

2. 응암2교

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 2.1 시설물의 개요 | 2.14 구조해석 모델(장호원방향) |
| 2.2 현장조사 및 시험 | 2.15 지진해석결과(장호원방향) |
| 2.3 콘크리트 내구성 조사 | 2.16 받침부 내진성능평가(장호원방향) |
| 2.4 구조해석 모델(성남방향) | 2.17 지진해석결과(장호원방향) |
| 2.5 지진해석결과(성남방향) | 2.18 받침부 내진성능평가(장호원방향) |
| 2.6 받침부 내진성능평가(성남방향) | 2.19 기초부 내진성능평가(장호원방향) |
| 2.7 지진해석결과(성남방향) | 2.20 받침지지길이 평가 결과(장호원방향) |
| 2.8 받침부 내진성능평가(성남방향) | 2.21 액상화 평가(장호원방향) |
| 2.9 기초부 내진성능평가(성남방향) | 2.22 내진성능평가 결과요약(장호원방향) |
| 2.10 받침지지길이 평가 결과(성남방향) | 2.23 종합결론(장호원방향) |
| 2.11 액상화 평가(성남방향) | |
| 2.12 내진성능평가 결과요약(성남방향) | |
| 2.13 종합결론(성남방향) | |

2. 응암2교 내진성능평가

2.1 시설물의 개요

2.1.1 일반사항

교 량 명 : 응암2교

교량등급 : 1등급(DB-24)

교량형식 : HD BOX GIRDER교

교 장 : $L = 1@52.0 = 52.0\text{m}$

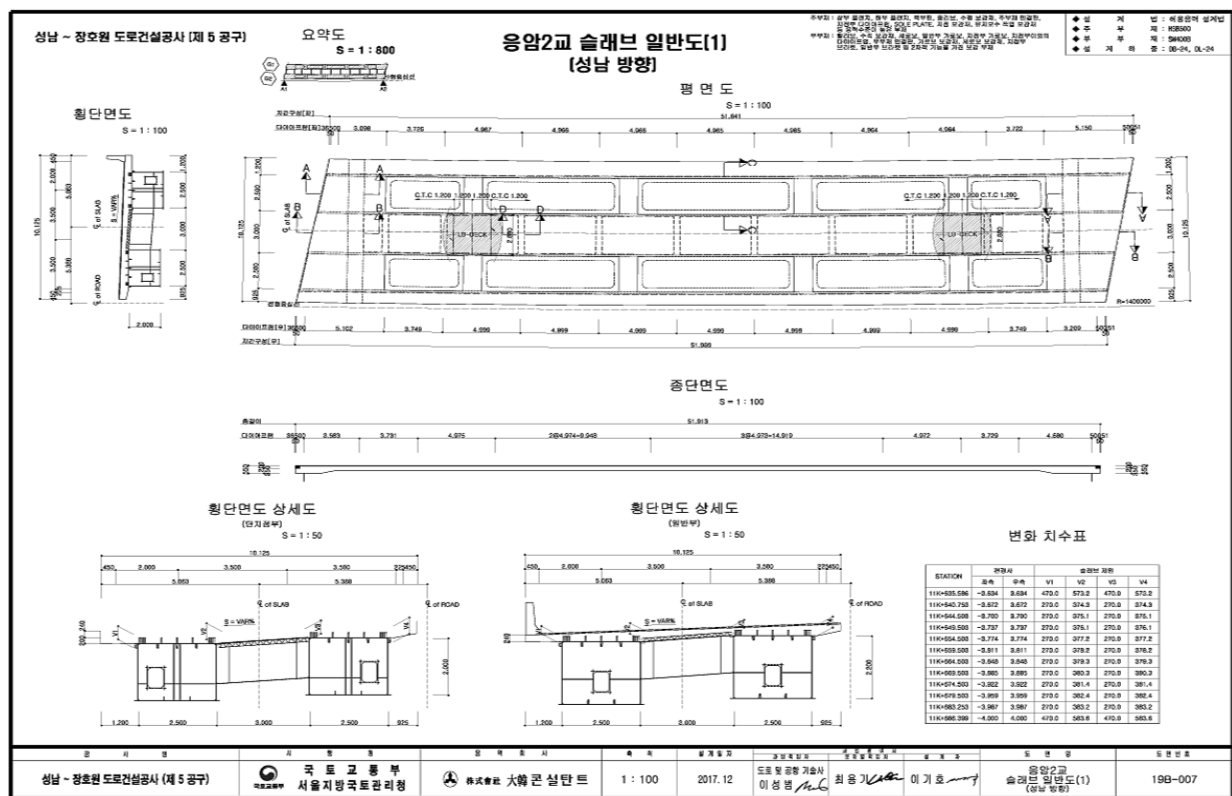
교 량 폭 : $B = 20.9\text{m}$ (성남 : 10.125m, 장호원 : 10.755m)

하부콘크리트강도 : 24 MPa

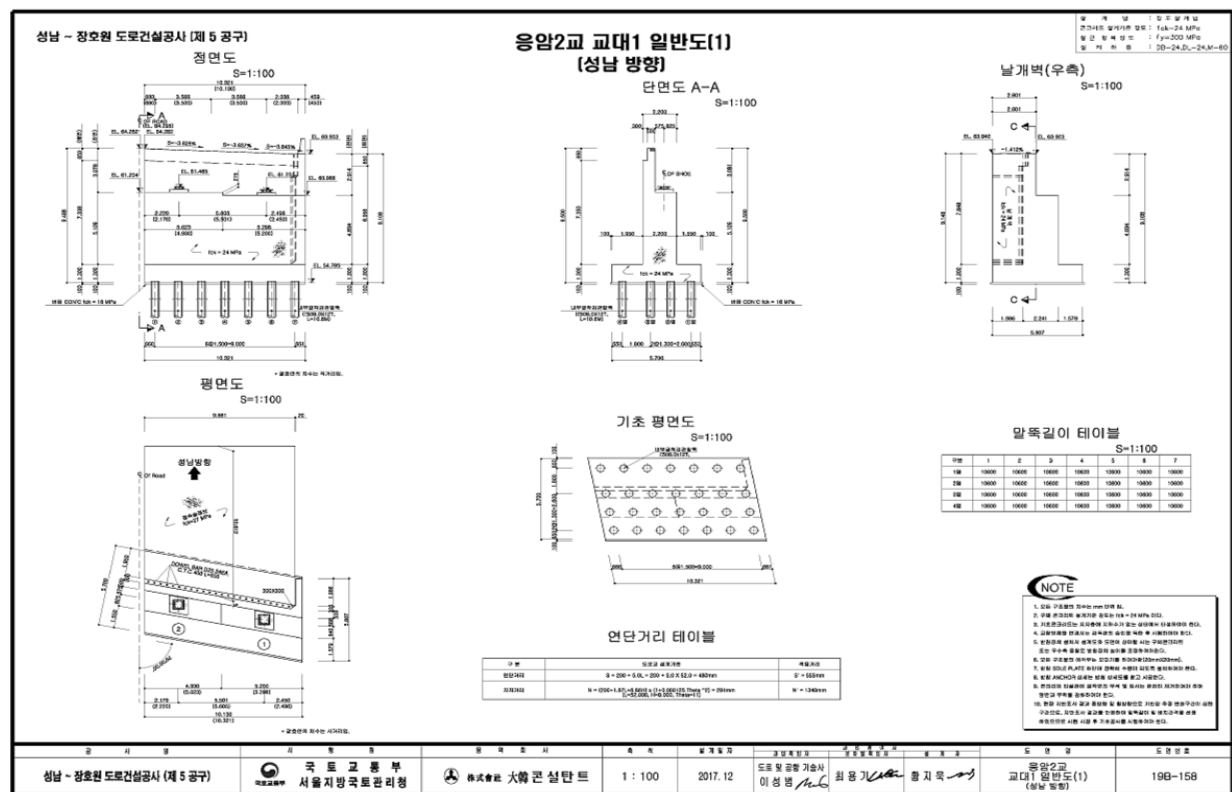
하부철근강도 : 300 MPa

【표 2.1.1】 응암2교(성남) 일반사항

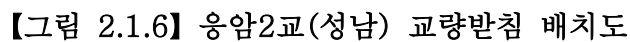
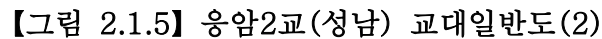
구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물번호		BR2018-0000122		관리번호		-	
시설물위치		경기도 이천시 부발읍 경충대로 1754		준공년월일		2018년 06월 30일	
시점이정		-		노 선 명		국도 3호선	
제원	연장	L = 52.0m (1@52.0=52.0m)					
	폭	B = 20.9m					
구조 형식	상부	HD BOX GIRDER		기초 형식	교 대	말뚝기초	
	하부	교대 : 역T형(RTA)			교 각	-	
교량받침		포트받침		신축이음		평거조인트	
교차시설물		해룡천		통과높이		6.2m	
관리주체		수원국토관리사무소		설계하중		DB-24/DL-24	
부착시설내용		-		설 계 자		(주)대한콘설탄트	
							
측면 전경				포장 전경			

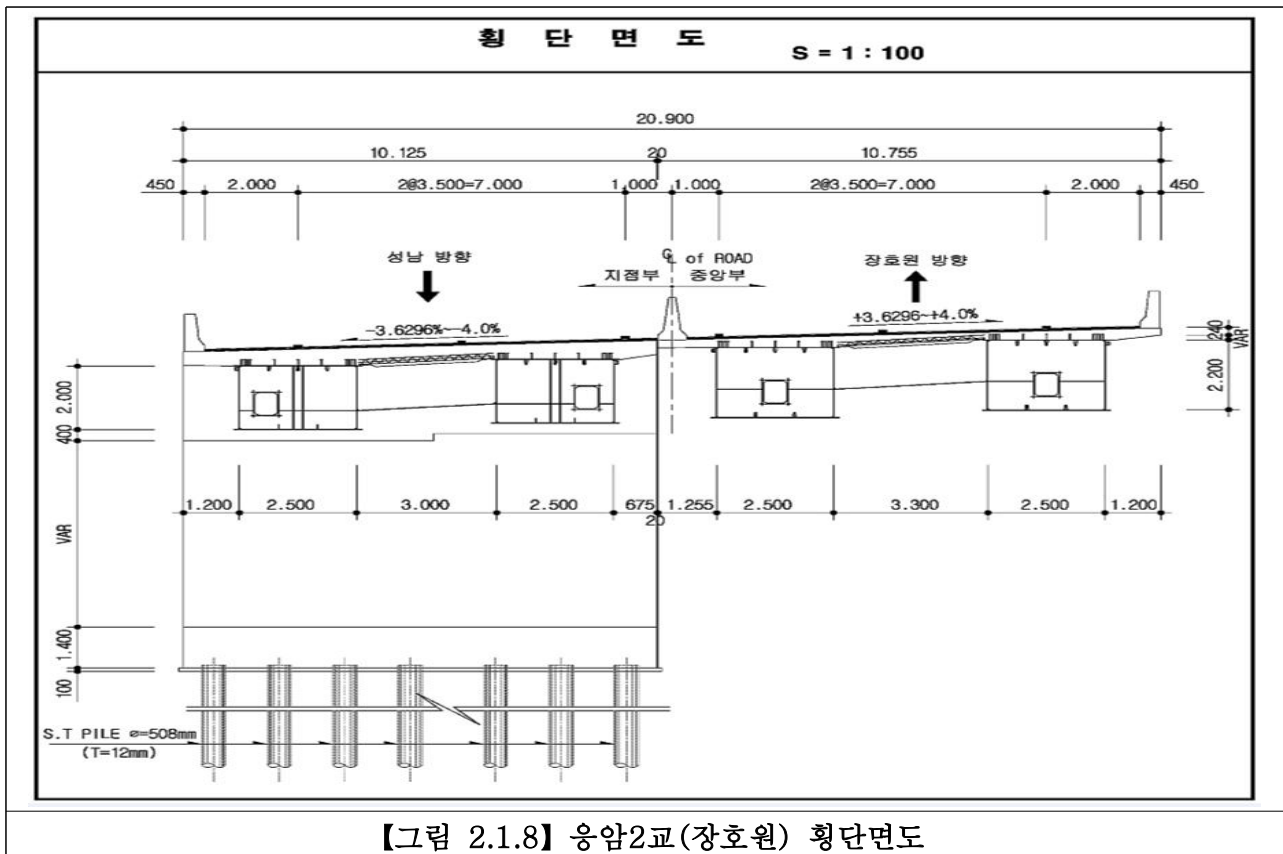
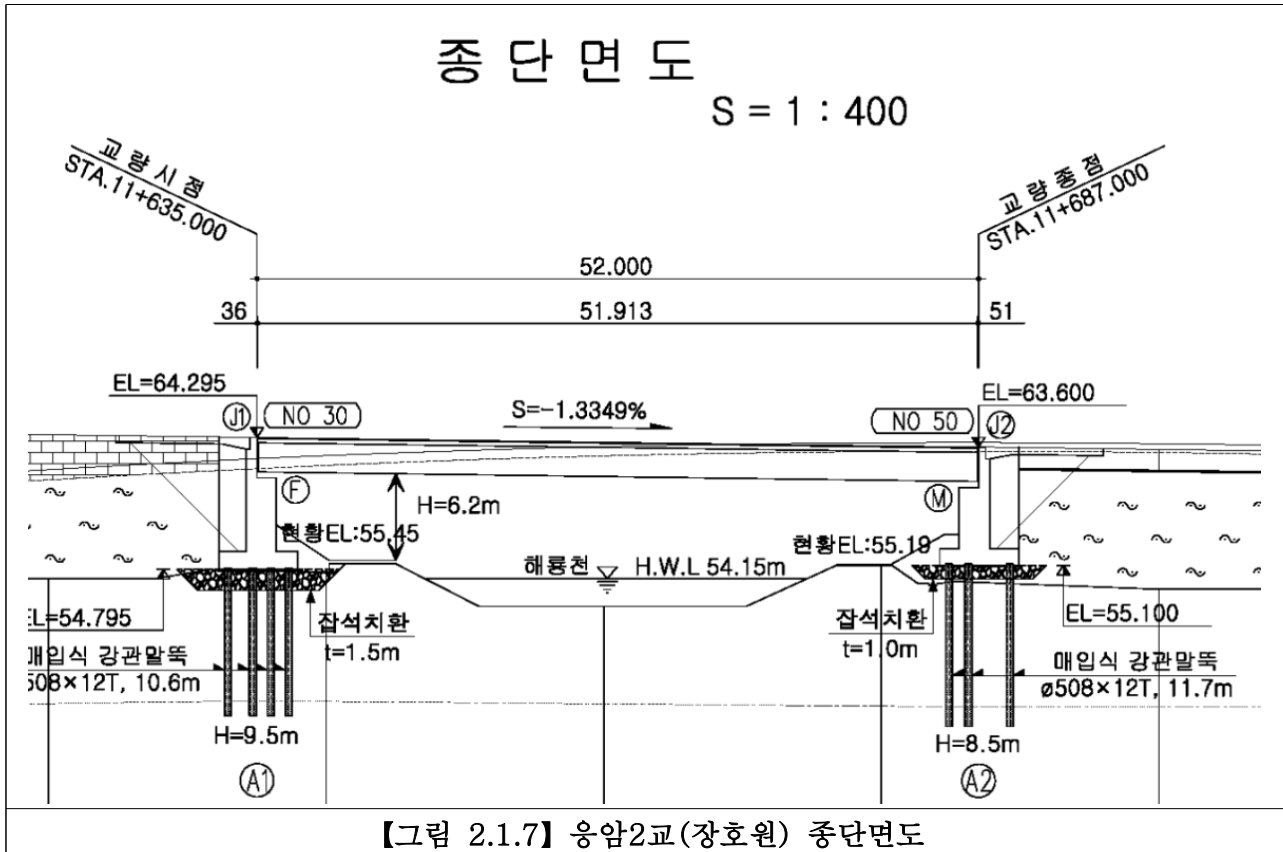


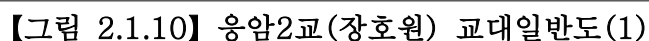
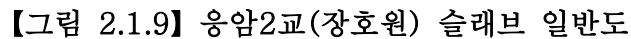
【그림 2.1.3】 응암2교(성남) 슬래브 일반도

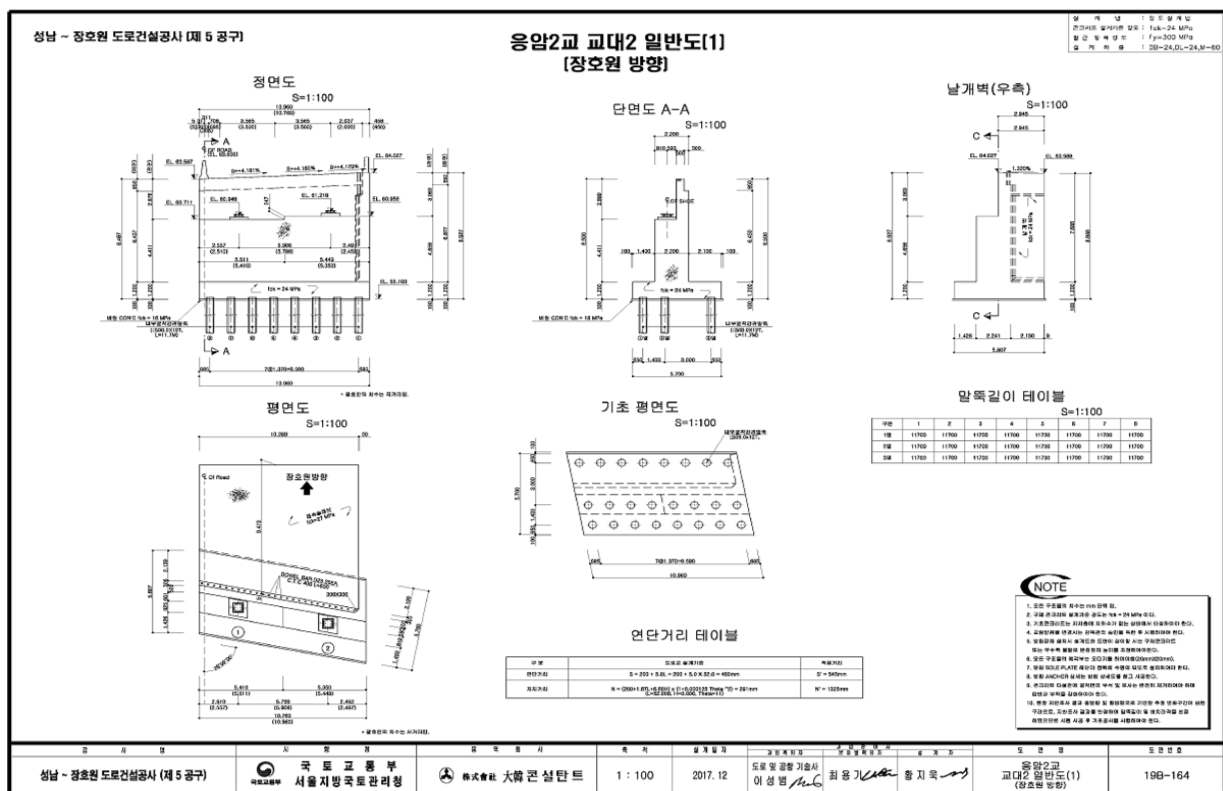


【그림 2.1.4】 응암2교(성남) 교대일반도(1)

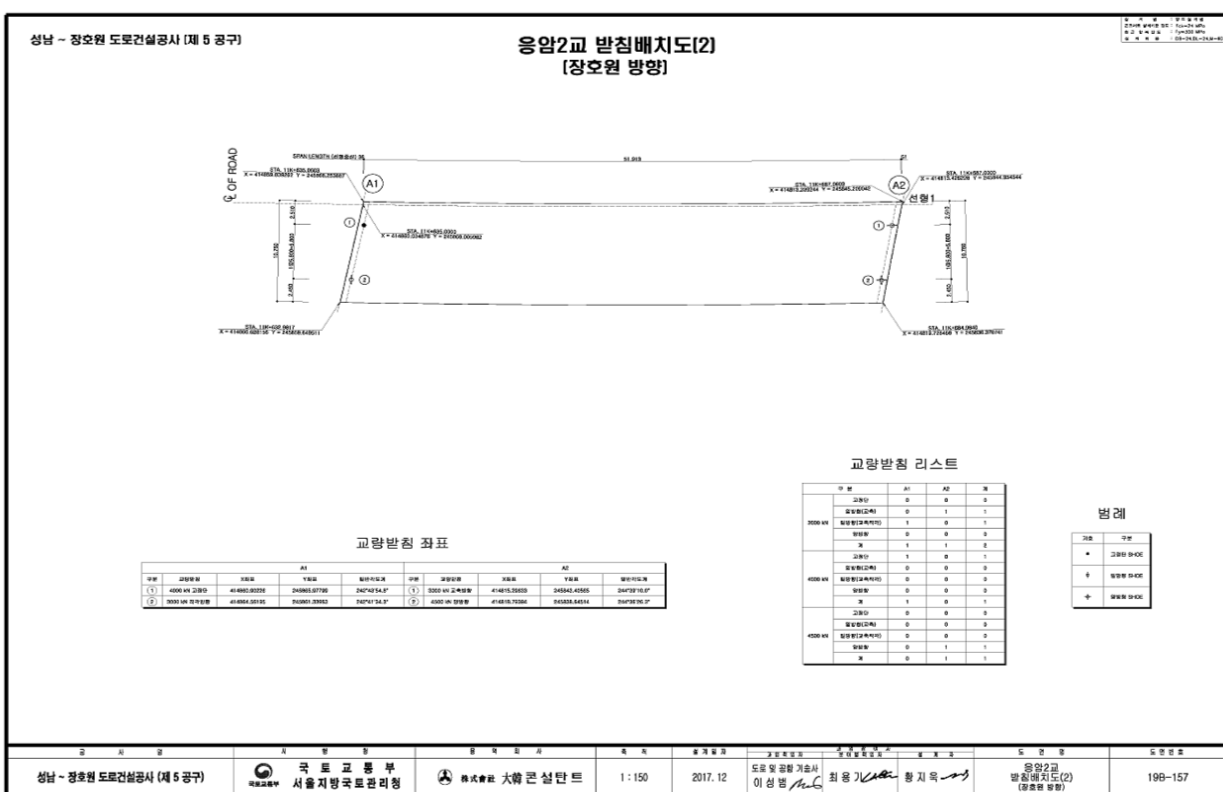








【그림 2.1.11】 응암2교(장호원) 교대일반도(2)



【그림 2.1.12】 응암2교(장호원) 교량받침 배치도

2.2 현장조사 및 시험

현장조사 및 시험은 교량의 내진성능평가를 목적을 두고 시행하였다. 사전조사에 따라 설계 및 준공도서 등의 관련 자료를 확보한 교량에 대해서는 도면과 비교하여 전체적인 규격과 교량받침의 배치 및 상태에 대해 조사를 실시하였다. 규격 및 제원조사는 근접 실측조사를 원칙으로 도보, 고소점검차를 이용하여 조사하였다.

고소차를 이용한 근접조사	실측조사 전경
실측조사 전경	실측조사 전경
실측조사 전경	실측조사 전경

【사진 2.2.1】 교량 전경 및 실측조사 현황

2.2.1 규격 및 제원조사

가. 상부구조

상부교면은 LMC포장으로 시공되어있으며 형식은 강박스 거더로 구성된 1경간 교량으로 총 연장 $L = 52.0\text{m}$, 교폭은 20.9m (성남 : 10.125m , 장호원 : 10.755m)이다. 관리주체로부터 준공도면을 협조 받아 현장 실측값과 비교 검토결과, 상부구조의 제원, 규격 등은 설계도면과 일치하여 내진성능평가에 준공도면의 내용을 반영하여 검토하였다.



【사진 2.2.2】 상부구조 현황

나. 신축이음 장치

신축이음장치는 2024년 뉴모노셀조인트에서 팽거조인트로 교체한 이력이 확인되었고, 교대에 각 2개소씩 총 4개소 시공되어있다. 신축이음부는 전반적으로 양호한 상태이며, 갓길측에 국부적인 이물질퇴적이 확인되었으나, 신축이음 신축에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았다. 관리 주체로부터 준공도면을 협조 받아 현장 실측값과 비교 검토결과, 신축이음의 제원, 규격 등은 준공도면과 일치하여 내진성능평가에 준공도면의 내용을 반영하여 검토하였다.



【사진 2.2.3】 신축이음장치 현황

다. 하부구조

교대는 역T형, 기초형식은 말뚝기초로 시공되어 있고, 재료는 철근콘크리트로 A1, A2(2기)가 시공되어있다. 하부구조는 균열(0.3mm미만), 박락(t=50mm), 철근부식(t=50mm), 누수흔적 등의 일반적인 손상이 조사되었으나, 비구조적인 손상으로 시설물의 성능을 저해할만한 손상은 조사되지 않았다. 관리주체로부터 준공도면을 협조 받아 현장 실측값과 비교 검토결과, 하부구조의 제원, 규격 등은 준공도면과 일치하여 내진성능평가에 준공도면의 내용을 반영하여 검토하였다.

	
교대 A1	교대 A2
	
실측조사 전경	실측조사 전경

【사진 2.2.4】 하부구조 현황

라. 교량받침

받침장치는 교대에 포트받침이 일방향 4개소, 양방향 2개소, 고정단 2개소로 총8개소 시공되어 있다. 교량받침에서 몰탈균열, 볼트풀림 등의 손상이 조사되었다. 최근 정밀안전점검결과, 측방유동이 수렴하지 않고 진행중일 우려가 있으므로 주의관찰하고, 향후 측방유동이 수렴하고 정밀안전진단을 통한 교대 안전성검토를 실시한 후 교량받침의 교체하는 방향을 제안하였다. 금회 내진성능평가결과, 내진성능을 만족하고 있는 것으로 평가되어 정밀안전점검의 제안과 같이, 측방유동에 대한 검토를 실시, 정밀안전진단을 통한 안전성 검토를 수행후 교량받침의 교체하는 방향을 제안하는 바이다. 교량받침의 용량은 준공도면과 일치하여 내진성능평가에 준공도면의 내용을 반영하여 검토하였다.

	
교량받침 전경	교량받침 전경
	
실측조사 전경	실측조사 전경

【사진 2.2.5】 교량받침 현황

2.3 콘크리트 내구성 조사

콘크리트 내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 2025년 정밀안전점검의 내구성조사를 발채하여 수록하였다. 또한, 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2026. 01, 국토교통부/국토안전관리원)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 확인하였다.

2.3.1 조사 현황 및 위치

가. 조사 현황

본 과업은 내진성능평가 용역으로 재료시험을 미실시하였고, 평가를 위한 자료로 25년 상반기에 실시한 정밀안전점검 용역에서 콘크리트 내구성조사를 발채하여 수록하였다. 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 2.3.1】 콘크리트 비파괴시험 현황

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	50m 마다	연장 50m마다	2	2	3	5	
탄산화 깊이측정	• 5경간 이내 : 2~3개소 • 5경간 이상 : 3~6개소		1	2	2	4	

나. 콘크리트 내구성시험 위치 선정사유

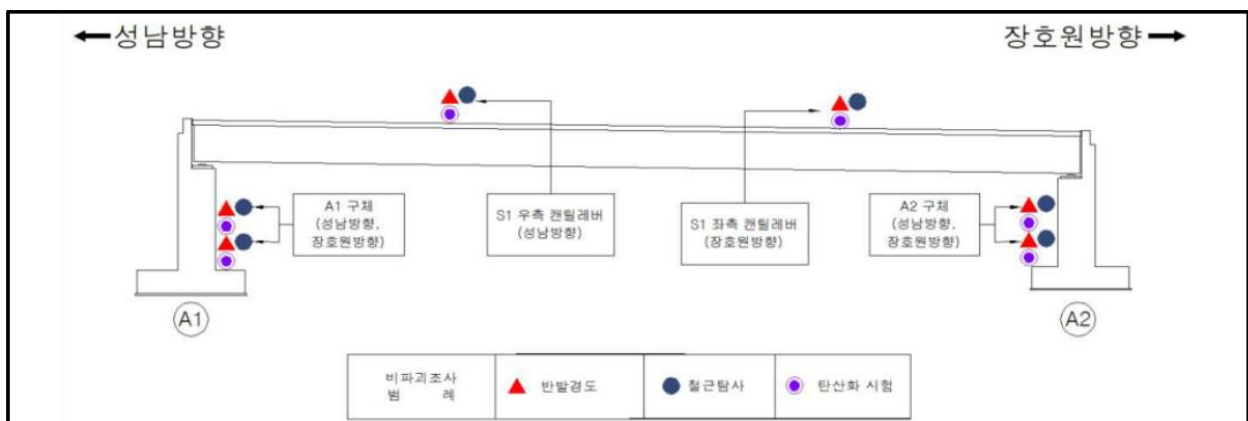
대상 구조물에 대한 재료시험은 25년 정밀안전점검의 내구성시험 부분을 발채하여 수록하였다.

다. 조사 사진



【사진 2.3.1】 콘크리트 내구성조사 현황

라. 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 2.3.1】 콘크리트 내구성조사 위치도

2.3.2 시험결과 및 분석

가. 콘크리트 강도시험

콘크리트 비파괴강도시험은 상·하부구조에서 반발경도시험(상부 3개소, 하부 5개소)을 실시하였으며, 검토결과와 다음과 같다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 2.3.2】 상부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치			반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
			반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
상부 구조	S1	캔틸레버	50.0	29.1	29.2	0.64	27.0	
	S1	캔틸레버	48.1	27.6	28.3			
	S1	캔틸레버	48.8	28.2	28.6			

【표 2.3.3】 하부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치			반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
			반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
하부 구조	A1	교대	44.9	25.0	26.8	0.64	24.0	
	A1	교대	45.0	25.0	26.9			
	A1	교대	44.1	24.3	26.4			비건전부
	A2	교대	44.4	24.6	26.6			
	A2	교대	45.2	25.2	26.9			

반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 상부구조 바닥판하면 27.6~29.2MPa, 하부구조 24.3~26.9MPa 로 측정되었으며, 설계기준 압축강도(바닥판: 27.0MPa, 하부구조: 24.0MPa)를 상회하므로, 강도 저하가 없는 것으로 판단된다.

나. 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 드릴링을 통해 콘크리트 시료를 채취한 후, 해당 가루를 페놀프탈레인 용액이 도포된 원형 시험지에 떨어뜨려 변색 여부를 확인하는 방식으로 수행된다. 변색이 발생하지 않는 지점을 기준으로 탄산화 깊이를 산정하며, 이를 공용년수와 연계하여 탄산화 속도계수를 도출한다. 이후, RC-RADAR를 활용하여 구조물의 실측 피복두께를 측정하여, 산정된 탄산화 속도계수와 잔여 피복두께를 바탕으로 철근까지 도달하는 데 소요되는 잔존수명을 예측한다.

① 시험결과

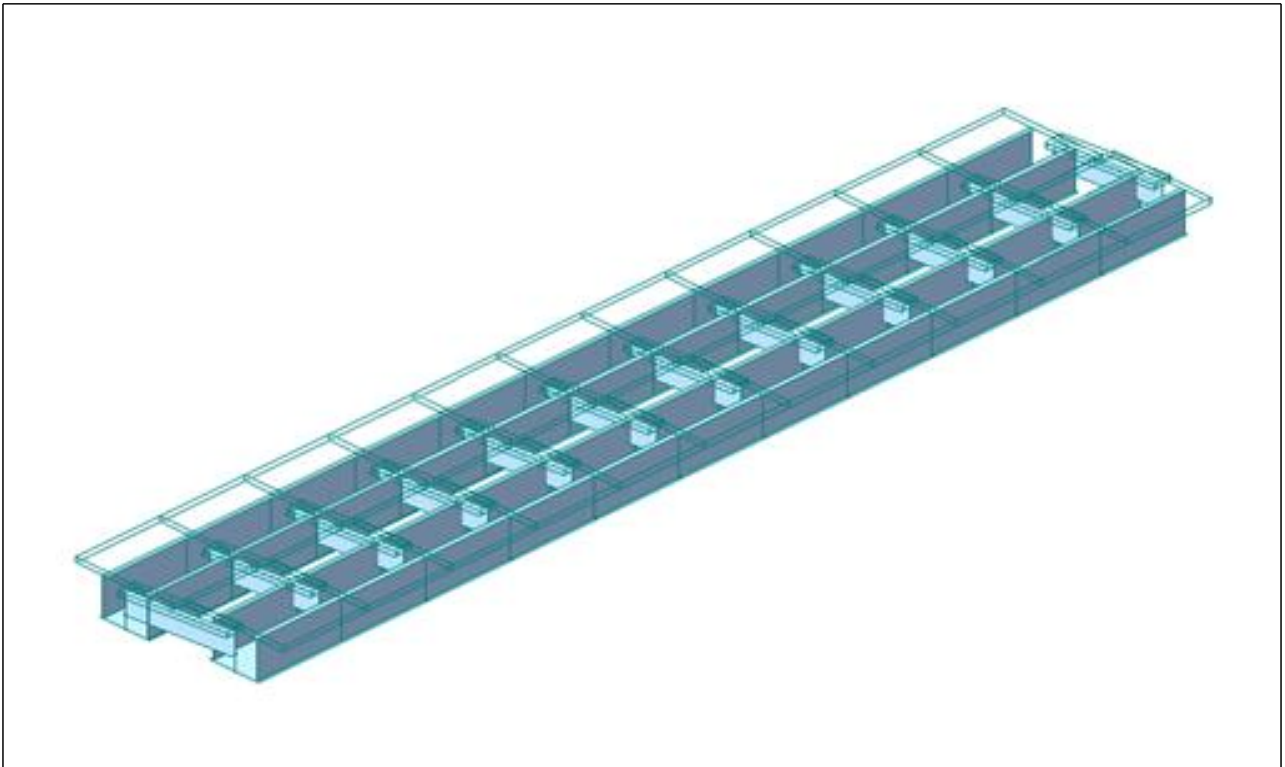
【표 2.3.4】 탄산화 깊이 측정 결과

시험위치		탄산화깊이 (mm)	실측피복두께 (mm)	탄산화 속도계수 (A)	탄산화 잔여깊이 (mm)	잔존수명 (년)	비 고
상부 구조	S1	4.0	46.0	1.512	42.0	100년 이상	a등급
	S1	3.0	47.0	1.134	44.0	100년 이상	a등급
하부 구조	A1	5.0	114.0	1.890	109.0	100년 이상	a등급
	A1	3.0	121.0	1.134	118.0	100년 이상	a등급
	A2	4.5	116.0	1.701	111.5	100년 이상	a등급
	A2	3.5	109.0	1.323	105.5	100년 이상	a등급

측정결과, 잔여깊이가 상부구조에서 42.0~44.0mm, 하부구조에서 105.5~118.0mm로 분석되었으며, 상태평가 등급 “a” 로 평가되었다. 탄산화 속도계수를 활용하여 탄산화가 철근 위치까지 도달하는 잔여 내구수명을 산정한 결과, 모두 100년 이상이 확보된 것으로 분석되어 탄산화로 인한 부식 발생 우려는 없는 것으로 평가되었다.

2.4 구조해석 모델(성남방향)

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



【그림 2.4.1】 응암2교(성남) 교량 구조해석 모델링

2.5 지진해석방법(성남방향) _ 가속도계수 : 0.154적용

(1) 등가정적해석

구 분	적 용	비 고
교량등급	1등급교	
지진구역계수	0.11	
위험도계수	1.4	
가속도계수	0.154	
지반 종류	S3	
해석방법	· 상부구조와 교대 사이의 연결부에 대하여 고정하중 반력에 최대지반가속도를 곱한 값의 수평지진력이 작용한다고 보고 종방향, 횡방향 및 수직방향에 대하여 안전하도록 검토하여야 한다. 이 때 최대지반가속도는 암반지반(S1)의 경우는 내진성능평가기준에서 규정된 유효수평지반가속도(S)로 하고, 토사지반(S2~S5)의 경우는 유효수평지반가속도(S)와 내진성능평가기준에 규정된 단주기 지반증폭계수(Fa)를 곱한 값으로 한다.	

(2) 고정하중 해석에 의한 받침부 반력 산정

Link	A1	A2
1	2183.8	1516.8
2	1284.0	1951.0
소계(kN)	3467.8	3467.8

(3) 지진하중산정

① 지진하중 $\rightarrow V = W \times S \times F_a$

• 여기서 W = 상부 중량 = 6935.6 kN (A1, A2 받침부 반력의 총합)

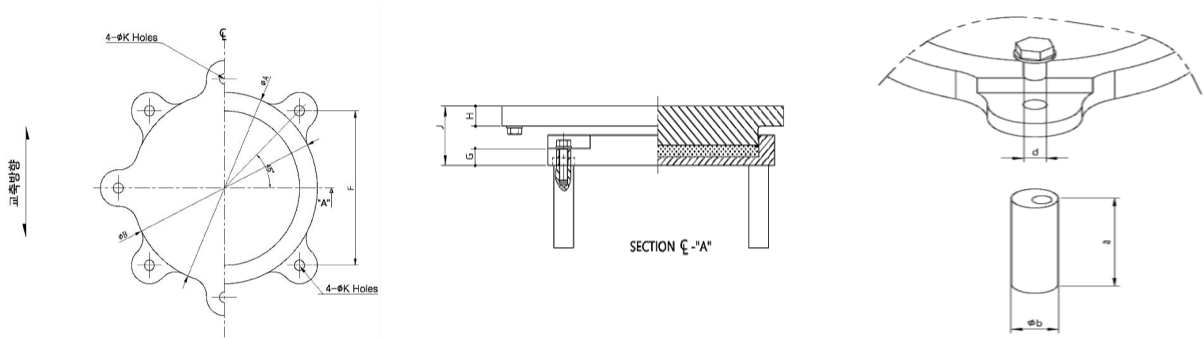
S = 유효 수평지반 가속도계수 = 0.154

F_a = 단주기 지반 증폭계수 = 1.592

구분	설계지진하중 (kN)	
	교축방향	교직방향
A1	1700.372	850.186
A2	—	850.186

2.6 받침부 내진성능평가(성남방향)

① A1 받침본체 규격



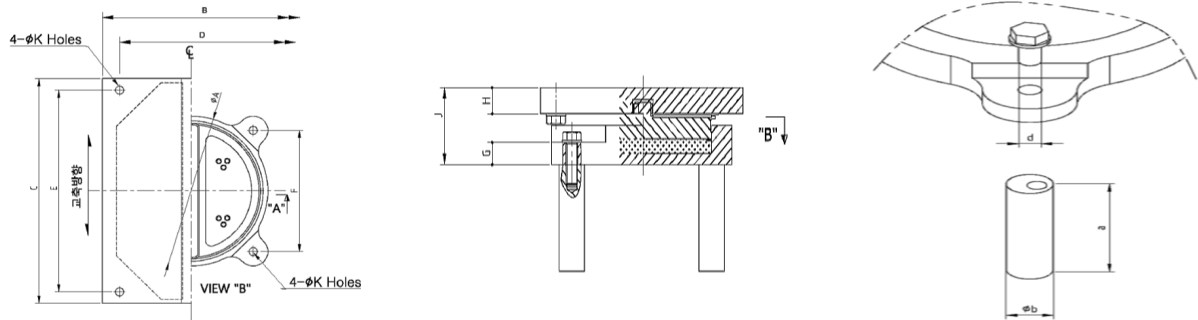
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	505	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	505	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
d _a	=	90	mm	받침부 앵커소켓 직경
d _b	=	36	mm	받침부 앵커볼트 직경
h _{ef}	=	270	mm	받침부 앵커근입 깊이
S _L	=	395	mm	받침 교축방향 앵커간격
S _T	=	395	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	4	EA	앵커 개수 , (교축 = 2EA , 교직 = 2EA)

■ A1 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	2,210	1,700	1.300	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	2,101	850	2.471	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	6,282	1,700	3.695	O.K

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,170	850	1.376	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	2,101	850	2.471	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	793	850	0.933	N.G

② A2 받침본체 규격



구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	540	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	540	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
d _a	=	75	mm	받침부 앵커소켓 직경
d _b	=	30	mm	받침부 앵커볼트 직경
h _{ef}	=	230	mm	받침부 앵커근입 깊이
S _L	=	450	mm	받침 교축방향 앵커간격
S _T	=	450	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	4	EA	앵커 개수 , (교축 = 2EA , 교직 = 2EA)

■ A2 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,040	850	1.223	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	1,459	850	1.716	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	862	850	1.014	O.K

- 소방방재청 공고 제2013-179호(내진설계기준 공통적용사항(2017, 국민안전처)3.2.1 (3)항)을 따라 국가지진도를 활용하여 재검토 필요

2.7 지진해석방법(성남방향) _ 가속도계수 : 0.1232적용

(1) 등가정적해석

구 분	적 용	비 고
교량등급	1등급교	
지진구역계수	0.11	
위험도계수	1.4	
가속도계수	0.1232(국가지진위험도 적용)	
지반 종류	S3	
해석방법	· 상부구조와 교대 사이의 연결부에 대하여 고정하중 반력에 최대지반가속도를 곱한 값의 수평지진력이 작용한다고 보고 종방향, 횡방향 및 수직방향에 대하여 안전하도록 검토하여야 한다. 이 때 최대지반가속도는 암반지반(S1)의 경우는 내진성능평가기준에서 규정된 유효수평지반가속도(S)로 하고, 토사지반(S2~S5)의 경우는 유효수평지반가속도(S)와 내진성능평가기준에 규정된 단주기 지반증폭계수(F_a)를 곱한 값으로 한다.	

(2) 고정하중 해석에 의한 받침부 반력 산정

Link	A1	A2
1	2183.8	1516.8
2	1284.0	1951.0
소계(kN)	3467.8	3467.8

(3) 지진하중산정

① 지진하중 $\rightarrow V = W \times S \times Fa$

· 여기서 W = 상부 중량 = 6935.6 kN (A1, A2 받침부 반력의 총합)

S = 유효 수평지반 가속도계수 = 0.1232 (국가지진지도 적용)

Fa = 단주기 지반 증폭계수 = 1.654

구분	설계지진하중 (kN)	
	교축방향	교직방향
A1	1412.933	706.466
A2	—	706.466

② 국가지진지도 적용

· 적용대상

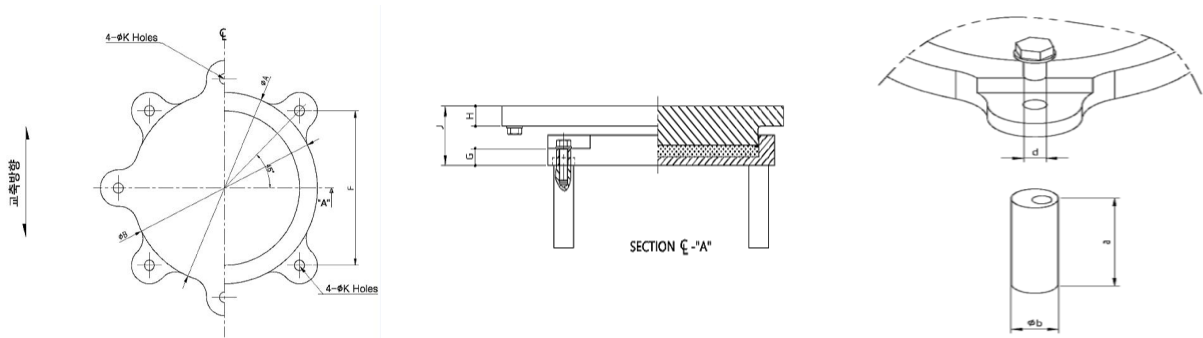
- 내진성능평가 결과 안전율이 모자라 내진성능 부적합 판정을 받은 교량

· 적용방법

- 국가지진지도로부터 유효수평지반 가속도 값 산정(최대한 보수적으로 산정)
- 행정구역에 의해 결정된 값과 비교하였을 때 최소 80%이상의 값 사용
- 재 산정된 유효수평지반가속도 값을 해석결과에 적용. (단, 국가지진위험지도를 적용하였음에도 부적합 판정 시 행정구역의 유효지반가속도 산정된 결과 도출)

2.8 받침부 내진성능평가(성남방향)

① A1 받침본체 규격



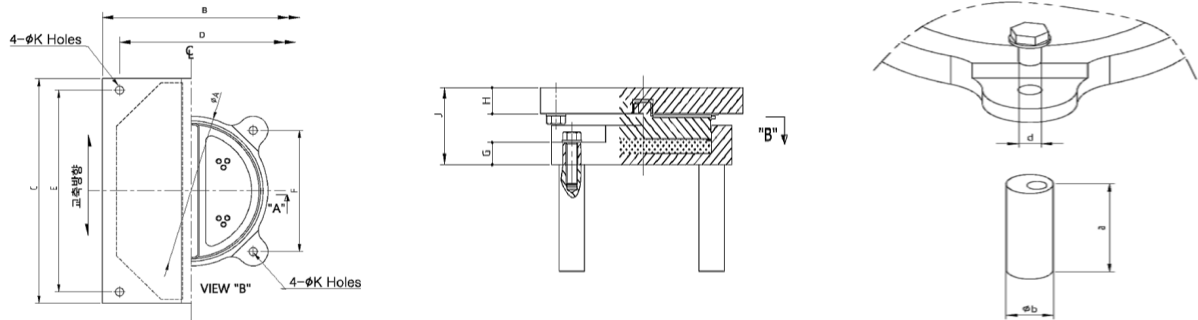
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	505	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	505	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
d _a	=	90	mm	받침부 앵커소켓 직경
d _b	=	36	mm	받침부 앵커볼트 직경
h _{ef}	=	270	mm	받침부 앵커근입 깊이
S _L	=	395	mm	받침 교축방향 앵커간격
S _T	=	395	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	4	EA	앵커 개수 , (교축 = 2EA , 교직 = 2EA)

■ A1 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	2,210	1,413	1.564	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	2,101	706	2.974	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	6,282	1,413	4.446	O.K

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,170	706	1.656	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	2,101	706	2.974	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	793	706	1.122	O.K

② A2 받침본체 규격



구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	540	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	540	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
d_a	=	75	mm	받침부 앵커소켓 직경
d_b	=	30	mm	받침부 앵커볼트 직경
h_{ef}	=	230	mm	받침부 앵커근입 깊이
S_L	=	450	mm	받침 교축방향 앵커간격
S_T	=	450	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	4	EA	앵커 개수, (교축 = 2EA, 교직 = 2EA)

■ A2 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,040	706	1.472	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	1,459	706	2.065	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	862	706	1.220	O.K

2.9 기초부 내진성능평가(성남방향)

① A1 기초부 검토

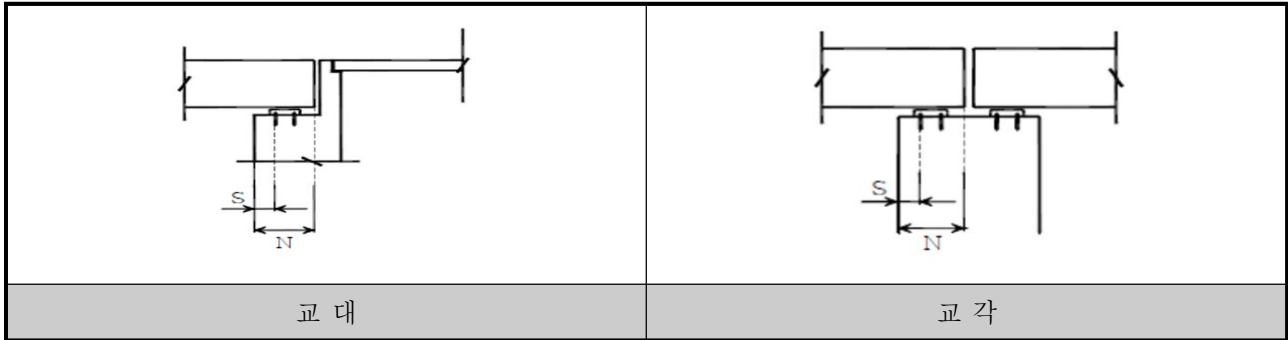
구분				보유성능	소요성능	판정	
기초부	안정성 검토	수평변위		15.000	3.927	3.820	O.K
		연직 압축지지력		1,808	1,413	1.280	O.K
		연직 인발지지력		583.6	499.8	1.167	O.K
	말뚝 응력 검토	휨인장응력		210.0	40.5	5.190	O.K
		휨압축응력		210.0	141.6	1.483	O.K
		휨전단응력		120.0	11.7	10.298	O.K
	단면 검토	벽체	휨	17,788	3,299	5.392	O.K
			전단	9,691	3,323	2.916	O.K
		앞굽	휨	10,864	8,431	1.289	O.K
			전단	9,691	9,284	1.044	O.K
		뒷굽	휨	10,864	5,368	2.024	O.K
			전단	9,691	5,394	1.797	O.K

② A2 기초부 검토

구분				보유성능	소요성능	판정	
기초부	안정성 검토	수평변위		15.000	2.797	5.362	O.K
		연직 압축지지력		1,839	1,338	1.375	O.K
		연직 인발지지력		609.3	194.3	3.136	O.K
	말뚝 응력 검토	휨인장응력		210.0	40.3	5.206	O.K
		휨압축응력		210.0	132.0	1.591	O.K
		휨전단응력		120.0	12.2	9.866	O.K
	단면 검토	벽체	휨	7,370	2,500	2.948	O.K
			전단	8,848	2,355	3.757	O.K
		앞굽	휨	9,900	6,669	1.484	O.K
			전단	10,225	8,859	1.154	O.K
		뒷굽	휨	7,370	4,808	1.533	O.K
			전단	8,848	4,771	1.854	O.K

2.10 받침지지길이 평가 결과(성남방향)

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



구 분		보유성능	소요성능	안전율	평가	내진보강
A1	N(mm)	1,340	326	4.114	O.K	불필요
A2	N(mm)	1,325	320	4.145	O.K	불필요

2.11 액상화 평가(성남방향)

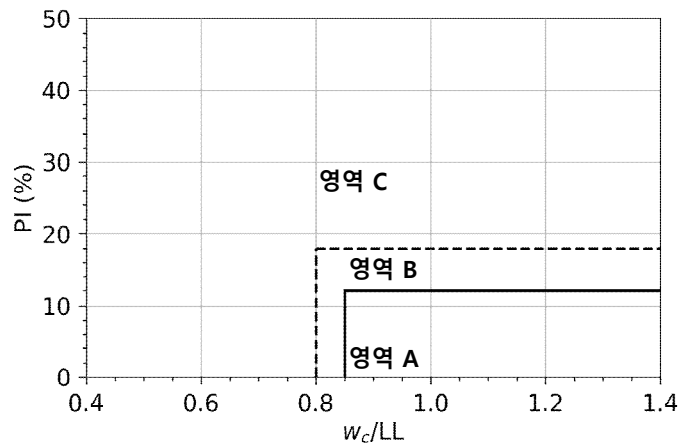
(1) 대상지반이 다음의 경우에는 액상화 평가를 생략할 수 있다.

- ① 연중 최고지하수위 상부에 위치한 지층
- ② 지반의 심도가 20m 보다 깊은 지층
- ③ 주상도 상의 SPT-N값이 25 초과인 지층

가. N값은 에너지효율 보정이 시행되지 않은 표준 관입시험의 낙하횟수이다.

나. N값은 지층 내 평균값을 사용하지 않으며 층정별 평가를 실시하여야 한다.

- ④ 고소성의 점토거동 유형 지반 : 소성지수(PI), 액성한계(LL), 현장함수비(w_c)가 그림에서의 영역 C에 해당하는 지반(주의 : 액상화 발생 가능성은 낮지만, 반복연화가 발생하여 급격한 강도저하 및 대변형이 예상되는 지반)



□ 각 영역의 경계값

- 영역 A: 액상화 가능성 높음
 $PI < 12\%$, $w_c/LL > 0.85$
- 영역 B: 액상화 가능성 있음
 $12\% < PI < 18\%$, $w_c/LL > 0.8$
- 영역 C: 액상화 가능성 낮음
A와 B를 제외한 영역

여기서, w_c 는 현장함수비, LL은 액성한계, PI는 소성지수이다.

(2) 대상교량의 액상화 평가 여부

지층구성	지반심도(m)	N값	예비평가	본평가대상
사질토	0.50	3	지하수위 상단	×
사질토	1.50	4	지하수위 상단	×
사질토	2.50	4	본 평가 대상지층	○
사질토	3.50	5	본 평가 대상지층	○
사질토	4.50	25	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	5.50	33	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	6.50	79	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	7.50	150	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	8.50	188	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	9.50	214	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	10.50	250	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	11.50	300	SPT-N값이 25 초과인 지층	×

(3) 대상교량의 액상화 평가 여부

본평가에서 액상화 발생 가능성은 대상 현장에서 액상화를 유발시키는 반복저항응력비를 지진에 의해 발생하는 반복전단응력비로 나눈 안전율로 평가한다.

지반응답해석으로 산정한 평가 대상지층의 깊이별 최대전단응력과 유효상재압을 적용하여 반복전단응력비(CSR)를 산정하였으며, 액상화 안전율은 반복저항응력비를 반복전단응력비로 나누어 산정하였다. 설계지진 규모는 6.5를 적용하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

① 액상화 안전율 평가 : A2

깊이(m)	$CRR_{7.5}$	CRR	CSR	안전율(FS)	비고
2.50	0.098	0.104	0.058	1.788	O.K
3.50	0.111	0.118	0.062	1.892	O.K

∴ 대상지반의 액상화 본평가 결과, 모든 평가대상 지층에서 산정된 안전율은 1.0 이상으로 액상화에 대해 안전한 것으로 평가되었다.

2.12 내진성능 평가결과 요약(성남방향)

- 교대 1

A 1	구분			보유성능	소요성능	평가	
	받침부	본체 (kN)	교축	2,210	1,413	1.564	O.K
			교직	1,170	706	1.656	O.K
		앵커볼트 (kN)	교축	2,101	706	2.974	O.K
			교직	2,101	706	2.974	O.K
		콘크리트 (kN)	교축	6,282	1,413	4.446	O.K
			교직	793	706	1.122	O.K
	안정성 검토	수평변위		15.000	3.927	3.820	O.K
		연직 압축지지력		1,808	1,413	1.280	O.K
		연직 인발지지력		583.6	499.8	1.167	O.K
	말뚝 응력 검토	휨인장응력		210.0	40.5	5.190	O.K
		휨압축응력		210.0	141.6	1.483	O.K
		휨전단응력		120.0	11.7	10.298	O.K
	단면 검토	벽체	휨	17,788	3,299	5.392	O.K
			전단	9,691	3,323	2.916	O.K
		앞굽	휨	10,864	8,431	1.289	O.K
			전단	9,691	9,284	1.044	O.K
		뒷굽	휨	10,864	5,368	2.024	O.K
			전단	9,691	5,394	1.797	O.K
	지지길이(mm)		교축	1,340	326	4.114	O.K

- 교대 2

A 2	구분			보유성능	소요성능	평가	
	받침부	본체 (kN)	교직	1,040	706	1.472	O.K
		앵커볼트 (kN)	교직	1,459	706	2.065	O.K
		콘크리트 (kN)	교직	862	706	1.220	O.K
	안정성 검토	수평변위		15.000	2.797	5.362	O.K
		연직 압축지지력		1,839	1,338	1.375	O.K
		연직 인발지지력		609.3	194.3	3.136	O.K
	말뚝 응력 검토	휨인장응력		210.0	40.3	5.206	O.K
		휨압축응력		210.0	132.0	1.591	O.K
		휨전단응력		120.0	12.2	9.866	O.K
	단면 검토	벽체	휨	7,370	2,500	2.948	O.K
			전단	8,848	2,355	3.757	O.K
		앞굽	휨	9,900	6,669	1.484	O.K
			전단	10,225	8,859	1.154	O.K
		뒷굽	휨	7,370	4,808	1.533	O.K
			전단	8,848	4,771	1.854	O.K
지지길이(mm)		교축	1,325	320	4.145	O.K	

2.13 종합결론(성남방향)

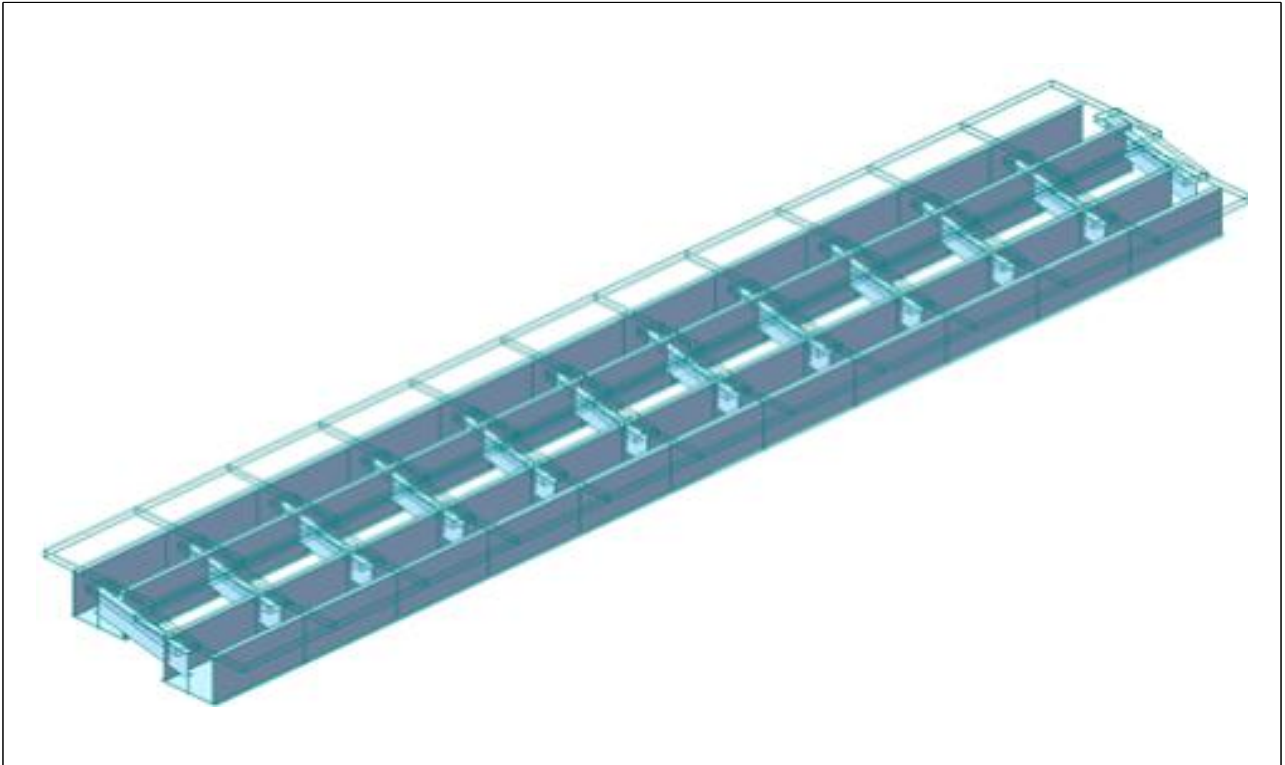
본 교량의 경우 상부는 HD BOX GIRDER교, 하부는 역T형 교대, 교좌장치로는 포트받침이 적용되어 있다. 현재 시행 되고 있는 내진성능평가 요령에 따라 등가정적해석법으로 내진성능평가를 수행하였으며, 이에 따른 결과는 다음과 같다.

내진성능검토 대상으로는 받침부, 기초부, 지지길이를 평가하였으며 내진성능 평가결과, 내진성능이 모두 만족한 것으로 검토된다.

따라서 추후 보강방안은 필요하지 않을 것으로 판단된다.

2.14 구조해석 모델(장호원방향)

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



【그림 2.4.2】 응암2교(장호원) 교량 구조해석 모델링

2.15 지진해석방법 (장호원방향) _ 가속도계수 : 0.154적용

(1) 등가정적해석

구 분	적 용	비 고
교량등급	1등급교	
지진구역계수	0.11	
위험도계수	1.4	
가속도계수	0.154	
지반 종류	S3	
해석방법	상부구조와 교대 사이의 연결부에 대하여 고정하중 반력에 최대지반가속도를 곱한 값의 수평지진력이 작용한다고 보고 종방향, 횡방향 및 수직방향에 대하여 안전하도록 검토하여야 한다. 이 때 최대지반가속도는 암반지반(S1)의 경우는 내진성능평가기준에서 규정된 유효수평지반가속도(S)로 하고, 토사지반(S2~S5)의 경우는 유효수평지반가속도(S)와 내진성능평가기준에 규정된 단주기 지반증폭계수(Fa)를 곱한 값으로 한다.	

(2) 고정하중 해석에 의한 받침부 반력 산정

Link	A1	A2
1	2240.3	1529.4
2	1702.7	2413.6
소계 (kN)	3943.0	3943.0

(3) 지진하중산정

① 지진하중 $\rightarrow V = W \times S \times F_a$

· 여기서 W = 상부 중량 = 7886.0 kN (A1, A2 받침부 반력의 총합)

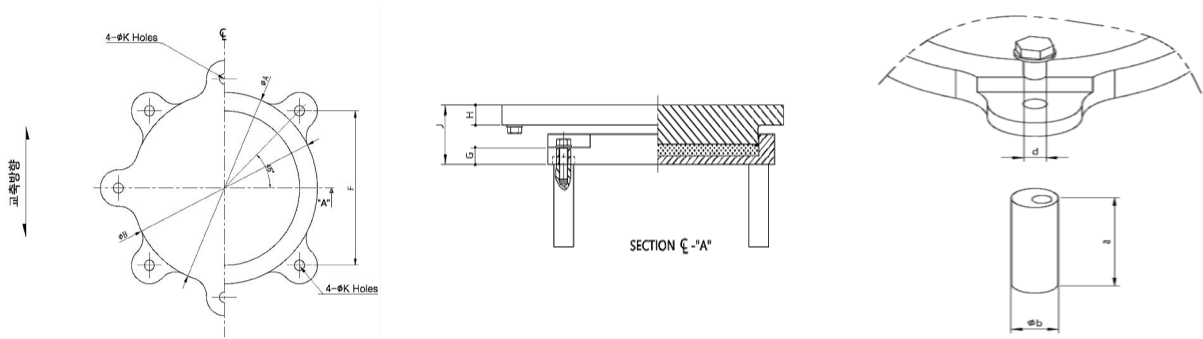
S = 유효 수평지반 가속도계수 = 0.154

F_a = 단주기 지반 증폭계수 = 1.592

구분	설계지진하중 (kN)	
	교축방향	교직방향
A1	1933.378	966.689
A2	—	966.689

2.16 받침부 내진성능평가(장호원방향)

① A1 받침본체 규격



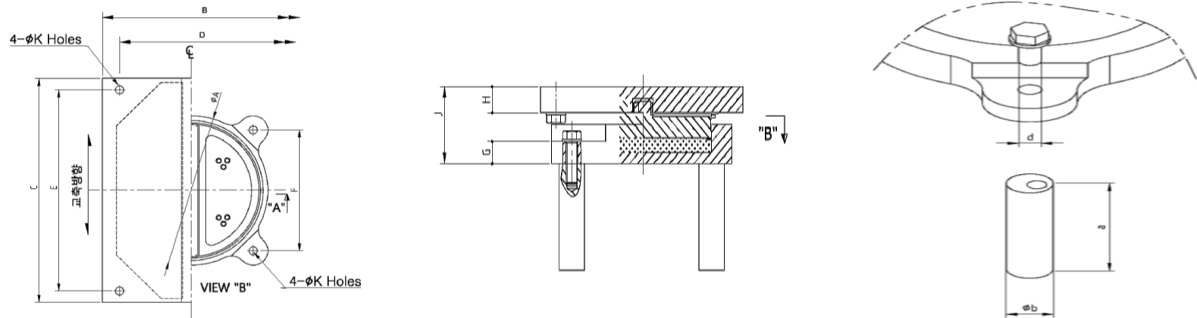
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	560	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	560	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
d_a	=	90	mm	받침부 앵커소켓 직경
d_b	=	36	mm	받침부 앵커볼트 직경
h_{ef}	=	270	mm	받침부 앵커근입 깊이
S_L	=	450	mm	받침 교축방향 앵커간격
S_T	=	450	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	4	EA	앵커 개수, (교축 = 2EA, 교직 = 2EA)

■ A1 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	2,730	1,933	1.412	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	2,101	967	2.173	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	6,862	1,933	3.549	O.K

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,560	967	1.614	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	2,101	967	2.173	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	911	967	0.943	N.G

② A2 받침본체 규격



구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	505	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	505	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
d _a	=	90	mm	받침부 앵커소켓 직경
d _b	=	36	mm	받침부 앵커볼트 직경
h _{ef}	=	270	mm	받침부 앵커근입 깊이
S _L	=	395	mm	받침 교축방향 앵커간격
S _T	=	395	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	4	EA	앵커 개수 , (교축 = 2EA , 교직 = 2EA)

■ A2 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,170	967	1.210	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	2,101	967	2.173	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	824	967	0.853	N.G

- 소방방재청공고 제2013-179호(내진설계기준 공통적용사항(2017, 국민안전처)3.2.1 (3)항)을 따라 국가지진도를 활용하여 재검토 필요

2.17 지진해석방법(장호원방향) _ 가속도계수 : 0.1232적용

(1) 등가정적해석

구 분	적 용	비 고
교량등급	1등급교	
지진구역계수	0.11	
위험도계수	1.4	
가속도계수	0.1232(국가지진위험도 적용)	
지반 종류	S3	
해석방법	상부구조와 교대 사이의 연결부에 대하여 고정하중 반력에 최대지반가속도를 곱한 값의 수평지진력이 작용한다고 보고 종방향, 횡방향 및 수직방향에 대하여 안전하도록 검토하여야 한다. 이 때 최대지반가속도는 암반지반(S1)의 경우는 내진성능평가기준에서 규정된 유효수평지반가속도(S)로 하고, 토사지반(S2~S5)의 경우는 유효수평지반가속도(S)와 내진성능평가기준에 규정된 단주기 지반증폭계수(Fa)를 곱한 값으로 한다.	

(2) 고정하중 해석에 의한 받침부 반력 산정

Link	A1	A2
1	2240.3	1529.4
2	1702.7	2413.6
소계(kN)	3943.0	3943.0

(3) 지진하중산정

① 지진하중 $\rightarrow V = W \times S \times Fa$

· 여기서 W = 상부 중량 = 7886.0 kN (A1, A2 받침부 반력의 총합)

S = 유효 수평지반 가속도계수 = 0.1232 (국가지진지도 적용)

Fa = 단주기 지반 증폭계수 = 1.654

구분	설계지진하중 (kN)	
	교축방향	교직방향
A1	1606.549	803.275
A2	—	803.275

② 국가지진지도 적용

· 적용대상

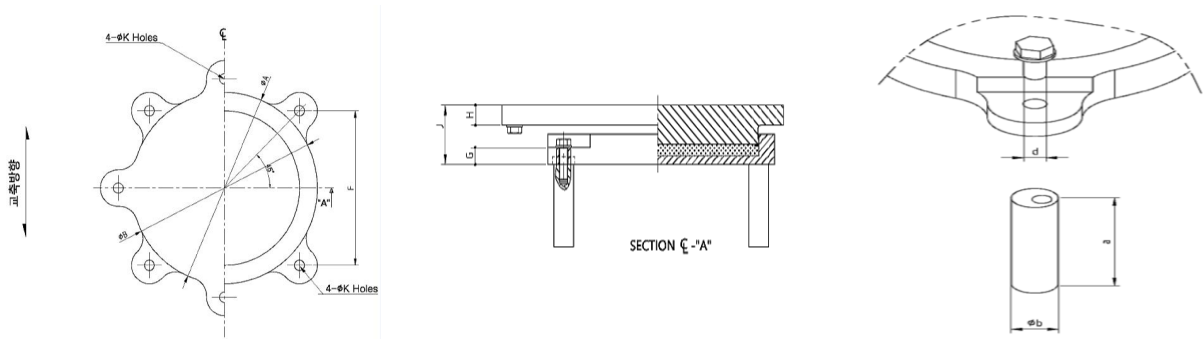
- 내진성능평가 결과 안전율이 모자라 내진성능 부적합 판정을 받은 교량

· 적용방법

- 국가지진지도로부터 유효수평지반 가속도 값 산정(최대한 보수적으로 산정)
- 행정구역에 의해 결정된 값과 비교하였을 때 최소 80%이상의 값 사용
- 재 산정된 유효수평지반가속도 값을 해석결과에 적용. (단, 국가지진위험지도를 적용하였음에도 부적합 판정 시 행정구역의 유효지반가속도 산정된 결과 도출)

2.18 받침부 내진성능평가(장호원방향)

① A1 받침본체 규격



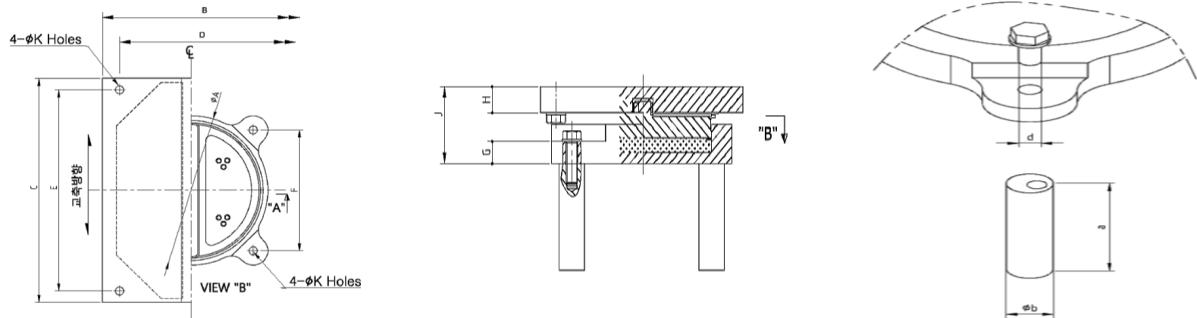
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	560	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	560	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
d _a	=	90	mm	받침부 앵커소켓 직경
d _b	=	36	mm	받침부 앵커볼트 직경
h _{ef}	=	270	mm	받침부 앵커근입 깊이
S _L	=	450	mm	받침 교축방향 앵커간격
S _T	=	450	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	4	EA	앵커 개수, (교축 = 2EA, 교직 = 2EA)

■ A1 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	2,730	1,607	1.699	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	2,101	803	2.615	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	6,862	1,607	4.271	O.K

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,560	803	1.942	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	2,101	803	2.615	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	911	803	1.135	O.K

② A2 받침본체 규격



구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	505	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	505	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
d_a	=	90	mm	받침부 앵커소켓 직경
d_b	=	36	mm	받침부 앵커볼트 직경
h_{ef}	=	270	mm	받침부 앵커근입 깊이
S_L	=	395	mm	받침 교축방향 앵커간격
S_T	=	395	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	4	EA	앵커 개수, (교축 = 2EA, 교직 = 2EA)

■ A2 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,170	803	1.457	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	2,101	803	2.615	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	824	803	1.026	O.K

2.19 기초부 내진성능평가(장호원방향)

① A1 기초부 검토

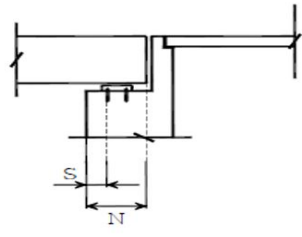
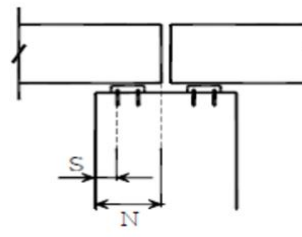
구분				보유성능	소요성능	판정	
기초부	안정성 검토	수평변위		15.000	3.753	3.997	O.K
		연직 압축지지력		1,808	1,355	1.335	O.K
		연직 인발지지력		583.6	493.0	1.184	O.K
	말뚝 응력 검토	휨인장응력		210.0	39.5	5.314	O.K
		휨압축응력		210.0	135.1	1.555	O.K
		휨전단응력		120.0	11.0	10.901	O.K
	단면 검토	벽체	휨	18,653	3,499	5.331	O.K
			전단	10,291	3,564	2.888	O.K
		앞굽	휨	11,391	9,285	1.227	O.K
			전단	10,291	10,233	1.006	O.K
		뒷굽	휨	11,391	5,648	2.017	O.K
			전단	10,291	6,330	1.626	O.K

② A2 기초부 검토

구분				보유성능	소요성능	판정	
기초부	안정성 검토	수평변위		15.000	2.508	5.981	O.K
		연직 압축지지력		1,947	1,276	1.526	O.K
		연직 인발지지력		681.7	195.9	3.480	O.K
	말뚝 응력 검토	휨인장응력		210.0	40.4	5.198	O.K
		휨압축응력		210.0	124.1	1.693	O.K
		휨전단응력		120.0	11.5	10.480	O.K
	단면 검토	벽체	휨	7,726	2,654	2.911	O.K
			전단	9,396	2,500	3.758	O.K
		앞굽	휨	10,380	7,305	1.421	O.K
			전단	10,773	9,706	1.110	O.K
		뒷굽	휨	7,726	5,038	1.534	O.K
			전단	9,396	5,602	1.677	O.K

2.20 받침지지길이 평가 결과(장호원방향)

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

	
교 대	교 각

구 분		보유성능	소요성능	안전율	평가	내진보강
A1	N(mm)	1,340	327	4.098	O.K	불필요
A2	N(mm)	1,325	321	4.128	O.K	불필요

2.21 액상화 평가(장호원방향)

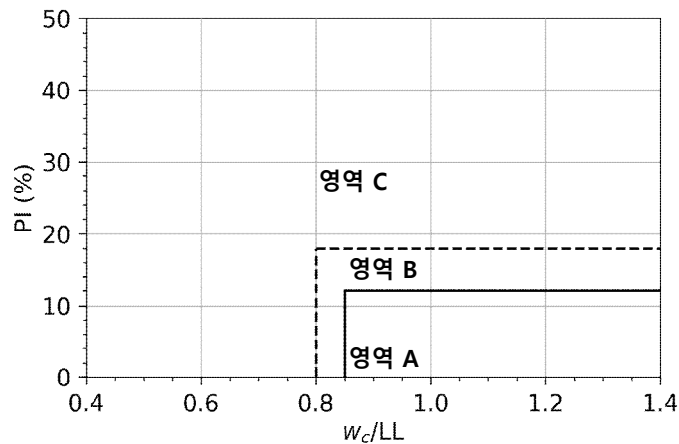
(1) 대상지반이 다음의 경우에는 액상화 평가를 생략할 수 있다.

- ① 연중 최고지하수위 상부에 위치한 지층
- ② 지반의 심도가 20m 보다 깊은 지층
- ③ 주상도 상의 SPT-N값이 25 초과인 지층

가. N값은 에너지효율 보정이 시행되지 않은 표준 관입시험의 낙하횟수이다.

나. N값은 지층 내 평균값을 사용하지 않으며 측정별 평가를 실시하여야 한다.

- ④ 고소성의 점토거동 유형 지반 : 소성지수(PI), 액성한계(LL), 현장함수비(w_c)가 그림에서의 영역 C에 해당하는 지반(주의 : 액상화 발생 가능성은 낮지만, 반복연화가 발생하여 급격한 강도저하 및 대변형이 예상되는 지반)



□ 각 영역의 경계값

- 영역 A: 액상화 가능성 높음
 $PI < 12\%$, $w_c/LL > 0.85$
- 영역 B: 액상화 가능성 있음
 $12\% < PI < 18\%$, $w_c/LL > 0.8$
- 영역 C: 액상화 가능성 낮음
A와 B를 제외한 영역

여기서, w_c 는 현장함수비, LL은 액성한계, PI는 소성지수이다.

(2) 대상교량의 액상화 평가 여부

지층구성	지반심도(m)	N값	예비평가	본평가대상
사질토	0.50	3	지하수위 상단	×
사질토	1.50	4	지하수위 상단	×
사질토	2.50	4	본 평가 대상지층	○
사질토	3.50	5	본 평가 대상지층	○
사질토	4.50	25	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	5.50	33	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	6.50	79	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	7.50	150	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	8.50	188	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	9.50	214	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	10.50	250	SPT-N값이 25 초과인 지층	×
사질토	11.50	300	SPT-N값이 25 초과인 지층	×

(3) 대상교량의 액상화 평가 여부

본평가에서 액상화 발생 가능성은 대상 현장에서 액상화를 유발시키는 반복저항응력비를 지진에 의해 발생하는 반복전단응력비로 나눈 안전율로 평가한다.

지반응답해석으로 산정한 평가 대상지층의 깊이별 최대전단응력과 유효상재압을 적용하여 반복전단응력비(CSR)를 산정하였으며, 액상화 안전율은 반복저항응력비를 반복전단응력비로 나누어 산정하였다. 설계지진 규모는 6.5를 적용하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

① 액상화 안전율 평가 : A2

깊이(m)	$CRR_{7.5}$	CRR	CSR	안전율(FS)	비고
2.50	0.098	0.104	0.058	1.788	O.K
3.50	0.111	0.118	0.062	1.892	O.K

∴ 대상지반의 액상화 본평가 결과, 모든 평가대상 지층에서 산정된 안전율은 1.0 이상으로 액상화에 대해 안전한 것으로 평가되었다.

2.22 내진성능 평가결과 요약(장호원방향)

- 교대 1

A 1	구분			보유성능	소요성능	평가	
	받침부	본체 (kN)	교축	2,730	1,607	1.699	O.K
			교직	1,560	803	1.942	O.K
		앵커볼트 (kN)	교축	2,101	803	2.615	O.K
			교직	2,101	803	2.615	O.K
		콘크리트 (kN)	교축	6,862	1,607	4.271	O.K
			교직	911	803	1.135	O.K
	안정성 검토	수평변위		15.000	3.753	3.997	O.K
		연직 압축지지력		1,808	1,355	1.335	O.K
		연직 인발지지력		583.6	493.0	1.184	O.K
	말뚝 응력 검토	휨인장응력		210.0	39.5	5.314	O.K
		휨압축응력		210.0	135.1	1.555	O.K
		휨전단응력		120.0	11.0	10.901	O.K
	단면 검토	벽체	휨	18,653	3,499	5.331	O.K
			전단	10,291	3,564	2.888	O.K
		앞급	휨	11,391	9,285	1.227	O.K
			전단	10,291	10,233	1.006	O.K
		뒷급	휨	11,391	5,648	2.017	O.K
			전단	10,291	6,330	1.626	O.K
	지지길이(mm)		교축	1,340	327	4.098	O.K

- 교대 2

A 2	구분			보유성능	소요성능	평가	
	받침부	본체 (kN)	교직	1,170	803	1.457	O.K
		앵커볼트 (kN)	교직	2,101	803	2.615	O.K
		콘크리트 (kN)	교직	824	803	1.026	O.K
	안정성 검토	수평변위		15.000	2.508	5.981	O.K
		연직 압축지지력		1,947	1,276	1.526	O.K
		연직 인발지지력		681.7	195.9	3.480	O.K
	말뚝 응력 검토	휨인장응력		210.0	40.4	5.198	O.K
		휨압축응력		210.0	124.1	1.693	O.K
		휨전단응력		120.0	11.5	10.480	O.K
	단면 검토	벽체	휨	7,726	2,654	2.911	O.K
			전단	9,396	2,500	3.758	O.K
		앞급	휨	10,380	7,305	1.421	O.K
			전단	10,773	9,706	1.110	O.K
		뒷급	휨	7,726	5,038	1.534	O.K
			전단	9,396	5,602	1.677	O.K
	지지길이(mm)		교축	1,325	321	4.128	O.K

2.23 종합결론(장호원방향)

본 교량의 경우 상부는 HD BOX GIRDER교, 하부는 역T형 교대, 교좌장치로는 포트받침이 적용되어 있다. 현재 시행 되고 있는 내진성능평가 요령에 따라 등가정적해석법으로 내진성능평가를 수행하였으며, 이에 따른 결과는 다음과 같다.

내진성능검토 대상으로는 받침부, 기초부, 지지길이를 평가하였으며 내진성능 평가결과, 내진성능이 모두 만족한 것으로 검토된다.

따라서 추후 보강방안은 필요하지 않을 것으로 판단된다.