + \text{활하중 효과}}$$

-〉 설계하중에 대한 여유율을 의미

구조 안전성 평가 프로세스



내하력 평가 방법

CVL

1) 허용응력법(ASD)에 의한 평가

허용응력법에 의한 부재의 내하율 산정 시에 하중조합으로는 D+L(1+i)을 사용하여 하중계수는 각각 1.0으로 적용
사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력을 적용

$$R.F(Rating\ Factor) = \frac{f_a - f_d}{f_l\,(1+i)}$$

여기서, fa = 허용응력
fd = 고정하중에 의한 응력
fl = 설계 활하중에 의한 응력
i = 시방규정에 의한 이론적 충격계수

2) 강도설계법(USD)에 의한 평가

강도 설계법에 의한 내하율을 산정 시 하중조합으로는 1.3D+2.15(1.0+i)을 사용하므로 하중계수는 각각 1.3 / 2.15으로 적용
부재단면의 손상 정도를 정량적으로 평가하기 어렵기 때문에 공칭강도의 산정 시 교량의 현재상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계 시 값을 그대로 적용

$$R.F(Rating\ Factor) = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l\, M_l\,(1+i)}$$

여기서, ΦMn = 극한 저항 모멘트 (RC, PC 구조물의 휨부재는 Φ=0.85)
Md = 고정하중 모멘트
Ml = 설계 활하중 모멘트
γl = 활하중 계수 = 2.15 γd = 고정하중 계수 = 1.3
i = 이론상의 충격계수

3) 한계상태(LSD)에 의한 평가

한계상태 설계법에 의한 내하율을 산정 시 하중조합으로는 DC(구조부재) , DW(포장 및 시설물)에 대한 하중계수를 max/min 개념으로 최대 불리한 결과를 도출하는 하중조합 적용
활하중은 1.8/1.4의 하중계수를 적용하는 극한 I, II , V를 적용
콘크리트 교량은 재료계수를 반영한 설계강도인 M_{Rd}를 적용하며 , 강교량은 조밀/비조밀 단면 분류에 따른 응력 및 소성 모멘트로 평가

$$R.F(Concrete, PSC) = \frac{M_{Rd} - \gamma_p M_d}{\gamma_l M_l\,(1 + \frac{IM}{100})} \qquad R.F(Steel) = \frac{M_P - \gamma_p M_d}{\gamma_l M_l (1 + \frac{IM}{100})}$$

여기서, M_{Rd} = 설계 저항강도
Md = 고정하중 모멘트
Ml = 설계 활하중 모멘트
γl = 활하중 계수(1.8 , 1.4) γp = 고정하중 계수
IM = 충격계수(25%)

내하력 평가 방법

CVL

공용 내하력이란?

여러 가지의 실측에 대한 보정계수를 적용한 내하율에 설계 이동하중 Pr을 곱한 값을 의미함

$$P = K_s \times R.F \times P_r$$

응답보정계수

$$K_s = \frac{\varepsilon_{계산}}{\varepsilon_{실측}} \cdot \frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}} = \frac{\delta_{계산}}{\delta_{실측}} \cdot \frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$$

교통상태 보정계수

노면상태 보정계수

공용년수, 활하중, 동시재하 확률, 교통량, 차선수 등의 보정계수

$$P > P_r$$

Yes → OK

No → NG

내하력 평가 방법

CVL

교량의 내하력은

- 활하중 여유도로서
- 하중비에 따라 내하력의 변동폭이 크게 변하므로
- 안전성을 일관되게 평가하는 기준으로 적절하지 못함

→ 교량의 안전성평가는 안전율 개념을 도입하여 평가.

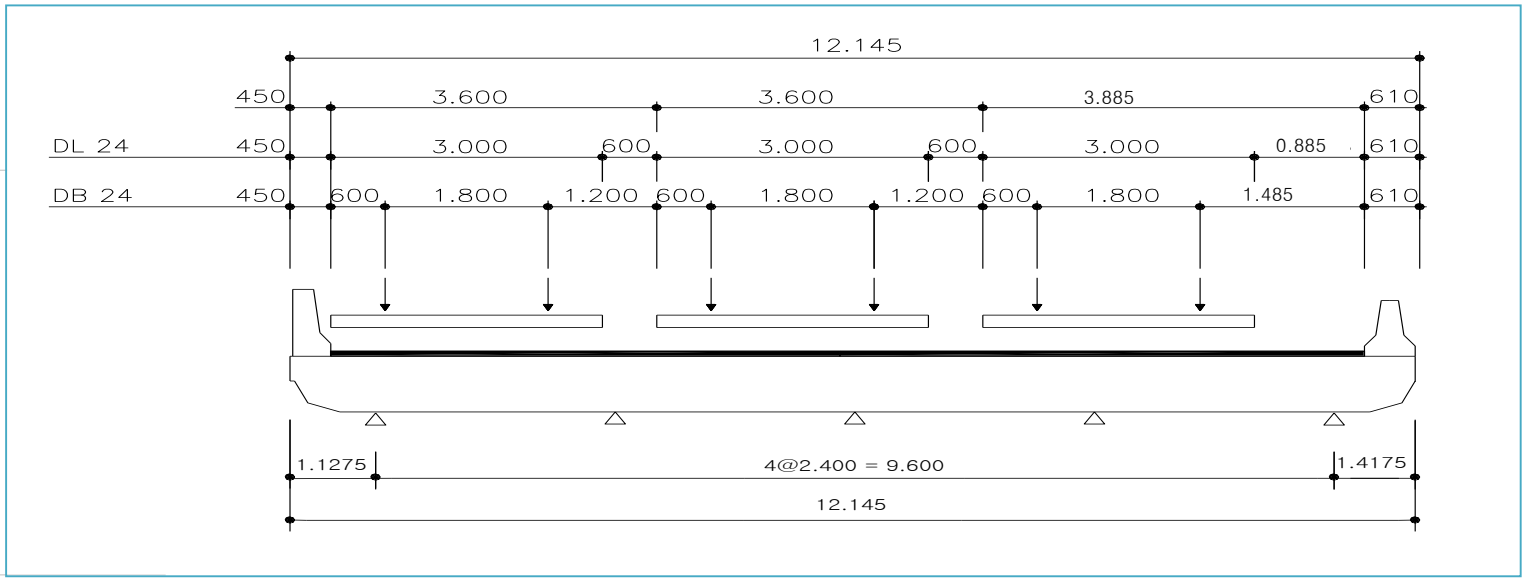
등급	안전성 평가 기준	비고
A	S.F >1.0	• 허용응력 설계법 $S.F(Safe\,Factor)=\frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}}=\frac{f_a}{f_{d+l}}$
B	0.9 ≤ S.F < 1.0 이나, 공용 내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	0.9 ≤ S.F < 1.0	• 강도 설계법 $S.F(Safe\,Factor)=\frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}}=\frac{\phi M_n}{M_u}$
D	0.75 ≤ S.F < 0.9	
E	S.F < 0.75	

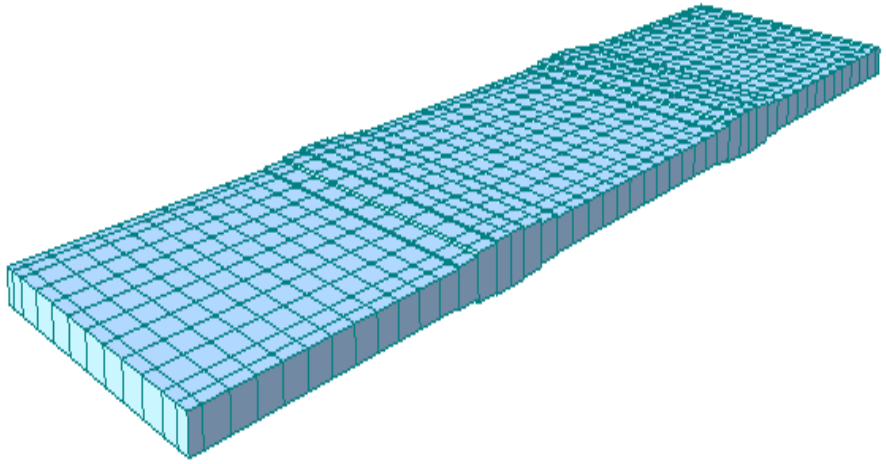
내하력 평가 방법(RC 구조물)

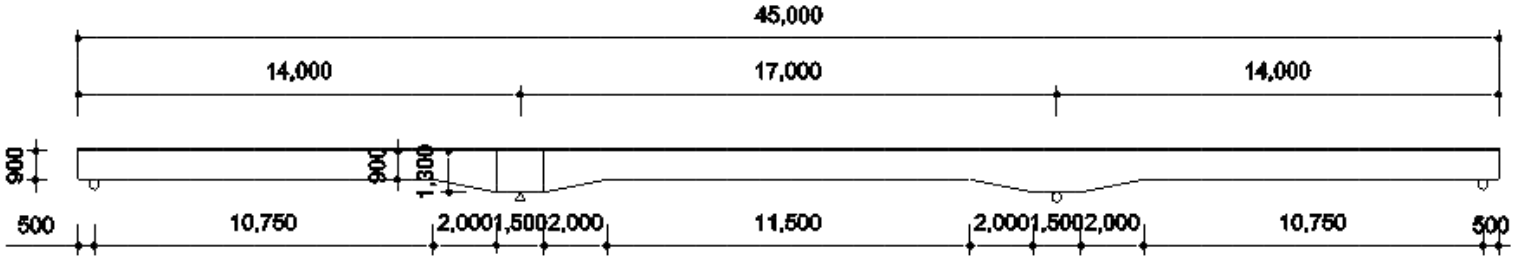
CVL

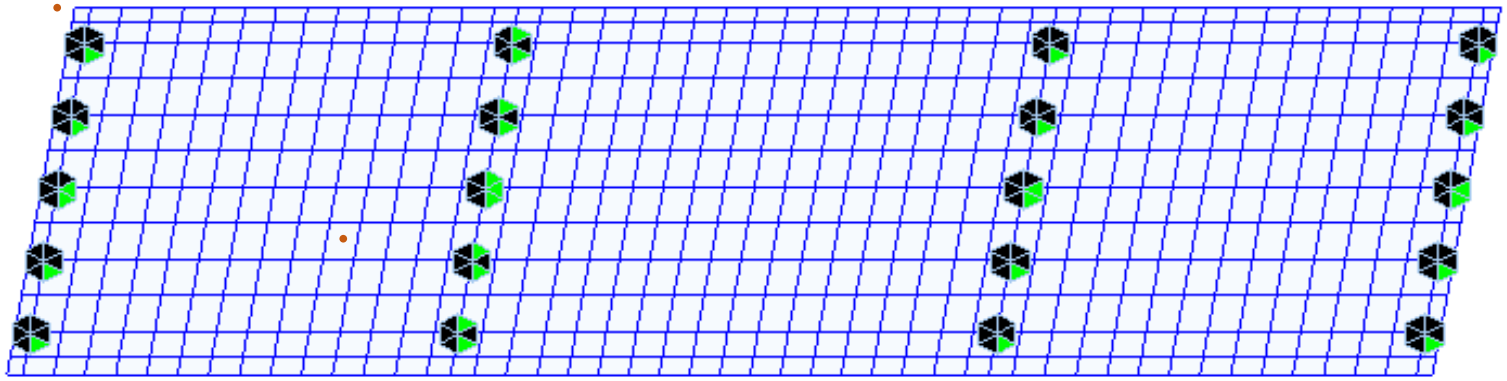
RC 구조물 개요

형 식	: 3경간 연속 RC 슬래브교
지간 구성	: L=14+17.0+14=45.0m
횡단폭원	: 12.145 m
교량등급	: 1등교
사 각	: 10°(사교)





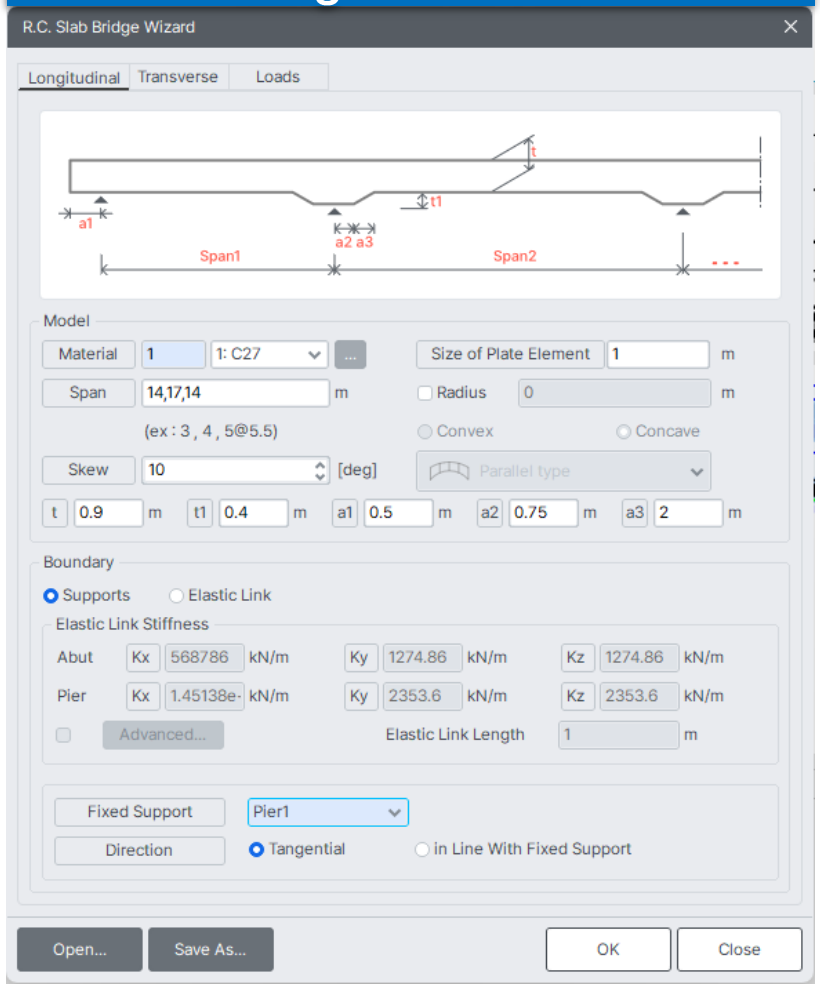




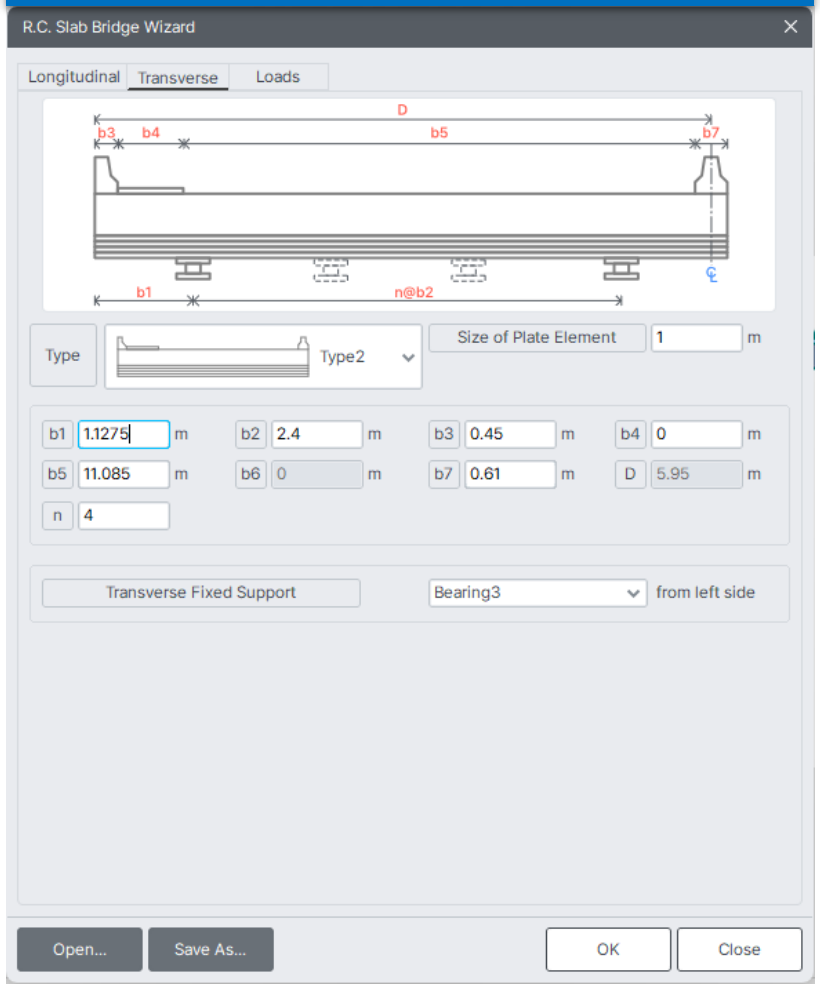
내하력 평가 방법(RC 구조물)

CVL

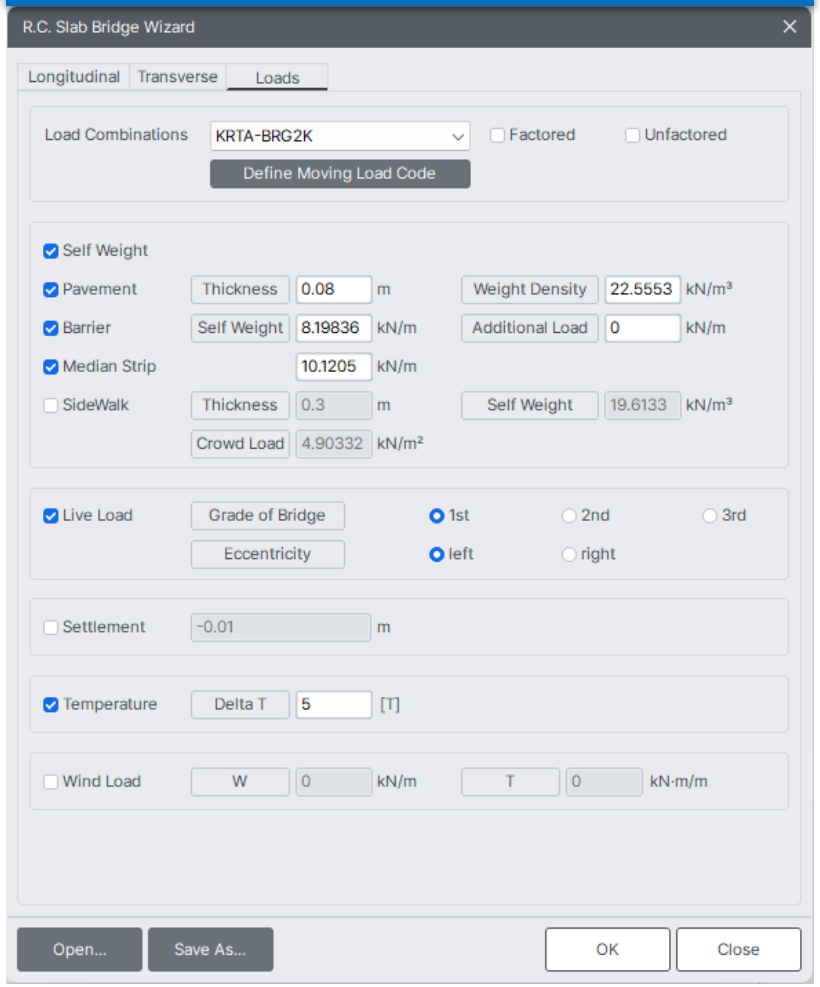
Longitudinal Tab



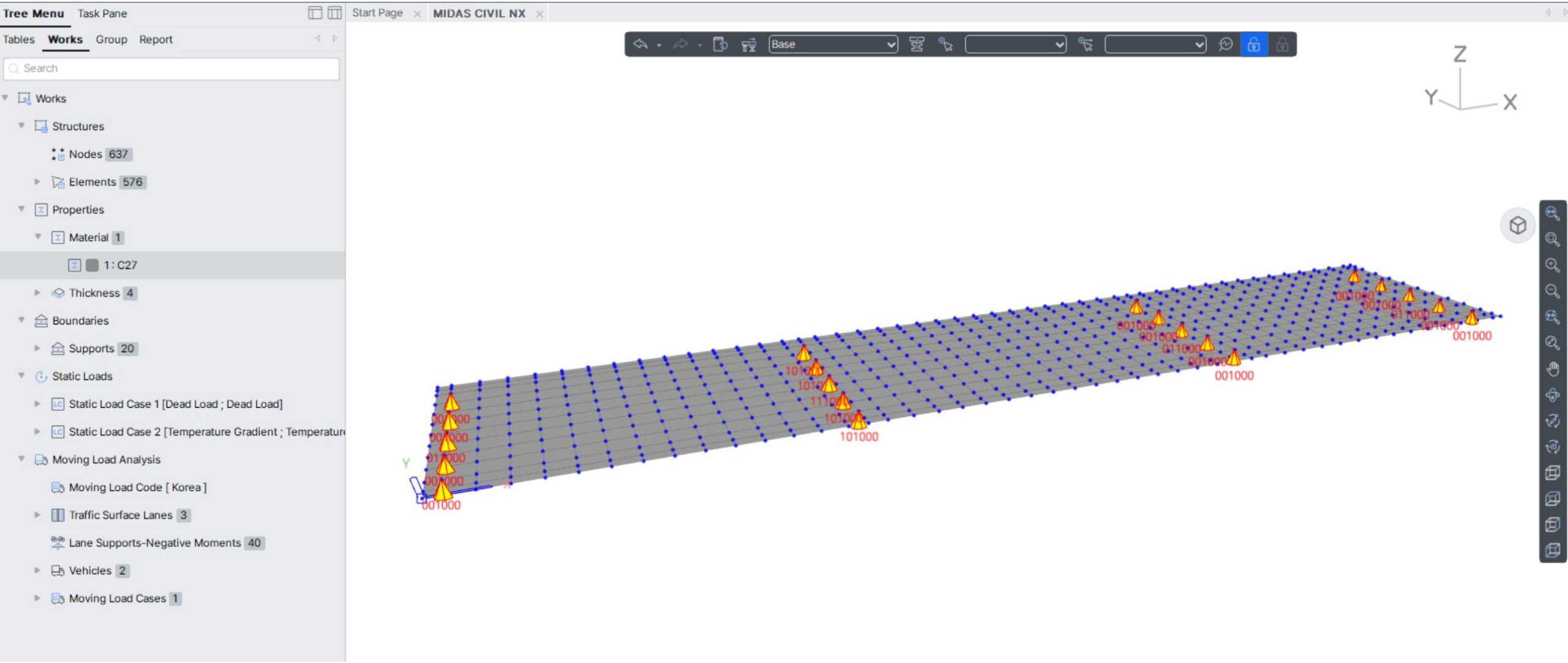
Transverse Tab



Loads Tab



내하력 평가 방법(RC 구조물)



내하력 평가 방법(RC 구조물)

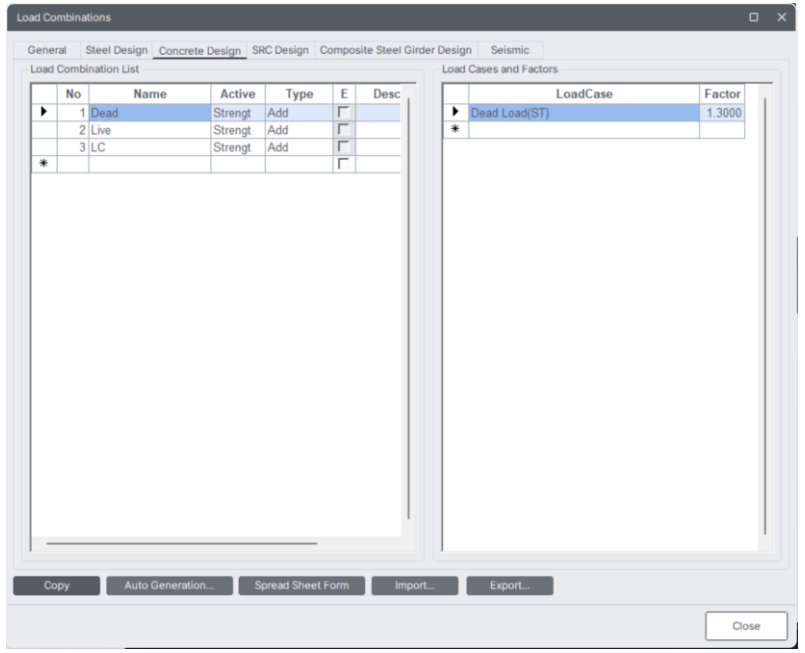
CVL

Load Combination 생성

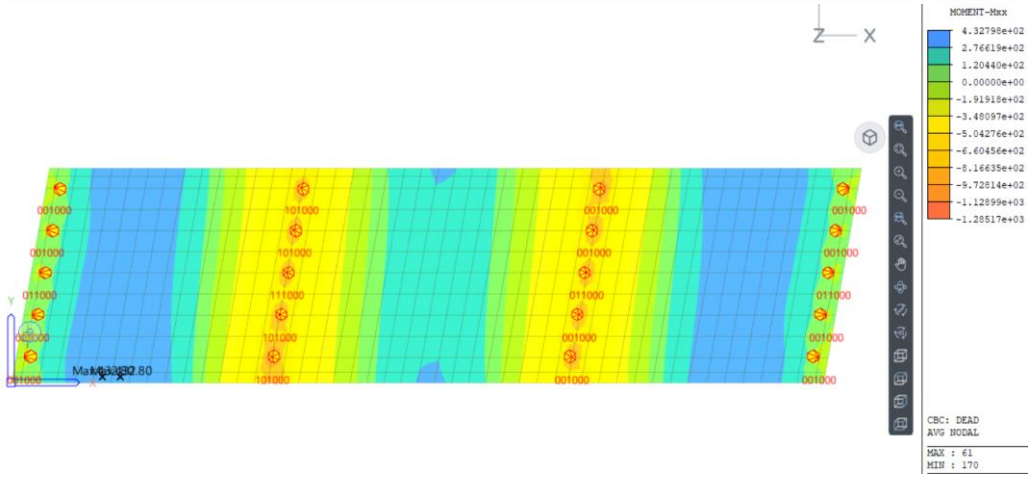
◆ 해석 수행 후, Load Case 생성 (Results – Load Combination)

고정하중의 경우 1.30, 이동하중의 경우 2.15의 하중 조합 계수 적용

LC(Dead) : 1.3 Dead Load(ST) → 고정하중 모멘트 확인용
LC(Live) : 2.15 MVL(MV) → 이동하중 모멘트 확인용
LC : 1.3 Dead Load(ST) + 2.15 MVL(MV) + 1.3 Temperature Grd.(ST) → 설계 하중조합



$\gamma_d M_d$ Dead(CBC) : 432.80 kN.m



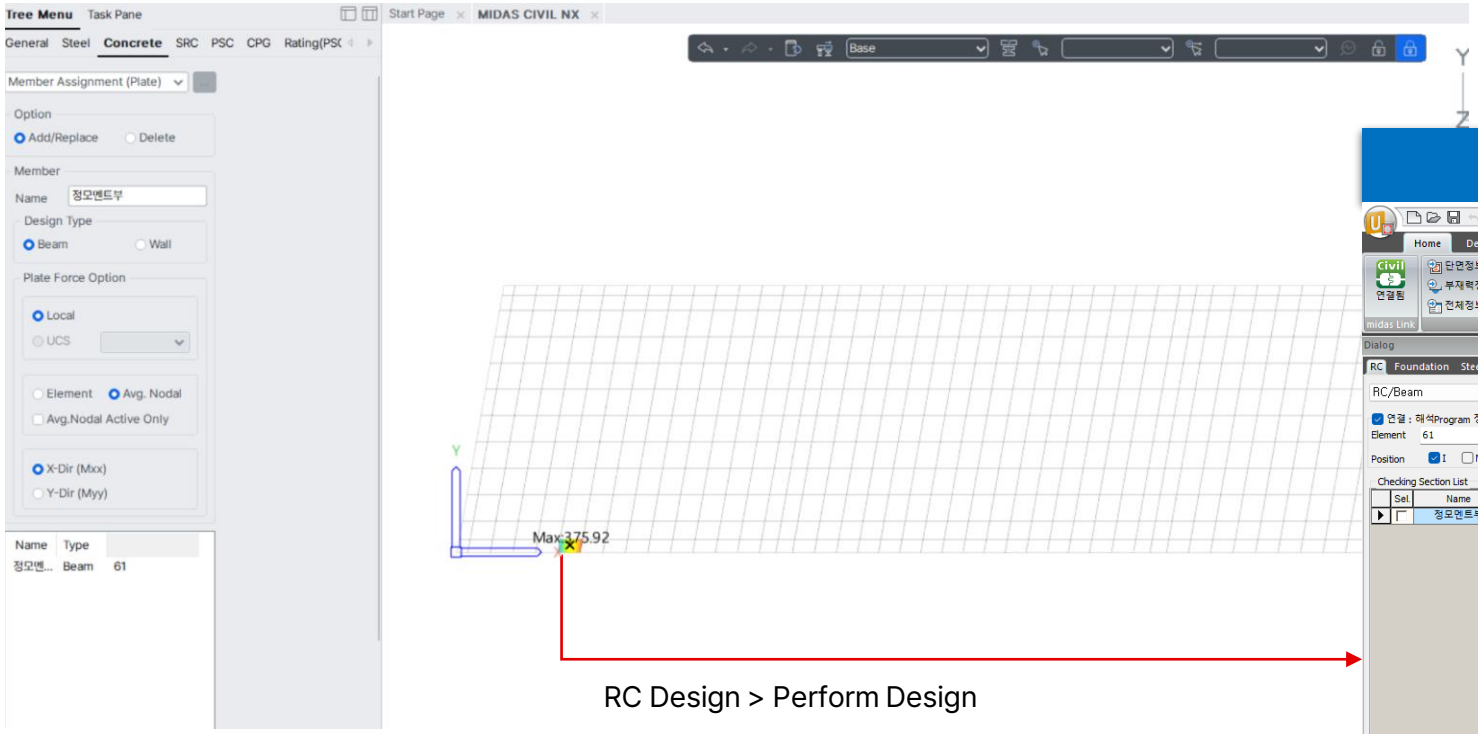
$\gamma_l M_l (1+i)$ Live(CBC) : 375.92 kN.m

내하력 평가 방법(RC 구조물)

CVL

UMD를 활용한 구조 안정성 검토

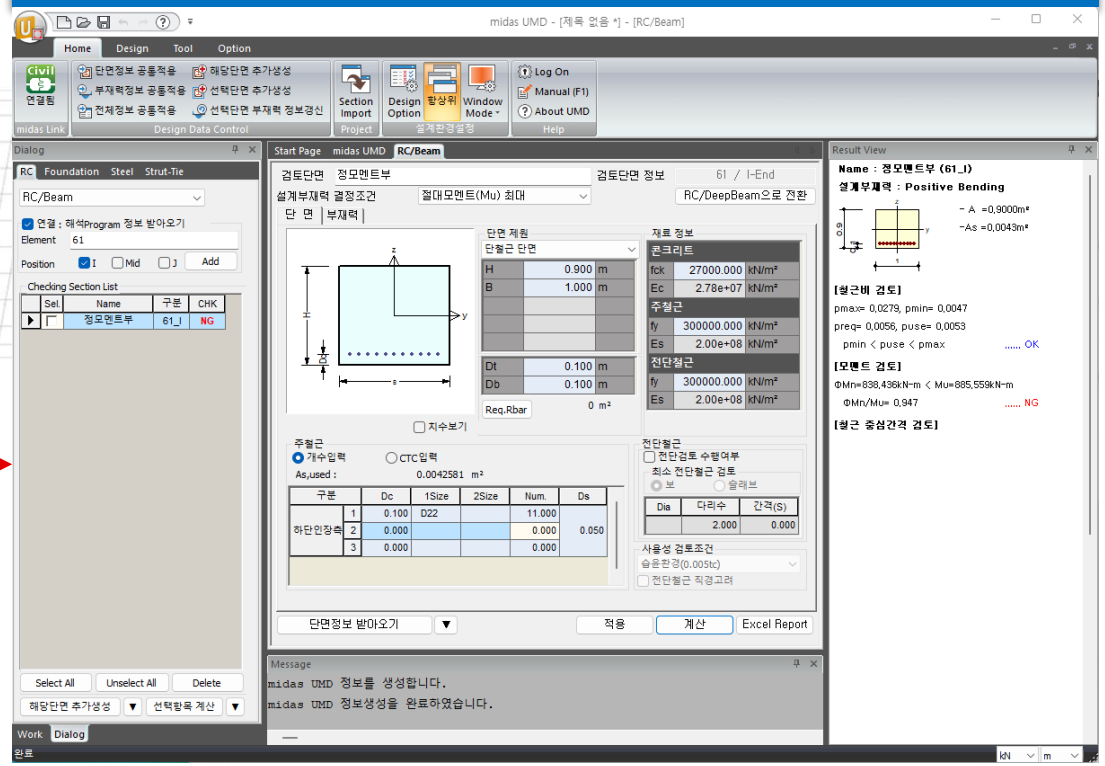
◆ RC Design > Design Parameters > Member Assignment(Plate)



RC Design > Perform Design

◆ Dc : 0.1m , Rebar Size : D22 , Num : 11 EA

ϕM_n : 838.44 kN.m



내하력 평가 방법(RC 구조물)

CVL

구조 안전성 검토

- 강도 설계법에 의한 내하율을 산정 시 하중조합으로는 1.3D+2.15(1.0+i)을 사용하므로 하중계수는 각각 1.3 / 2.15으로 적용
- 부재단면의 손상 정도를 정량적으로 평가하기 어렵기 때문에 공칭강도의 산정 시 교량의 현재상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계 시 값을 그대로 적용

$$R.F\,(Rating\ Factor) = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)}$$

여기서, ΦMn = 극한 저항 모멘트 (RC, PC 구조물의 휨부재는 Φ=0.85)
Md = 고정하중 모멘트
Ml = 설계 활하중 모멘트
γl = 활하중 계수 = 2.15 γd = 고정하중 계수 = 1.3
i = 이론상의 충격계수

ϕM_n = 838.44 kN m $\gamma_d M_d$ = 432.80 kN m $\gamma_l M_l (1+i)$ = 375.92 kN m

S,F (Safety Factor) = 0.95

R.F (Rating Factor) = 1.08

→ 안전성 평가 등급 : B등급

Part2_내진성능평가

통합내진설계 및 내진성능평가 본격 시행

CVL

2019년 1월, 통합 내진설계 및 내진성능평가 본격 시행

보도자료

국민안전처

국민행복

배포일시	2017.3.22.(수) 14:00	보도시점	2017.3.23.(목) 석간부터 [온라인매체 3.23.(목) 06:00부터]
담당과장	지진방재정책과장 직무대리 박하용	연 락 처	044-205-5181
담 당	방재안전사무관 박하용	연 락 처	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

시설물의 내진성능 확보를 위한 법적 근거

CVL

시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 [시설물 안전법] – [국토부]

- 제 7조의 2항 (내진성능평가 등)

① 정밀안전진단을 실시하는 경우에 내진성능평가를 포함하여 실시 가능
다만, 준공인가 또는 사용승인을 받은 후 **20년 지난 시설물 중 내진성능평가를 받지 않는 시설물에 대하여는 내진성능평가를 의무적으로 실시!**

② 국토교통부장관은 내진성능평가가 포함된 정밀안전진단의 실시결과를 제 11조의 3항에 따라 평가한 결과 내진성능의 보강이 필요하다고 인정되면 내진성능을 보강하도록 권고!

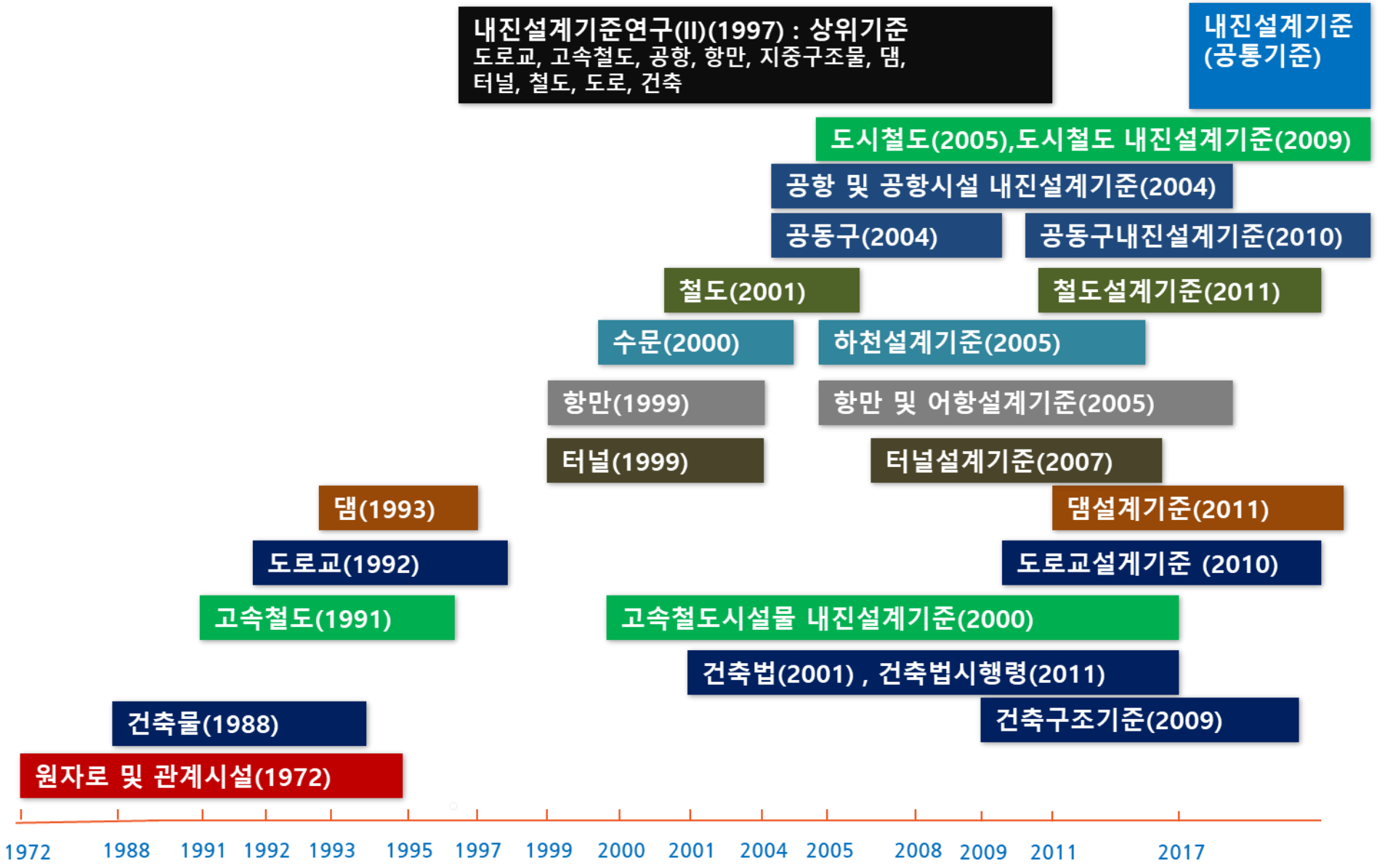
- 제 12조 (정밀안전진단의 실시) [2017.01.17. 전부개정 , 2018.01.18 시행]

③ [지진/화산재해 대책법] 제14조 1항에 따른 내진설계 대상 시설물 중 내진성능평가를 받지 않은 시설물에 대하여 **정밀안전진단을 실시하는 경우에는 내진성능평가를 포함하여 실시**

④ (보강 권고 동일)

시설물의 내진성능 확보를 위한 법적 근거

CVL



내진설계기준 일반

내진설계 일반 [KDS 17 10 00]

- 목적 : 시설별 내진설계기준의 일관성 유지
- 근거 : 지진/화산재해 대책법 제 14조(내진설계기준의 설정) 및
  동법 시행령 제 10조의 2항(내진설계기준 공통적용사항)

- 국가 내진성능의 목표

- 국가가 지진에 대비하여 국가적 기능을 유지하기 위하여 설정한 목표
- 최소 내진성능목표

	내진성능수준 / 평균재현주기	기능수행	즉시복구	장기복구/인명보호	붕괴방지
설계지진	50년	내진Ⅱ등급			
	100년	내진Ⅰ등급	내진Ⅱ등급		
	200년	내진특등급	내진Ⅰ등급	내진Ⅱ등급	
	500년		내진특등급	내진Ⅰ등급	내진Ⅱ등급
	1,000년			내진특등급	내진Ⅰ등급
	2,400년				내진특등급
	4,800년				내진특등급

내진설계 일반 [KDS 17 10 00]

- 유효수평지반 가속도 (S)
  - 행정구역에 의한 방법 : S = Z x I

지진구역 및 지진구역계수 Z (재현주기 500년 기준)

지진구역	행 정 구 역		지진구역계수 Z
Ⅰ	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부[1]	
Ⅱ	도	강원 북부[2], 제주	0.07g

1 강원 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백
2 강원 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

위험도 계수 I

평균재현주기 (년)	50	100	200	500	1,000	2,400	4,800
위험도계수 I	0.40	0.57	0.73	1	1.4	2.0	2.6

내진설계 일반 [KDS 17 10 00]

- 지반분류

국지적인 토질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 정도를 공학적인 특성에 근거하여 지반을 분류

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이*, H (m)	토층평균전단파속도, $V_{S,Soil}$ (m/s)
S_1	암반 지반	1 미만	–
S_2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S_3	얕고 연약한 지반		260 미만
S_4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S_5	깊고 연약한 지반		180 미만
S_6	부지 고유의 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반		

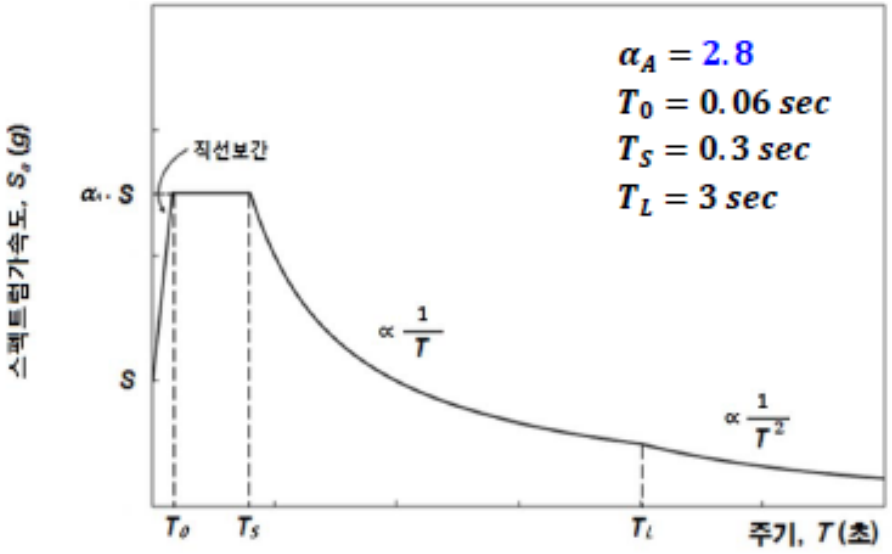
* 전단파속도 $760\,m/s$ 이상을 나타내는 지층

※ 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 $120\,m/s$ 이하인 지반은 S_5 지반으로 분류

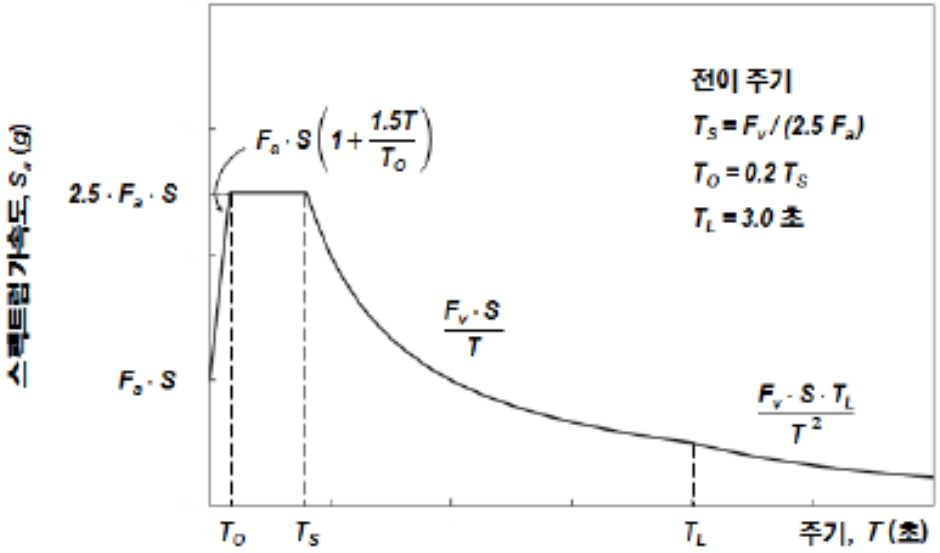
내진설계 일반 [KDS 17 10 00]

- 가속도 표준 설계응답스펙트럼 [수평설계 지반운동]

암반지반



토사지반



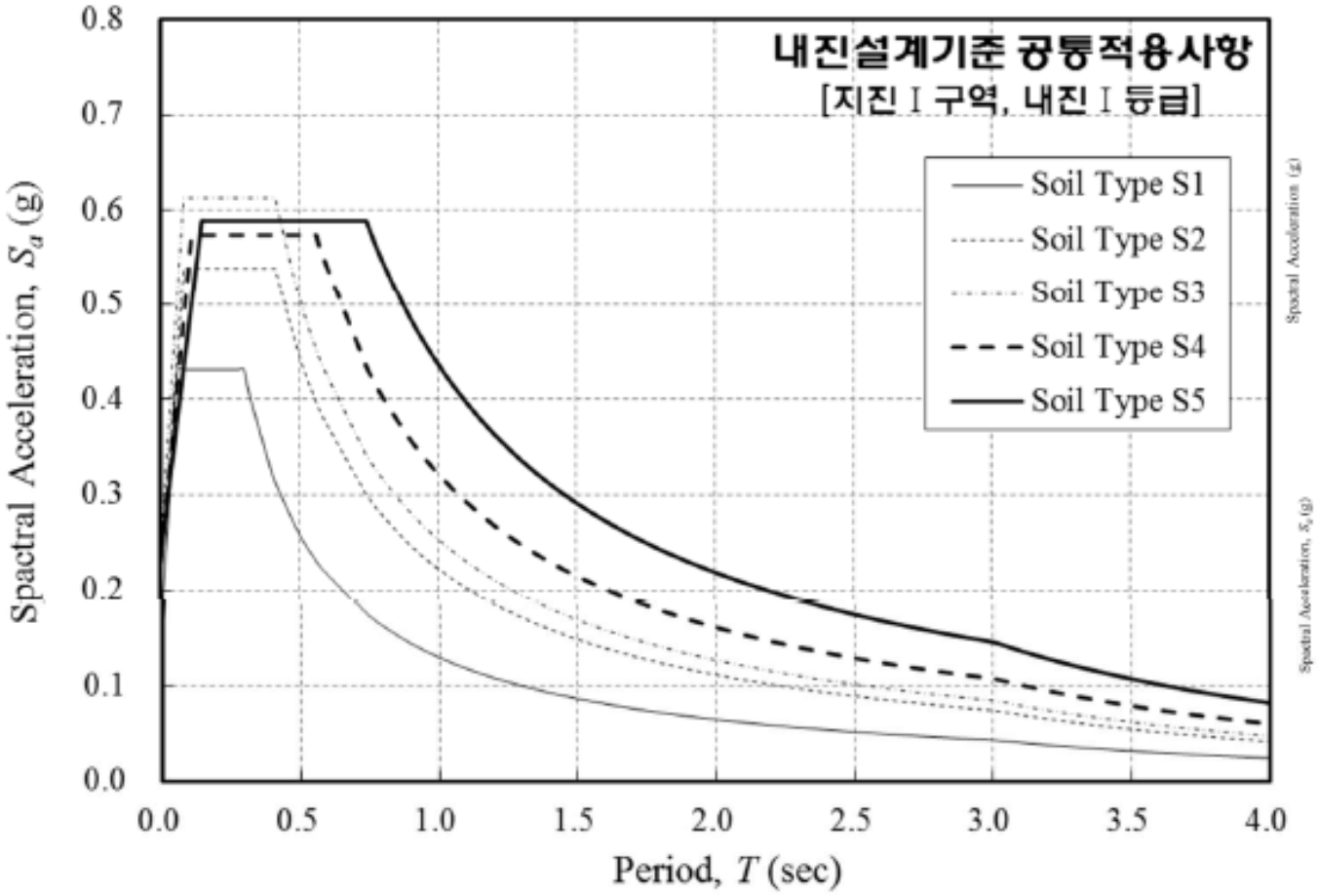
▶ 감쇠보정계수 C_D (암반지반)

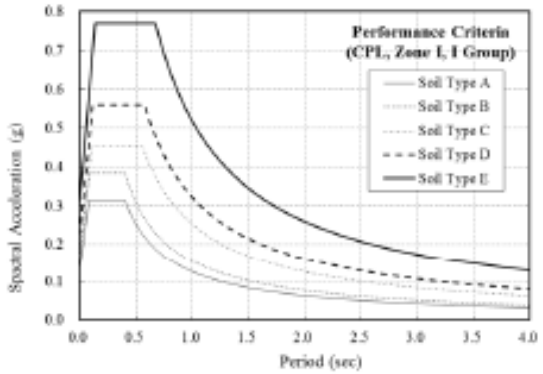
주기 T (sec)	$T = 0$	$0 \le T \le T_0$	$T_0 \le T$
C_D	1.0	직선보간	$\left(\frac{6.42}{1.42 + \xi}\right)^{0.48}$

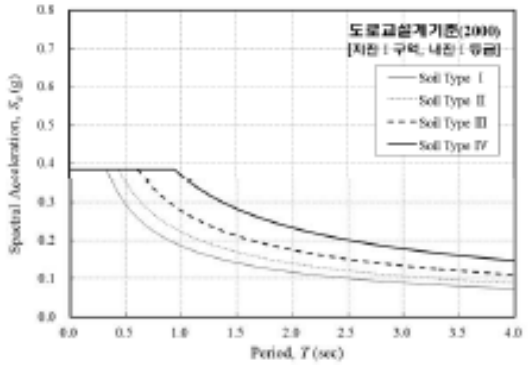
지반 분류	단주기지반증폭계수, F_a			장주기지반증폭계수, F_v		
	$S \le 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$	$S \le 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
S_2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S_4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S_5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

내진설계 일반 [KDS 17 10 00]

- 가속도 표준 설계응답스펙트럼

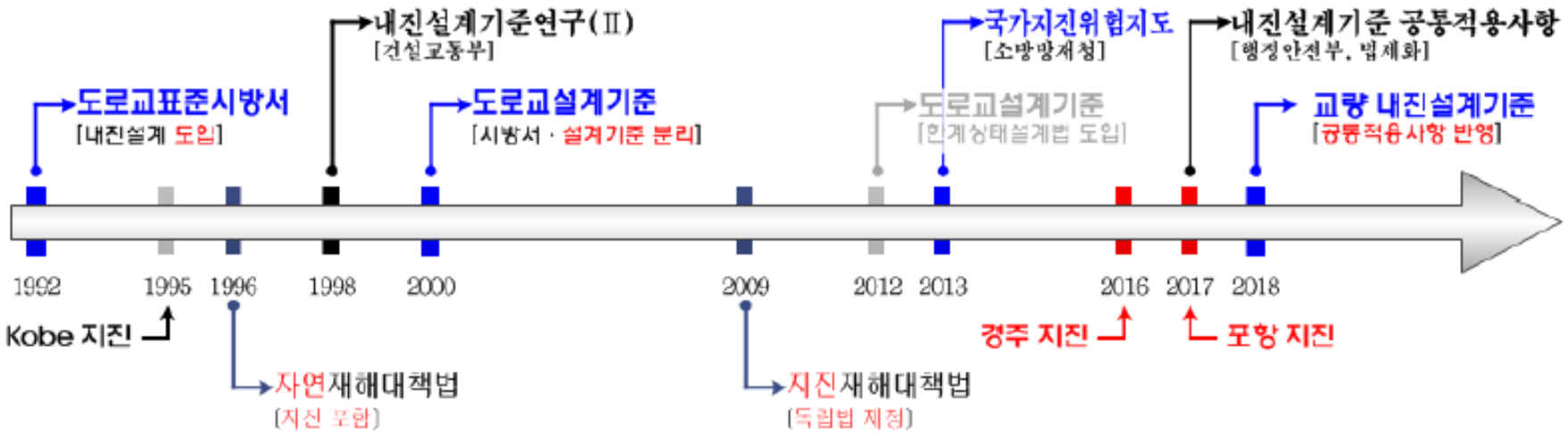






내진설계기준 일반

교량 관련 내진기준 강화 현황



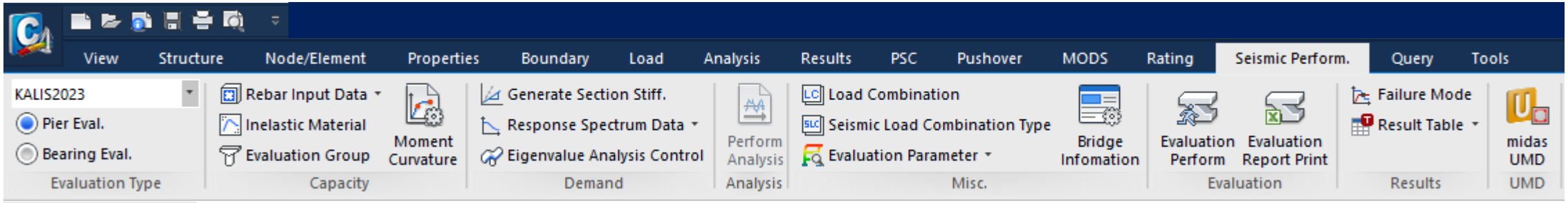
- [내진설계 도입] : 도로교 표준시방서 (1992)
- [지진가속도 강화 등] : 도로교설계기준 (00, 내진설계기준연구 II 반영)
- [지진구역 개편] : 국가지진위험지도 제정/공표 (2013)

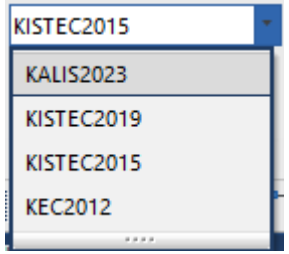
  * 전남 남서부 지진구역 상향 조정 : II구역 (0.098g) → I구역 (0.154g)
- (설계지반운동 개편 등) : 교량 내진설계기준(2018, 내진설계기준 공통적용사항 반영)

  * 내진성능목표 , 지반분류체계 및 설계지반운동 등 변경

내진성능평가 옵션(Seismic Perform.)

- 내진성능평가 전용 메뉴 제공





STEP 0

최신 평가 기준 제공

STEP 1

보유성능 산정

- 철근 배근
- 비선형 재료 정의
- M-C Curve 계산

STEP 2

소요성능 산정

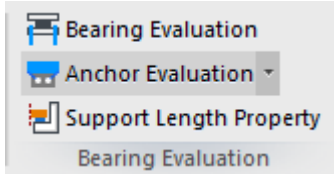
- 교각 강성 업데이트
- RS DATA 정의
- 고유치해석 정의

STEP 3

하중조합 및 변수 정의

- 기준 별 자동 하중조합
- 조합 탄성 지진력
- 교각 거동 정의

STEP 4



받침/지지길이 평가 정의

- 받침부 그룹 정의
- 받침 배치 정의
- 받침 지지길이 정의

STEP 5

평가 보고서 출력

- 일식 Excel 보고서
- 교각 평가
- 받침부 평가

내진성능평가 옵션(Seismic Perform.)

CVL

- 실무 관점의 내진성능평가 개선 진행

Seismic Perform. Evaluation 개선 내용

- 교량 접속부 및 확폭 구간 받침 배치 개선
- 전단방향의 양방향 받침 검토

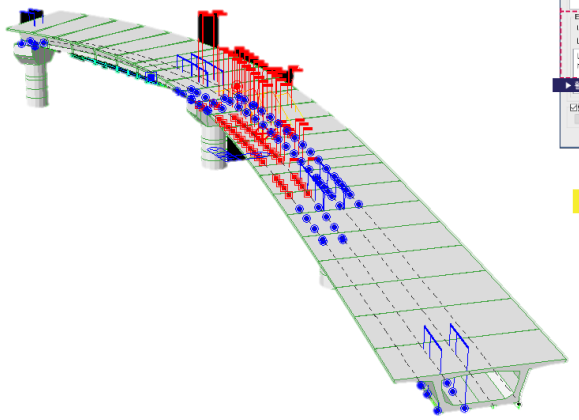
Seismic Perform. Evaluation 출시

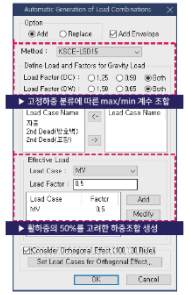
- 교각/받침/지지길이 평가
- KISTEC 2019 개정내용

KISTEC 2023 개정내용 반영

KISTEC 연계

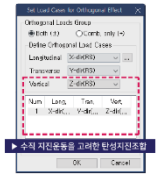
합동 교육 실시

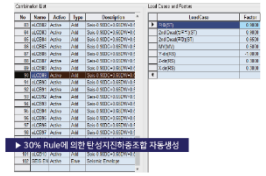




'교량내진설계기준' 에서 제시한 방법에 따라 교량의 지진해석방법 반영

- **한계상태설계법(LSD)**에서 제시된 방법을 기본으로 적용
- 최신설계기준에는 **활하중을 고려한 지진하중조합**으로 제시되어 내진성능평가에서도 필수





벽식교각의 **강축 전단강도 계산 방법 변경**

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

▶ KISTEC 2015 벽식교각 전단강도

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

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

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

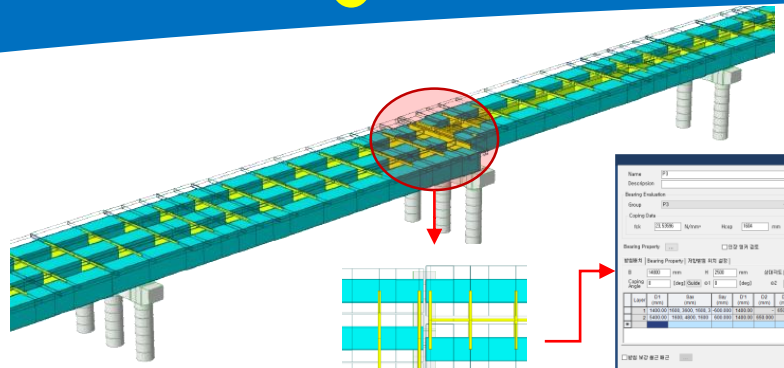
▶ KISTEC 2019 벽식교각 전단강도

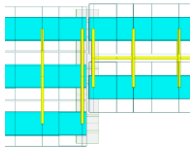
전단 보강 철근이 없는 경우

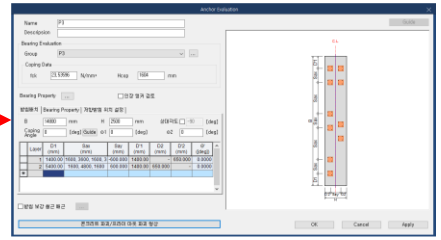
$$V_n = \left[0.85\,\phi_c k(\rho_{alt} f_{ck})^{1/3} + 0.15 f_n\right] b\,d \geq (0.85\,\phi_c f_{ctk} + 0.15 f_n)\, b\,d$$

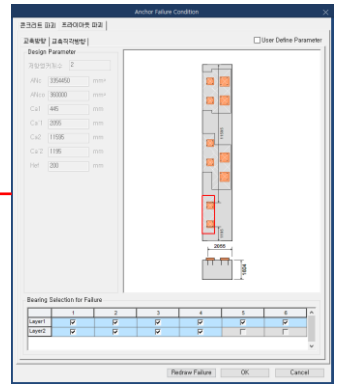
전단 보강 철근이 있는 경우

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





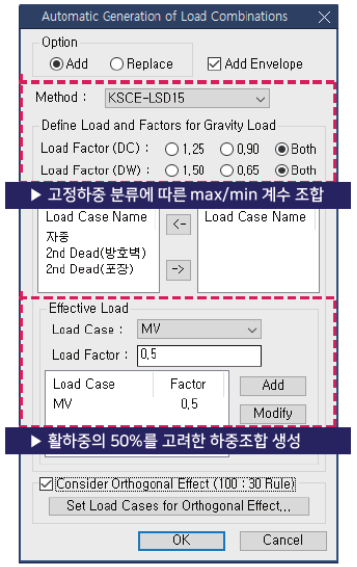




주요 개정내용 1

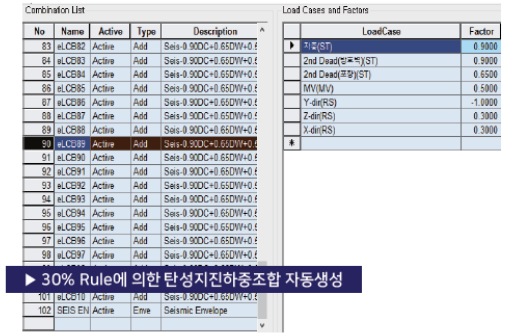
CVL

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



'교량내진설계기준' 에서 제시한 방법에 따라 교량의 지진해석방법 반영

- **한계상태설계법(LSD)**에서 제시된 방법을 기본으로 적용
- 최신설계기준에는 **활하중을 고려한 지진하중조합**으로 제시되어 내진성능평가에서도 필수



벽식교각의 **강축 전단강도 계산 방법 변경**

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

▶ KISTEC 2015 벽식교각 전단강도

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

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

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

▶ KISTEC 2019 벽식교각 전단강도

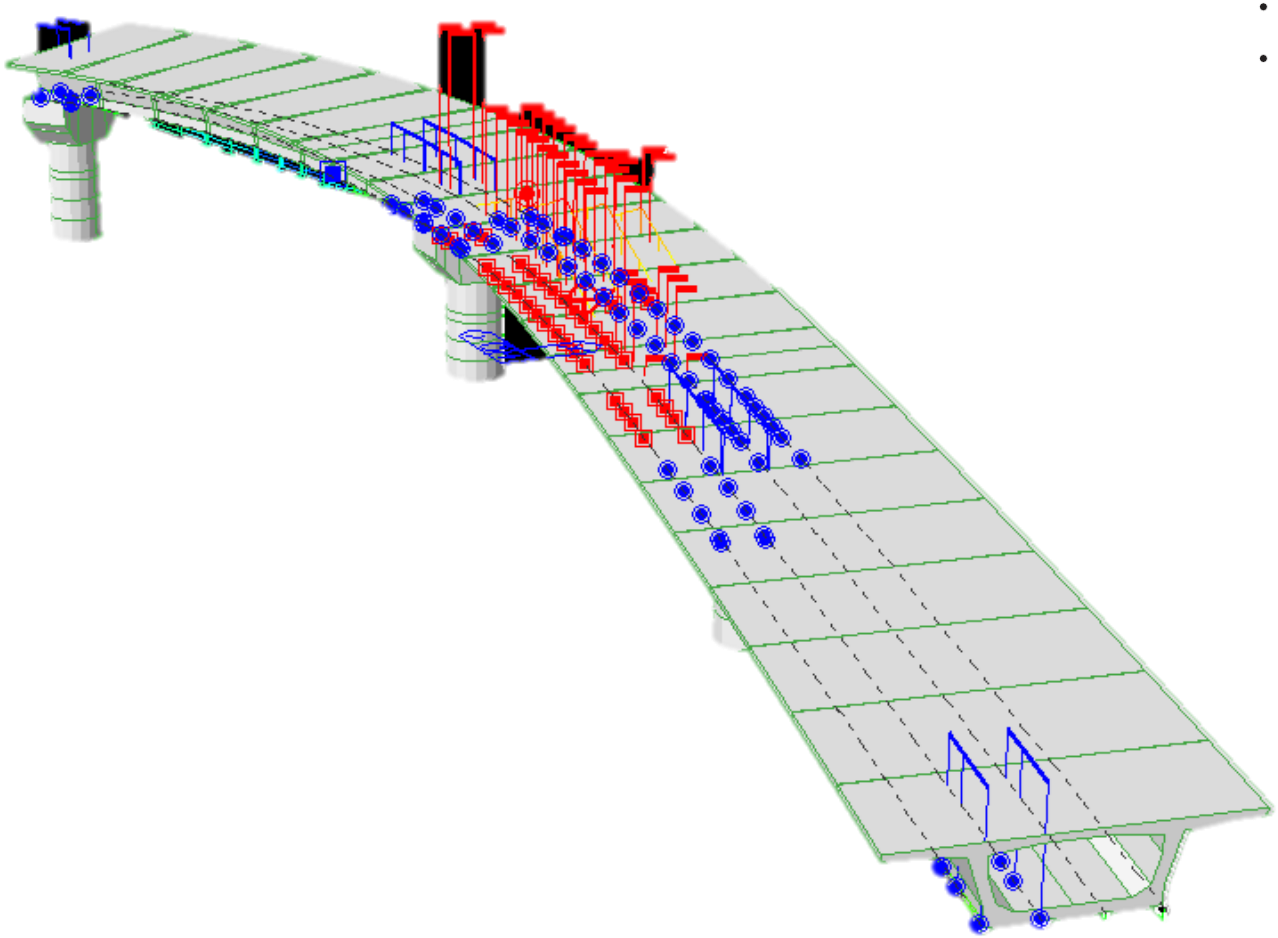
전단 보강 철근이 없는 경우

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

전단 보강 철근이 있는 경우

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

주요 개정내용 2



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

- 내진설계 시 **수직운동의 영향을 고려**한 경우 추가 검토
- 교량 받침의 부반력이 발생될 것으로 예상되는 경우 추가 검토

6) 인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴

가) 인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도

① 교축방향

▶ 인장에 저항하는 받침의 앵커 중심으로부터 연단거리

- c_{a1} = 750.000 mm (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{a1}' = 0.000 mm
- c_{a2} = 605.000 mm (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{a2}' = 605.000 mm

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

$s_1 < 2\times1.5h_{ef}$ 이고 $s_2 < 2\times1.5h_{ef}$ 이므로

$$A_{Nc} = [\min\{c_{a2}, 1.5h_{ef}\} + (n^L-1)\cdot s_1 + \min\{c_{a2}', 1.5h_{ef}\}] \times [\min\{c_{a1}, 1.5h_{ef}\} + (n^T-1)\cdot s_2 + \min\{c_{a1}', 1.5h_{ef}\}]$$

$$= 1350000.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 = 9 \times (845.000)^2 = 6426225.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{Nc} < n\cdot A_{Nco} = 2 \times 6426225.000 = 12852450.000 \text{ mm}^2$$

$$n = 2 \text{ EA}$$

$$\therefore A_{Nc} = 1350000.000 \text{ mm}^2$$

▶ 인장을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도 V_{cbg}

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{nco}} \times \varphi_{ec,N} \times N_b$$

$$= \frac{1350000.000}{6426225.000} \times 0.700 \times 601.802 = 88.497 \text{ kN}$$

$$\psi_{ec,N} = 0.7 + 0.3\frac{c_{a,min}}{1.5h_{ef}} = 0.7 + 0.3\frac{0.000}{1267.500} = 0.700 \quad (c_{a,min} < 1.5h_{ef})$$

N_b = 601.802 kN (전단을 받는 앵커의 프라이아웃 참고)

② 교축직각방향

▶ 인장에 저항하는 받침의 앵커 중심으로부터 연단거리

- c_{a1} = 605.000 mm (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{a1}' = 605.000 mm
- c_{a2} = 750.000 mm (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{a2}' = 0.000 mm

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

$s_1 < 2\times1.5h_{ef}$ 이고 $s_2 < 2\times1.5h_{ef}$ 이므로

$$A_{Nc} = [\min\{c_{a2}, 1.5h_{ef}\} + (n^T-1)\cdot s_2 + \min\{c_{a2}', 1.5h_{ef}\}] \times [\min\{c_{a1}, 1.5h_{ef}\} + (n^L-1)\cdot s_1 + \min\{c_{a1}', 1.5h_{ef}\}]$$

$$= 907500.000 \text{ mm}^2$$

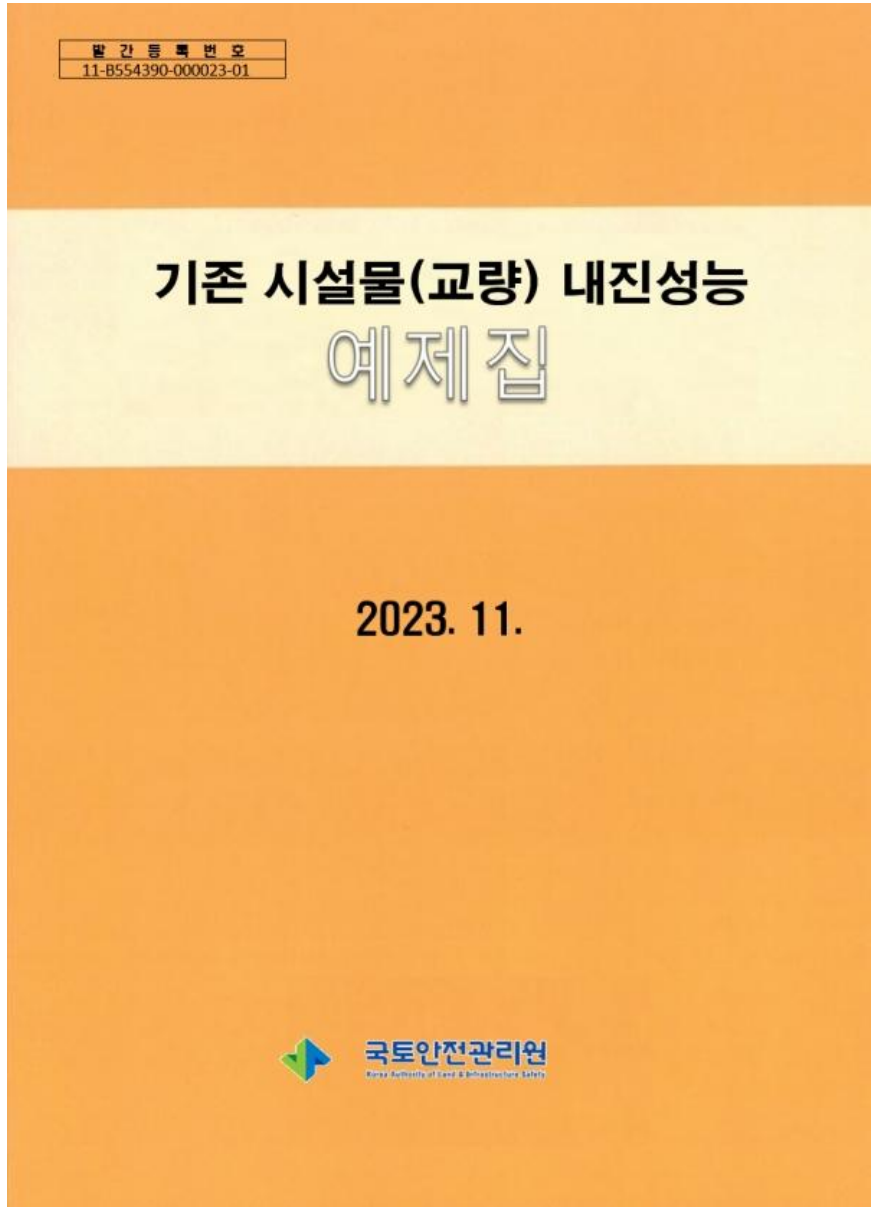
$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 = 9 \times (845.000)^2 = 6426225.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{Nc} < n\cdot A_{Nco} = 2 \times 6426225.000 = 12852450.000 \text{ mm}^2$$

$$n = 2 \text{ EA}$$

$$\therefore A_{Nc} = 907500.000 \text{ mm}^2$$

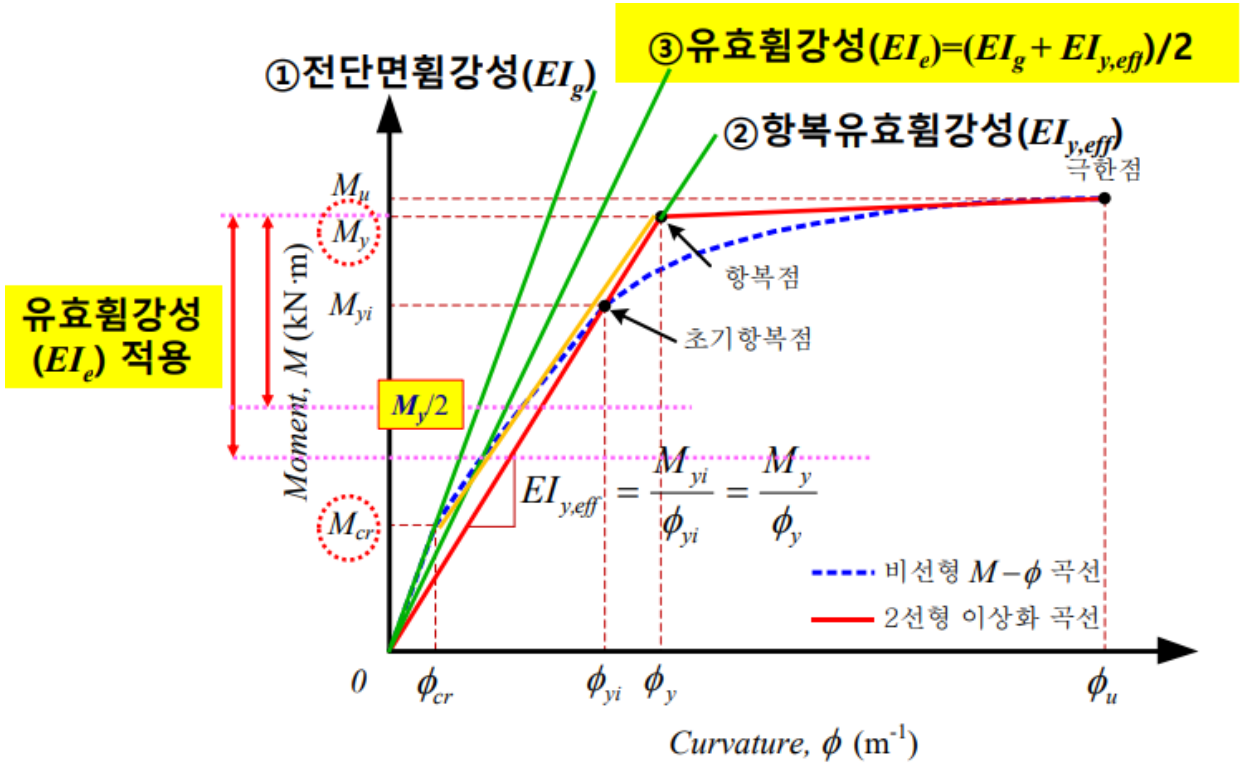
주요 개정내용 3



주요 개정 내용

- 무근 콘크리트 교각 평가 추가
- 교각 휨강성 Update Process
- 앵커의 보유성능
- 콘크리트 브레이크 아웃
- 콘크리트 프라이아웃

- 교각 휨강성 업데이트



Step 1 : M-C Curve를 통해 항복강성(E $I_{y,eff}$)를 산정

↓

Step 2 : 항복강성 (E $I_{y,eff}$)을 적용하여 지진해석 수행

↓

Step 3 : 탄성조합 휨모멘트가 속하는 범위에 따라 업데이트 강성 적용

① $[M_E]_{COMB} \geq M_y$	: E I = E $I_{y,eff}$
② $M_y / 2 \leq [M_E]_{COMB} < M_y$	: E I = E I_e = 1/2(E Ig + E $I_{y,eff}$)
③ $[M_E]_{COMB} < M_y / 2$	: E I = E Ig

↓

Step 4 : ②, ③의 경우 업데이트된 휨강성을 적용하여 지진해석 재수행

- 교각 휨강성 업데이트 Process

Step 1 : M-C Curve를 통해 항복강성($E\ I_{y,eff}$)를 산정

Step 2 : 항복강성 ($E\ I_{y,eff}$)을 적용하여 지진해석 수행

Step 3 : 탄성조합 휨모멘트가 속하는 범위에 따라 업데이트 강성 적용

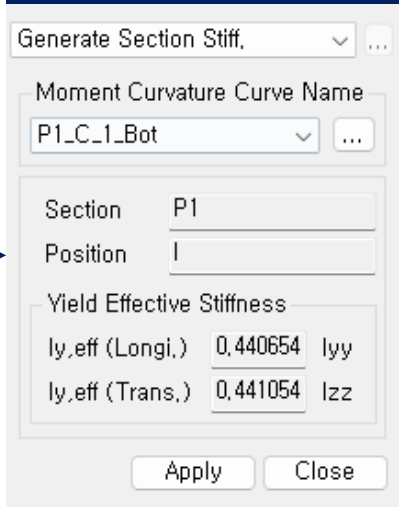
① $[M_E]_{COMB} \geq M_y$: $E\ I = E\ I_{y,eff}$

② $M_y / 2 \leq [M_E]_{COMB} < M_y$: $E\ I = E\ I_e = 1/2(E\ I_g + E\ I_{y,eff})$

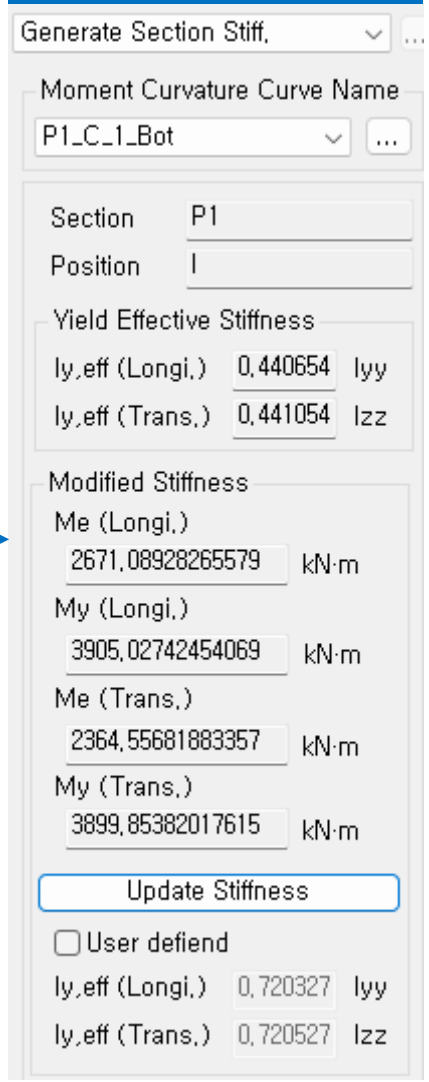
③ $[M_E]_{COMB} < M_y / 2$: $E\ I = E\ I_g$

Step 4 : ②, ③의 경우 업데이트된 휨강성을 적용하여 지진해석 재수행 후 평가 보고서 출력

Yield Eff. Stiffness

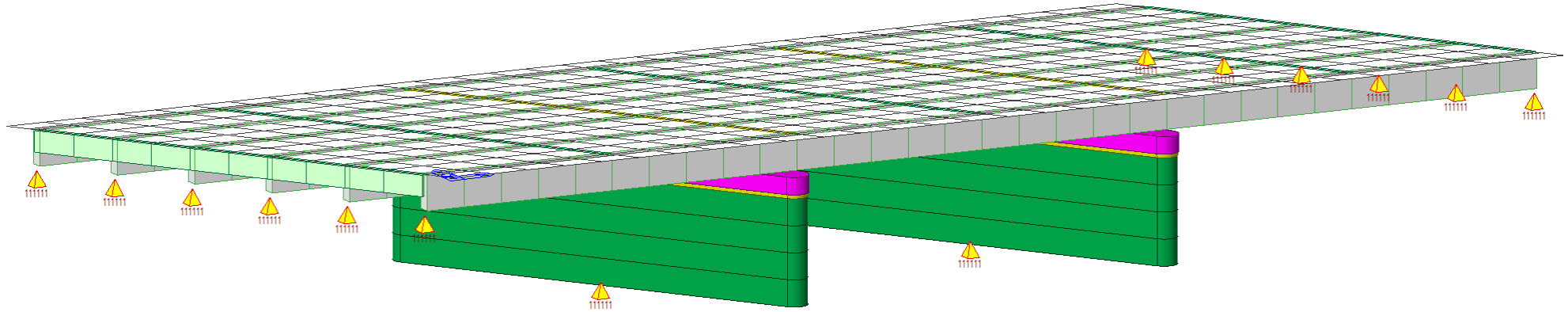


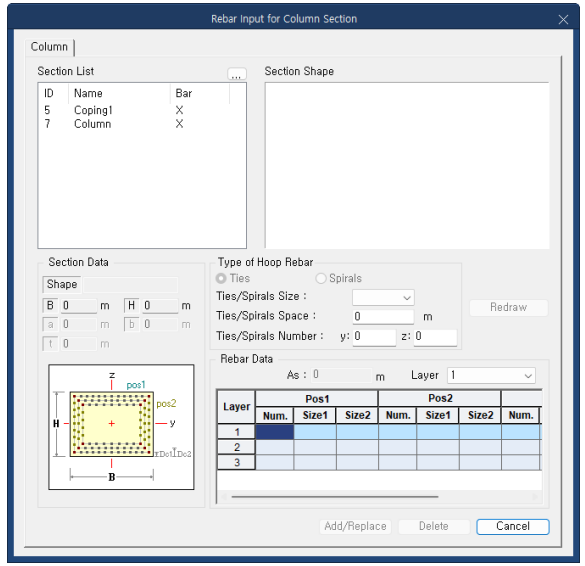
Update Stiffness



• 무근 콘크리트 교각 평가

▪ Rebar Input Data for Column : 철근을 배치하지 않을 경우 무근 콘크리트 교각으로 인식하여 설계 진행





무근 콘크리트 교각 평가 프로세스(KDS 14 20 64 무근 콘크리트 설계기준)

① 휨성능

- 인장이 지배적일 경우 : $M_n = 0.42\sqrt{f_{ck}}\,S_m$
- 압축이 지배적일 경우 : $M_n = 0.85\sqrt{f_{ck}}\,S_m$

② 휨모멘트와 축력을 동시에 고려

- 압축면 : $P_u / P_n + M_D / M_n \le 1$
- 인장면 : $M_D / S_m - P_u / A_g \le 0.42\sqrt{f_{ck}}$

③ 전단성능 : $V_n = 0.11\sqrt{f_{ck}}\,bh$

① 휨성능

- 인장이 지배적일 경우 : $M_n = 0.42\sqrt{f_{ck}}\,S_m$
- 압축이 지배적일 경우 : $M_n = 0.85\sqrt{f_{ck}}\,S_m$

② 휨모멘트와 축력을 동시에 고려

- 압축면 : $P_u / P_n + M_D / M_n \le 1$
- 인장면 : $M_D / S_m - P_u / A_g \le 0.42\sqrt{f_{ck}}$

③ 전단성능 : $V_n = 0.11\sqrt{f_{ck}}\,bh$

6.1 교각의 휨성능

1) 교축방향

$M_n^L = 0.42\sqrt{f_{ck}}S_m = 0.42 \times (21.000)^{0.5} \times 2743174770.425$

$= 5279.739$ kN·m

$f_{ck} = 21.000$ MPa

$S_m = 2743174770.425$ mm³

$F_{P,C,F}^L = \dfrac{M_n^L}{M_D^L} = \dfrac{5279.739}{2108.614} = 2.504$

2) 교축직각방향

$M_n^T = 0.42\sqrt{f_{ck}}S_m = 0.42 \times (21.000)^{0.5} \times 45670044375.810$

$= 87900.303$ kN·m

$f_{ck} = 21.000$ MPa

$S_m = 45670044375.810$ mm³

$F_{P,C,F}^T = \dfrac{M_n^T}{M_D^T} = \dfrac{87900.303}{7021.398} = 12.519$

6.2 교각의 축-휨성능

1) 교축방향

$F_{P,C,C}^L = \dfrac{1.000}{P_u^L/P_n^L + M_D^L/M_n^L} = \dfrac{1.000}{0.400} = 2.500$

$\dfrac{P_u^L}{P_n^L} = \dfrac{230.836}{349763.361} = 0.001$

$\dfrac{M_D^L}{M_n^L} = \dfrac{2108.614}{5279.739} = 0.399$

2) 교축직각방향

$F_{P,C,C}^T = \dfrac{1.000}{P_u^T/P_n^T + M_D^T/M_n^T} = \dfrac{1.000}{0.081} = 12.416$

$\dfrac{P_u^T}{P_n^T} = \dfrac{230.836}{349763.361} = 0.001$

$\dfrac{M_D^T}{M_n^T} = \dfrac{7021.398}{87900.303} = 0.080$

6.3 교각의 전단성능

1) 교축방향

$V_n^L = 0.11\sqrt{f_{ck}}A_g = 0.11 \times (21.000)^{0.5} \times 16655398.163$

$= 8395.709$ kN

$f_{ck} = 21.000$ MPa

$A_g = 16655398.163$ mm²

$F_{P,C,V}^L = \dfrac{V_n^L}{V_D^L} = \dfrac{8395.709}{538.493} = 15.591$

2) 교축직각방향

$V_n^T = 0.11\sqrt{f_{ck}}A_g = 0.11 \times (21.000)^{0.5} \times 16655398.163$

$= 8395.709$ kN

$f_{ck} = 21.000$ MPa

$A_g = 16655398.163$ mm²

$F_{P,C,V}^T = \dfrac{V_n^T}{V_D^T} = \dfrac{8395.709}{1197.227} = 7.013$

6.4 교각의 내진성능평가

1) 교축방향

가) 보유성능 $F_{P,C}$

$F_{P,C}^L = \min[F_{P,C,F}^L, F_{P,C,C}^L, F_{P,C,V}^L]$

$= \min[2.504, 2.500, 15.591]$

$= 2.500$

나) 소요성능 $F_{P,D}$

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

다) 교축방향 평가결과

$\dfrac{F_{P,C}^L}{F_{P,D}^L} = \dfrac{2.50}{1.00} = 2.50 \ge 1 \therefore$ O.K

2) 교축직각

가) 보유성능 $F_{P,C}$

$F_{P,C}^T = \min[F_{P,C,F}^T, F_{P,C,C}^T, F_{P,C,V}^T]$

$= \min[12.519, 12.416, 7.013]$

$= 7.013$

나) 소요성능 $F_{P,D}$

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

다) 교축방향 평가결과

$\dfrac{F_{P,C}^T}{F_{P,D}^T} = \dfrac{7.01}{1.00} = 7.01 \ge 1 \therefore$ O.K

3) 최종평가결과

가) 교축방향

구분	파괴모드	보유성능	소요성능	보유/소요성능	평가결과
교축방향	무근콘크리트	2.500	1.000	2.50	O.K

나) 교축직각방향

구분	파괴모드	보유성능	소요성능	보유/소요성능	평가결과
교축직각방향	무근콘크리트	7.013	1.000	7.01	O.K

- 앵커 보유성능 : 앵커 강재 보유성능에 대해서 앵커강재의 전단강도와 마찰력 중 큰 값으로 설계

A. 다경간교_비지진격리교량

[7-2] 교량받침

[7-2-1] 받침본체

✓ 보유성능 : (지진방향에 따라 저항하는 개수) X (1기당 횡방향 저항용량)

✓ 소요성능 : Min[교각의 조합탄성지진력(상부 전단력), 교각의 휨대응강도]

[7-2-2] 앵커강재

✓ 보유성능 : $V_{anc,c} = \max[V_{sa}, (\mu_D D)]$

여기서,

V_{sa} : 앵커강재의 전단강도

μ_D : 받침 하부판과 무수축 모르타르 사이의 마찰계수(=0.45)

D : 고정하중에 의하여 받침에 작용하는 압축력

정밀지진해석을 하지 않은 경우,

고정하중에 연직지진하중 효과(=0.12D)를 뺀 0.88D를 적용

- 선설치 헤드스터드

$$V_{sa} = n_A \cdot A_{se,V} \cdot f_{uta}$$

- 선설치 헤드볼트와 갈고리볼트

$$V_{sa} = n_A \cdot 0.6\, A_{se,V} \cdot f_{uta}$$

7.2 앵커부 평가 검토

1) 받침제원

[1] 6Anchor_P1

2 페이지

B	600.000	(mm)	d_s	-	(mm)	n^L	3.000	EA
C	350.000	(mm)	s_1	200.000	(mm)	n^T	2.000	EA
d_a	22.000	(mm)	s_2	150.000	(mm)	n_A	6.000	EA

앵커 타입 : 선설치 - 헤드스터드 앵커

f_{ck}	27.000	(Mpa)	A_{se}	380.133	(mm^2)
f_{ya}	300.000	(Mpa)	h_{ef}	200.000	(mm)
f_{uta}	410.000	(Mpa)	h_{cop}	1200.000	(mm)

단, $f_{uta} \le \min(1.9f_{ya}, 860MPa]$ = 570.000 MPa

2) 전단을 받는 앵커의 강재파괴

가) 보유성능 $V_{anc,c}$: 강재강도

① 교축방향

$V_{sa}^L = \sum(n_A \cdot \alpha \cdot A_{se} \cdot f_{uta})$

= 16 X 6 X 1.0 X 380.133 X 410.000

= 14962.024 kN

$\mu_D D$ = 0.45 X 5891.397 = 2651.129 kN

$V_{anc,c}^L$ = max [V_{sa}^L , $\mu_D D$] = 14962.024 kN

② 교축직각방향

$V_{sa}^T = \sum(n_A \cdot \alpha \cdot A_{se} \cdot f_{uta})$

= 16 X 6 X 1.0 X 380.133 X 410.000

= 14962.024 kN

$\mu_D D$ = 0.45 X 5891.397 = 2651.129 kN

$V_{anc,c}^T$ = max [V_{sa}^T , $\mu_D D$] = 14962.024 kN

- α : 앵커종류가 Headed Stud 인 경우 1.0, 다른 앵커종류면 0.6
- μ_D : 받침 하부판과 무수축 모르타르 사이의 마찰계수(=0.45)
- D : 받침에 작용하는 유효압축력, 고정하중에 의한 수직력의 88%

- 콘크리트 브레이크 아웃 검토 : 최종 강도는 브레이크아웃 강도과 고정하중의 60%를 합산한 값이며 브레이크아웃 강도의 1.6배로 제한함.

A. 다경간교_비지진격리교량

[7-2] 교량받침

[7-2-3] 브레이크아웃

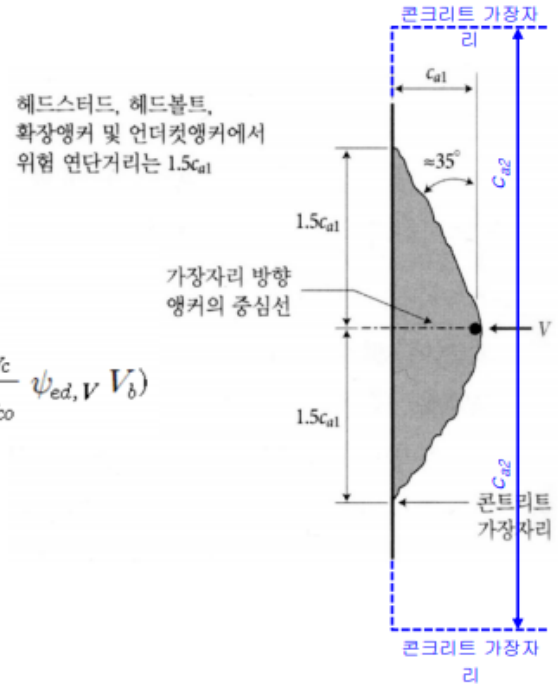
✓ 묻힘콘크리트의 브레이크아웃강도

$$V_{brk,ec} = V_{cbg} + 0.6D \leq 1.6\,V_{cbg}$$

| V_{cbg} : 콘크리트 브레이크아웃강도($V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}}\psi_{ed,V}V_b$)

✓ 앵커철근의 강도; $V_{brk,s} = A_{v,brk} f_y$

✓ 보유성능 : $V_{brk,c} = \max[V_{brk,ec},\ V_{brk,s}]$



3) 전단을 받는 앵커의 브레이크아웃 파괴

가) 보유성능 $V_{brk,c}$: 앵커부의 브레이크아웃강도

$V_{brk,c} = \max[\ V_{brk,ec}\ ,\ V_{brk,s}\ ]$

$V_{brk,ec} = V_{cbg} + 0.6D \leq 1.6\,V_{cbg}$

$V_{brk,s} = A_{e,brk} \times f_{ya}$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 브레이크아웃강도 V_{cbg}

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

$$= \frac{1735781.250}{1487812.500} \times 0.961 \times 1.000 \times 265.085$$

$$= 297.164 \text{ kN}$$

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

$\psi_{c,V}$ = 1.0 (User defined)

$$n_{BC} \times V_b = \Sigma\ [\ \alpha \times (\frac{l_e}{d_a})^{0.2} \times \sqrt{(d_a)} \times \sqrt{(f_{ck})} \times (c_{a1})^{1.5}\ ]$$

$$= 0.6 \times (\frac{176.00}{22.00})^{0.2} \times \sqrt{(22.00)} \times \sqrt{(27.00)} \times (575.00)^{1.5}$$

$$= 305.608 \text{ kN}$$

- α : 앵커종류가 Headed 혹은 Hooked 인 경우 0.7, 다른 앵커종류면 0.6

V_b = 305.608 / 1 = 305.608 kN

$$V_{b,max} = 3.7 \times \sqrt{(f_{ck})} \times (c_{a1})^{1.5}$$

$$= 3.7 \times \sqrt{(27.00)} \times (575.00)^{1.5} = 265.085 \text{ kN}$$

$V_b = \min[\ V_b, V_{b,max}\ ] = \min[\ 305.608\ ,\ 265.085\ ]$

$= 265.085$ kN

▶ 전단력을 받는 앵커의 묻힘콘크리트 브레이크아웃강도 $V_{brk,ec}$

$V_{brk,ec} = \min[\ V_{cbg} + 0.6D_{BC}\ ,\ 1.6V_{cbg}\ ]$

$= \min[\ 518.092\ ,\ 475.463\ ] = 475.463$ kN

$$D_{BC} = D \times \frac{n_{BC}}{n_B} = 5891.397 \times \frac{1}{16} = 368.212 \text{ kN}$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 브레이크아웃 보유성능

$V_{brk,c}^{L} = V_{brk,ec} = 475.463$ kN

- 브레이크아웃강도에 대한 계산 중 기본 콘크리트 파괴강도에 대한 최대값 제한 추가 수식 및 계수 변경

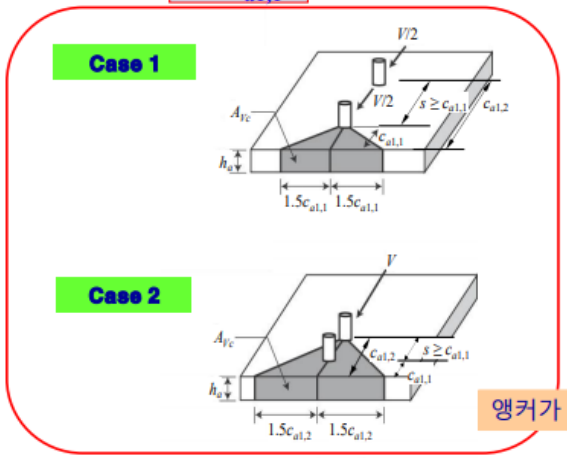
[7-2-3] 브레이크아웃_콘크리트

$$\psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3\frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}}, \quad c_{a2} < 1.5\,c_{a1}$$

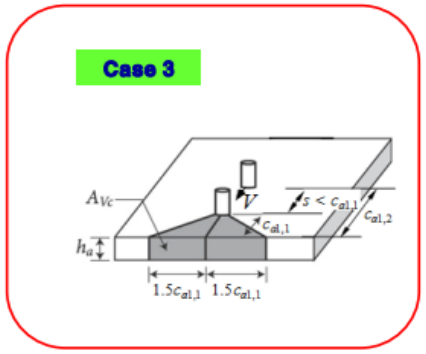
$$V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \cdot \psi_{ed,V} \cdot V_b$$

$$V_b = \left(0.6\left(\frac{l_e}{d_a}\right)^{0.2}\sqrt{d_a}\right)\lambda_a\sqrt{f_{ck}}\,(c_{a1})^{1.5} \le 3.7\,\lambda_a\sqrt{f_{ck}}\,(c_{a1})^{1.5}$$

$s \ge c_{a1,1}$



$s < c_{a1,1}$



앵커가 플레이트에 용접되어 있으면 Case 2를 적용

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 브레이크아웃강도 V_{cbg}

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

$$= \frac{1735781.250}{1487812.500} \times 0.961 \times 1.000 \times 265.085$$

$$= 297.164 \text{ kN}$$

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

$$\psi_{c,V} = 1.0 \quad \text{(User defined)}$$

$$n_{BC} \times V_b = \Sigma\left[\alpha \times \left(\frac{l_e}{d_a}\right)^{0.2} \times \sqrt{d_a} \times \sqrt{f_{ck}} \times (c_{a1})^{1.5}\right]$$

$$= 0.6 \times \left(\frac{176.00}{22.00}\right)^{0.2} \times \sqrt{22.00} \times \sqrt{27.00} \times (575.00)^{1.5}$$

$$= 305.608 \text{ kN}$$

- α : 앵커종류가 Headed 혹은 Hooked 인 경우 0.7, 다른 앵커종류면 0.6

$$V_b = 305.608 / 1 = 305.608 \text{ kN}$$

$$V_{b,max} = 3.7 \times \sqrt{f_{ck}} \times (c_{a1})^{1.5}$$

$$= 3.7 \times \sqrt{27.00} \times (575.00)^{1.5} = 265.085 \text{ kN}$$

$$V_b = \min[V_b, V_{b,max}] = \min[305.608, 265.085]$$

$$= 265.085 \text{ kN}$$

• 프라이아웃파괴 검토여부에 대한 규정 추가

A. 다경간교_비지진격리교량

[7-2] 교량받침

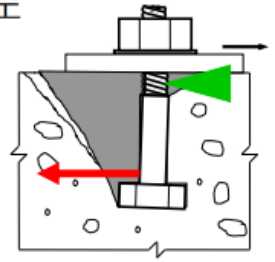
[7-2-4] 프라이아웃

✓ 묻힘콘크리트의 프라이아웃강도

- 받침부 하부판에 압축력이 작용하는 경우 :

→ 프라이아웃 파괴는 발생하지 않는 것으로 간주

- 그 외의 경우 : V_{cpg}



✓ 앵커철근의 강도 : $V_{pry,s} = A_{n,pry} f_y$

✓ 보유성능 : $V_{pry,c}$=max[V_{cpg}, $V_{pry,s}$]

4) 전단을 받는 앵커의 프라이아웃 파괴

가) 보유성능 $V_{pry,c}$: 앵커부의 프라이아웃강도

$V_{pry,c}$ = max [$V_{pry,ec}$, $V_{pry,s}$]

$V_{pry,ec}$ = V_{cpg}

$V_{pry,s}$ = $A_{n,pry}$ × f_y

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 프라이아웃 V_{cpg}

V_{cpg} = k_{cp} × N_{cbg}

= 2.0 × 306.186 = 612.372 kN

k_{cp} = 2.0 (h_{ef} ≥ 65mm)

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

$$= \frac{600000.000}{360000.000} \times 1.000 \times 1.250 \times 146.969$$

= 306.186 kN

$\psi_{ed,N}$ = 1.0 ($c_{a,min}$ ≥ 1.5h_{ef})

$\psi_{c,N}$ = 1.25 (선설치 앵커)

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

$V_{pry,ec}$ = V_{cpg} = 612.372 kN

▶ 앵커에 작용하는 유효수직력 검토

$$D_{BC} = D \times \frac{n_{BC}}{n_B} = 2945.699 \times \frac{1}{16} = 184.106 \text{ kN}$$

D_{BC} = 184.106 kN ≥ $0.25V_{pry,ec}$ = 153.093 kN

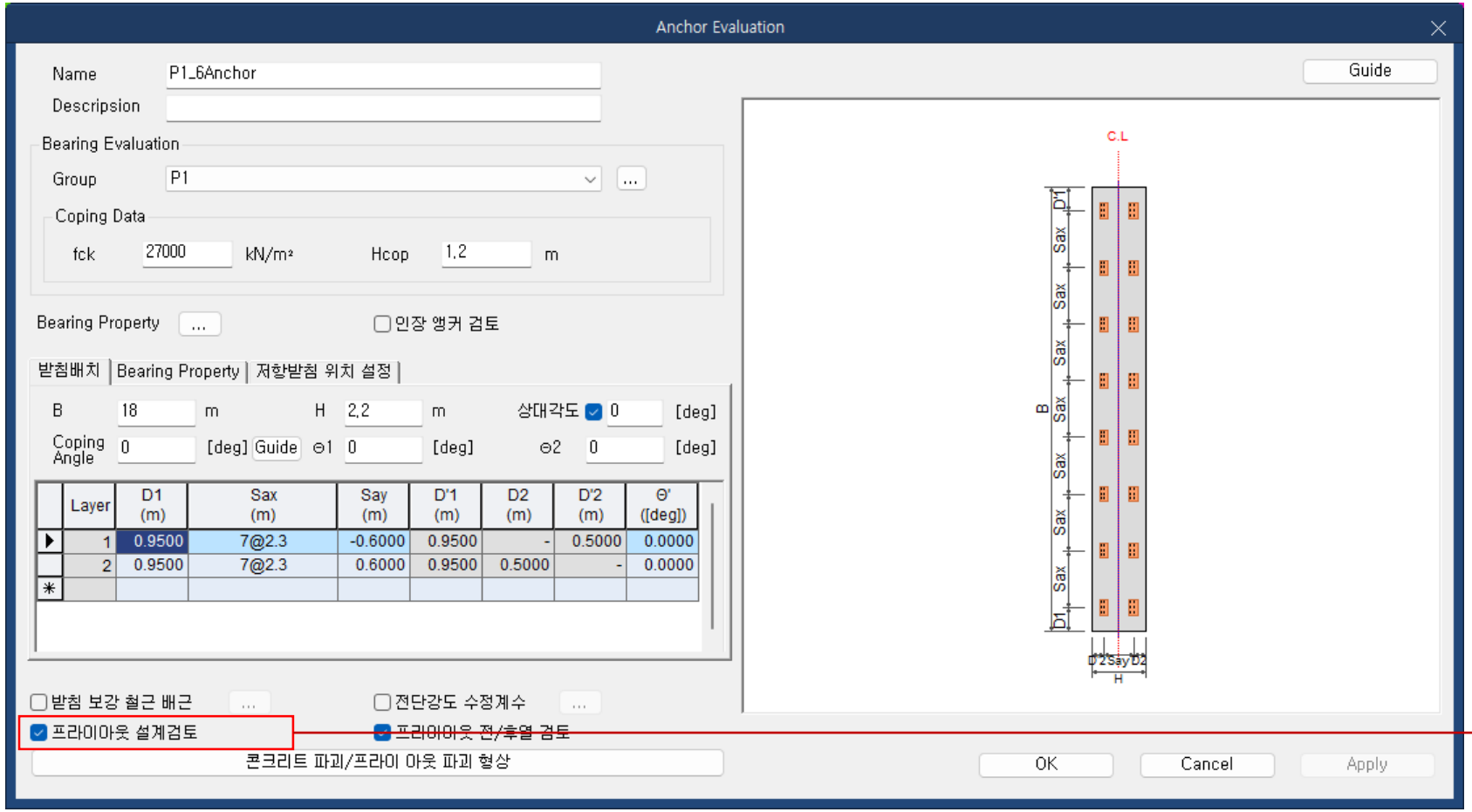
∴ 프라이아웃 파괴 평가불필요

** 앵커에 작용하는 유효수직력이 $V_{pry,ec}$의 25% 이상이므로 프라이아웃 파괴에 대한 평가가 불필요하나, 사용자 옵션에 따라 평가함.*

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 프라이아웃 보유성능

$V_{pry,c}$ = $V_{pry,ec}$ = 612.372 kN

• 프라이아웃 설계 계산서 추가 검토 옵션 추가



▶ 앵커에 작용하는 유효수직력 검토

$D_{BC} = D \times \frac{n_{BC}}{n_B} = 2945.699 \times \frac{1}{16} = 184.106$ kN

$D_{BC} = 184.106$ kN $\geq 0.25V_{pry,ec} = 183.712$ kN

∴ 프라이아웃 파괴 평가불필요

** 앵커에 작용하는 유효수직력이 $V_{pry,ec}$의 25% 이상이므로 프라이아웃 파괴에 대한 평가가 불필요하나, 사용자 옵션에 따라 평가함.*

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 프라이아웃 보유성능

$V_{pry,c}^{T} = V_{pry,ec} = 734.847$ kN

나) 소요성능 $V_{bear,d}$: 방향별 평가지진력

① 교축방향

$V_{bear,d}^{L} = V_{anc,d}^{L} \times \frac{n}{n_B^{L}} = 1658.901 \times \frac{3}{48} = 103.681$ kN

② 교축직각방향

$V_{bear,d}^{T} = V_{anc,d}^{T} \times \frac{n}{n_B^{T}} = 1772.959 \times \frac{2}{32} = 110.810$ kN

다) 콘크리트파괴 성능평가

11 페이지

① 교축방향

$\frac{V_{pry,c}^{L}}{V_{bear,d}^{L}} = \frac{765.47}{103.68} = 7.38 > 1$ ∴ O.K*

② 교축직각방향

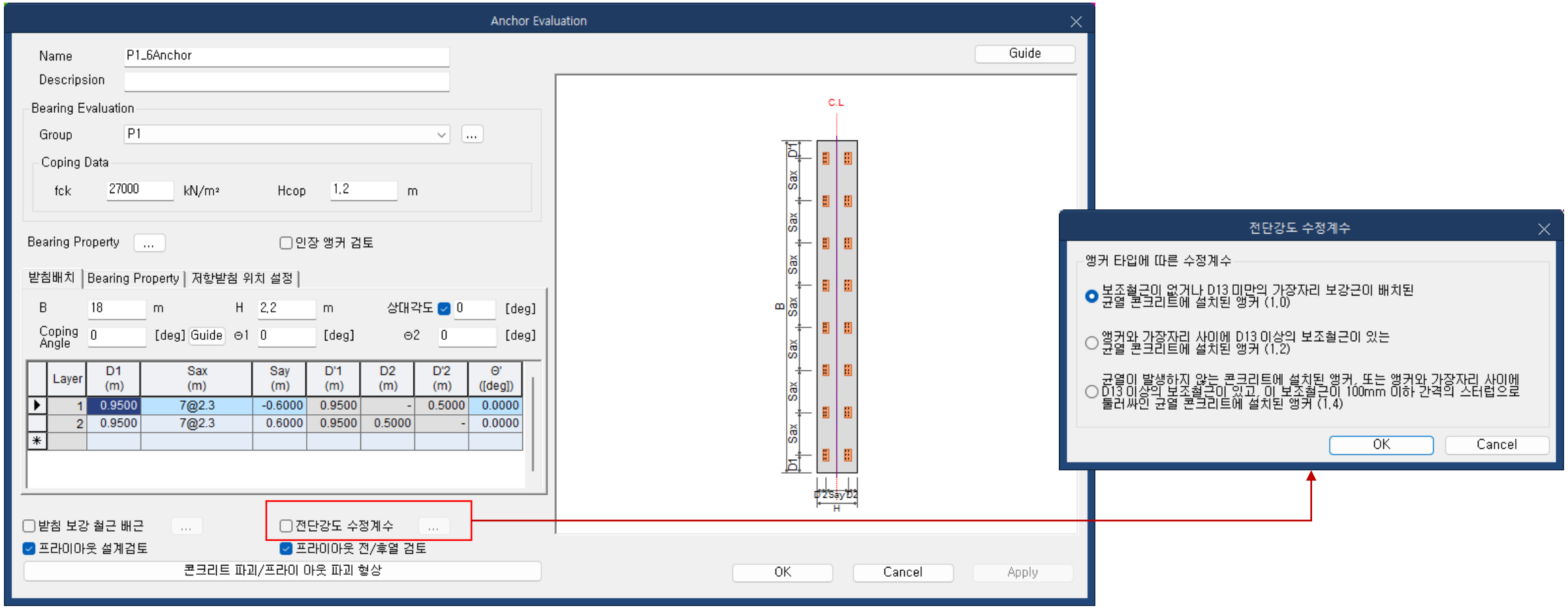
$\frac{V_{pry,c}^{T}}{V_{bear,d}^{T}} = \frac{734.85}{110.81} = 6.63 > 1$ ∴ O.K*

7.3 받침부 평가 요약

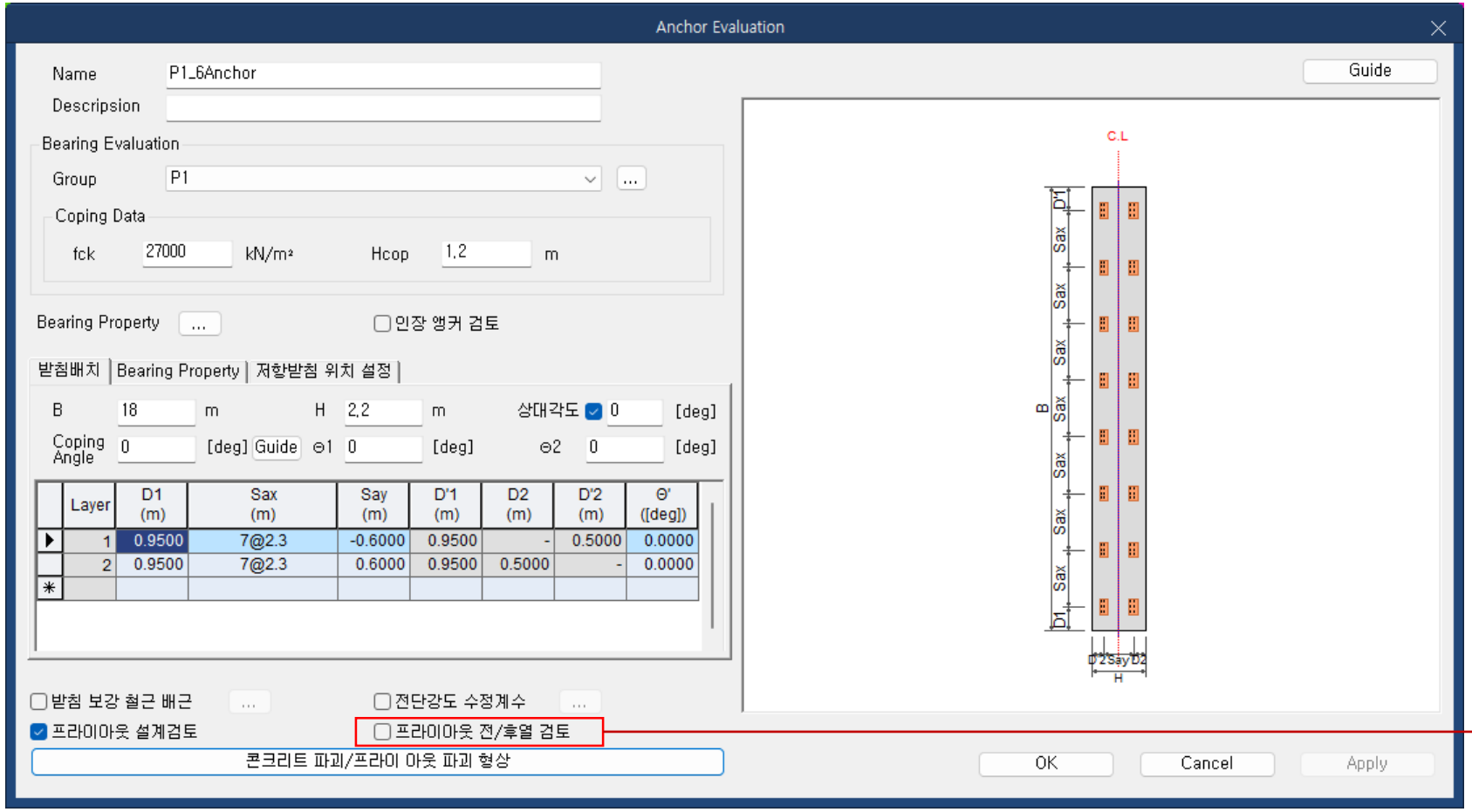
구분		방향	보유성능(kN)	소요성능(kN)	보유/소요성능	평가결과
받침 본체	수평저항력	교축	5600.000	1658.901	3.376	O.K
		교축직각	5600.000	1772.959	3.159	O.K
	전단변위	교축	60.000	50.647	1.185	O.K
		교축직각	60.000	52.093	1.152	O.K
앵커부 (전단)	강재파괴	교축	14962.024	1658.901	9.019	O.K
		교축직각	14962.024	1772.959	8.439	O.K
	콘크리트 브레이크아웃	교축	475.463	103.681	4.586	O.K
		교축직각	514.422	221.620	2.321	O.K
	콘크리트 프라이아웃	교축	765.466	103.681	7.383	O.K*
		교축직각	734.847	110.810	6.632	O.K*

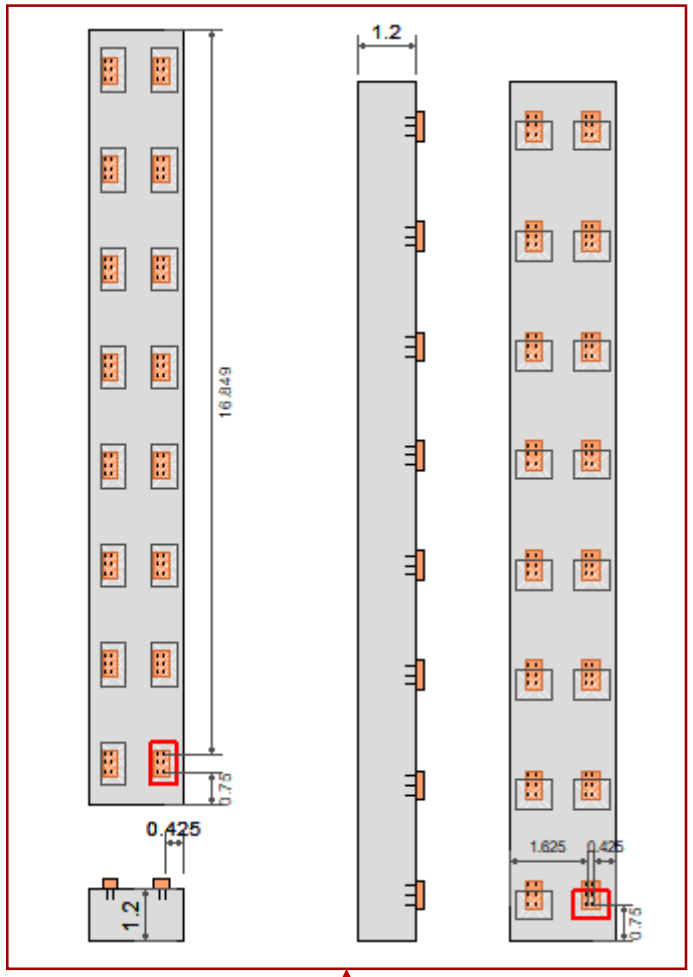
** 앵커보의 콘크리트 프라이아웃 파괴에 대한 평가가 불필요하나, 사용자 옵션에 따라 평가함.*

- 전단강도 수정계수 옵션 추가

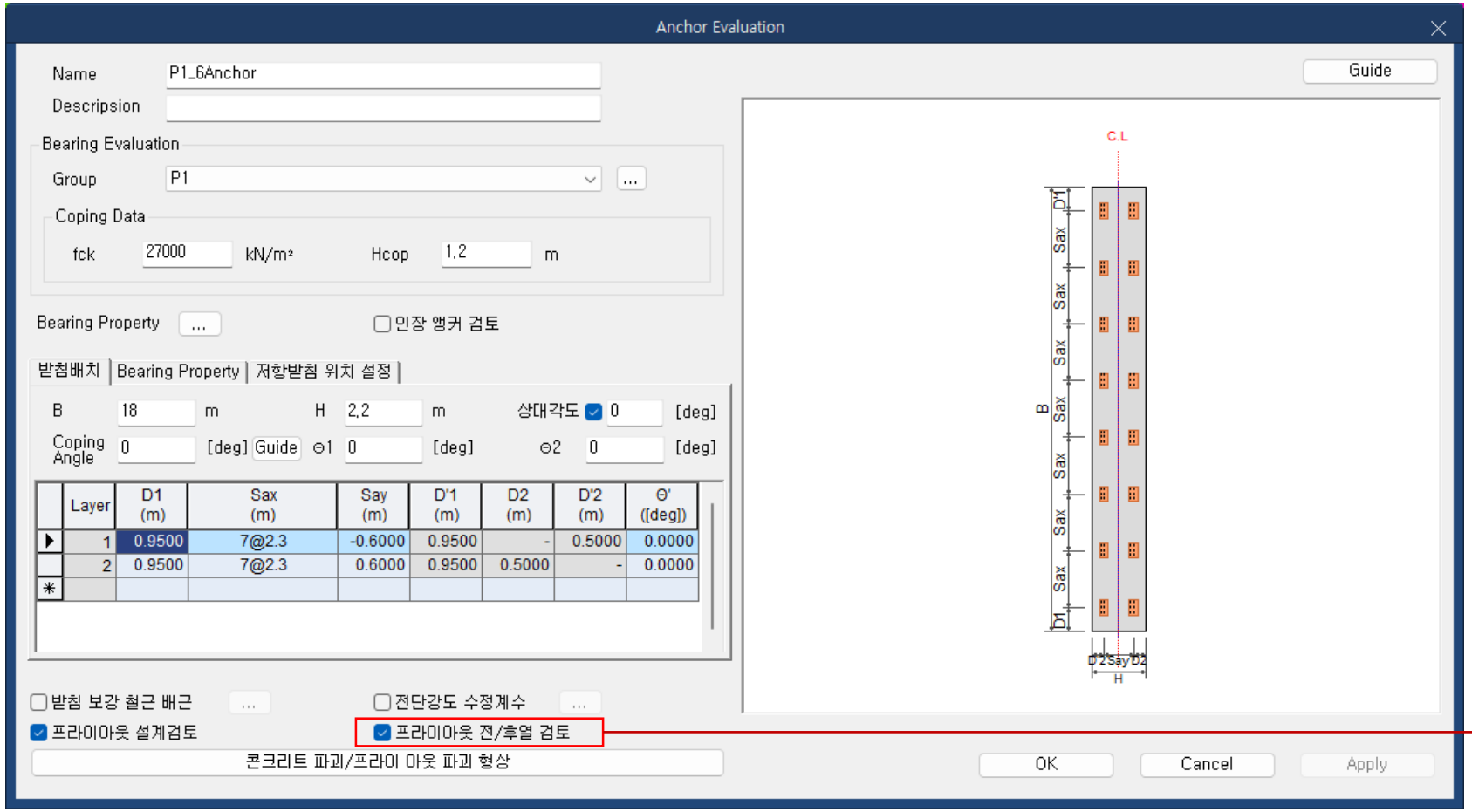


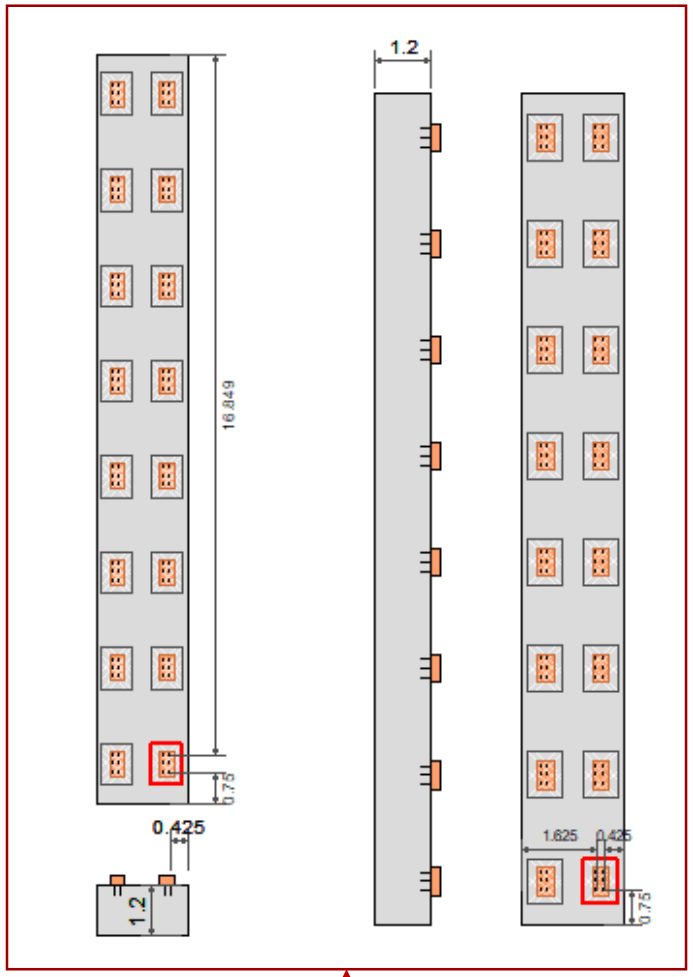
- 프라이아웃 앵커 전열/후열 검토 옵션 추가





- 프라이아웃 앵커 전열/후열 검토 옵션 추가

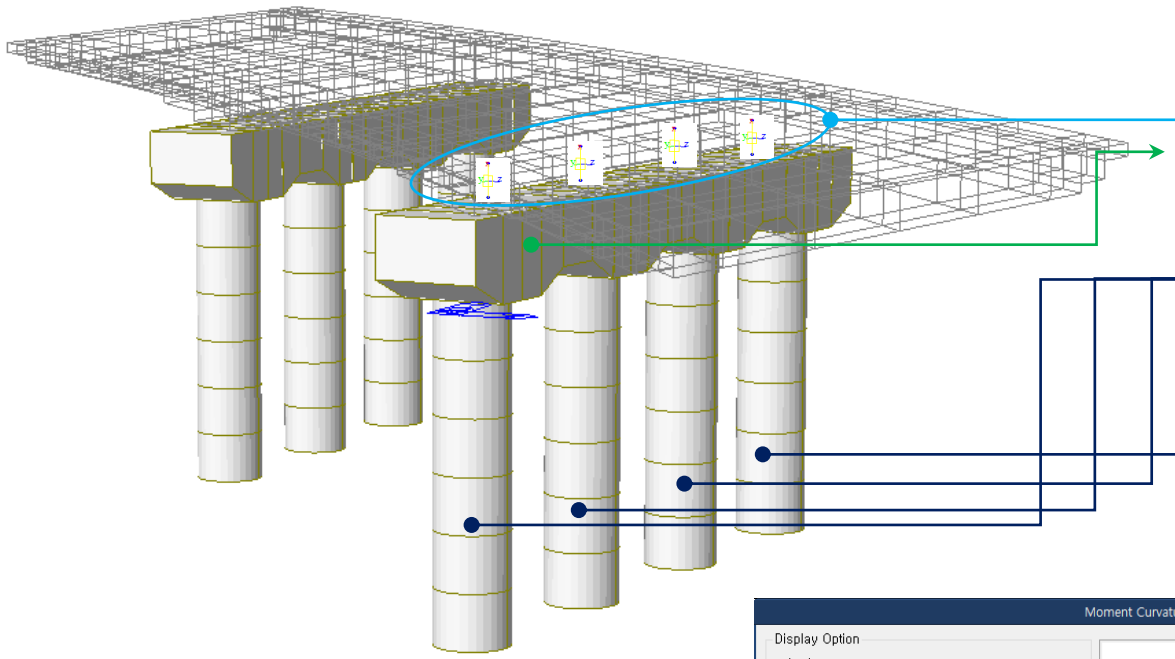




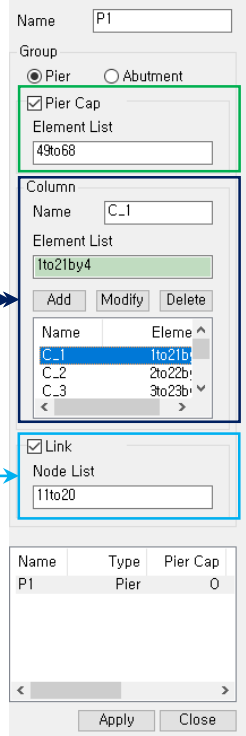
주요 특장점

CVL

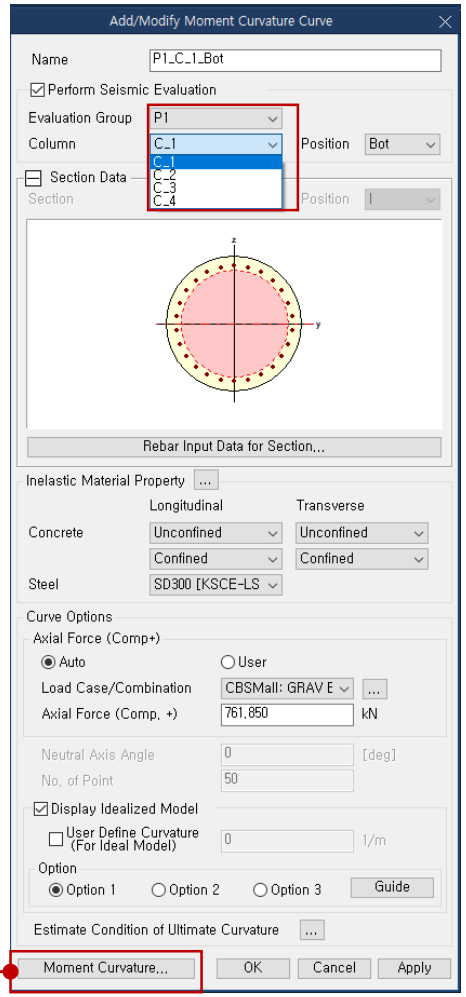
다주식 교각에 대한 교각 평가 프로세스 개선

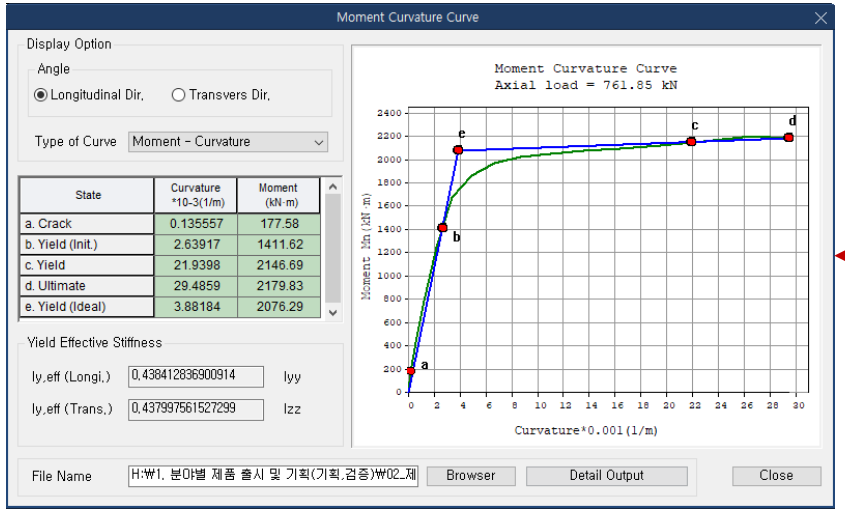


다주식 교각에 대한 Evaluation Group 정의 개선



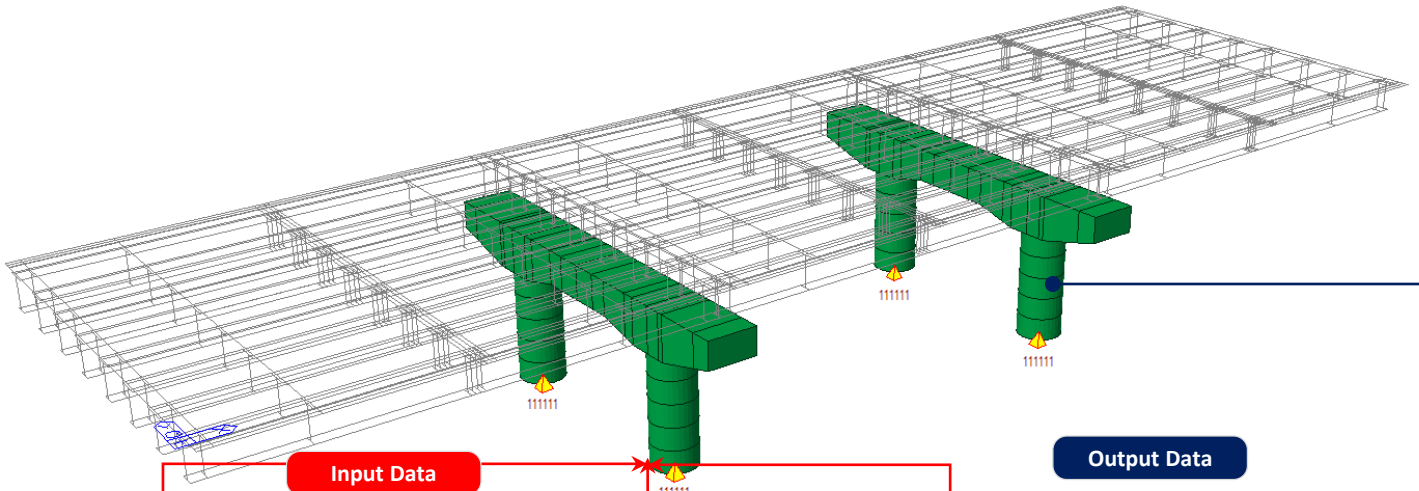
다주식 교각별 M-C Curve 제공





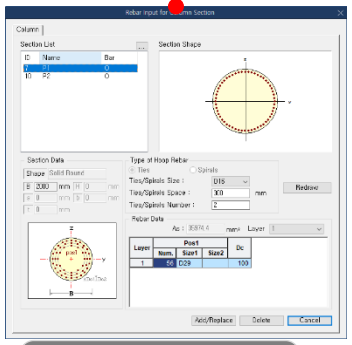
주요 특장점

CVL

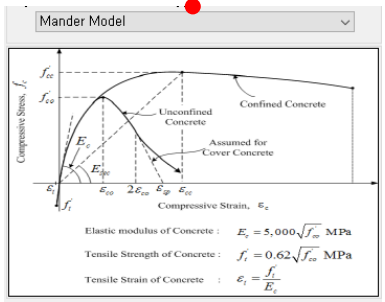


Input Data

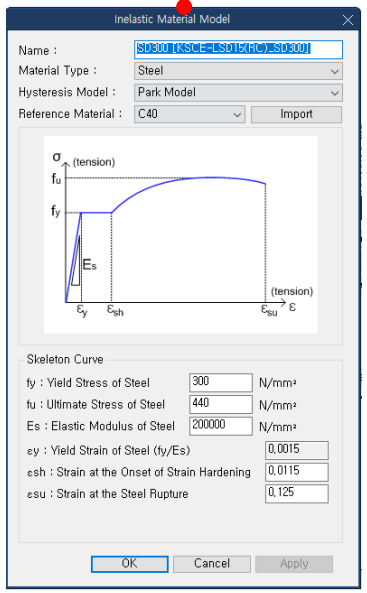
Output Data



기둥 철근 배치

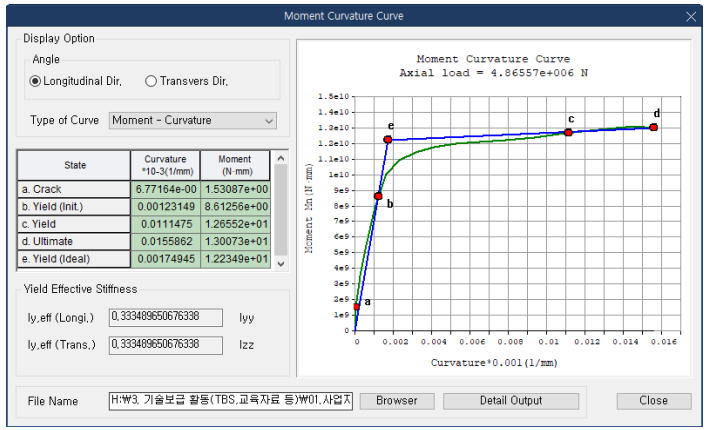


콘크리트 비선형 모델

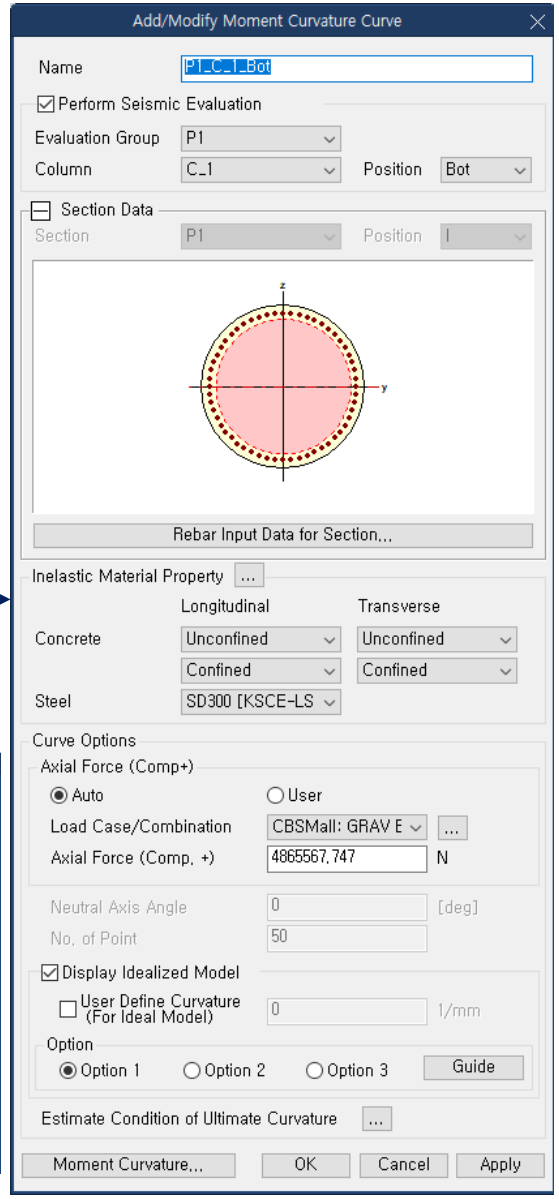


철근 비선형 모델

모멘트 곡률곡선 계산

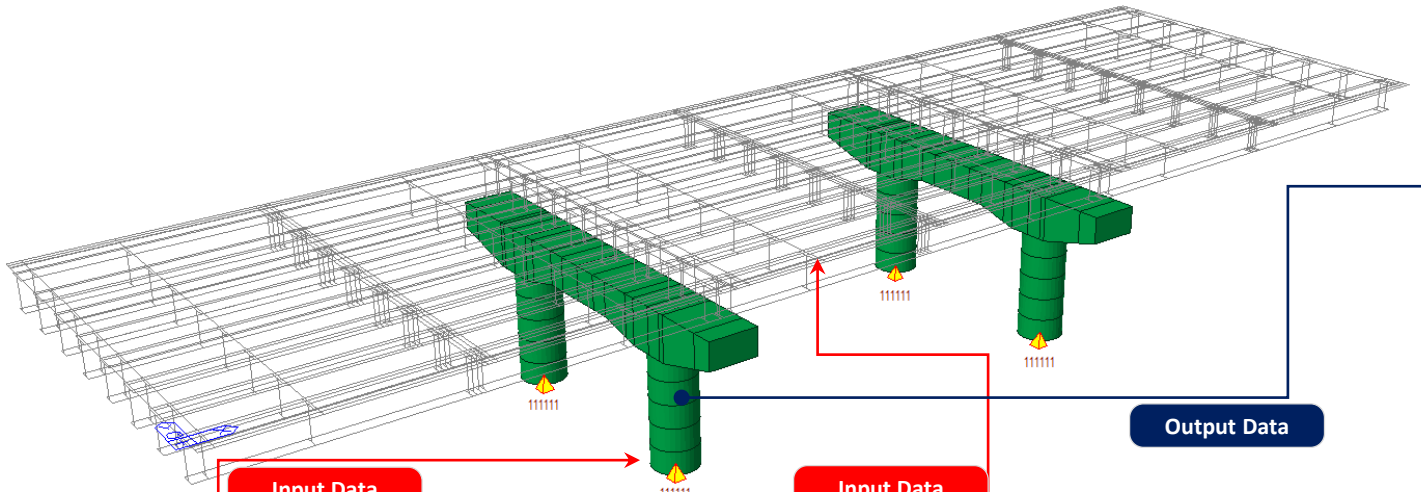


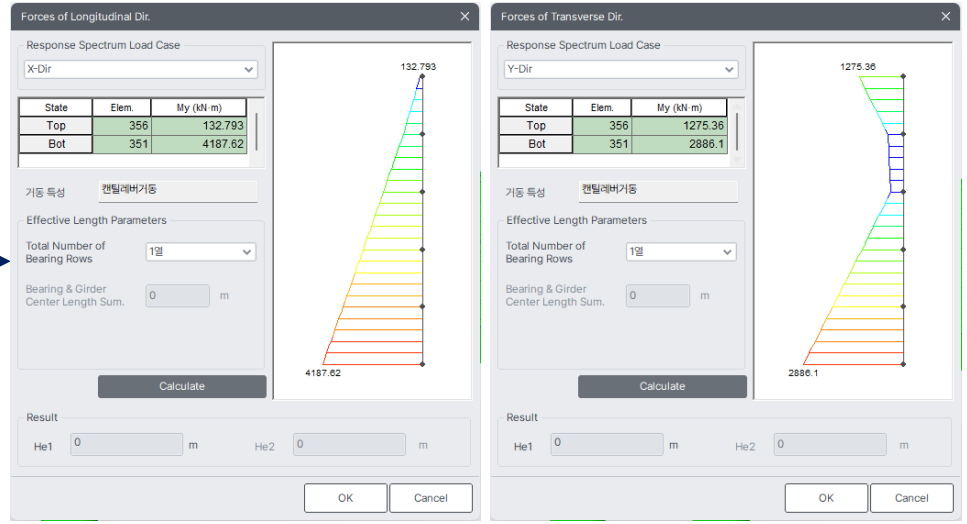
State	Curvature *10-3(1/mm)	Moment (N-mm)
a. Crack	6.77164e-00	1.53087e+00
b. Yield (Init.)	0.00123149	8.61256e+00
c. Yield	0.0111475	1.26552e+01
d. Ultimate	0.0155862	1.30073e+01
e. Yield (Ideal)	0.00174945	1.22349e+01



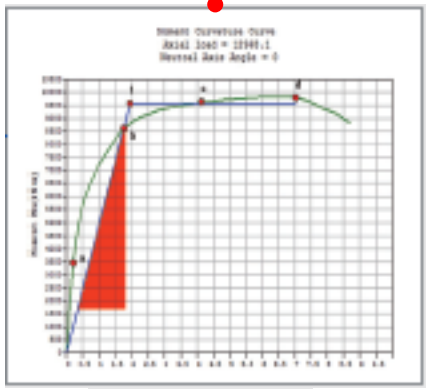
주요 특장점

CVL



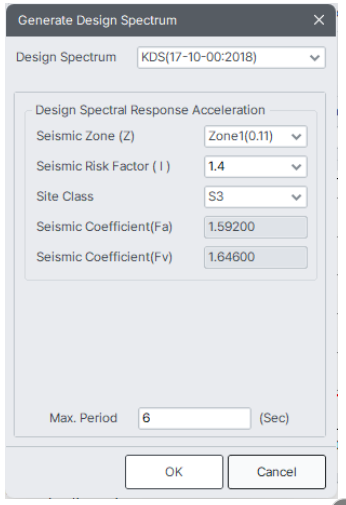


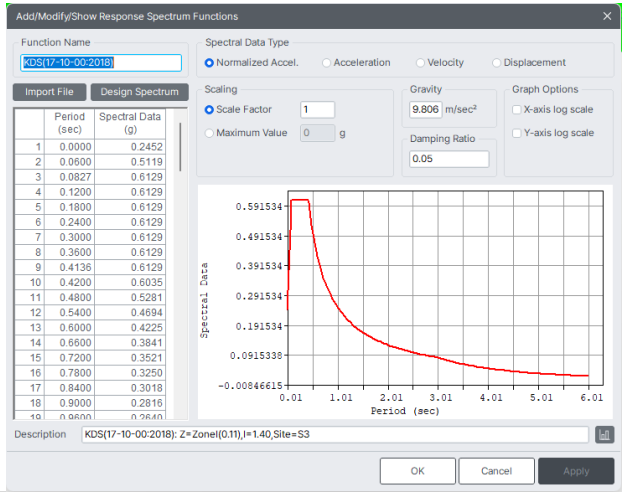
교각의 거동 특성 판단 기능 제공



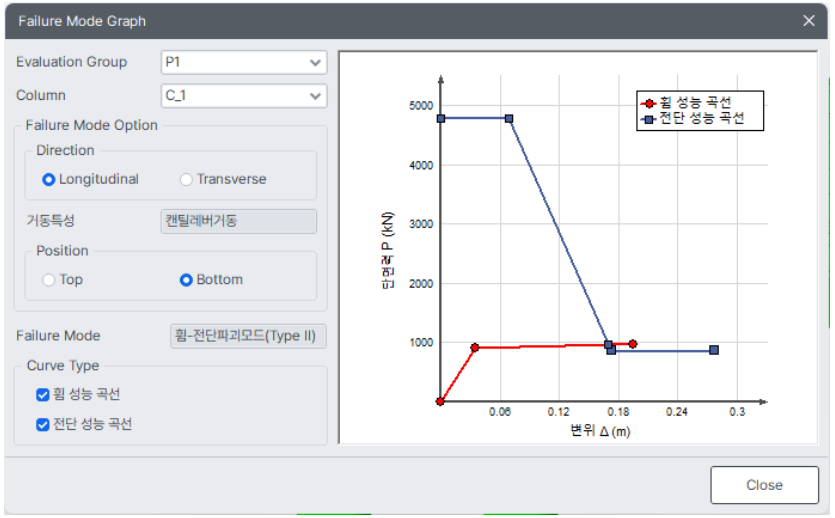
$$EI_{y,eff} = \frac{M_y}{\varphi_y} = \frac{M_{yi}}{\varphi_{yi}}$$

기둥 별 항복유효강성 정의





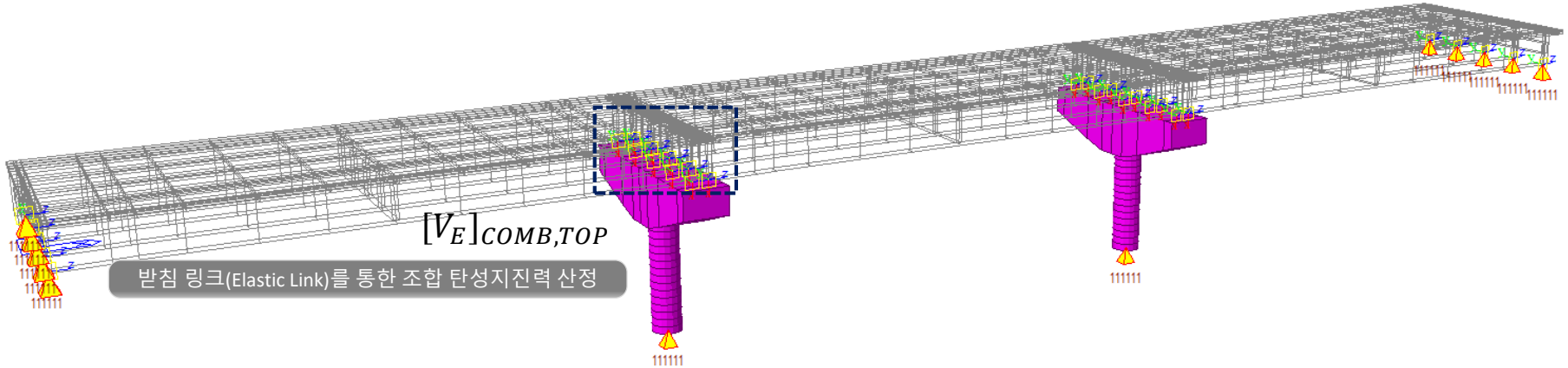
최신 지진스펙트럼 하중 재하



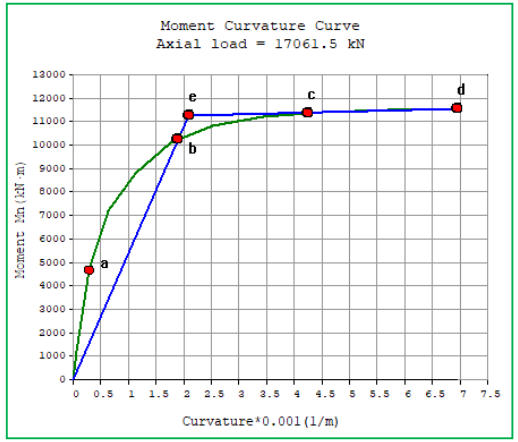
교각의 파괴모드 산정 기능 제공

주요 특장점

받침부 탄성지진력과 단면강도를 고려한 평가



받침 링크(Elastic Link)를 통한 조합 탄성지진력 산정



$$F_{B,D} = \min(\, F_n \,, [V_E]_{COMB,TOP})$$

모멘트곡률곡선에 따른 단면강도 산정

7.1 받침본체 검토

1) 수평저항력 평가

가) 받침1개의 횡방향 저항용량

① 교축방향

f_B^L = 288.000 kN

② 교축직각방향

f_B^T = 144.000 kN

나) 공급역량 $F_{B,C}$: 횡방향 저항용량

① 교축방향

$F_{B,C}^L = f_B^L \cdot n_B^L$ = 288.000 x 10.000 = 2880.000 kN

② 교축직각방향

$F_{B,C}^T = f_B^T \cdot n_B^T$ = 144.000 x 10.000 = 1440.000 kN

n_B : 평가지진하중 방향에 따라 저항하는 받침개수

다) 소요역량 $F_{B,D}$: 받침부 평가 지진력

① 교축방향

$F_{B,D}^L = \min[\, F_n^L, [V_E^L]_{COMB,TOP} \,]$

= min [2298.000 , 5977.000] = 2298.000 kN

② 교축직각방향

$F_{B,D}^T = \min[\, F_n^T, [V_E^T]_{COMB,TOP} \,]$

= min [1618.000 , 1332.000] = 1332.000 kN

F_n : 교각의 단면강도(kN)

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

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

라) 수평저항력 성능평가

① 교축방향

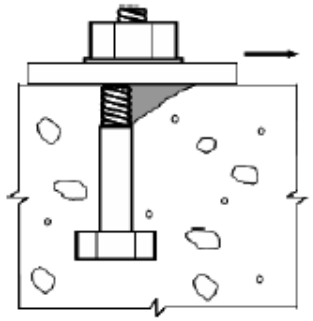
$\frac{F_{B,C}^L}{F_{B,D}^L} = \frac{2880.00}{2298.00}$ = 1.25 > 1 ∴ OK

② 교축직각방향

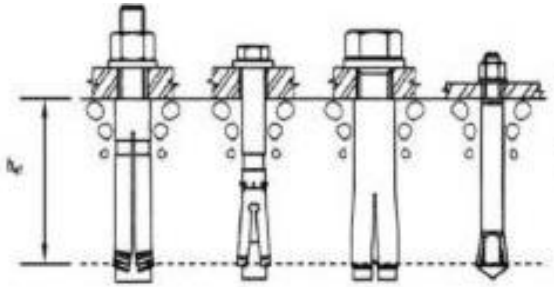
$\frac{F_{B,C}^T}{F_{B,D}^T} = \frac{1440.00}{1332.00}$ = 1.08 > 1 ∴ OK

받침본체 평가에 대한 Excel Report

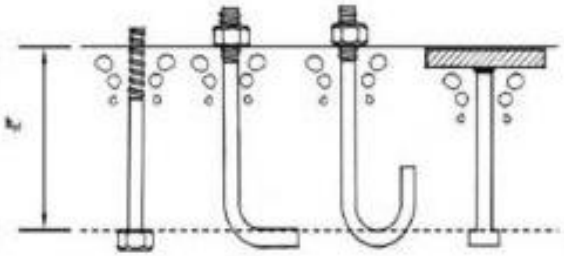
앵커부 강재 파괴에 대한 평가



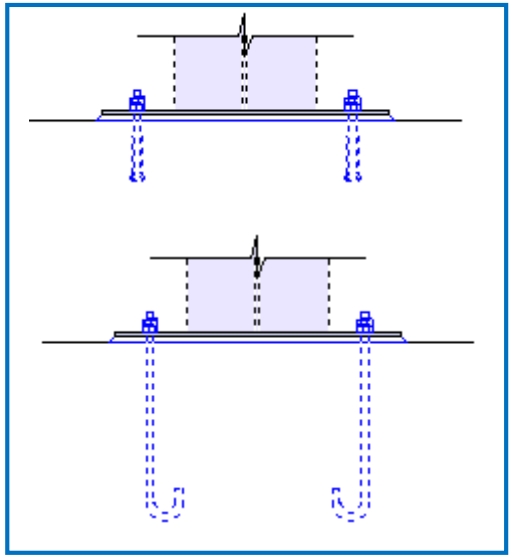
강재파괴



후설치 앵커



선설치 앵커



앵커 DB에 대한 배치기능

2) 강재파괴

가) 공급역량 $F_{AS,C}$: 강재강도

① 교축방향

$F_{AS,C}^{L} = V_{sa}^{L} = n_A \cdot A_{se} \cdot f_{uta}$

$= 2 \times 1{,}662 \times 410$

$= 817.7$ kN

② 교축직각방향

$F_{AS,C}^{T} = V_{sa}^{T} = n_A \cdot A_{se} \cdot f_{uta}$

$= 2 \times 1{,}662 \times 410$

$= 817.7$ kN

가) 공급역량 $F_{AS,C}$: 강재강도

① 교축방향

$F_{AS,C}^{L} = V_{sa}^{L} = n_A \cdot 0.6 \cdot A_{se} \cdot f_{uta}$

$= 2 \times 0.6 \times 1{,}662 \times 410$

$= 817.7$ kN

② 교축직각방향

$F_{AS,C}^{T} = V_{sa}^{T} = n_A \cdot 0.6 \cdot A_{se} \cdot f_{uta}$

$= 2 \times 0.6 \times 1{,}662 \times 410$

$= 817.7$ kN

나) 소요역량 $F_{AS,D}$: 받침 1기당 평가지진력

① 교축방향

$F_{AS,D}^{L} = \frac{F_{B,D}^{L}}{n_B^{L}} = \frac{2298.000}{10} = 229.800$ kN

② 교축직각방향

$F_{AS,D}^{T} = \frac{F_{B,D}^{T}}{n_B^{T}} = \frac{1332.000}{10} = 133.200$ kN

다) 강재파괴 성능평가

① 교축방향

$\frac{F_{AS,C}^{L}}{F_{AS,D}^{L}} = \frac{817.700}{229.80} = 3.558 > 1 \therefore$ OK

② 교축직각방향

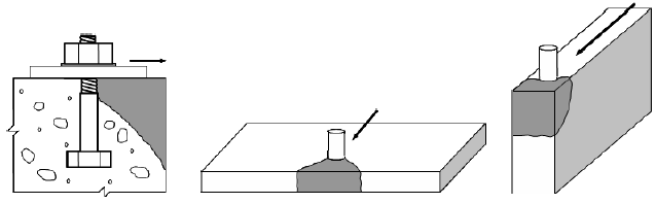
$\frac{F_{AS,C}^{T}}{F_{AS,D}^{T}} = \frac{817.700}{133.20} = 6.139 > 1 \therefore$ OK

앵커부 강재파괴 평가에 대한 Excel Report

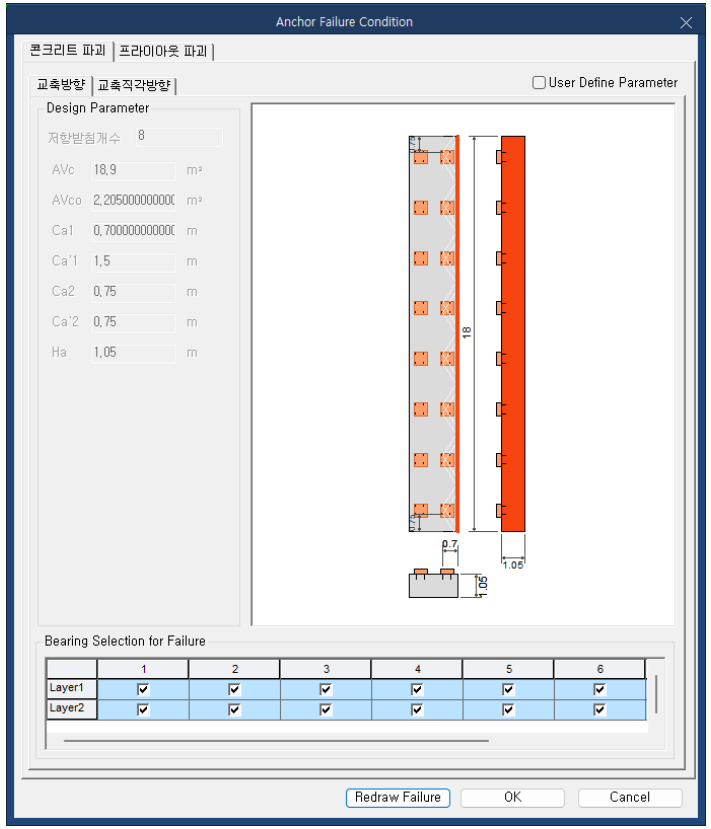
주요 특장점

CVL

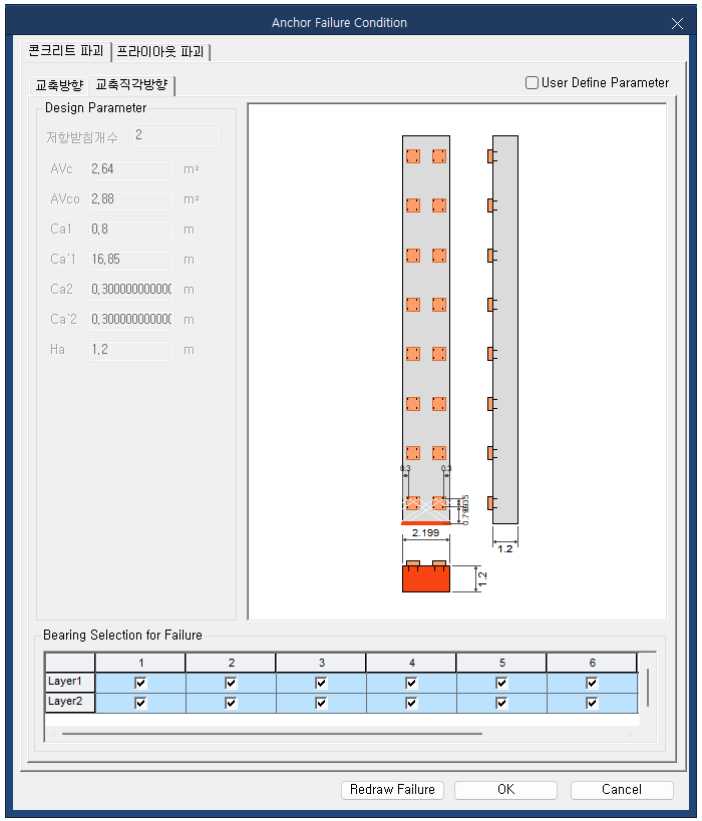
앵커부 콘크리트 파괴에 대한 평가

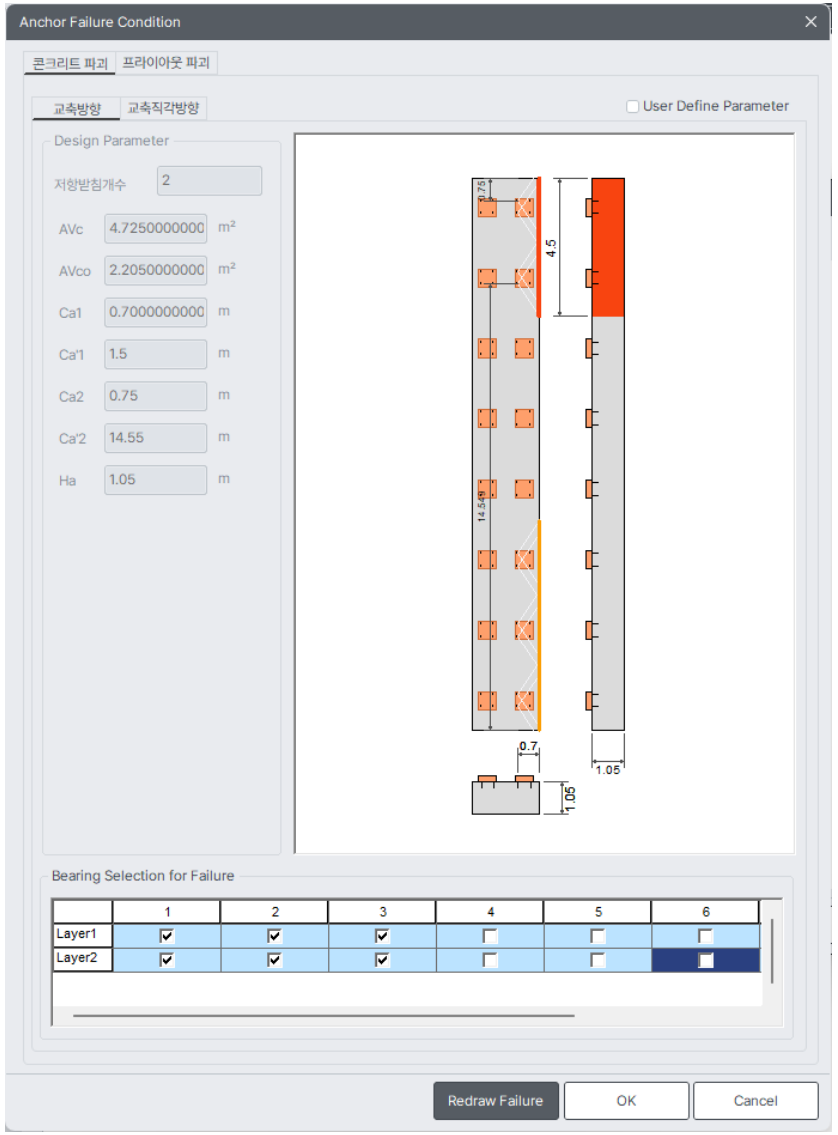


콘크리트 파괴



실시간 반영 받침본체 및 앵커배치





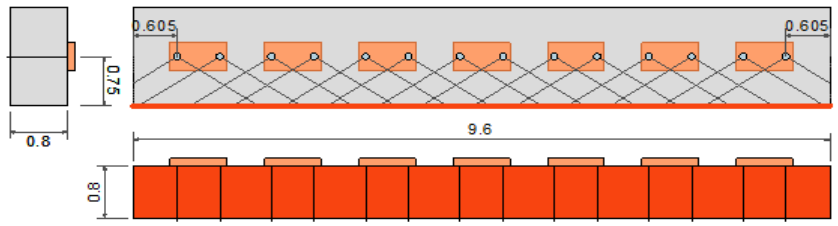
1. 특정한 앵커배치에 따른 콘크리트 파괴면 단일/그룹 저항 판단
2. 특정한 앵커배치에 따른 콘크리트 파괴면 투영면적 자동산정

3) 콘크리트 파괴

가) 공급역량 $F_{AC,C}$: 콘크리트 파괴강도

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

① 교축방향



< 콘크리트 파괴 투영면적 >

- s_1 = 590.000 mm
- s_2 = 0.000 mm
- s_{ax} = 710.000 mm
- s_{ay} = 0.000 mm

▶ 전단에 저항하는 받침의 앵커 중심으로부터 연단거리

- c_{a1} = 750.000 mm (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{a1}' = 750.000 mm
- c_{a2} = 605.000 mm (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{a2}' = 605.000 mm
- $1.5c_{a1}$ = 1.5 × 750.000 = 1125.000 mm

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

- A_{Vc} = 9,000,000 mm^2

- A_{Vc} = h_a*[c_{a2} + { n_{BC}*(m-1)*s_1 + (n_{BC}-1)*s_{ax} } + c_{a2}']
  = 9,000,000 mm^2

- A_{Vco} = $4.5C_{a1}^2$ = 4.5 × (600)^2 = 1,620,000 mm^2

A_{vc} < $n \cdot A_{Vco}$ = 10 × 1,620,000 = 16,200,000 mm^2

n = $n_A \times n_{BC}$ = 2 × 5 = 10 EA

∴ A_{vc} = 9,000,000 mm^2

∴ A_{vc} = $n \cdot A_{Vco}$ = 16,200,000 mm^2

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도 V_{cbg}

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

$$= \frac{9,000,000}{1,620,000} \times 0.945 \times 415 = 2,181 \text{ kN}$$

$$\psi_{ed,v} = 0.7 + 0.3\frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}} = 0.7 + 0.3\frac{735}{900} = 0.945 \quad (c_{a2} < 1.5c_{a1})$$

$$V_b = 0.6 \times \left(\frac{l_e}{d_a}\right)^2 \times \sqrt{d_a} \times \sqrt{f_{ck}} \times (c_{a1})^{1.5}$$

$$= 0.6 \times \left(\frac{368}{46}\right)^2 \times \sqrt{46} \times \sqrt{21} \times (600)^{1.5}$$

= 415 kN

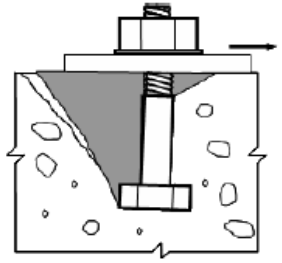
l_e = min[h_{ef}, $8d_a$] = min [715 , 368]
= 368 mm

앵커부 콘크리트 파괴 평가에 대한 Excel Report

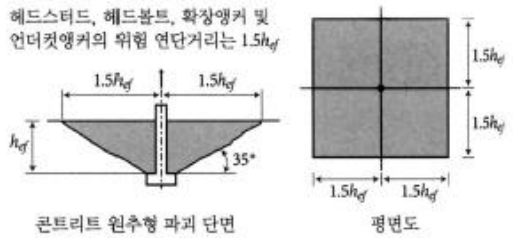
주요 특장점

CVL

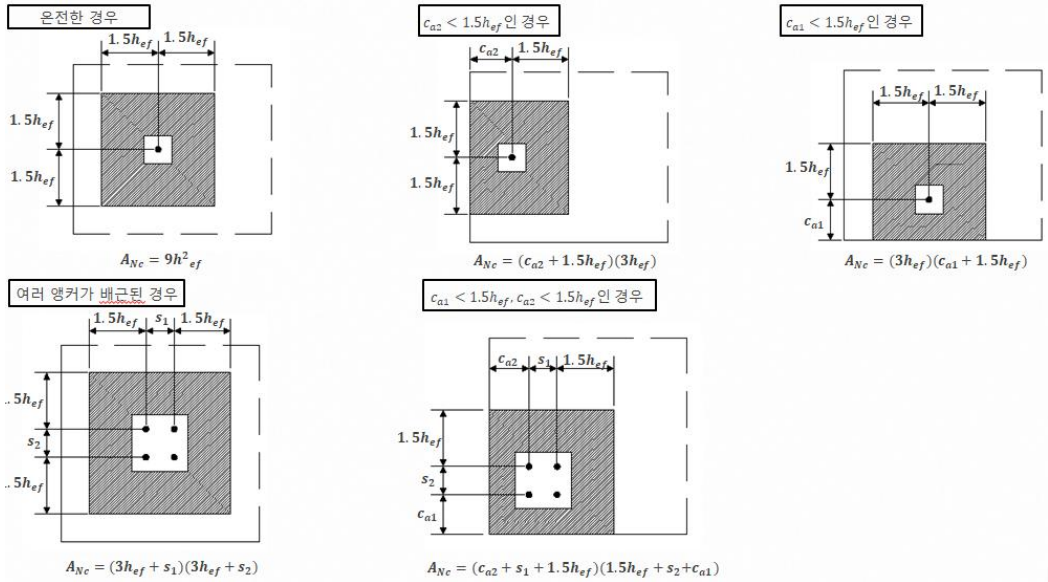
앵커부 프라이아웃 파괴에 대한 평가



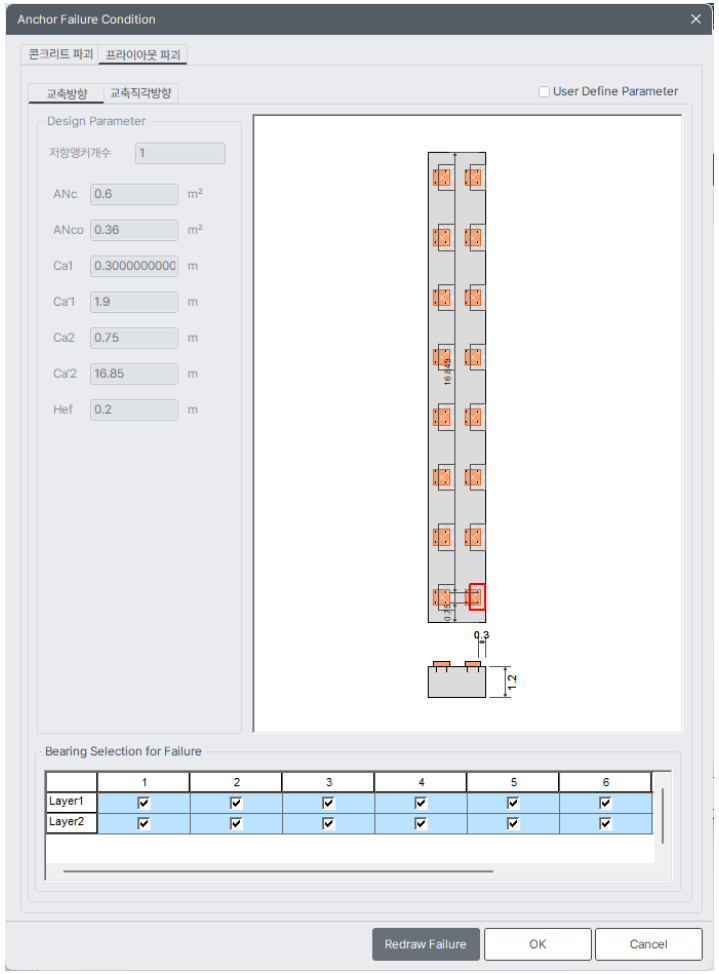
프라이아웃 파괴

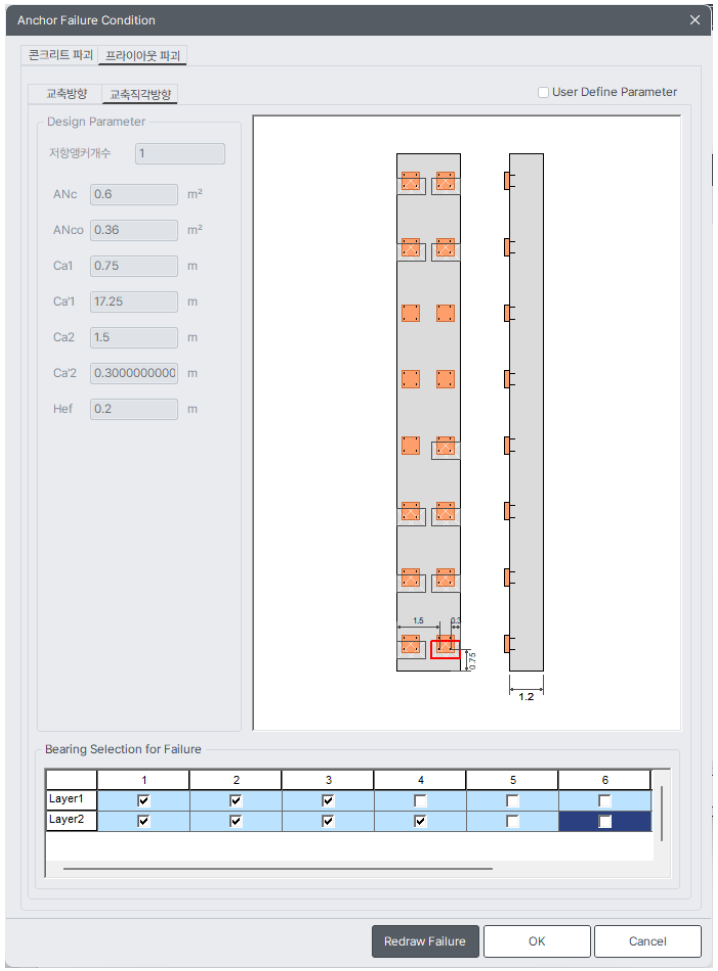


제한을 받지 않는 프라이아웃파괴 투영면적 산정



특정 앵커배치에 따른 앵커부 프라이아웃파괴 투영면적 산정방법





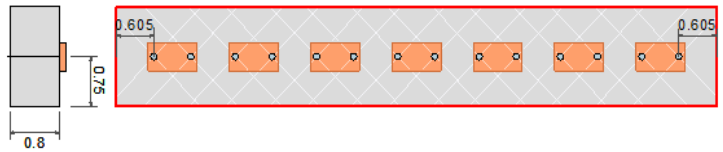
1. 특정한 앵커배치에 따른 앵커부 프라이아웃 파괴면 단일/그룹 저항 투영면적 자동산정
2. 특정한 앵커배치에 따른 앵커부 프라이아웃 파괴면 투영면적 자동산정

4) 콘크리트 프라이아웃

가) 공급역량 $F_{AP,C}$: 콘크리트 프라이아웃 강도

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

① 교축방향



< 콘크리트 프라이아웃 투영면적 >

- s_1 = 590.000 mm
- s_2 = 0.000 mm
- s_{ax} = 710.000 mm
- s_{ay} = 0.000 mm

▶ 전단에 저항하는 받침의 앵커 중심으로부터 연단거리

- c_{a1} = 750.000 mm (하중작용방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{a1}' = 750.000 mm
- c_{a2} = 605.000 mm (하중작용직각방향 콘크리트 표면까지 최단거리)
- c_{a2}' = 605.000 mm

▶ 단일 앵커 및 앵커 그룹 판단

- 지진하중에 저항하는 받침 중 최소 연단거리를 갖는 받침열의 외측 앵커열 검토
- $s_1 < 2\times1.5h_{ef}$ 이므로 받침내 앵커간 간섭 발생
- $s_{ax} < 2\times1.5h_{ef}$ 이므로 이웃받침간 간섭 발생

∴ 전단에 의한 콘크리트 프라이아웃시 앵커 그룹으로 저항 : n_{BC} = 7 EA

▶ 프라이아웃 저항면적 상정시 4면 이상 가장자리의 영향 검토

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

$$h_{ef} = \max\left[\frac{\max(c_{a1}, c_{a1}', c_{a2})}{1.5}, \frac{\max(s_1, s_{ax}, s_2+s_{ay})}{3}\right]$$

$$= \max\left[\frac{750.000}{1.5}, \frac{710.000}{3}\right] = 500.000 \text{ mm}$$

▶ 재산정된 앵커의 유효묻힘깊이에 따른 단일 앵커 및 앵커 그룹 판단

- 지진하중에 저항하는 받침 중 최소 연단거리를 갖는 받침열의 외측 앵커열 검토
- $s_1 < 2\times1.5h_{ef}$ 이므로 받침내 앵커간 간섭 발생
- $s_{ax} < 2\times1.5h_{ef}$ 이므로 이웃받침간 간섭 발생

∴ 전단에 의한 콘크리트 프라이아웃시 앵커 그룹으로 저항 : n_{BC} = 7 EA

▶ 콘크리트파괴 투영면적 산정

$$A_{Nc} = [\min\{c_{a2}, 1.5h_{ef}\} + \{n_{BC}\cdot(n^L-1)\cdot s_1 + (n_{BC}-1)\cdot s_{ax}\} + \min\{c_{a2}', 1.5h_{ef}\}] \times [\min\{c_{a1}, 1.5h_{ef}\} + \{(n^T-1)\cdot s_2 + s_{ay}\} + \min\{(n^T-1)\cdot s_2+c_{a1}', 1.5h_{ef}\}]$$

$$= 14400000.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 = 9 \times (500.000)^2 = 2250000.000 \text{ mm}^2$$

$$A_{Nc} < n\cdot A_{Nco} = 14 \times 2250000.000 = 31500000.000 \text{ mm}^2$$

$$n = n_A \times n_{BC} = 2 \times 7 = 14 \text{ EA}$$

$$\therefore A_{Nc} = 14400000 \text{ mm}^2$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 프라이아웃 V_{cpg}

$$V_{cpg} = k_{cp} \times N_{cbg} = 2.0 \times 3628.143 = 7256.287 \text{ kN}$$

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

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

$$= \frac{14400000.000}{2250000.000} \times 0.942 \times 601.802 = 3628.143 \text{ kN}$$

$$\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3\frac{c_{a,min}}{1.5h_{ef}} = 0.7 + 0.3\frac{605.000}{750.000} = 0.942 \quad (c_{a,min} < 1.5h_{ef})$$

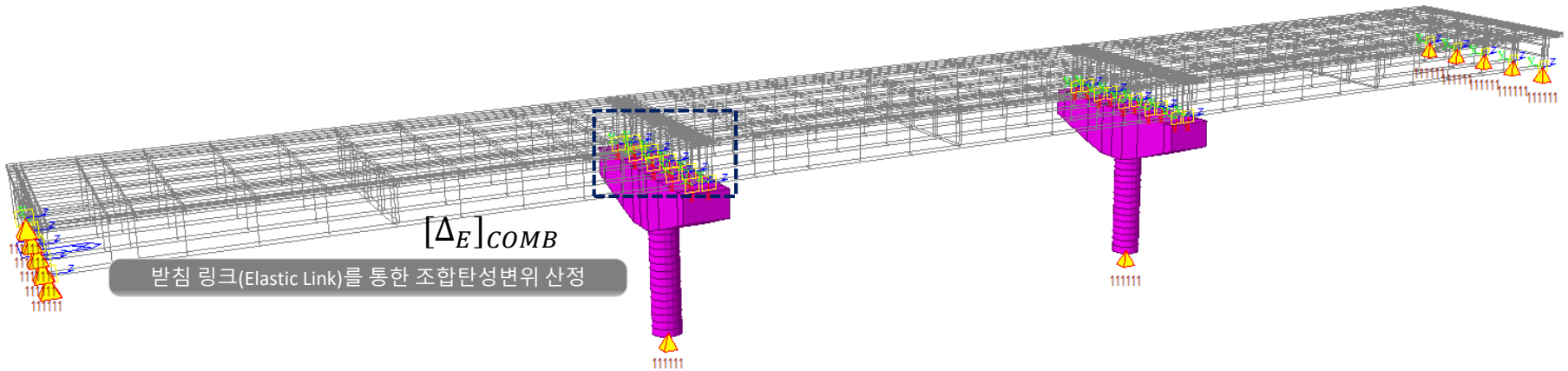
$$N_b = 3.9\sqrt{f_{ck}}\, h_{ef}^{5/3} = 3.9\sqrt{(24.00)}\times(500.00)^{5/3} = 601.802 \text{ kN}$$

▶ 전단력을 받는 앵커의 콘크리트 프라이아웃 보유성능

$$F_{AP,C}^L = V_{cpg} = 7256.287 \text{ kN}$$

앵커부 프라이아웃 파괴 평가에 대한 Excel Report

받침지지길이에 대한 평가



받침 링크(Elastic Link)를 통한 조합탄성변위 산정

2) 소요역량 N_D : 교각의 응답변위

가) 응답변위

① 교각 상단의 탄성 변위(교축방향)

구분	받침상단변위 $[\Delta_E]_{COMB}$ (mm)	교각 상부 축력 P_{Top} (kN)	기둥 하단 모멘트 $[M_E]_{COMB}$ (kN-m)	단면강도비 R_s	P-Δ 효과
P1(교축)	19.49	3,981	20,528	2.601	고려
P1(교직)	7.32	3,981	6,743	1	미고려

② P-Δ 효과를 고려한 교각의 변위

1) 교축방향

$$[\Delta_E]_{PD} = \left(1 + \frac{P_{Top} \times 1.5[\Delta_E]_{COMB}}{[M_E]_{COMB}}\right) \times [\Delta_E]_{COMB}$$

$$= \left(1 + \frac{3{,}981 \times 1.5 \times 0.01949}{20{,}528}\right) \times 0.01949$$

$$= 19.600 \text{ mm}$$

2) 교축직각방향

$$[\Delta_E]_{PD} = [\Delta_E]_{COMB}$$

$$= 0.00732$$

$$= 7.320 \text{ mm}$$

③ 주기를 고려한 비탄성 변위

1) 교축방향

$$\Delta_{dem} = \lambda_{DR} \cdot [\Delta_E]_{PD} = 1.096 \times 19.560 = 21.438 \text{ mm}$$

2) 교축직각방향

$$\Delta_{dem} = \lambda_{DR} \cdot [\Delta_E]_{PD} = 1.000 \times 7.320 = 7.320 \text{ mm}$$

나) 소요역량 N_D

$$N_D = \max[\text{응답변위}, N_{min}] = [21.438, 390.000] = 390.000 \text{ mm}$$

$$N_{min} = (200 + 1.67 \times L + 6.66 \times H) \times (1 + 0.000125 \times \theta^2) = 390.000 \text{ mm}$$

L	=	100.000	m	(연속경간장)
H	=	3.454	m	(교각 높이)
θ	=	0.000	°	(사각)

3) 받침지지길이 성능평가

$$\frac{N_C}{N_D} = \frac{900.00}{390.00} = 2.31 > 1 \quad \therefore \text{OK}$$

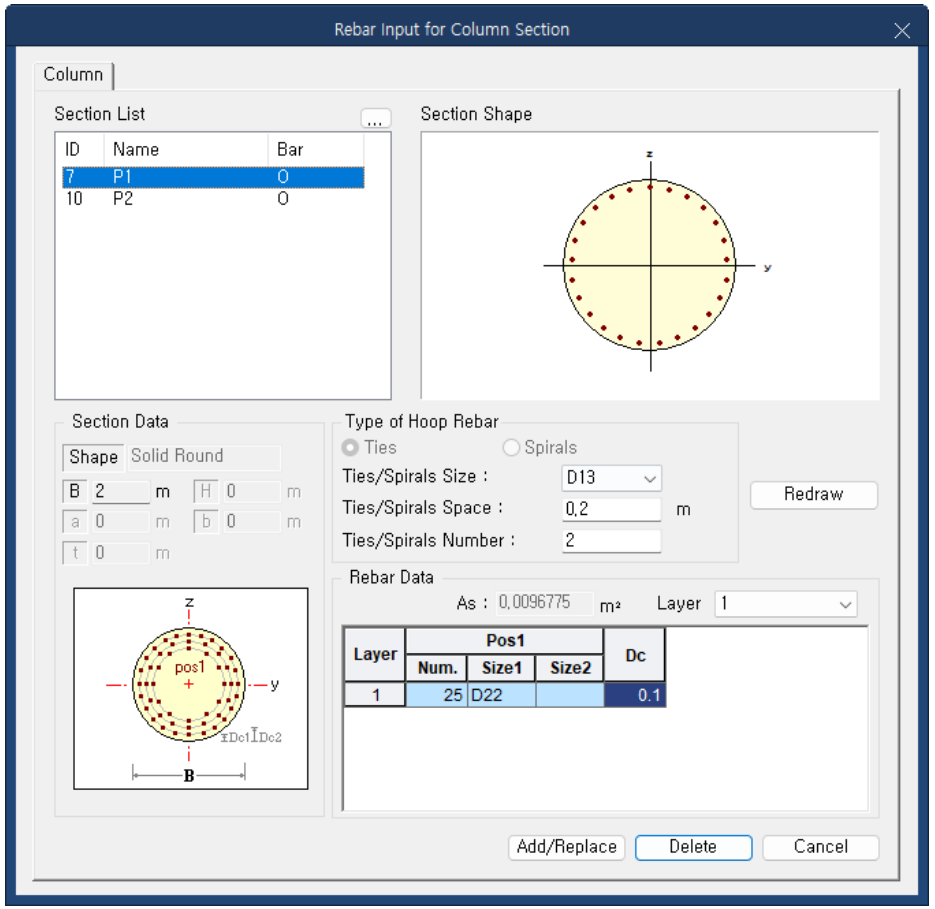
8.x 받침지지길이 평가 요약

구분	공급역량(mm)	소요역량(mm)	공급/소요 역량	평가결과
P1	900	390	2.31	OK

받침지지길이 평가에 대한 Excel Report

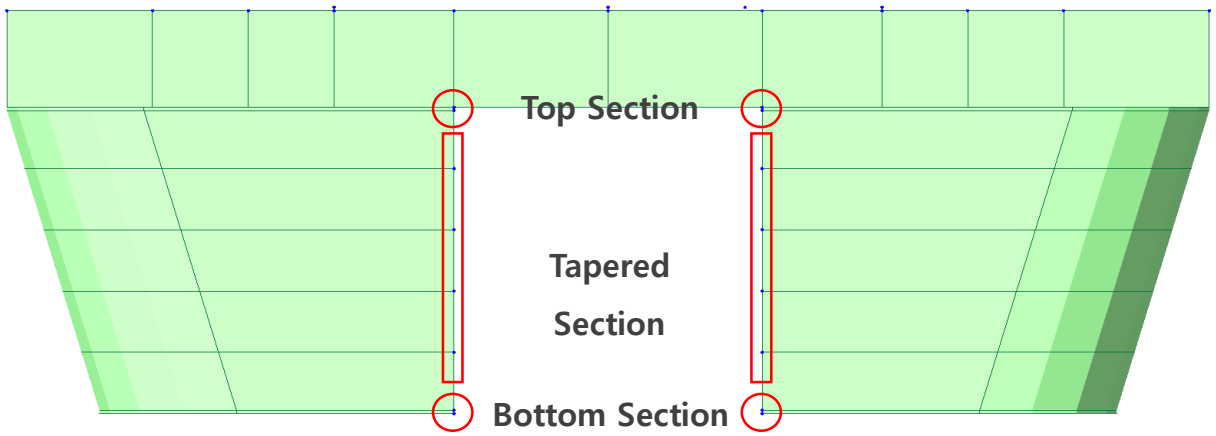
Rebar Input Data (P1 , P2)

1. Tie/Spirals Size & Space & Number : D13 , 0.3 m , 2
2. Num : 25 EA
3. Size1 : D25
4. Dc : 0.1 m
5. Add/Replace Click



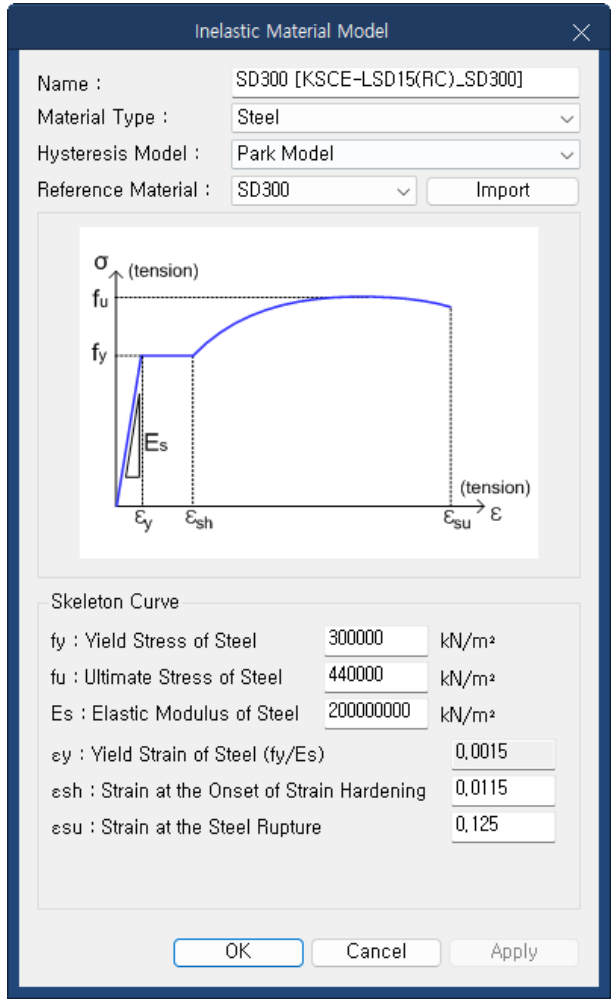
Tip

- Section별로 Rebar가 배근되기 때문에 추후 Moment Curvature를 다르게 적용하려면 Section이 동일하더라도 Section을 추가하여 배근 해야 한다.
- Section에 따라 각 방향 별 전단철근 개수를 다르게 하고 싶은 경우 Mander Model의 추가 배근 데이터를 입력해야 한다.
- 아래와 같이 Tapered 교각의 경우 상/하단의 요소를 미세하게 분할하여 상/하단 Section을 할당해야 한다.



Define Inelastic Material Property

1. Material Type : Steel
2. Hysteresis Model : Kent & Park Model
3. Reference Material : SD300



Tip

<해설표 4.2.1> 철근의 강도 및 변형률(최솟값)

철근 종류	f_y	f_{su}	$\varepsilon_y = f_y / E_s$ [2]	ε_{sh}	ε_{su}
SD240[1]	240 MPa	390 MPa	0.0012	0.0115	0.128
SD300	300 MPa	440 MPa	0.0015	0.0115	0.125
SD350	350 MPa	490 MPa	0.00175	0.0115	0.122
SD400	400 MPa	560 MPa	0.002	0.0115	0.120

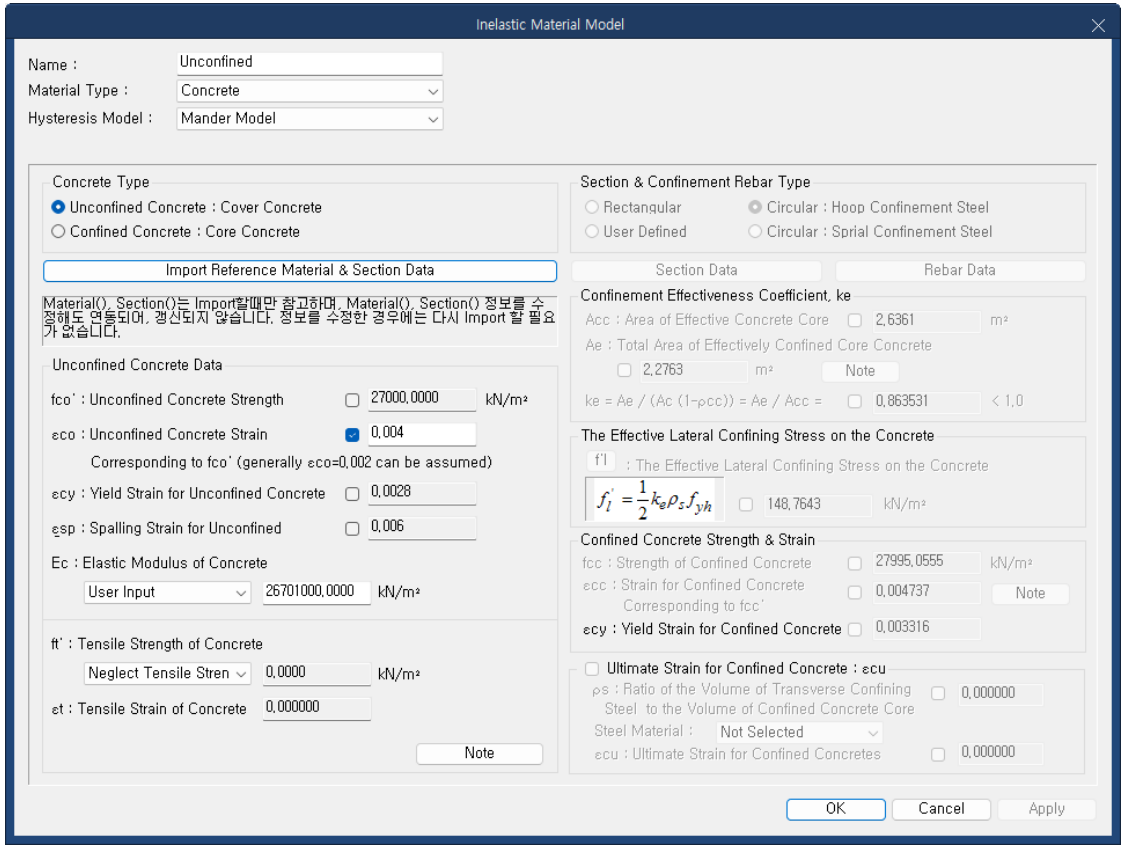
1) 2011년에 개정된 KS D 3504에는 항복강도가 300MPa 이상(SD300)인 이형봉강에 대해서만 최소강도를 규정하고 있으나 기존교량 중에는 SD240으로 시공된 경우가 종종 있으므로 SD240에 대한 최소강도는 개정 이전의 규정에 제시된 값을 적용

2) 철근의 탄성계수 E_s=200,000MPa 적용

CVL

[Mander Model – Unconfined Concrete]

1. Material Type : Concrete
2. Hysteresis Model : Mander Model
3. Concrete Type : Unconfined(Cover Concrete)
4. Reference Material : C27
5. Check εco : 0.004
6. Ec : User Input Data (26701000)



Tip

CASE	적용 단면	겹침이음 상세			극한변형률	공급변위 연성도 제한	비고
		비율(%)	길이(mm)	길이비			
1	단면 1	0	-	-	0.004	-	횡구속 미고려
2	단면 2	50%	-		0.003	-	
3			1,040	0.693	0.00383	-	
4	단면 1	100%	-	-	0.002	1.8	
5			970	0.647	0.00326	-	

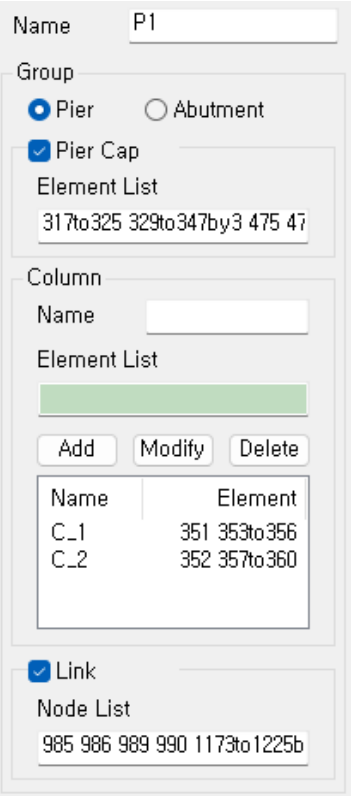
- 평가 대상의 교각의 준공도서 확인 결과, 기둥부 축방향철근을 감싸고 있는 횡방향철근이 내진상세를 만족하지 못하므로 횡구속 효과가 없는 것으로 간주하여 가정함.
  1. 구속 및 비구속 콘크리트의 강도 및 변형률을 동일하게 가정
  2. 최대 압축강도 fco' = fcc' == fck
  3. 최대 압축강도에 해당하는 변형률 εcc = εco = εcu = 0.004
  4. 항복변형률 εcy 은 일반적으로 εcc의 70% 적용 (Mander Model 추천값)
  5. 피복 탈락이 발생할 때의 변형률 εsp 는 εcc에 0.002를 더한 값을 적용
  6. 탄성계수는 설계기준에서 제시하는 일반콘크리트의 탄성계수 산정식

[표 1] 겹침이음 상세에 따른 극한변형률 및 최대보유변위연성도

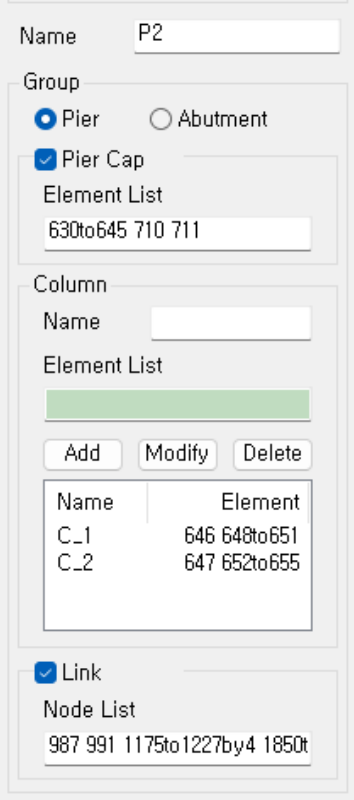
축방향철근 상세						콘크리트 극한변형률 ε_{cu}	최대보유 변위연성도 $\mu_{\Delta,max}$
종류	배근 상태	비율					
단일 철근	모두	0%				$0.004 + \alpha_{sh}\left(\alpha_{sh} = \frac{1.4\rho_{sh} f_{sh} \varepsilon_{shu}}{f_{cc}'}\right)$	제한 없음
겹침 이음 철근	2단 이상 배근	50%	원형	$l_{sp}/D > 0.5$		$0.0043 l_{sp}/D + 0.00085 \le 0.004$	
			원형	$l_{sp}/D \le 0.5$ 또는 l_{sp} 모를 때		0.003	
			사각형				
	1단 배근	100%	원형	$l_{sp}/D > 0.5$		$0.0086 l_{sp}/D - 0.0023 \le 0.004$	
			원형	$l_{sp}/D \le 0.5$ 또는 l_{sp} 모를 때		0.002	1.80
			사각형	교축방향	벽식 $B/H \ge 4$	0.0007	1.00
					전이 $1.5 < B/H < 4$	$0.00278 - 0.00052 B/H$	$1.8 - 0.2 B/H$
					일반 $B/H \le 1.5$	0.002	1.50
				교직방향			

Pier Evaluation Group

1. Name : P1
2. Check Pier Cap
3. Element List : 317to325 329to347by3 475 476
4. Column Name : C1 , Element List : 351 353to356
5. Column Name : C2 , Element List : 352 357to360
6. Check Link
7. Node List : 985 986 989 990 1173to1225by4 1174to1226by4
8. Apply Click

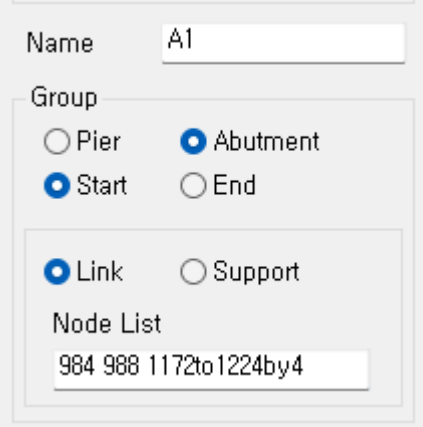


1. Name : P2
2. Check Pier Cap
3. Element List : 630to645 710 711
4. Column Name : C1 , Element List : 646 648to651
5. Column Name : C2 , Element List : 647 652to655
6. Check Link
7. Node List : 987 991 1175to1227by4 1850to1865
8. Apply Click

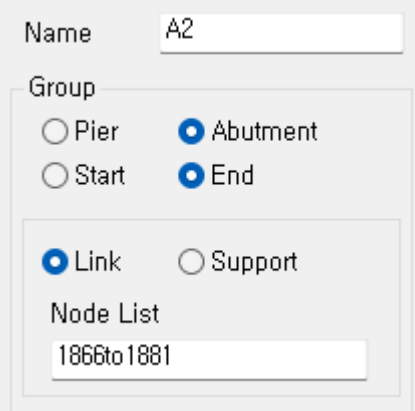


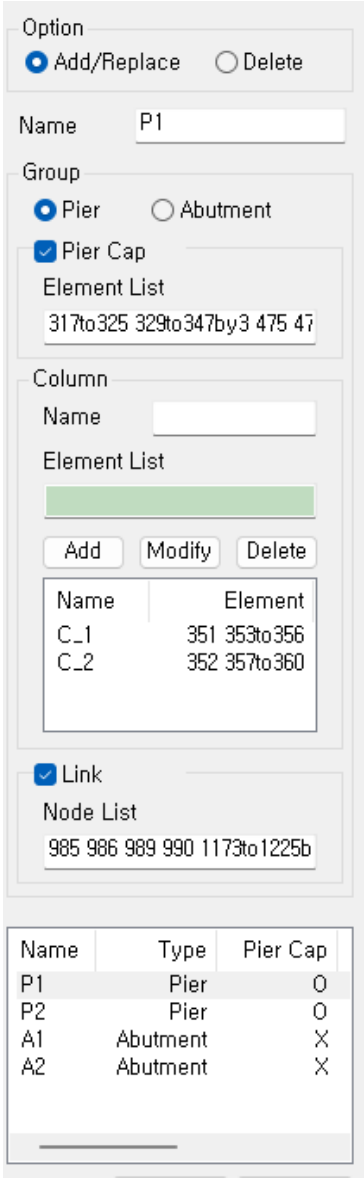
Abutment Evaluation Group

1. Name : A1
2. Select [Abutment]
3. Select [Start]
4. Select [Link]
5. Node List : 984 988 1172to1224by4
6. Apply Click



1. Name : A2
2. Select [Abutment]
3. Select [End]
4. Select [Link]
5. Node List : 1866to1881
6. Apply Click





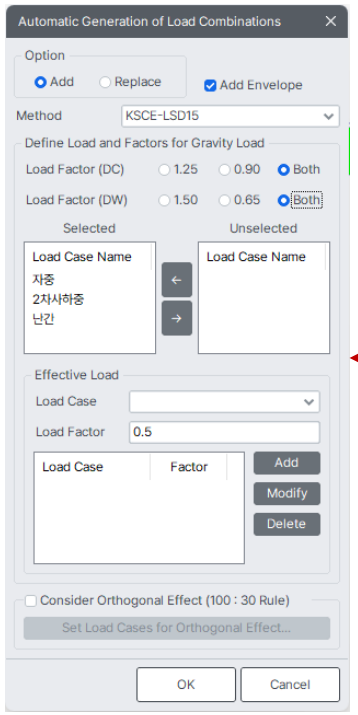
Add/Modify M-C Curve

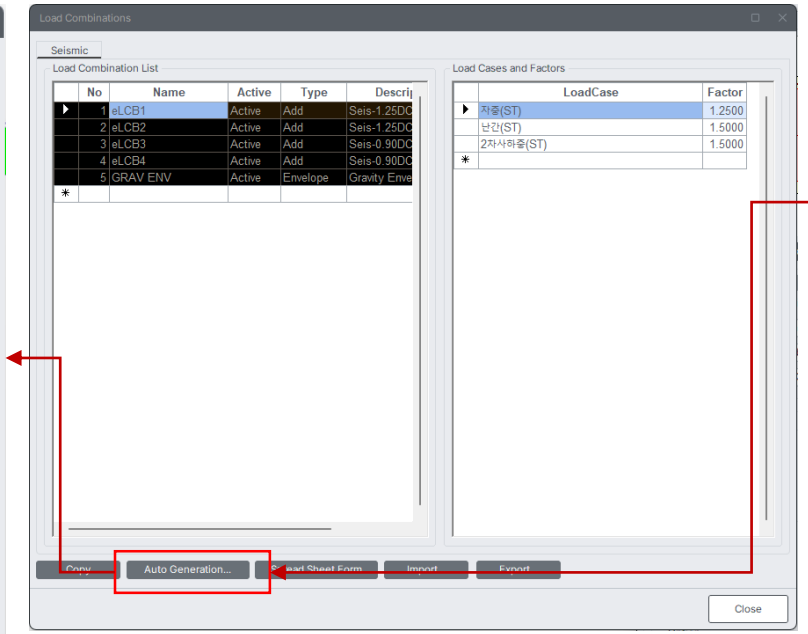
1. Perform Analysis : 고정하중에 대한 축력을 연계하기 위해
2. Name : P1_C_1_Top
3. Check Perform Seismic Evaluation
4. Evaluation Group : P1
5. Define Inelastic Material Property
6. Axial Force : Auto
7. Load Combination

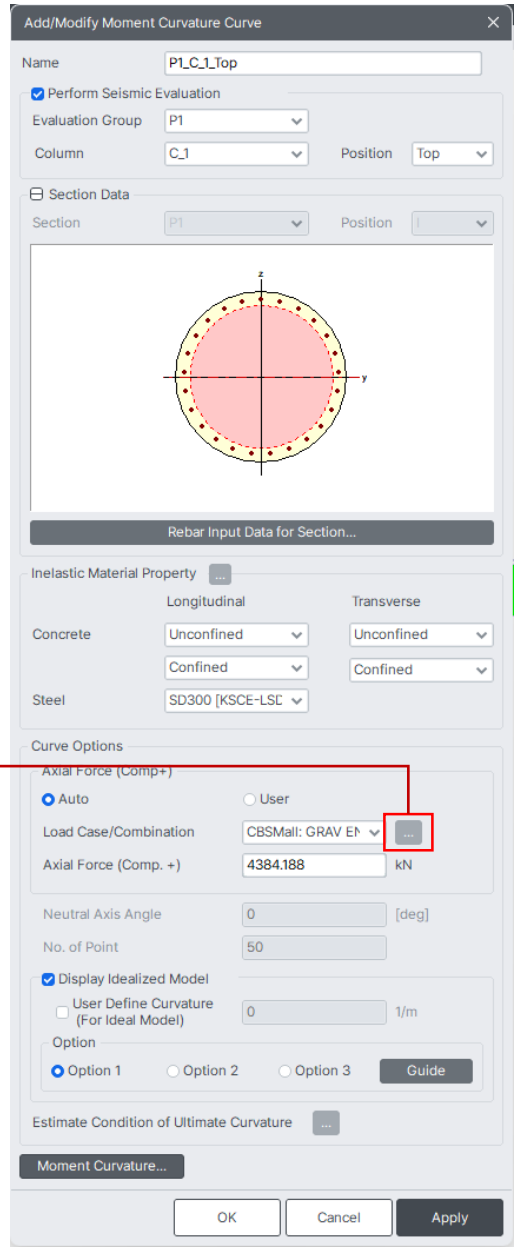
→ Auto Generation 기능을 활용하여 고정하중에 대한 하중조합을 생성

1. Load Case/Combination : CBSMall:GRAV ENV
2. Axial Force (Comp. +) : 4384.188
3. Check Display Idealized Model
4. Apply Click

위의 프로세스를 반복하여 P1&P2(C_1, C_2)의 Top과 Bot에 대한 M-C Curve를 저장한다.

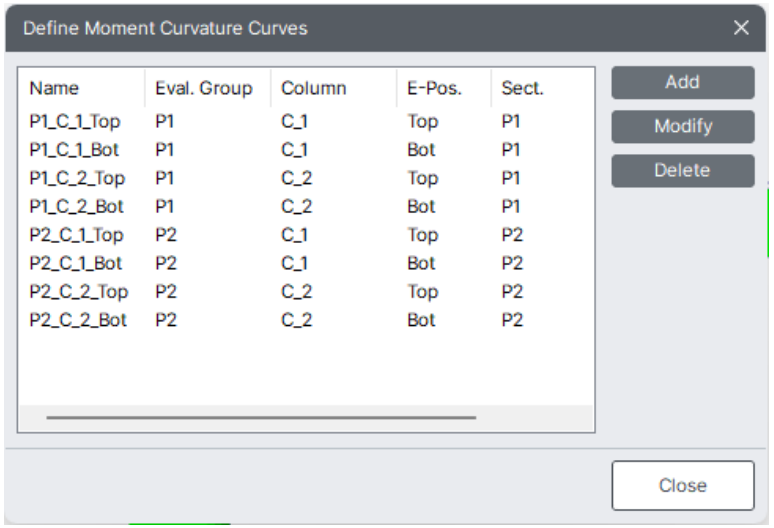


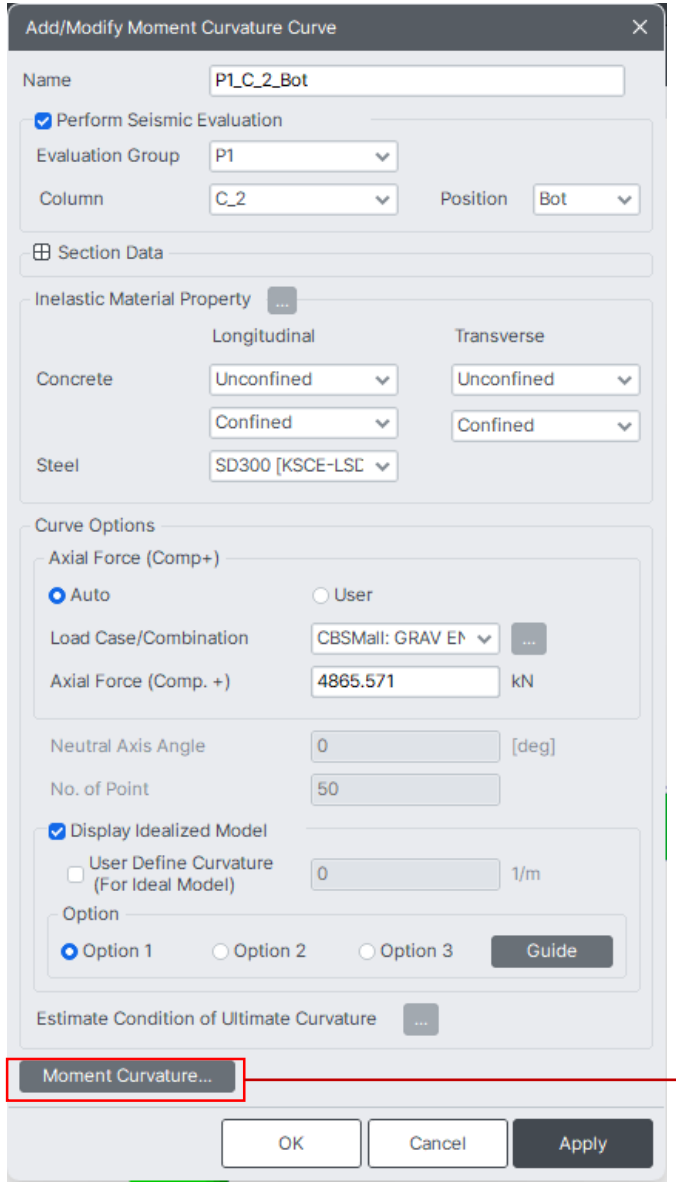


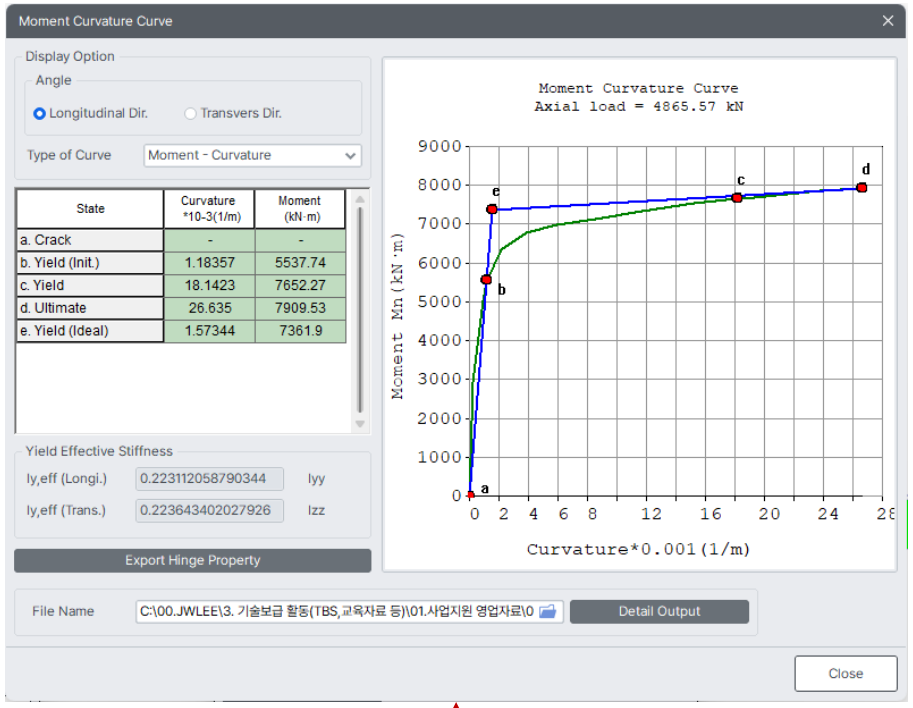


내진성능평가 시연

CVL

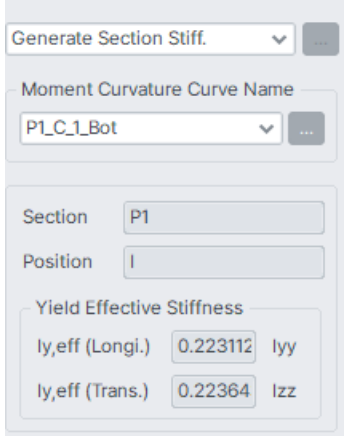


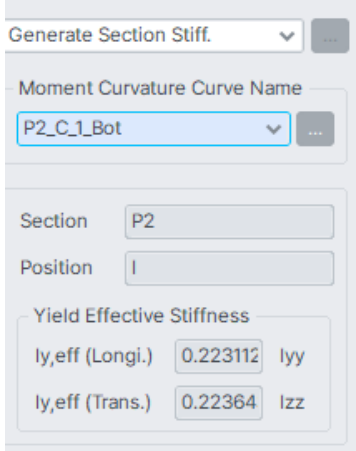


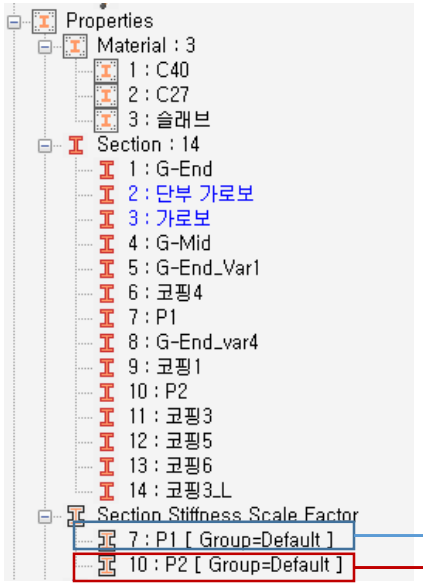


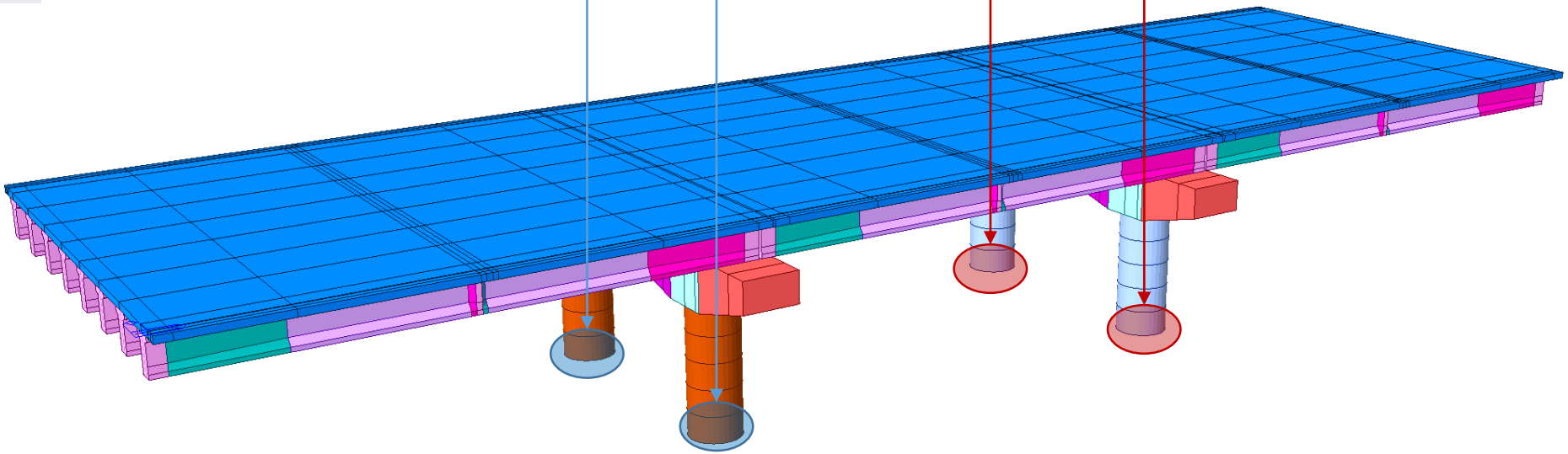
Generate Section Stiffness

1. P1의 지배적인 M-C Curve 결과인 P1_C_1_Bot 를 선택
2. Section : P1의 Yield Effective Stiffness로 Apply
3. P2의 지배적인 M-C Curve 결과인 P2_C_1_Bot를 선택
4. Section : P2의 Yield Effective Stiffness로 Apply



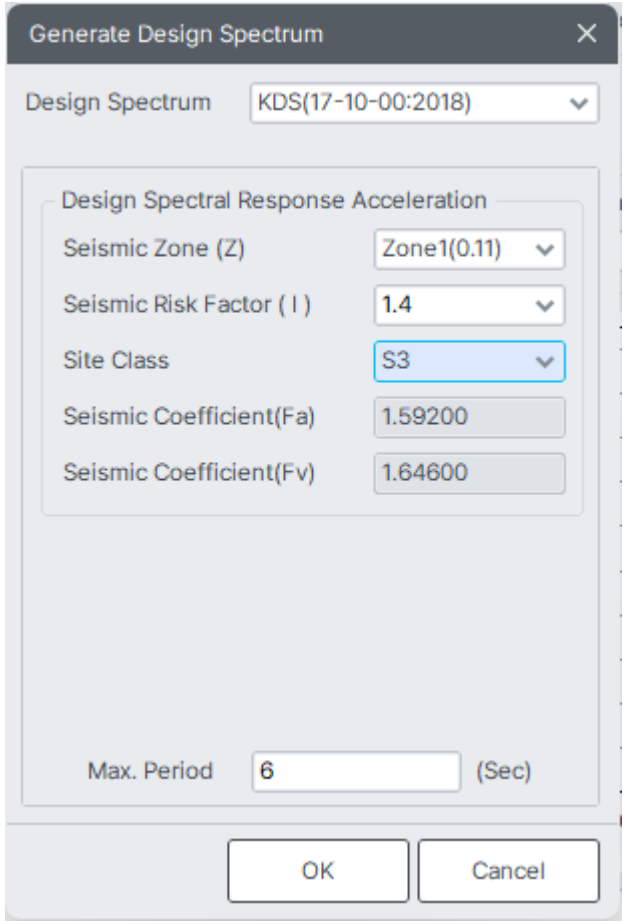


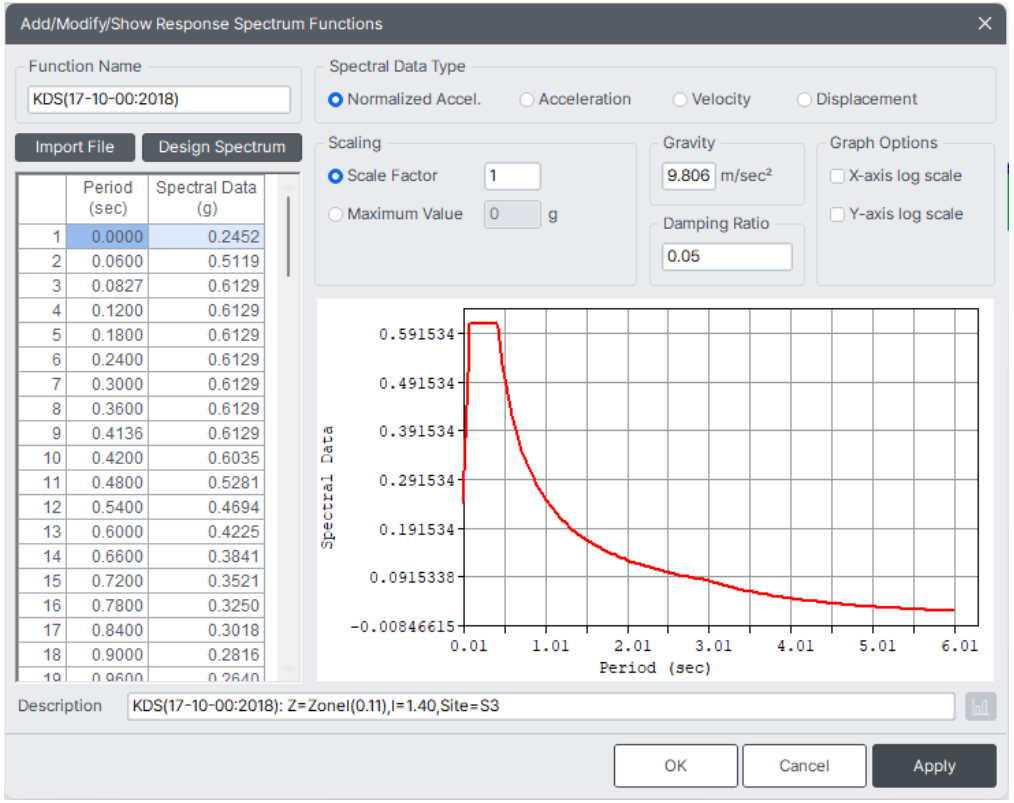




Response Spectrum Data

1. Design Code : KDS(17-10-00:2018)
2. Seismic Zone(Z) : Zone1(0.11)
3. Seismic Risk Factor(I) : 1.4
4. Site Class : S3





내진성능평가 시연

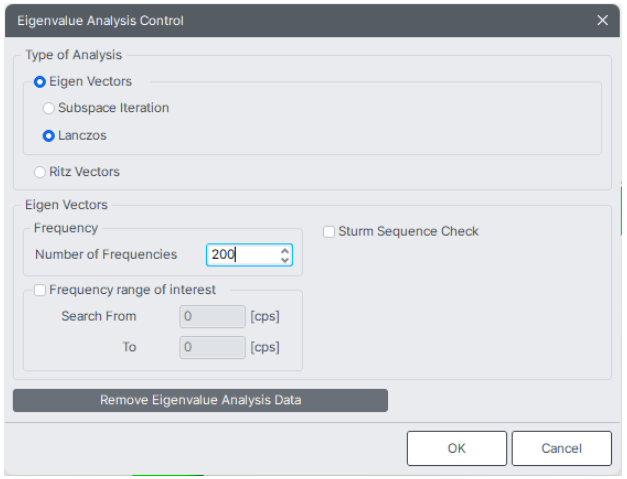
CVL

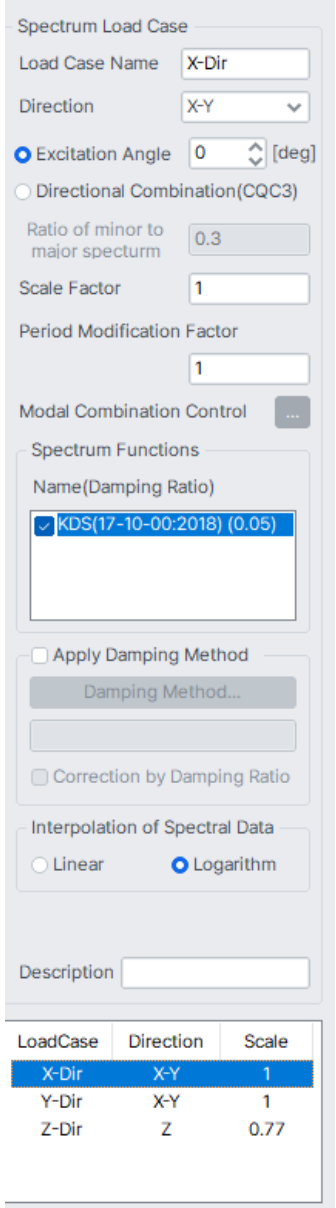
Spectrum Load Case

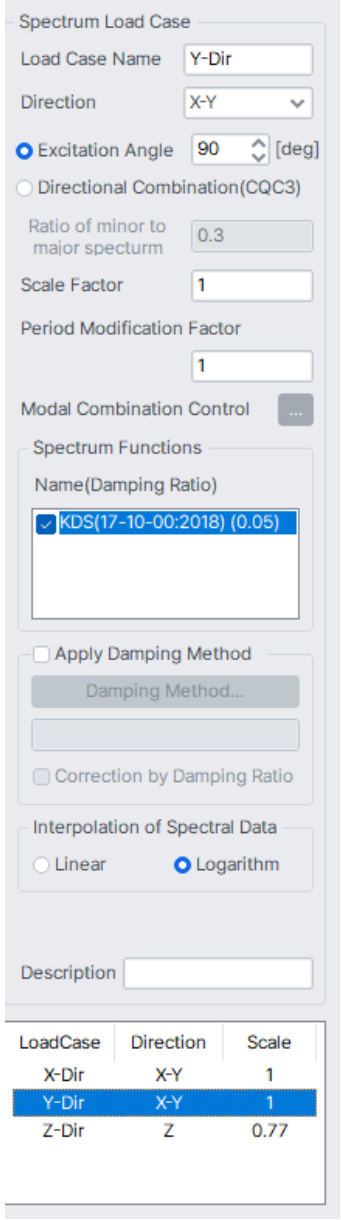
1. Define RS Load Cases : X-dir
2. X-dir : Direction(X-Y), Excitation Angle(0 deg)
3. Operations : Add Click
4. Define RS Load Cases : Y-dir
5. Y-dir : Direction(X-Y), Excitation Angle(90 deg)
6. Operations : Add Click
7. Define RS Load Cases : Z-dir
8. Z-dir : Direction(Z) , Scale Factor(0.77)
9. Operations : Add Click

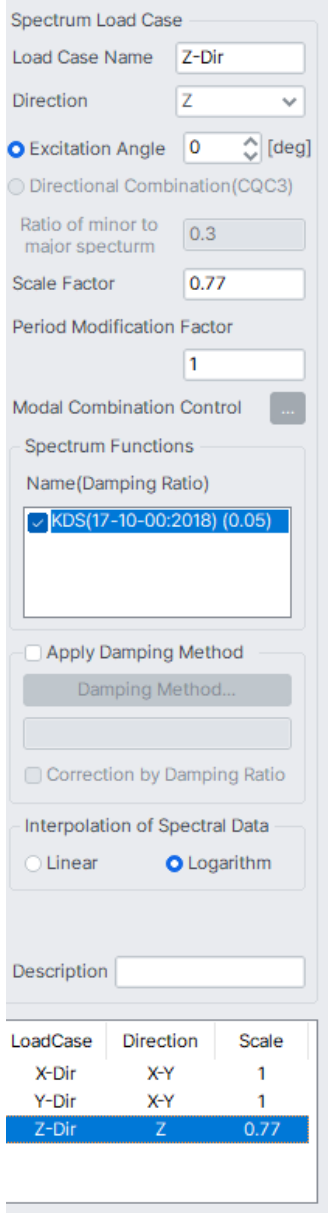
Eigenvalue Analysis

1. Eigen Vectors : [Lanzos]
2. Number of Frequencies : [200]



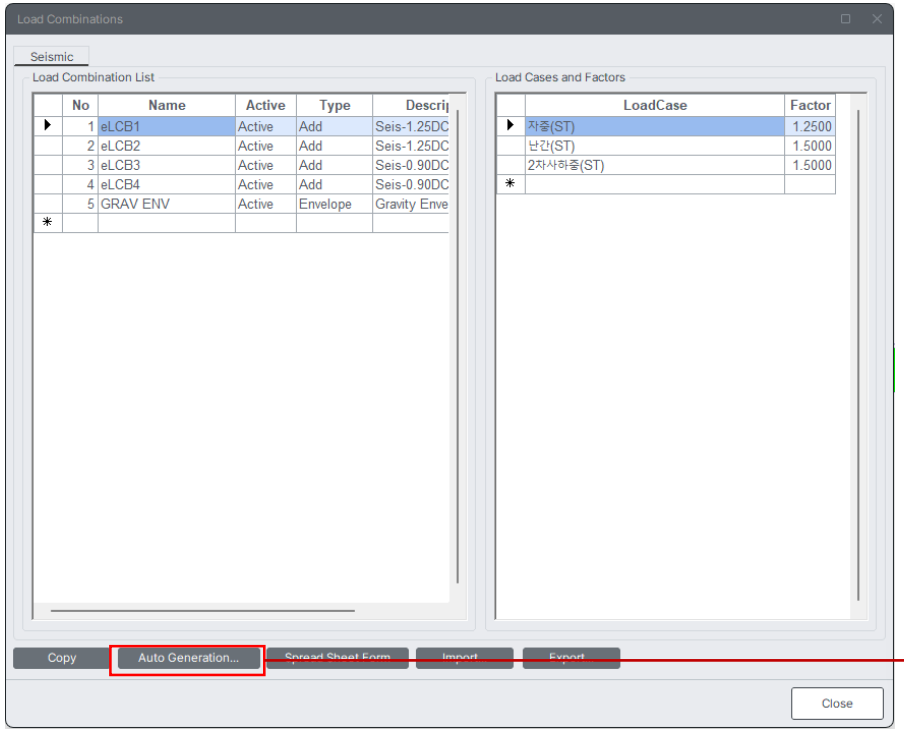


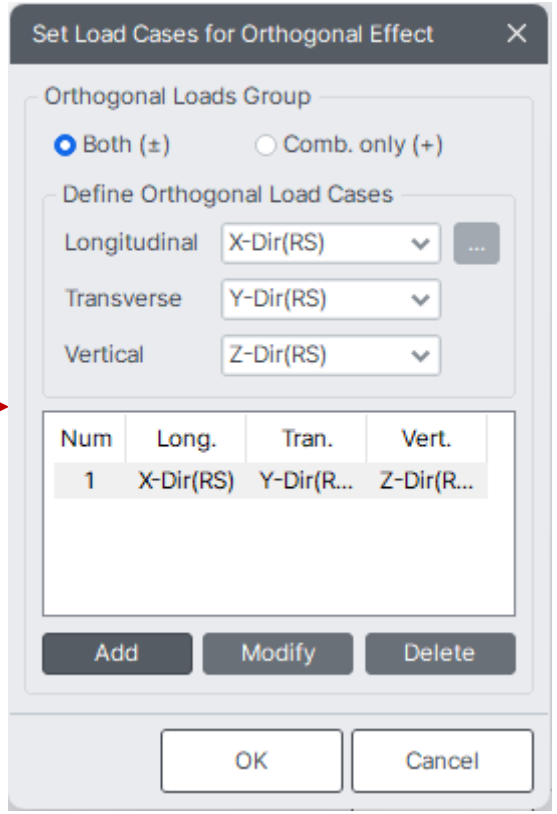




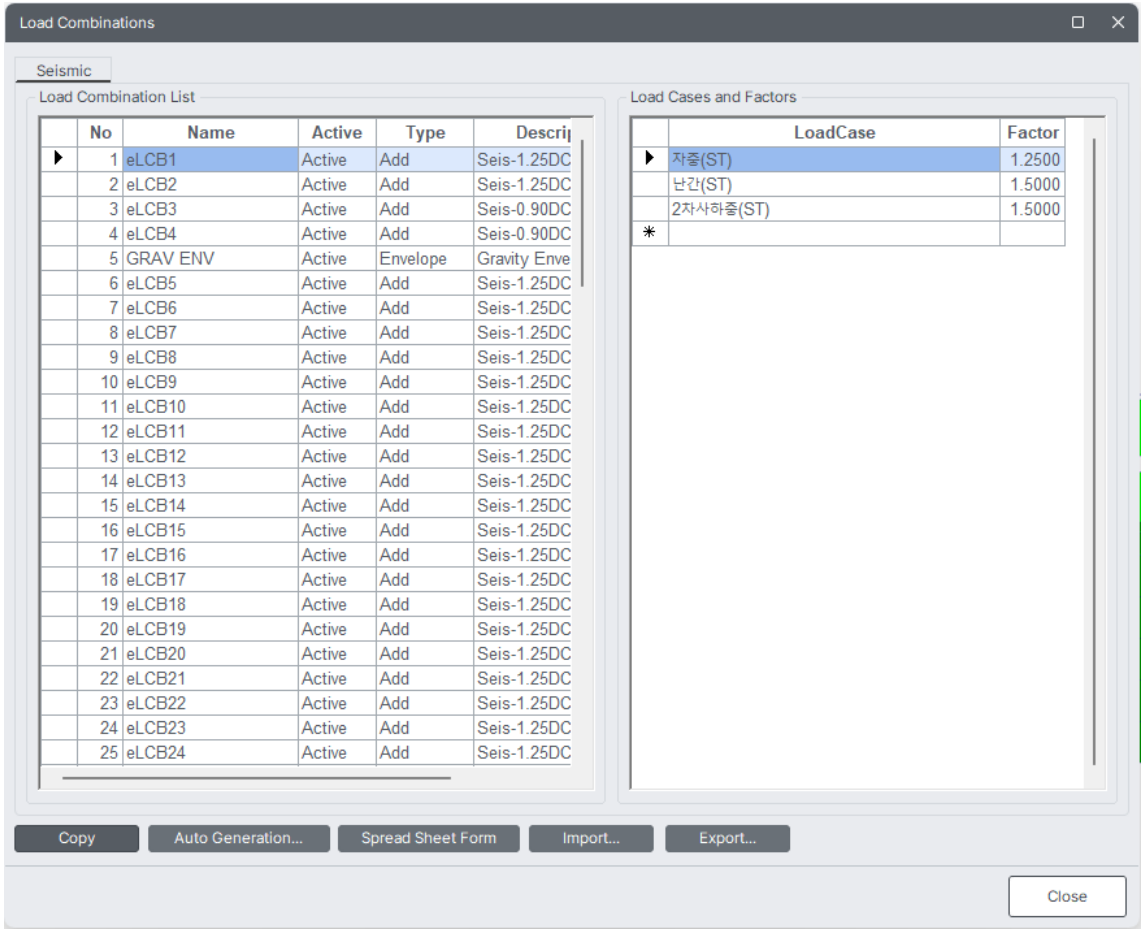
Automatic Generation of Load Combinations

1. Auto Generation Click
2. Load Factor(DC/DW) : Both
3. Selected : 자중 , 2차사하중 , 난간
4. Check Consider Orthogonal Effect(100:30 Rule)
5. Orthogonal Loads Group : Select Both(+)
6. Define Orthogonal Load Cases
   Longitudinal : X-dir(RS)
   Transverse : Y-dir(RS)
   Vertical : Z-dir(RS)





Seismic Load Combination



No	Name	Active	Type	Descri
1	eLCB1	Active	Add	Seis-1.25DC
2	eLCB2	Active	Add	Seis-1.25DC
3	eLCB3	Active	Add	Seis-0.90DC
4	eLCB4	Active	Add	Seis-0.90DC
5	GRAV ENV	Active	Envelope	Gravity Enve
6	eLCB5	Active	Add	Seis-1.25DC
7	eLCB6	Active	Add	Seis-1.25DC
8	eLCB7	Active	Add	Seis-1.25DC
9	eLCB8	Active	Add	Seis-1.25DC
10	eLCB9	Active	Add	Seis-1.25DC
11	eLCB10	Active	Add	Seis-1.25DC
12	eLCB11	Active	Add	Seis-1.25DC
13	eLCB12	Active	Add	Seis-1.25DC
14	eLCB13	Active	Add	Seis-1.25DC
15	eLCB14	Active	Add	Seis-1.25DC
16	eLCB15	Active	Add	Seis-1.25DC
17	eLCB16	Active	Add	Seis-1.25DC
18	eLCB17	Active	Add	Seis-1.25DC
19	eLCB18	Active	Add	Seis-1.25DC
20	eLCB19	Active	Add	Seis-1.25DC
21	eLCB20	Active	Add	Seis-1.25DC
22	eLCB21	Active	Add	Seis-1.25DC
23	eLCB22	Active	Add	Seis-1.25DC
24	eLCB23	Active	Add	Seis-1.25DC
25	eLCB24	Active	Add	Seis-1.25DC

LoadCase	Factor
자중(ST)	1.2500
난간(ST)	1.5000
2차사하중(ST)	1.5000

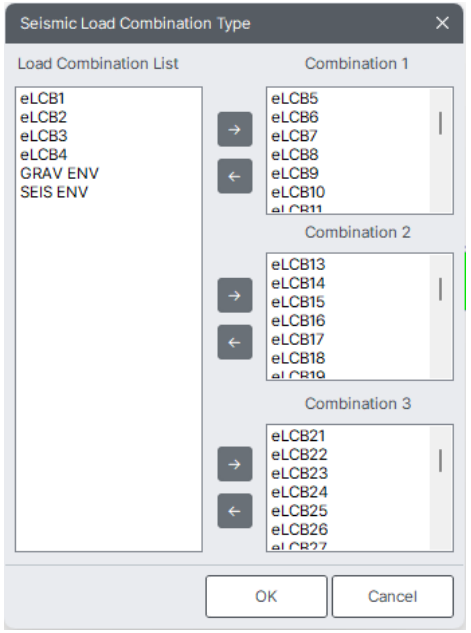
Tip

- Seismic Load Auto Generation 기능을 통해 생성된 하중조합의 경우 Seismic Load Combination Type의 Combination 1~3으로 자동 분류됩니다.
- Seismic Load Auto Generation 기능을 사용하지 않고 직접 사용자가 생성한 하중조합 또는 수정된 데이터가 발생할 경우 Seismic Load Combination Type을 직접 분류해야 합니다.

교축방향 $[F_E{}^L]_{COMB} = 1.0 \times [F_E{}^L]_L + 0.3 \times < [F_E{}^L]_T + [F_E{}^L]_V >$

교직방향 $[F_E{}^T]_{COMB} = 1.0 \times [F_E{}^T]_T + 0.3 \times < [F_E{}^T]_L + [F_E{}^T]_V >$

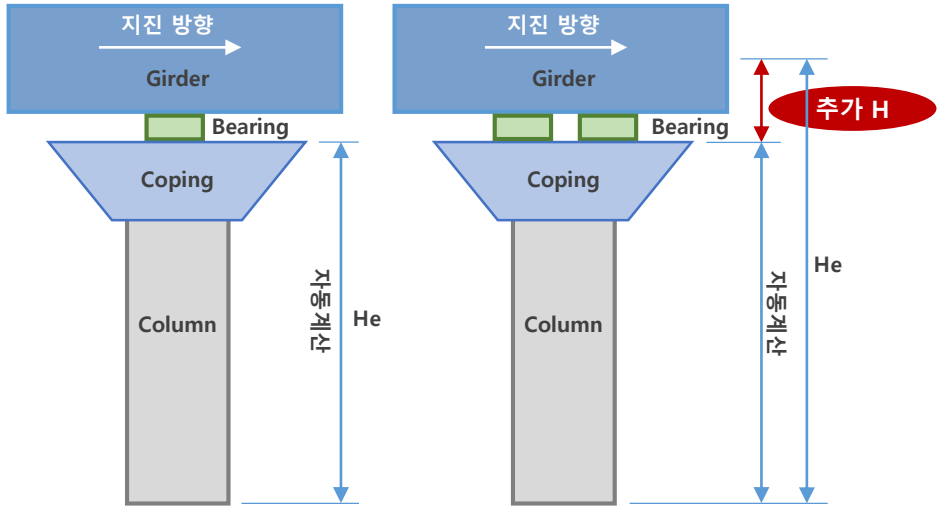
수직방향 $[F_E{}^V]_{COMB} = 1.0 \times [F_E{}^V]_V + 0.3 \times < [F_E{}^V]_L + [F_E{}^V]_T >$

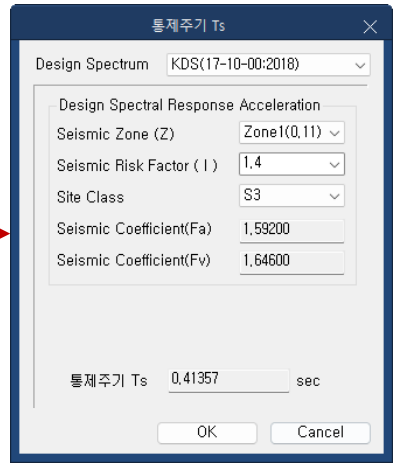


Evaluation Parameter

1. Eva. Group : P1 , Column : C_1
2. Effective Length
   Longitudinal Dir. : 캔틸레버거동 , 1.125 m (Center-z : 0.725 + 받침높이 : 0.4)
   Transverse Dir. : 라멘거동 , He1(2.5) , He2(2.5)
3. 철근 상세 : 단일철근(0%)
4. 통제주기 Ts : 0.41357 sec

위의 프로세스를 반복하여
P1&P2(C_1, C_2)의 Evaluation Parameters를 정의합니다.



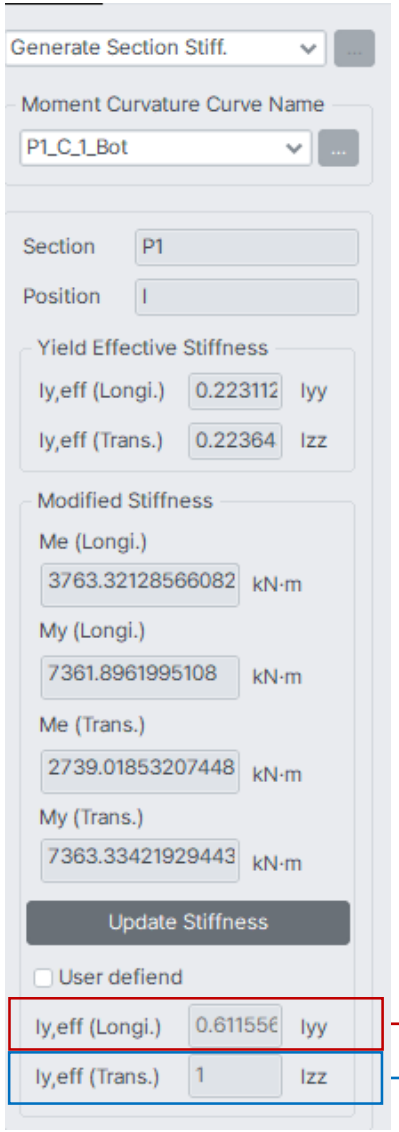


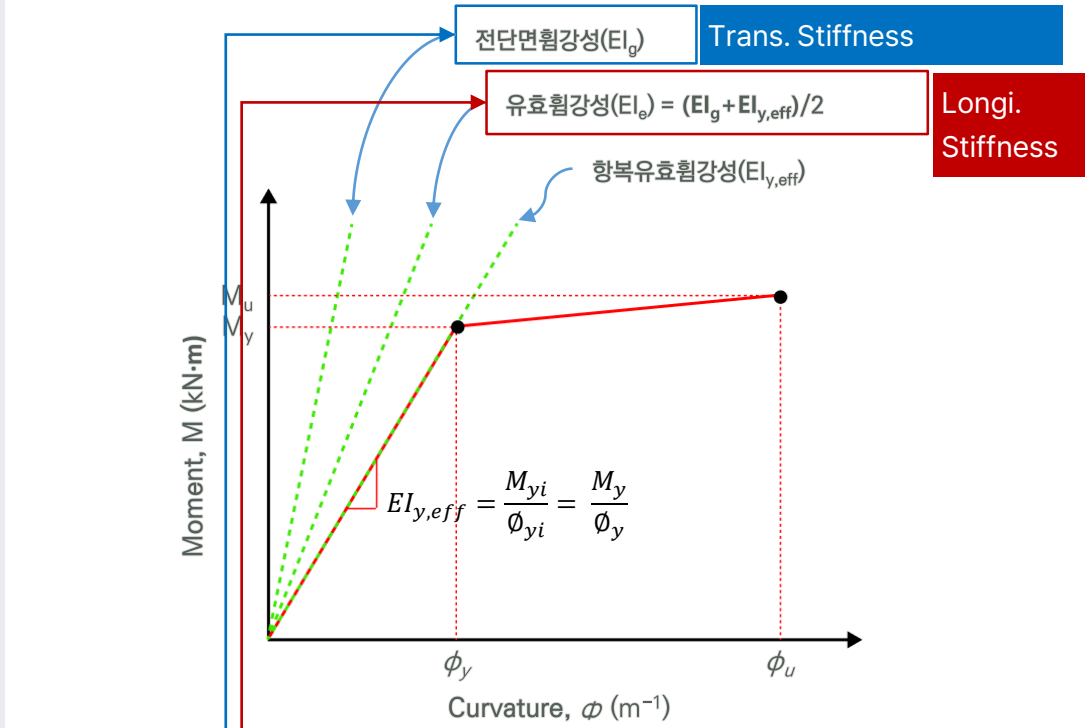
Evaluation Perform

- 기존 평가는 항복유효강성으로 해석하여 평가를 진행하지만
KALIS2023에서는 탄성조합 휨모멘트와 비교하여 최종 강성을 산정한다.

Generate Section Stiffness

1. M-C Curve Name : P1_C_1_Bot
2. Modified Stiffness
   Me(Longi.) : 3763.321 kN.m
   My(Longi.) : 7361.896 kN.m
   Me(Trans.) : 2739.019 kN.m
   My(Trans.) : 7363.314 kN.m
3. Update Stiffness Click
4. Operations : Add





P2 기둥에 업데이트될 M-C Curve 데이터를 P2_C_1_Bot로 선택하여 위의 프로세스를 통해 적용합니다.

Apply 버튼을 누르면 P1&P2 기둥단면에 Section Stiffness Scale Factor가 적용되어 Pre-Mode로 전환되기 때문에 재해석을 수행합니다.

6.3 교각 휨강성 산정

1) 항복강성

가) 교축방향

$$E_c I_{y,eff}^{L} = \frac{M_y^{L}}{\Phi_y^{L}} = \frac{7457.259}{0.00157} = 4744077.665 \ kN/m^2$$

나) 교축직각방향

① 기둥하부

$$E_c I_{y1,eff}^{T} = \frac{M_{y1}^{T}}{\Phi_{y1}^{T}} = \frac{7467.311}{0.00157} = 4755766.922 \ kN/m^2$$

② 기둥상부

$$E_c I_{y2,eff}^{T} = \frac{M_{y2}^{T}}{\Phi_{y2}^{T}} = \frac{7179.067}{0.00157} = 4566414.865 \ kN/m^2$$

2) 항복유효단면2차모멘트

가) 교축방향

$$I_{y,eff}^{L} = \frac{E_c I_{y,eff}^{L}}{E_c} = \frac{4744077.665}{26701000.000} = 0.178 \ m^4 = 0.226 \ I_g^{L}$$

나) 교축직각방향

① 기둥하부

$$I_{y1,eff}^{T} = \frac{E_c I_{y1,eff}^{T}}{E_c} = \frac{4755766.922}{26701000.000} = 0.178 \ m^4 = 0.227 \ I_g^{T}$$

② 기둥상부

$$I_{y2,eff}^{T} = \frac{E_c I_{y2,eff}^{T}}{E_c} = \frac{4566414.865}{26701000.000} = 0.171 \ m^4 = 0.218 \ I_g^{T}$$

3) 교각 휨강성 판정

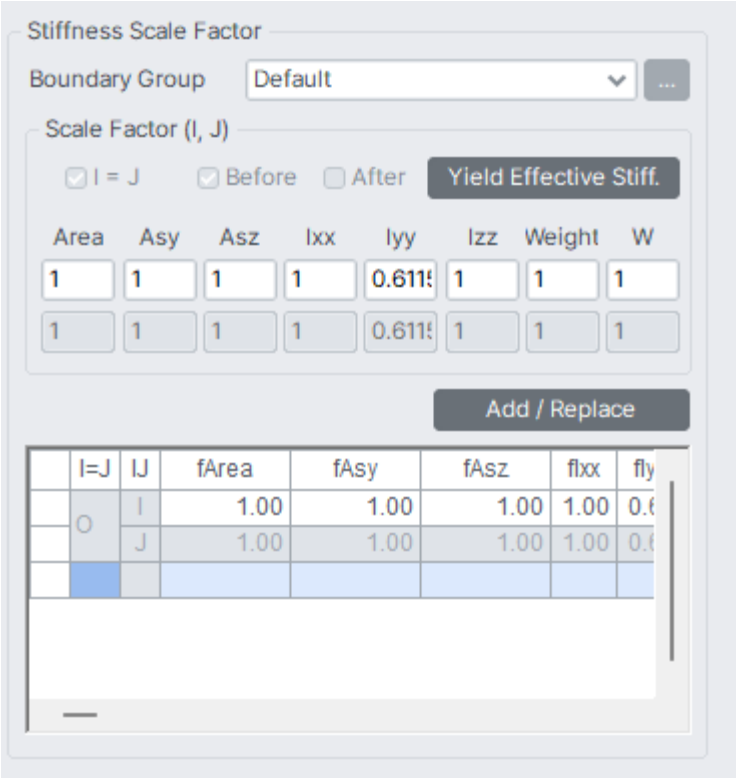
가) 교축방향 : P1(C_1)

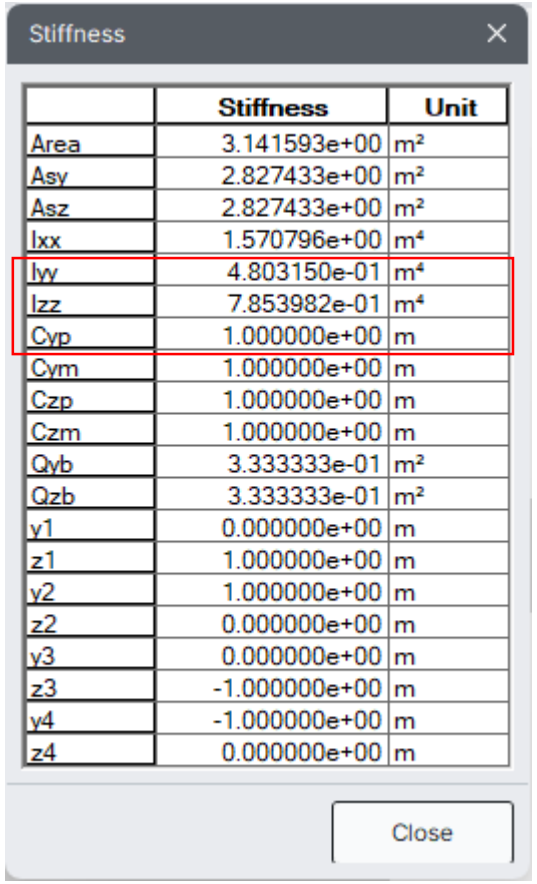
응답모멘트 ($[M_E]_{COMB,PD}$, kN·m)	항목모멘트 (M_y, kN·m)	휨모멘트 범위	적용
3853.113361	7457.259475	$M_y^{L}/2 \le [M_E^{L}]_{COMB,PD} \le M_y^{L}$	$1/2(E_c I_g^{L} + E_c I_{y,eff}^{L})$

나) 교축직각방향 : P1(C_1)

응답모멘트 ($[M_E]_{COMB,PD}$, kN·m)	항목모멘트 (M_y, kN·m)	휨모멘트 범위	적용
2778.435156	7467.311106	$[M_E^{T}]_{COMB,PD} < M_{y2}^{T}/2$	$E_c I_g^{T}$

Section Stiffness Scale Factor

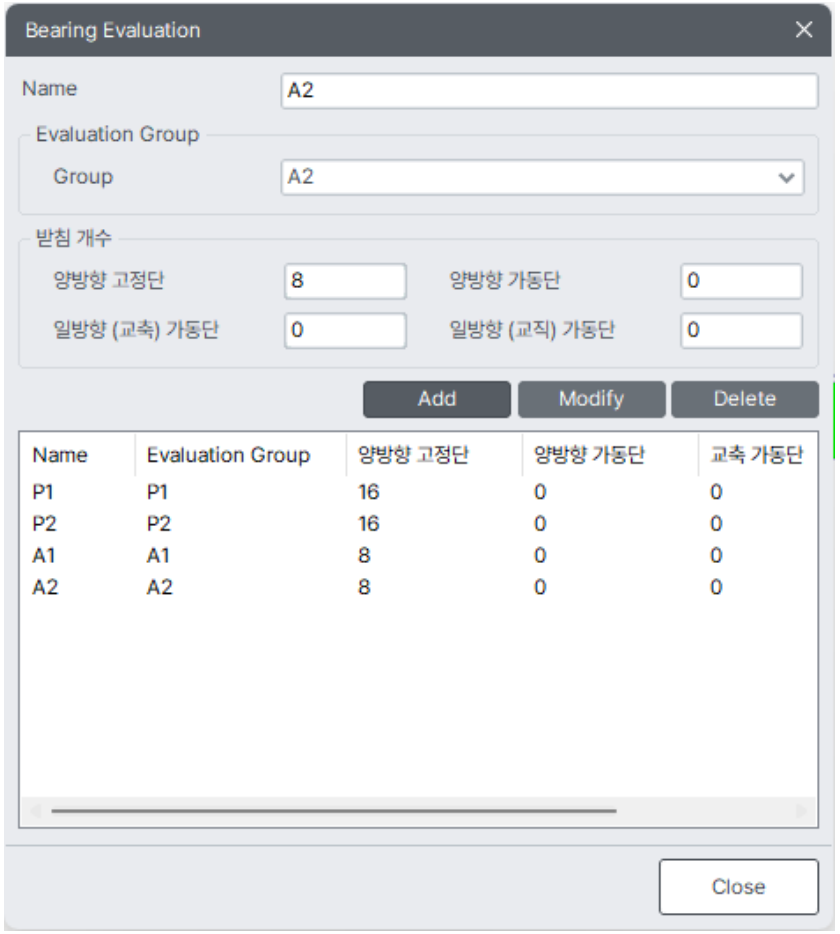




	Stiffness	Unit
Area	3.141593e+00	m²
Asy	2.827433e+00	m²
Asz	2.827433e+00	m²
Ixx	1.570796e+00	m⁴
Iyy	4.803150e-01	m⁴
Izz	7.853982e-01	m⁴
Cyp	1.000000e+00	m
Cym	1.000000e+00	m
Czp	1.000000e+00	m
Czm	1.000000e+00	m
Qyb	3.333333e-01	m²
Qzb	3.333333e-01	m²
y1	0.000000e+00	m
z1	1.000000e+00	m
y2	1.000000e+00	m
z2	0.000000e+00	m
y3	0.000000e+00	m
z3	-1.000000e+00	m
y4	-1.000000e+00	m
z4	0.000000e+00	m

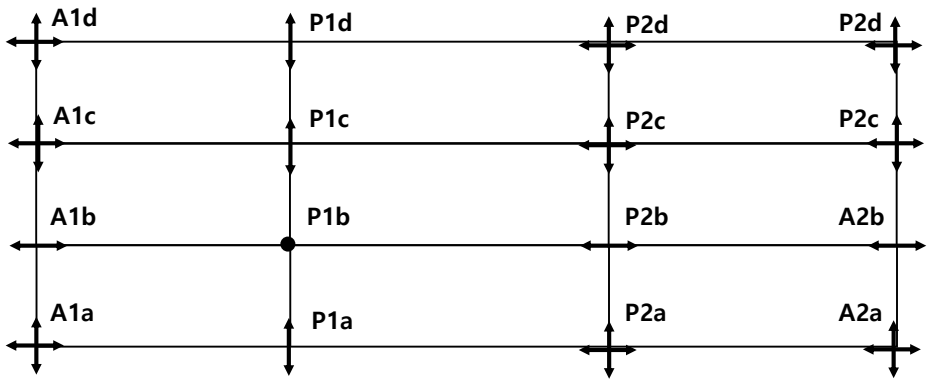
탄성받침 개수 및 고정단/가동단 정의

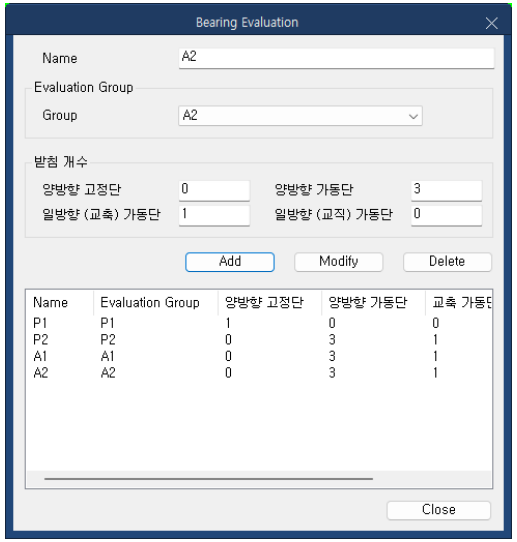
1. Evaluation Group : [P1]
2. 받침 개수 : 양방향 고정단 [16]
3. Click [Add]
4. Evaluation Group : [P2]
5. 받침 개수 : 양방향 고정단 [16]
6. Click [Add]
7. Evaluation Group : [A1]
8. 받침 개수 : 양방향 고정단 [8]
9. Click [Add]
10. Evaluation Group : [P1]
11. 받침 개수 : 양방향 고정단 [8]
12. Click [Add]



Tip

- 탄성받침일 경우 모든 받침이 탄성 받침 강성으로 저항하기 때문에 양방향 고정단으로 정의
- 포트받침일 경우 양방향 고정단, 양방향 가동단, 교축 가동단, 교축 직각 가동단으로 분류하여 정의
- Evaluation Group에서 정의된 Elastic Link 절점 쌍과 Bearing Evaluation 받침 개수는 동일해야 정의 가능
- 포트 받침의 고정단에 대한 강성은 일반적으로 10^7 kN.m 로 입력



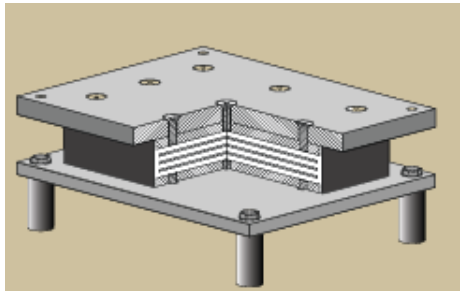


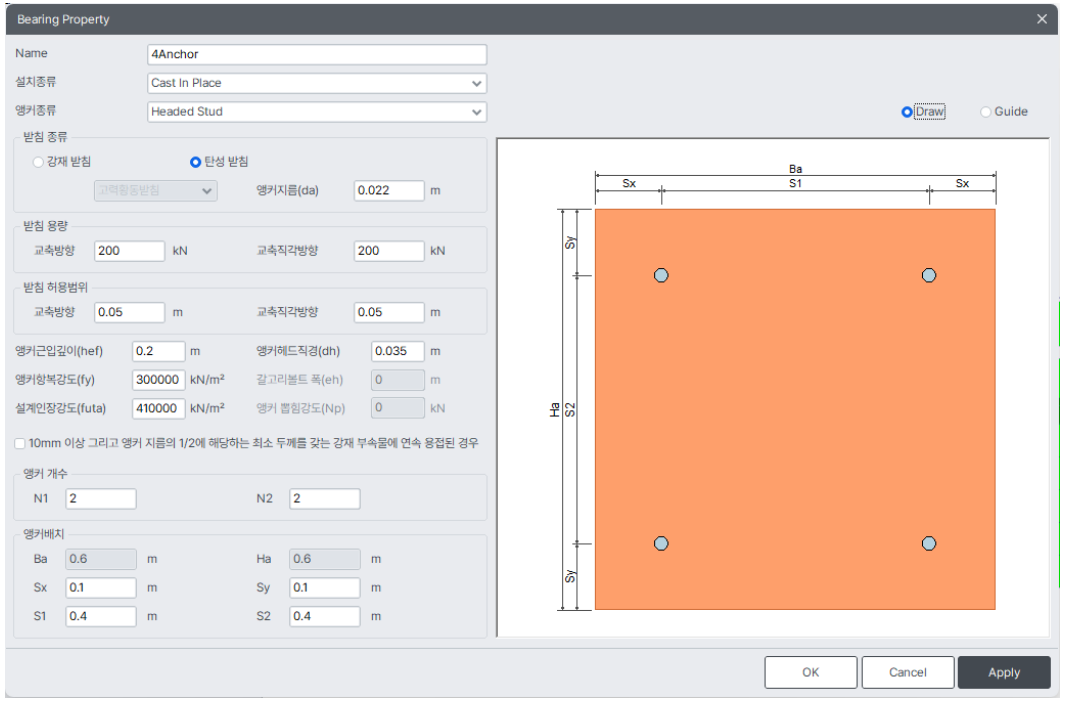
● : 모든 방향 자유도 구속

⟷ : 해당 방향 자유도 구속 해제

받침 종류/받침 용량/받침 제원/형상 정의

1. Name : [4Anchor]
2. 설치 종류 : [Cast In Place]
3. 앵커 종류 : [Headed Stud]
4. 받침 종류 : [탄성 받침] , 앵커 지름 : [0.022m]
5. 받침 용량 : [200 kN]
6. 받침 허용 변위 : [0.05 m]
7. 앵커근입깊이(hef) : [0.2 m] , 앵커 항복강도(fy) : [300 Mpa]
   설계인장강도(futa) : [410 MPa] , 앵커헤드직경(dh) : [0.035 m]
8. 앵커 개수 : N1(2) , N2(2)
9. 앵커 배치 : Sx(0.1 m) , S1(0.4 m) , Sy(0.1 m) , S2(0.4 m)



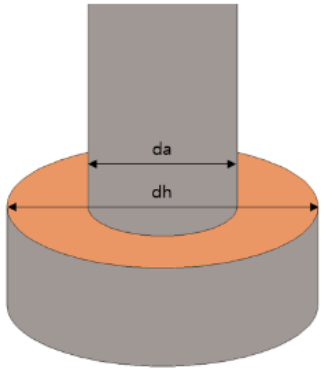


Tip

- 앵커 헤드 직경(dh)는 어디에 사용되나요?

앵커헤드직경(dh)는 받침 인장 검토에서 지압면적(Abrg) 계산에 사용됩니다.

모든 설치 종류와 앵커 종류에 적용되는 것은 아니며, 아래 그림과 같이 선설치 앵커(Cast In Place) 중 헤드스터드(Headed Stud), 헤드볼트(Headed Bolt) 적용시 아래 수식과 같이 지압면적에 적용됩니다.



Abrg = π*dh2 /4 - π*da2 /4

dh : 앵커의 헤드직경

da : 앵커의 지름

인장을 받는 앵커의 뽑힘 검토

$N_{pn} = \psi_{c,P} N_p$

N_p : 균열콘크리트에서 인장을 받는 단일 앵커의 뽑힘강도

- 후설치 앵커 : 실험 결과값 사용(사용자 입력)
- 선설치 앵커

헤드스터드, 헤드볼트 $N_p = 8A_{brg}f_{ck}$

갈고리볼트 $N_p = 0.9f_{ck}e_h d_a$ ($3d_a \le e_h \le 4.5d_a$)

$\psi_{c,P} = 1.0$ (균열이 발생한 경우)

인장을 받는 앵커의 콘크리트 측면 파열 검토

- 선설치 앵커

hef ≥ 2.5ca1인 경우만 검토

단일헤드앵커 $N_{sb} = 13c_{a1}\sqrt{A_{brg}}\sqrt{f_{ck}}$

ca2<3ca1 이면 $N_{sb} = \{(1+c_{a2}/c_{a1})/4\}(13c_{a1}\sqrt{A_{brg}}\sqrt{f_{ck}})$

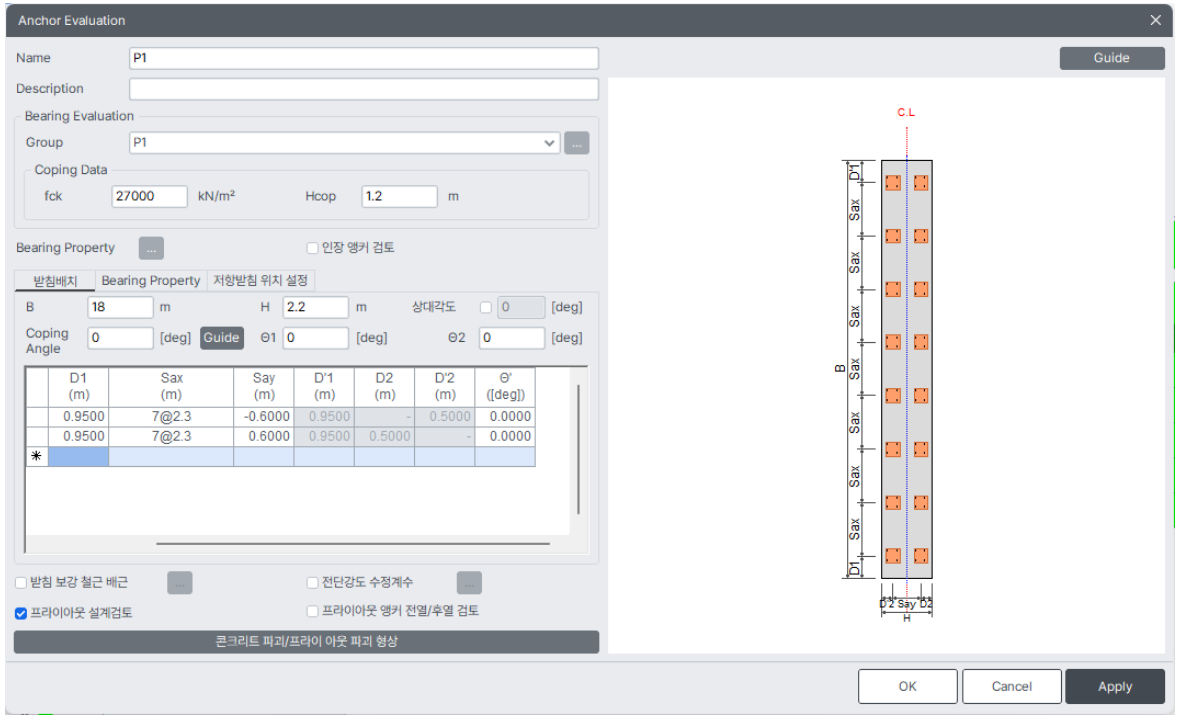
단, $1.0 \le c_{a2}/c_{a1} \le 3.0$

$s_1 < 6c_{a1}$ 인 앵커그룹

$N_{sbg} = (1+s_1/6c_{a1})N_{sb}$

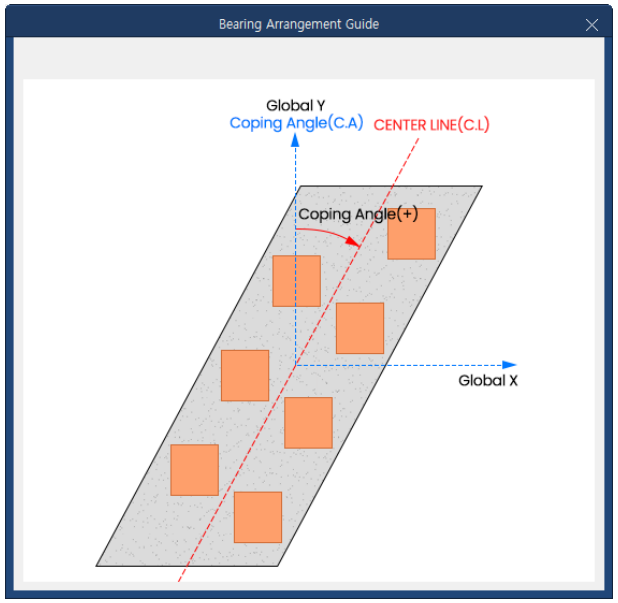
받침 배치/Bearing Property/저항받침 위치 설정

1. 코핑 제원 : B(18.00 m) , H(2.20 m)
2. Layer Input Data
   1 Layer : D1(0.95 m) , Sax(7@2.3 m) , Say(-0.6 m)
   2 Layer : D1(0.95 m) , Sax(7@2.3 m) , Say(0.6 m)

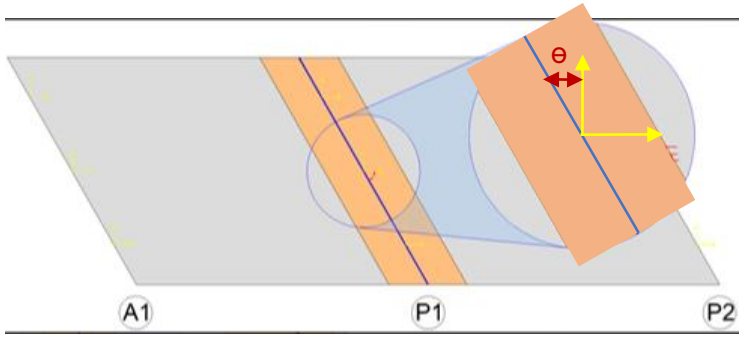


Tip

- Coping Angle은 코핑부 모델링 축선과 Global Axis와의 각도를 의미하며 입력값에 따라 실제 코핑부 형상과 받침의 위치를 고려하여 파괴 형상을 작도하게 됩니다.



- 상대각도를 체크할 경우 코핑의 축선과 받침 간의 상대각도를 계산하여 받침의 소요역량을 산정하게 됩니다.



$F_{nL} = F_L\cos\theta + F_T\sin\theta$

$F_{nT} = F_L\sin\theta + F_T\cos\theta$

여기서,

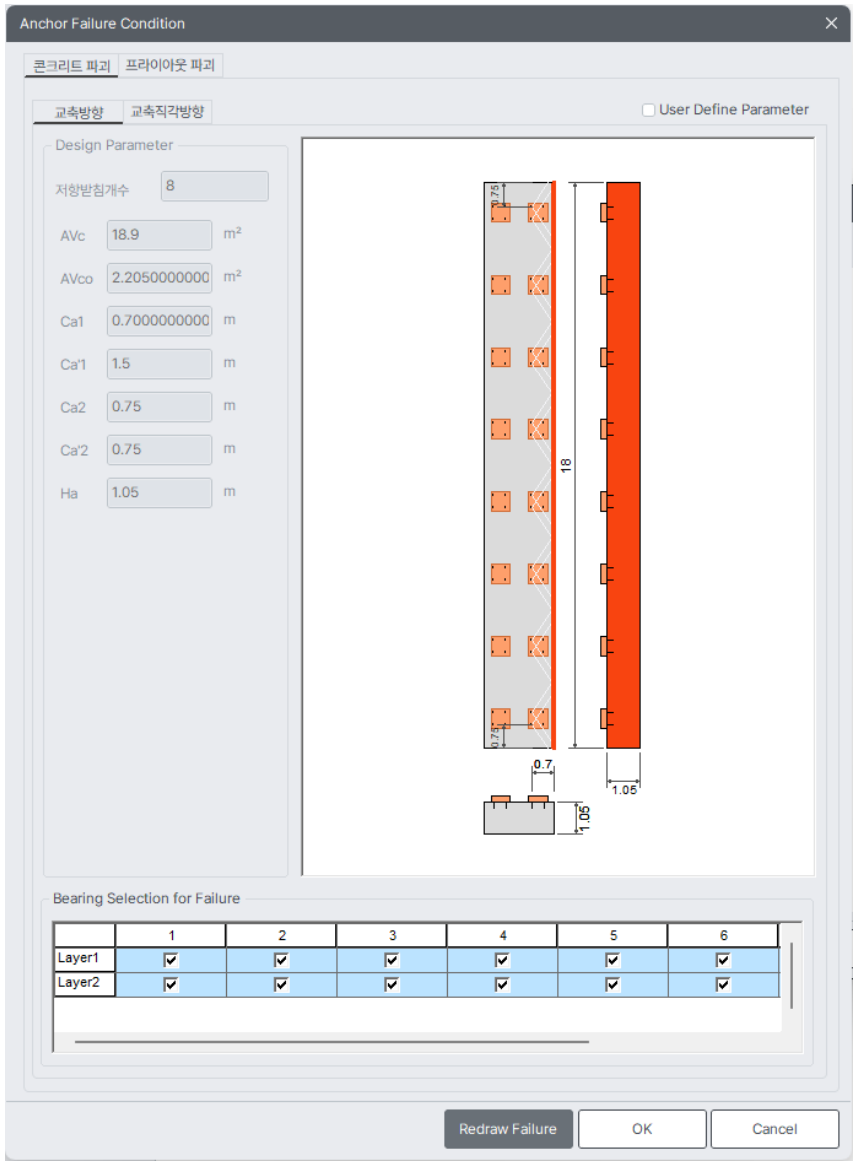
F_L= 기둥 요소의 Local-z의 단면강도 또는 조합탄성지진력

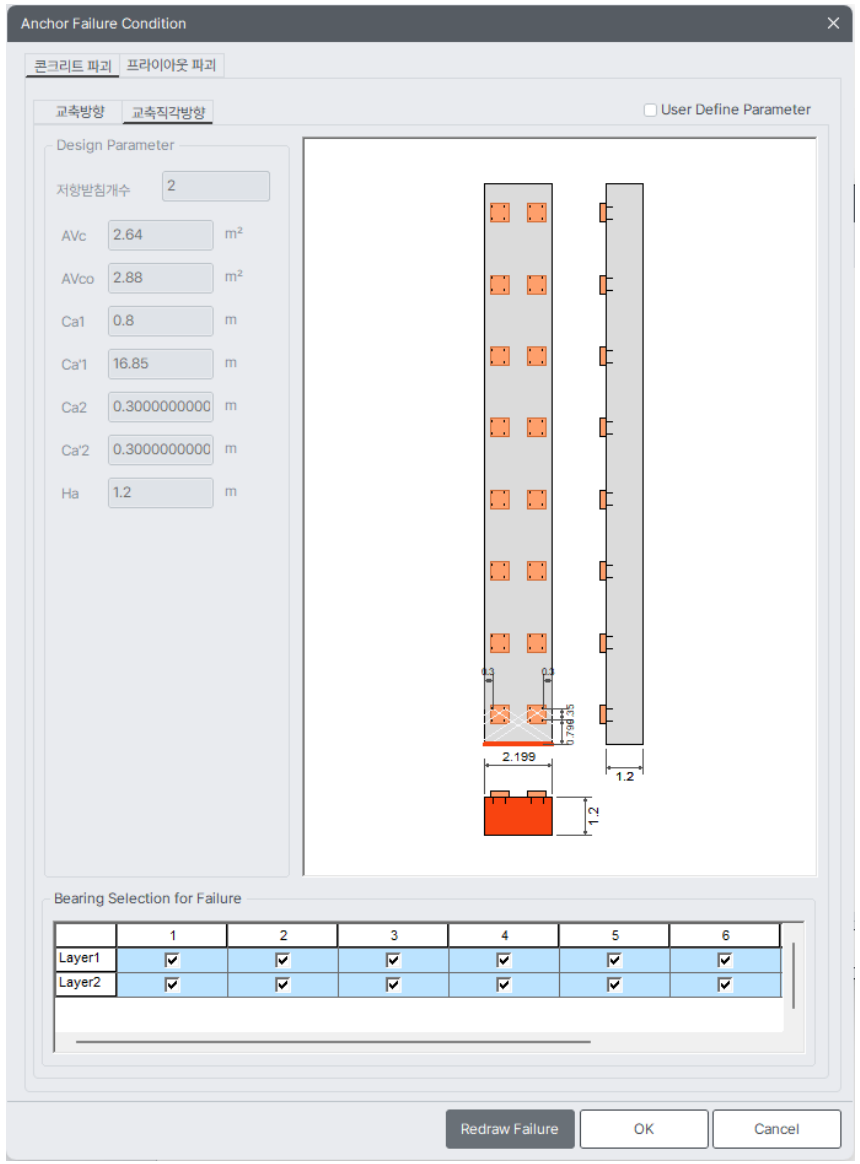
F_T= 기둥 요소의 Local-y의 단면강도 또는 조합탄성지진력

내진성능평가 시연

CVL

콘크리트(브레이크아웃) 파괴

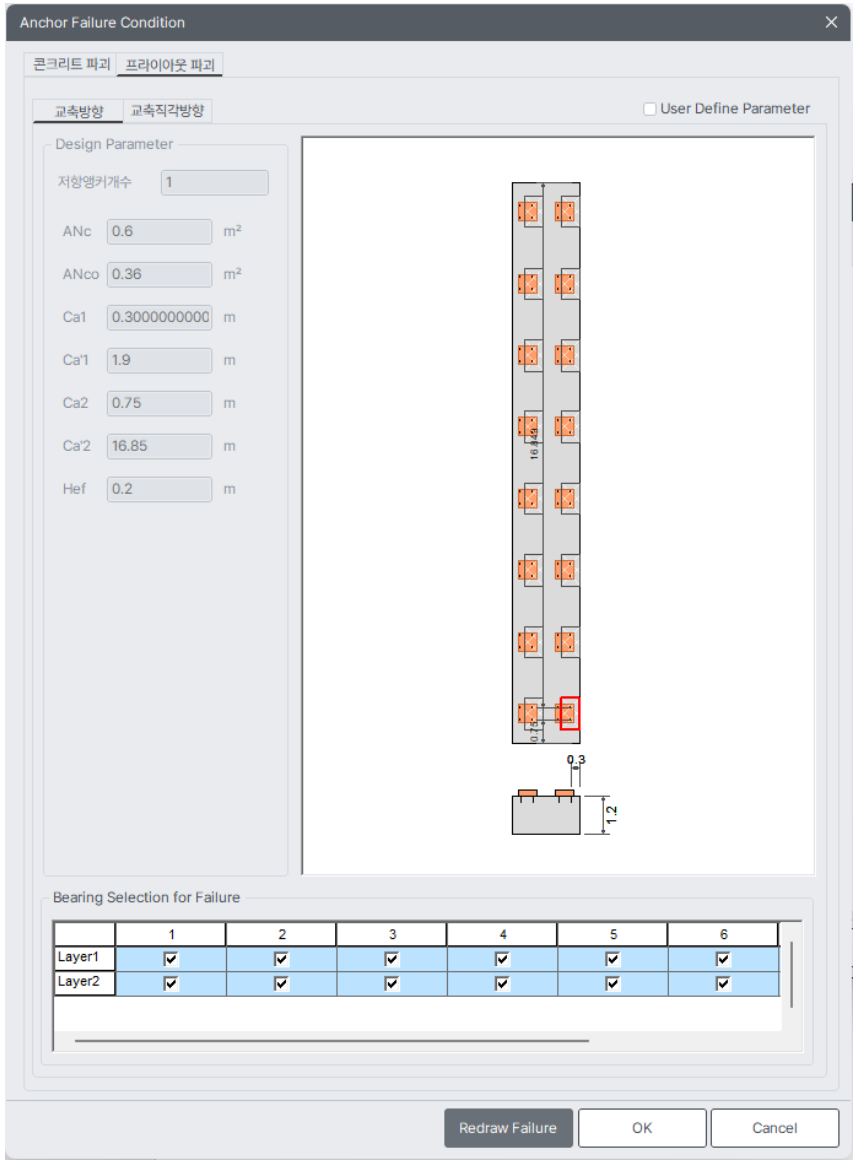


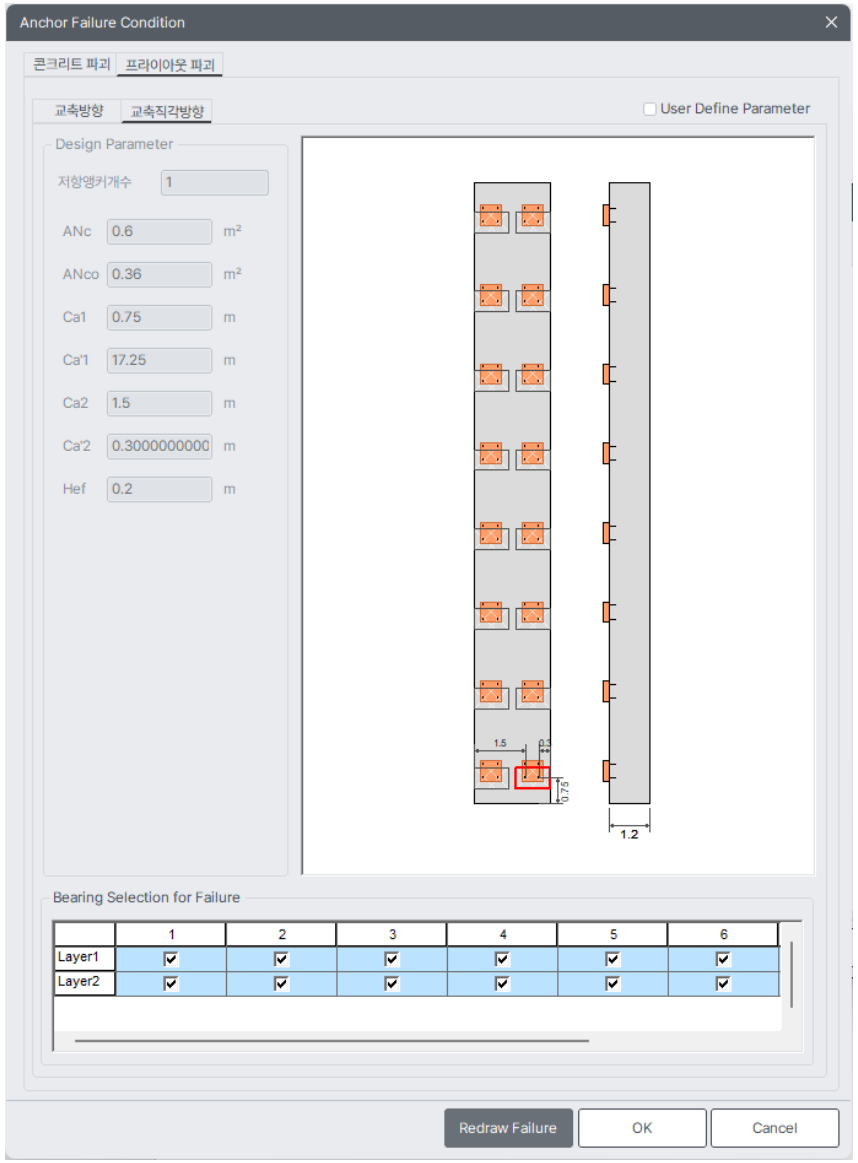


내진성능평가 시연

CVL

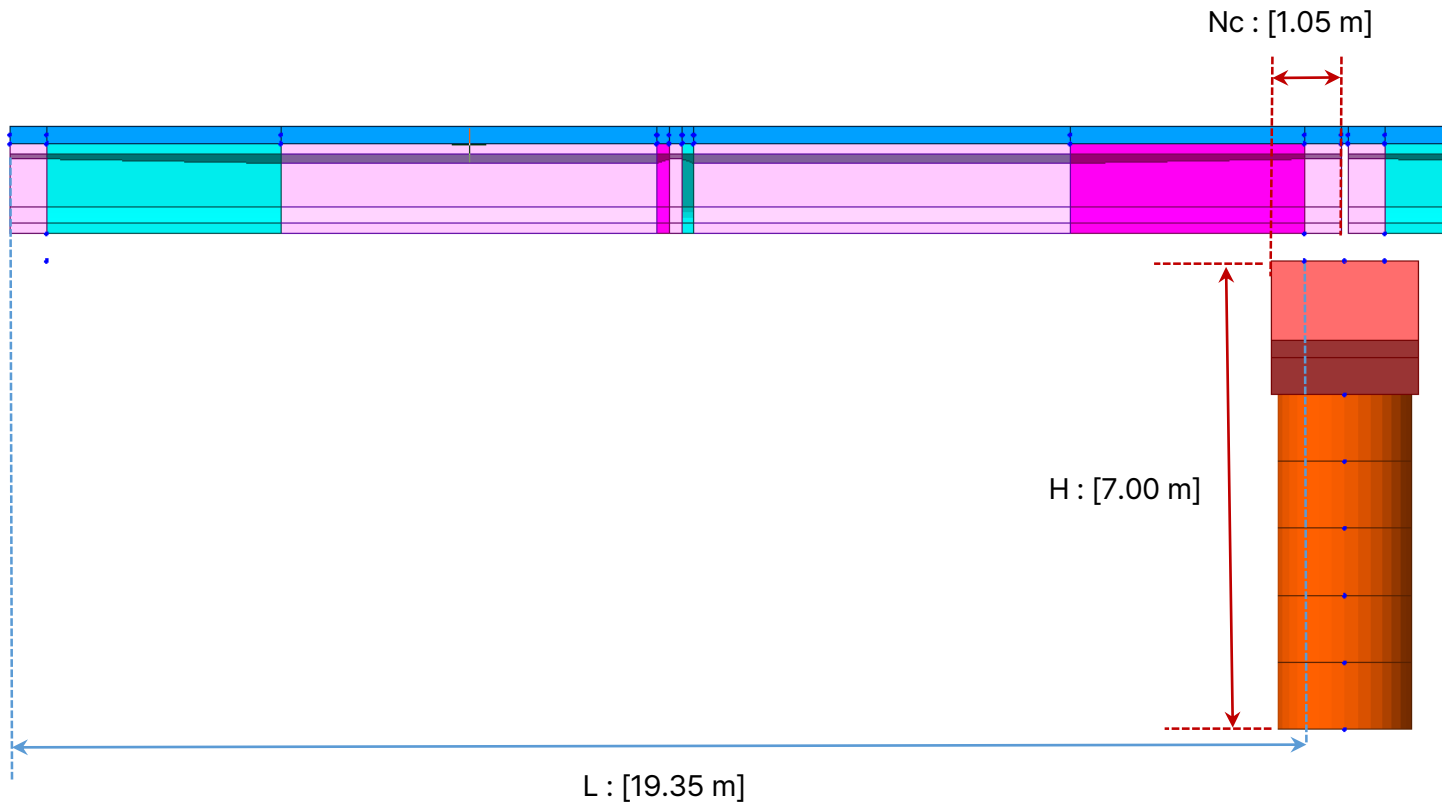
프라이아웃 파괴





받침지지길이 검토

1. Name : [P1]
2. Anchor Evaluation : [P1]
3. H : [7.00 m]
4. Nc : [1.05 m]
5. L : [19.35 m]



Part3_면제진을 활용한 내진성능평가

지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

CVL

내진 시스템

Earthquake Energy

Structure:

- Plastic Deformation
- High Repair Cost

- Damage on Contents

면진 / 제진 시스템

Earthquake Energy

Structure:

- Nearly Elastic Behavior
- Low Repair Cost

or

Unnecessary

- Protection of Contents

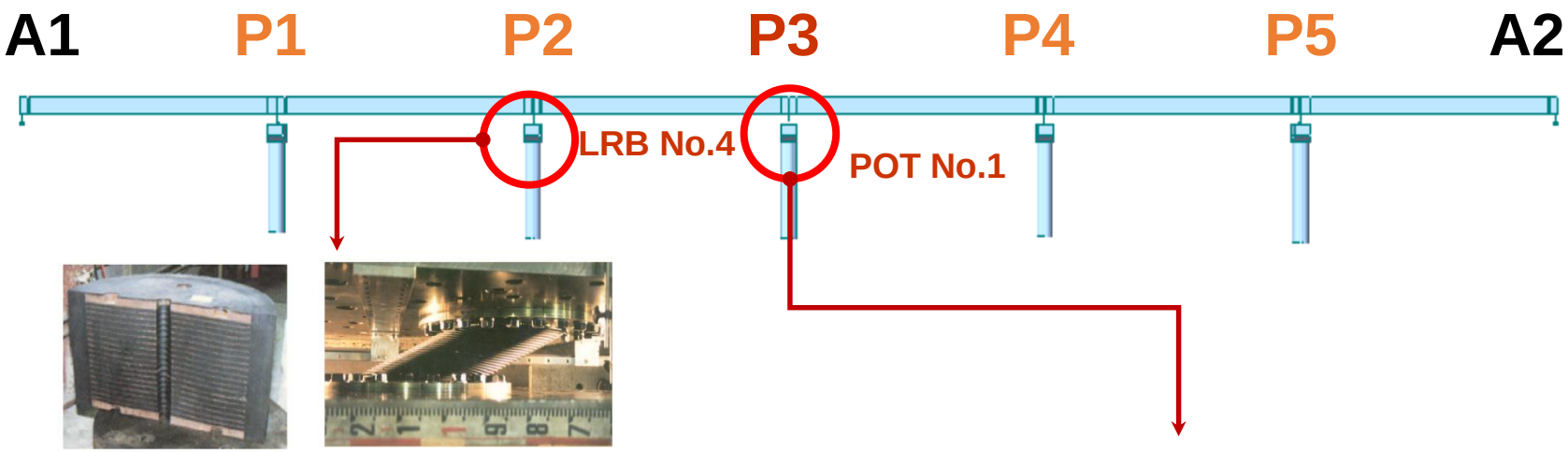
Isolator / Damper

- Inelastic Behavior
- Easy Replacement

or

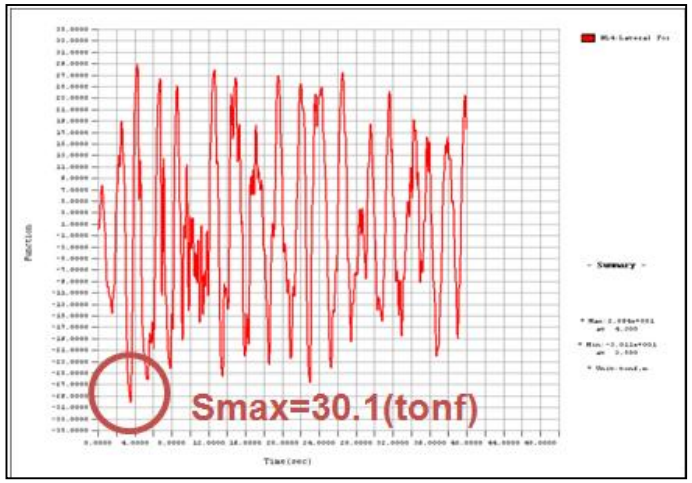
Unnecessary

지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

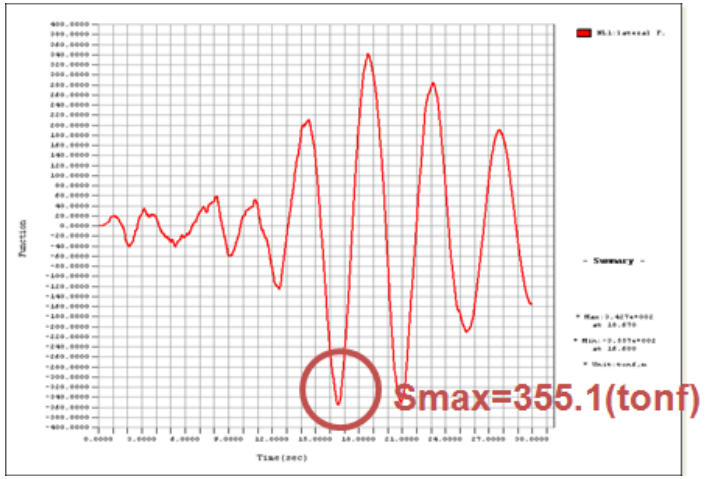


면진시스템- LRB No.4

내진시스템- POP No.1 (고정단)



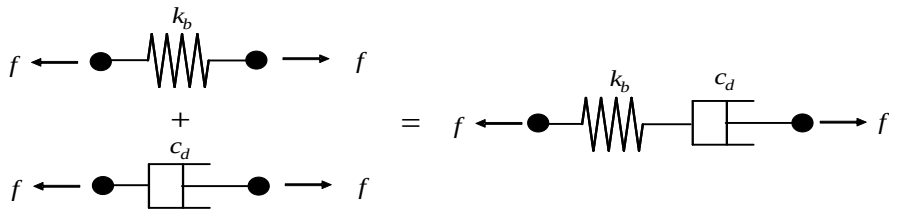
전단 이력 (교축방향) – P2



전단 이력 (교축방향) – 고정단 P3

제진 장치

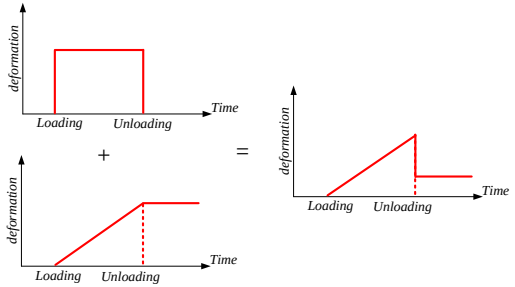
Viscous Damper (Maxwell Model)



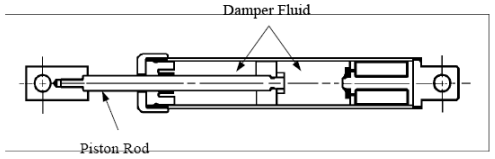
Maxwell Model

$$f = c_d \, sign\left(\dot{d}_d\right)\left|\dot{d}_d\right|^S = k_b d_b$$

$$d = d_d + d_b$$

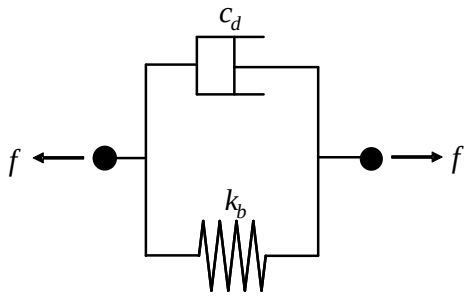


Deformation Process

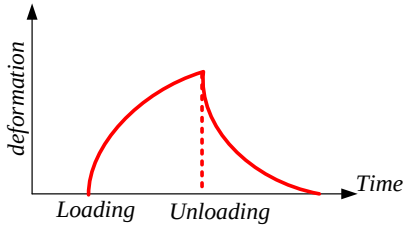


Fluid Viscoelastic Device

Viscous Damper (Kelvin Model)

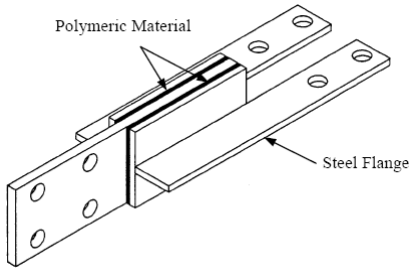


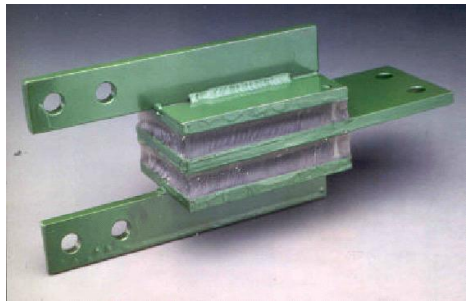
Kelvin(Voigt) Model



$$f = k_d d_d + c_d \, sign\left(\dot{d}_d\right)\left|\dot{d}_d\right|^S$$

$$d = d_d$$

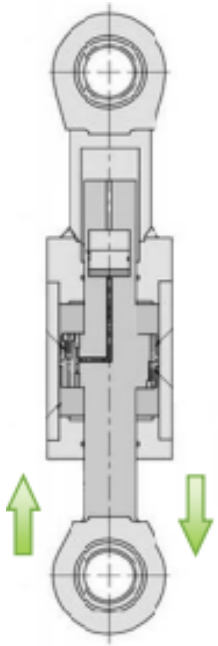




Solid Type Viscoelastic Device

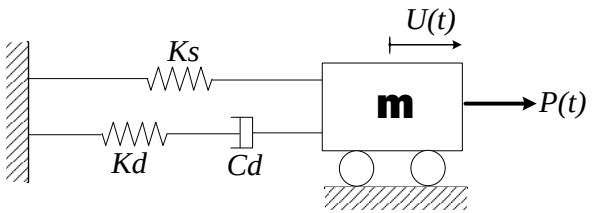
제진 장치

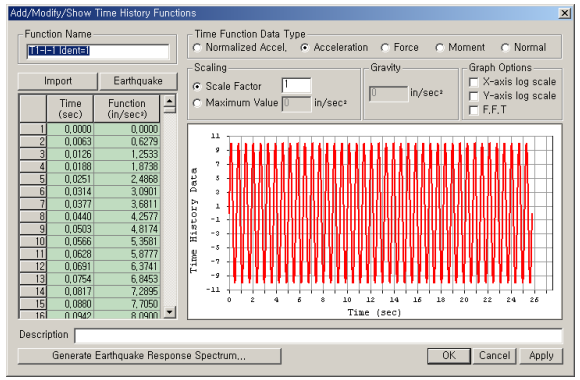
Seismic Control Device – Viscous Damper



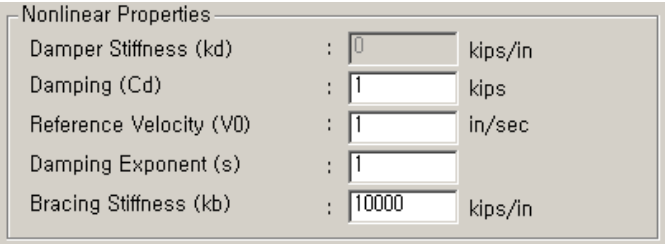
제진 장치

Seismic Control Device – Viscous Damper : Maxwell Model

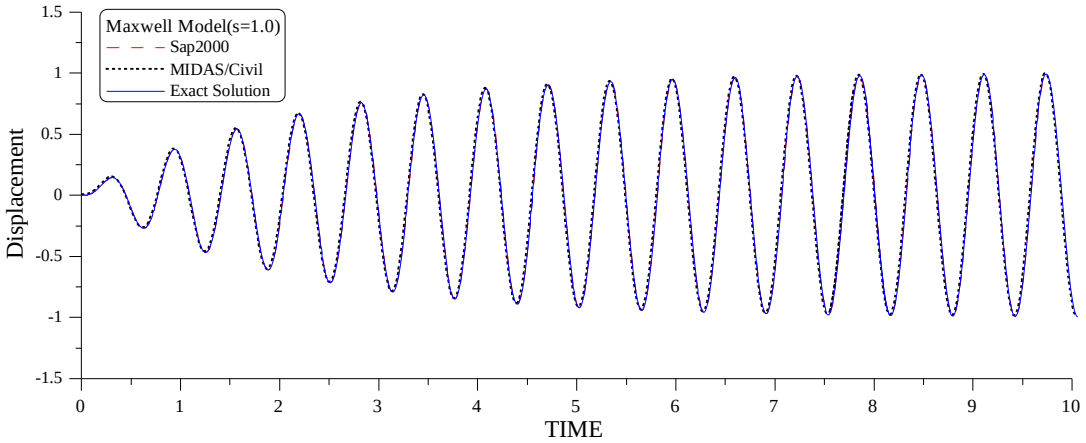




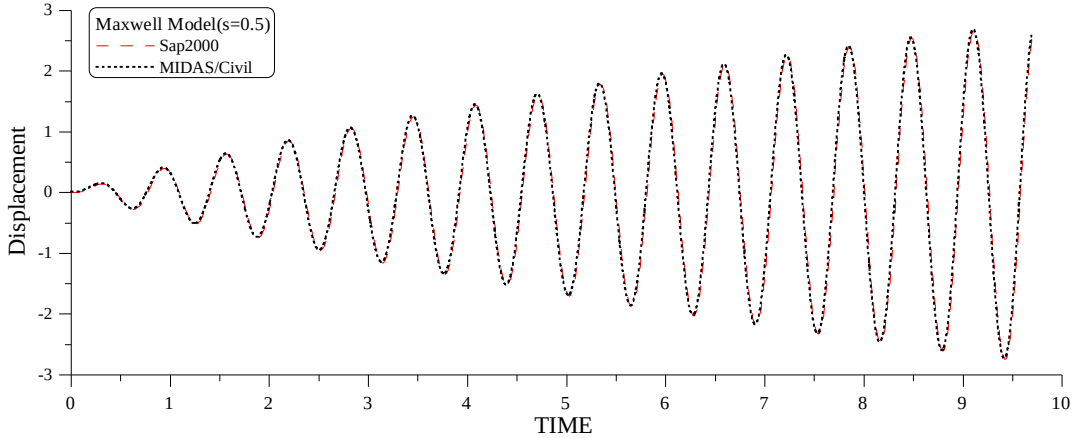
(b) Time Force Function



(c) 점탄성 감쇠기의 비선형 특성



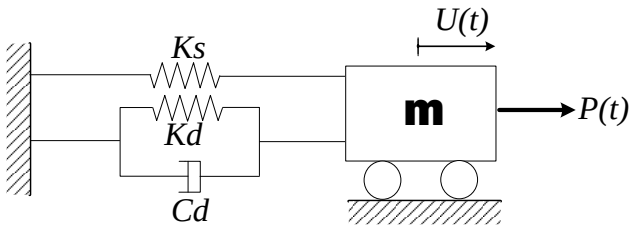
(a) Maxwell Model (s=1.0)

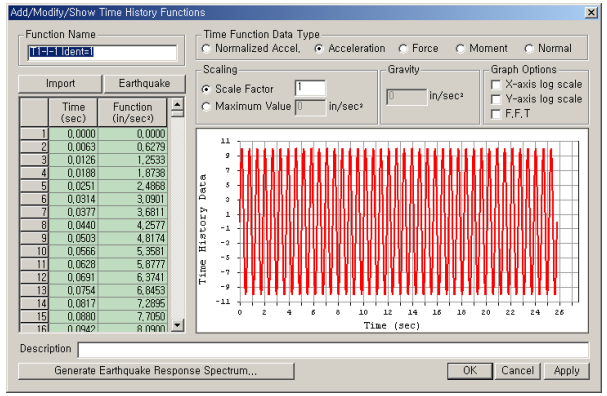


(b) Maxwell Model (s=0.5)

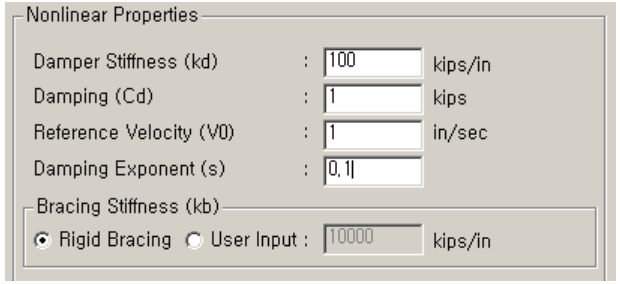
제진 장치

Seismic Control Device – Viscous Damper : Kelvin Model

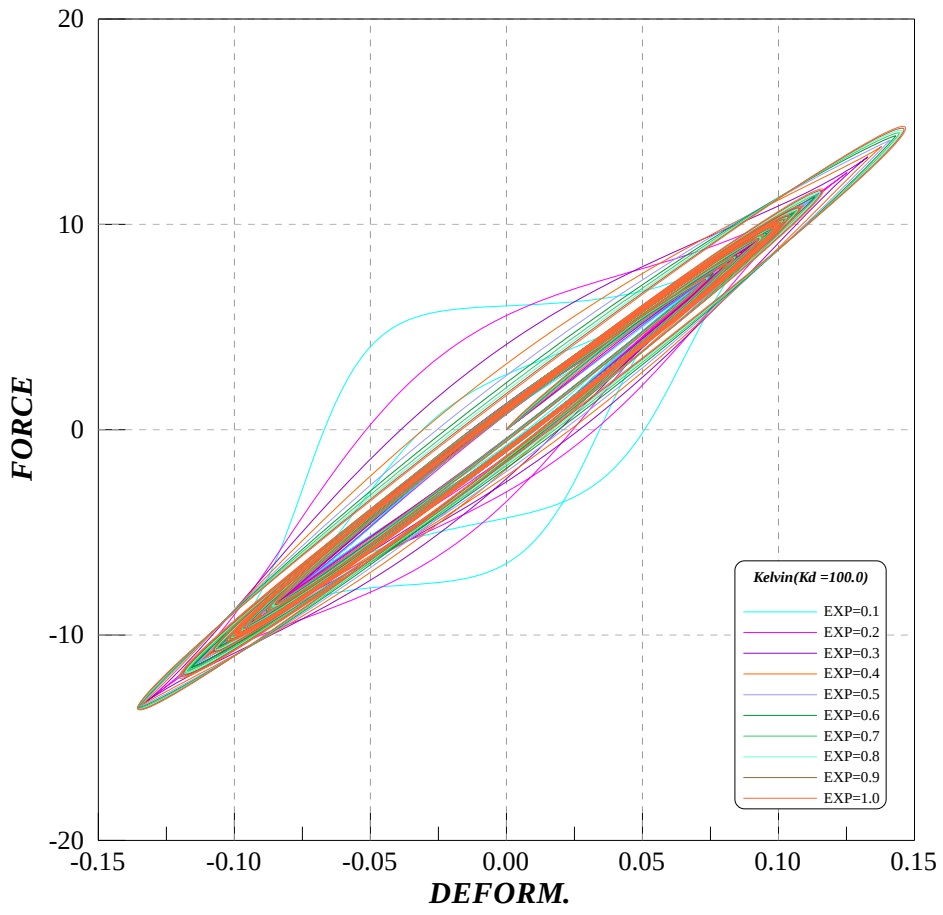




(b) Time Force Function



(c) 점탄성 감쇠기의 비선형 특성

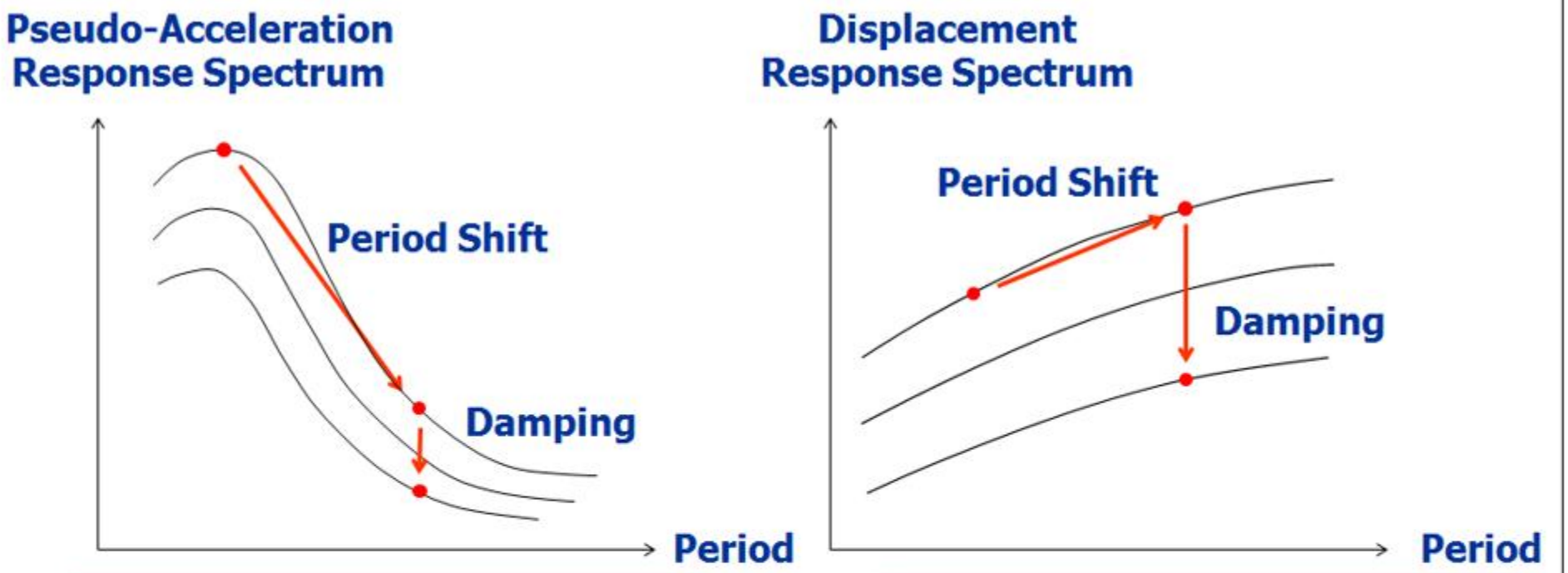


점탄성 댐퍼 해석결과 (변위응답)

지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

CVL

면진 장치 : Isolator



Period Shift

- Isolator Flexibility after Yielding
- Force Reduction :
  Building Damage Reduction
- Isolator Displacement Increase

Damping Increase

- Energy Dissipation
  by Isolator Plastic Behavior
- Isolator Displacement Reduction
- Building Damage Reduction

지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

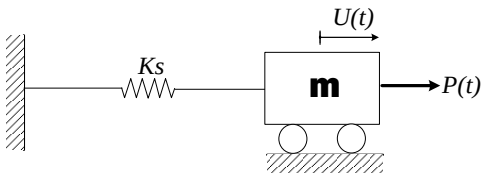
CVL

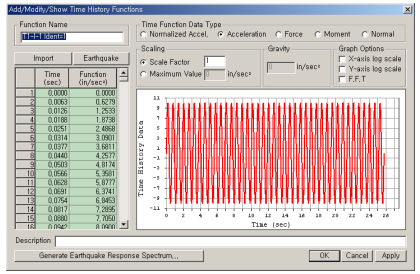
면진 장치 : Hysteresis Isolator

지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

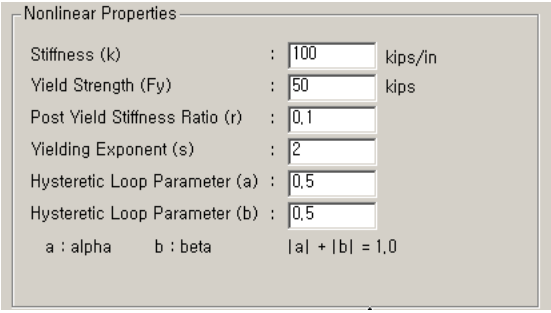
CVL

면진 장치 : Hysteresis Isolator

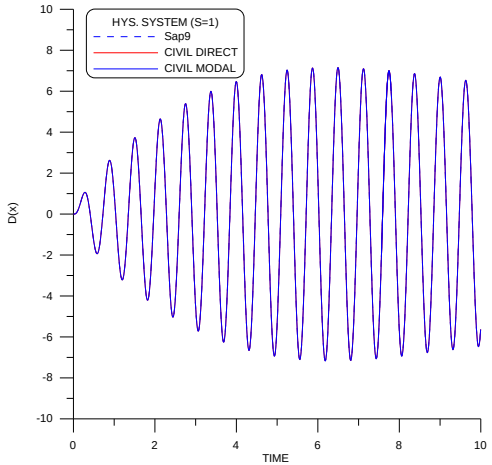




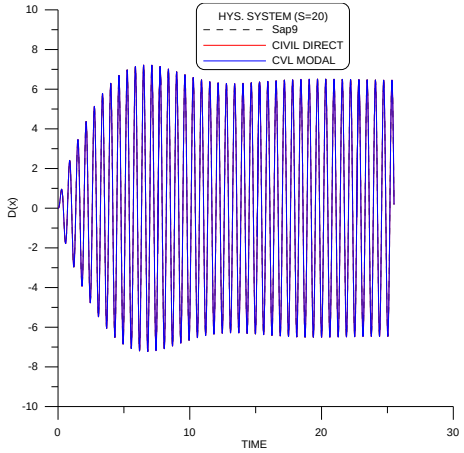
(b) Time Force Function



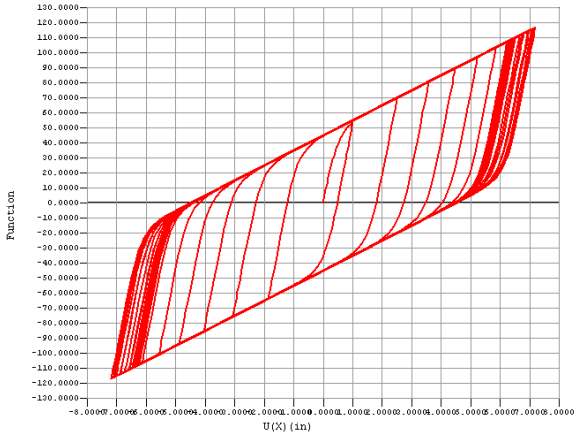
c) Hysteretic System의 비선형 특성



a) 변위응답(s=1.0)



b) 변위응답(s=20.0)

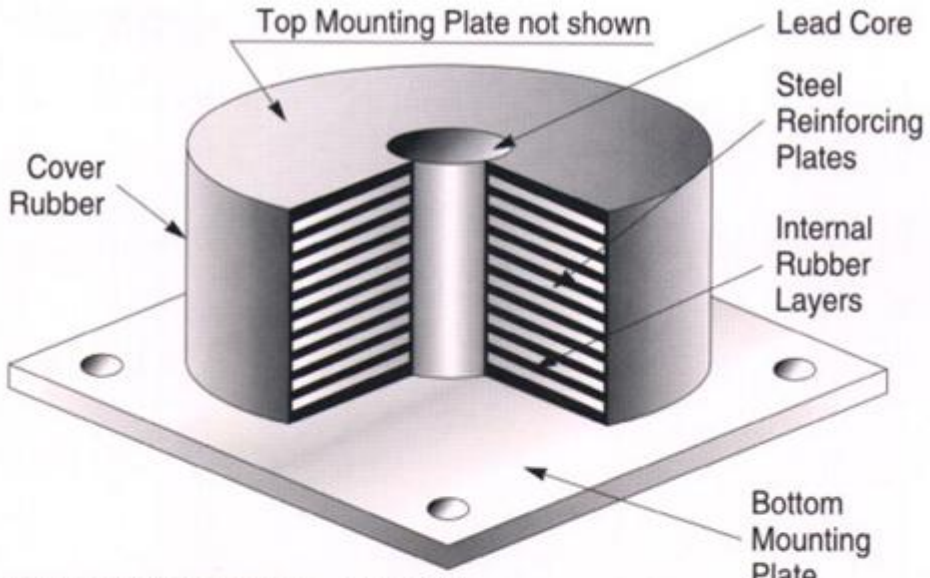


c) 이력특성(s=2)

지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

CVL

면진 장치 : Lead Rubber Bearing(LRB) Isolator



특허 : U.S.A Patent Nos. 4,117,637, 4,499,694 and 4,593,502

Lead :
- Energy Dissipation
- Wind Resistance
- Deformation Recovery

Rubber :
- Lateral Flexibility

Steel Plate :
- Vertical Load Capacity

지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

CVL

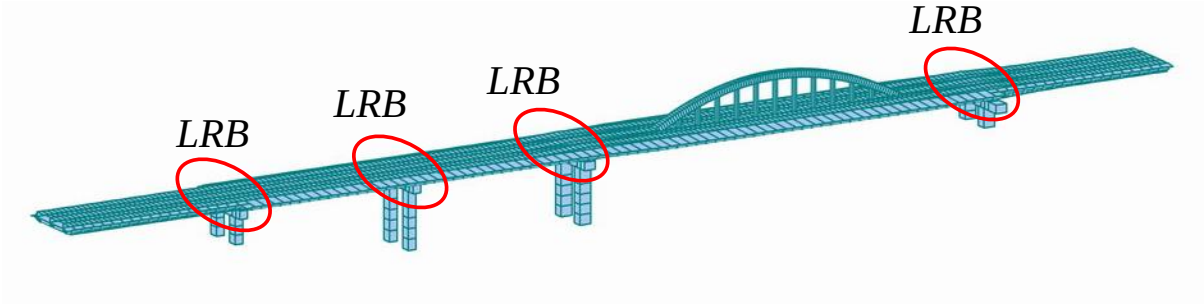
면진 장치 : Lead Rubber Bearing(LRB) Isolator

Yamaguchi Dome, Japan

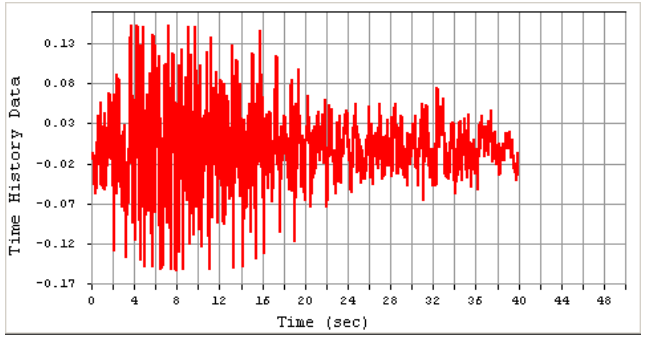
지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

CVL

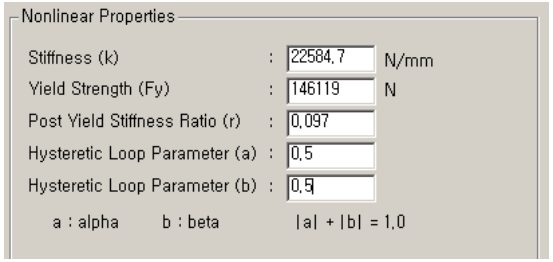
면진 장치 : Lead Rubber Bearing(LRB) Isolator



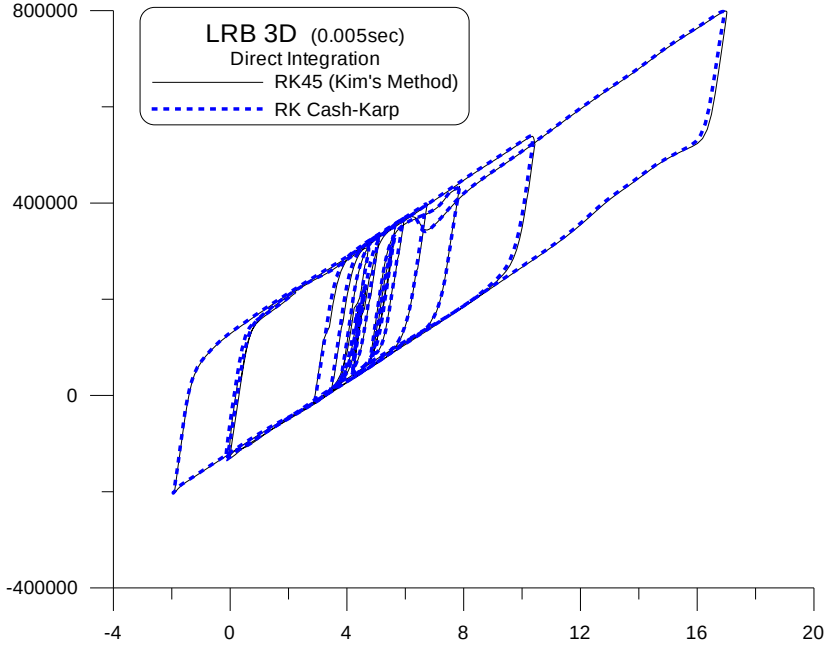
a) LRB 면진장치가 설치된 교량 모델



b) Time Force Function



c) LRB 면진장치의 비선형 특성

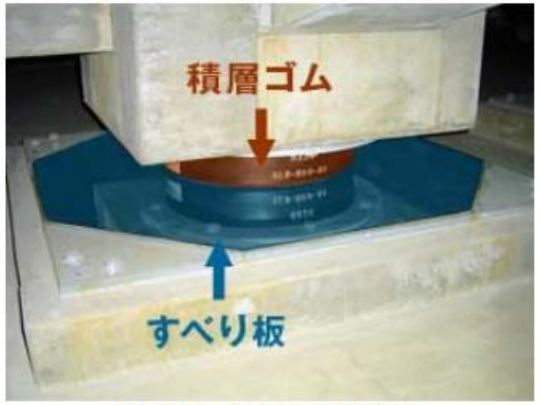


LRB 면진장치의 이력거동

지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

CVL

면진 장치 : Friction Pendulum System(FPS) Isolator



設置状況　すべり板を下に配置

設置状況　すべり板を上に配置

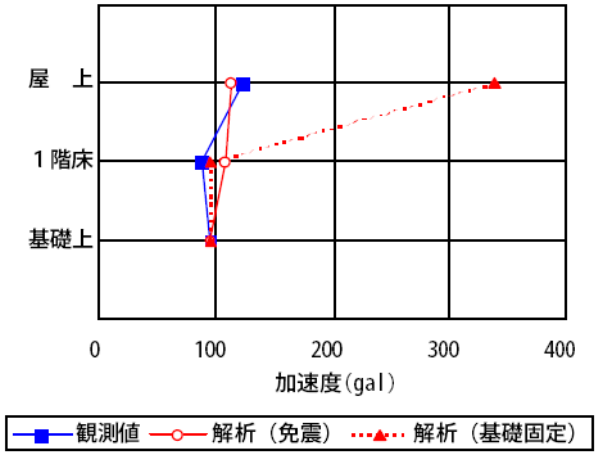
SLRを主装置に使用した低層建物

基礎ピット内の設置状況

지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

CVL

면진 장치 : Friction Pendulum System(FPS) Isolator



Ishikawa Science Park, Ishikawa Japan

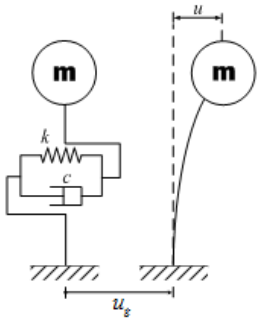
지진 피해 방지를 위한 구조 시스템

CVL

면진 장치 : Friction Pendulum System(FPS) Isolator

1DOF MODEL – SLD(Sliding Bearings) | Num. of MSS : 12

1DOF MODEL

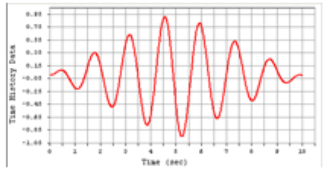


$Mass = 5102.04\ N/g$

$Elastic\ Stiffness = 1000\ N/m$

$Undamped\ System$

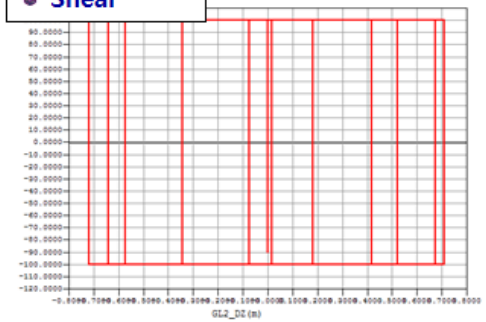
■ Dynamic Loading



(Scale Factor =5)

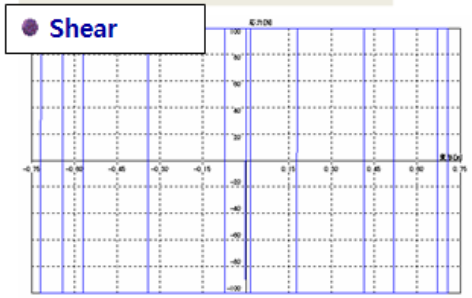
MIDAS : SLD

● Shear

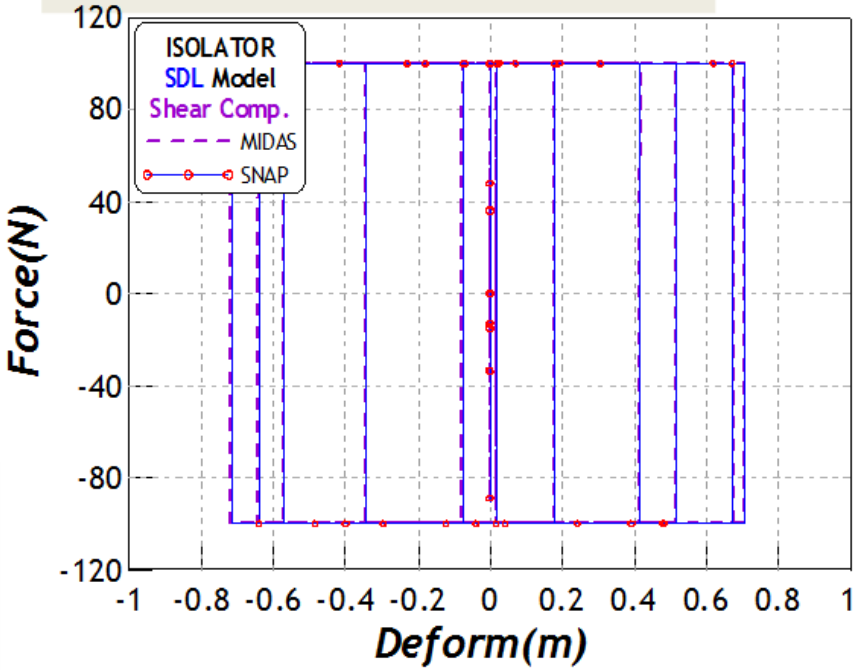


SNAP : SDL

● Shear



HYSTERESIS CURVE RESULT : MIDAS vs SNAP



● **SLD Properties**

$\tau_k = 1.0, \tau_q = 1.0$

$A_r = 271{,}430 mm^2$

$T_r = 200 mm$

● **Horizontal Direction Properties**

$K_0 = 1.230\ kN/mm$

$\mu 0 = 0.01$

$Pi = 10 kN$

Artificial Earthquake Generator

인공지진파 생성

1. Tools > Data Generator > Artificial Earthquake Generator
2. 새로 만들기 > 모델 > 인공지진파 > 추가 를 선택
3. “디자인 스펙트럼“ 버튼 Click , 지진파 생성 기준 및 조건 선택
4. 위험도 계수, 지진구역 계수를 입력
5. 스펙트럼 최대 주기를 입력 후 OK 버튼 Click
6. 상승시간 , 수평시간, 전체시간은 “KDS 17 10 00 내진설계 일반“을 참고
7. 수렴 확보를 위한 반복횟수를 설정하고 최대 가속도(S=Z*I)를 입력
   (반복횟수는 일반적으로 20 으로 적용)
8. 감쇠비 입력 (표준설계 응답스펙트럼의 감쇠비 , 5%)
9. 난수시드 Check 후 , 1000~1500의 임의의 값을 입력(홀수 입력 권장)
10. 인공지진파 생성 !!
11. Export 시, 가속도 그래프로 변경하여 시간에 따른 가속도 데이터로 출력

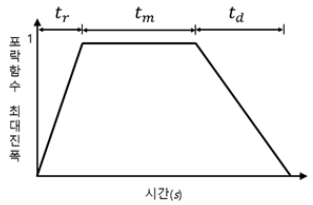
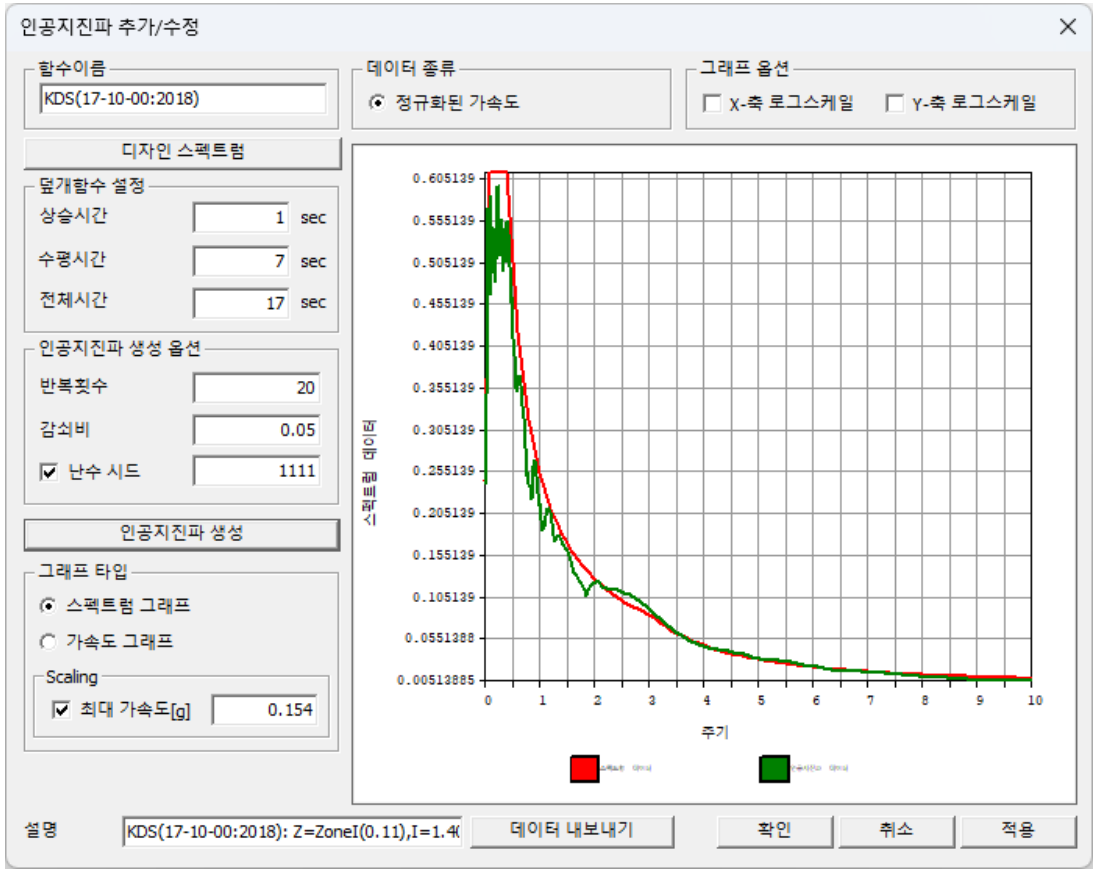
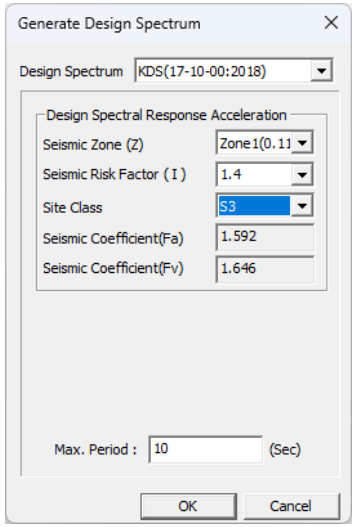


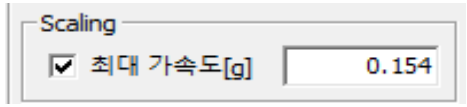
그림 4.2-3 가속도시간이력의 구간선형 포락함수

표 4.2-9 가속도시간이력 구간선형 포락함수에 대한 지진규모별 지속시간(단위: 초)

지진규모	상승시간 (t_r)	강진동지속시간 (t_m)	하강시간 (t_d)
7.0 이상-7.5 미만	2	12.5	13.5
6.5 이상-7.0 미만	1.5	9	10.5
6.0 이상-6.5 미만	1	7	9
5.5 이상-6.0 미만	1	5.5	8.0
5.0 이상-5.5 미만	1	5	7.5







인공지진파 적합성 검토

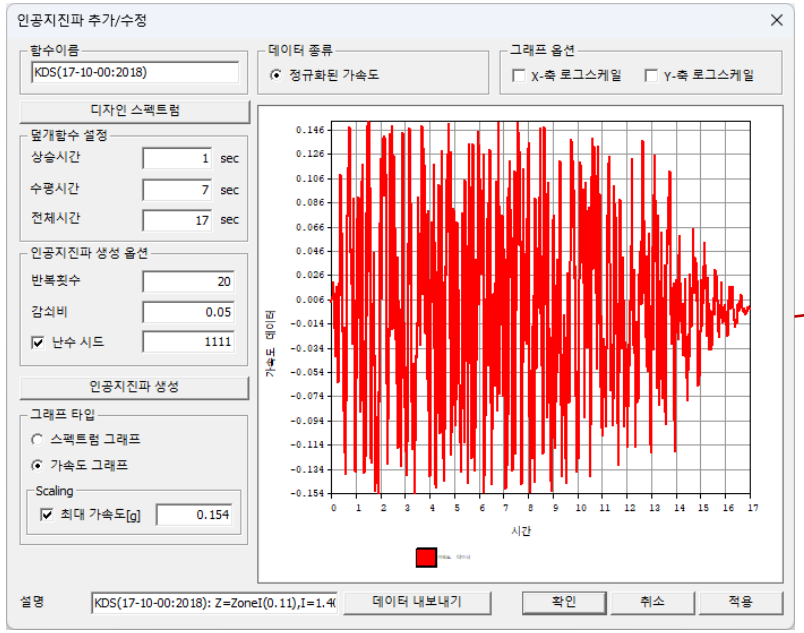
인공지진파 상관계수 검토

1. 2개의 가속도 시간이력 간의 상관계수는 0.16을 초과할 수 없으며, 이에 따른 상관계수 검토 필요

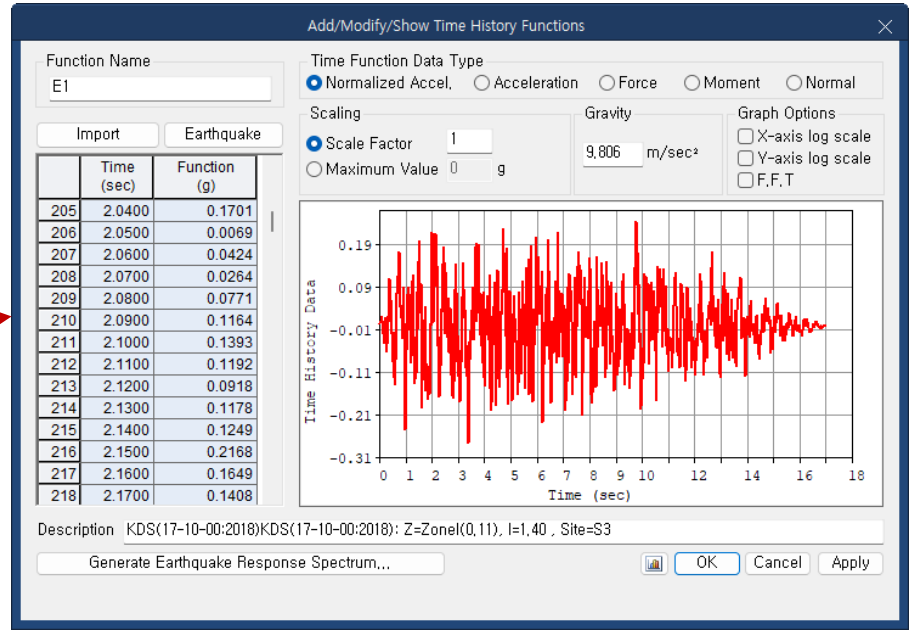
$$\rho_{xy} = \left\{(1/n)\left(\sum_{i=1}^{n}\left[(X_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})\right]\right)\right\} \div \{\sigma_x \sigma_y\}$$

여기서, n은 이산 가속도 시간이력 자료 개수이며 $\bar{x}, \bar{y}$ 및 σ_x, σ_y는 평균과 표준편차

2. 인공지진파(가속도 그래프) Export 및 Civil로 Import



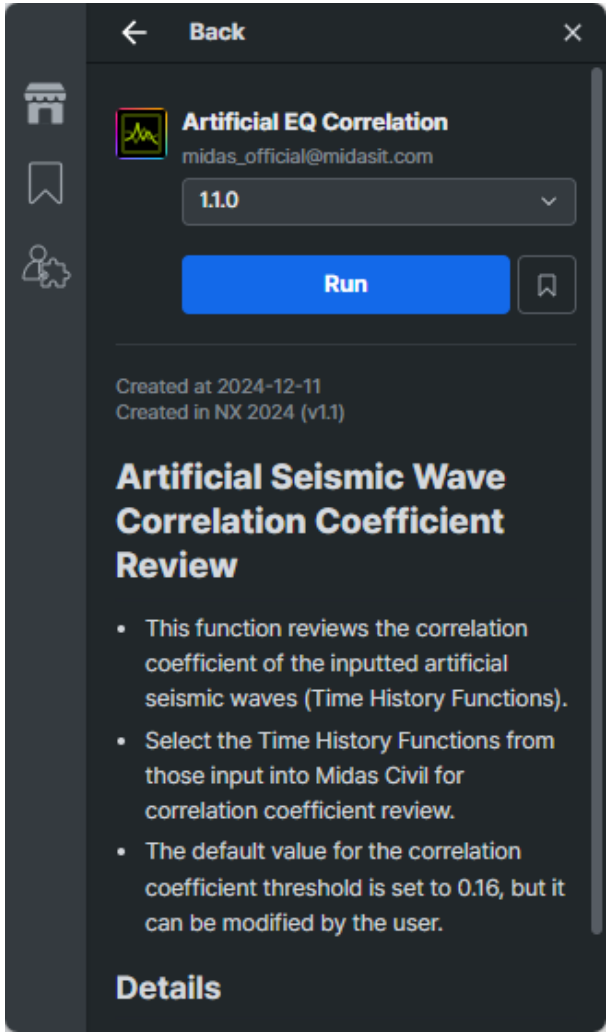
TH Function으로 Import

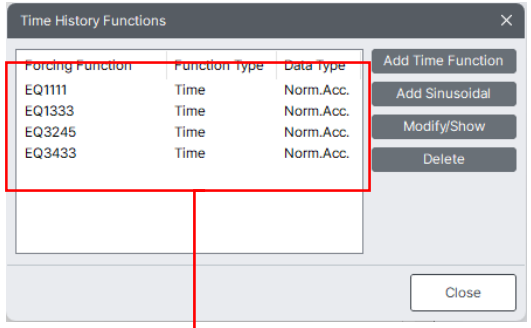


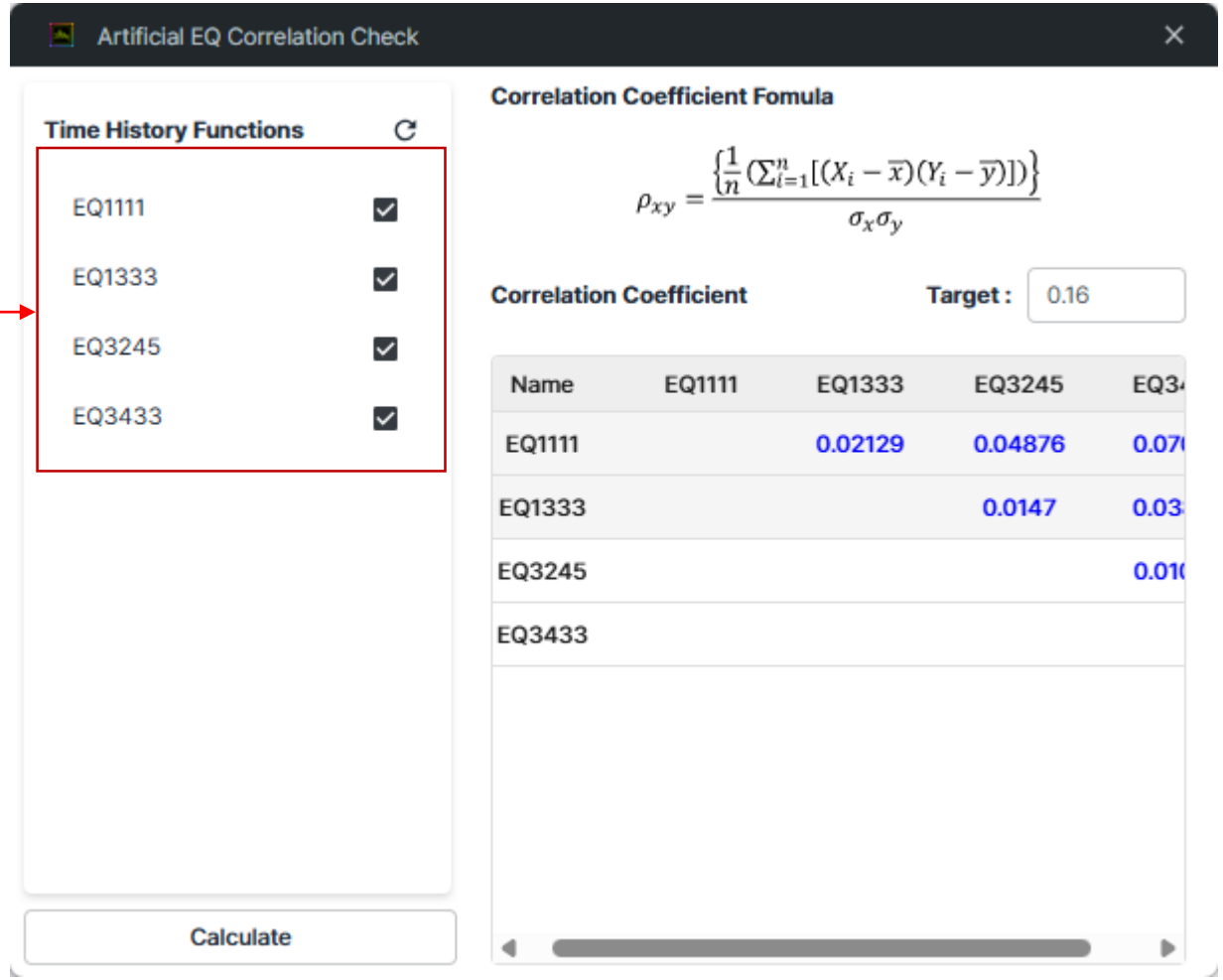
인공지진파 적합성 검토

인공지진파 상관계수 검토

3. Import 한 4개 지진파에 대한 상관지수 검토를 위해 Apps 탭의 Plug-in 기능 중 Artificial EQ Correlation 활용하여 적합성 검토를 진행합니다.





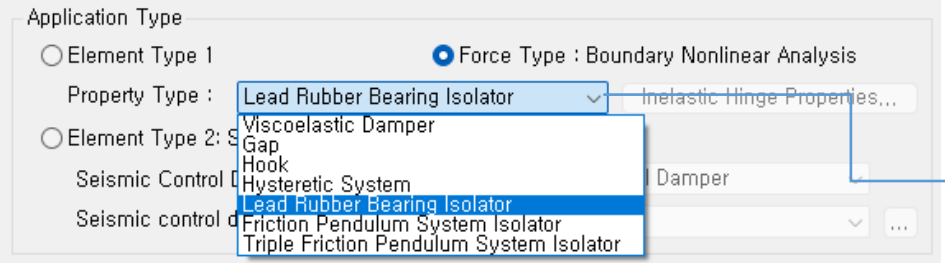


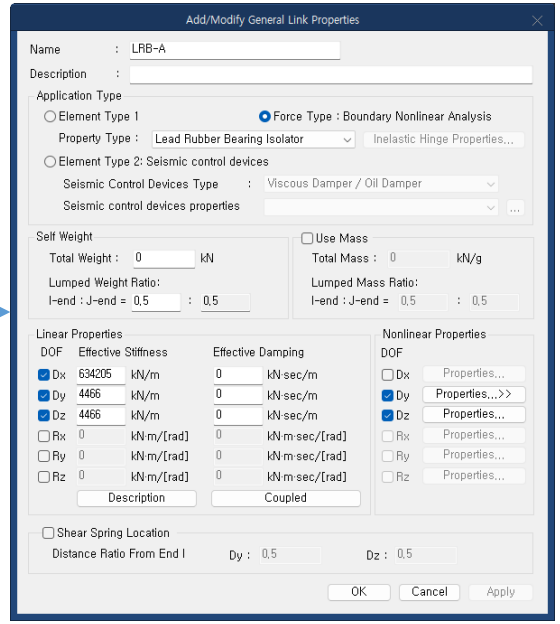
비선형 장치 특성(General Link)

CVL

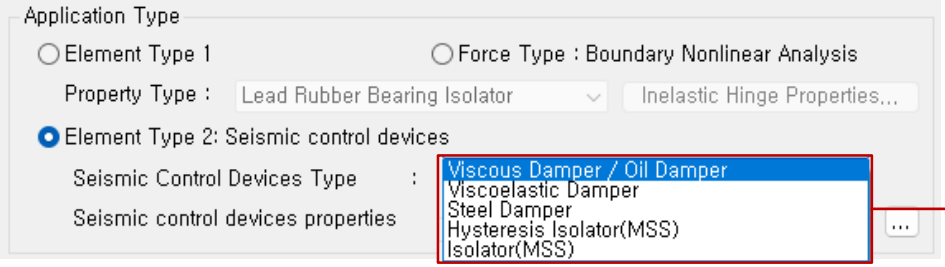
General Link Type

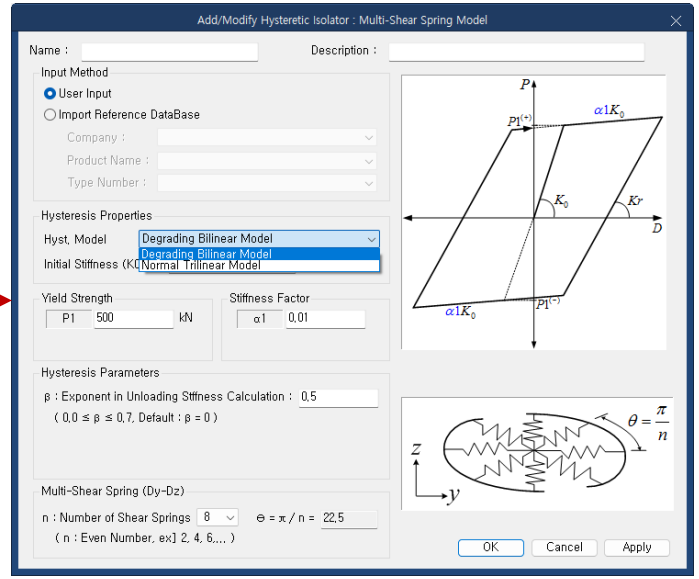
1. Force Type의 General Link (Modal Type , Direct Integration 모두 가능)



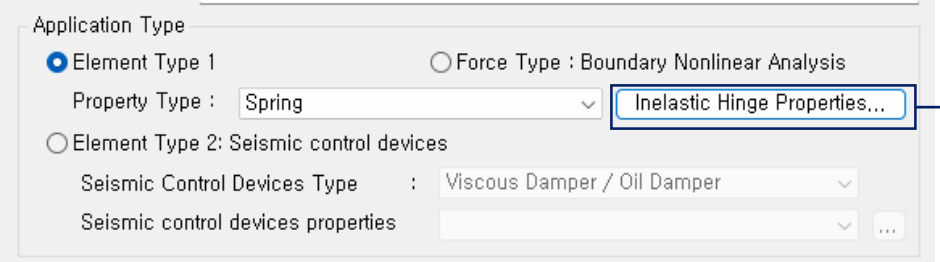


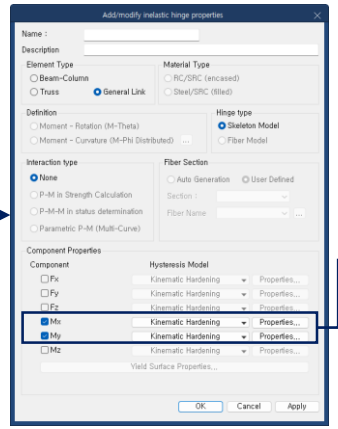
2. Element Type(Seismic Device)의 General Link (Direct Integration 만 가능)

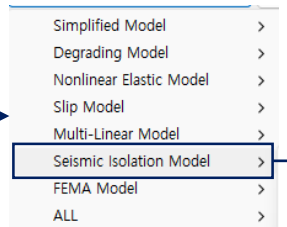


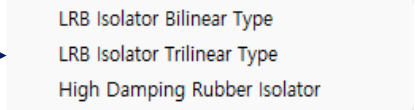


3. Element Type의 (Direct Integration 만 가능)









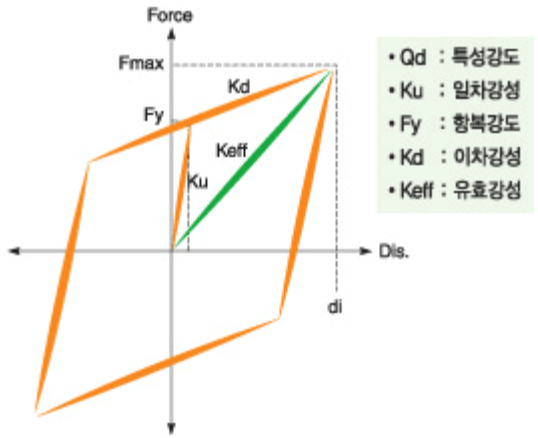
비선형 장치 특성(General Link)

CVL

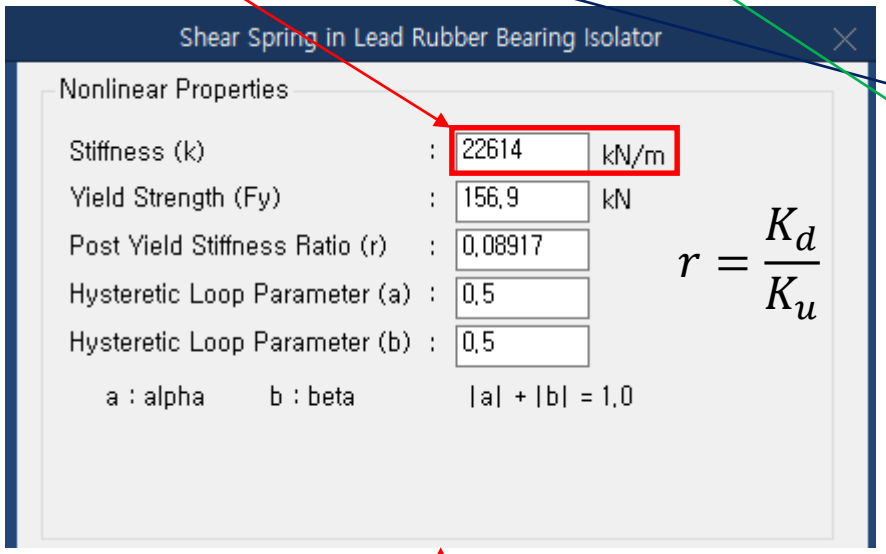
Lead Rubber Bearing 입력 예시

본 입력 방법은 특정 업체에서 제공된 내용으로 타사 제품 적용 시에는 산정방법이 달라질 수 있습니다.

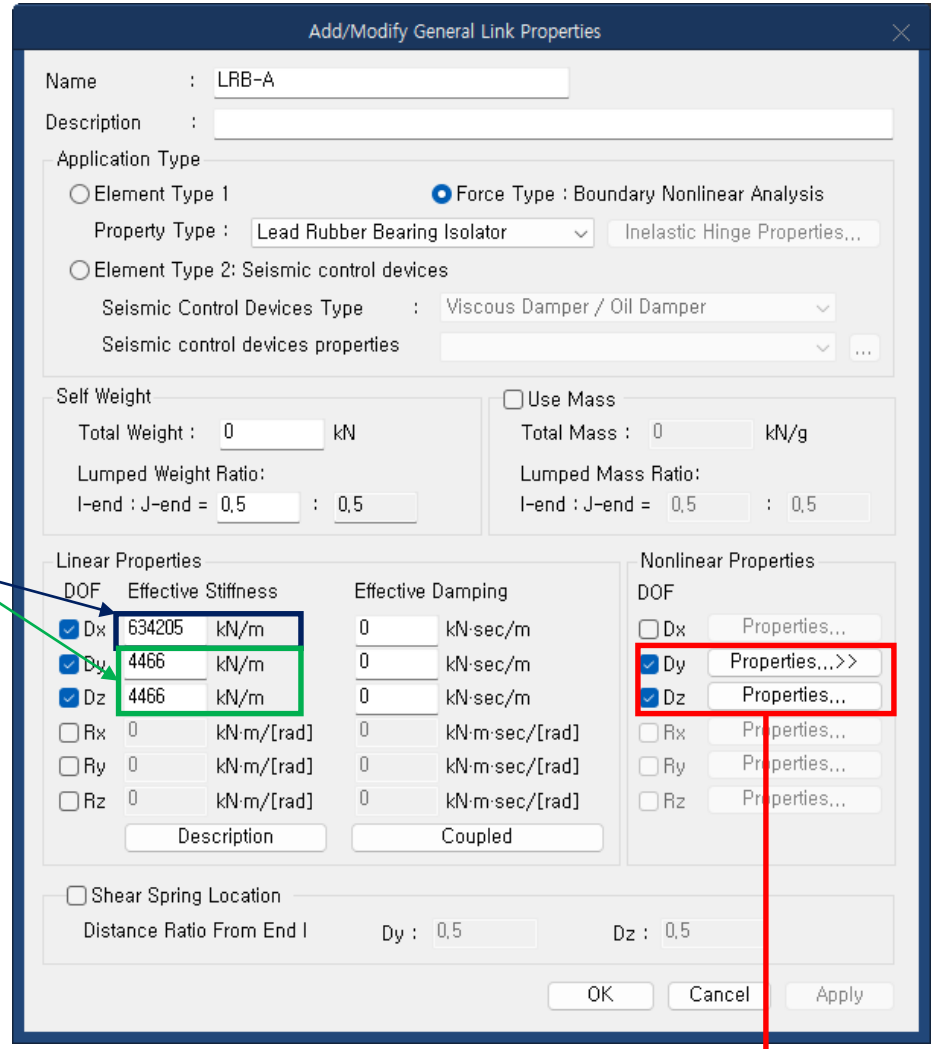
연직하중 (kN)	ØD (mm)	W_p (mm)	L_p (mm)	H_2 (mm)	H_1 (mm)	설계특성치				받침허용력			
						1차강성 K_u (kN/m)	2차강성 K_d (kN/m)	압축강성 K_v (kN/m)	유효강성 K_{eff} (kN/m)	상시하중 수평하중 (kN)	최대허용 수평하중 (kN)	상시 허용범위 (mm)	지진시 허용범위 (mm)
3,000	600	680	680	156	206	22,614	1,933	634,205	4,436	167.4	428.5	67	144
				176	226	19,383	1,657	543,604	4,160			78	168
				196	246	16,960	1,450	475,654	3,953			90	192
				156	206	19,297	1,979	649,426	3,581	157.0	381.1	67	144
				176	226	16,540	1,696	556,651	3,299			78	168
				196	246	14,473	1,484	487,070	3,087			90	192



힘-변위 이력곡선



$$r = \frac{K_d}{K_u}$$



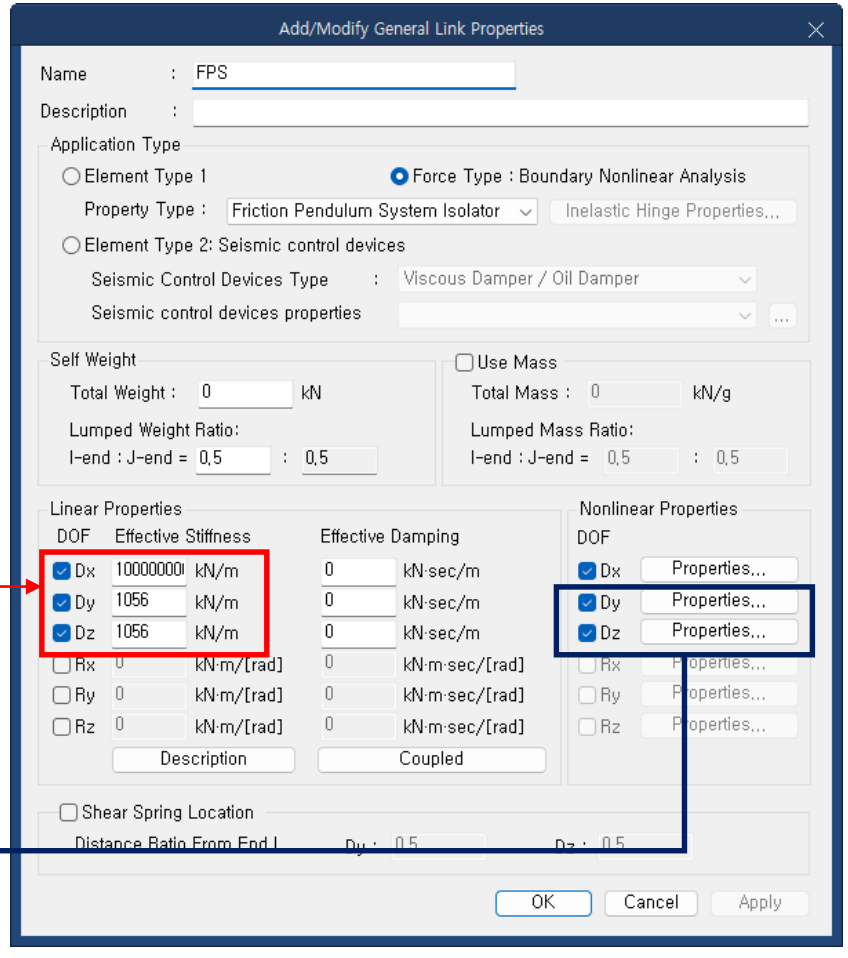
비선형 장치 특성(General Link)

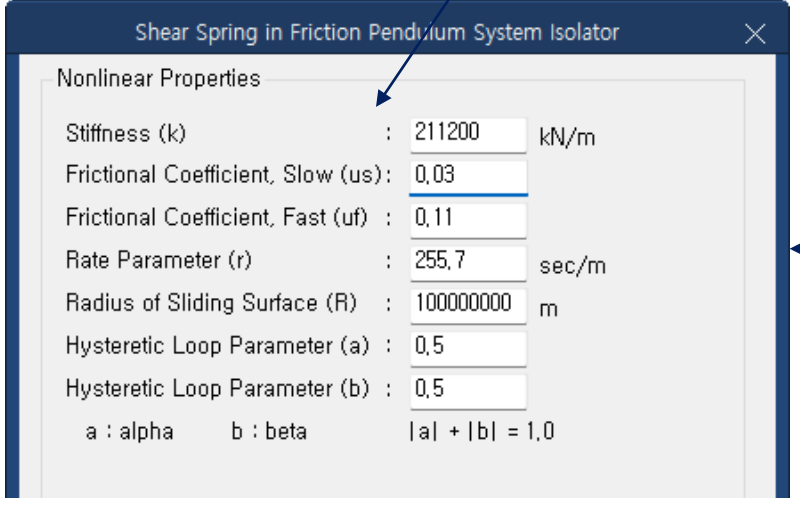
CVL

Friction Pendulum System 입력 예시

본 입력 방법은 특정 업체에서 제공된 내용으로 타사 제품 적용 시에는 산정방법이 달라질 수 있습니다.

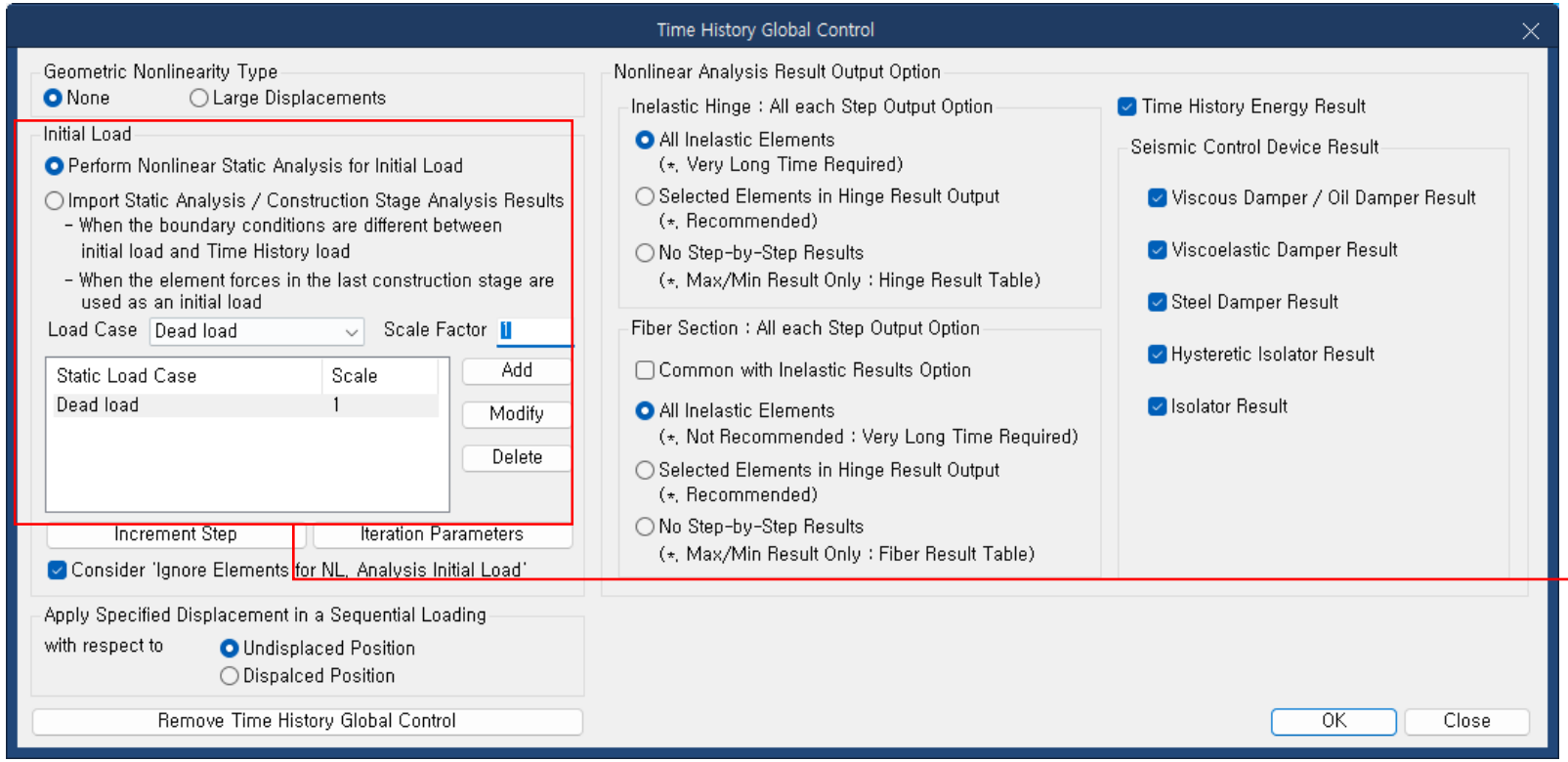
	Linear property			Nonlinear property						
용량(tonf)	Dead Load	dx	Keff(dy,dz)	stifness(k)	(us)	(uf)	r	(R)	(a)/(b)	(ce)
200	120	1.E+08	264.00	52800.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
300	180	1.E+08	396.00	79200.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
400	240	1.E+08	528.00	105600.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
500	300	1.E+08	660.00	132000.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
600	360	1.E+08	792.00	158400.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
700	420	1.E+08	924.00	184800.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
800	480	1.E+08	1056.00	211200.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
900	540	1.E+08	1188.00	237600.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
1000	600	1.E+08	1320.00	264000.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
1200	720	1.E+08	1584.00	316800.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
1400	840	1.E+08	1848.00	369600.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00
1600	960	1.E+08	2112.00	422400.00	0.03	0.11	255.70	100000000.00	0.50	0.00

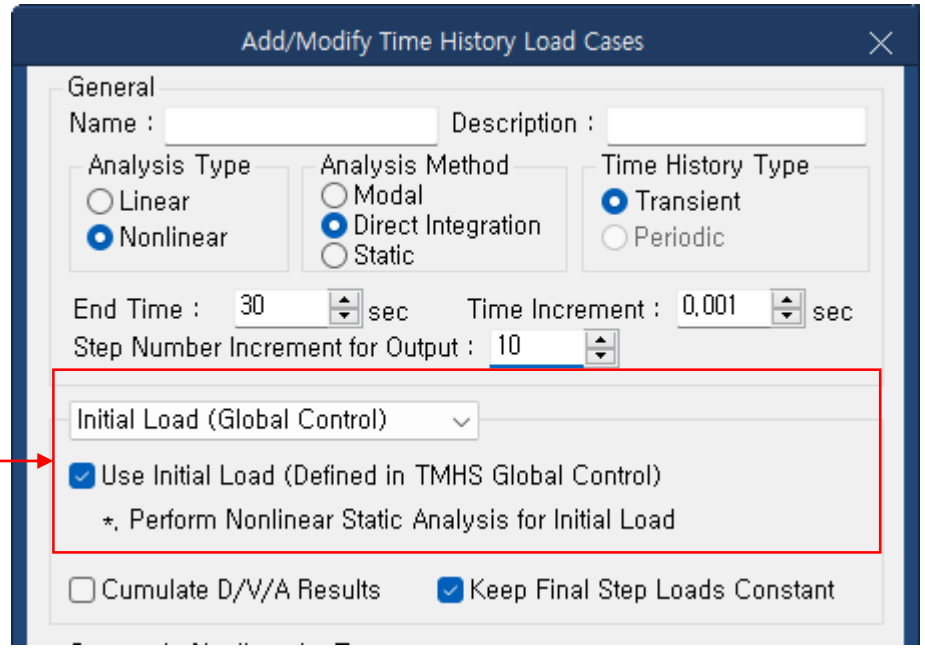




Global Control – 초기하중 옵션

1. 비선형 시간이력해석의 경우 고정하중과 지진하중을 각각 해석한 뒤에 하중 조합을 할 수 없으므로 Global Control 에서 Initial Load로 반영할 수 있는 옵션을 제공
2. Time History Load Case 상에서 Nonlinear Analysis Type의 Direct Integration 에서만 적용 가능
3. 단, FPS(Friction Pendulum System의 경우 받침의 축하중으로부터 전단방향 마찰력이 계산되므로 중력방향의 고정하중 재하가 필수적입니다.

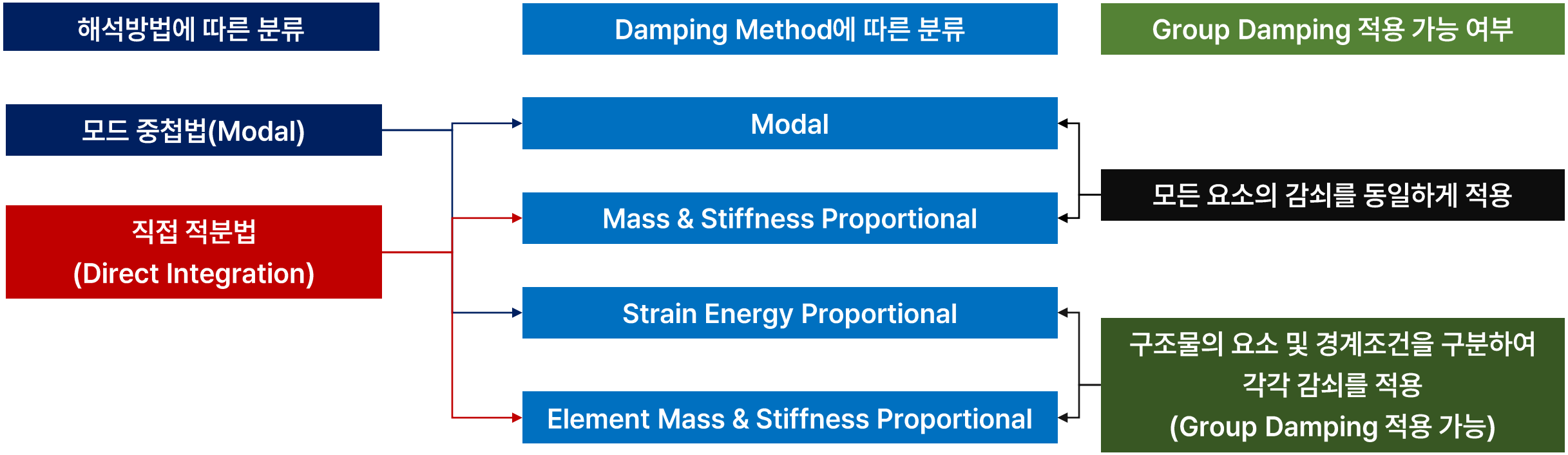




비선형 시간이력해석

Time History Load Case

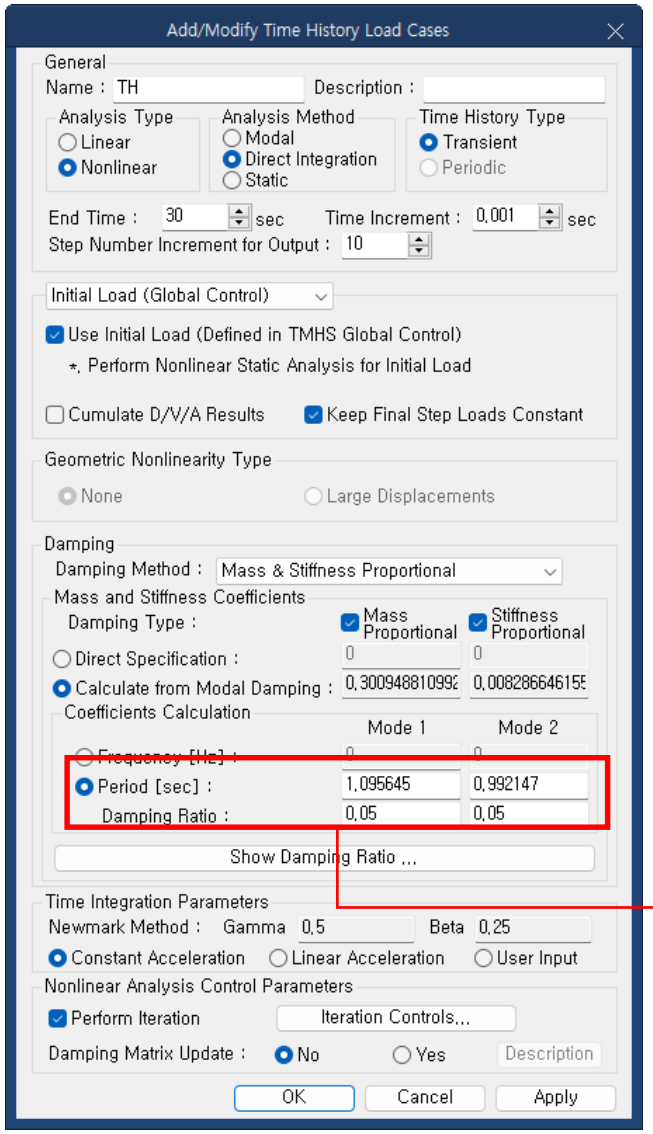
1. 모드 중첩법과 직접 적분법에서 감쇠의 처리 방법이 달라서 감쇠 방법에 따라 해석 시간이 매우 차이가 날 수 있으며 속도에 영향을 받을 수 있음.
2. 고유치 해석의 결과를 기반으로 하는 모드 중첩법의 경우 해석 속도는 빠르지만 고유치해석의 구조물 질량참여율 확보에 따라 해석 결과의 정확도 및 수렴성에 영향을 받을 수 있음.
3. 고유치 해석의 질량 참여율을 확보하지 못할 경우 직접 적분법으로 수행하여 수렴성 또는 결과의 정확도를 확보해야 함.
4. 스프링 및 Link의 감쇠 고려는 직접적분법을 통한 비례감쇠를 고려할 수 있는 Mass&Stiffness Proportional 로 적용해야한다.



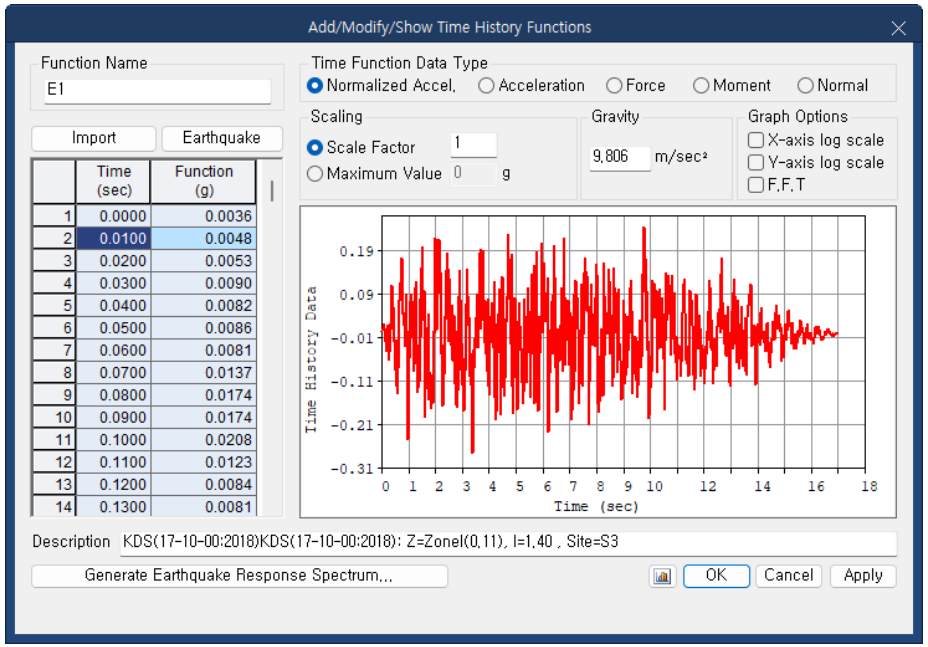
비선형 시간이력해석

CVL

Time History Load Case



1. End Time : 해석 종료시간으로 입력한 지진파의 지속시간 이상의 값을 입력해야함.
2. Time Increment : 시간하중 함수의 주기 또는 구조물의 고유진동주기의 최소값의 1/10 배로 입력
3. Step Number Increment for Output : 결과를 도출하기 위한 Step 수이며 Time Increment를 작게 입력될 경우 결과 출력 속도를 조정하기 위해 조정할 수 있음.



Time Step : 0.01 sec 일 경우

Time Increment = Δt / 10 = 0.001 sec

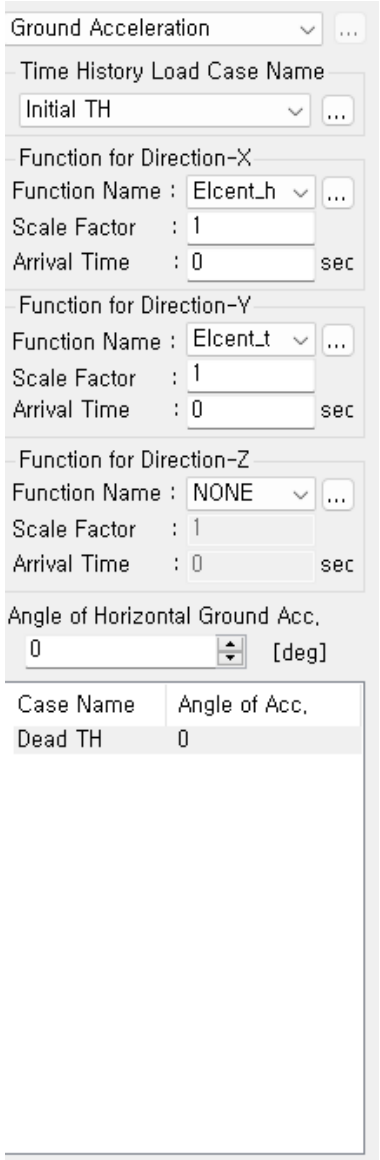
Step Number Increment for Output : 10

고유치 해석 결과의 1차 , 2차 모드 주기 결과를 입력

EIGENVALUE ANALYSIS

Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance
1	5.734692	0.912705	1.095645	0.0000e+00
2	6.332917	1.007915	0.992147	0.0000e+00
3	8.602171	1.369078	0.730419	0.0000e+00

Ground Acceleration



1. Time History Load Case Name : 선행하여 생성한 TH Load Case를 선택

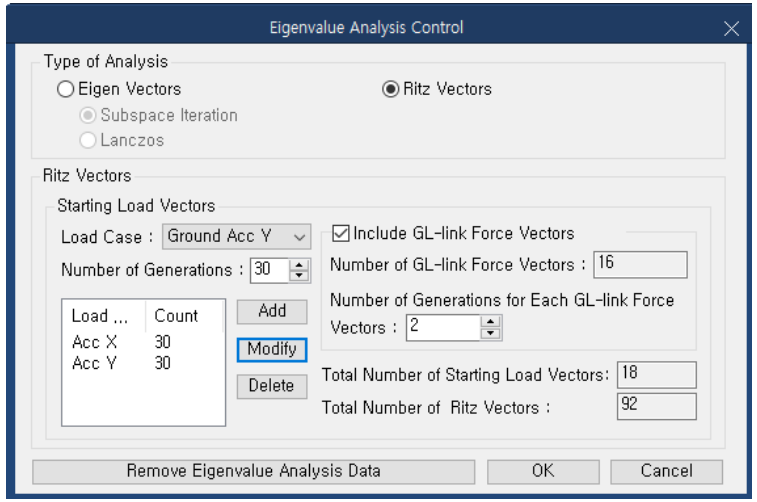
2. X방향, Y방향에 해당하는 시간이력하중 선택
   각 방향 별 특성을 가지는 지진파 데이터가 있기 때문에 같은 지진파를 입력하면 안됨.
   인공지진파를 생성하여 쌍으로 각 방향별 상관지수 검토에 부합되는 지진파를 선택해야 함.
   최소 7쌍의 지진파를 적용하여 평균 응답값을 적용 (단, 7쌍 이하일 경우 최대 응답값을 적용)

3. Scale Factor : 지반 가속도 증감계수

4. 지반 가속도 도달 시각 : 입력된 Initial Load는 Arrival Time과 관계없이, 시간이력해석 이전에 수행되므로 0으로 입력

5. Angle of Horizontal Ground Accleration : 수평 Global X 축과 이루는 각도를 입력하여 X방향을 조정하는 입력값

Eigenvalue Analysis Control Data



1. 비선형 시간이력해석의 General Link를 적용하기 위해서는 Ritz Vectors Method를 추천

2. Include GL-link Force Vectors 체크 : Vectors 방향은 최소 2 개 입력

3. Ritz Vector는 적은 수의 모드를 확보하여도, 실제 하중에 대한 정적해석 해에 기초하기 때문에 그 안에 고차모드의 영향이 자동적으로 반영되어있음.

4. 특정한 모드별 유효질량의 합계를 확보하기 위해 필요로 하는 모드의 개수는 일반적으로 Ritz Vector 방식이 Eigen Vector 방식보다 작은 것으로 알려져 있음.

Seismic Performance Evaluation – Load Combination

1. 비선형 시간이력해석은 자동 하중조합 기능을 활용하는 프로세스가 아니라 Load Combination를 통해 직접 입력하여 TH 하중조합 Envelope 조합(지진파 4개 이상 : 최대값 , 7개 이상 : 평균값)
   → TH.Env or TH.Ave

2. 평가 지진 하중 EQ= Grav.Env + TH.Env or TH.Ave

Step 1.

Load Combination

Auto Generation 을 이용한 'TH 하중을 제외한' 하중 조합 Env. : Grav. Env

TH 하중 조합 Env.(지진파 4개 이상: 최대(Env), 7개 이상: 평균) : TH.Env

평가 지진 하중 : EQ = Add(Grav.Env, TH.Env)

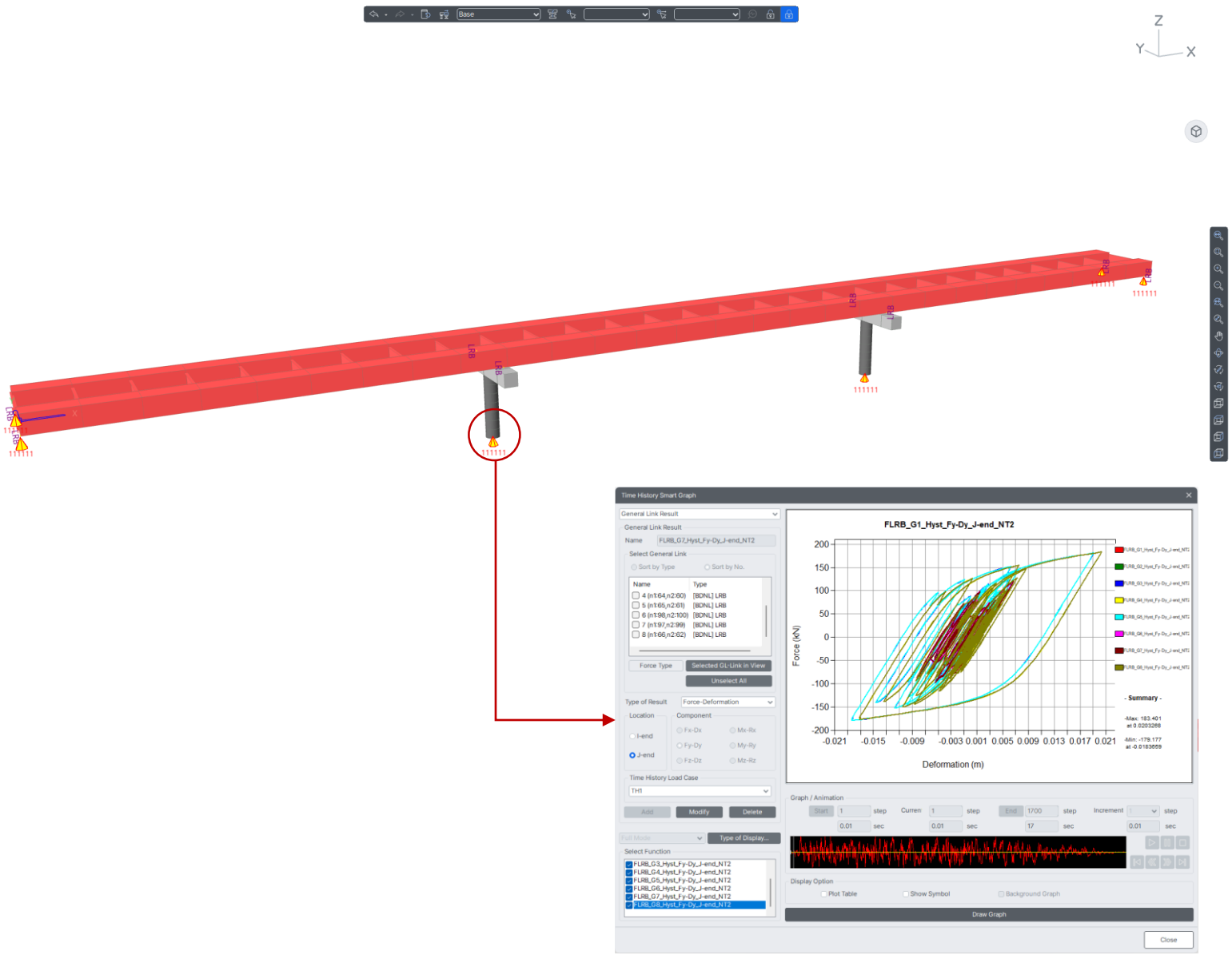
Step 2.

Seismic Load Combination Type

Combination 1 에 EQ 하중 입력

*시간이력해석에서는 100:30 rule을 적용하지 않습니다.
(X, Y방향 동시 하중 재하)

비선형 시간이력해석 시연



6.9 교각의 내진성능평가

1) 교축방향 : 휨-전단파괴모드(Type II)

가) 보유성능 $F_{P,C}$

$F_{P,C}^{L}$ = 4.800

나) 소요성능 $F_{P,D}$

① P-Δ 효과를 고려한 휨모멘트 $[M_E]_{COMB,PD}$

$[M_E^L]_{COMB,PD}$ = $[M_E^L]_{COMB}$ + P_{TOP} x 2 x $[\Delta_E^L]_{COMB}$

= 2031.222 + 2203.466 x 2 x 0.035

= 2145.598 kN·m

② 단면강도비 R_S

$[M_E^L]_{COMB,PD}$ = 2145.598 kN·m

M_y^L = 3772.931 kN·m

M_y^L ≥ $[M_E^L]_{COMB,PD}$ 이므로

R_S^L = 1.000

③ 소요변위연성도-단면강도비 상관계수 λ_{DR}

T^L = 0.979 sec

$1.25T_S$ = 1.25 x 0.414 sec = 0.517 sec

T^L ≥ $1.25T_S$

λ_{DR}^L = 1.000

④ 소요성능 $F_{P,D}$

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

다) 교축방향 평가결과

$\frac{F_{P,C}^L}{F_{P,D}^L} = \frac{4.80}{1.00}$ = 4.800256502 ≥ 1 ∴ O.K

2) 교축직각방향 : 휨-전단파괴모드(Type II)

가) 보유성능 $F_{P,C}$

$F_{P,C}^T$ = 4.801

나) 소요성능 $F_{P,D}$

① P-Δ 효과를 고려한 휨모멘트 $[M_E]_{COMB,PD}$

$[M_E^T]_{COMB,PD}$ = $[M_E^T]_{COMB}$ + P_{TOP} x 2 x $[\Delta_E^T]_{COMB}$

= 2705.989 + 2203.466 x 2 x 0.046

= 2857.065 kN·m

② 단면강도비 R_S

$[M_E^T]_{COMB,PD}$ = 2857.065 kN·m

M_y^T = 3771.661 kN·m

M_y^T ≥ $[M_E^T]_{COMB,PD}$ 이므로

R_S^T = 1.000

③ 소요변위연성도-단면강도비 상관계수 λ_{DR}

T^L = 1.237 sec

$1.25T_S$ = 1.25 x 0.414 sec = 0.517 sec

T^L ≥ $1.25T_S$

λ_{DR}^L = 1.000

④ 소요성능 $F_{P,D}$

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

다) 교축직각방향 평가결과

$\frac{F_{P,C}^T}{F_{P,D}^T} = \frac{4.80}{1.00}$ = 4.80 ≥ 1 ∴ O.K

3) 최종평가결과

가) 교축방향

구분	파괴모드	보유성능	소요성능	보유/소요성능	평가결과
교축방향	휨-전단파괴모드(Type II)	4.800	1.000	4.80	O.K

나) 교축직각방향

구분	파괴모드	보유성능	소요성능	보유/소요성능	평가결과
교축직각방향	휨-전단파괴모드(Type II)	4.801	1.000	4.80	O.K

Thank You!