

1. 제암1육교

- 1.1 시설물의 개요
- 1.2 현장조사 및 시험
- 1.3 콘크리트 내구성 조사
- 1.4 구조해석 모델(발안방향)
- 1.5 지진해석결과(발안방향)
- 1.6 받침부 내진성능평가(발안방향)
- 1.7 기초부 내진성능평가(발안방향)
- 1.8 받침 지지길이 평가 결과(발안방향)
- 1.9 종합결론(발안방향)
- 1.10 구조해석 모델(반월방향)
- 1.11 지진해석결과(반월방향)
- 1.12 받침부 내진성능평가(반월방향)
- 1.13 기초부 내진성능평가(반월방향)
- 1.14 받침 지지길이 평가 결과(반월방향)
- 1.15 종합결론(반월방향)

1. 제암1육교 내진성능평가

1.1 시설물의 개요

1.1.1 일반사항

교 량 명 : 제암1육교

교량등급 : 1등급(DB-24)

교량형식 : PSC Beam교

교 장 : 1@30.0 = 30.0m

교 량 폭 : B = 28.0m (14.0m(발안방향), 14.0m(반월방향))

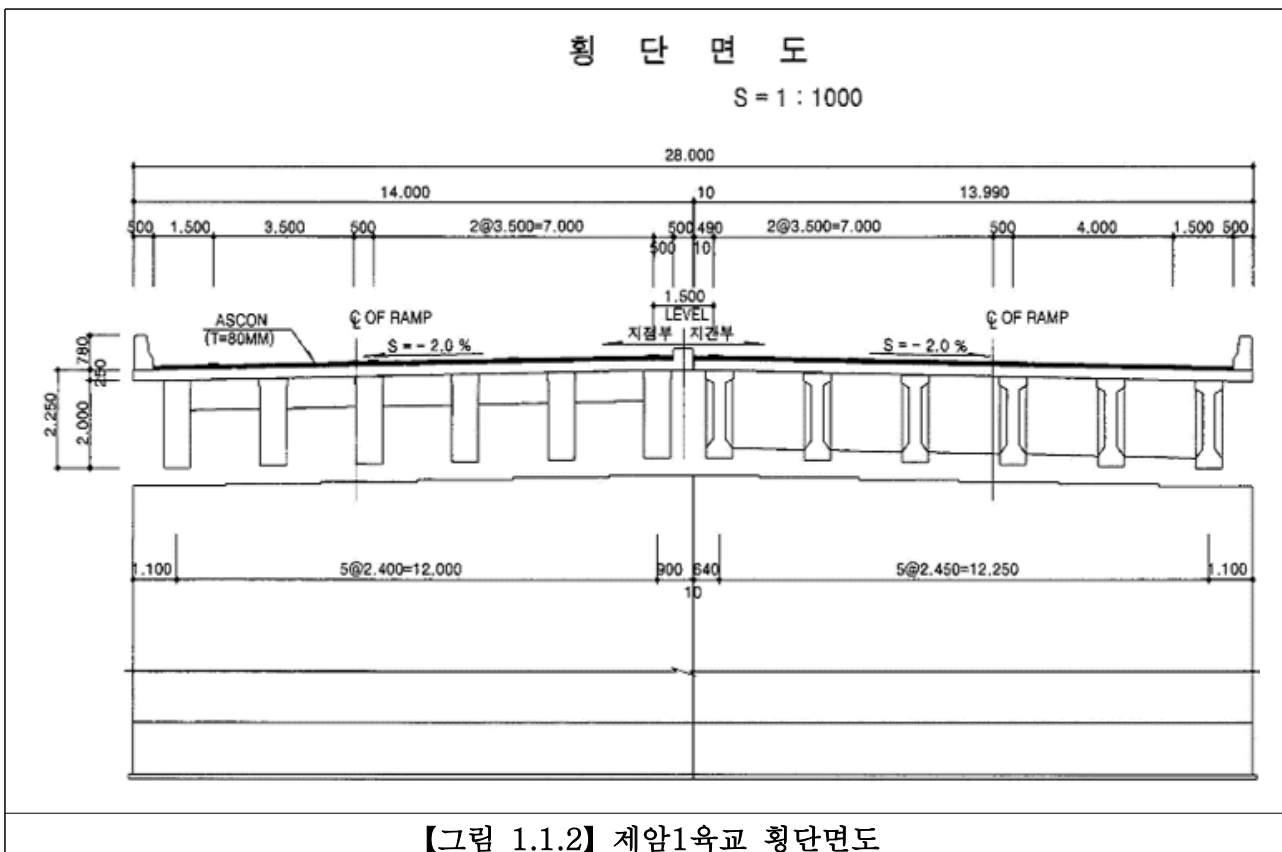
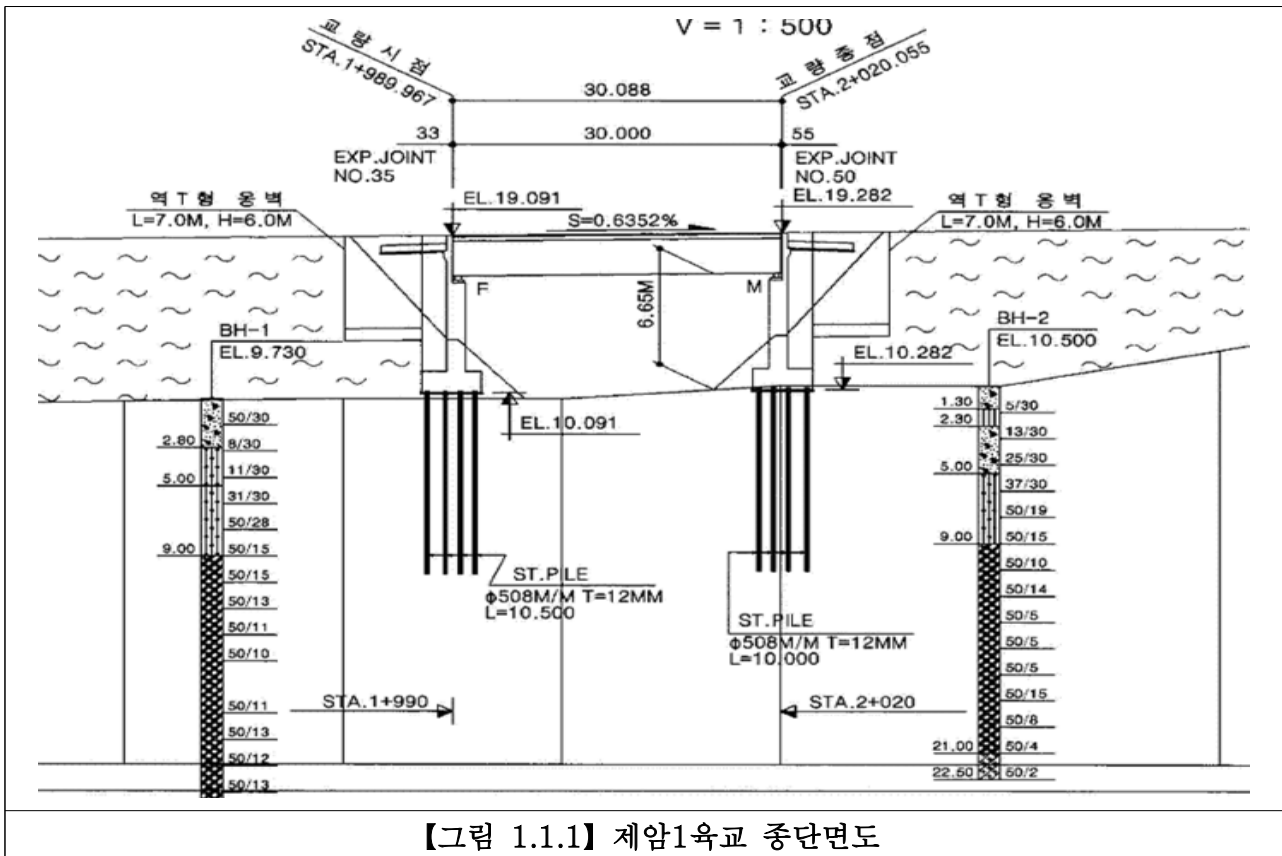
하부콘크리트강도 : 24 MPa

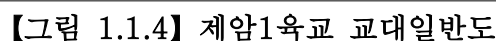
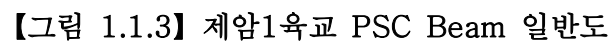
하부철근강도 : 300 MPa

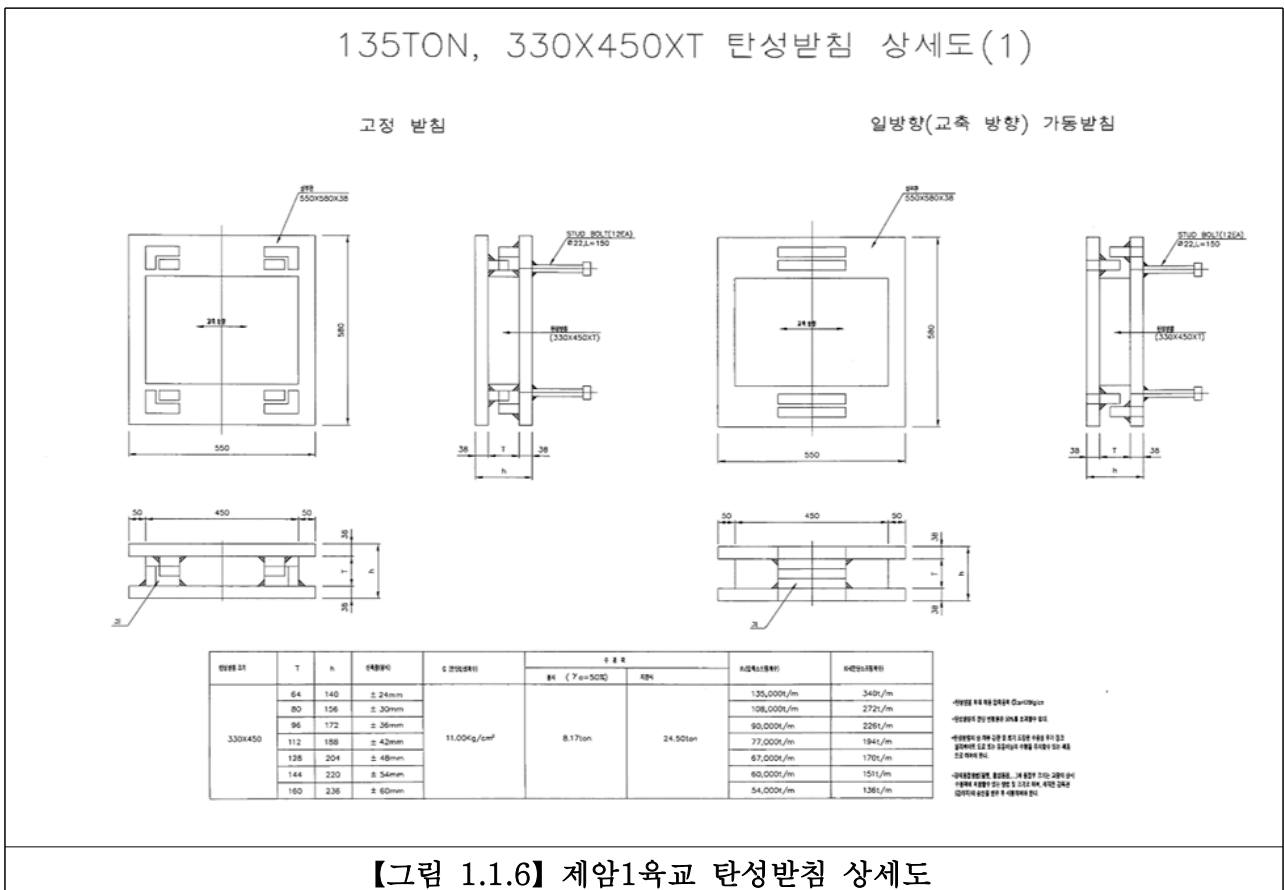
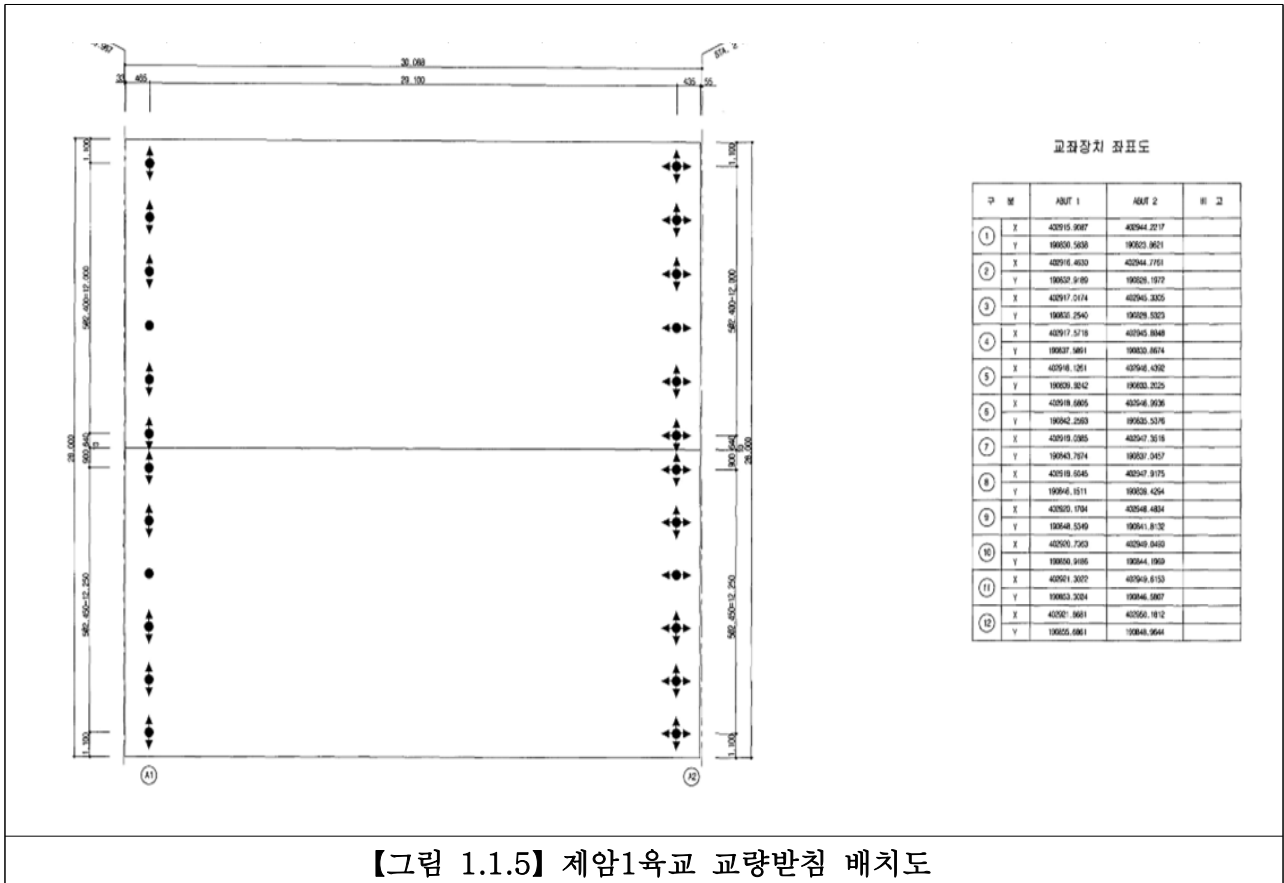
【표 1.1.1】 제암1육교 일반사항

구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물번호		BR2002-0000248		관리번호		-	
시설물위치		경기도 화성시 향남읍 두령바위길 49-2		준공년월일		2002년 12월 19일	
시점이정		-		노 선 명		국도 39호선	
제원	연장	L = 30.0m (1@30.0=30.0m)					
	폭	B = 28.0m (14.0m(발안방향), 14.0m(반월방향))					
구조 형식	상부	PSC Beam		기초 형식	교 대	말뚝기초	
	하부	교대 : 역T형			교 각	-	
교량받침		탄성받침		신축이음		강평거조인트	
교차시설물		두령바위길(지방도)		통과높이		-	
관리주체		수원국토관리사무소		설계하중		DB-24/DL-24	
부착시설내용		-		설 계 자		도화종합설계	
							
측면 전경				포장 전경			

1.1.2 관련도면







1.2 현장조사 및 시험

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 조사하였다.



【사진 1.2.1】 교량 전경 및 실측조사 현황

1.2.1 규격 및 제원조사

가. 상부구조

제암1육교의 상부교면은 아스콘포장으로 시공되어있으며 형식은 PSC Beam거더로 구성된 단경간 교량으로 총 연장 $L = 30.0\text{m}$, 교폭은 28.0m (14.0m (발안방향), 14.0m (반월방향))이다. 관리주체로부터 준공도면을 협조 받아 현장 실측값과 비교 검토결과, 교량의 제원, 규격 등은 설계도면과 일치하여 내진성능평가에 준공도면의 내용을 반영하여 검토하였다.



【사진 1.2.2】 상부구조 현황

나. 신축이음 장치

제암1육교의 신축이음장치는 2021년에 신축이음 교체 공사를 실시하였고, 강평거조인트로 교대에 각 1개소씩 총 2개소 시공되어있다. 신축이음부는 전반적으로 양호한 상태로 신축이음 신축에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았다. 관리주체로부터 준공도면을 협조 받아 현장 실측값과 비교 검토결과, 교량의 제원, 규격 등은 준공도면과 일치하여 내진성능평가에 준공도면의 내용을 반영하여 검토하였다.



【사진 1.2.3】 신축이음장치 현황

다. 하부구조

제암1육교의 교대는 역T형, 기초형식은 말뚝기초로, 철근콘크리트로 A1, A2(2기)가 시공되어 있다. 하부구조는 박리, 누수흔적, 실란트 이격 등의 일반적인 손상이 조사되었으나, 비구조적인 손상으로 시설물에 저해할만한 손상은 조사되지 않았다. 관리주체로부터 준공도면을 협조 받아 현장 실측값과 비교 검토결과, 교량의 제원, 규격 등은 준공도면과 일치하여 내진성능평가에 준공도면의 내용을 반영하여 검토하였다.



【사진 1.2.4】 하부구조 현황

라. 교량받침

제암1육교의 받침장치는 교대에 탄성고무받침으로 각 12개소 씩 총24개소 시공되어있다. 교량 받침에서 몰탈파손 및 몰탈탈락, 플레이트 부식 등의 손상이 조사되었고, 내진성능평가지 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았다. 그러나, 받침몰탈 파손 및 탈락, 부식의 경우, 받침재설치가 필요한 상태이다. 교량받침의 수직용량은 준공도면과 일치하여 내진성능평가에 준공도면의 내용을 반영하여 검토하였다.

	
교량받침 전경	교량받침 전경
	
교량받침 전경	교량받침 몰탈 탈락

【사진 1.2.5】 교량받침 현황

1.3 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 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024. 12, 국토교통부/국토안전관리원)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

1.3.1 조사 현황 및 위치

가. 조사 현황

본 과업에서 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험), 철근탐사시험 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 1.3.1】 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	1	1	1	2	
철근탐사시험	• 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		—	—	1	2	

나. 콘크리트 내구성시험 위치 선정사유

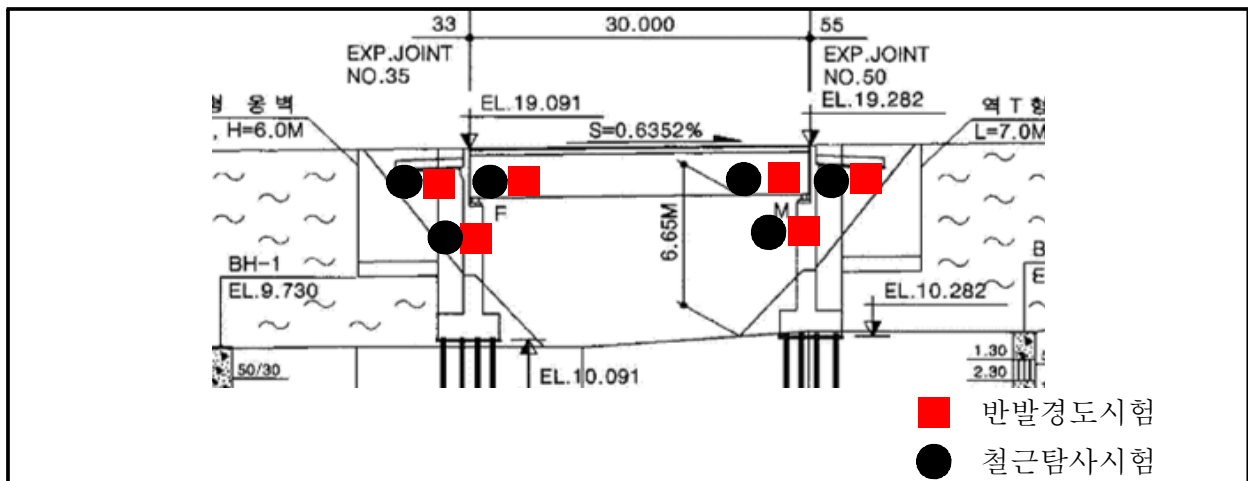
대상 구조물에 대한 재료시험은 도로로 접근이 가능한 위치를 우선적으로 실시하였으며, 교량은 전반적으로 양호한 상태이기 때문에 건전부에서 각 1회씩 실시하였다. 기존에 실시한 부위는 주변 및 미실시한 부재를 중심으로 실시하여 차후 점검 및 진단 비교·평가를 목적으로 하였다.

다. 조사 사진



【사진 1.3.1】 콘크리트 내구성조사 현황

라. 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 1.3.1】 콘크리트 내구성조사 위치도

1.3.2 시험결과 및 분석

가. 콘크리트 강도시험

콘크리트 비파괴강도시험은 상·하부구조에서 반발경도시험(총 3개소)을 실시하였으며, 검토결과
는 다음과 같다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 1.3.2】 상부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치			반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
			반발경도 (R_o)	과학기술부	권영웅 외	재령보정 계수		
상부 구조	S1	거더	59.3	48.6	61.6	0.63	40.0	
	S1	거더	63.0	52.2	67.0	0.63	40.0	

【표 1.3.3】 하부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치			반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
			반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
하부 구조	A1	교대	45.5	25.1	26.7	0.63	24.0	
	A1	교대	45.2	24.8	26.6			
	A2	교대	45.3	24.9	26.6			
	A2	교대	45.9	25.4	26.9			

반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 상부구조 거더 48.6~67.0MPa, 하부구조 24.8~26.9MPa
로 측정되었으며, 설계기준 압축강도(거더: 40.0MPa, 하부구조: 24.0MPa)를 상회하므로, 강도 저하
가 없는 것으로 판단된다.

나. 철근탐사 시험

철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성여부를 판단하고, 실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단한다.

① 시험결과

【표 1.3.4】 철근탐사 측정결과 및 평가

연번	구 분	철근종류	측정 (mm)		설계 (mm)		배근상태 (%)
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
1	S1-G5 거더	주철근	200	55	198	40	99.0
		배력철근	185	67	188	40	101.6
2	S1-G8 거더	주철근	100	67	198	40	198.0
		배력철근	180	75	188	40	104.4
3	A1 교대 벽체	수직철근	245	95	250	100	102.0
		수평철근	150	116	150	100	100.0
4	A1 교대 홍벽	수직철근	125	35	125	50	100.0
		수평철근	150	48	150	50	100.0
5	A2 교대 벽체	수직철근	250	95	250	100	100.0
		수평철근	145	107	150	100	103.4
6	A2 교대 홍벽	수직철근	115	38	125	50	108.7
		수평철근	150	50	150	50	100.0

측정결과, 상부 거더와 하부 교대에 대하여 철근배근 탐사결과, 상부 99.0~101.6%, 하부 100.0%~108.7%로 설계도면과 비교시 배근간격은 설계 배근간격과 유사한 상태이며, 실측 피복두께와 설계 피복두께도 다소 부족한 곳이 있으나, 설계도면과 유사한 상태로 분석되었다.

1.4 구조해석모델(발안방향)

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.

① 내진설계상수

- 내진등급 : 내진1등급교
- 지진구역계수(Z) : 0.11 (지진구역 I: 충청남도)
- 위험도계수(I) : 1.4 (재현주기 1000년)
- 가속도계수(S) : $Z \times I = 0.11 \times 1.4 = 0.154g$ (사용목표수명 1/2 이상)
- 지반종류 : S4

② 사용프로그램 및 해석방법

- 해석방법 : 응답스펙트럼해석법
- 고유치 해석 : Ritz Vectors
- Mode 조합 : C.Q.C(Complete Quadratic Combination) 방법
- 상세 해석방법

구 분		적 용
기동 강도 산정	해석방법	모멘트-곡률 해석법
	콘크리트 모델	MANDER 모델
	철근 모델	PARK 모델
	모멘트-곡률산정 프로그램	MIDAS CIVIL
탄성 지진력 산정	전체 모델링	격자 해석 모델
	상부와 하부의 연결부 상세	ELASTIC LINK 스프링 모델
	기초와 지반의 연결부 상세	SUPPORT 고정
	질량산정	상,하부 고정하중을 분포질량으로 입력
	탄성지진력 산정 프로그램	MIDAS CIVIL

③ 지반분류

최근까지 비탈면 및 교량구조물 등에 적용되는 내진설계기준은 『건설공사비탈면 설계기준(국토교통부, 2016)』 과 『구조물기초 설계기준(국토교통부, 2018)』, 『교량내진설계기준(국토교통부, 2018)』 을 반영하였으나, 2017년 4월 행정안전부에서 “내진설계기준 공통적용사항” 이 발표되어 해당기준을 본 과업에 적용하여 지반종류를 평가하고자 함.

■ 지반종류는 기준에 맞추어 6개의 지반으로 분류하며 분류방법으로는 지반의 전단파속도를 기초로 산정함.

■ 토층의 전단파속도는 기존교량에 대한 자료가 부족하므로 기존설계자료(교량 중평면도)의 지질주상도의 개략적인 N치로 교량별 지반종류별 전단파속도 추정식을 활용함.

■ 교량별 지반분류는 기초바닥면 하부로부터 기반암까지의 N값에 따른 전단파 속도를 이용하여 지반을 분류하였다.

■ 표준관입시험 관입저항치(SPT-N값)를 전단파속도로 변환할 수 있다. 변환에는 국내 지반에 대해 제안된 상관관계식 (Sun et al. 2013 등) 및 국외 자료를 활용할 수 있으며, 이 때 상관관계식의 적용은 지반공학 전문가의 공학적 분석을 통한 적정성을 확인 후 적용하도록 한다. 표준관입시험 시 단단한 암질에 도달하여 향타수가 50에 이르러도 30cm 깊이를 관입하지 못할 경우 50타수 이상의 N값은 선형적인 비례관계를 토대로 30cm 두께 관입 시 N값으로 환산한다. 이 때 환산 N값의 최대값은 300이다.

$$\text{환산 N값} = (30 / \text{관입량}) \times \text{타격횟수}$$

표준관입시험 N 값	환산 N 값	기 타
3/30	3	
40/30	40	
50/16	93	
50/12	125	
50/10	150	
50/8	187	
50/6	250	
50/5	300	
50/2	300	
50/1	300	

■ 암층인 경우의 지질주상도에 개략적인 N치가 없는 경우가 많으므로 암의 종류에 따라 『내진 설계 시 합리적인 지반분류를 위한 전단파속도 측정 및 적용방안 (2009)』 내의 지역별 암의 종류에 대한 평균전단파속도 연구결과 참조하여 산정함.

■ 교량별 지반분류

교량별 지반분류는 기존자료에 적용된 모든 시추공에 대해 지층특성을 고려한 전단파속도(V_s)를 통해 지반종류를 산정하였으며, 탄성반침 적용교량은 모든 교대, 교각 중 가장 불리한 조건, 포트반침 및 스페리컬 반침 적용교량의 교축방향은 고정단 교각의 지반종류 적용하였으며, 교축직각방향은 교대, 교각 중 가장 불리한 조건을 지반종류로 적용하였다. 교량별 지반종류 산정결과와 대표적인 기초에 대한 산정내용은 아래와 같다.

■ 지반분류기준

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H(m)	토층 평균 전단파속도[Vs,soil(m/s)]
S1	암반 지반	1 미만	—
S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S3	얕고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S5	깊고 연약한 지반		180 미만
S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

■ 전단파속도 ($V_{S,Soil}$) 산정

토층 평균 전단파속도 ($V_{S,Soil}$) 산정 : 표준관입시험결과 반영

평균 전단파속도 ($V_{S,Soil}$) = 여기서, d_i = 토층 i 의 두께(m)

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad v_{si} = \text{토층 } i \text{의 전단파 속도 (m/sec)}$$

■ 경험식 적용

제안자	전단파 속도 추정식(m/s)			
	사질토	자갈층	풍화토	풍화암
Sun et al.(2013)	$v_{si}=82.01 \times N-0.3$ 19	$v_{si}=78.63 \times N-0.3$ 61	$v_{si}=75.76 \times N-0.3$ 71	$v_{si}=107.94 \times N-0.3$ 418
Sun et al.(2013) All Soil	$v_{si}=65.64 \times N-0.407$			

■ 제암1육교 지반분류

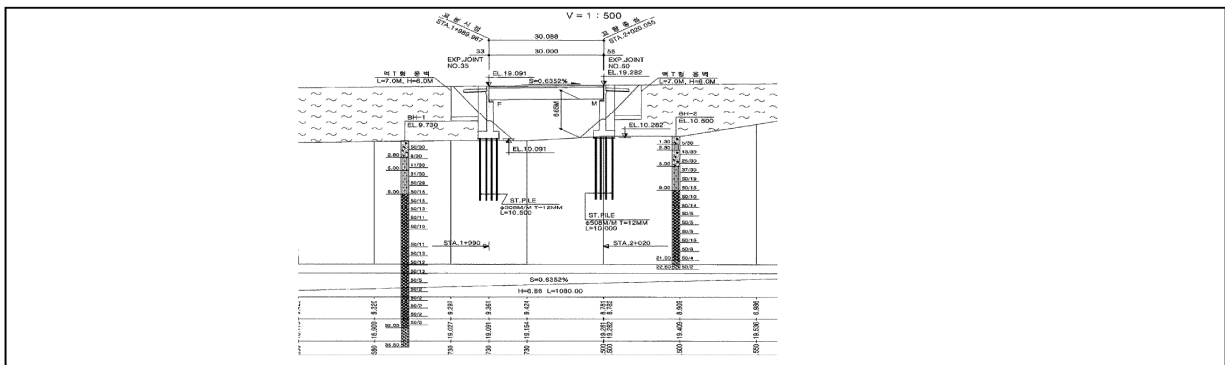
No	교량명	상부 구조	받침 형식	연장 (m)	기초 형식	기반압 심도 (m)	지반 종류	검토위치 대상	전단파속도(m/sec) 제안식		비고
									평균	All Soil	
1	제암1육교	PSI Girder	탄성 받침	30.0	말뚝	10.5	S4	A2	428.4	359.9	

4) 제암1육교

교량명 : 제암1육교

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H(m)	토층평균전단파속도
S1	암반 지반	1 미만	-
S2	얇고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S3	얇고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S5	깊고 연약한 지반		180 미만
S6	부지 고유의 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반		

지 반 조 건 산 정							
종류	누계 (m)	깊이D(m)	N치	Vs (m/s)		D / Vs	
				Sun et al.(2013)	All Soil	Sun et al.(2013)	All Soil
사질토	1.5	1.5	5	137.0	126.4	0.0109	0.0119
사질토	3.0	1.5	13	185.9	186.4	0.0081	0.0080
사질토	4.5	1.5	25	229.0	243.3	0.0066	0.0062
사질토	6.0	1.5	37	259.5	285.4	0.0058	0.0053
풍화토	7.5	1.5	79	383.1	388.5	0.0039	0.0039
풍화토	9.0	1.5	100	418.3	427.7	0.0036	0.0035
풍화암	10.5	1.5	150	876.6	504.5	0.0017	0.0030
풍화암	12.0	1.5	107	761.6	439.9	0.0020	0.0034
풍화암	13.5	1.5	300	1171.2	668.9	0.0013	0.0022
풍화암	15.0	1.5	300	1171.2	668.9	0.0013	0.0022
풍화암	16.5	1.5	300	1171.2	668.9	0.0013	0.0022
풍화암	18.0	1.5	100	739.9	427.7	0.0020	0.0035
풍화암	19.5	1.5	188	962.3	552.4	0.0016	0.0027
풍화암	21.0	1.5	300	1171.2	668.9	0.0013	0.0022
풍화암	22.5	1.5	300	1171.2	668.9	0.0013	0.0022
합 계		22.5				0.0525	0.0625
평균 전단 파속도						428.4	359.9
지반조건						S4	S4
						S4	



5) 지반액상화 평가

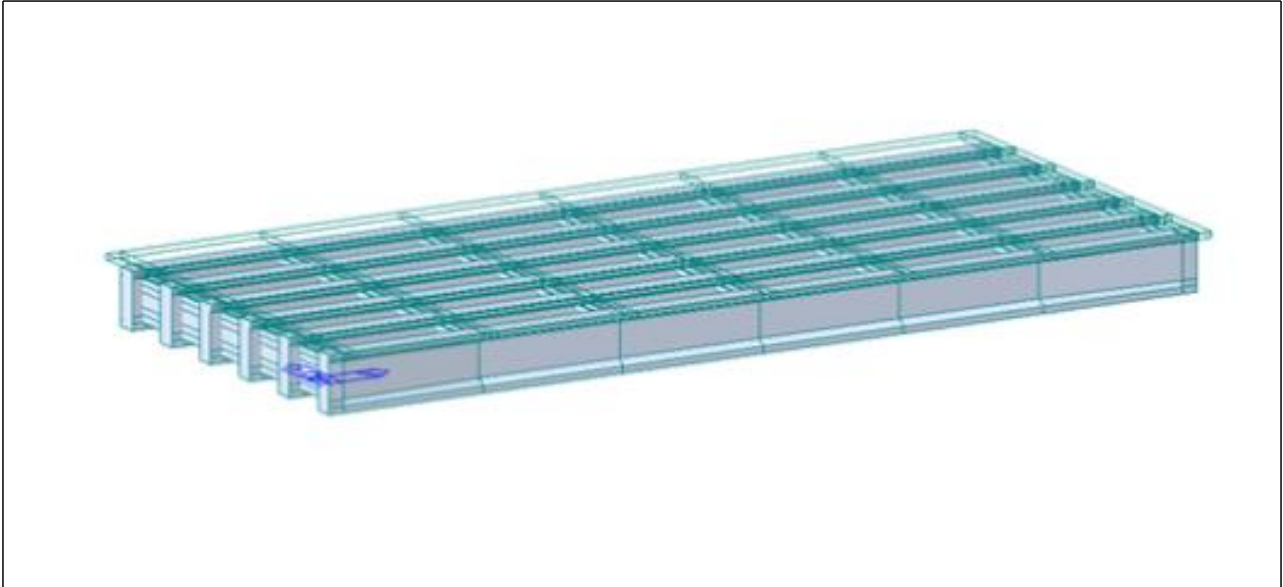
액상화 예비평가는 지반조건을 고려하여 액상화 평가 생략 여부를 결정하는 것으로 대상교량 시추주상도, 지질조사보고서 등을 분석하여 아래의 생략조건에 해당되는지 여부를 검토하였다.

- 액상화평가 생략조건

- ① 지하수위 상부 지반
- ② 대상 지반심도가 20m 이상인 지반
(단, 20m 이상 깊이에 위치하더라도 액상화가 발생하는 경우에 구조물에 중대한 손상이 생긴다고 판단하거나, 평가 대상지반이 20m 보다 상부에 위치한 지반과 연관이 있는 층이라고 판단되는 경우는 액상화평가를 시행한다)
- ③ 자갈층 및 상대밀도가 80% 이상인 지반
- ④ 주상도상의 표준관입저항치에 기초하여 산정된 $(N1)_{60}$ 가 25 이상인 지반
- ⑤ 주상도상의 콘관입저항치에 기초하여 산정된 q_{c1N} 이 150 이상인 지반
- ⑥ 주상도상의 전단파속도에 기초하여 산정된 $Vs1$ 이 200m/s 이상인 지반
- ⑦ 세립토 함유량이 35% 이상이고 원위치시험 결과가 다음과 같은 지반
 - i. $(N1)_{60}$ 가 20 이상
 - ii. q_{c1N} 이 100 이상
 - iii. $Vs1$ 이 180m/s 이상
- ⑧ 입도분포가 액상화 가능성 작음 영역에 위치하는 지반
- ⑨ 지진구역 II에서의 내진2등급 구조물
- ⑩ 기타, 경제성을 위해서 내진 2등급 구조물에서는 전문가와 상의 후에 액상화 평가를 생략할 수 있다.

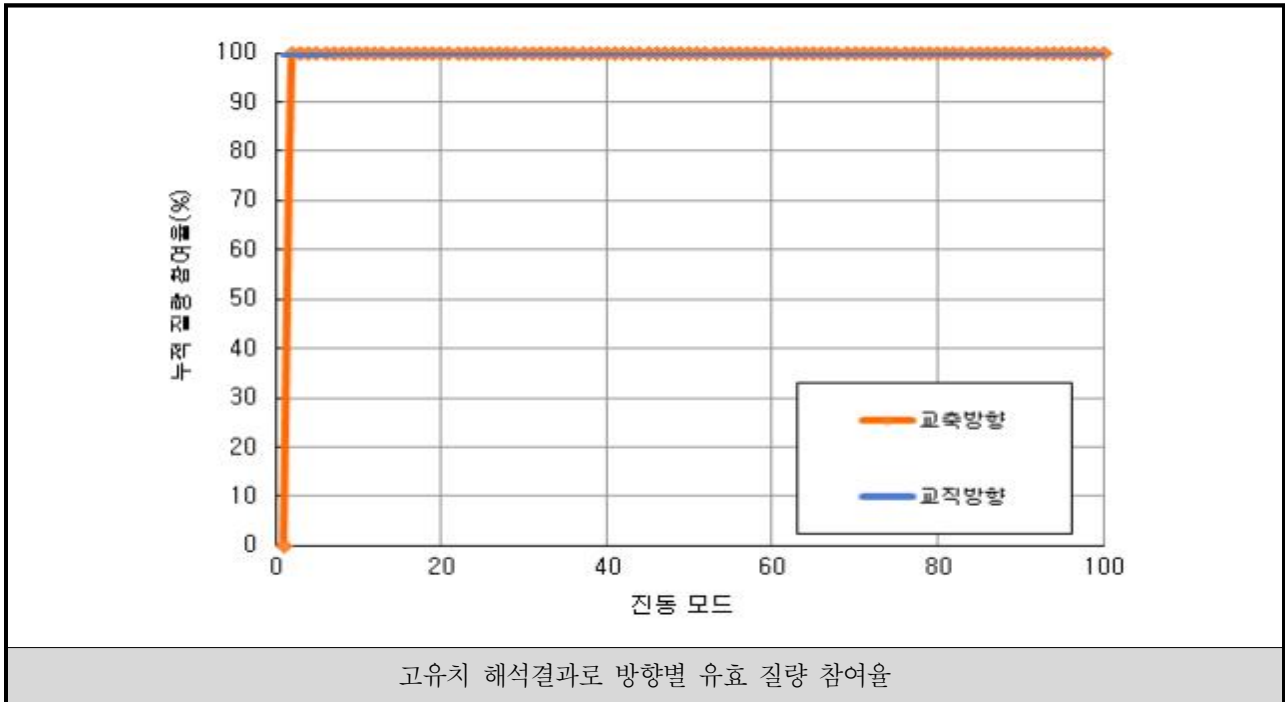
6) 제암1육교 지반액상화 평가

토질명	심도 (m)	실측 N치	r_t (kN/ m ²)	σ_v' (kN/m ²)	CN	CE	수정 N치 (N1) 60	세립 토함 유량	$\angle(N$ 1)60	(N1) 60cs	Vs1 (보정 후)	예비 평가 결과
사질토	1.50	5	19.5	14.535	1.700	1.083	9	0	0.0	9	204.7	생략
사질토	3.75	13	19.5	36.338	1.410	1.083	20	0	0.0	20	240.1	생략
사질토	6.00	25	19.5	58.140	1.230	1.083	33	0	0.0	33	278.6	생략
사질토	8.25	37	19.5	79.943	1.100	1.083	44	0	0.0	44	301.8	생략
풍화토	10.50	79	19.5	101.745	0.990	1.083	85	0	0.0	85	386.8	생략
풍화토	12.75	100	19.5	123.548	0.900	1.083	98	0	0.0	98	405.7	생략
풍화암	15.00	150	21.5	149.850	0.820	1.083	133	0	0.0	133	456.0	생략
풍화암	17.25	107	21.5	176.153	0.740	1.083	86	0	0.0	86	381.8	생략
풍화암	19.50	300	21.5	202.455	0.680	1.083	221	0	0.0	221	560.8	생략
풍화암	21.75	300	21.5	228.758	0.630	1.083	205	0	0.0	205	543.9	생략
풍화암	24.00	300	21.5	255.060	0.590	1.083	192	0	0.0	192	529.3	생략
풍화암	26.25	100	21.5	281.363	0.550	1.083	60	0	0.0	60	330.3	생략
풍화암	28.50	188	21.5	307.665	0.510	1.083	104	0	0.0	104	417.1	생략
풍화암	30.75	300	21.5	333.968	0.480	1.083	156	0	0.0	156	494.8	생략
풍화암	33.00	300	21.5	360.270	0.460	1.083	150	0	0.0	150	485.5	생략

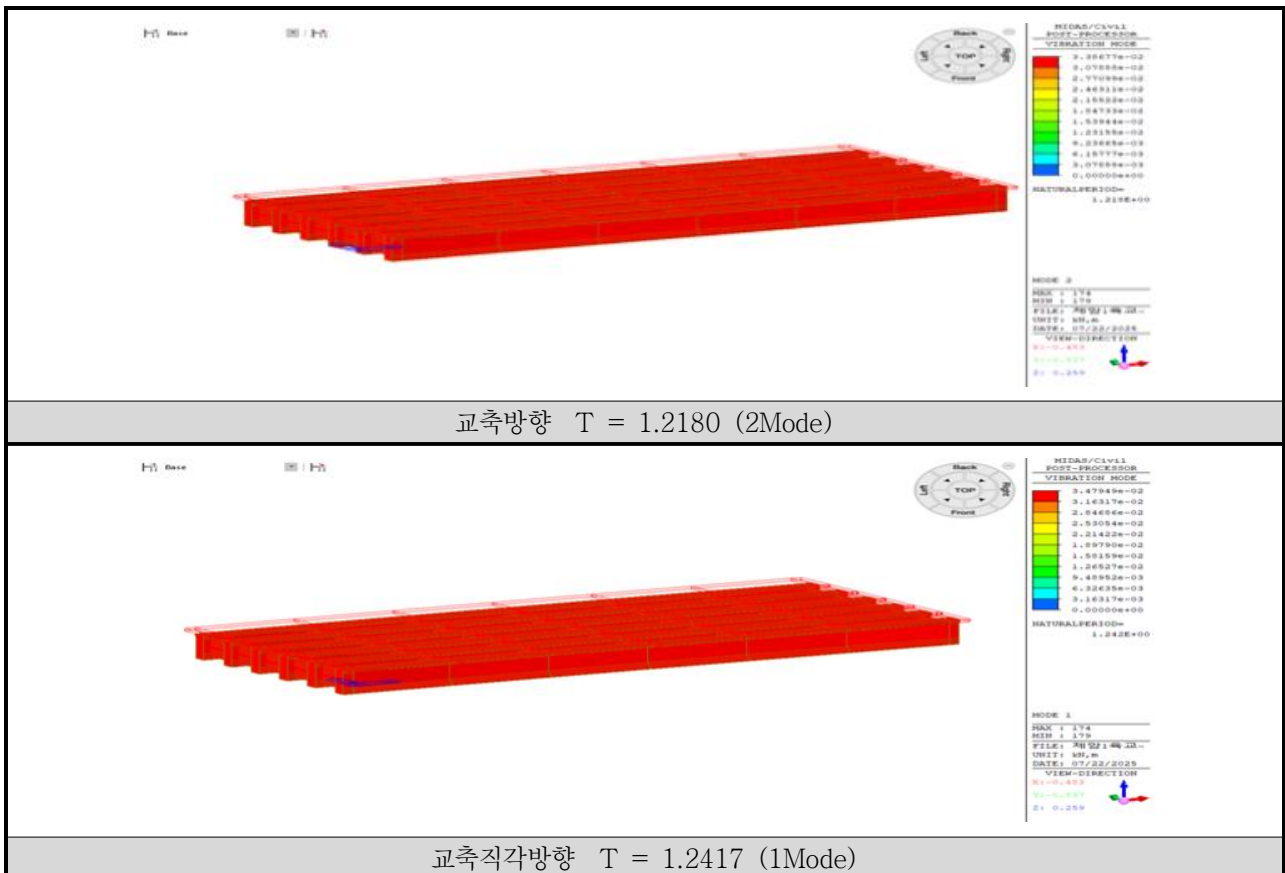


【그림 1.4.1】 제암1육교(발안방향) 교량 구조해석 모델링

1.5 지진해석 결과(발안방향)



① 주요 모드 형상 (Mode Shape)



② 하중조합에 따른 단면력

■ 받침부 개당 부재력 집계

(단위 : kN)

구 분	교축력	교직력
A1	189	185
A2	189	185

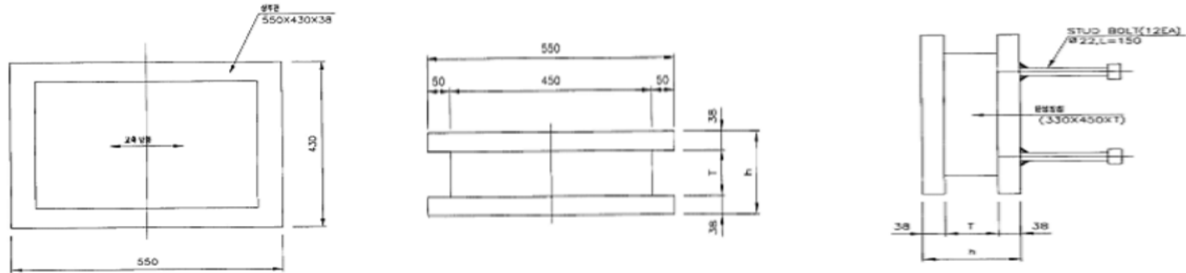
■ 받침부 전체 부재력 집계

(단위 : kN)

구 분	교축력	교직력
A1	1133	1112
A2	1133	1111

1.6 받침부 내진성능평가(발안방향)

① A1 받침본체 규격



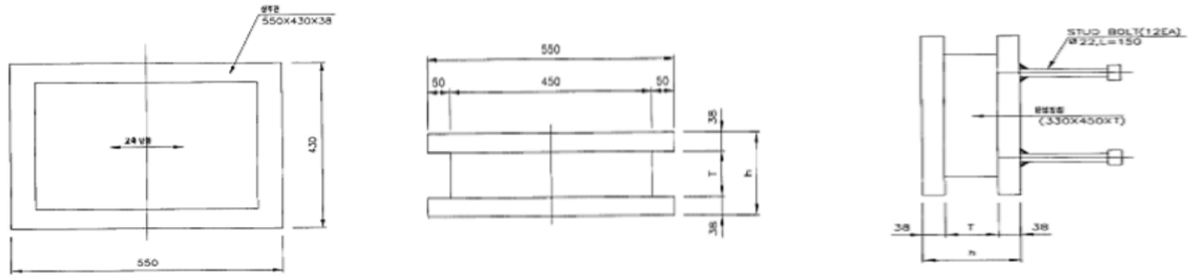
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	580	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	550	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	22	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	22	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	150	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	480	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	450	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

■ A1 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,470	1,133	1.297	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	407	189	2.156	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	4,942	1,133	4.360	O.K

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,470	1,112	1.322	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	407	185	2.199	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	391	185	2.109	O.K

② A2 받침본체 규격



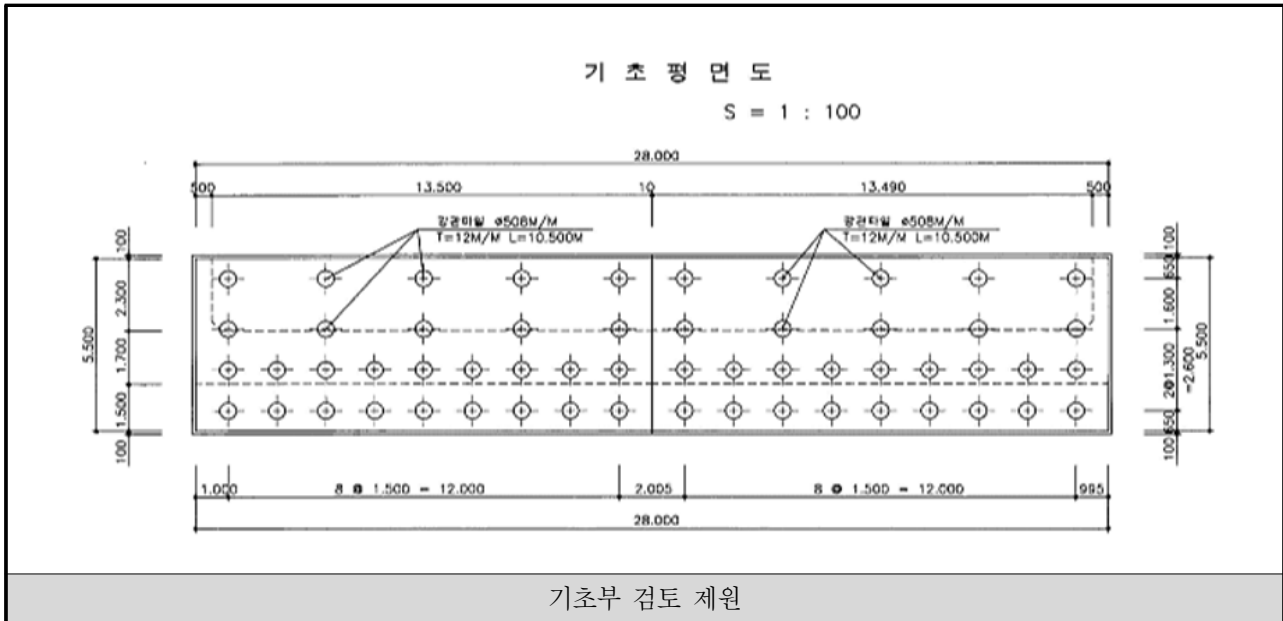
구분 (구조계산서 기준)	길이	단위	비고
C	= 580	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	= 550	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	= 22	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	= 22	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	= 150	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	= 480	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	= 450	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	= 2 X 2	EA	

■ A2 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,470	1,133	1.297	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	407	189	2.156	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	4,942	1,133	4.360	O.K

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,470	1,111	1.323	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	407	185	2.199	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	391	185	2.109	O.K

1.7 기초부 내진성능평가(발안방향)



① A1 기초부 검토

■ 기초부 내진성능평가 결과

구분		보유성능	소요성능	판정	
기초부	지지력	2,327.6	962.7	2.418	O.K
	인발력	831.3	163.4	5.089	O.K
	수평 변위(고정)	15.000	1.410	10.638	O.K
	수평 변위(힌지)	15.000	2.820	5.319	O.K
	응력	210.000	106.640	1.969	O.K

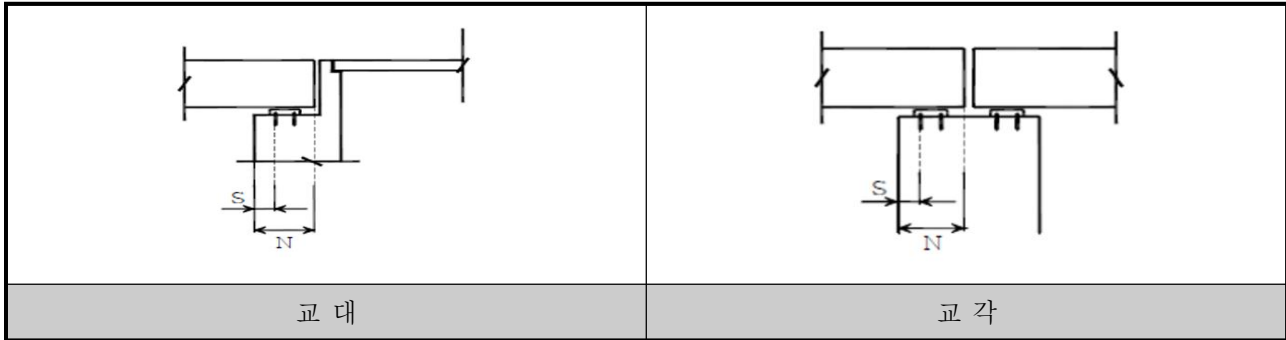
② A2 기초부 검토

■ 기초부 내진성능평가 결과

구분		보유성능	소요성능	판정	
기초부	지지력	2,288.0	952.5	2.402	O.K
	인발력	791.7	152.4	5.196	O.K
	수평 변위(고정)	15.000	1.520	9.868	O.K
	수평 변위(힌지)	15.000	3.050	4.918	O.K
	응력	210.000	144.010	1.458	O.K

1.8 받침 지지길이 평가 결과(발안방향)

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)	1,100	250	4.398	O.K	불필요
A2	N(mm)	1,100	250	4.398	O.K	불필요

1.9 종합결론(발안방향)

본 교량의 경우 상부는 PSC Beam교, 하부는 역T형 교대, 교좌장치로는 탄성받침이 적용되어 있다. 현재 시행 되고 있는 내진성능평가 요령에 따라 내진성능평가를 수행하였으며, 이에 따른 결과는 다음과 같다.

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

따라서 추후 보강방안은 필요하지 않을 것으로 판단된다.

1.10 구조해석 모델(반월방향)

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.

① 내진설계상수

- 내진등급 : 내진1등급교
- 지진구역계수(Z) : 0.11 (지진구역 I: 충청남도)
- 위험도계수(I) : 1.4 (재현주기 1000년)
- 가속도계수(S) : $Z \times I = 0.11 \times 1.4 = 0.154g$ (사용목표수명 1/2 이상)
- 지반종류 : S4

② 사용프로그램 및 해석방법

- 해석방법 : 응답스펙트럼해석법
- 고유치 해석 : Ritz Vectors
- Mode 조합 : C.Q.C(Complete Quadratic Combination) 방법
- 상세 해석방법

구 분		적 용
기둥 강도 산정	해석방법	모멘트-곡률 해석법
	콘크리트 모델	MANDER 모델
	철근 모델	PARK 모델
	모멘트-곡률산정 프로그램	MIDAS CIVIL
탄성 지진력 산정	전체 모델링	격자 해석 모델
	상부와 하부의 연결부 상세	ELASTIC LINK 스프링 모델
	기초와 지반의 연결부 상세	SUPPORT 고정
	질량산정	상,하부 고정하중을 분포질량으로 입력
	탄성지진력 산정 프로그램	MIDAS CIVIL

③ 지반분류

최근까지 비탈면 및 교량구조물 등에 적용되는 내진설계기준은 『건설공사비탈면 설계기준(국토교통부, 2016)』과 『구조물기초 설계기준(국토교통부, 2018)』, 『교량내진설계기준(국토교통부, 2018)』을 반영하였으나, 2017년 4월 행정안전부에서 “내진설계기준 공통적용사항”이 발표되어 해당기준을 본 과업에 적용하여 지반종류를 평가하고자 함.

- 지반종류는 기준에 맞추어 6개의 지반으로 분류하며 분류방법으로는 지반의 전단파속도를 기초로 산정함.
- 토층의 전단파속도는 기존교량에 대한 자료가 부족하므로 기존설계자료(교량 중평면도)의 지질주상도의 개략적인 N치로 교량별 지반종류별 전단파속도 추정식을 활용함.
- 교량별 지반분류는 기초바닥면 하부로부터 기반암까지의 N값에 따른 전단파 속도를 이용하여 지반을 분류하였다.
- 표준관입시험 관입저항치(SPT-N값)를 전단파속도로 변환할 수 있다. 변환에는 국내 지반에 대해 제안된 상관관계식 (Sun et al. 2013 등) 및 국외 자료를 활용할 수 있으며, 이 때 상관관계식의 적용은 지반공학 전문가의 공학적 분석을 통한 적정성을 확인 후 적용하도록 한다. 표준관입시험 시 단단한 암질에 도달하여 향타수가 50에 이르러도 30cm 깊이를 관입하지 못할 경우 50타수 이상의 N값은 선형적인 비례관계를 토대로 30cm 두께 관입 시 N값으로 환산한다. 이 때 환산 N값의 최대값은 300이다.

$$\text{환산 N값} = (30 / \text{관입량}) \times \text{타격횟수}$$

표준관입시험 N 값	환산 N 값	기 타
3/30	3	
40/30	40	
50/16	93	
50/12	125	
50/10	150	
50/8	187	
50/6	250	
50/5	300	
50/2	300	
50/1	300	

■ 암층인 경우의 지질주상도에 개략적인 N치가 없는 경우가 많으므로 암의 종류에 따라 『내진 설계 시 합리적인 지반분류를 위한 전단파속도 측정 및 적용방안 (2009)』 내의 지역별 암의 종류에 대한 평균전단파속도 연구결과 참조하여 산정함.

■ 교량별 지반분류

교량별 지반분류는 기존자료에 적용된 모든 시추공에 대해 지층특성을 고려한 전단파속도(V_s)를 통해 지반종류를 산정하였으며, 탄성반침 적용교량은 모든 교대, 교각 중 가장 불리한 조건, 포트 반침 및 스페리컬 반침 적용교량의 교축방향은 고정단 교각의 지반종류 적용하였으며, 교축직각방향은 교대, 교각 중 가장 불리한 조건을 지반종류로 적용하였다. 교량별 지반종류 산정결과와 대표적인 기초에 대한 산정내용은 아래와 같다.

■ 지반분류기준

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H(m)	토층 평균 전단파속도[Vs,soil(m/s)]
S1	암반 지반	1 미만	—
S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S3	얕고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S5	깊고 연약한 지반		180 미만
S6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

■ 전단파속도 ($V_{S,Soil}$) 산정

토층 평균 전단파속도 ($V_{S,Soil}$) 산정 : 표준관입시험결과 반영

평균 전단파속도 ($V_{S,Soil}$) = 여기서, d_i = 토층 i 의 두께(m)

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad v_{si} = \text{토층 } i \text{의 전단파 속도 (m/sec)}$$

■ 경험식 적용

제안자	전단파 속도 추정식(m/s)			
	사질토	자갈층	풍화토	풍화암
Sun et al.(2013)	$v_{si}=82.01 \times N-0.3$ 19	$v_{si}=78.63 \times N-0.3$ 61	$v_{si}=75.76 \times N-0.3$ 71	$v_{si}=107.94 \times N-0.3$ 418
Sun et al.(2013) All Soil	$v_{si}=65.64 \times N-0.407$			

■ 제암1육교 지반분류

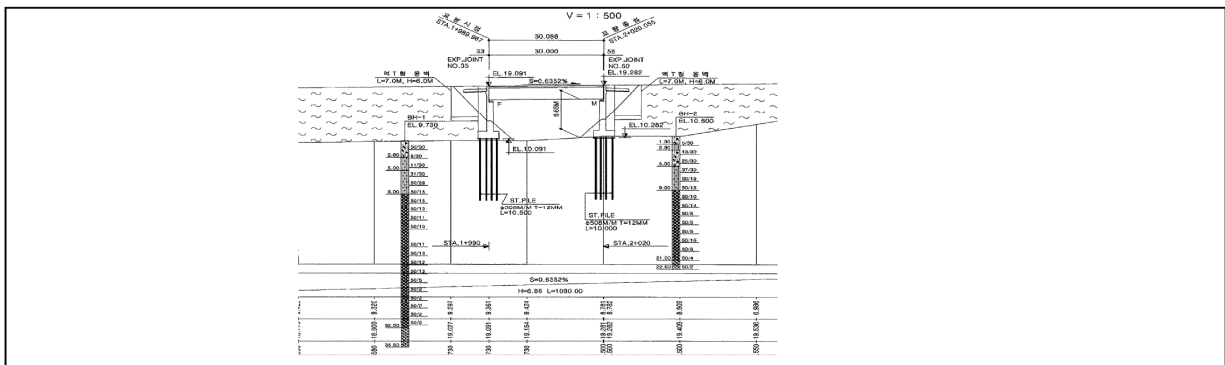
No	교량명	상부 구조	받침 형식	연장 (m)	기초 형식	기반압 심도 (m)	지반 종류	검토위치 대상	전단파속도(m/sec) 제안식		비고
									평균	All Soil	
1	제암1육교	PSI Girder	탄성 받침	30.0	말뚝	10.5	S4	A2	428.4	359.9	

4) 제암1육교

교량명 : 제암1육교

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H(m)	토층평균전단파속도
S1	암반 지반	1 미만	-
S2	얇고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S3	얇고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S5	깊고 연약한 지반		180 미만
S6	부지 고유의 특성평가 및 지반응답해석이 필요한 지반		

지 반 조 건 산 정							
종류	누계 (m)	깊이D(m)	N치	Vs (m/s)		D / Vs	
				Sun et al.(2013)	All Soil	Sun et al.(2013)	All Soil
사질토	1.5	1.5	5	137.0	126.4	0.0109	0.0119
사질토	3.0	1.5	13	185.9	186.4	0.0081	0.0080
사질토	4.5	1.5	25	229.0	243.3	0.0066	0.0062
사질토	6.0	1.5	37	259.5	285.4	0.0058	0.0053
풍화토	7.5	1.5	79	383.1	388.5	0.0039	0.0039
풍화토	9.0	1.5	100	418.3	427.7	0.0036	0.0035
풍화암	10.5	1.5	150	876.6	504.5	0.0017	0.0030
풍화암	12.0	1.5	107	761.6	439.9	0.0020	0.0034
풍화암	13.5	1.5	300	1171.2	668.9	0.0013	0.0022
풍화암	15.0	1.5	300	1171.2	668.9	0.0013	0.0022
풍화암	16.5	1.5	300	1171.2	668.9	0.0013	0.0022
풍화암	18.0	1.5	100	739.9	427.7	0.0020	0.0035
풍화암	19.5	1.5	188	962.3	552.4	0.0016	0.0027
풍화암	21.0	1.5	300	1171.2	668.9	0.0013	0.0022
풍화암	22.5	1.5	300	1171.2	668.9	0.0013	0.0022
합 계		22.5				0.0525	0.0625
평균 전단 파속도						428.4	359.9
지반조건						S4	S4
						S4	



5) 지반액상화 평가

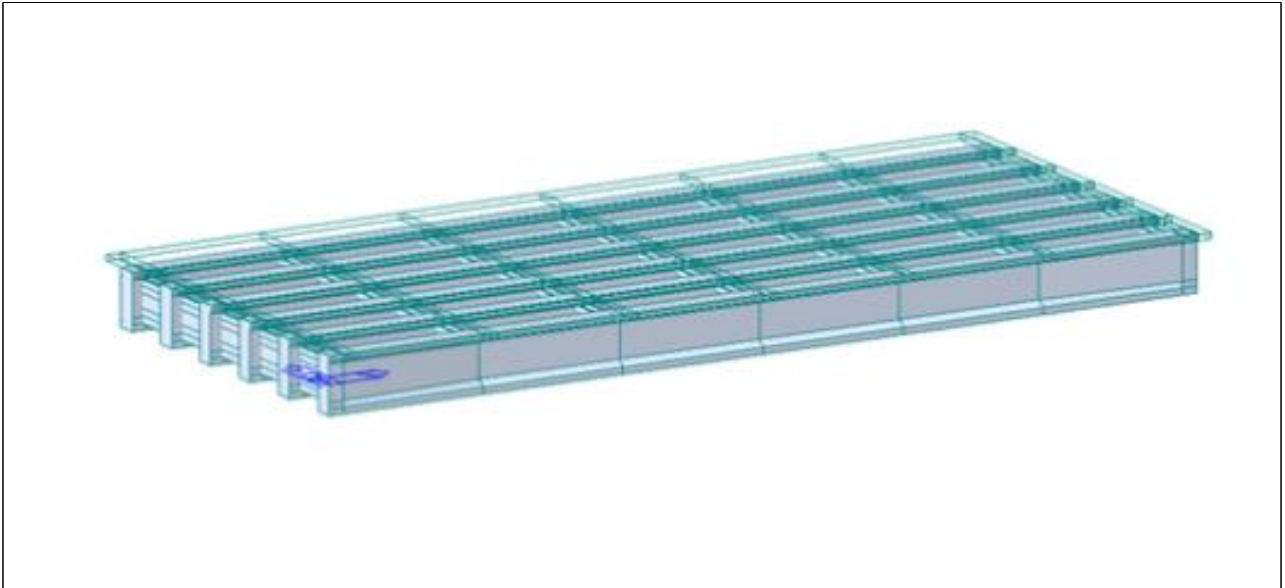
액상화 예비평가는 지반조건을 고려하여 액상화 평가 생략 여부를 결정하는 것으로 대상교량 시추주상도, 지질조사보고서 등을 분석하여 아래의 생략조건에 해당되는지 여부를 검토하였다.

- 액상화평가 생략조건

- ① 지하수위 상부 지반
- ② 대상 지반심도가 20m 이상인 지반
(단, 20m 이상 깊이에 위치하더라도 액상화가 발생하는 경우에 구조물에 중대한 손상이 생긴다고 판단하거나, 평가 대상지반이 20m 보다 상부에 위치한 지반과 연관이 있는 층이라고 판단되는 경우는 액상화평가를 시행한다)
- ③ 자갈층 및 상대밀도가 80% 이상인 지반
- ④ 주상도상의 표준관입저항치에 기초하여 산정된 $(N1)_{60}$ 가 25 이상인 지반
- ⑤ 주상도상의 콘관입저항치에 기초하여 산정된 q_{c1N} 이 150 이상인 지반
- ⑥ 주상도상의 전단파속도에 기초하여 산정된 $Vs1$ 이 200m/s 이상인 지반
- ⑦ 세립토 함유량이 35% 이상이고 원위치시험 결과가 다음과 같은 지반
 - i. $(N1)_{60}$ 가 20 이상
 - ii. q_{c1N} 이 100 이상
 - iii. $Vs1$ 이 180m/s 이상
- ⑧ 입도분포가 액상화 가능성 작음 영역에 위치하는 지반
- ⑨ 지진구역 II에서의 내진2등급 구조물
- ⑩ 기타, 경제성을 위해서 내진 2등급 구조물에서는 전문가와 상의 후에 액상화 평가를 생략할 수 있다.

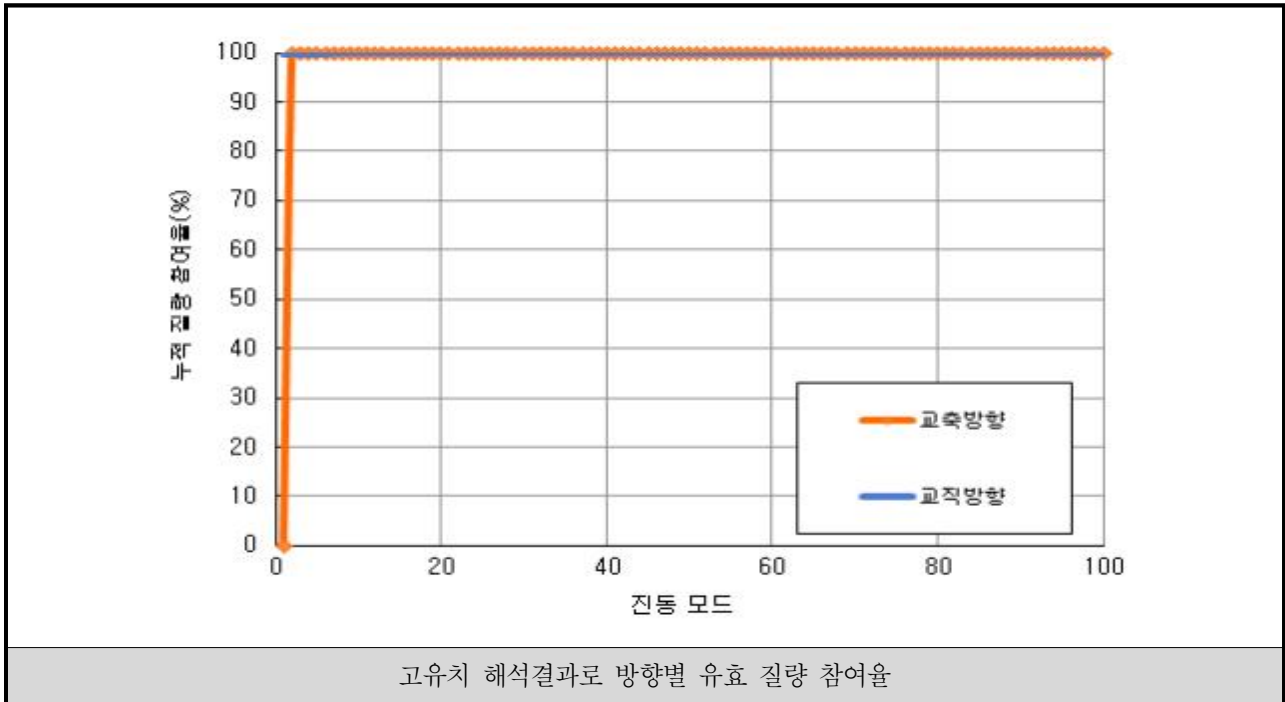
6) 제암1육교 지반액상화 평가

토질명	심도 (m)	실측 N치	r_t (kN/m ²)	σ_v' (kN/m ²)	CN	CE	수정 N치 (N1) 60	세립 토함 유량	$\angle(N1)_{60}$	(N1) 60cs	Vs1 (보정 후)	예비 평가 결과
사질토	1.50	5	19.5	14.535	1.700	1.083	9	0	0.0	9	204.7	생략
사질토	3.75	13	19.5	36.338	1.410	1.083	20	0	0.0	20	240.1	생략
사질토	6.00	25	19.5	58.140	1.230	1.083	33	0	0.0	33	278.6	생략
사질토	8.25	37	19.5	79.943	1.100	1.083	44	0	0.0	44	301.8	생략
풍화토	10.50	79	19.5	101.745	0.990	1.083	85	0	0.0	85	386.8	생략
풍화토	12.75	100	19.5	123.548	0.900	1.083	98	0	0.0	98	405.7	생략
풍화암	15.00	150	21.5	149.850	0.820	1.083	133	0	0.0	133	456.0	생략
풍화암	17.25	107	21.5	176.153	0.740	1.083	86	0	0.0	86	381.8	생략
풍화암	19.50	300	21.5	202.455	0.680	1.083	221	0	0.0	221	560.8	생략
풍화암	21.75	300	21.5	228.758	0.630	1.083	205	0	0.0	205	543.9	생략
풍화암	24.00	300	21.5	255.060	0.590	1.083	192	0	0.0	192	529.3	생략
풍화암	26.25	100	21.5	281.363	0.550	1.083	60	0	0.0	60	330.3	생략
풍화암	28.50	188	21.5	307.665	0.510	1.083	104	0	0.0	104	417.1	생략
풍화암	30.75	300	21.5	333.968	0.480	1.083	156	0	0.0	156	494.8	생략
풍화암	33.00	300	21.5	360.270	0.460	1.083	150	0	0.0	150	485.5	생략

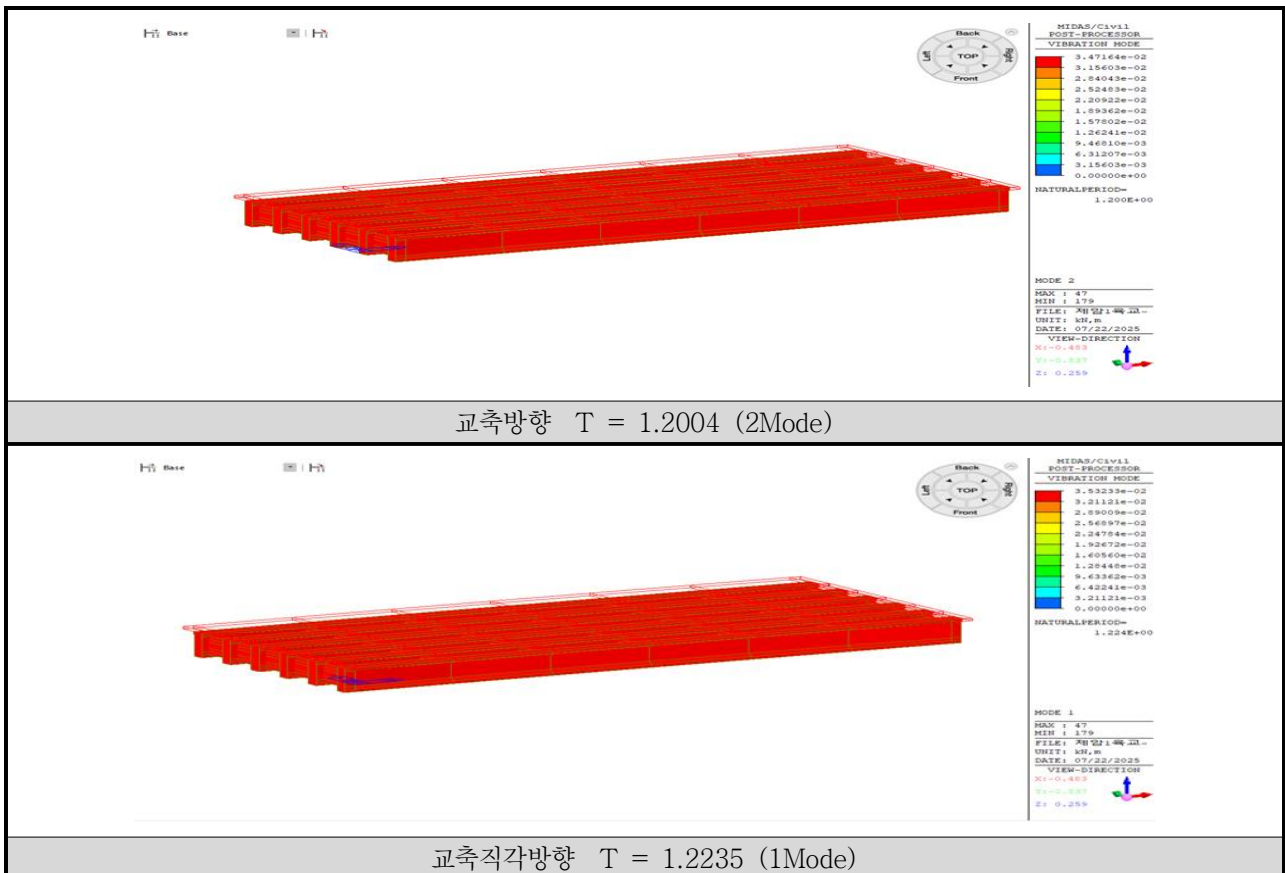


【그림 1.10.1】 제암1육교(반월방향) 교량 구조해석 모델링

1.11 지진해석 결과(반월방향)



① 주요 모드 형상 (Mode Shape)



② 하중조합에 따른 단면력

■ 받침부 개당 부재력 집계

(단위 : kN)

구 분	교축력	교직력
A1	188	184
A2	188	184

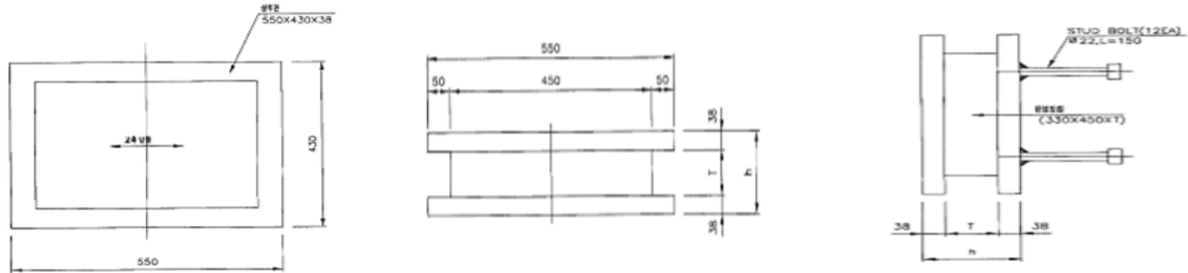
■ 받침부 전체 부재력 집계

(단위 : kN)

구 분	교축력	교직력
A1	1116	1104
A2	1116	1104

1.12 받침부 내진성능평가(반월방향)

① A1 받침본체 규격



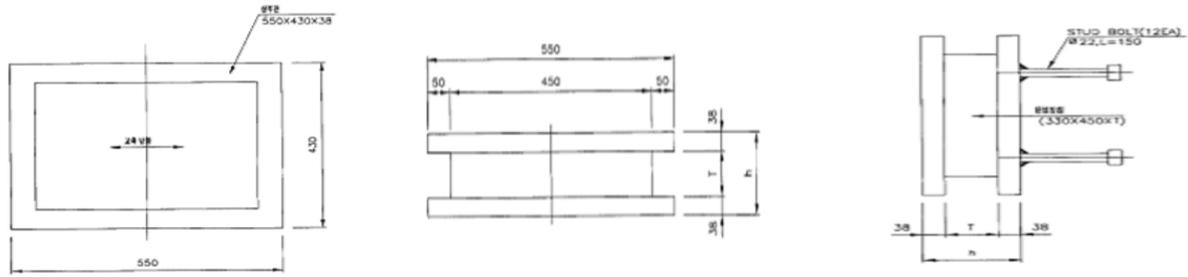
구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	580	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	550	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	22	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	22	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	150	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	480	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	450	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

■ A1 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,470	1,116	1.317	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	407	186	2.189	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	4,413	1,116	3.953	O.K

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,470	1,104	1.332	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	407	184	2.214	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	332	184	1.807	O.K

② A2 받침본체 규격



구분 (구조계산서 기준)		길이	단위	비고
C	=	580	mm	받침 교축방향 폭 (하판)
B	=	550	mm	받침 교축직각방향 폭 (하판)
da	=	22	mm	받침부 앵커소켓 직경
db	=	22	mm	받침부 앵커볼트 직경
hef	=	150	mm	받침부 앵커근입 깊이
SL	=	480	mm	받침 교축방향 앵커간격
ST	=	450	mm	받침 교축직각방향 앵커간격
앵커개수	=	2 X 2	EA	

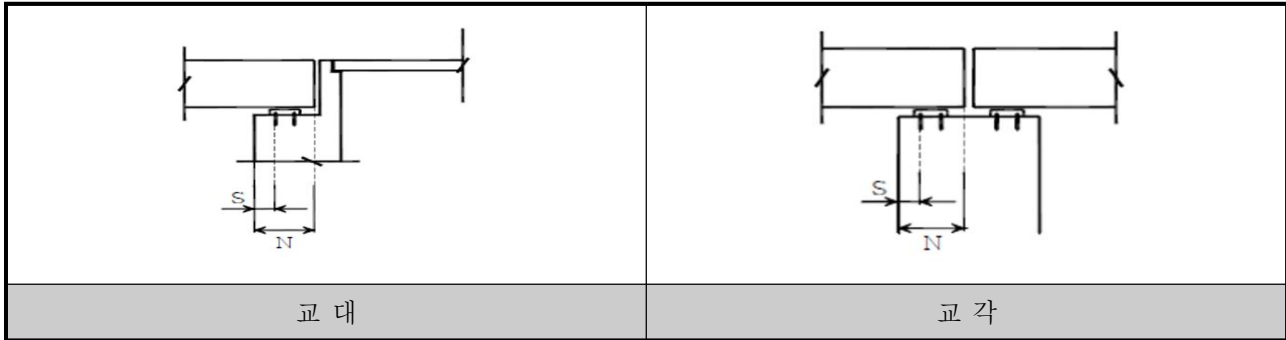
■ A2 받침부 내진성능평가 결과

구분	교축방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,470	1,116	1.317	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	407	186	2.190	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	4,413	1,116	3.953	O.K

구분	교축직각방향			
	보유성능	소요성능	판정	
받침본체	1,470	1,104	1.331	O.K
앵커볼트-앵커강재파괴	407	184	2.214	O.K
앵커볼트-콘크리트파괴	332	184	1.807	O.K

1.14 받침 지지길이 평가 결과(반월방향)

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)	1,100	250	4.398	O.K	불필요
A2	N(mm)	1,100	250	4.398	O.K	불필요

1.15 종합결론(반월방향)

본 교량의 경우 상부는 PSC Beam교, 하부는 역T형 교대, 교좌장치로는 탄성받침이 적용되어 있다. 현재 시행 되고 있는 내진성능평가 요령에 따라 내진성능평가를 수행하였으며, 이에 따른 결과는 다음과 같다.

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

따라서 추후 보강방안은 필요하지 않을 것으로 판단된다.

