

제6장 내진성능 평가

- 6.1 내진성능평가 기준
- 6.2 내진성능평가(범물방향)
- 6.3 내진성능평가(안심방향)
- 6.4 내진성능 보강방안
- 6.5 내진성능평가 결과요약

제6장 내진성능 평가

6.1 내진성능평가 기준

6.1.1 개요

1980년대 중반까지만 해도 원전구조물과 같은 특수구조물을 제외하고는 토목 및 건축구조물의 설계 시 내진설계의 개념이 도입되지 않았었다. 그러나 1980년 후반 건축물에 대한 내진설계기준이 제정되어 건축물의 설계 시 지진하중에 해당하는 등가 횡방향력을 고려하기 시작하였으며 1990년에 들어서면서 토목구조물에도 내진설계의 개념이 도입되어 신설교량의 설계 시에 내진설계를 수행하도록 설계기준에 명시되었다.

최근의 국내 교량 설계시에는 내진설계를 필수적으로 수행하므로 내진설계에 대한 기준과 사례가 풍부하지만 기존교량에 대한 내진성능평가와 내진보강에 대한 사례는 그다지 많지 않다. 1999년도부터 시설안전기술공단에서 일반교량에 대한 내진성능 평가방법과 내진보강 방법에 대한 연구가 수행되었으며 2004년도에 기존교량의 내진성능 평가요령으로 한국시설안전기술공단이 내진성능평가에 대한 기준을 작성하였다.

본 과업에서는 교량 내진성능평가 수행 시 변경된 내진설계기준(2018. 내진설계 일반 : KDS 17 10 00→지진하중변경)을 적용하여 내진성능평가를 수행하였다. 또한 기존시설물(교량) 내진성능 평가요령·해설 및 예제집(2015. 국토교통부, 한국시설안전공단)에 근거하여 내진성능평가를 수행하였으며, 평가지침에서 규정하고 있지 않은 사항에 대해서는 다음과 같은 설계기준 및 지침 등을 참고하였다.

- (1) 기존시설물(교량) 내진성능 평가요령·해설 및 예제집
(2015. 국토교통부, 한국시설안전공단)
- (2) 콘크리트 구조설계기준(한국콘크리트학회, 2012)
- (3) KDS 17 10 00 : 2018 (내진설계 일반)
- (4) Guide Specification for Seismic Isolation Design(AASHTO)
- (5) 도로교 설계기준(한국도로교통협회)
- (6) 도로공사 표준시방서(국토교통부)
- (7) 도로의 구조 및 시설기준에 관한 규칙(국토교통부)
- (8) 고속도로공사 전문시방서(한국도로공사)

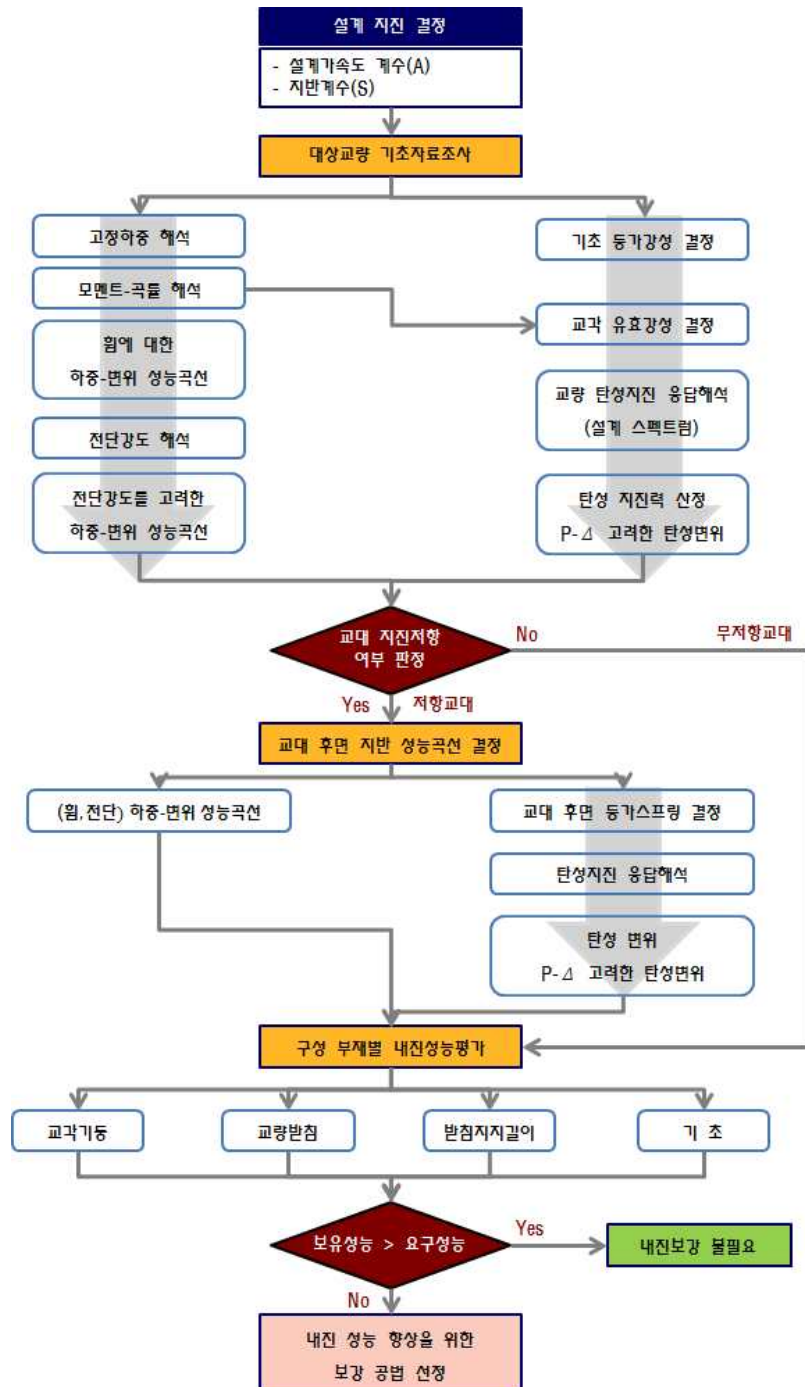
6.1.2 내진성능평가 지침 분석

본 과업의 내진성능에 대한 평가기준은 기본적으로 국토해양부 평가요령을 준용하였으며, 다음 표에 일반적으로 내진성능평가에 관한 평가요령에 대해서 정리하였다.

구 분	국토해양부 평가요령 [국토해양부, 2015.12]
교대 해석모델링 추가	교대 및 교대 후면 지반의 거동특성 미반영
기초 해석모델링 방법	지진시 구조물의 동적거동을보다 정확히 예측하기 위해서 스프링으로 치환하여 기초와 지반의 상호작용을 고려하여 해석한다.
겹침이음 된 교각의 콘크리트 극한변형률 및 최대 변위연성도	소성힌지 위치내 축방향철근의 겹침이음 비율이 0%에 0.004로 정의하고 있고 나머지는 지침과 동일 겹침이음 50% : 0.003~0.004 (2단 이상 배근) 겹침이음 100% : 0.0007~0.002
사각 보정 방법 (제한적)	3차원 모델링을 전제조건으로 하기 때문에 특별한 언급 없음
단경간 교량의 내진성능 평가	단간경 교량의 내진성능 평가에 대한 언급 없음.
받침부 및 교각 평가시 지진력	보강 전 및 보강 후의 설계용 지진력은 동일하게 탄성지진력과 교각의 휨강도 중 작은 값

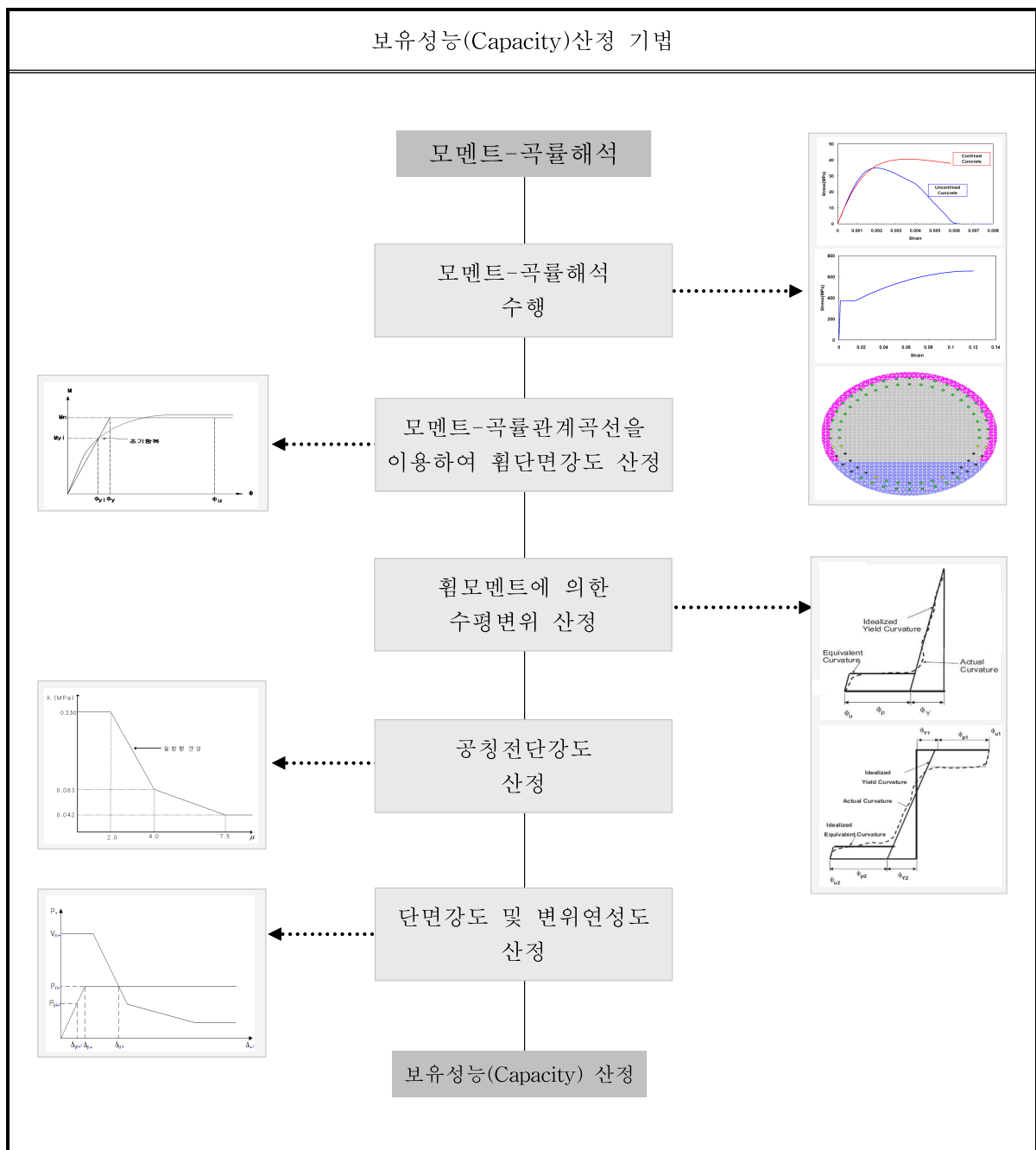
6.1.3 내진성능평가 절차

기존교량의 내진성능평가는 구성부재의 내진성능을 파악하기 위해서 실시하는 것이며 구성부재가 보유하고 있는 보유성능(Capacity)과 지진에 의해 요구되는 요구성능(Demand)을 비교하여 평가한다. 주요한 구성부재는 교각기둥, 교량받침, 받침지지갈이, 기초이다.



<그림 6.1>내진성능평가 흐름도

- 1) 보유성능(Capacity)을 산정하기 위해 지침에서 제공한 요령에 따라 모멘트-곡률해석(Moment-Curvature Analysis)을 수행하고 기존교각의 모멘트-곡률곡선을 산정하였다.
- 2) 기존교각의 철근콘크리트 단면을 비선형의 구속단면, 비구속단면 및 주철근으로 모델링하여 모멘트-곡률해석을 수행
- 3) 초기항복휨강도 및 공칭휨강도에서의 모멘트-곡률을 분석하여 부재의 등가탄성강도(공급역량)를 산정



6.1.4 지진해석방법

일반적인 교량형태에 따른 지진해석방법에는 크게 단일모드 스펙트럼 해석법과 다중모드 스펙트럼 해석법 중에서 설계자의 판단에 따라 타당한 방법을 사용하여 선형 탄성해석을 하는 것을 원칙으로 한다. 보다 정밀한 해석을 필요하다고 판단되는 교량에 대해서는 시간이력해석법 또는 발주처가 인정하는 검증된 해석법을 사용하여 선형 혹은 비선형해석을 수행할 수 있다.

<표 6.1>지진해석방법

해석방법	적용교량 형식	적용
단일모드 스펙트럼해석법	- 질량분포가 일정하고 경간 사이의 강성비가 거의 일정한 정형구조형태를 가진 교량 - 첫번째 진동모드가 대부분의 동적응답을 지배하는 교량	
다중모드 스펙트럼해석법	- 비정형 교량으로 진동모드간의 연계효과가 큰 교량이나 내부 중심각이 있는 곡선교량 - 고차의 진동모드가 동적응답에 기여할 것 같은 교량 - 본 과업에서는 다중모드 스펙트럼해석으로 평가하는 것이 바람직하여 다중모드 스펙트럼해석방법으로 실행	○
시간이력해석법	- 기하학적 형태가 복잡한 구조를 가진 교량 - 지진격리반침의 비선형특성을 고려한 지진격리교량 - 사장교, 현수교 등 예상하지 못하는 구간에 소성현상이 발생할 가능성이 충분히 있는 교량	

6.1.5 지진력의 조합

① 교량의 각 구성부재에 작용하는 지진력의 크기는 교각에 의하여 전달되는 지진하중을 기본으로 하며 이는 내진성능 평가기준 지진에 대한 응답스펙트럼에서 구한 지진력의 크기와 교각의 단면강도 중 작은 값으로 한다.

② 탄성지진력의 조합은 30% 규칙을 따른다.

$$\text{COM1} \quad [F_E^L]_{com1} = 1.0 \times [F_E^L]_L + 0.3 \times [F_E^L]_T$$

$$[F_E^T]_{com1} = 0.3 \times [F_E^T]_L + 1.0 \times [F_E^T]_T$$

$$\text{COM2} \quad [F_E^L]_{com2} = 0.3 \times [F_E^L]_L + 1.0 \times [F_E^L]_T$$

$$[F_E^T]_{com2} = 1.0 \times [F_E^T]_L + 0.3 \times [F_E^T]_T$$

$$[F_E^L]_{comb} = \max \langle [F_E^L]_{com1}, [F_E^L]_{com2} \rangle$$

$$[F_E^T]_{comb} = \max \langle [F_E^T]_{com1}, [F_E^T]_{com2} \rangle$$

여기서, $[F_E^L]_{comb}$: 교축방향의 조합탄성지진력

$[F_E^L]_L$: 교축방향 입력지반운동에 대한 교축방향의 탄성지진력

$[F_E^T]_L$: 교축방향 입력지반운동에 대한 교축직각방향의 탄성지진력

$[F_E^T]_{comb}$: 교축직각방향의 조합탄성지진력

$[F_E^L]_T$: 교축직각방향 입력지반운동에 대한 교축방향의 탄성지진력

$[F_E^T]_T$: 교축직각방향 입력지반운동에 대한 교축직각방향의 탄성지진력

F 는 변위(Δ), 전단력(V), 모멘트(M)를 말하며, 위첨자는 응답방향, 아래첨자는 입력지반운동의 방향을 말한다.

③ 스펙트럼해석의 경우는 응답가속도(탄성지진응답계수, C_s)의 크기를 결정하여 계산한다. 단경간 교량 또는 일점고정 연속교의 교축방향과 같이 단자유도로 모델링 가능한 구조의 탄성지진력은 다음과 같이 간략하게 계산이 가능하다. 그러나, 다경간 연속교의 상부구조는 일반적으로 교축직각방향에 대해서는 모든 교각에서 적어도 하나 이상의 고정받침에 의해 지지되므로 지진시 관성력은 고정받침에 의해 지지된 모든 교각으로 분담된다.

$$F_E = W \times C_s$$

④ 교축 및 교축직각방향의 지진하중은 탄성지진력(FEQ)과 단면강도(Fn)를 비교하여 작은 것으로 한다. 이 하중을 기본으로 하여 교량의 각 구성부재에 요구되는 소요역량을 계산한다.

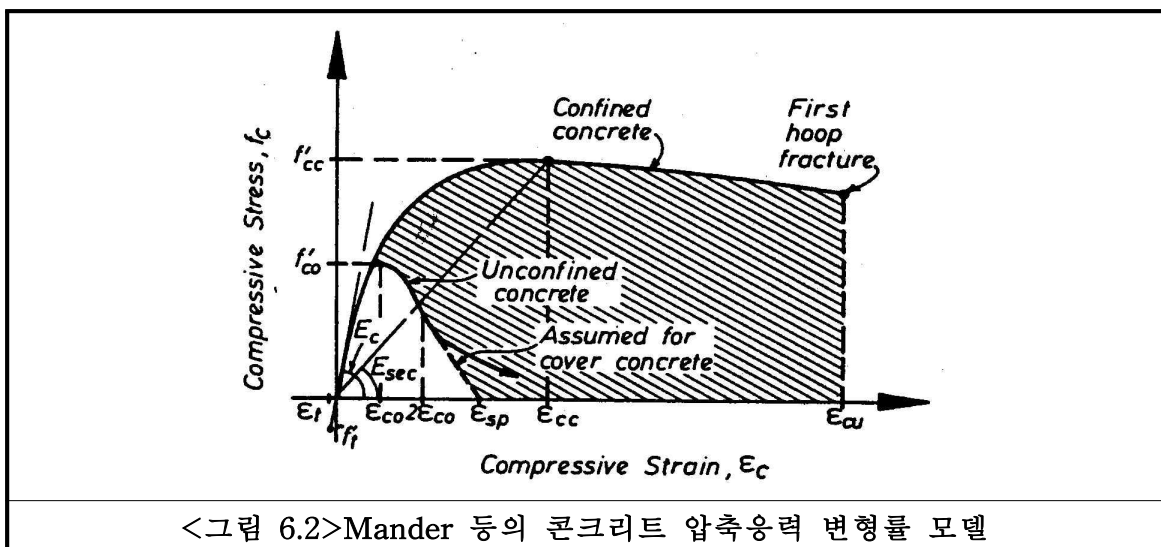
$$F_{EQ}^L = \text{Min} [F_n^L, F_E^L] \quad \text{교축방향}$$

$$F_{EQ}^T = \text{Min} [F_n^T, F_E^T] \quad \text{교축직각방향}$$

6.1.6 콘크리트의 재료모델

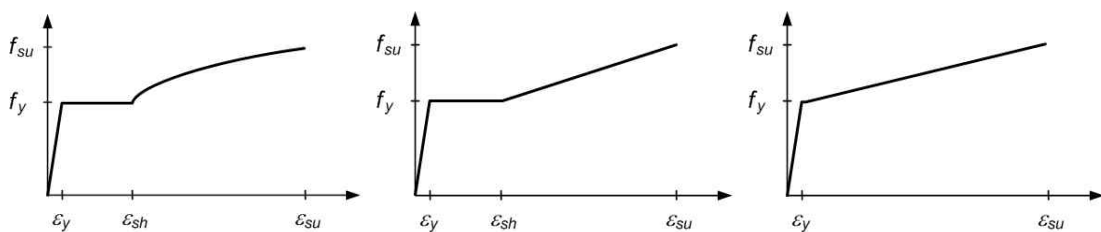
평가지침에서는 교각의 모멘트-곡률해석에서 콘크리트 재료 해석모델은 횡방향철근의 구속효과를 고려한 횡구속 압축 응력-변형률 모델과 횡방향철근의 구속효과를 무시한 비횡구속 압축 응력-변형률 모델을 선택적으로 적용하며 철근 재료 해석모델은 변형경화를 고려한 응력-변형률 모델을 적용하게끔 되어 있다.

콘크리트 재료모델은 콘크리트 압축응력 변형률 관계를 실제 거동과 유사하게 예측할 수 있는 적절한 모델로 Mander 등의 제안식을 제시하고 있어 본 과업에서도 콘크리트 재료모델로 Mander Model을 사용하였다.



6.1.7 철근재료모델

평가지침에서는 교각의 모멘트-곡률해석에서의 교각의 모멘트-곡률 해석에 적용되는 철근 모델은 실제 거동을 예측할 수 있는 적절한 모델을 사용하여야 한다. 적절한 모델은 변형경화를 고려한 응력-변형률 모델을 의미하며 아래그림과 같은 세 가지 형태의 모델 중 하나를 선택하여 사용할 수 있다.



<그림 6.3>철근의 강도 및 변형률

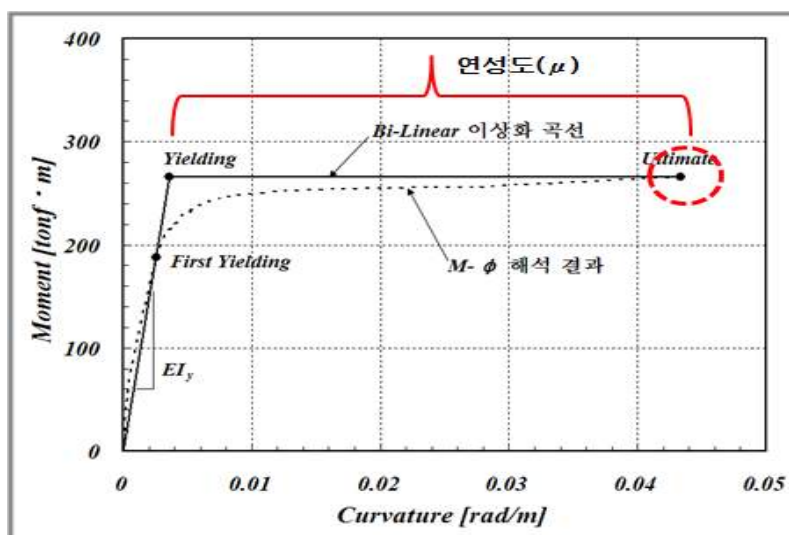
<표 6.2>철근의 강도 및 변형률

철근 종류	f_y	f_{su}	ϵ_y	ϵ_{sh}	ϵ_{su}
SD240	240 MPa	390 MPa	0.0012	0.0115	0.128
SD300	300 MPa	440 MPa	0.0015	0.022	0.125
SD350	350 MPa	490 MPa	0.00175	0.022	0.122
SD400	400 MPa	560 MPa	0.002	0.022	0.120
SD500	500 MPa	620 MPa	0.003	0.012	0.080

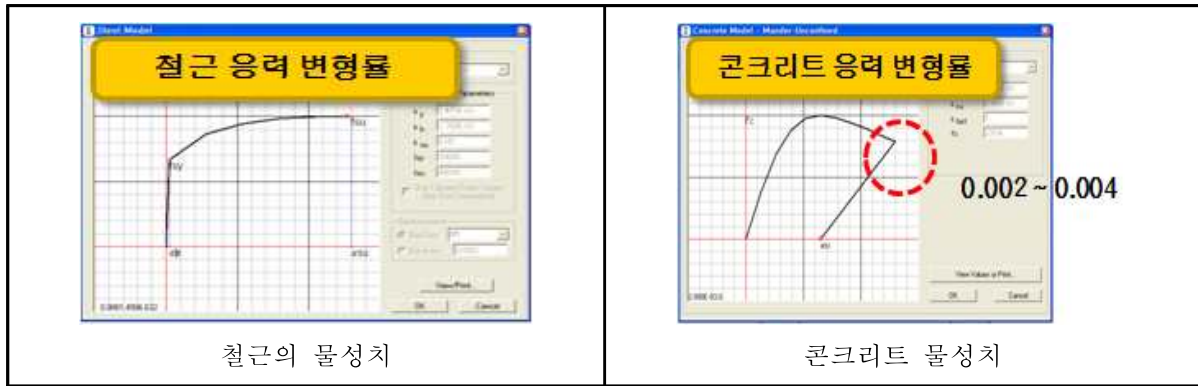
6.1.8 소성힌지부의 축방향 철근 겹침이음 적용

(1) 검토의 필요성

- ① 교각의 내진성능평가에서는 단순히 강도만의 평가가 아니라 연성능력을 고려한 연성에 대한 검토가 필요함.
- ② 연성에 대한 검토는 최대 휨모멘트가 발생하는 소성힌지부에서의 모멘트 곡률해석을 통하여 실시함.
- ③ 모멘트 곡률해석에 필요한 항목으로는 콘크리트와 철근의 재료 물성치로 연성능력을 좌우하는 항목은 콘크리트의 극한변형률이며 극한변형률은 겹침이음의 유무에 따라 상이함.
- ④ 따라서 겹침이음의 유무로 교각의 연성에 대한 능력이 상이하며 결과적으로 내진성능이 다르게 평가되므로 소성힌지부에 겹침이음의 유무에 대한 판단이 필요함.



모멘트 곡률 해석



(2) 모멘트 곡률해석 기준

- ① 철근콘크리트 교각의 모멘트 곡률해석에는 콘크리트와 철근에 대한 적절한 재료 모델을 적용해야 하며 축방향 철근의 이음상세와 횡방향 철근에 의한 횡구속 정도를 고려하여 극한상태를 정의하여야 함. (교량 내진성능평가 지침)
- ② 소성힌지영역에서 축방향철근의 겹침이음이 있는 경우에는 축방향 철근 겹침이음 부의 부착파괴에 의하여 극한변형률이 감소되어 공급연성도는 작아지므로 극한변형률을 감소시켜 공칭휨강도를 계산하여야 함. (기존교량 내진성능 평가요령)
- ③ 겹침이음의 정도에 따라 콘크리트 극한변형률을 3단계로 나누어 적용하도록 함.
- ④ 겹침이음 유무에 따른 기준별 콘크리트 극한변형률

(3) 문제점 및 검토방안

문제점	검토방안
1. 기존설계도서에 의한 축방향철근 겹이음 위치 파악은 설계도서 상에서 판단하기 어려운 상태임. 2. 코어채취를 통한 현장조사로 겹이음 위치를 확인할 수 있으나 코어채취로 인한 구조물의 손상이 발생하므로 지양토록 함.	1. 기존 설계도서를 분석하여 활용하는 방안으로 철근상세 도면의 철근길이 등을 가지고 추정하여 판단함. 2. 소성힌지 구역 내에 축방향철근 겹이음의 유무를 준공 당시의 시공방법 및 유사 설계 사례를 참조로 판단하여 상식적이고 합리적인 축방향 철근 겹이음의 유무를 판단함. 3. 철근탐사는 일반적으로 장비 진행방향에 직 교한 철근의 간격을 탐지하는 것으로 철근의 두께 및 겹이음의 유무를 추정할 수 없으므로 계산결과와의 비교분석 자료로 사용함. 4. 철근의 길이 8.0m를 가지고 기초 하단에서부터의 높이를 계산하여 소성힌지 구역 내에 겹이음 유무를 판단함.

(4) 철근 접이음 적용 결과 예시

소성힌지 구간 산정식	접이음 여부 판단
소성힌지 길이 계산은 교각높이, 주철근 직경, 교각 직경을 가지고 산정하는 방법이 있으며 이 중에서 최대값을 해당 교각의 소성힌지 구역 높이로 결정함. ① $0.08H_e+0.022f_y \text{ dbl}$ He : 교각높이, fy : 철근강도, dbl:철근직경 ② $0.44f_y \text{ dbl}$ ③ D (교각직경) ④ $H_e/6$ (He : 교각높이) ⑤ 450mm	기둥높이 : 10.256 m 기둥직경 : 1.500 m 여기서 He = 10.256 m fy = 300 Mpa dbl = D25 △ 교각 기둥의 소성구역내 겹침이음이 없음.

6.1.9 지진구역 및 지진위험도

① 지진구역

지진구역	행정구역	
Ⅰ	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부1
Ⅱ	도	강원 북부2, 제주
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		

② 지진구역계수

지진구역	Ⅰ	Ⅱ
지진구역계수, Z	0.11	0.07

③ 위험도계수

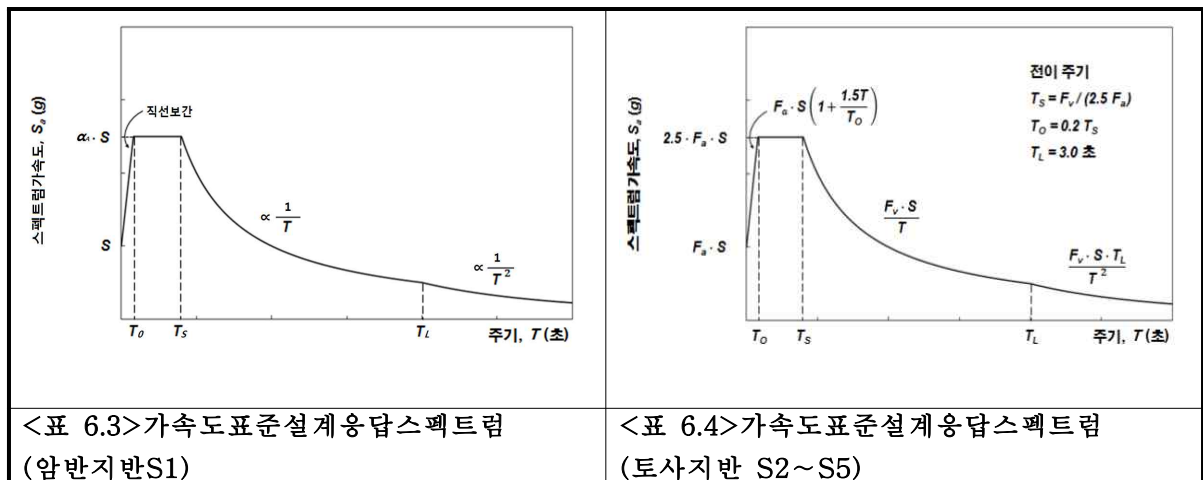
평균재현주기 (년)	50	100	200	500	1,000	2,400	4,800
위험도계수, I	0.40	0.57	0.73	1	1.4	2.0	2.6

④ 지반의 분류

국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 다음과 같이 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ 의 6종으로 분류한다. 다만, 기반암은 전단파속도가 760 m/s 이상인 지층으로 정의한다.

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		

⑤ 설계지반운동의 특성 표현



구분	α_A (단주기스펙트럼 증폭계수)	전이주기(sec)		
		T_0	T_s	T_L
수 평	2.8	0.06	0.3	3

지반종류	단주기지반증폭계수, F_a			장주기지반증폭계수, F_v		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
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

6.2 내진성능평가(범물방향)

6.2.1 교량제원

교량명 : 범안대교(범물방향)

교량등급 : 1등급(DB-24)

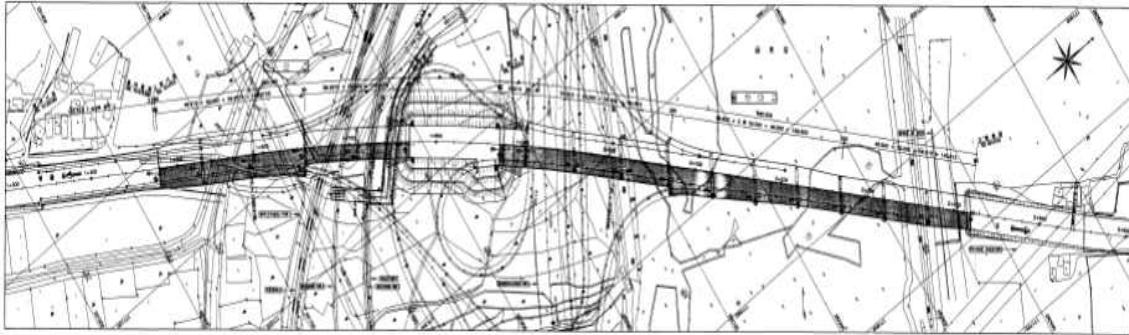
교량형식 : Steel Box Girder교

교장 : $30.0+3@55.0+4@50.0+3@50.0+3@50.0=545.0\text{m}$

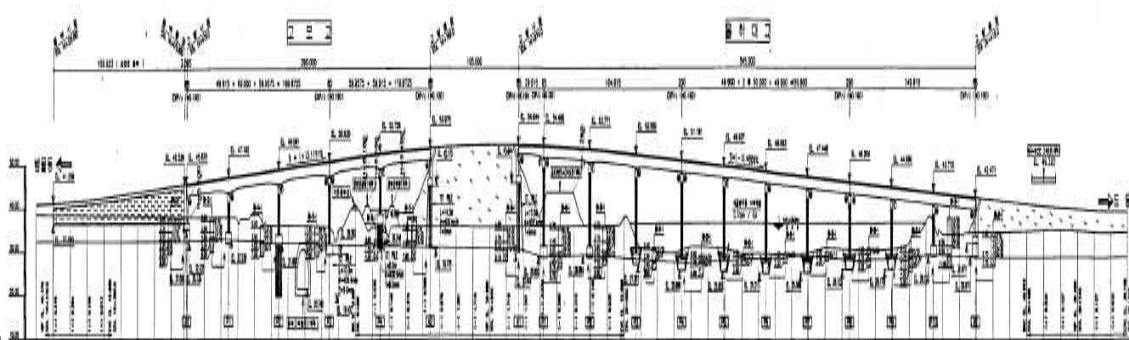
교량폭 : $B = 17.500\text{m}$

하부콘크리트강도 : 24 MPa

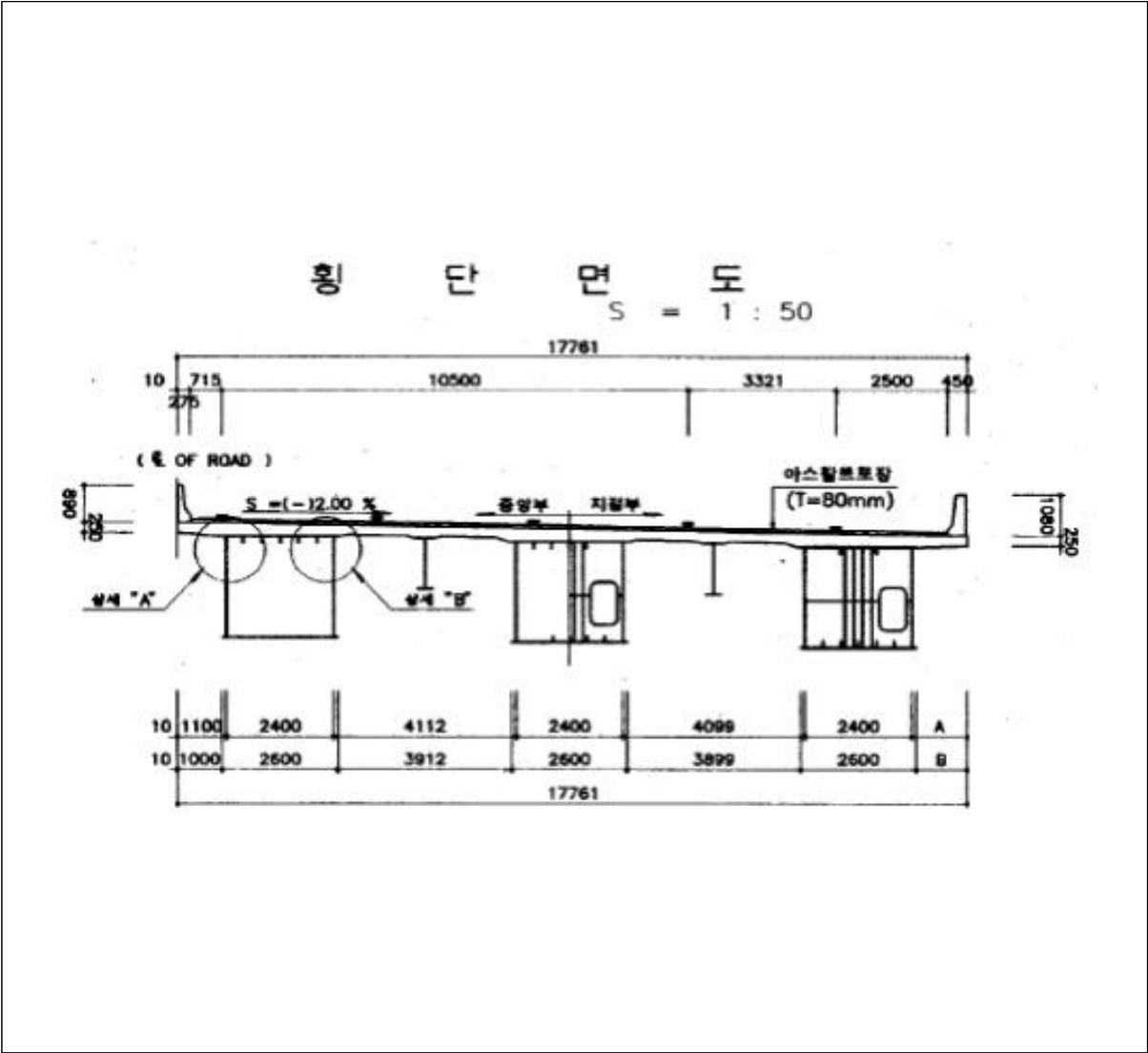
하부철근강도 : 300 MPa



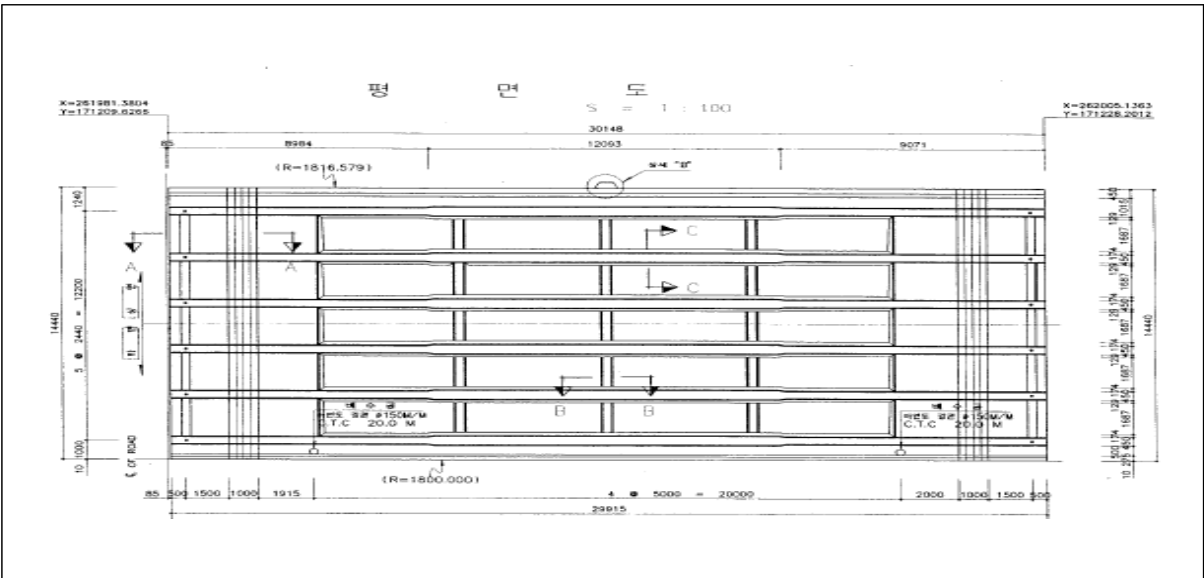
<그림 6.4>범안대교(범물방향) 평면도



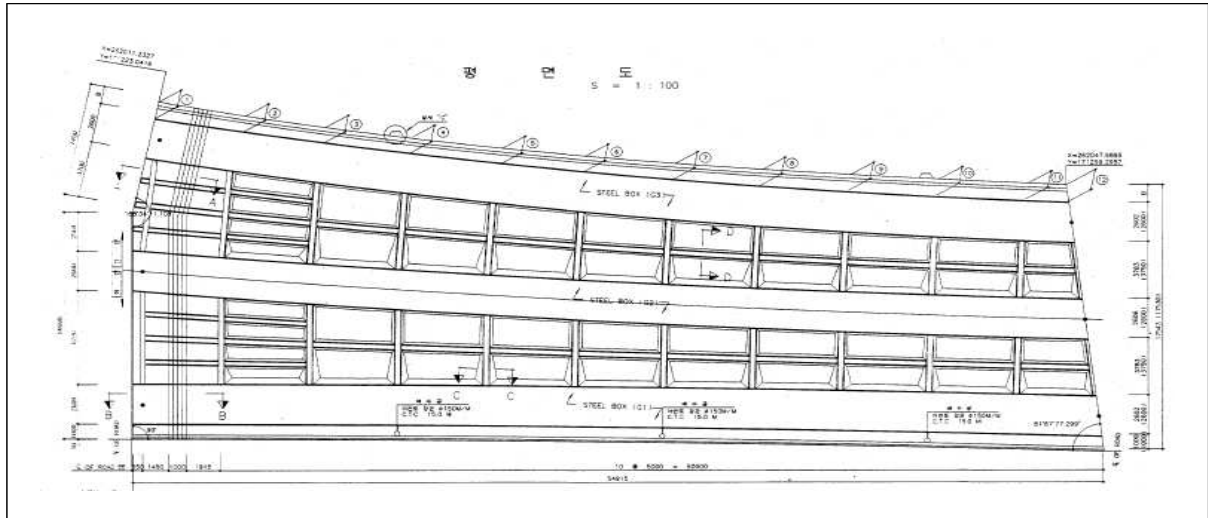
<그림 6.5>범안대교(범물방향) 종단면도



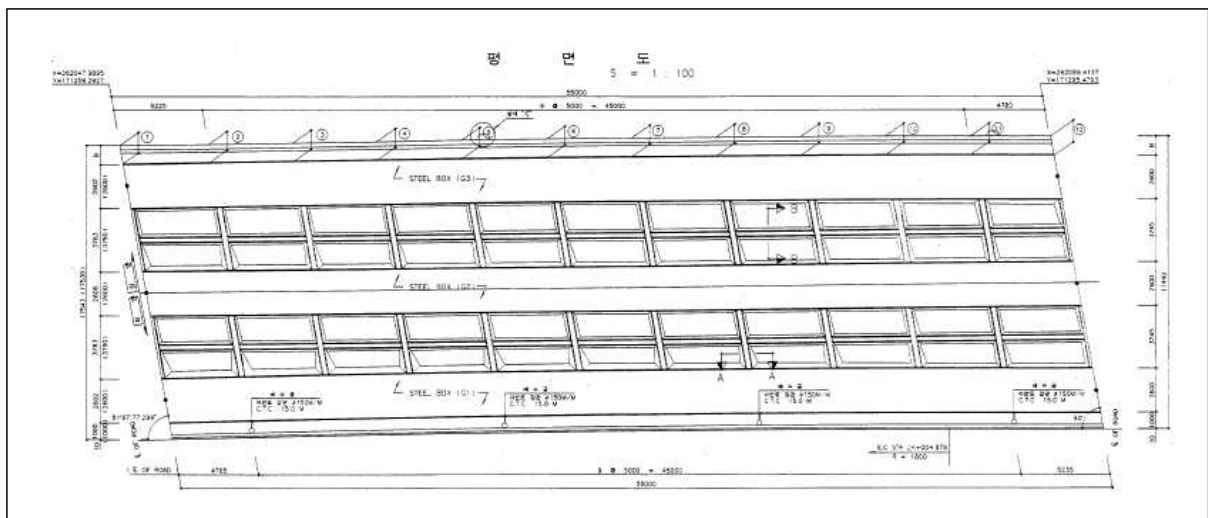
<그림 6.6>범안대교(범물방향) 횡단면도



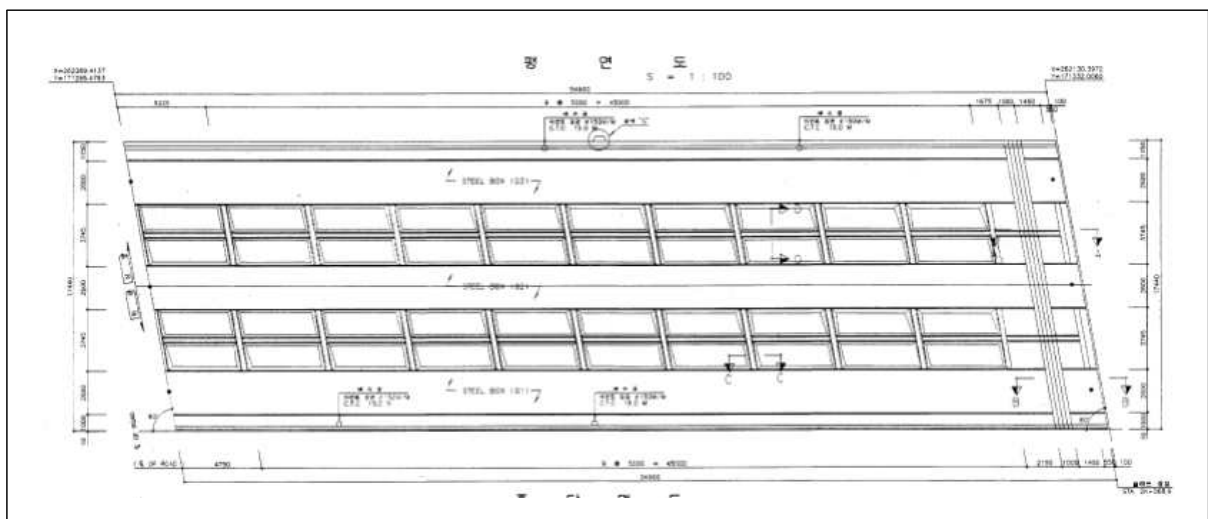
<그림 6.7>범안대교(범물방향) 상부 일반도(1)



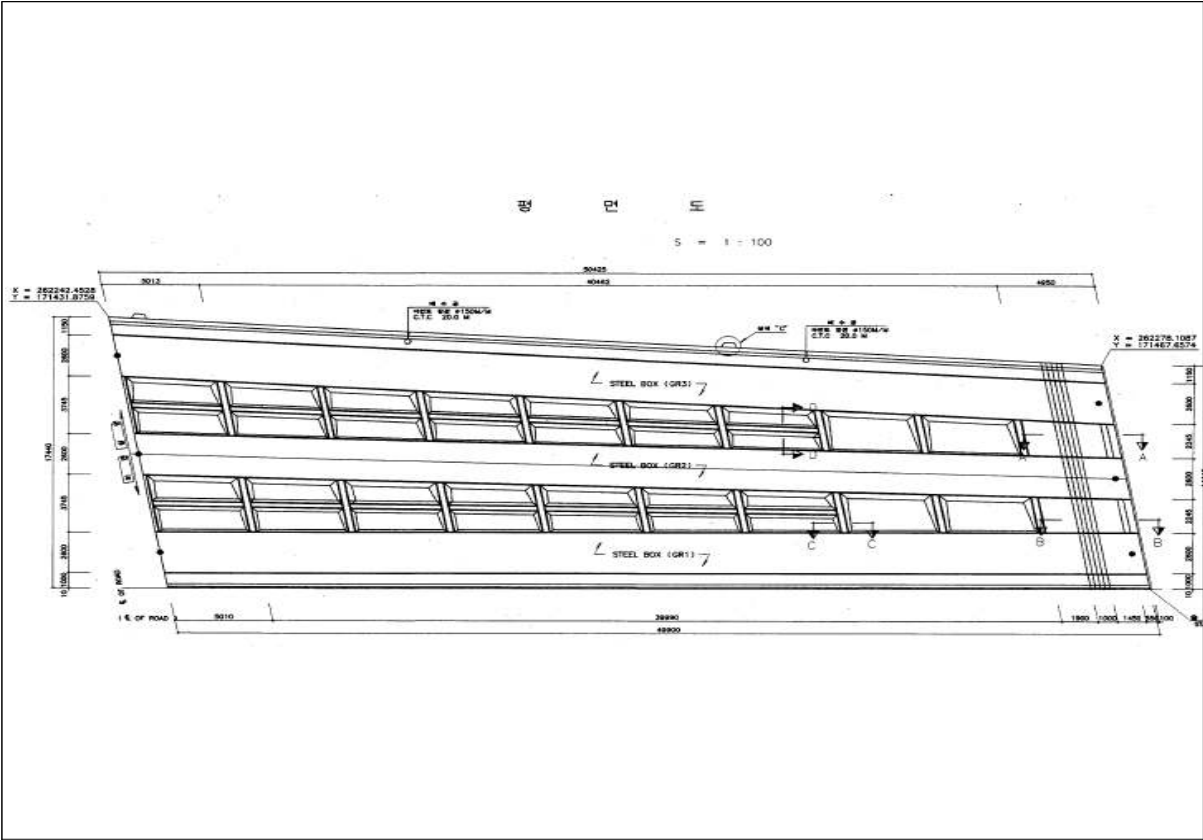
<그림 6.8>범안대교(범물방향) 상부 일반도(2)



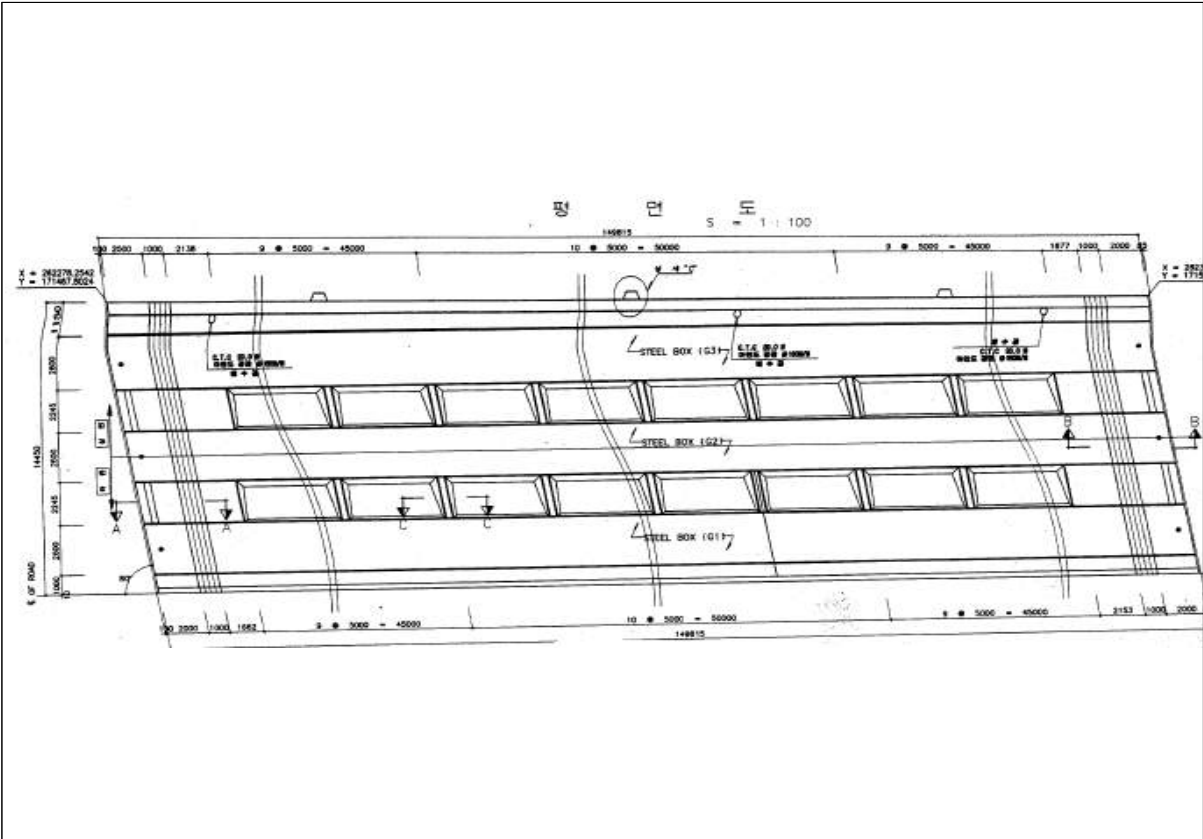
<그림 6.9>범안대교(범물방향) 상부 일반도(3)



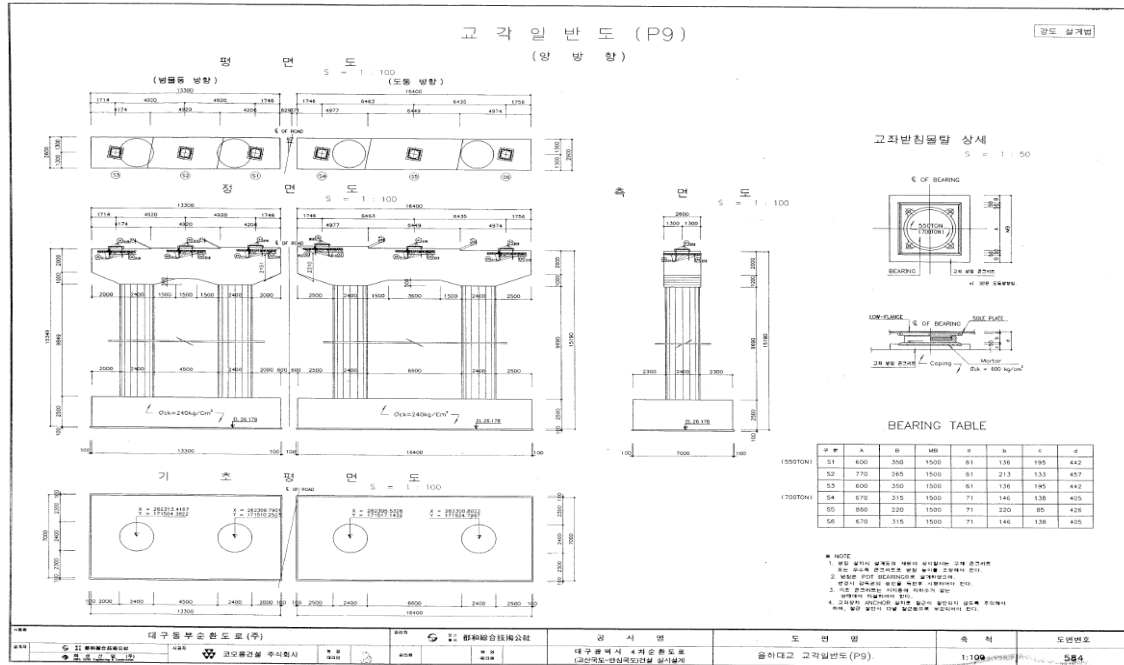
<그림 6.10>범안대교(범물방향) 상부 일반도(4)



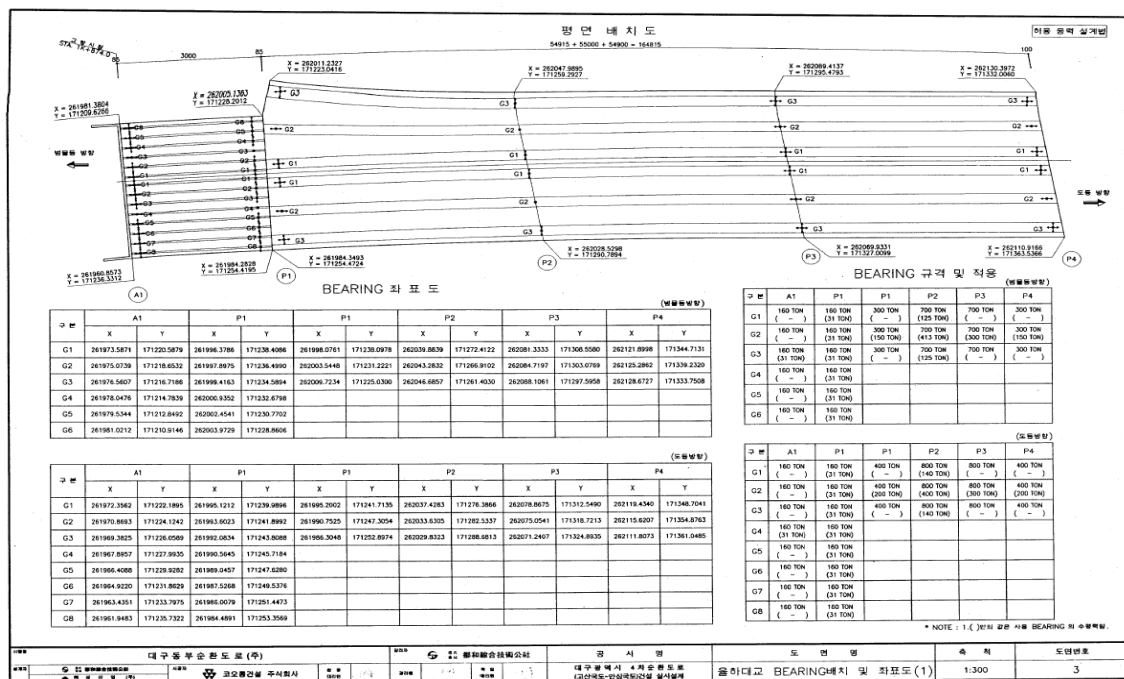
<그림 6.14>범안대교(범물방향) 상부 일반도(8)



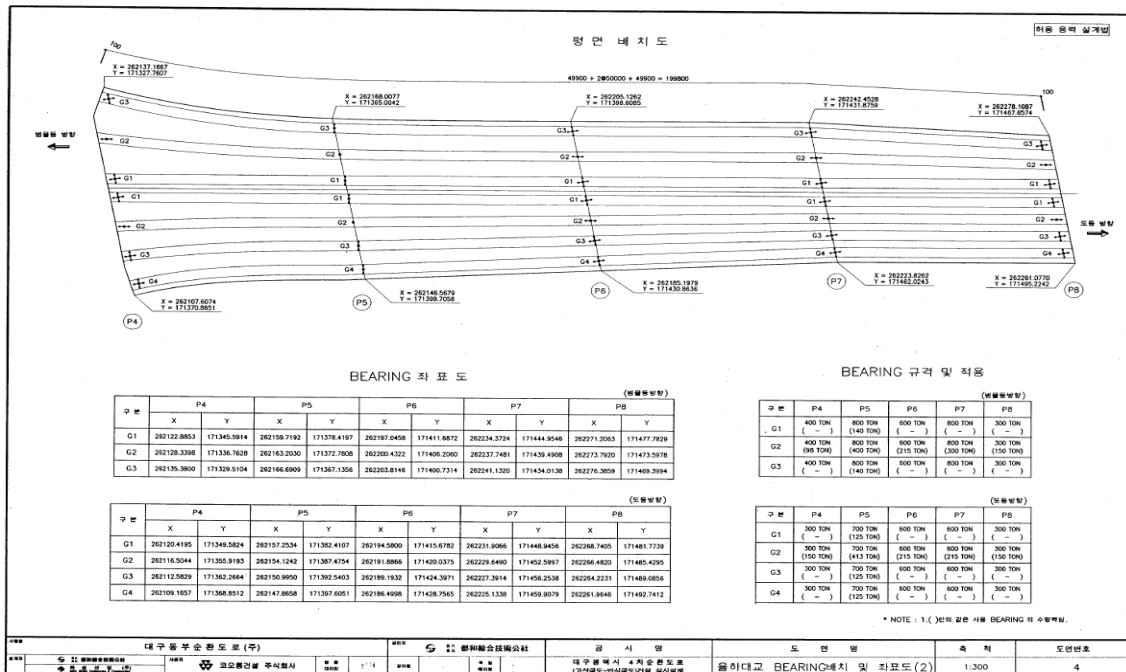
<그림 6.15>범안대교(범물방향) 상부 일반도(9)



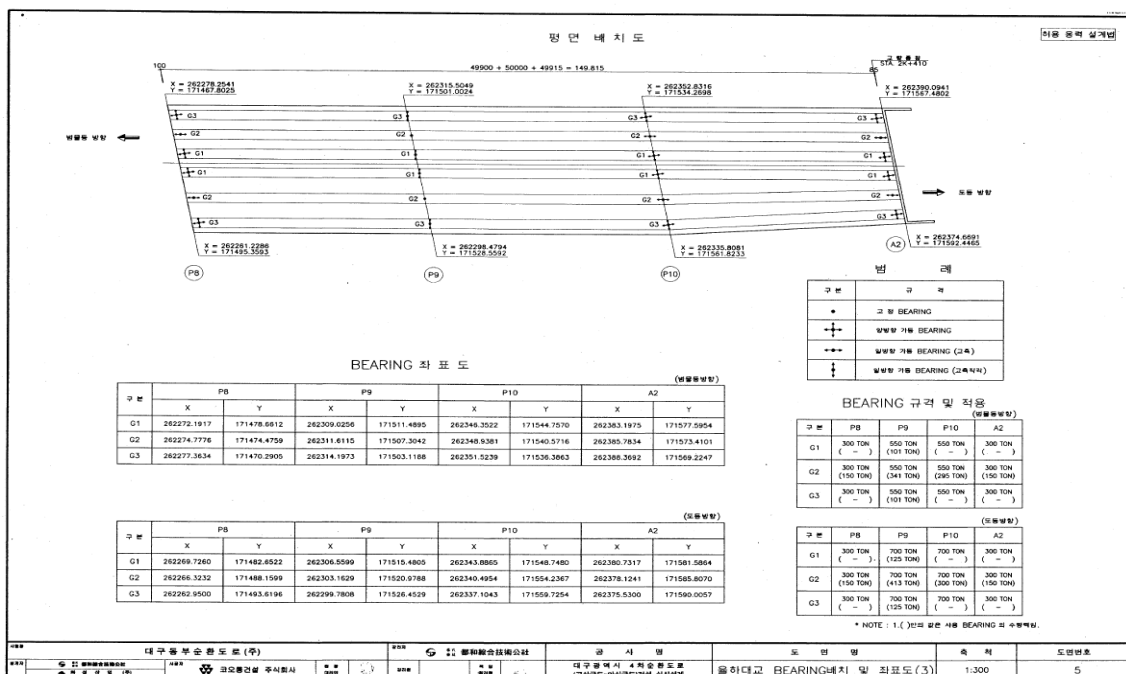
<그림 6.16>범안대교(범물방향) 교각 일반도



<그림 6.17>범안대교(범물방향) 교각받침 배치도



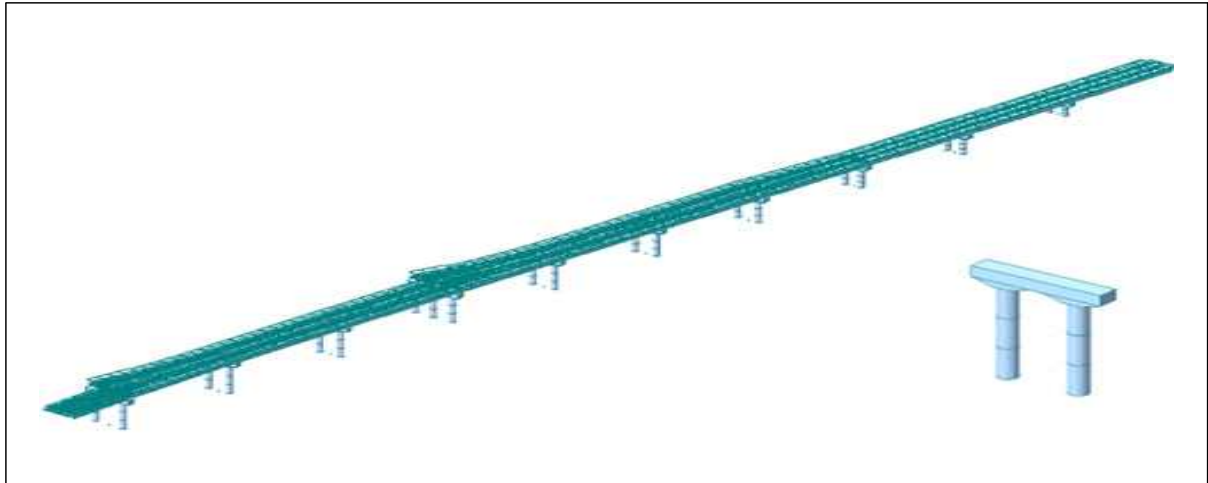
<그림 6.18>범안대교(범물방향) 교량받침 배치도(2)



<그림 6.19>범안대교(범물방향) 교량받침 배치도(3)

6.2.2 구조해석 모델

교량 상부구조의 모델링은 상부구조의 도심과 주형하단까지는 강체연결(Rigid link)로 주형하단에서 교각상단까지는 교량받침의 배치를 고려하여 변위에 대한 자유도를 연결한다. 또한, 받침종류에 따라서 적절한 내진저항 능력을 반영할 수 있도록 탄성연결 또는 비선형 강성연결 기능을 적용 한다. 해석프로그램은 MIDAS Civil을 이용하였다.



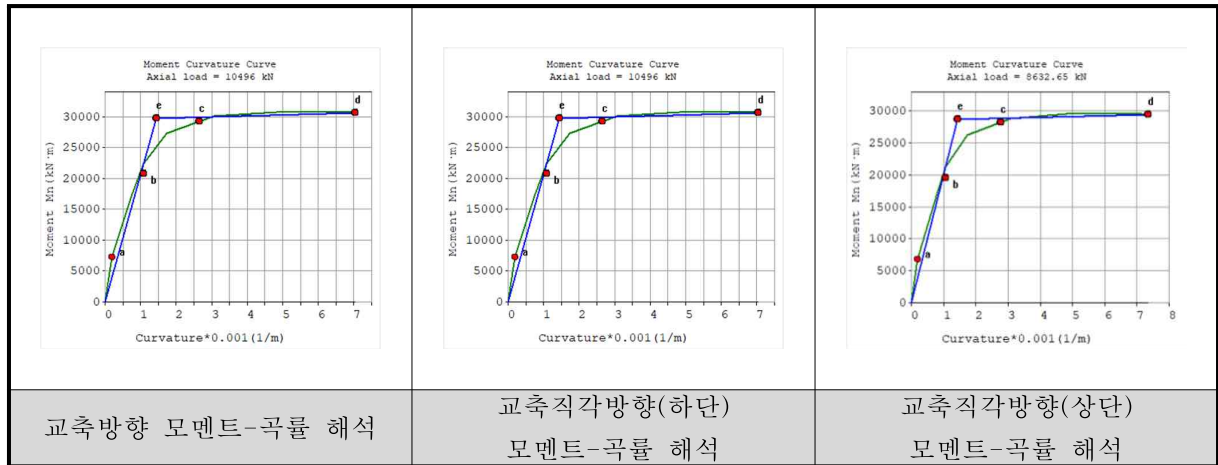
<그림 6.20>범안대교(범물방향) 교량 구조해석 모델링

6.2.3 모멘트-곡률 해석

교각의 최대 휨모멘트가 발생하는 단부구역(소성힌지구역)에 축방향 철근의 겹침이음 상태에 따라 연성능력이 크게 변화한다. 이를 모멘트-곡률 해석에서 반영하기 위해서는 겹침여부를 판정하여 겹침이음 비율에 따라 콘크리트 극한변형률 및 이에 따른 변위연성도를 제한하여야 한다.

구 분	특 성	단 면 형 상
ϵ_{co} : 콘크리트의 최대변형률	0.002	
ϵ_{cu} : 콘크리트의 극한변형률	0.004	
$f'_c = f'_{cc}$: 콘크리트 압축 강도	24	
ϵ_y : 항복변형률	0.00150	
ϵ_{sh} : 경화시 변형률	0.0115	
ϵ_{su} : 극한시 변형률	0.125	
f_{sy} : 항복강도	300	
f_{su} : 극한강도	440	

① P2 교각의 모멘트-곡률 곡선



▪ 교축방향 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	20,695	0.001085	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	29,739	0.001440	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	30,637	0.007026	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 교축직각방향(하단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	20,688	0.001085	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	29,737	0.001439	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	30,632	0.007025	M_u^L, ϕ_u^L

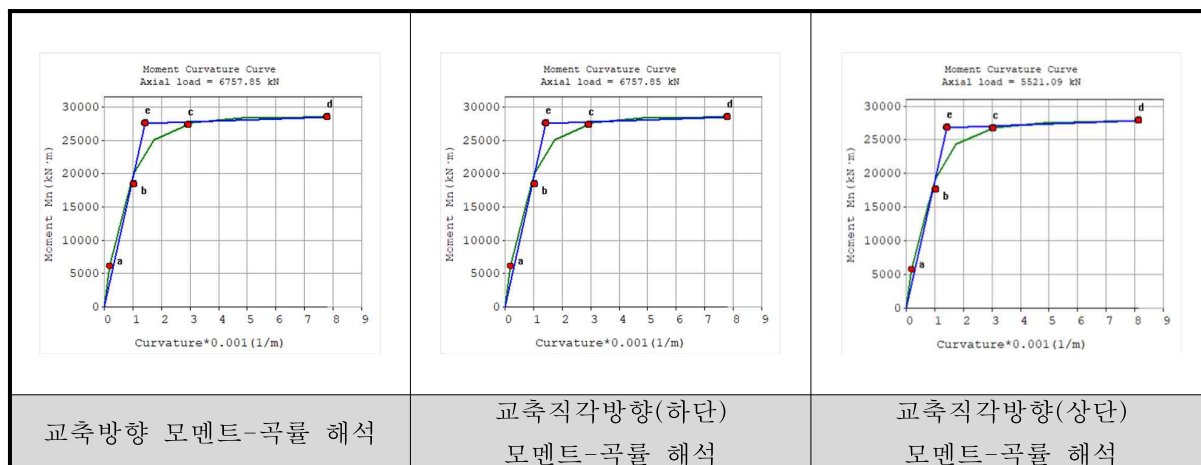
▪ 교축직각방향(상단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	19,551	0.001059	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	28,648	0.001428	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	29,480	0.007343	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 유효강성 산정

구 분	Scale	Ig (m4)	적용 유효강성 (m4)
교축방향	0.491	1.629	0.800
교축직각방향	0.491	1.629	0.800

② P8 교각의 모멘트-곡률 곡선



▪ 교축방향 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	18,399	0.001035	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	27,527	0.001419	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	28,476	0.007797	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 교축직각방향(하단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	18,393	0.001034	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	27,526	0.001418	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	28,482	0.007796	M_u^L, ϕ_u^L

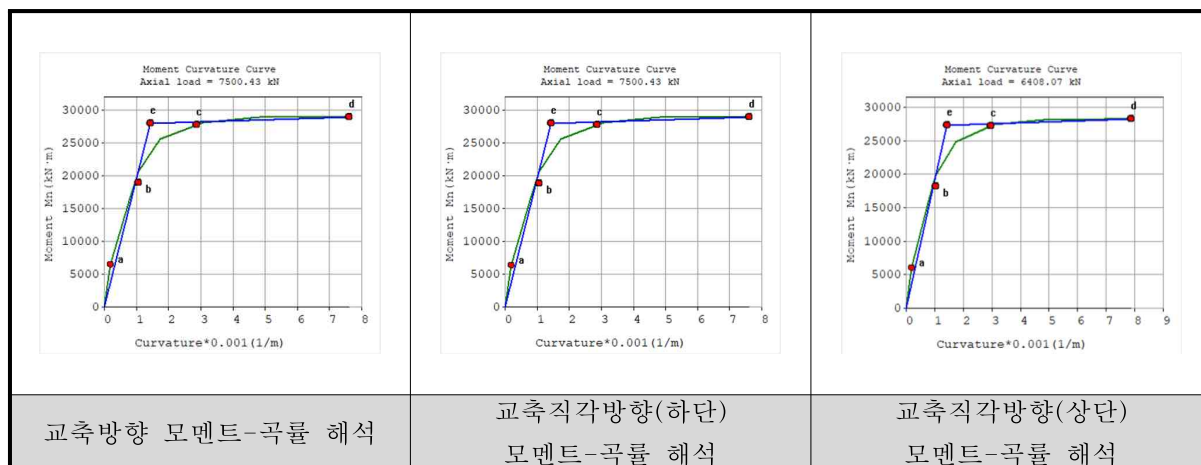
▪ 교축직각방향(상단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	17,638	0.001017	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	26,772	0.001414	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	27,818	0.008135	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 유효강성 산정

구 분	Scale	Ig (m4)	적용 유효강성 (m4)
교축방향	0.462	1.629	0.752
교축직각방향	0.462	1.629	0.752

③ P9 교각의 모멘트-곡률 곡선



▪ 교축방향 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	18,860	0.001045	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	27,972	0.001421	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	28,849	0.007610	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 교축직각방향(하단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	18,853	0.001044	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	27,974	0.001421	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	28,860	0.007609	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 교축직각방향(상단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	18,179	0.001029	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	27,309	0.001417	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	28,268	0.007876	M_u^L, ϕ_u^L

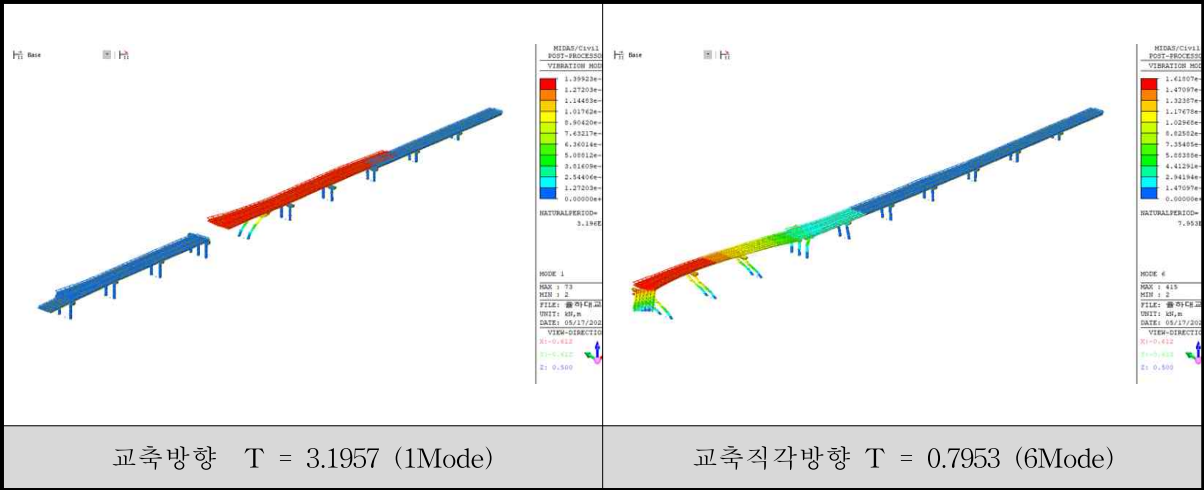
▪ 유효강성 산정

구 분	Scale	Ig (m4)	적용 유효강성 (m4)
교축방향	0.468	1.629	0.762
교축직각방향	0.468	1.629	0.762

6.2.4 지진해석결과



① 주요 모드 형상 (Mode Shape)



② 대표 검토 교각 부재력 집계

▪ 교각 2

1) 해석결과

부재력	교축방향 지진시		교직방향 지진시	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	8,632.7		8,632.7	
하단축력(kN)	10,496.0		10,496.0	
상단변위(mm)	167.2	18.1	20.7	49.8
상단전단력(kN)	1,385.5	544.1	181.9	2,290.7
하단전단력(kN)	1,429.4	557.2	193.9	2,485.6
상단모멘트(kN·m)	4,349.0	4,535.7	810.2	19,504.1
하단모멘트(kN·m)	26,866.1	4,723.9	3,348.4	20,836.7

2) 하중경우별 해석결과 (30% 규정 적용)

부재력	하중경우 1		하중경우 2	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	8,632.7		8,632.7	
하단축력(kN)	10,496.0		10,496.0	
상단변위(mm)	173.4	33.0	70.8	55.2
상단전단력(kN)	1,440.1	1,231.3	597.5	2,454.0
하단전단력(kN)	1,487.6	1,302.9	622.7	2,652.8
상단모멘트(kN·m)	4,592.0	10,386.9	2,114.9	20,864.8
하단모멘트(kN·m)	27,870.6	10,974.8	11,408.2	22,253.8

3) 하중경우별 해석결과 (고정하중)

부재력	하중경우		하중경우	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	8,632.7		8,632.7	
하단축력(kN)	10,496.0		10,496.0	
상단변위(mm)	0.6	0.3	0.6	0.3
상단전단력(kN)	5.6	21.2	5.6	21.2
하단전단력(kN)	5.6	21.2	5.6	21.2
상단모멘트(kN·m)	45.2	197.5	45.2	197.5
하단모멘트(kN·m)	101.1	158.0	101.1	158.0

4) 방향별 하중조합

부재력	교축방향	교직방향	기호
	교축 조합력	교직 조합력	
상단축력(kN)	8,632.7	8,632.7	P
하단축력(kN)	10,496.0	10,496.0	Pbot
상단변위(mm)	174.0	55.5	[ΔE]comb
상단전단력(kN)	1,445.7	2,475.1	[VE]comb,Top
하단전단력(kN)	1,493.2	2,673.9	[VE]comb,Bot
상단모멘트(kN·m)	4,637.2	21,062.3	[ME]comb
하단모멘트(kN·m)	27,971.7	22,411.8	[ME]comb

▪ 교각 8

1) 해석결과

부재력	교축방향 지진시		교직방향 지진시	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	5,521.1		5,521.1	
하단축력(kN)	6,757.9		6,757.9	
상단변위(mm)	30.7	3.1	3.0	19.3
상단전단력(kN)	704.3	395.6	165.6	2,614.2
하단전단력(kN)	821.3	418.3	190.3	2,766.2
상단모멘트(kN·m)	1,244.3	2,180.9	637.7	14,444.3
하단모멘트(kN·m)	9,665.9	2,364.2	1,735.8	15,670.2

2) 하중경우별 해석결과 (30% 규정 적용)

부재력	하중경우 1		하중경우 2	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	5,521.1		5,521.1	
하단축력(kN)	6,757.9		6,757.9	
상단변위(mm)	31.6	8.9	12.2	20.3
상단전단력(kN)	754.0	1,179.8	376.9	2,732.8
하단전단력(kN)	878.4	1,248.2	436.7	2,891.6
상단모멘트(kN·m)	1,435.6	6,514.2	1,010.9	15,098.6
하단모멘트(kN·m)	10,186.7	7,065.2	4,635.6	16,379.5

3) 하중경우별 해석결과 (고정하중)

부재력	하중경우		하중경우	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	5,521.1		5,521.1	
하단축력(kN)	6,757.9		6,757.9	
상단변위(mm)	1.6	0.3	1.6	0.3
상단전단력(kN)	0.4	3.6	0.4	3.6
하단전단력(kN)	0.4	3.6	0.4	3.6
상단모멘트(kN·m)	327.1	17.8	327.1	17.8
하단모멘트(kN·m)	327.1	22.3	327.1	22.3

4) 방향별 하중조합

부재력	교축방향	교직방향	기호
	교축 조합력	교직 조합력	
상단축력(kN)	5,521.1	5,521.1	P
하단축력(kN)	6,757.9	6,757.9	Pbot
상단변위(mm)	33.2	20.5	[ΔE]comb
상단전단력(kN)	754.4	2,736.4	[VE]comb,Top
하단전단력(kN)	878.7	2,895.2	[VE]comb,Bot
상단모멘트(kN·m)	1,762.6	15,116.4	[ME]comb
하단모멘트(kN·m)	10,513.8	16,401.8	[ME]comb

▪ 교각 9

1) 해석결과

부재력	교축방향 지진시		교직방향 지진시	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	6,408.1		6,408.1	
하단축력(kN)	7,500.4		7,500.4	
상단변위(mm)	79.0	12.1	12.4	11.2
상단전단력(kN)	2,252.0	343.7	391.8	2,163.1
하단전단력(kN)	2,281.4	367.2	402.5	2,273.1
상단모멘트(kN·m)	6,543.4	1,666.1	1,288.7	10,479.0
하단모멘트(kN·m)	28,822.2	1,816.8	4,604.3	11,421.5

2) 하중경우별 해석결과 (30% 규정 적용)

부재력	하중경우 1		하중경우 2	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	6,408.1		6,408.1	
하단축력(kN)	7,500.4		7,500.4	
상단변위(mm)	82.7	15.4	36.1	14.8
상단전단력(kN)	2,369.5	992.6	1,067.3	2,266.2
하단전단력(kN)	2,402.2	1,049.1	1,086.9	2,383.2
상단모멘트(kN·m)	6,930.0	4,809.8	3,251.7	10,978.8
하단모멘트(kN·m)	30,203.5	5,243.2	13,250.9	11,966.6

3) 하중경우별 해석결과 (고정하중)

부재력	하중경우		하중경우	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	6,408.1		6,408.1	
하단축력(kN)	7,500.4		7,500.4	
상단변위(mm)	0.2	0.0	0.2	0.0
상단전단력(kN)	19.8	6.9	19.8	6.9
하단전단력(kN)	19.8	6.9	19.8	6.9
상단모멘트(kN·m)	101.2	44.5	101.2	44.5
하단모멘트(kN·m)	103.9	23.6	103.9	23.6

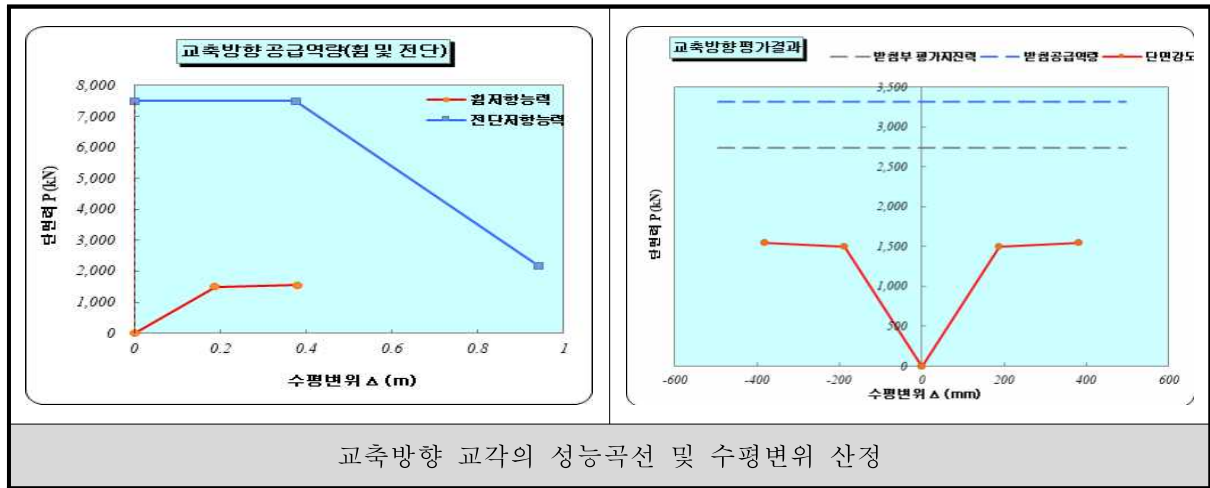
4) 방향별 하중조합

부재력	교축방향	교직방향	기호
	교축 조합력	교직 조합력	
상단축력(kN)	6,408.1	6,408.1	P
하단축력(kN)	7,500.4	7,500.4	Pbot
상단변위(mm)	82.9	15.4	[ΔE]comb
상단전단력(kN)	2,389.3	2,273.1	[VE]comb,Top
하단전단력(kN)	2,421.9	2,390.1	[VE]comb,Bot
상단모멘트(kN·m)	7,031.2	11,023.4	[ME]comb
하단모멘트(kN·m)	30,307.4	11,990.2	[ME]comb

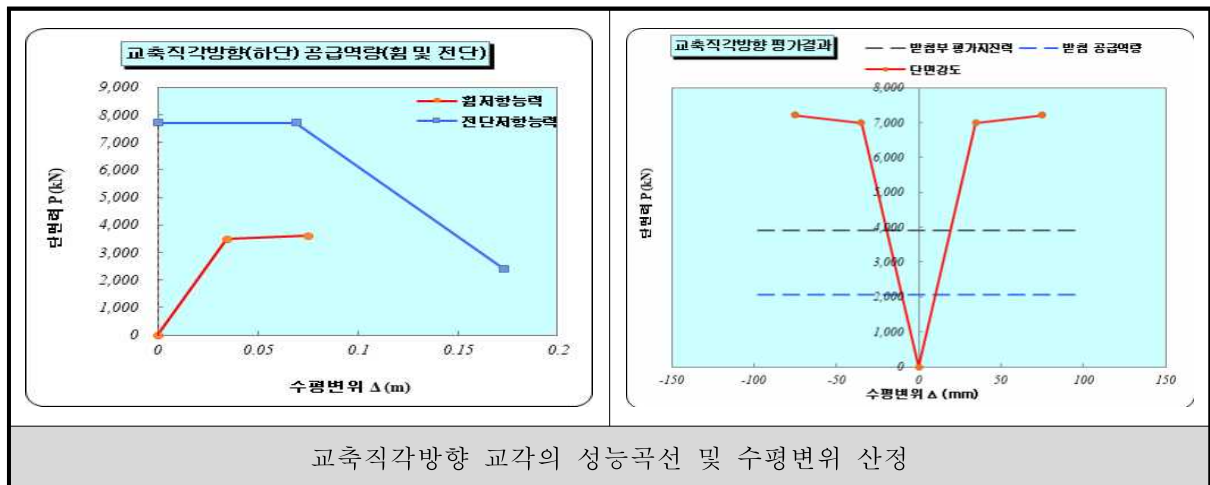
6.2.5 교각 기둥부 내진성능평가

① 교각 2 공급역량 및 평가결과

▪ 교축방향 교각 공급역량



▪ 교축직각방향 교각 공급역량



▪ 변위성능평가 결과

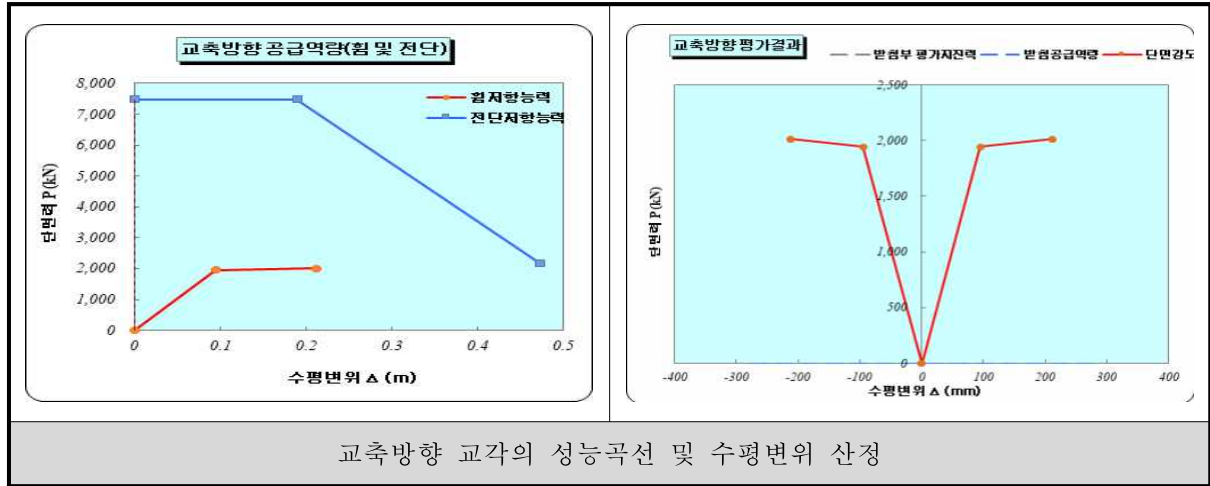
구 분		공급역량 (m)	소요역량 (m)	판 정
교각2	교축방향	2.026	1.016	O.K
	교축 직각방향	2.170	1.000	O.K

▪ 전단성능평가 결과

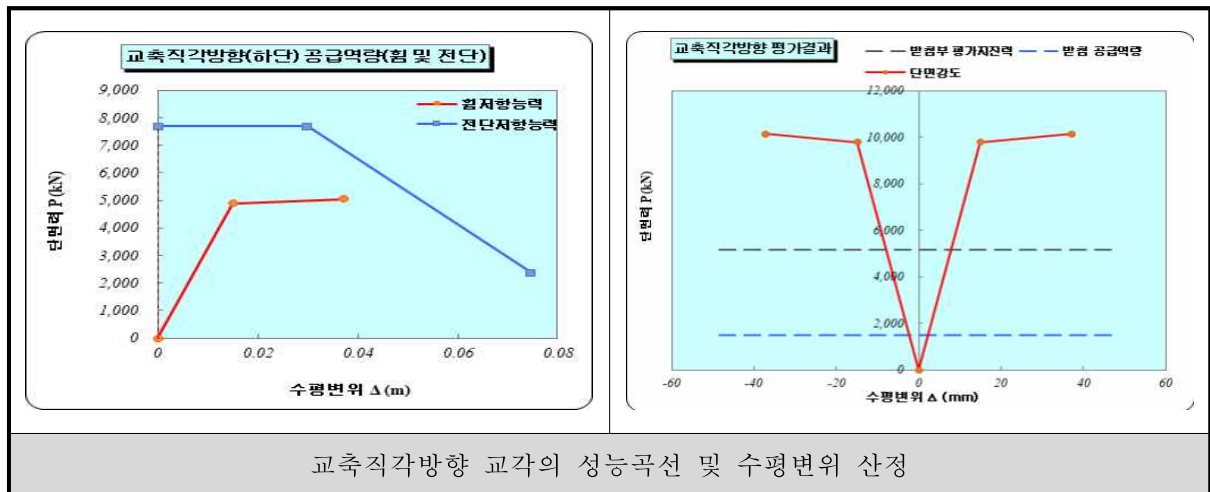
구 분		공급역량 (kN)	소요역량 (kN)	판 정
교각2	교축방향	7,499	1,493	O.K
	교축직각방향	7,708	2,674	O.K

② 교각 8 공급역량 및 평가결과

교축방향 교각 공급역량



교축직각방향 교각 공급역량



변위성능평가 결과

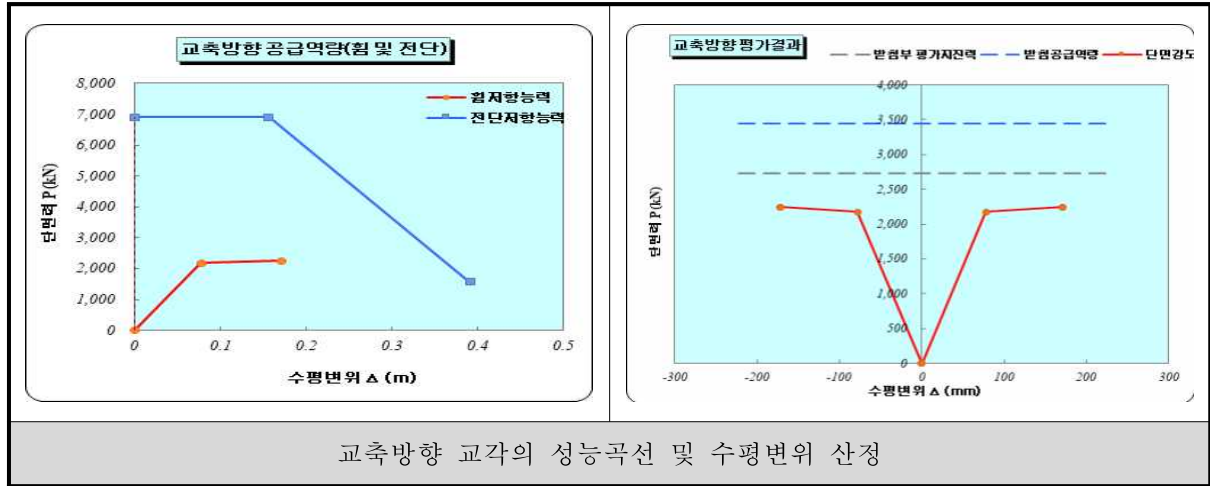
구 분		공급역량 (m)	소요역량 (m)	판 정
교각8	교축방향	2.236	1.000	O.K
	교축직각방향	2.490	1.000	O.K

전단성능평가 결과

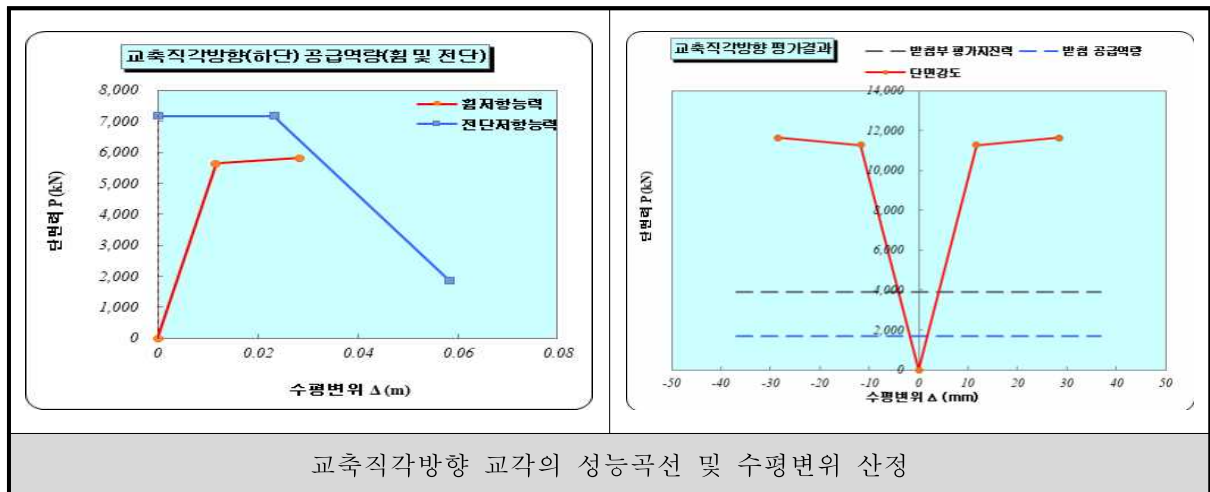
구 분		공급역량 (kN)	소요역량 (kN)	판 정
교각8	교축방향	7,483	879	O.K
	교축직각방향	7,696	2,895	O.K

③ 교각 9 공급역량 및 평가결과

▪ 교축방향 교각 공급역량



▪ 교축직각방향 교각 공급역량



▪ 변위성능평가 결과

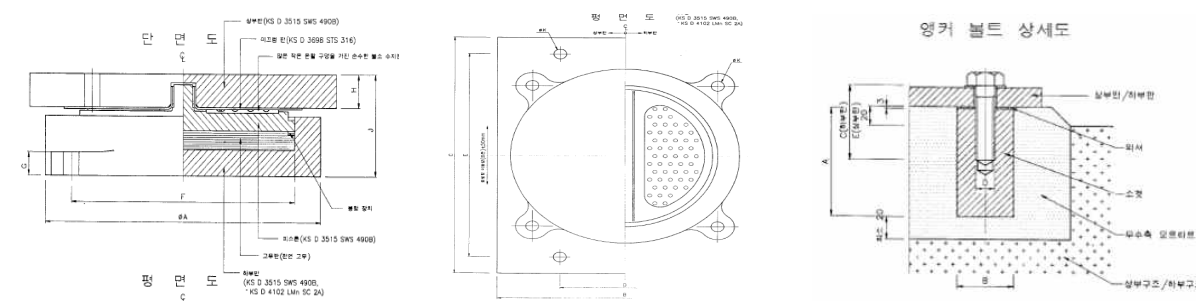
구 분		공급역량 (m)	소요역량 (m)	판 정
교각9	교축방향	2.190	1.112	O.K
	교축직각방향	2.436	1.000	O.K

▪ 전단성능평가 결과

구 분		공급역량 (kN)	소요역량 (kN)	판 정
교각9	교축방향	6,897	2,422	O.K
	교축직각방향	7,182	2,390	O.K

6.2.6 받침부 내진성능평가

① 교대 1 받침본체 규격

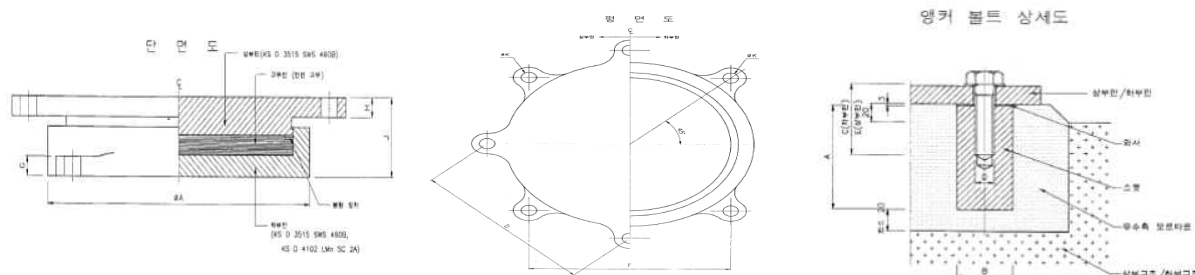


구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	340	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	340	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	50	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	20	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	170	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	280	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	280	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수		2 X 2	EA	

▪ 교대 1 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	310	970	0.320	N.G
앵커볼트-앵커강재파괴	1,081	970	1.114	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	756	970	0.779	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	651	970	0.672	N.G

② 교각 2 받침본체 규격



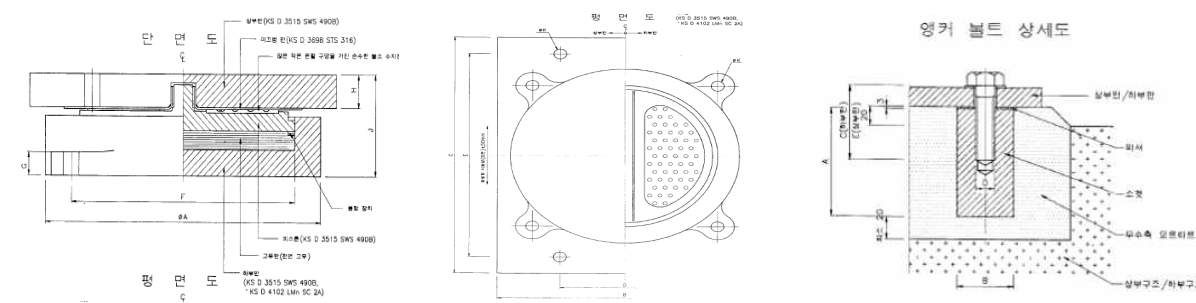
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	880	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	880	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	160	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	64	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	550	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	730	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	730	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

▪ 교각 2 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	공급역량	소요역량	판정	
반침본체	6,630	2,732	2.426	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	11,066	911	12.150	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	12,969	2,732	4.747	O.K
앵커볼트-프라이아웃파괴	3,241	911	3.559	O.K

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	4,130	3,901	1.059	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	11,066	3,901	2.837	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	2,148	3,901	0.551	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	3,241	3,901	0.831	N.G

③ 교각 8 받침본체 규격

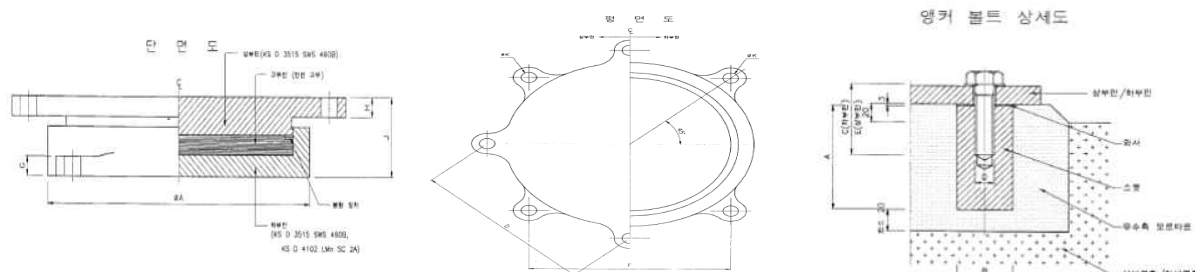


구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	240	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	240	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	105	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	42	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	360	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	450	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	450	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

▪ 교각 8 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	3,000	5,141	0.584	N.G
앵커볼트-앵커강재파괴	4,766	2,570	1.854	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	1,790	5,141	0.348	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	1,559	2,570	0.607	N.G

④ 교각 9 받침본체 규격



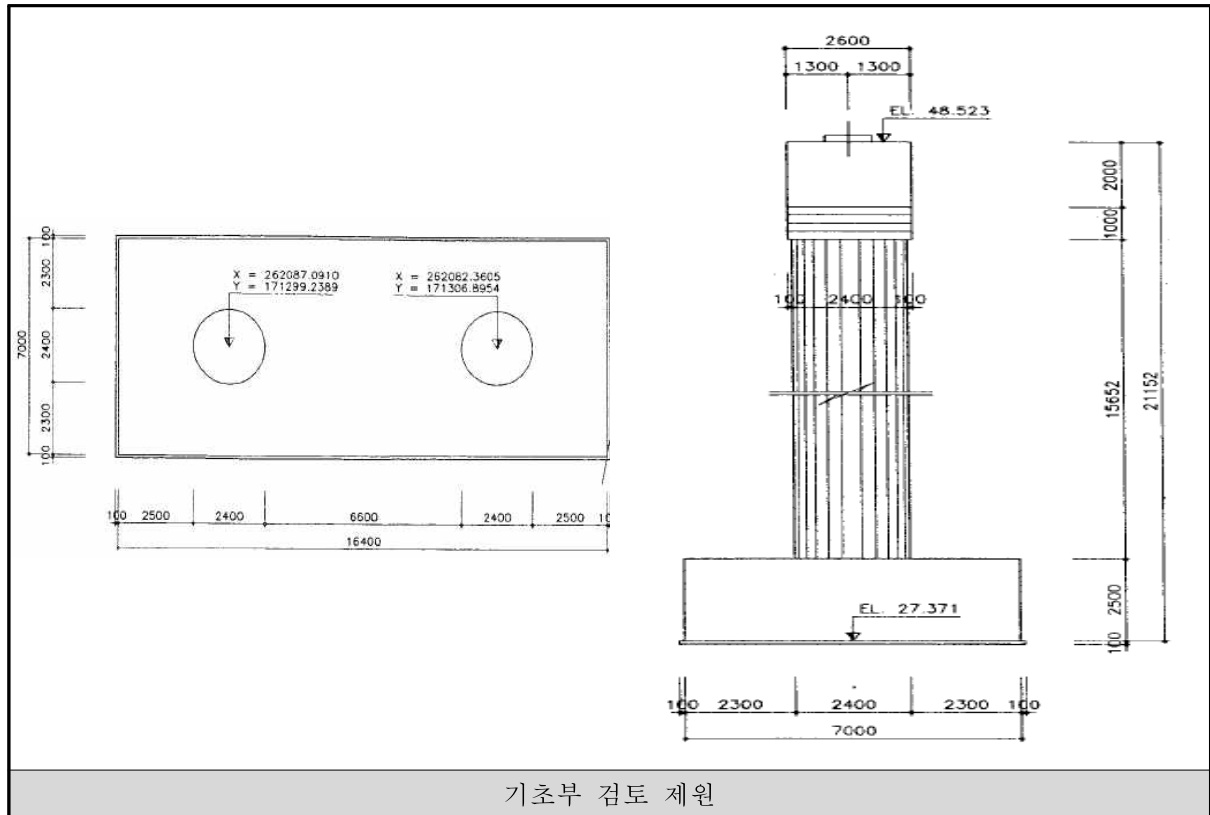
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	770	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	770	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	160	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	64	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	50	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	650	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	650	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

▪ 교각 9 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	공급역량	소요역량	판정	
반침본체	5,430	4,490	1.209	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	11,066	1,497	7.393	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	10,424	4,490	2.321	O.K
앵커볼트-프라이아웃파괴	3,066	1,497	2.048	O.K

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	3,410	3,764	0.906	N.G
앵커볼트-앵커강재파괴	11,066	3,764	2.940	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	2,112	3,764	0.561	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	3,066	3,764	0.815	N.G

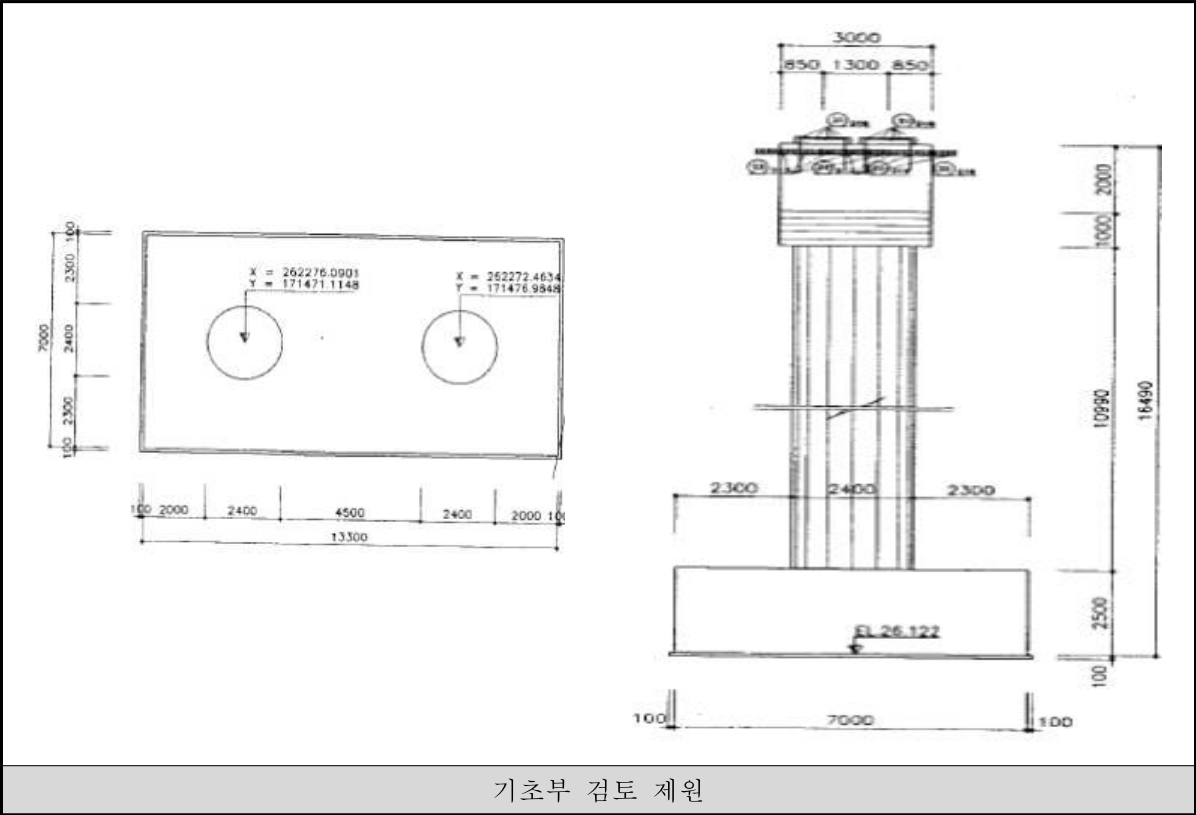
6.2.7 기초부 내진성능평가



① 교각 2 기초부 검토

▪ 기초부 내진성능평가 결과

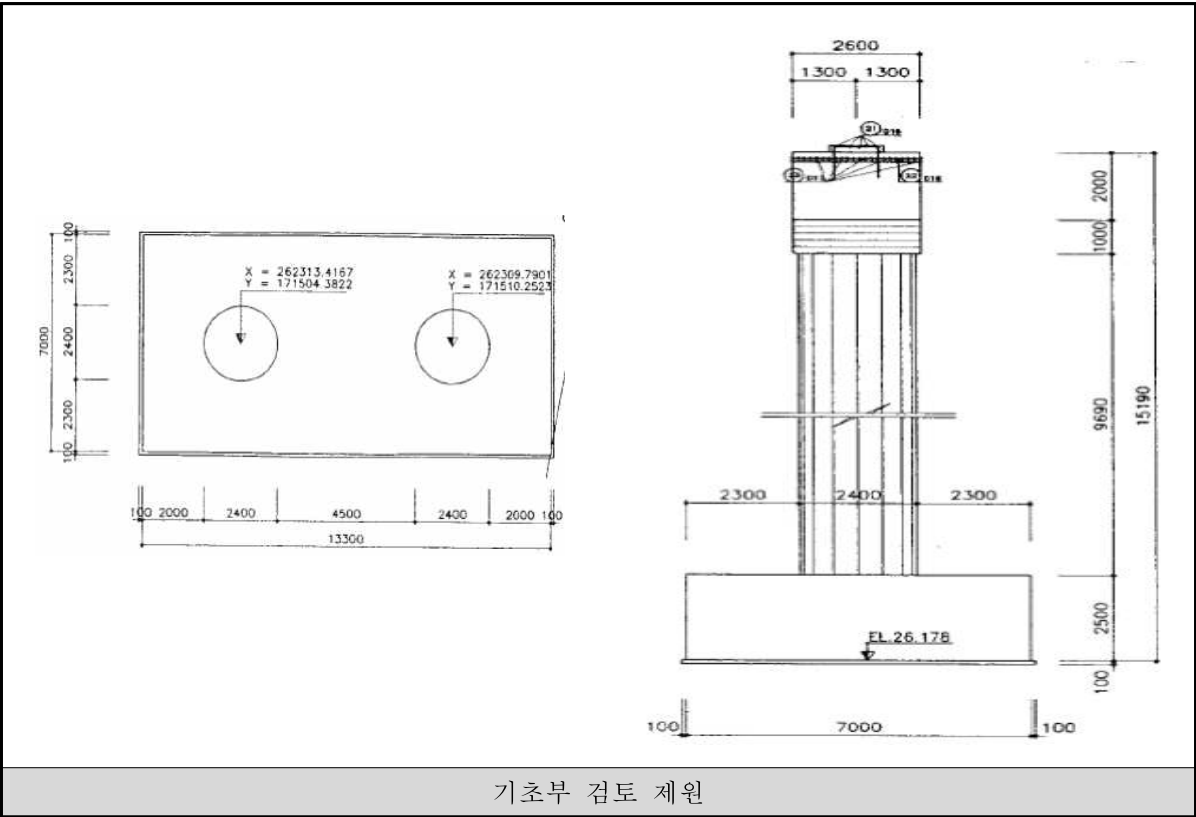
구분		방향	공급역량	소요역량	판정	
안정성 검토	전도	교축	2.800	1.910	1.466	O.K
		교직	6.560	1.753	3.741	O.K
	지지력	교축	5.812	2.000	2.906	O.K
		교직	21.806	2.000	10.903	O.K
	활동	교축	6.668	1.200	5.557	O.K
		교직	3.724	1.200	3.103	O.K
단면 검토	휨	교축	47,199	28,928	1.632	O.K
		교직	19,465	16,429	1.185	O.K
	전단	교축	32,137	12,751	2.520	O.K
		교직	13,717	7,324	1.873	O.K



② 교각 8 기초부 검토

▪ 기초부 내진성능평가 결과

구분		방향	공급역량	소요역량	판정	
안정성 검토	전도	교축	2.800	1.082	2.587	O.K
		교직	5.320	2.013	2.643	O.K
	지지력	교축	13.094	2.000	6.547	O.K
		교직	17.714	2.000	8.857	O.K
	활동	교축	8.018	1.200	6.682	O.K
		교직	2.434	1.200	2.028	O.K
단면 검토	휨	교축	37,837	12,712	2.976	O.K
		교직	19,465	12,219	1.593	O.K
	전단	교축	26,063	5,501	4.737	O.K
		교직	13,717	4,931	2.782	O.K



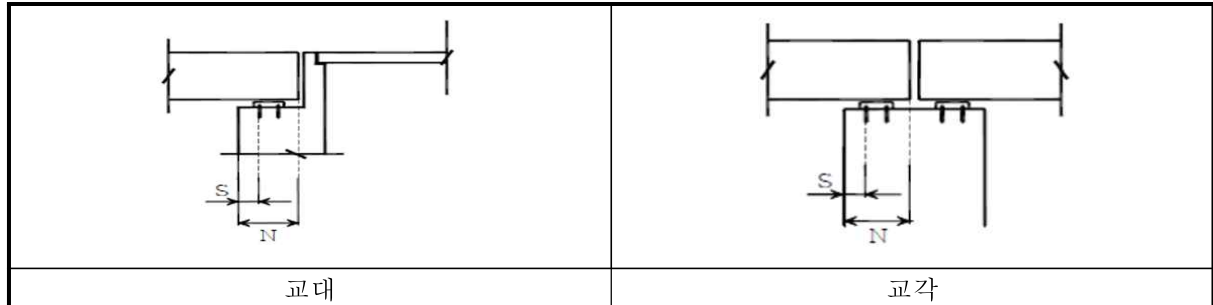
③ 교각 9 기초부 검토

▪ 기초부 내진성능평가 결과

구분		방향	공급역량	소요역량	판정	
안정성 검토	전도	교축	2.800	2.658	1.053	O.K
		교직	5.320	1.386	3.839	O.K
	지지력	교축	3.438	2.000	1.719	O.K
		교직	21.231	2.000	10.615	O.K
	활동	교축	3.465	1.200	2.887	O.K
		교직	3.255	1.200	2.712	O.K
단면 검토	휨	교축	37,837	36,481	1.037	O.K
		교직	19,465	11,150	1.746	O.K
	전단	교축	26,063	17,146	1.520	O.K
		교직	13,717	5,121	2.679	O.K

6.2.8 받침 지지길이 평가 결과

낙교방지를 위한 받침지지 길이는 교각 및 교대의 거더 단부끝단까지의 거리로서 현장조사 및 설계도면을 통해 산정하였다.



구 분		공급역량	소요역량	안전율	평가	내진보강
교 대 1	N(mm)	1,300	382	3.403	O.K	불필요

6.2.9 종합결론

본 교량의 경우 해석단면의 상부는 Steel Box Girder교, 하부는 다주식교각, 교좌장치로는 포트받침이 적용되어 있다. 현재 시행 되고 있는 내진성능평가 요령에 따라 내진성능평가를 수행하였으며, 이에 따른 결과는 다음과 같다.

내진성능 검토 대상으로는 교각기둥, 교량받침부, 교각기초부, 지지길이를 평가하였으며 평가 결과, 교각 및 교대의 받침부에서 내진성능이 만족하지 못한 것으로 검토된다. 따라서 추후 보강방안이 필요할 것으로 판단된다.

6.3 내진성능평가(안심방향)

6.3.1 교량제원

교 량 명 : 범안대교(안심방향)

교량등급 : 1등급(DB-24)

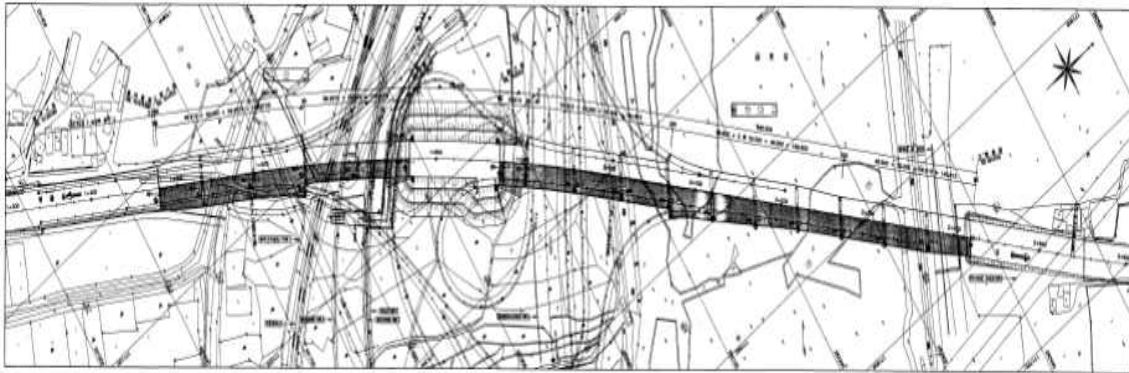
교량형식 : Steel Box Girder교

교 장 : $30.0+3@55.0+4@50.0+3@50.0+3@50.0=545.0\text{m}$

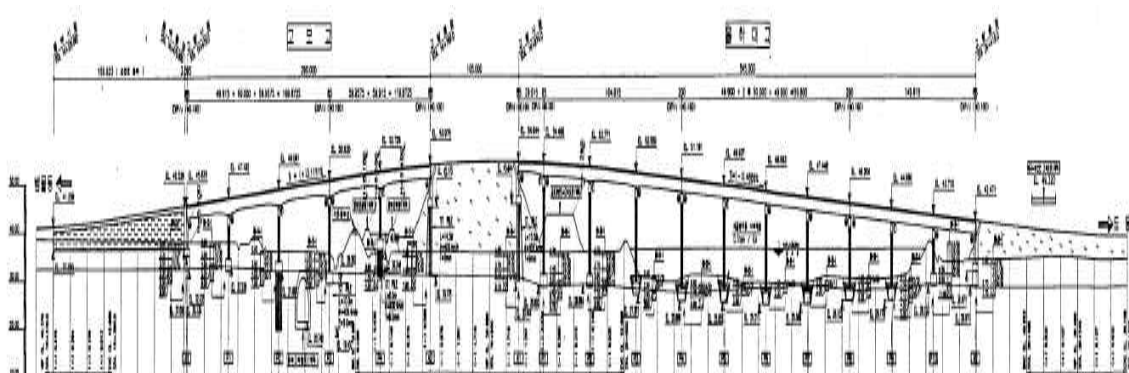
교 량 폭 : $B = 17.100\text{m}$

하부콘크리트강도 : 24 MPa

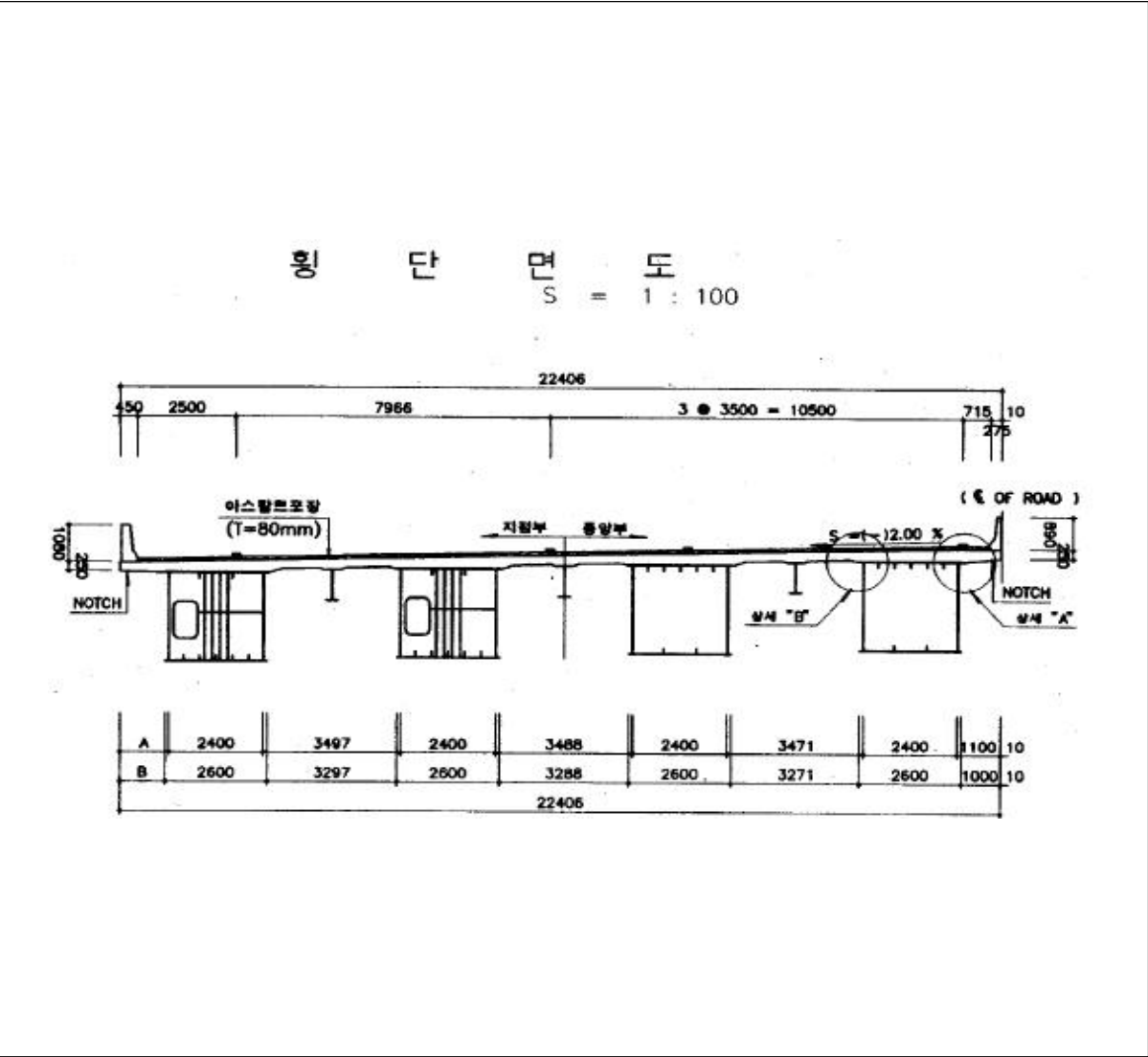
하부철근강도 : 300 MPa



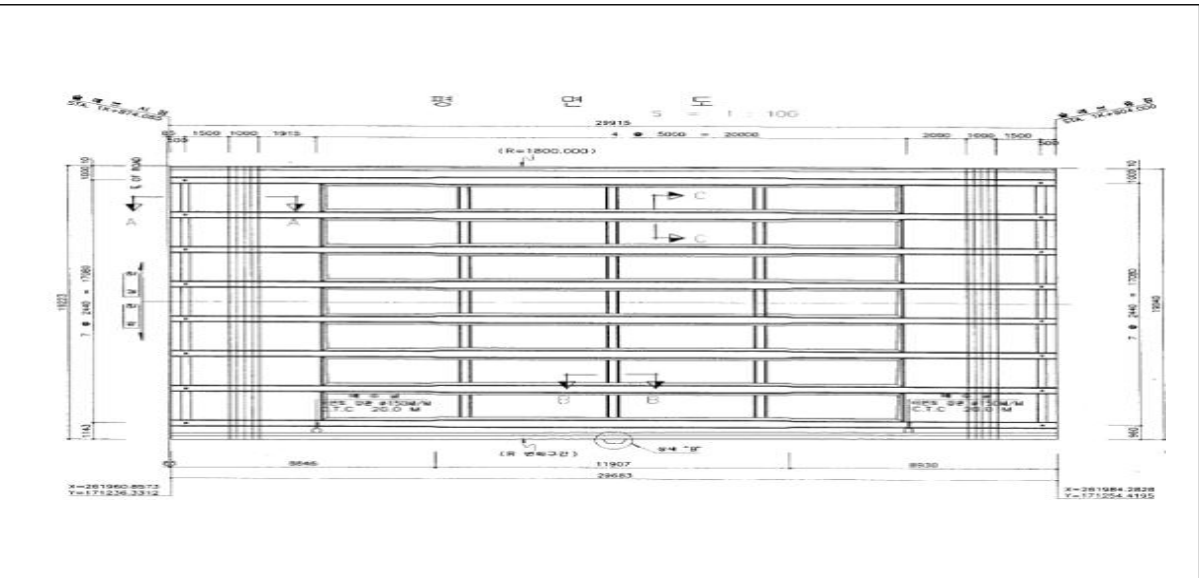
<그림 6.21>범안대교(안심방향) 평면도



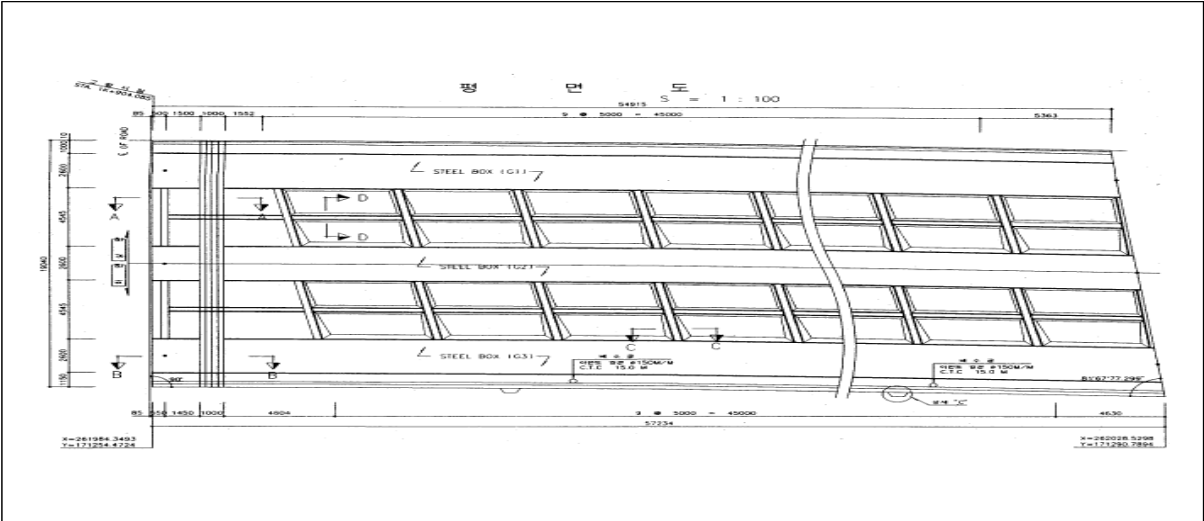
<그림 6.22>범안대교(안심방향) 종단면도



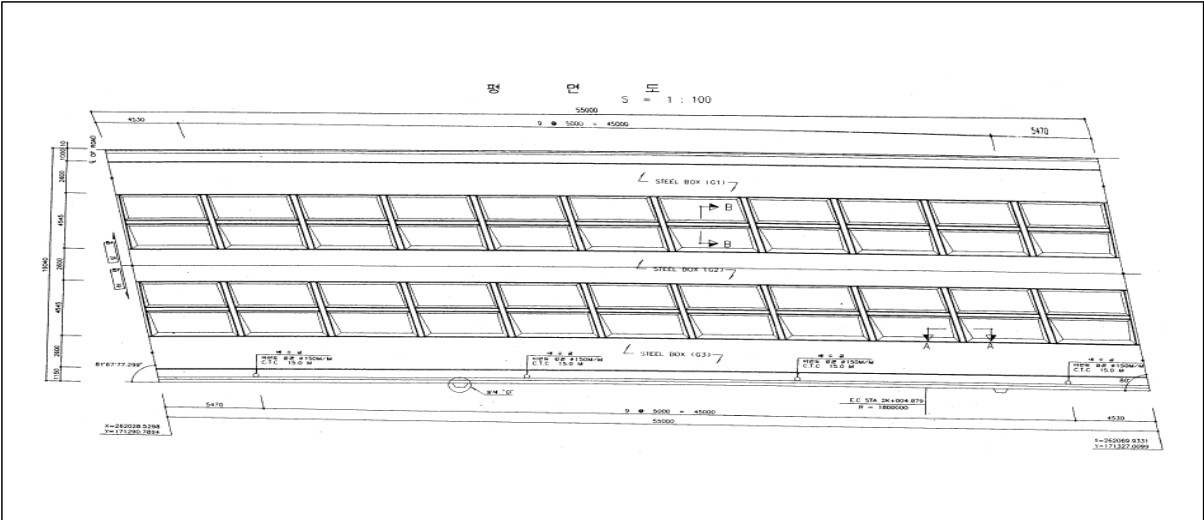
<그림 6.23>범안대교(안심방향) 횡단면도



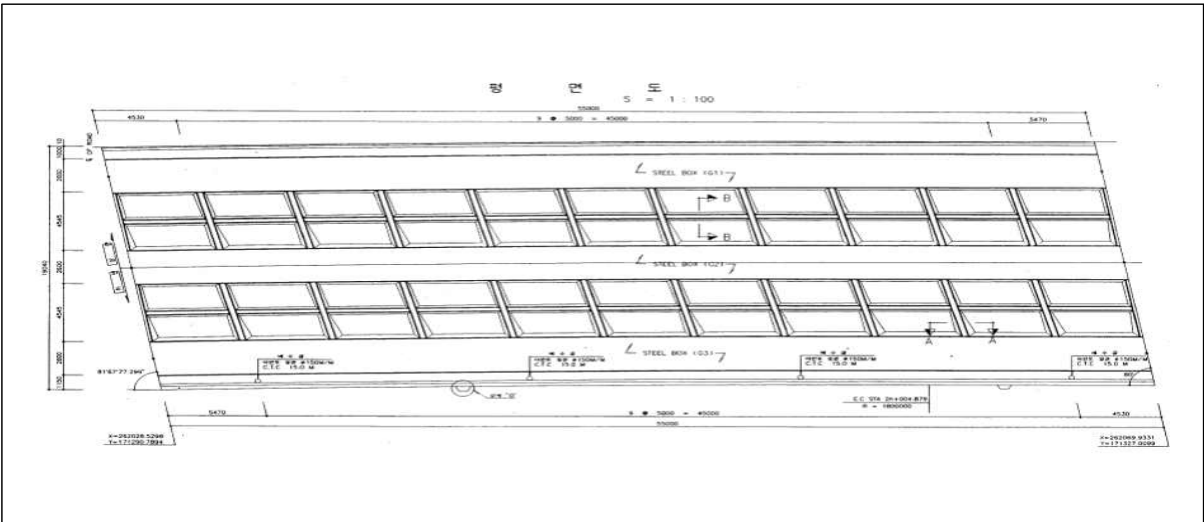
<그림 6.24>범안대교(안심방향) 상부 일반도(1)



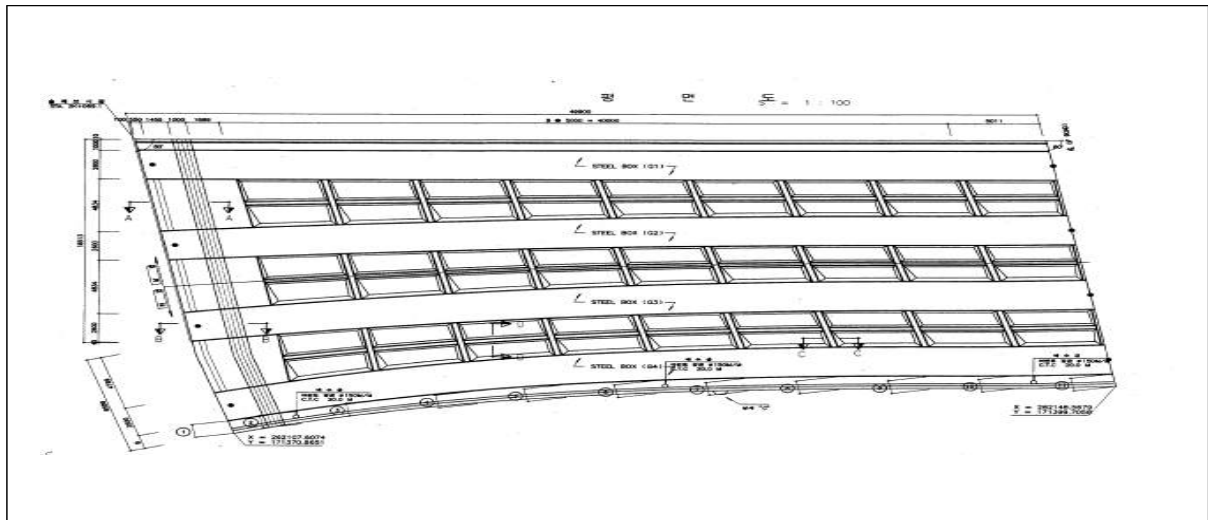
<그림 6.25>범안대교(안심방향) 상부 일반도(2)



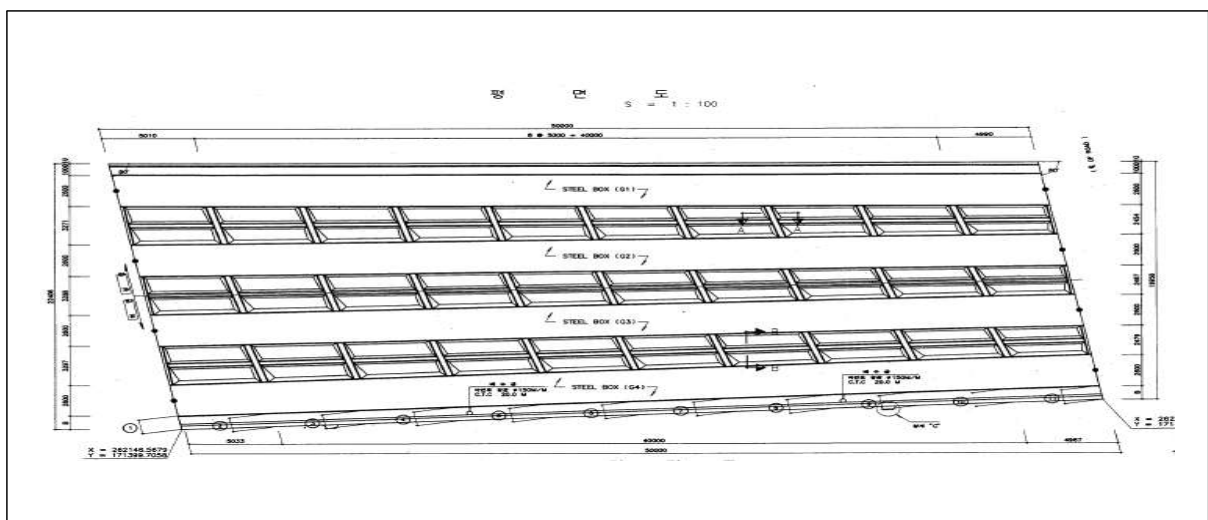
<그림 6.26>범안대교(안심방향) 상부 일반도(3)



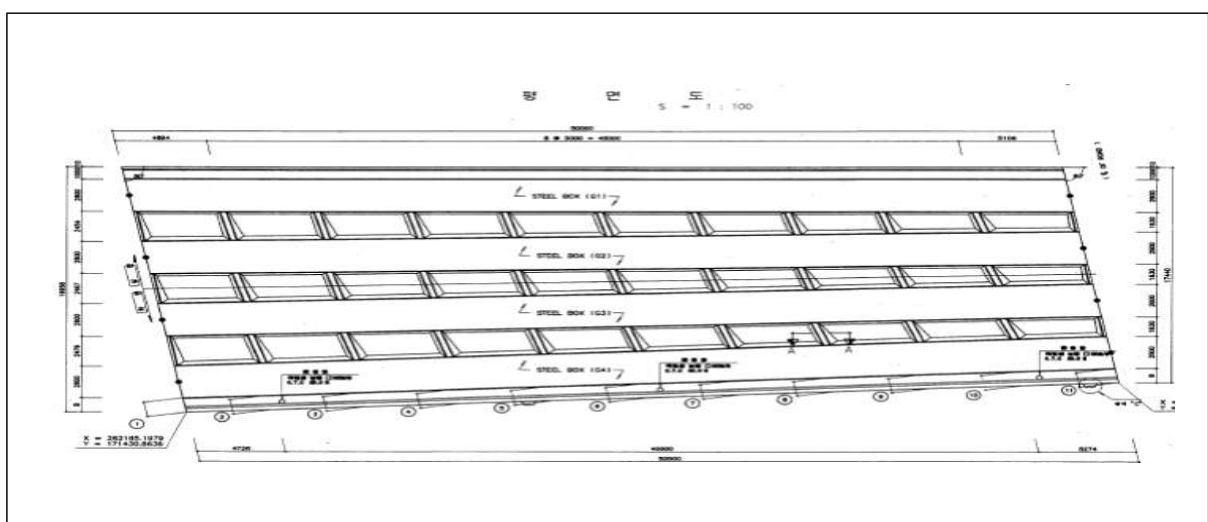
<그림 6.27>범안대교(안심방향) 상부 일반도(4)



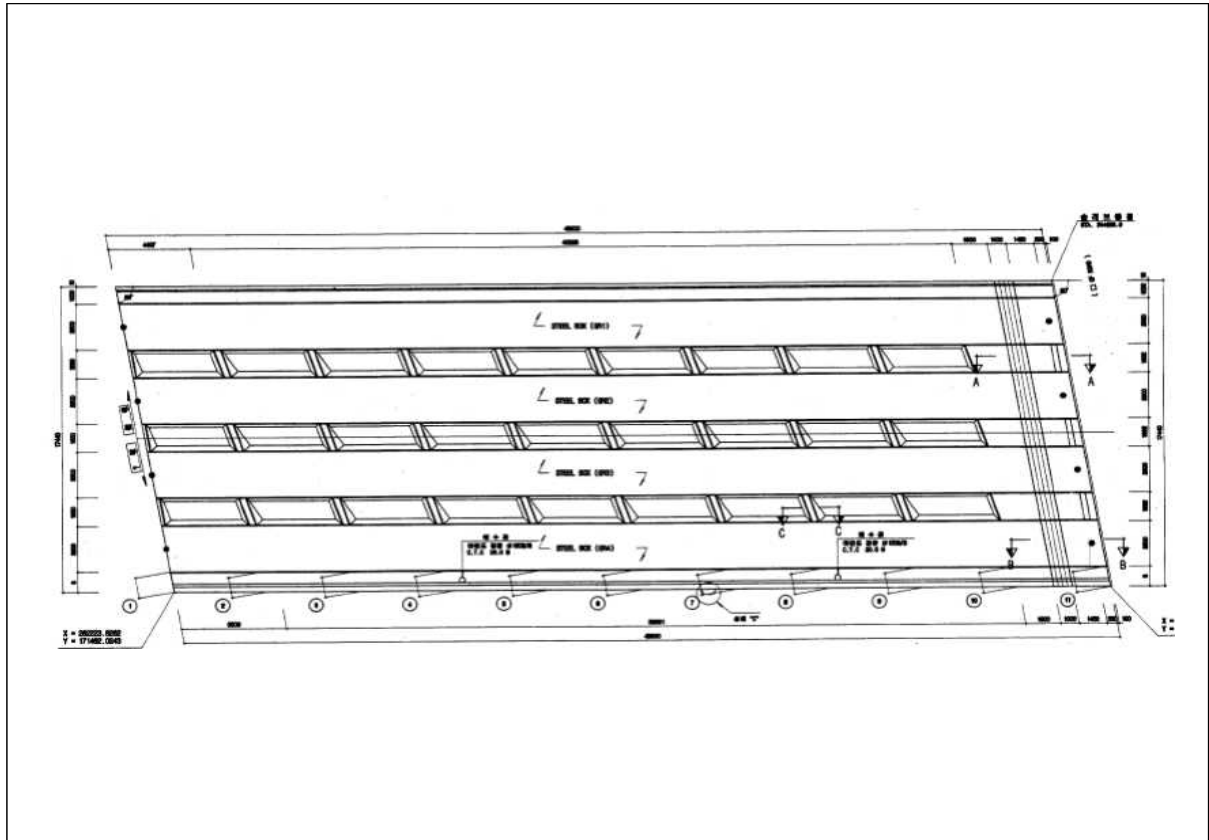
<그림 6.28>범안대교(안심방향) 상부 일반도(5)



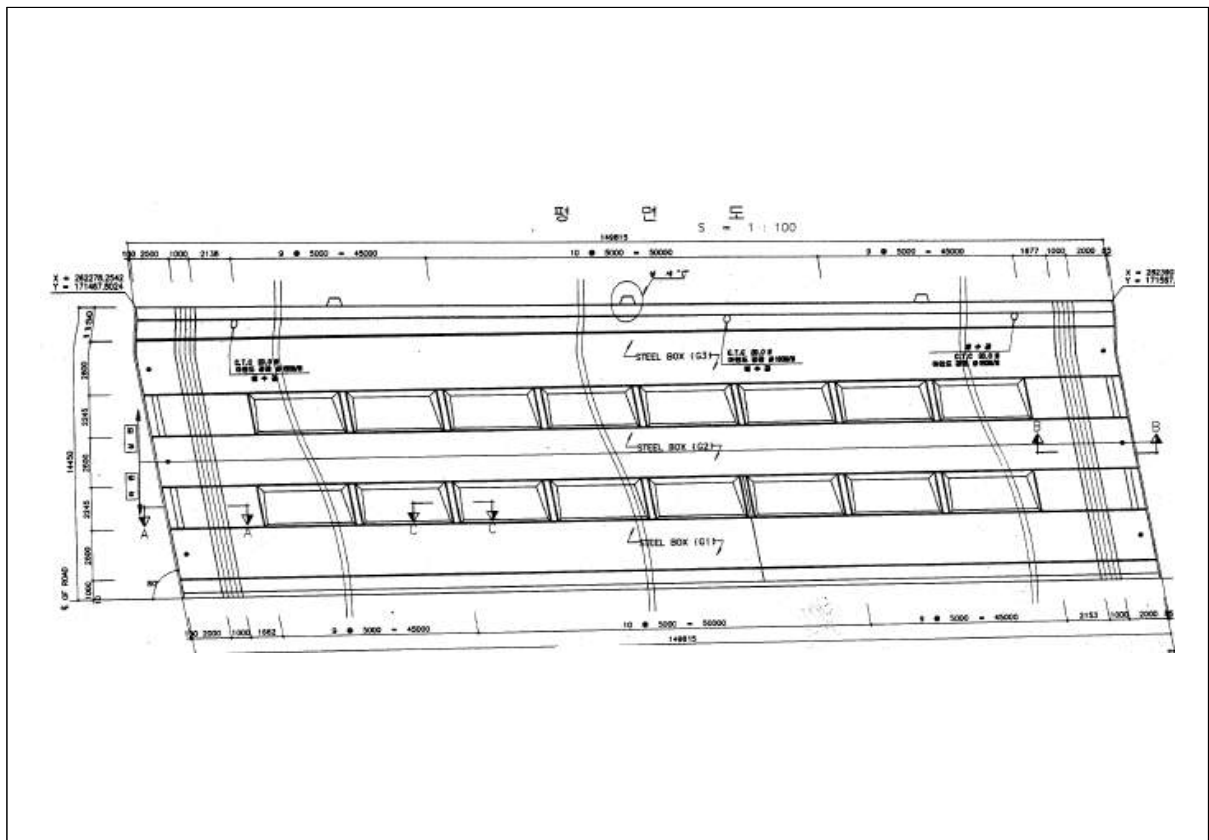
<그림 6.29>범안대교(안심방향) 상부 일반도(6)



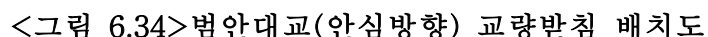
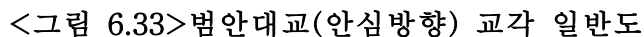
<그림 6.30>범안대교(안심방향) 상부 일반도(7)

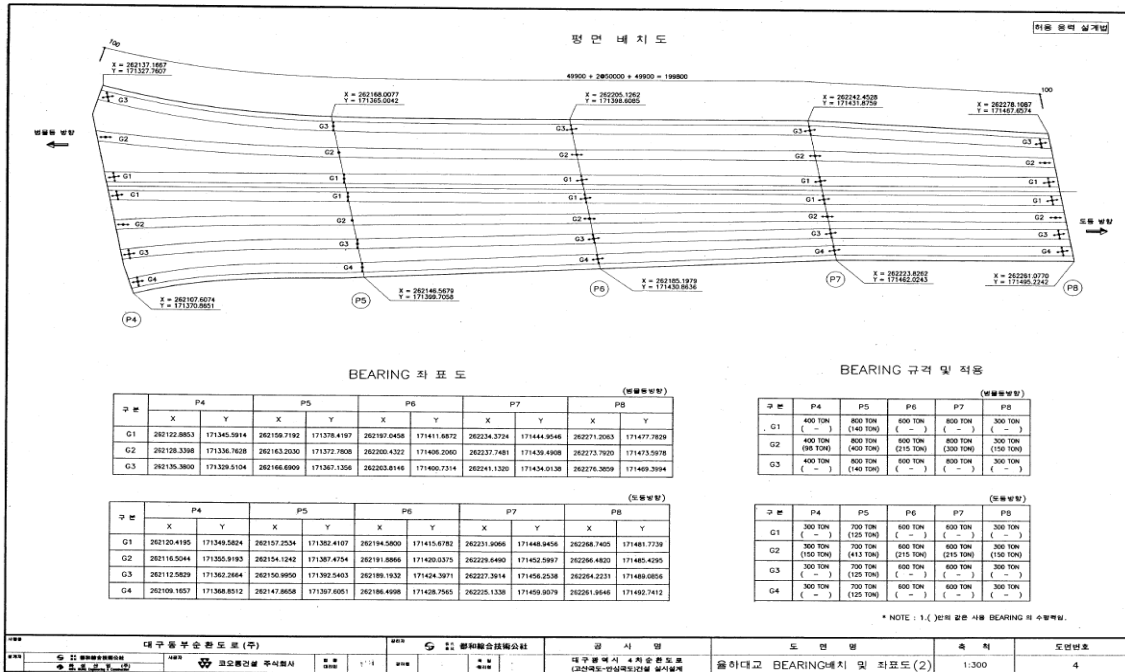


<그림 6.31>범안대교(안심방향) 상부 일반도(8)

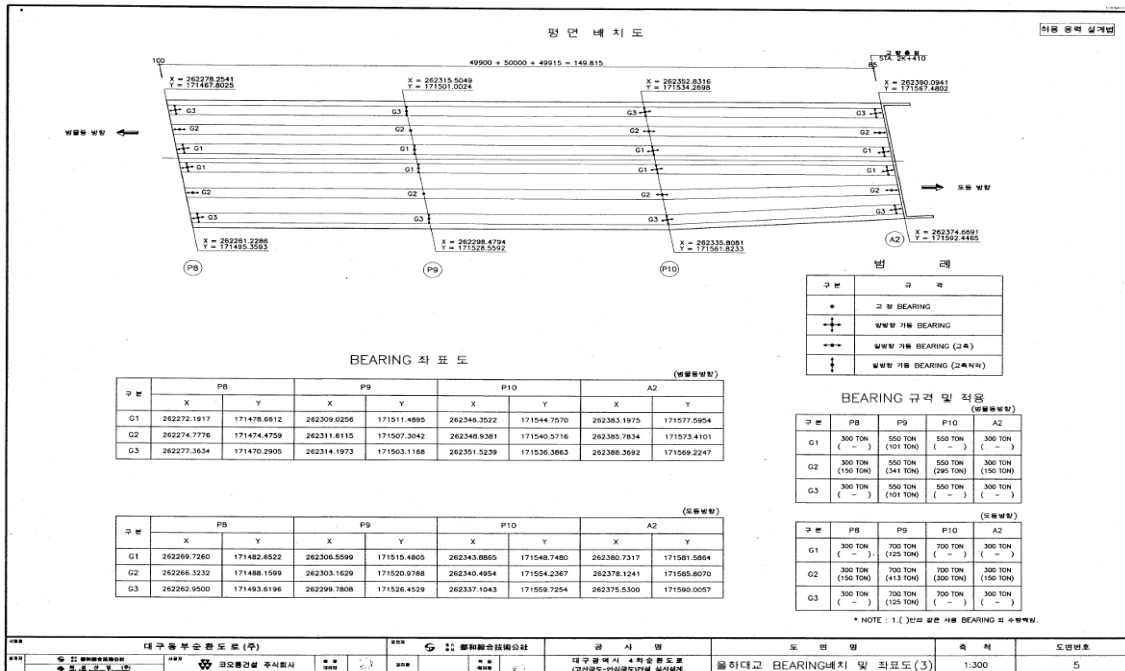


<그림 6.32>범안대교(안심방향) 상부 일반도(9)





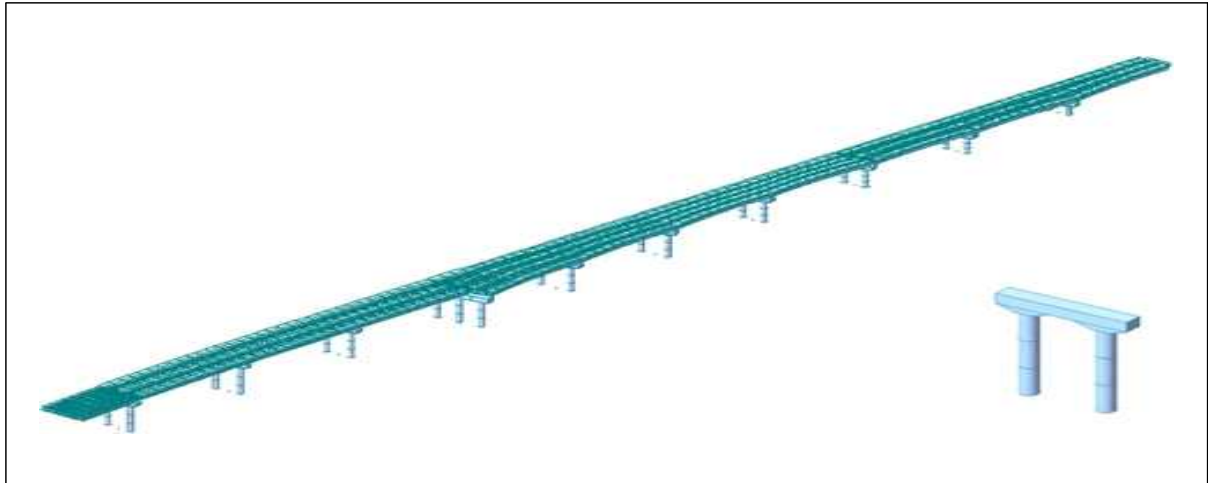
<그림 6.35>범안대교(안심방향) 교량받침 배치도(2)



<그림 6.36>범안대교(안심방향) 교량받침 배치도(3)

6.3.2 구조해석 모델

교량 상부구조의 모델링은 상부구조의 도심과 주형하단까지는 강체연결(Rigid link)로 주형하단에서 교각상단까지는 교량받침의 배치를 고려하여 변위에 대한 자유도를 연결한다. 또한, 받침종류에 따라서 적절한 내진저항 능력을 반영할 수 있도록 탄성연결 또는 비선형 강성연결 기능을 적용 한다. 해석프로그램은 MIDAS Civil을 이용하였다.



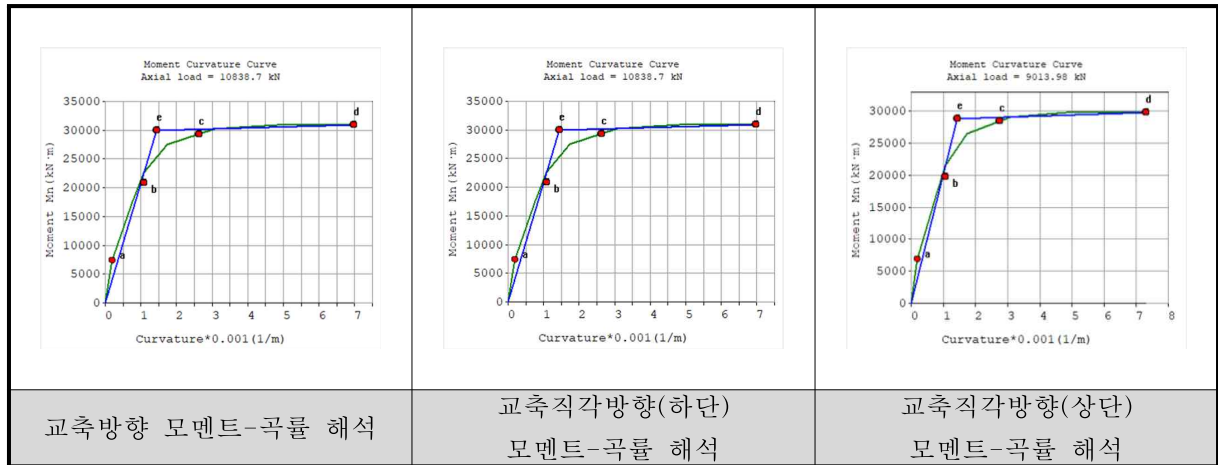
<그림 6.37>범안대교(안심방향) 교량 구조해석 모델링

6.3.3 모멘트-곡률 해석

교각의 최대 휨모멘트가 발생하는 단부구역(소성힌지구역)에 축방향 철근의 겹침이음 상태에 따라 연성능력이 크게 변화한다. 이를 모멘트-곡률 해석에서 반영하기 위해서는 겹침여부를 판정하여 겹침이음 비율에 따라 콘크리트 극한변형률 및 이에 따른 변위연성도를 제한하여야 한다.

구 분	특 성	단 면 형 상
ϵ_{co} : 콘크리트의 최대변형률	0.002	
ϵ_{cu} : 콘크리트의 극한변형률	0.004	
$f'_c = f'_{cc}$: 콘크리트 압축 강도	24	
ϵ_y : 항복변형률	0.00150	
ϵ_{sh} : 경화시 변형률	0.0115	
ϵ_{su} : 극한시 변형률	0.125	
f_{sy} : 항복강도	300	
f_{su} : 극한강도	440	

① P2 교각의 모멘트-곡률 곡선



▪ 교축방향 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	20,901	0.001090	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	29,933	0.001442	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	30,854	0.006977	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 교축직각방향(하단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	20,895	0.001089	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	29,931	0.001441	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	30,852	0.006976	M_u^L, ϕ_u^L

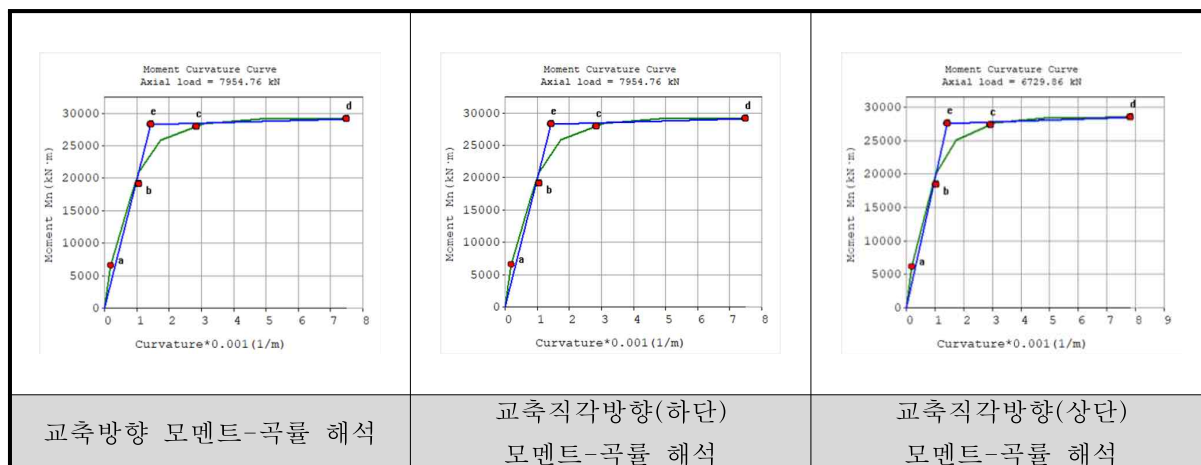
▪ 교축직각방향(상단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	19,784	0.001065	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	28,879	0.001430	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	29,754	0.007294	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 유효강성 산정

구 분	Scale	Ig (m4)	적용 유효강성 (m4)
교축방향	0.494	1.629	0.804
교축직각방향	0.494	1.629	0.805

② P8 교각의 모멘트-곡률 곡선



▪ 교축방향 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	19,143	0.001051	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	28,242	0.001424	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	29,091	0.007489	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 교축직각방향(하단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	19,137	0.001050	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	28,244	0.001424	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	29,097	0.007487	M_u^L, ϕ_u^L

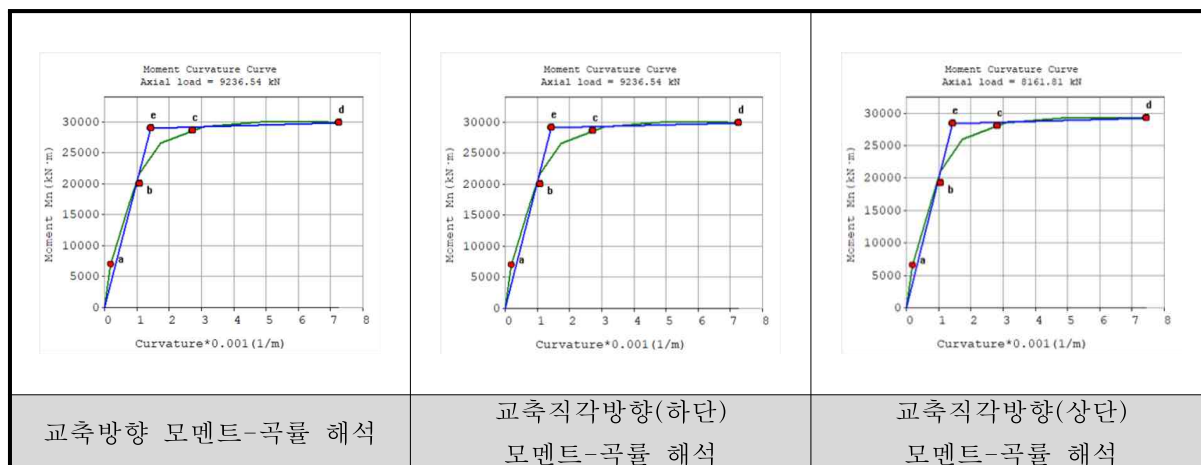
▪ 교축직각방향(상단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	18,376	0.001034	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	27,509	0.001418	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	28,463	0.007803	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 유효강성 산정

구 분	Scale	Ig (m4)	적용 유효강성 (m4)
교축방향	0.472	1.629	0.768
교축직각방향	0.472	1.629	0.769

③ P9 교각의 모멘트-곡률 곡선



▪ 교축방향 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	19,926	0.001068	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	29,006	0.001432	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	29,864	0.007242	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 교축직각방향(하단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	19,920	0.001068	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	29,008	0.001432	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	29,863	0.007240	M_u^L, ϕ_u^L

▪ 교축직각방향(상단) 모멘트-해석 결과값

구 분	모멘트($kN \cdot m$)	곡률(m^{-1})	비 고
초기항복시	19,265	0.001053	M_{yi}^L, ϕ_{yi}^L
항복시	28,370	0.001425	M_y^L, ϕ_y^L
극한시	29,227	0.007448	M_u^L, ϕ_u^L

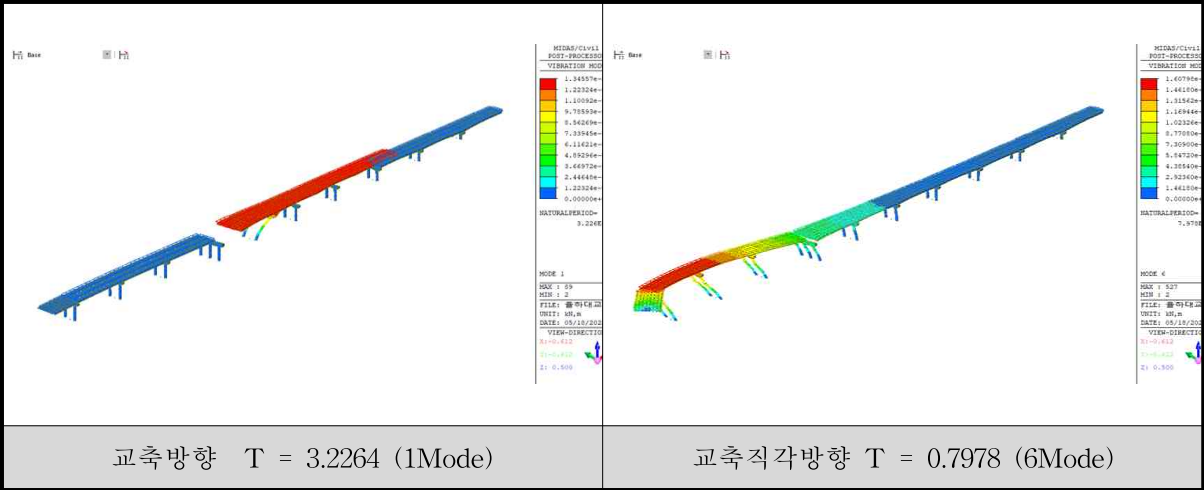
▪ 유효강성 산정

구 분	Scale	Ig (m4)	적용 유효강성 (m4)
교축방향	0.482	1.629	0.785
교축직각방향	0.482	1.629	0.785

6.3.4 지진 해석결과



① 주요 모드 형상 (Mode Shape)



② 대표 검토 교각 부재력 집계

▪ 교각 2

1) 해석결과

부재력	교축방향 지진시		교직방향 지진시	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	9,014.0		9,014.0	
하단축력(kN)	10,838.7		10,838.7	
상단변위(mm)	164.3	24.3	26.0	49.9
상단전단력(kN)	1,438.9	472.4	236.9	2,505.4
하단전단력(kN)	1,477.7	495.5	253.7	2,697.9
상단모멘트(kN·m)	4,411.2	3,898.5	1,033.5	20,899.8
하단모멘트(kN·m)	27,594.4	4,077.3	4,331.1	22,113.5

2) 하중경우별 해석결과 (30% 규정 적용)

부재력	하중경우 1		하중경우 2	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	9,014.0		9,014.0	
하단축력(kN)	10,838.7		10,838.7	
상단변위(mm)	172.1	39.2	75.3	57.2
상단전단력(kN)	1,510.0	1,224.0	668.6	2,647.1
하단전단력(kN)	1,553.8	1,304.8	697.1	2,846.6
상단모멘트(kN·m)	4,721.2	10,168.5	2,356.8	22,069.3
하단모멘트(kN·m)	28,893.7	10,711.3	12,609.4	23,336.7

3) 하중경우별 해석결과 (고정하중)

부재력	하중경우		하중경우	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	9,014.0		9,014.0	
하단축력(kN)	10,838.7		10,838.7	
상단변위(mm)	0.3	0.2	0.3	0.2
상단전단력(kN)	7.2	3.1	7.2	3.1
하단전단력(kN)	7.2	3.1	7.2	3.1
상단모멘트(kN·m)	62.8	18.6	62.8	18.6
하단모멘트(kN·m)	72.9	32.9	72.9	32.9

4) 방향별 하중조합

부재력	교축방향	교직방향	기호
	교축 조합력	교직 조합력	
상단축력(kN)	9,014.0	9,014.0	P
하단축력(kN)	10,838.7	10,838.7	P _{bot}
상단변위(mm)	172.3	57.3	[ΔE]comb
상단전단력(kN)	1,517.2	2,650.3	[VE]comb,Top
하단전단력(kN)	1,561.1	2,849.7	[VE]comb,Bot
상단모멘트(kN·m)	4,784.0	22,087.9	[ME]comb
하단모멘트(kN·m)	28,966.6	23,369.5	[ME]comb

▪ 교각 8

1) 해석결과

부재력	교축방향 지진시		교직방향 지진시	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	6,729.9		6,729.9	
하단축력(kN)	7,954.8		7,954.8	
상단변위(mm)	31.8	4.8	5.7	20.2
상단전단력(kN)	763.0	544.9	193.7	3,040.8
하단전단력(kN)	869.1	576.5	226.2	3,205.0
상단모멘트(kN·m)	1,395.7	3,011.6	745.0	16,803.6
하단모멘트(kN·m)	10,344.3	3,193.7	2,139.6	17,812.1

2) 하중경우별 해석결과 (30% 규정 적용)

부재력	하중경우 1		하중경우 2	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	6,729.9		6,729.9	
하단축력(kN)	7,954.8		7,954.8	
상단변위(mm)	33.5	10.9	15.2	21.6
상단전단력(kN)	821.1	1,457.1	422.6	3,204.2
하단전단력(kN)	936.9	1,538.0	487.0	3,377.9
상단모멘트(kN·m)	1,619.2	8,052.6	1,163.7	17,707.0
하단모멘트(kN·m)	10,986.2	8,537.4	5,242.9	18,770.2

3) 하중경우별 해석결과 (고정하중)

부재력	하중경우		하중경우	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	6,729.9		6,729.9	
하단축력(kN)	7,954.8		7,954.8	
상단변위(mm)	1.2	0.1	1.2	0.1
상단전단력(kN)	0.2	5.2	0.2	5.2
하단전단력(kN)	0.2	5.2	0.2	5.2
상단모멘트(kN·m)	246.2	8.4	246.2	8.4
하단모멘트(kN·m)	246.2	48.6	246.2	48.6

4) 방향별 하중조합

부재력	교축방향	교직방향	기호
	교축 조합력	교직 조합력	
상단축력(kN)	6,729.9	6,729.9	P
하단축력(kN)	7,954.8	7,954.8	Pbot
상단변위(mm)	34.7	21.7	[ΔE]comb
상단전단력(kN)	821.3	3,209.4	[VE]comb,Top
하단전단력(kN)	937.1	3,383.1	[VE]comb,Bot
상단모멘트(kN·m)	1,865.4	17,715.5	[ME]comb
하단모멘트(kN·m)	11,232.4	18,818.8	[ME]comb

▪ 교각 9

1) 해석결과

부재력	교축방향 지진시		교직방향 지진시	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	8,161.8		8,161.8	
하단축력(kN)	9,236.5		9,236.5	
상단변위(mm)	81.8	14.0	14.4	11.2
상단전단력(kN)	2,499.8	439.8	496.5	2,425.2
하단전단력(kN)	2,526.3	463.9	507.6	2,528.4
상단모멘트(kN·m)	7,275.1	2,119.4	1,702.3	11,669.7
하단모멘트(kN·m)	31,595.6	2,251.1	5,672.6	12,384.1

2) 하중경우별 해석결과 (30% 규정 적용)

부재력	하중경우 1		하중경우 2	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	8,161.8		8,161.8	
하단축력(kN)	9,236.5		9,236.5	
상단변위(mm)	86.1	17.4	39.0	15.4
상단전단력(kN)	2,648.7	1,167.4	1,246.4	2,557.2
하단전단력(kN)	2,678.6	1,222.4	1,265.5	2,667.6
상단모멘트(kN·m)	7,785.8	5,620.3	3,884.8	12,305.5
하단모멘트(kN·m)	33,297.4	5,966.3	15,151.3	13,059.5

3) 하중경우별 해석결과 (고정하중)

부재력	하중경우		하중경우	
	교축력	교직력	교축력	교직력
상단축력(kN)	8,161.8		8,161.8	
하단축력(kN)	9,236.5		9,236.5	
상단변위(mm)	0.4	0.1	0.4	0.1
상단전단력(kN)	44.3	12.1	44.3	12.1
하단전단력(kN)	44.3	12.1	44.3	12.1
상단모멘트(kN·m)	237.9	94.5	237.9	94.5
하단모멘트(kN·m)	243.7	23.1	243.7	23.1

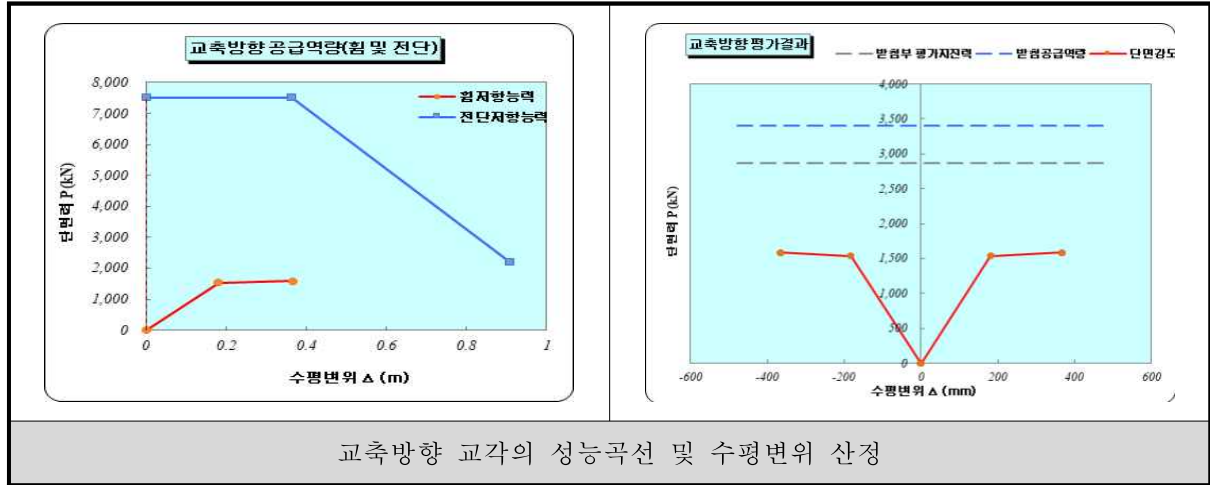
4) 방향별 하중조합

부재력	교축방향	교직방향	기호
	교축 조합력	교직 조합력	
상단축력(kN)	8,161.8	8,161.8	P
하단축력(kN)	9,236.5	9,236.5	Pbot
상단변위(mm)	86.5	17.5	[ΔE]comb
상단전단력(kN)	2,693.0	2,569.3	[VE]comb,Top
하단전단력(kN)	2,722.9	2,679.7	[VE]comb,Bot
상단모멘트(kN·m)	8,023.7	12,399.9	[ME]comb
하단모멘트(kN·m)	33,541.1	13,082.6	[ME]comb

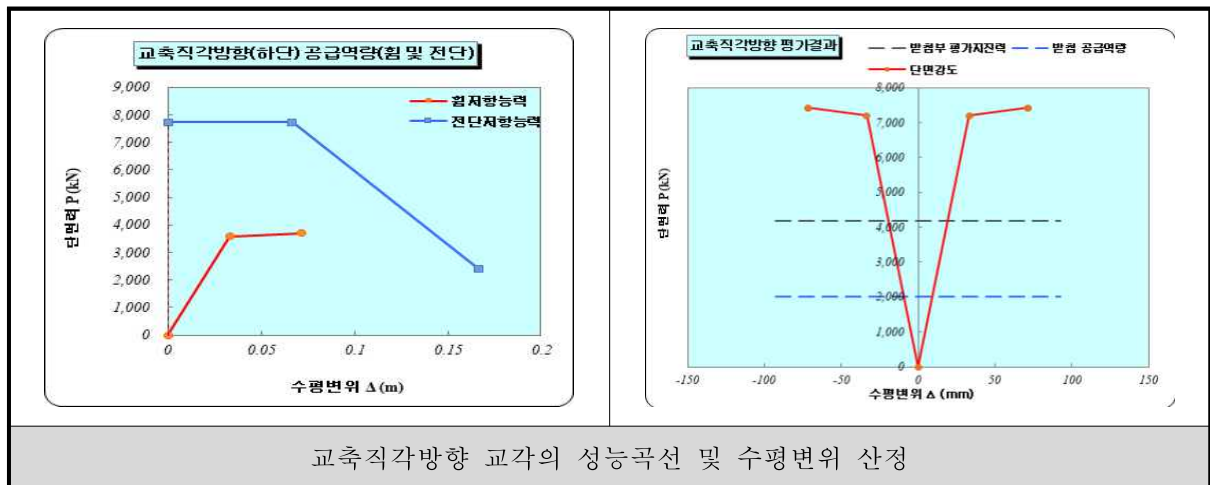
6.3.5 교각 기둥부 내진성능평가

① 교각 2 공급역량 및 평가결과

교축방향 교각 공급역량



교축직각방향 교각 공급역량



변위성능평가 결과

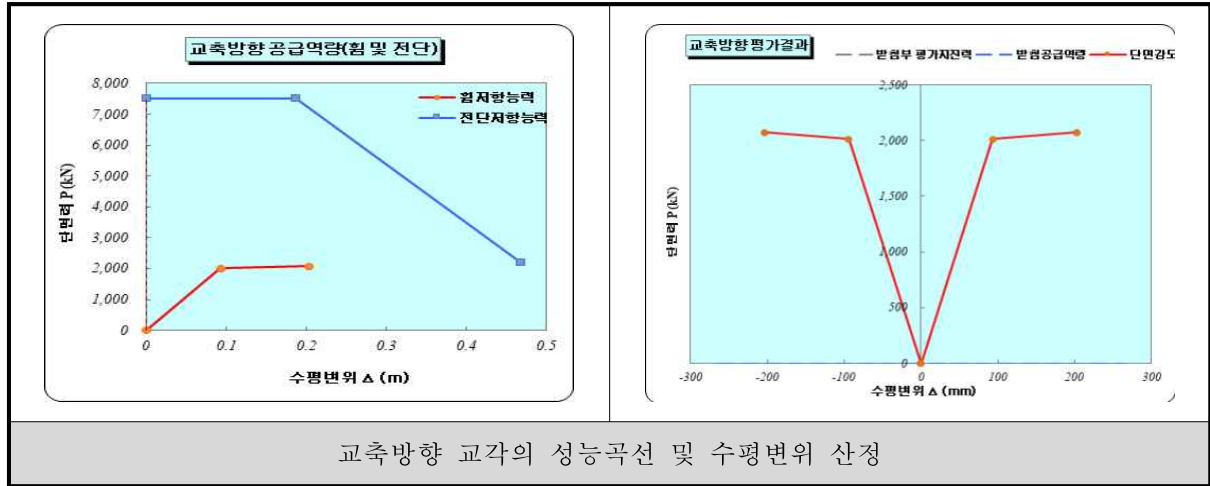
구 분		공급역량 (m)	소요역량 (m)	판 정
교각2	교축방향	2.018	1.046	O.K
	교축직각방향	2.147	1.000	O.K

전단성능평가 결과

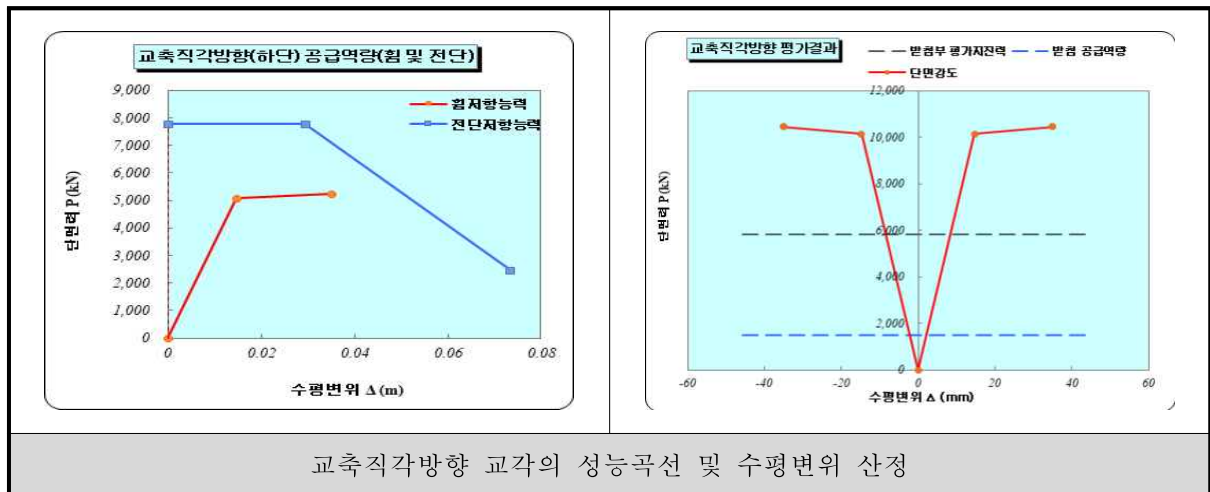
구 분		공급역량 (kN)	소요역량 (kN)	판 정
교각2	교축방향	7,509	1,561	O.K
	교축직각방향	7,732	2,850	O.K

② 교각 8 공급역량 및 평가결과

교축방향 교각 공급역량



교축직각방향 교각 공급역량



변위성능평가 결과

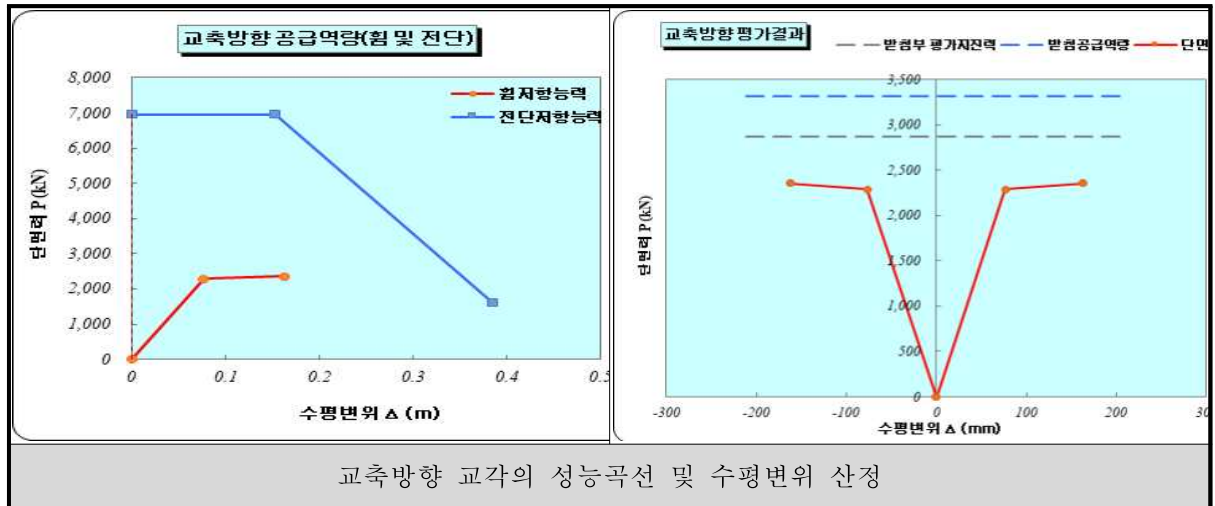
구 분		공급역량 (m)	소요역량 (m)	판 정
교각8	교축방향	2.167	1.000	O.K
	교축직각방향	2.387	1.000	O.K

전단성능평가 결과

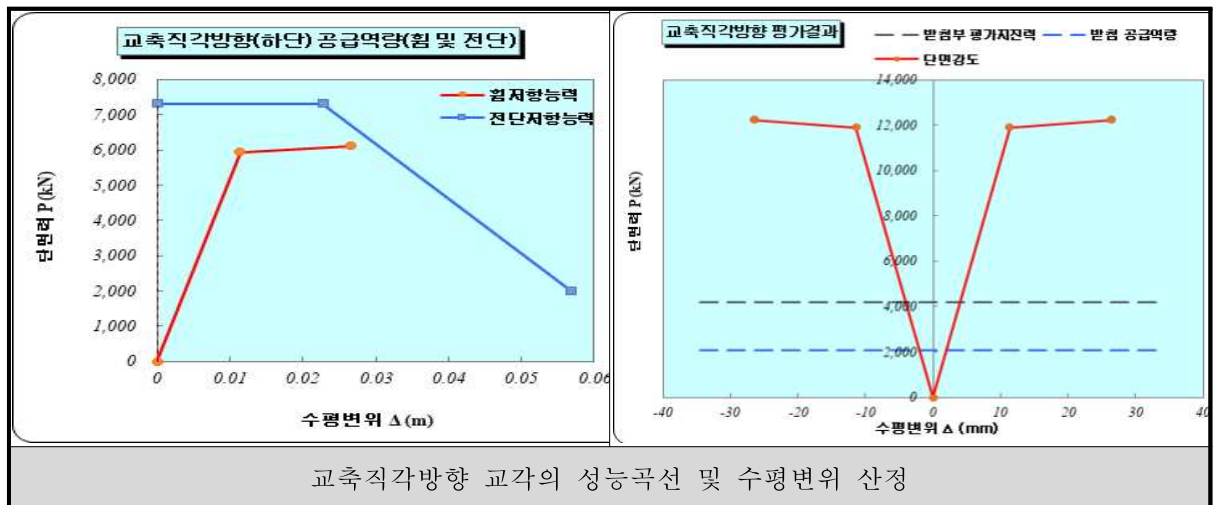
구 분		공급역량 (kN)	소요역량 (kN)	판 정
교각8	교축방향	7,515	937	O.K
	교축직각방향	7,777	3,383	O.K

③ 교각 9 공급역량 및 평가결과

▪ 교축방향 교각 공급역량



▪ 교축직각방향 교각 공급역량



▪ 변위성능평가 결과

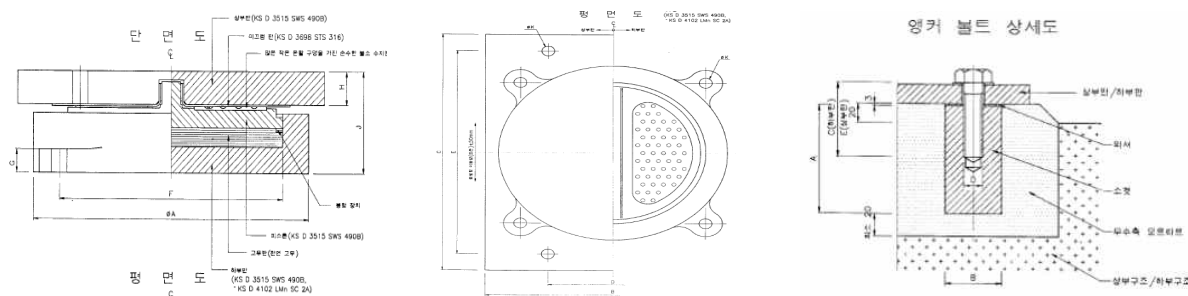
구 분		공급역량 (m)	소요역량 (m)	판 정
교각9	교축방향	2.112	1.193	O.K
	교축직각방향	2.334	1.000	O.K

▪ 전단성능평가 결과

구 분		공급역량 (kN)	소요역량 (kN)	판 정
교각9	교축방향	6,949	2,723	O.K
	교축직각방향	7,320	2,680	O.K

6.3.6 받침부 내진성능평가

① 교대 1 받침본체 규격

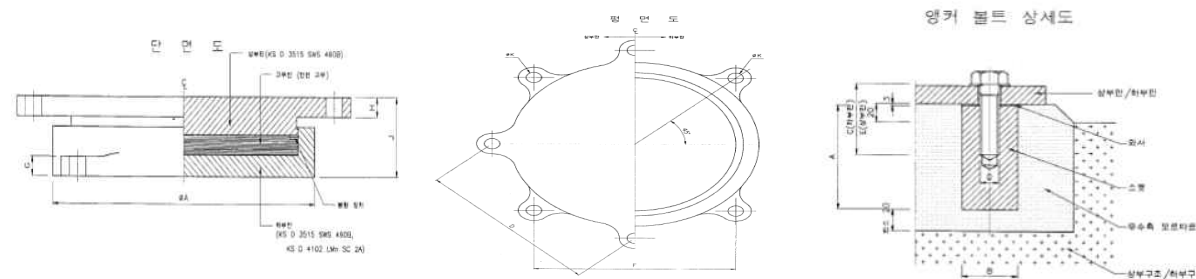


구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	340	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	340	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	50	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	20	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	170	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	280	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	280	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

■ 교대 1 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	310	1,185	0.262	N.G
앵커볼트-앵커강재파괴	1,081	1,185	0.912	N.G
앵커볼트-콘크리트파괴	786	1,185	0.663	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	651	1,185	0.550	N.G

② 교각 2 받침본체 규격



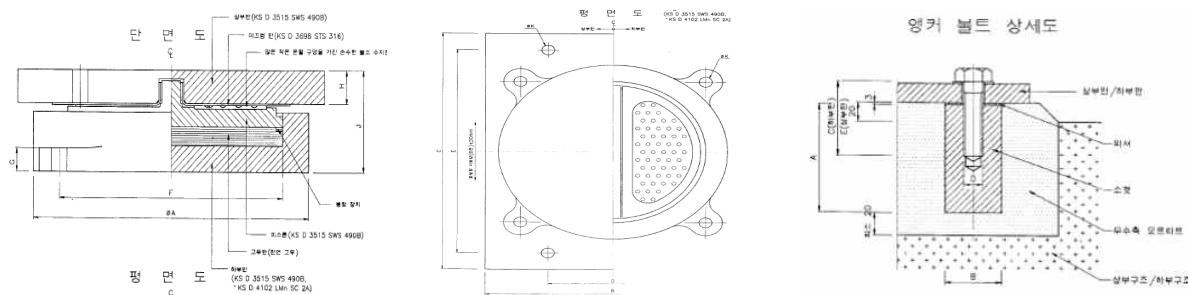
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	880	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	880	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	160	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	64	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	550	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	730	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	730	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

▪ 교각 2 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	6,800	2,872	2.367	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	11,066	957	11.559	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	14,112	2,872	4.913	O.K
앵커볼트-프라이아웃파괴	3,266	957	3.411	O.K

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	4,000	4,182	0.956	N.G
앵커볼트-앵커강재파괴	11,066	4,182	2.646	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	2,138	4,182	0.511	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	3,266	4,182	0.781	N.G

③ 교각 8 받침본체 규격

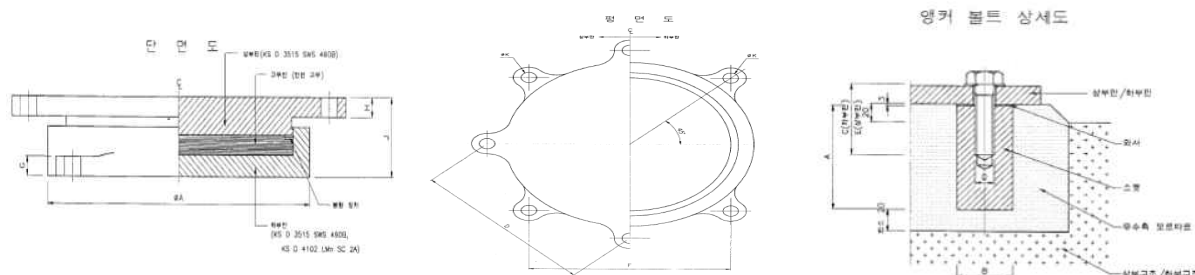


구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	240	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	240	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	105	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	42	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	360	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	450	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	450	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

▪ 교각 8 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
받침본체	3,000	5,817	0.516	N.G
앵커볼트-앵커강재파괴	4,766	2,909	1.639	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	1,902	5,817	0.327	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	1,559	2,909	0.536	N.G

④ 교각 9 받침본체 규격



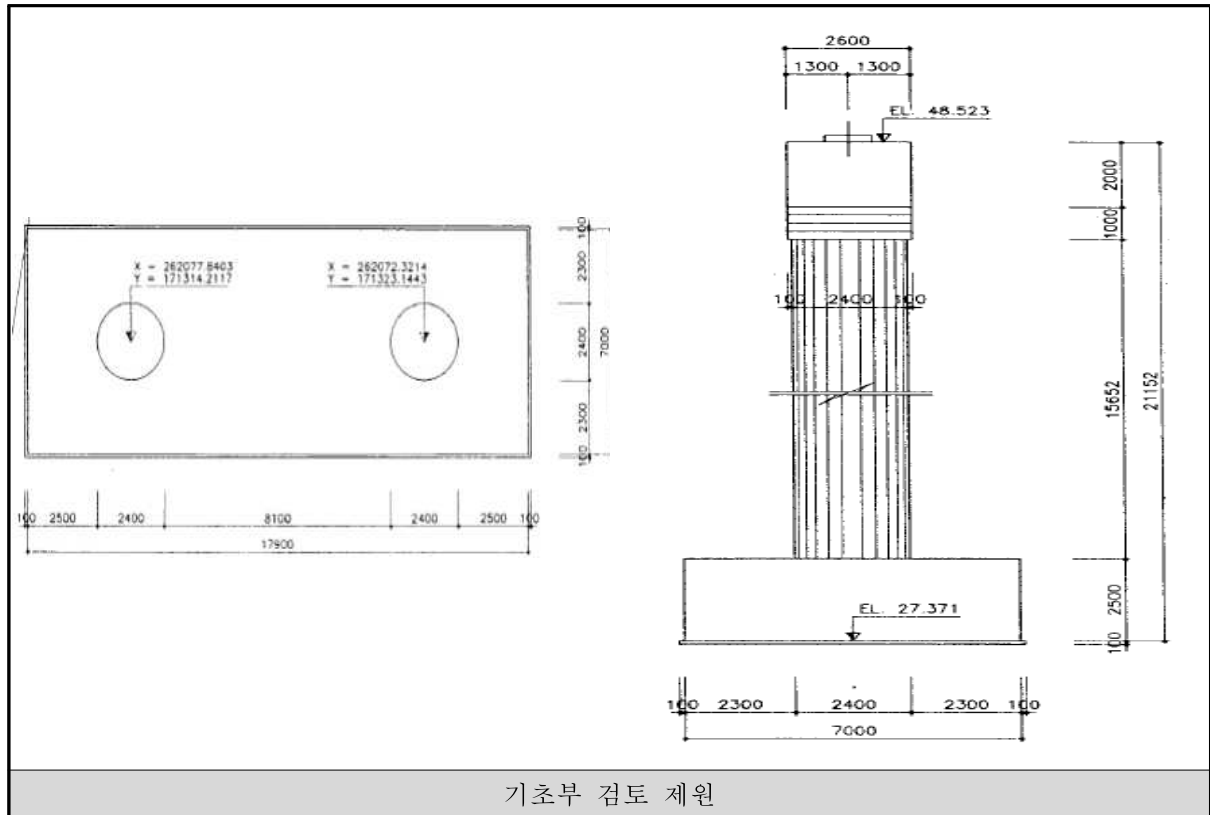
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	
C	=	770	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	770	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	160	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	64	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	50	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	650	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	650	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

▪ 교각 9 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	공급역량	소요역량	판정	
반침본체	6,630	4,707	1.409	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	11,066	1,569	7.054	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	12,928	4,707	2.747	O.K
앵커볼트-프라이아웃파괴	3,241	1,569	2.066	O.K

구분	교축직각방향			
	공급역량	소요역량	판정	
반침본체	4,130	4,278	0.965	N.G
앵커볼트-앵커강재파괴	11,066	4,278	2.587	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	2,137	4,278	0.500	N.G
앵커볼트-프라이아웃파괴	3,241	4,278	0.758	N.G

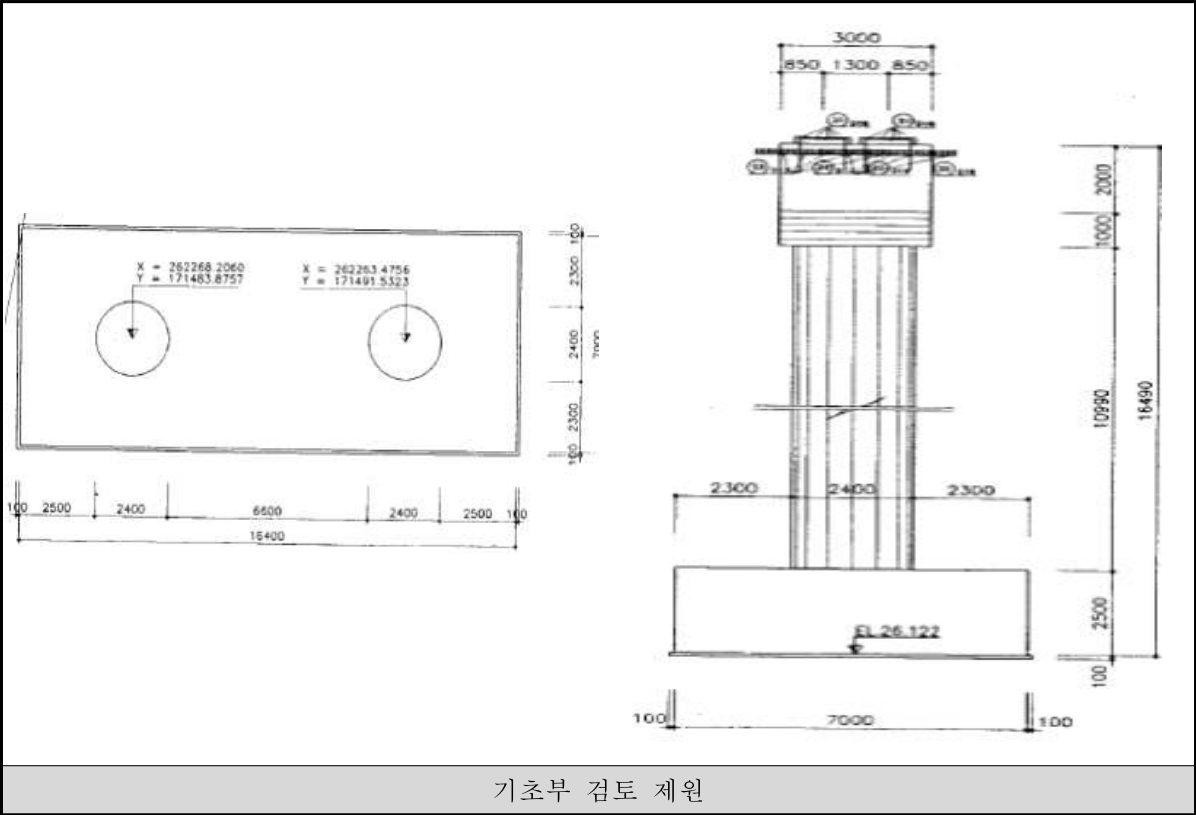
6.3.7 기초부 내진성능평가



① 교각 2 기초부 검토

▪ 기초부 내진성능평가 결과

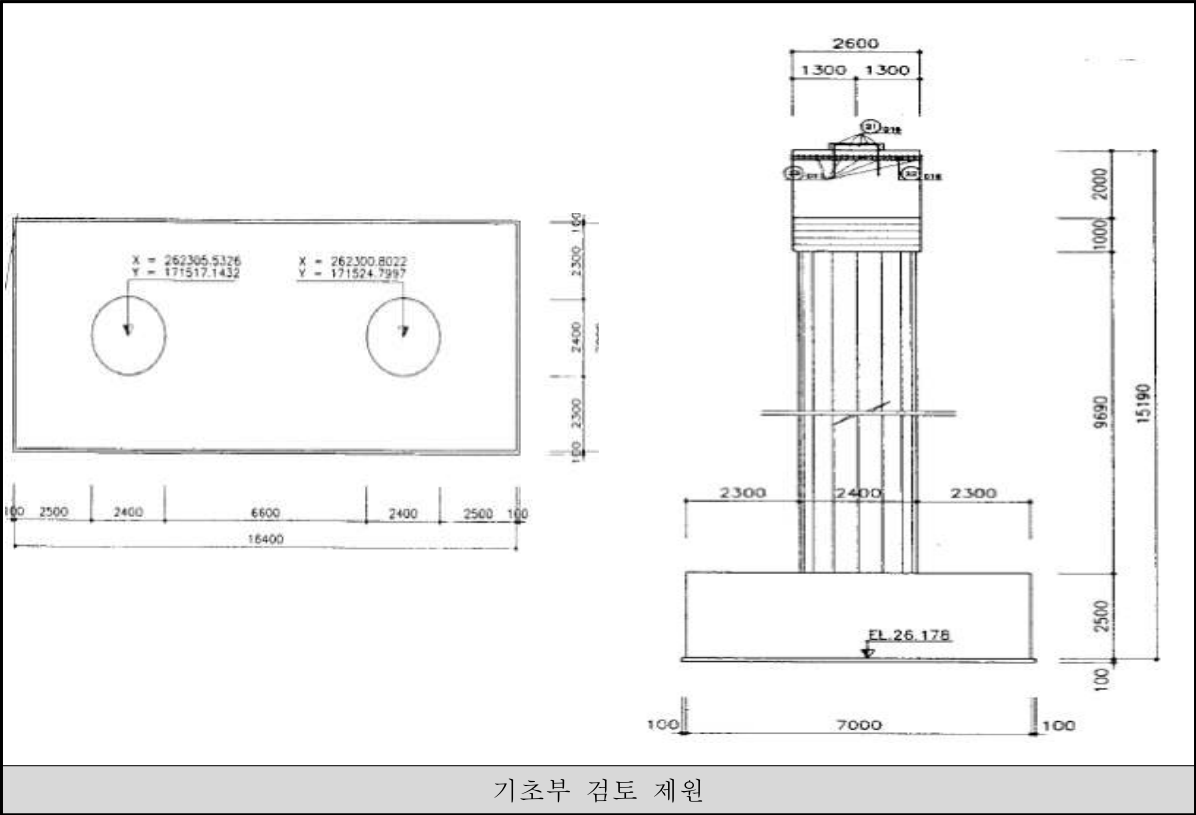
구분		방향	공급역량	소요역량	판정	
안정성 검토	전도	교축	2.800	1.877	1.492	O.K
		교직	7.160	1.741	4.113	O.K
	지지력	교축	6.165	2.000	3.083	O.K
		교직	25.214	2.000	12.607	O.K
	활동	교축	6.732	1.200	5.610	O.K
		교직	3.688	1.200	3.073	O.K
단면 검토	휨	교축	51,523	29,736	1.733	O.K
		교직	19,465	15,162	1.284	O.K
	전단	교축	35,077	13,095	2.679	O.K
		교직	13,717	8,050	1.704	O.K



② 교각 8 기초부 검토

▪ 기초부 내진성능평가 결과

구분		방향	공급역량	소요역량	판정	
안정성 검토	수평변위	교축	2.800	0.959	2.919	O.K
		교직	6.560	1.927	3.404	O.K
	연직 압축지지력	교축	14.562	2.000	7.281	O.K
		교직	24.389	2.000	12.195	O.K
	연직 인발지지력	교축	9.062	1.200	7.552	O.K
		교직	2.510	1.200	2.092	O.K
단면 검토	휨	교축	47,199	14,322	3.296	O.K
		교직	19,465	13,837	1.407	O.K
	전단	교축	32,137	6,175	5.204	O.K
		교직	13,717	5,861	2.340	O.K



기초부 검토 제원

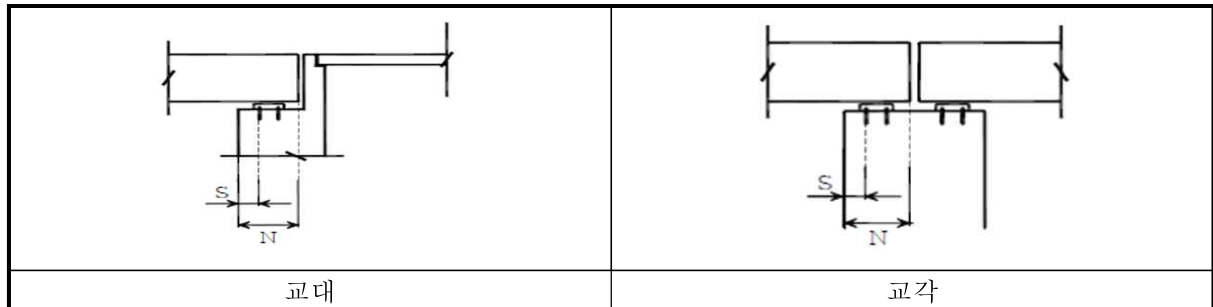
③ 교각 9 기초부 검토

▪ 기초부 내진성능평가 결과

구분		방향	공급역량	소요역량	판정	
안정성 검토	수평변위	교축	2.800	2.229	1.256	O.K
		교직	6.560	1.233	5.319	O.K
	연직 압축지지력	교축	4.146	2.000	2.073	O.K
		교직	28.154	2.000	14.077	O.K
	연직 인발지지력	교축	4.089	1.200	3.408	O.K
		교직	3.591	1.200	2.993	O.K
단면 검토	휨	교축	47,199	33,299	1.417	O.K
		교직	19,465	12,980	1.500	O.K
	전단	교축	32,137	14,929	2.153	O.K
		교직	13,717	6,313	2.173	O.K

6.3.8 받침 지지길이 평가 결과

낙교방지를 위한 받침지지 길이는 교각 및 교대의 거더 단부끝단까지의 거리로서 현장조사 및 설계도면을 통해 산정하였다.



구 분		공급역량	소요역량	안전율	평가	내진보강
교 대 1	N(mm)	1,300	380	3.424	O.K	불필요

6.3.9 종합결론

본 내진성능평가의 경우 “ 기존시설물(교량) 내진성능평가 요령·해설(2019. 국토교통부, 한국시설안전공단)”및 “KDS 17 10 00 : 2018 (내진설계 일반)”따라 수행하였으며, 금회 내진성능평가 수행 시 강화된 내진설계기준에 미달된 기존 공공시설물의 내진보강을 통한 주요 시설의 내진성능 확보로 지진발생시 피해를 저감하는 등 공공의 안전을 확보하고자 하는데 있으며, 내진성능평가 결과 다음과 같다.

상부형식은 Steel Box Girder, 하부형식은 T형 형식의 콘크리트 교각으로 구성되어 있으며, 상부 구조와 하부 구조물의 연결구조의 경우 포트받침 형태로 적용되어 있다. 내진성능평가 결과 받침부 교축직각방향에서 내진성능이 부족한 것으로 나타났으며, 이에 따라 보강 안을 제시하고자 한다.

- 받침기능을 보완하여 내진보강을 확보할 수 있는 “1안-받침형 전단키”
- 시설물 유지 및 내진보강 방안을 동시에 진행할 수 있는 “2안-탄성받침”

따라서, 본 보강 안은 추후“교량 내진보강 실시설계”시 해당 구조물의 상태와 여건을 종합적으로 판단하여 공법을 선정 후 공용 중에 불편 없이 보강설계를 진행하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

6.4 내진성능 보강방안

6.4.1 개요

전 세계적으로 대규모 지진에 의한 국가 주요 시설물의 붕괴, 동반되는 인명피해, 노선상 중요한 교량의 기능상실을 최소화 하는 것이 사회적 관심으로 대두되었다. 이에 따라 국내에 준공되어 공용되고 있는 교량 중 내진설계가 되지 않은 교량의 내진성능 향상은 사회·경제적으로 매우 중요한 문제이다. 기존 교량에 대한 내진보강수준에 대해서는 아직까지 정립된 기준이 없으며, 내진성능 향상은 기술적·경제적으로 많은 어려움이 예상된다. 내진성능 향상은 사회기반시설로서의 역할을 고려할 때 꼭 필요한 것이나 내진보강의 범위와 대상시설물이 많기 때문에 단기간에 이루어 질 수 없는 것이 현실이다.

지진발생이 예상되는 지역에서는 지진에 취약한 교량을 선정하여 지진에 의한 피해를 검토하여 지진재해를 줄이기 위한 계획을 실시하는 것이 중요하며, 현재 위험성을 줄이는 방법으로서 교량의 내진보강이 있다.

교량의 내진성능 향상방안은 교량 구조요소의 개별적인 보강에 의한 내진성능 향상 방법과 지진 보호장치에 의한 교량시스템의 내진성능 향상방법으로 대별한다. 구조요소의 개별적인 보강은 교량을 구성하는 교각, 받침부(받침지지길이 포함), 교대, 기초 및 지반에 대하여 개별적인 내진성능 향상을 도모하는 것이며, 지진보호장치에 의한 내진성능 향상은 지진격리받침, 감쇠기와 같은 지진보호장치를 도입하여 교량시스템 전체의 내진성능 향상을 도모하는 것이다.

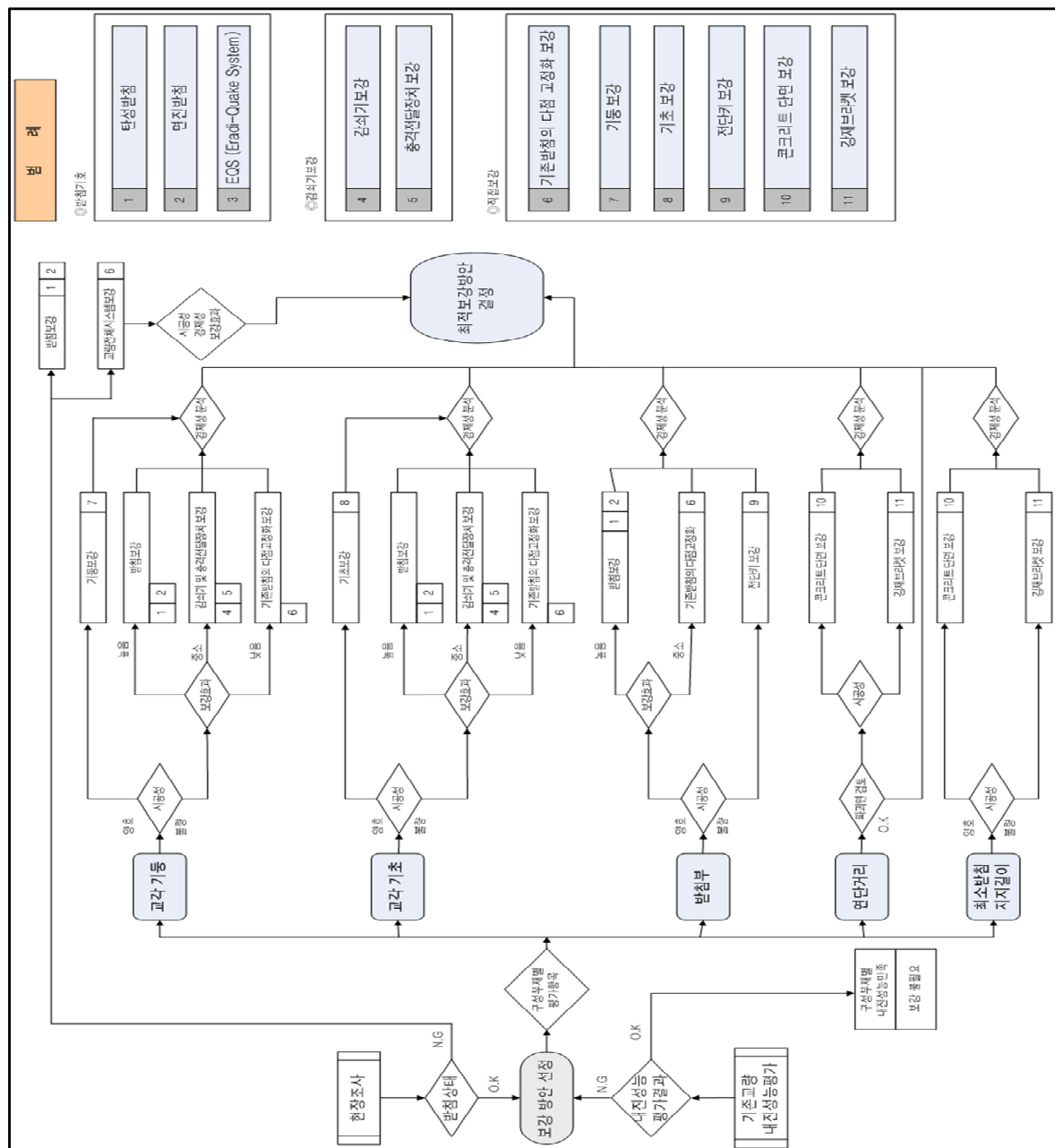
내진성능 향상방법의 선정에 있어서는 내진성능 평가에 의하여 내진성능 향상이 수행되어야 하는 구조요소를 시공성, 경제성, 보강효과 등을 종합적으로 검토하여 합리적인 내진성능 향상이 수행되도록 한다. 내진성능 향상을 필요로 하는 구조요소가 소수이고 일반화된 내진성능 향상방법으로 소요 내진성능을 확보하는 것이 가능하고 내진성능 향상된 구조요소에 의하여 다른 구조요소의 내진성능에 악영향을 미치지 않는다면 구조요소의 개별적인 내진성능 향상방법이 바람직할 것이다. 만약, 개별 구조요소의 내진성능에 의하여 교량의 내진성능 확보가 곤란하거나, 시공에 어려움이 있는 경우에는 지진 보호장치에 의한 내진성능 향상을 도모하는 것이 합리적이게 된다. 경우에 따라서는 이들 내진성능 방법을 적절하게 조합하여 보다 경제적이고 효과적인 내진성능 향상을 도모할 수도 있다.

본 과업에서는 해당 시설물에 요구되는 내진성능 수준과 내진성능 상세평가를 고려하여 내진성능 향상을 위한 기본방향을 제시하였다.

6.4.2 내진보강방안 선정기준 및 절차

내진보강방안의 선정은 앞에서 기술한 내진성능평가방법에 의거하여 현재의 보유역량과 소요역량을 산정하고, 현재 국내에서 사용하는 내진 보강공법을 사용할 경우 내진역량을 만족하기 위한 각 공법의 경제성(재료비 및 설치비), 구조적 효용성, 시공성, 적용성 등을 기준으로 종합평가하여 기존교량에 대한 보강방안을 선정한다.

이를 포함한 일반적인 내진보강공법의 선정을 위한 흐름 및 내진성능향상을 위한 보강공법을 나열하면 다음과 같다.



<그림 6.38> 내진보강방안 선정 흐름도

6.4.3 일반적인 보강방안

① 낙교방지

낙교방지장치는 받침 최소지지길이가 확보되지 않아 지진발생시 낙교가 발생할 수 있는 교량에 대해 낙교방지장치를 설치한다.

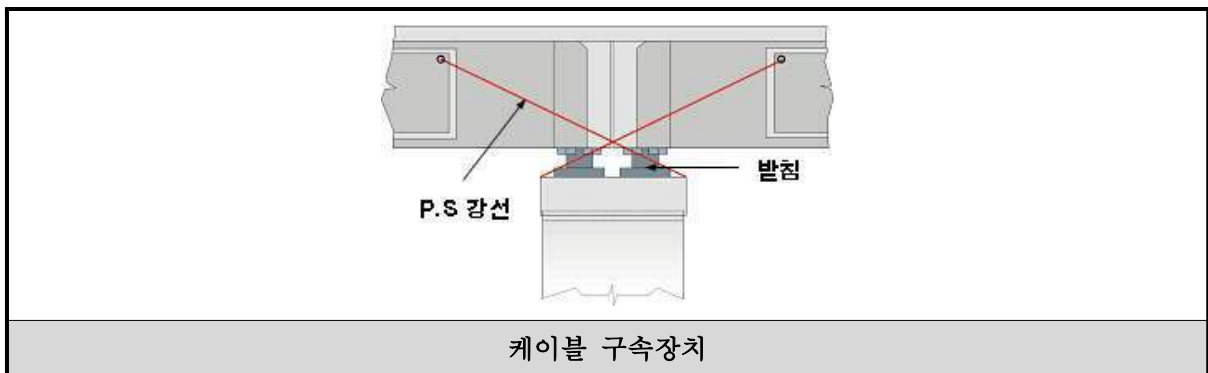
낙교방지장치의 종류는 다음과 같이 상부구조 케이블 구속장치의 사용, 이동제한장치(전단키)의 사용, 받침지지길이 확대 (브라켓 설치)등이 있다.

- 케이블 구속장치

케이블 구속장치는 상부구조 거더와 교각, 거더와 거더를 연결하여 과도한 수평변위를 제한하여 상부구조의 이탈을 억제하는 장치이다.

이 방안은 일본에서 많이 사용되는 장치이나, 일본의 경우는 강교가 대부분이라 상부구조에 연결이 용이하지만, 콘크리트 교량에는 연결하기가 어렵다.

특히 PSC빔 교량에 연결부 설치시 거더의 PSC강선간 간섭으로 시공성이 저하된다.



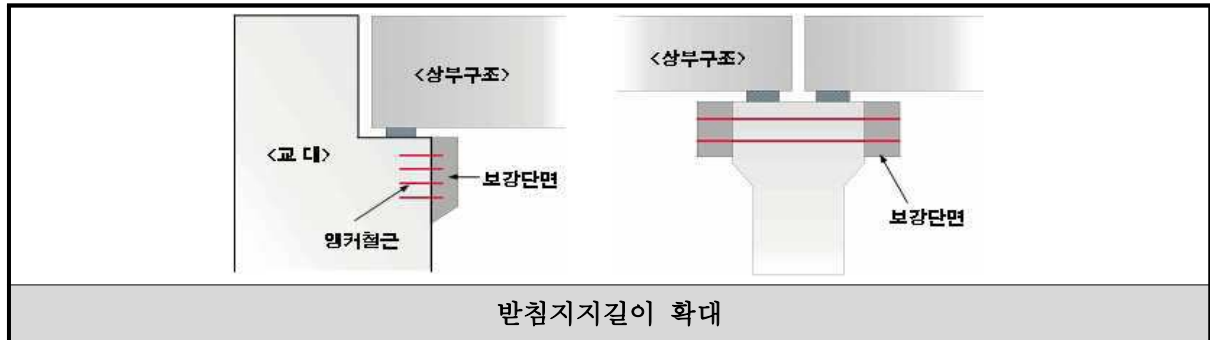
- 이동제한장치

이동제한장치는 거더 또는 교각에 돌기를 설치하여 과도한 수평변위 및 거더 이탈을 억제하는 방법으로 신설교량에는 적합하나, 기존교량의 경우 상부구조와 교각사이의 거더밑 공간이 부족하여 시공성이 불량하다. 또한, 이동제한장치의 경우 상·하부구조와의 충돌에 따른 충격력을 고려하여 고무나 기타 완충재를 설치하여야 한다.



- 받침지지길이 확대

받침지지길이의 확대는 지진시 받침부가 파손된 경우 콘크리트 및 강재브라켓으로 지지길이를 확대하여 낙교가 발생하지 않도록 하는 방법으로 국내의 일반적인 교량은 교대부나 신축이음부에 설치공간이 확보되어 시공이 용이하며, 유사한 시공실적이 많아 적용 가능하다.



② 다점고정 및 받침부의 보강방안

- 받침부 보강

받침부 보강 방안은 교량받침이 지진시 큰 수평력을 콘크리트 블록 또는 강재브라켓이 부담하여 교량의 안전을 확보하는 방안이다.

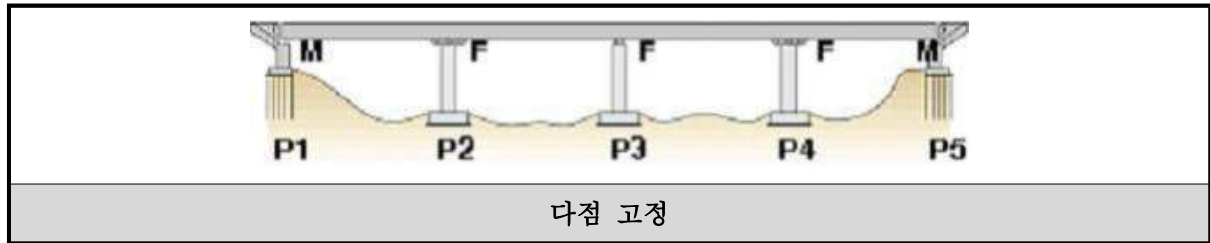
RC슬래브교 및 PSC박스교는 상부구조와 교각사이의 거더밑 공간이 부족하여 시공성 및 소요의 단면력을 확보하기 어려우며, PSCI빔교의 경우 설치공간은 확보되나, 받침주변과 거더부에 천공을 하여야 하므로 시공성 및 유지관리측면에서 불리하다.



- 다점고정

다점고정 방안은 가동단 교각을 고정단화하여 여러 교각으로 지진력을 분산하는 방안이다.

다점고정을 적용하려면 온도하중 등의 상시하중을 만족할 수 있어야 하므로 교각높이가 20m 이상으로 매우 높은 경우에 적용할 수 있다.



- LUD 설치

LUD는 충격력 전달장치로 지진력에 의한 충격을 가동단으로 분산시키는 장치이다. 구조 특성상 다점고정의 역할과 유사하나, 교각높이와 무관하게 온도등 상시하중에 의한 이동이 가능하다.



③ 교각보강

여러 교량형식 중 특히 일점고정 다경간연속교의 고정단 교각은 중·소규모의 지진 시에도 상부구조의 교축방향 관성력이 집중되어 작용하므로 특히 지진에 취약하다.

교각이 외력에 대하여 저항 단면강도를 확보하도록 하는 하중개념 하에서는 지진하중이 큰 경우 상당한 단면크기가 요구된다. 특히 기존교각의 내진성능향상을 위하여 설계지진 규모에 대비한 하중개념에 따른 보강은 소요경비 및 공사의 어려움을 고려하면 비현실적이다.

일반적인 RC교각의 파괴모드는 휨파괴, 휨-전단파괴, 전단파괴로 구별할 수 있다. 휨파괴는 발생 휨모멘트가 부재의 항복강도를 초과하여 소성힌지가 발생한후 추가하중 저항 능력을 상실한 상태에서 계속 변형이 발생하는 파괴모드이다. 휨-전단파괴는 휨항복후 소성힌지부의 전단강도가 저하되어 전단파괴가 발생하는 파괴모드이고 전단파괴는 휨항복 발생전에 작용전단력이 전단강도를 초과하는 경우의 파괴모드로서 급격한 취성파괴가 발생한다. 신설교량의 내진설계시에는 취성적 파괴모드인 전단파괴에 앞서 휨연성 파괴가 발생하도록 유도하고 있다. 또한 휨파괴시 충분한 연성을 확보하기 위하여 교각의 철근량 및 배근상태에 대한 규정을 두고 있다.

이는 교량의 내진설계시 매우 중요한 개념으로서 과거 설계시에는 전혀 고려되지 않은 사항들이다. 따라서 국내 기존 교각들의 보강으로는 단면강도 증대보다는 변형

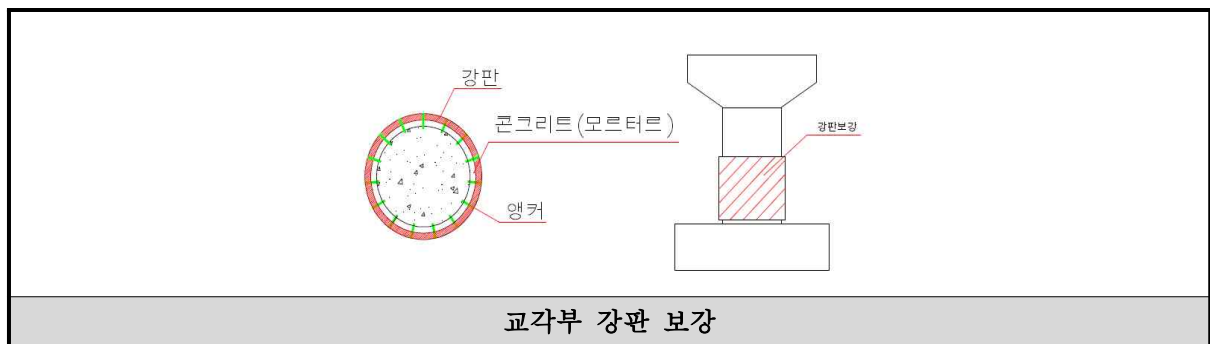
성능 확보를 위한 방안이 효과적이다. 교각단면의 변형성능 확보를 위한 보강방안으로는 강재 또는 복합신소재를 기존교각에 적용하여 콘크리트의 구속효과를 증대시키는 방안을 고려할 수 있다.

RC교각의 내진보강에 있어서는 내진성능평가 결과를 기본으로 하여 보강목적에 따른 적절한 방안을 선정하는 것이 필요하다.

- 강판보강

강판 보강방안은 기존의 교각에 강판을 씌우고 강판과 교각 사이에 무수축모르타르를 충전하여 콘크리트에 구속효과를 증대시킴으로써 소요 변위연성도를 확보하는 공법이다.

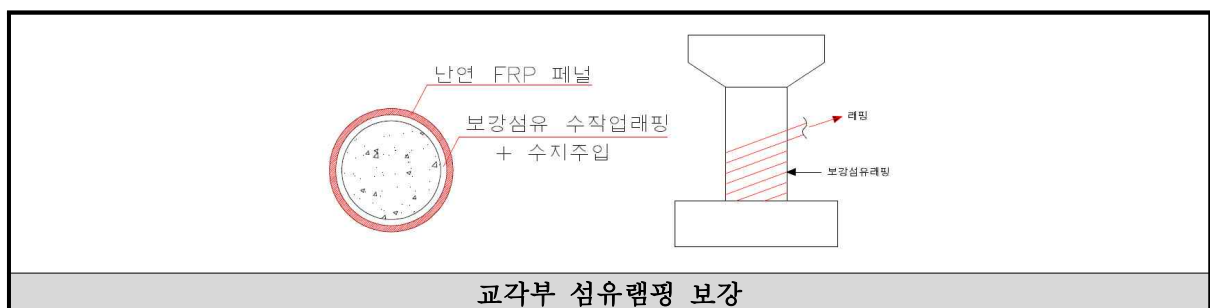
강판보강은 기계적 물성이 우수하고, 시공이 간편하며 시공사례가 많은 점, 내충격성이 우수한 장점이 있으나, 도장이 필요하고, 부식방지대책이 필요한 점, 미관 및 시공성이 약한 단점이 있다.



- 섬유레핑(FRP) 보강

섬유레핑 보강방안은 기존의 교각에 보강섬유를 래핑하고 난연FRP 패널 사이에 수지를 주입하여 콘크리트에 구속효과를 증대시킴으로써 소요 변위연성도를 확보하는 방안이다.

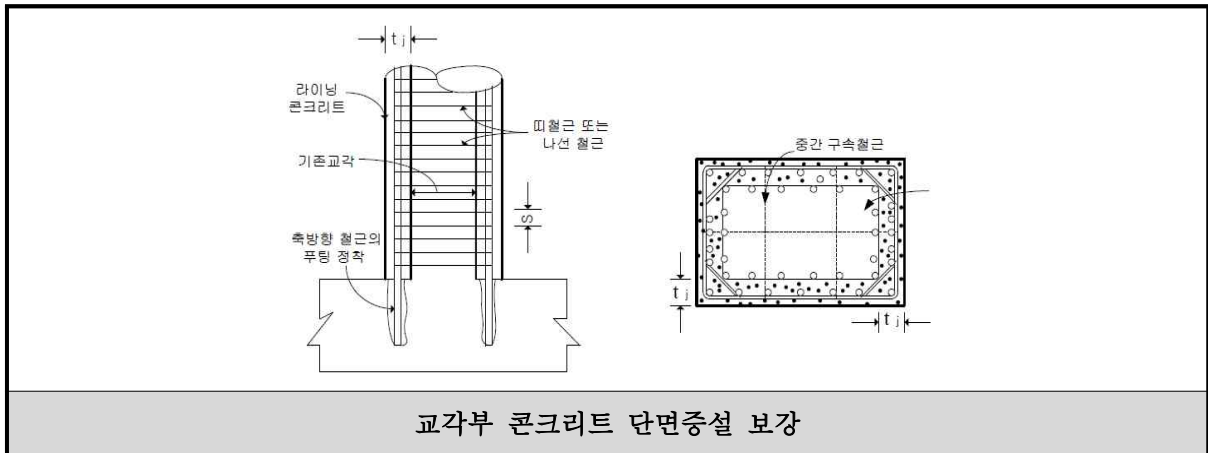
섬유레핑보강은 내구성, 내화학적, 내부식성이 우수하며, 보강섬유의 연속성이 확보되는 장점이 있으나, 전문시공기술자가 필요하며 주입압력관리가 필요한 단점이 있다.



- 콘크리트 단면증설 보강

콘크리트 단면증설 보강은 기존의 교각에 보강철근을 배근한 후 콘크리트 단면증설을 하는 보강방안이다.

콘크리트 보강은 기존교각의 콘크리트와 동일재료로 비교적 안정성이 있고 외관 확인 및 재료취급이 용이한 점 등의 장점이 있으나, 보강 후 유수단면적 감소 및 보강 후 하중재분배에 의해 기초의 작용하중이 증가되는 단점이 있다.

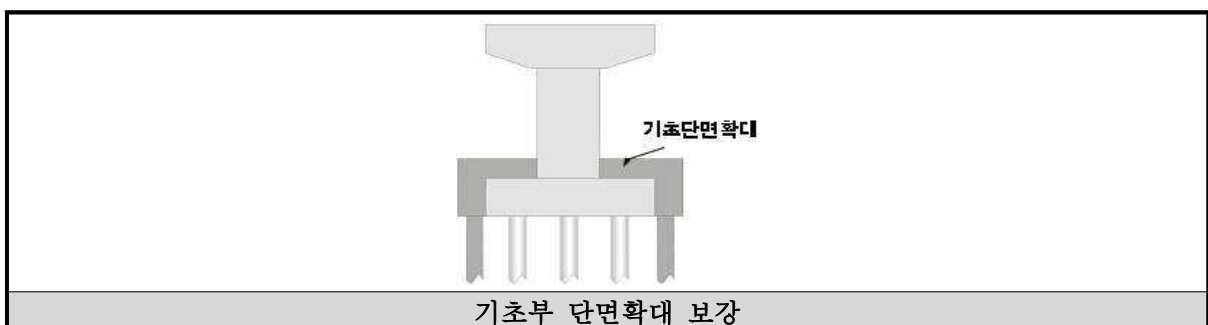


④ 기초 및 지반 보강

기초를 보강하기 위해서는 토공(터파기)작업이 들어가며, 경우에 따라 교통을 통제하여야 하기 때문에 다른 보강에 비해 비용이 많이 든다. 따라서, 국내의 지진규모나 교량특성을 고려하면 기초 및 지반의 보강보다는 상부구조의 지진력을 감소 및 분산시키는 방안이 합리적이다.

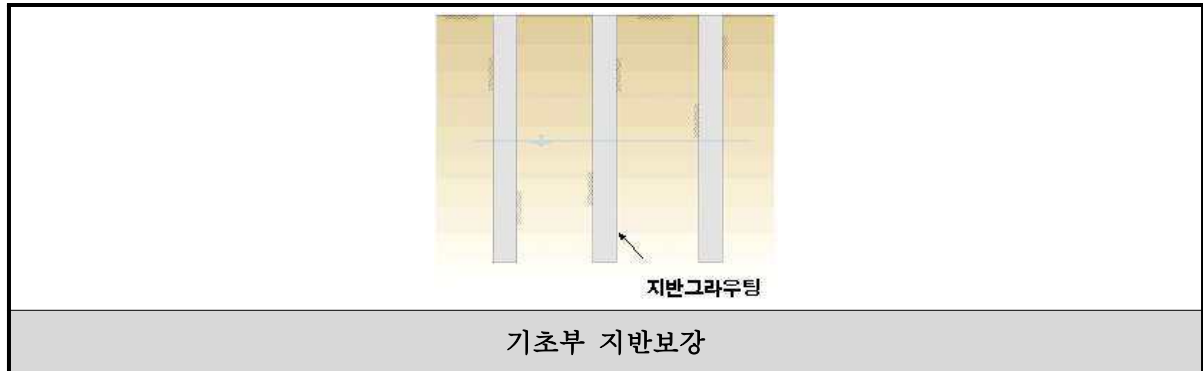
- 기초 단면확대 보강

기초 단면확대 보강은 터파기후 기존의 기초에 보강철근을 배근한 후 콘크리트 단면증설을 하는 보강방안이다. 기초단면의 크기가 작아 지진력의 작용시 기초의 전도가 발생하는 경우 기초 단면확대로 안정성을 확보하는 보강으로 지중 및 수중에 위치한 기초를 보강하기 위해 터파기, 가시설 및 물빼기공의 추가 공정이 필요하다.



- 지반보강

지반보강은 단층근처, 불안정한 사면, 액상화지반등에 지반을 개량하여 지반 지지력 및 수평저항력을 증대하는 보강으로 경제적 측면 및 시공성을 고려하면 적절하지 않은 경우가 많다.



⑤ 받침교체방안

- 받침교체 보강

기초를 보강하기 위해서는 토공(터파기)작업이 들어가며, 경우에 따라 교통을 통제하여야 하기 때문에 다른 보강에 비해 비용이 많이 든다. 따라서, 국내의 지진규모나 교량특성을 고려하면 기초 및 지반의 보강보다는 상부구조의 지진력을 감소 및 분산시키는 방안이 합리적이다.

탄성받침은 원형 및 직사각형의 형태의 고무 및 적층판으로 구성되어 있으며 현재 용량별로 규격화가 이루어져 있다.(KS제품) 상시에는 고정썰기가 설치된 탄성받침이 설치된 교각을 기준으로 신축하며, 지진시에는 고정썰기가 탈락하여 모든 받침이 가동단으로 작동하여 교각에 전달하는 지진력의 크기를 감소 및 분산시킨다. 또한, KS F 4420에는 일반형 탄성받침과 일체형 탄성받침의 2가지 종류로 분류되어있는데, 일반형 탄성받침의 경우 다음과 같은 문제점이 있어 내진보강을 위한 경우는 상·하부 판이 일체로(볼트식, 접착식) 되어 있는 일체형 탄성받침을 적용하였다.

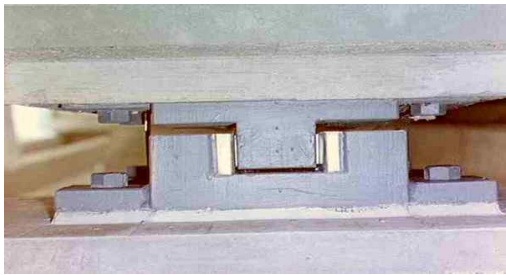
- 설치시 온도보정이 불가능하여 시공시점과 다른 온도 변화 차이와 콘크리트 건조수축 등에 의한 받침의 전단변형 발생

- 전단 변형에 의하여 들뜸 현상이 발생하여 상·하부 플레이트와 고무패드의 접촉 면적 감소 (마찰저항 감소)

- 상·하부 플레이트와 고무패드가 완전분리형으로 기본적으로 미끄럼 현상 자주 발생 미끄럼현상으로 교량의 내진 성능 확보 미약

6.4.4 내진보강공법제안

<표 6.5> 내진보강공법 비교안

구 분	1안 전단키 설치	2안 탄성받침 교체
형 상		
공 법 개 요	주형과 하부구조 공간에 받침형 전단키를 설치하여 지진시 상하부 전단키의 접촉에 의한 수평력을 부담하는 공법으로 하부연단거리가 큰 Steel Box 또는 PSC BOX 거더교, PSC Beam교 등 형식에서 주형의 하면 또는 가로보 및 교량 받침 사이에 설치	- 지진력의 분산이 가능한 탄성받침으로 교체하여 받침과 교각의 내진성능을 향상 - 지진력의 저감효과가 작아 받침의 높이가 증가하며, 지진시 받침변위 증가
장 단 점	- 시공 후 정기적인 도장 등 유지관리 필요 - 받침형 전단키로 형하공간이 확보되는 경우 작업 가능 - 일방향 받침의 가이드 캡과 원형단면으로 교축 및 교축직각방향에 대해 받침과 동시제어 가능 - RC 슬래브교등에는 작업공간 협소로 시공성 저하	- 상부인상후 기존받침 철거, 교체받침 설치의 일반적인 보수공법 - 상부인상에 따른 공정 복잡 및 상부 거더 보강공등의 추가공정 및 비용발생 - 고무판의 부식 및 과도한 전단변형에 대한 점검필요 - 공사비 보통
검토의견	현재 교량의 경우 포트받침이 설치되어 있으며, 지진 발생시 고정단 교각에 지진력이 집중되고 있다. 해당 교량의 검토 결과 받침부에서 내진성능을 만족하지 못하므로 이에 수평력 안전성 확보 방안인 전단키 추가 설치하거나 기존 받침을 교체하여 내진성능을 확보하여야 할 것으로 판단된다.	

6.4.5 내진보강 개략공사비

① 전단키 설치시

- 범물방향

공종		수량	단위	단가(천원)	금액(천원)	비고
전단키설치 (1,000kN)	A1, A2	2	개소	2,000	4,000	일방
전단키설치 (2,000kN)	P1 ~ P9	9	개소	4,000	36,000	일방
부대공	비계 등	1	식	20,000	20,000	
직접공사비					60,000	
제경비(50%)					30,000	
총공사비					90,000	

- 안심방향

공종		수량	단위	단가(천원)	금액(천원)	비고
전단키설치 (1,000kN)	A1, A2	2	개소	2,000	4,000	일방
전단키설치 (2,000kN)	P1 ~ P9	9	개소	4,000	36,000	일방
부대공	비계 등	1	식	20,000	20,000	
직접공사비					60,000	
제경비(50%)					30,000	
총공사비					90,000	

② 탄성반침 교체시

- 범물방향

공종		수량	단위	단가(천원)	금액(천원)	비고
교량인상	1,600kN	12	개소	1,500	18,000	교대
	2,000kN	120	개소	2,000	240,000	교각
책업보강재 제작 및 설치	2,000kN	132	개소	1,600	211,200	
교량받침 해체 및 설치	1,750kN	12	개소	2,500	30,000	
	8,000kN이하	39	개소	6,000	234,000	
부대공	비계 등	1	식	20,000	20,000	
직접공사비					753,200	
제경비(50%)					376,600	
관급자재(탄성받침)		1	식	150,000	150,000	
관급자재 계					150,000	
총공사비					1,279,800	

- 안심방향

공종		수량	단위	단가(천원)	금액(천원)	비고
교량인상	1,600kN	16	개소	1,500	24,000	교대
	2,000kN	150	개소	2,000	300,000	교각
책업보강재 제작 및 설치	2,000kN	166	개소	1,600	265,600	
교량받침 해체 및 설치	1,750kN	16	개소	2,500	40,000	
	8,000kN이하	44	개소	6,000	264,000	
부대공	비계 등	1	식	20,000	20,000	
직접공사비					913,600	
제경비(50%)					456,800	
관급자재(탄성받침)		1	식	160,000	160,000	
관급자재 계					160,000	
총공사비					1,530,400	

6.5 내진성능평가 결과 요약

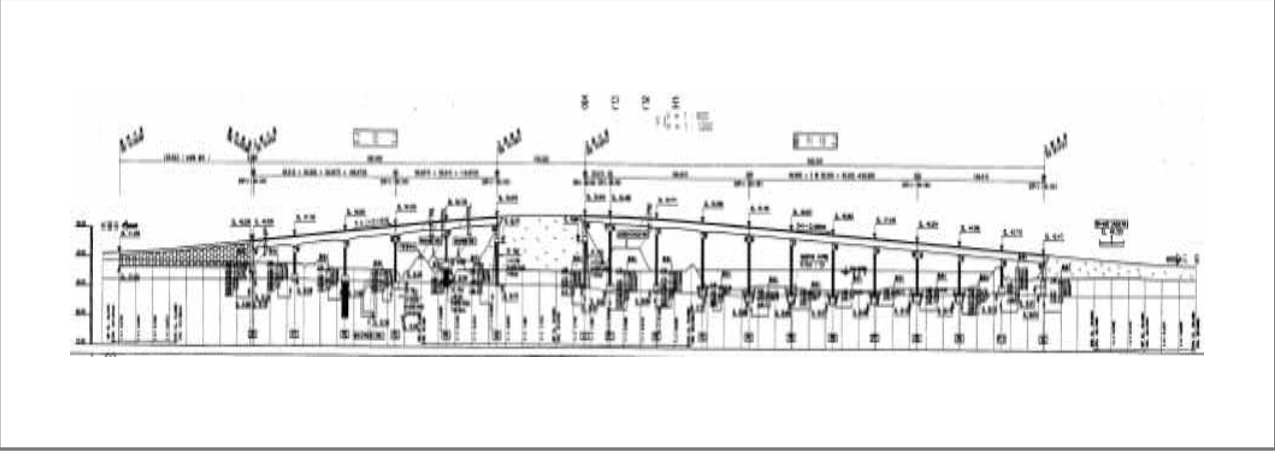
6.5.1 범물방향

교량 현황

구분		교량현황
관리주체		대구동부순환도로(주)
이정		-
교량형식	선형/선형	직선 / -
	연장/폭원	L=545.0m / B=17.5m
	상부형식	STB
	받침종류	포트받침
	하부	교대 역T형 교대
형식	교각	다주식 교각
	기초	직접기초, 파일기초



종단면도



내진성능평가 분석

교량 모델링

준공년도	2002
지진구역계수	0.11
위험도계수	1.4
가속도계수	0.154

- STB 단면을 구현, 상부 총중량 질량으로 산정
- 기존 교량 받침 배치의 경계조건에 따른 방향성 적용
- 소성힌지부에 겹 이음 없는 것으로 모멘트 곡률 해석

설계응답스펙트럼(기준)

설계응답스펙트럼(내진성능평가)

모멘트 곡률 해석 (P2)

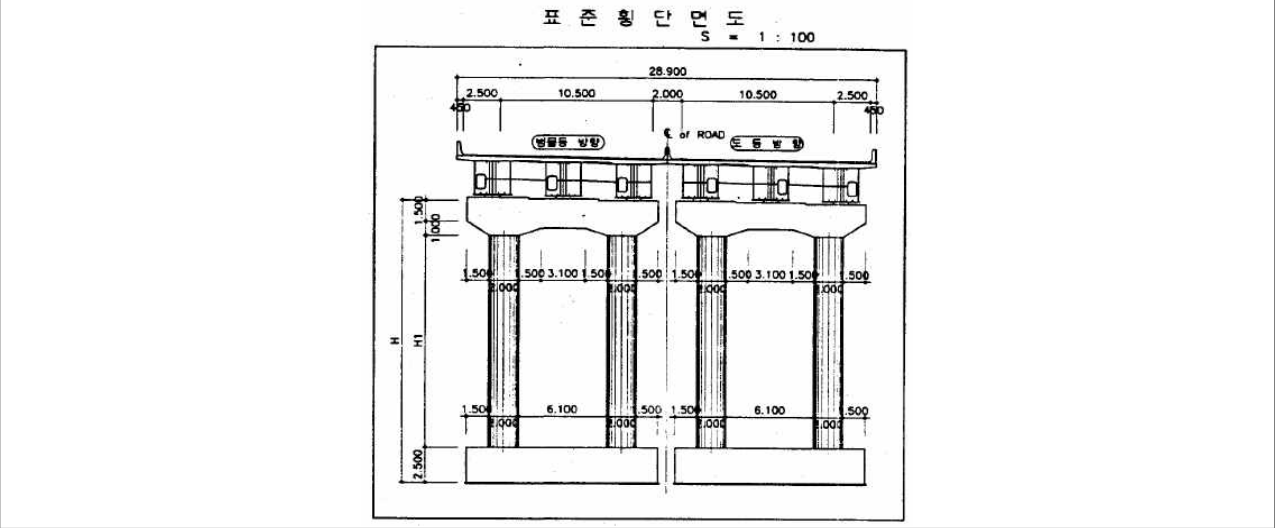
내진 성능평가 결과

구분	기둥(P2)	기둥(P8)	기둥(P9)	받침(A1)	받침(P2)					
교축	O.K	1.994	O.K	2.236	O.K	1.969	-	-	O.K	2.426
교직	O.K	2.170	O.K	2.490	O.K	2.436	N.G	0.320	N.G	0.551

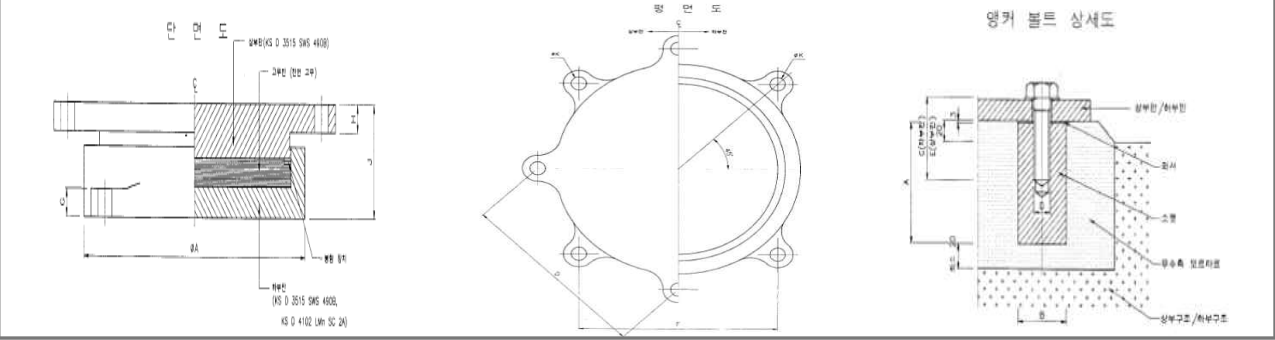
구분	받침(P8)	받침(P9)	기초(P2)	기초(P8)	받침지지길이					
교축	-	-	O.K	2.048	O.K	2.520	O.K	4.737	O.K	3.403
교직	N.G	0.348	N.G	0.561	O.K	1.873	O.K	2.782	O.K	3.403

- 교각(P2, P8, P9) 내진성능평가 결과 기둥 및 기초부는 내진성능을 만족하나 받침부에서는 내진성능이 부족한 것으로 판단.
- 교대(A1) 내진성능평가 결과 받침부에서 내진성능이 부족한 것으로 판단.

횡단면도



받침상세도



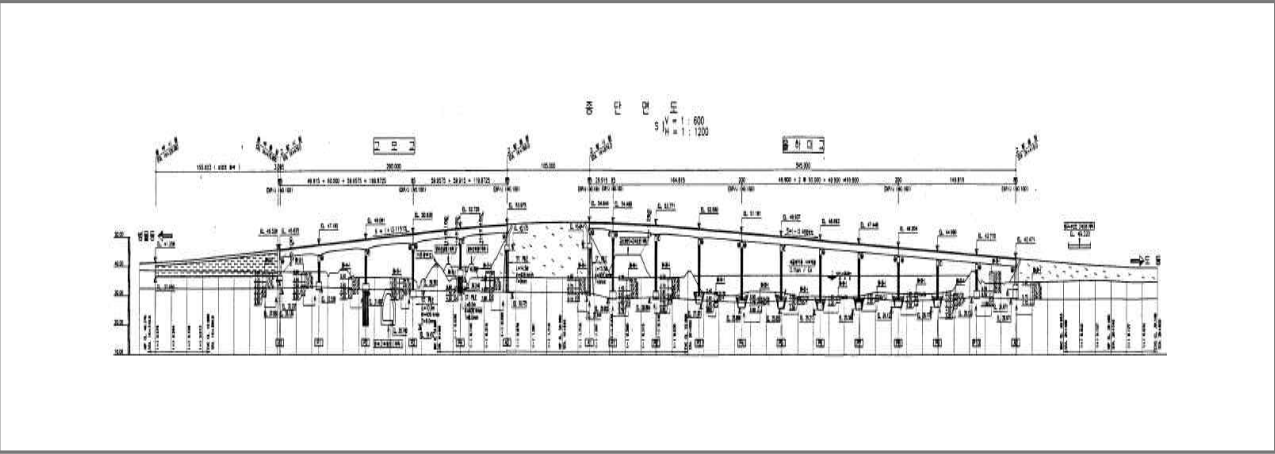
6.5.2 안심방향

교량 현황

구분		교량현황
관리주체		대구동부순환도로(주)
이정		-
교량 형식	선형/선형	직선 / -
	연장/폭원	L=545.0m / B=17.5m
	상부형식	STB
	반침종류	포트반침
	하부 교대	역T형 교대
형식	교각	다주식 교각
	기초	직접기초, 파일기초



종단면도

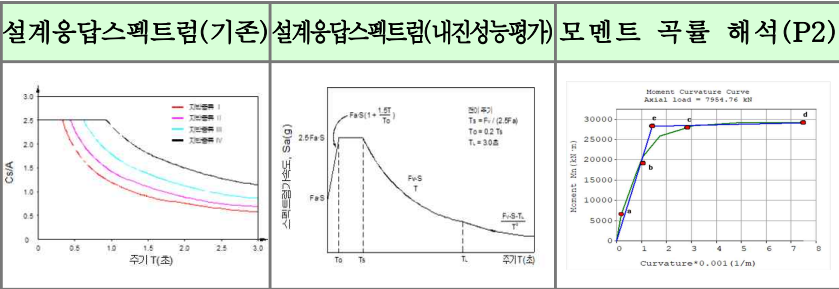


내진성능평가 분석

교량 모델링

준공년도	2002
지진구역계수	0.11
위험도계수	1.4
가속도계수	0.154

- STB 단면을 구현, 상부 총중량 질량으로 산정
- 기존 교량 반침 배치의 경계조건에 따른 방향성 적용
- 소성힌지부에 겹 이음 없는 것으로 모멘트 곡률 해석

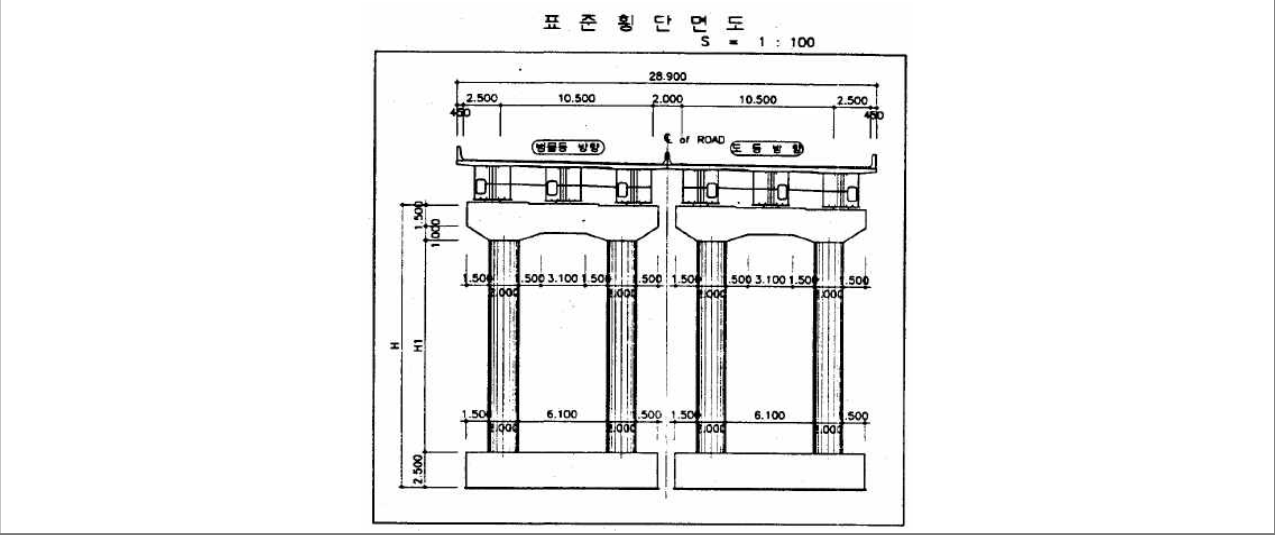


내진 성능평가 결과										
구분	기둥(P2)		기둥(P8)		기둥(P9)		반침(A1)		반침(P2)	
교축	O.K	1.929	O.K	2.167	O.K	1.770	-	-	O.K	2.426
교직	O.K	2.147	O.K	3.387	O.K	2.334	N.G	0.262	N.G	0.511

구분	반침(P8)		반침(P9)		기초(P2)		기초(P9)		반침지지길이	
교축	-	-	O.K	2.048	O.K	2.679	O.K	2.153	O.K	3.424
교직	N.G	0.327	N.G	0.500	O.K	1.704	O.K	2.173		

- 교각(P2, P8, P9) 내진성능평가 결과 기둥 및 기초부는 내진성능을 만족하나 반침부에서는 내진성능이 부족한 것으로 판단.
- 교대(A1) 내진성능평가 결과 반침부에서 내진성능이 부족한 것으로 판단.

횡단면도



반침상세도

