

제 4 장 시설물의 안전성능 평가

4.1 개 요

4.2 상태안전성능 평가

4.3 구조안전성능 평가

4.4 안전성능 평가 결과

제 4장 시설물의 안전성능 평가

4.1 개 요

시설물의 안전성능 평가 등급 산정 방법은 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가 결과를 비교하여 최저등급으로 결정한다.

금회 성능평가 과업은 정밀안전진단과 동시 수행되는 관계로 정밀안전진단 현장조사 및 시험결과, 안전성평가 결과를 활용하여 안전성능 평가를 실시하였으며, 평가항목, 기준 및 내용은 다음과 같다.

4.1.1 안전성능 평가 기준 및 방법

시설물의 안전성능 평가 등급 산정 방법은 상태안전성능 평가와 구조안전성능 평가 결과를 비교하여 최저등급으로 결정한다. < Min(상태안전성능, 구조안전성능) >

【표 4.1】 안전성능평가 항목 구분

구분	평가항목		성능평가			비고		
			도로교량	철도교량				
				콘크리트궤도	자갈궤도			
교량	상태안전성능		○	○	○	하천(해상)을 횡단하는 교량의 경우 세굴심 평가 실시		
	구조 안전 성 능	구조안전성		○	○		○	
		기초안전성		○	○		○	
		주행 안전성	고유 휨 진동수		—		○	○
			임계속도		—		○	○
			연직가속도		—		○	○
			연직처짐		—		○	○
			면틀림		—		○	○
			종방향 변위		—		—	○
			단차		—		—	○

도로교량의 경우, 구조안전성능 평가는 구조안전성, 세굴을 포함한 기초안전성 평가를 실시하여 최저등급을 구조안전성능등급으로 결정한다.

Min(상태안전성능, 공용내하력, 세굴을 포함한 기초안전성)

또한, 하천을 횡단하는 교량(해상교량 포함)의 경우는 세굴을 포함한 기초안전성을 평가해야 하며, 그 외 교량의 경우 필요시 책임기술자 판단에 따라 세굴을 제외하고 기초안전성만을 평가할 수 있다.

4.1.2 상태안전성능 평가

금회 대상시설물에 대한 상태안전성능 평가는 2025년도 정밀안전진단 외관조사 및 시험 결과를 활용하여 수행하였으며, 평가개요, 범위 및 기준은 다음과 같다.

가. 일반

부재별 상태안전성능 기준은 교량의 거더와 가로보를 분리하고, 부재별 상태안전성능 기준을 부재의 중요도를 감안하여 차등화 함으로써 가능한 전체 상태안전성능 기준과 부합하도록 조정하였다.

교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 내구성능에 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d로 범위를 조정하였다.

나. 평가범위

교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d의 범위를 적용한다.

【표 4.2】 부재별 상태안전성능 적용 범위

부재의 분류		적용범위
상부구조	바닥판, 거더, 케이블, 긴장재, 아치리브, 트러스	a, b, c, d, e
	2차 부재(가로보 및 세로보)	a, b, c, d
하부구조	교대 및 교각, 기초, 주탑	a, b, c, d, e
받침	교량받침	a, b, c, d, e
보조부재	신축이음, 보호시설, 배수시설, 교면포장	a, b, c, d

부재별 상태안전성능은 전체 수량에 대한 손상수량의 비율에 의해 평가하는 정량적 평가와 시설물의 상태에 대한 책임기술자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행하며 정성적 평가 시 책임기술자에 의한 편차를 줄이기 위해 손상수량 및 손상현황에 대한 정도를 정확히 파악하여야 한다.

다. 부재별 상태안전성능 평가 기준

1) 콘크리트 바닥판

【표 4.3】 콘크리트 바닥판 평가기준

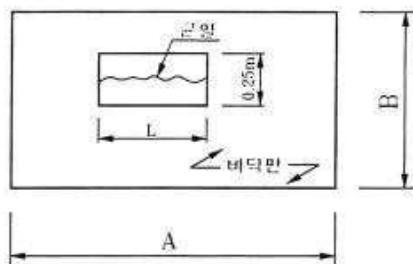
기준	균열		열화 및 손상		
	1방향 균열	2방향 균열	누수 및 백태	표면손상	철근부식
a	•균열폭 0.1mm미만	•망상균열폭 0.1mm미만	•없음	•없음	•없음
b	•균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만 •균열율 2%미만	•망상균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	•누수 및 백태 면적 10% 미만 •테크플레이트 부식 면적 10%미만	•표면손상 면적 2% 미만	•없음
c	•균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만 •균열율 2% 이상~10%미만	•망상균열폭 0.3mm이상	•누수 및 백태 면적 10% 이상 •바닥판 누수로 인한 테크플레이트 부식 면적 10%이상	•표면손상 면적 2% 이상 10% 미만	•철근부식 손상면적 2% 미만
d	•균열폭 0.5mm이상~1.0mm미만 •균열율 10%이상~20%미만	•망상균열의 진전으로 인한 콘크리트 박리 발생	•바닥판 누수로 인한 테크플레이트의 심한 부식으로 탈락 발생	•표면손상 면적 10% 이상	•철근부식 손상면적 2% 이상
e	•균열폭 1.0mm이상 •균열율 20%이상	•망상균열에 인한 박리가 심하여 편칭파괴 발생 가능성 있음	•부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성능이 저하되는 경우		

< 해설 >

- 본 상태안전성능 기준은 모든 교량형식의 RC 및 PC 바닥판과 RC 및 PSC 박스거더교량의 상부플랜지의 상태안전성능에 적용한다.
- 1방향균열의 경우 0.3mm미만의 균열평가 기준을 “b” 로 1.0mm이상의 균열과 균열율 20% 이상인 상태를 “e” 로 평가한다.
- 2방향균열의 경우 망상균열로 인한 박리 발생시 평가기준을 “d”, 편칭파괴의 발생 가능성이 있으면 “e” 로 평가한다.
- “열화 및 손상” 손상항목은 표면손상 면적과 철근부식손상 면적으로 평가하며, 철근부식에 따르는 내하력 저하의 가능성이 없으면 표면손상으로, 부식에 의한 철근의 단면감소로 인하여 내하력 저하의 가능성이 있으면 철근부식손상으로 규정한다.
- 누수는 바닥판의 균열이 상하면을 관통하여 물이 스며드는 현상이며, 변색은 누수가 지속되어 바닥판 표면의 색이 변화된 상태를 지칭한다.

- 백태는 누수에 의하여 유리석회가 발생하는 현상을 지칭한다.
- 표면손상은 파손, 박락, 층분리, 재료분리 등과 같이 손상이 콘크리트 부분에 국한된 경우를 말하며, 철근부식손상은 철근노출 및 노출된 철근이 부식된 경우나, 탄산화 또는 콘크리트내의 염화물로 인해 내부철근의 부식이 발생하고, 이로 인해 콘크리트의 팽창, 균열 및 박리가 발생한 경우를 말한다.
- PSC 박스거더교의 경우 상하부 플랜지와 복부판이 일체가 되어 주형으로써 거동을 하지만, 활하중을 직접 받는 상부플랜지는 콘크리트 바닥판으로, 복부판과 하부플랜지는 PSC 거더로 구분하여 상태평가를 수행한다. 단, 순수하게 바닥판 보강(교축 직각방향 보강 등)을 위해 긴장재가 도입된 경우 프리스트레스 콘크리트 바닥판으로 상태평가를 수행한다.
- 균열율은 폭 0.2mm이상의 균열을 대상으로 산정한다.
- 바닥판 하면이 데크플레이트로 보호된 경우 강바닥판이 아닌 콘크리트 바닥판으로 평가한다.
- 콘크리트 균열에 의한 평가기준은 콘크리트 부재에 대한 설계, 시공 및 유지관리 분야간의 일관성을 위해 건설기준코드(구 콘크리트 설계기준)에 명시된 허용균열폭을 참고하였다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

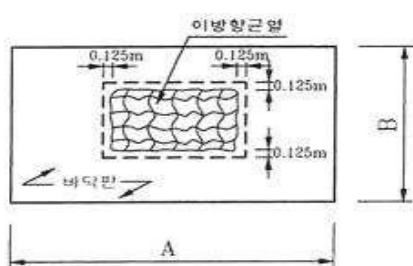
• 1방향 균열인 경우



- 균열발생 면적은 길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하며, 균열의 개수가 2개 이상일 경우는 각 균열길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 구함
- 균열 면적률은 아래 식으로 산정함

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$

• 2방향 균열인 경우



- 균열발생 면적은 균열발생 부위를 가로, 세로의 최외측 균열을 경계로 하여 사각형 형태로 구획한 후, 점선내면면적인 (가로길이+0.25m) × (세로길이+0.25m)로 구함
- 균열 면적률은 아래 식으로 산정함

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{균열발생면적}(m^2)}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$

• 표면손상에 대한 면적률 산정 방법

$$\text{표면손상면적률}(\%) = \frac{\text{결함 및 손상발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \%$$

• 철근부식 손상면적률 산정 방법

노출의 발생면적은 철근노출 길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.

$$\text{철근노출면적률(\%)} = \frac{\text{철근노출면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\text{철근노출길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100$$

- 프리캐스트패널 바닥판 누수(백태) 면적 산정 방법



- 누수(백태) 면적 계산 시 누수(백태) 발생 패널 단위로 면적 계산
- 프리캐스트패널 누수(백태) 면적 : 누수(백태) 발생부와 접한 프리캐스트패널 면적의 1/2
- 프리캐스트패널 내부 누수(백태)는 한 개 패널 전체 면적으로 산정

$$\text{프리캐스트패널누수(백태)면적률(\%)} = \frac{\text{프리캐스트패널누수(백태)면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100$$

- 2) 강 바닥판, 강 거더 및 강 교각(강 주탑), 아치리브, 트러스

【표 4.4】 강 바닥판, 강 거더, 강 교각(강 주탑) 평가기준

기준	모재 및 연결부 손상				표면열화
	부재 균열	변형, 파단	연결 볼트 이완, 탈락	용접연결부 결함	
a	•없음	•없음	•없음	•없음	•없음
b	•보조부재의 국부적 균열	•보조부재의 국부적 균열	•보조부재 2%미만	•부분적 용접불량(가공, 슬래그, 언더컷)	•부식발생면적 2%미만
c	•보조부재의 전반적 균열 •주부재의 국부적 균열	•보조부재의 전반적 변형 및 파단 •주부재의 국부적 변형 •주탑하단부 연결볼트 부식	•보조부재 2%이상~10%미만 •주부재 2%미만	•주부재의 심한 용접 불량(가공, 슬래그, 언더컷) •부분적 용입부족, 용접누락	•부식발생 면적 2% 이상~10%미만
d	•주부재의 전반적 균열	•주부재의 전반적 변형 및 파단 •좌굴에 의한 주부재 변형 •주탑하단부 연결볼트 파단	•보조부재 10%이상 •주부재 2%이상~10%미만	•안장플랜지 용접 연결부 용입부족 및 용접누락으로 인한 안전상능저하	•부식발생 면적 10% 이상 •부식에 의한 단면손상 면적 10%미만
e	•균열이 주부재 단면의 20% 이상 진전	•좌굴에 의한 파대 변형 및 파단으로 주부재의 안전상능저하	•주부재 10%이상	•안장플랜지 용접 연결부 균열진전으로 인해 연결 기능 상실	•부식에 의한 단면손상 면적 10%이상

< 해설 >

- 본 상태안전성능 기준은 강 바닥판, 강 거더, 강 교각 및 케이블 교량의 보강형과 강 주탑의 상태안전 성능 평가에 적용한다.
- 강재 거더에 대한 상태안전성능 평가시 용접연결부에 대한 육안조사 및 비파괴조사 결과를 반영하여 평가를 수행한다.
- 주부재라 함은 바닥판(거더)의 구성요소 중 하중을 직접 전달하는 요소를 말하며, 보조부재라 함은 주부재의 변형을 방지하기 위한 보강재를 말한다. 즉, 강박스의 경우 상·하부 플랜지, 복부판, 종리브, 지점부 격벽은 주부재이며, 수평/수직보강재, 횡리브는 보조부재이다.
- 용접불량의 종류는 내하력저하를 유발하지 않는 가벼운 용접결함(기공, 슬래그, 언더컷)과 내하력저하 가능성이 있는 중대 용접결함(용접누락, 용입부족)으로 구분하여 서로 다른 평가기준을 적용한다.
- 부식발생면적과 도장탈락면적을 구분하여 평가한다. 즉, 도장탈락은 부재의 내하력 저하와 무관하므로 평가기준을 완화하며, 부식이 발생하였을 경우에는 부식에 의한 단면손상이 시작되었다고 볼 수 있으므로 보다 엄격한 평가기준을 적용한다.
- 강 부재의 균열은 모재 및 용접연결부 균열을 포함한다.
- 강 주탑의 경우 케이블 정착구와 새들은 케이블 시스템에 포함하여 평가하며, 주탑 본체는 강 교각의 평가기준을 적용한다. 강 주탑 평가시 보조주탑 및 기초와의 연결부 볼트의 부식 및 파단에 대한 손상 항목을 추가한다.
- 하중이 집중되는 부재연결판(트러스교의 현재, 사재, 수직재, 아치교의 아치부재, 수직재, 케이블 교량의 케이블 정착구)에 심한 부식, 균열, 변형과 같은 손상이 발생된 경우에는 연결판의 안전성능을 별도로 평가한다.

【표 4.5】 프리스트레스 콘크리트 바닥판 상태평가기준

기준	균열	열화 및 손상		
		열화 및 손상	열화 및 손상	열화 및 손상
a	•없음	•없음	•없음	•없음
b	•균열폭 0.2mm 미만 •균열률 2%미만	•누수 및 백태 면적 10% 미만 •데크플레이트 부식 면적 10%미만	•표면 손상면적 2%미만	•없음
c	•균열폭 0.2mm이상~0.3mm미만 •균열률 2%이상~10% 미만	•누수 및 백태 면적 10% 이상 •바닥판 누수로 인한 데크플레이트 부식 면적 10%이상	•표면 손상면적 2%이상~10%미만	•철근부식 손상면적 2%미만
d	•균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만 •균열률 10%이상~20%미만	•바닥판 누수로 인한 데크플레이트의 심한 부식으로 탈락 발생	•표면 손상면적 10% 이상 •데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식 발생	•철근부식 손상면적 2%이상
e	•균열폭 0.5mm이상 •균열률 20%이상	•부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우		

3) 철근콘크리트 거더

【표 4.6】 철근콘크리트 거더 평가기준

기준	균열	열화 및 손상
a	•균열폭 0.1mm 미만	•없음
b	•균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	•표면 손상면적 2%미만
c	•균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만	•표면 손상면적 2%이상~10%미만 •철근부식 손상면적 2%미만
d	•균열폭 0.5mm이상~1.0mm미만 •내하력 저하로 인한 휨균열 과다발생	•표면손상면적 10%이상 •철근부식 손상면적 2%이상
e	•균열폭 1.0mm이상 •휨균열 과다발생 및 과대처짐으로 인하여 거더의 안전성능 저하	•지점부 콘크리트 파손으로 인한 거더의 안전성능 저하

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 RCT거더교, 라멘교 및 프리플렉스교의 거더와 RC박스거더교의 거더부(복부판과 하부플랜지)의 평가에 적용한다.
- 철근콘크리트 부재의 경우 재료 및 구조적 특성상 어느 정도의 균열을 동반하는 구조체이며, 사인장균열과 휨균열 및 기타 균열을 구분하지 않고 하나의 평가기준을 적용하였다.
- 0.1mm미만의 균열은 콘크리트 부재에 흔히 발생할 수 있는 미세균열로써 평가기준을 “a”로 분류하였고, 1.0mm이상의 균열은 구조적 균열로써 “e”로 분류하였다.
- 철근콘크리트 거더에 발생한 손상의 경우, 철근에 영향을 미치지 않을 경우에는 표면손상으로, 철근노출 및 열화로 인해 철근부식의 가능성이 있을 경우에는 철근부식손상으로 구분하여 서로 다른 평가기준을 적용한다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

4) 프리스트레스트 콘크리트 거더

【표 4.7】 프리스트레스트 콘크리트 거더 평가기준

기준	균열	열화 및 손상
a	•없음	•없음
b	•균열폭 0.2mm미만	•표면 손상면적 2%미만
c	•균열폭 0.2mm이상~0.3mm미만	•표면 손상면적 2%이상~10%미만 •철근부식 손상면적 2%미만
d	•균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만 •내하력저하로 인한 휨균열 과다발생	•표면손상면적 10%이상 •철근부식 손상면적 2%이상
e	•균열폭 0.5mm이상 •휨균열 과다발생 및 과대처짐으로 인하여 거더의 안전성능 저하	•단부 콘크리트의 심한 파손 또는 강선 정착부의 파손으로 인한 부재의 안정성 저하

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 PSCI거더교의 거더, PSC박스거더교 및 케이블교량의 PSC 거더부 복부판과 하부플랜지)의 평가에 적용한다.
- 프리스트레스트 콘크리트 거더의 경우에는 긴장재로 인해 철근콘크리트 거더보다 균열 발생 가능성이 적으므로 균열의 평가 기준을 중앙부(휨) 균열, 받침부(사인장) 균열 및 정착부 균열로 구분하지 않고 하나의 평가 기준을 적용한다.
- 프리스트레스 콘크리트 거더의 단부 콘크리트가 파손이 심하거나 정착부 파손으로 안정성이 저하되는 경우 평가기준을 “e” 로 평가하며, 즉시 보강 또는 개축을 실시한다.
- PSC 부재는 균열이 발생하지 않도록 설계하므로, 균열이 없을 경우의 평가기준은 “a” 로, 0.5mm 이상의 균열이 발생할 경우 내하력저하로 인한 거더의 안전성능이 우려되므로 “e” 로 분류한다.
- PSC 박스거더의 경우 하부플랜지와 복부는 거더로 평가하며, 상부플랜지는 바닥판으로 평가한다.
- 부재에 발생한 손상은 콘크리트 부분에 국한된 표면손상과 철근노출, 탄산화 및 염화물로 인한 철근부식 가능성이 있는 철근부식 손상으로 구분하여 평가한다.
- 설계 시공방법을 검토하여 인장균열을 제어하기 위해 긴장재 긴장을 한 프리플렉스교의 경우에는 프리스트레스트 콘크리트로 평가할 수 있다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

5) 콘크리트 가로보

【표 4.8】 콘크리트 가로보 평가기준

기준	균열	열화 및 손상, 철근부식
a	•균열폭 0.1mm미만	•없음
b	•균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	•표면 손상면적 2%미만
c	•균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만	•표면 손상면적 2%이상~10%미만 •철근부식 손상면적 2%미만
d	•균열폭 0.5mm이상	•표면 손상면적 10%이상 •철근부식 손상면적 2%이상
e	—	—

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 콘크리트 교량의 RC 및 PSC 가로보와 라멘교의 기둥과 기둥 사이를 연결하는 중간보의 평가를 적용한다.
- 2차부재인 철근콘크리트 가로보의 경우, 평가기준 범위를 “a~d”로 한다.
- 부재에 발생한 손상은 콘크리트 부분에 국한된 표면손상과 철근노출, 탄산화 및 염화물로 인한 철근부식 가능성이 있는 철근부식 손상으로 구분하여 평가한다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

6) 강 가로보와 세로보

【표 4.9】 강 가로보와 세로보 평가기준

기준	모재 및 연결부 손상				표면열화
	부재의 균열	변형, 파단	연결 볼트 이완, 탈락	용접연결부 결함	
a	•없음	•없음	•없음	•없음	•없음
b	•보조부재의 국부적 균열	•보조부재의 국부적 변형	•보조부재 2%미만	•부분적 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷)	•부식발생 면적 2%미만
c	•보조부재의 전반적 균열 •주부재의 국부적 균열	•주부재의 국부적 변형 •변형 및 충격에 의한 손상발생	•보조부재 2%이상~10%미만 •주부재 2%미만	•주부재의 심한 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷) •부분적 용입부족, 용접누락	•부식발생 면적 2%이상~10%미만 •부식에 의한 단면 손상 면적 2%미만
d	•주부재의 전반적 균열	•주부재의 압축부 좌굴에 의한 변형 •부재의 파단 발생	•보조부재 10%이상 •주부재 2%이상	•인장플랜지 용접 연결부 용입부족 및 용접누락으로 인한 안전성능저하	•부식발생 면적 10%이상 •부식에 의한 단면 손상 면적 2%이상
e	—	—	—	—	—

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 강I거더교, 플레이트거더교, 강박스거더교, 트러스교, 아치교 및 케이블교량의 강 가로보와 세로보의 평가에 적용한다.
- 2차부재인 강제 가로보 및 세로보의 경우 평가기준 범위를 “a~d”로 한다.
- 주부재라 함은 가로보(세로보)의 구성요소 중 하중을 직접 전달하는 요소를 말하며, 보조부재라 함은 주부재의 변형을 방지하기 위한 보강재를 말한다. 즉, 가로보의 경우 상·하부 플랜지, 복부판은 주부재이며, 수직보강재는 보조부재이다.
- 용접연결부 결함에 대한 평가기준을 용접불량의 종류에서 내하력 저하를 유발하지 않는 가벼운 용접결함(기공, 슬래그, 언더컷)과 내하력 저하 가능성이 있는 중대 용접결함(용접누락, 용입부족)으로 구분하여 서로 다른 평가기준을 적용한다.
- 부식 발생면적과 도장 손상면적을 구분하여 평가한다. 즉, 도장손상은 도장탈락, 변색 등 강재를 보호하는 도장의 기능이 저하된 상태를 말하며, 부재의 내하력 저하와 무관하므로 평가기준을 완화하고, 부식이 발생하였을 경우에는 부식에 의한 단면손상이 시작되었다고 볼 수 있으므로 보다 엄격한 평가기준을 적용한다.
- 강 부재의 균열은 모재 및 용접연결부 균열을 포함한다.

7) 케이블

【표 4.10】 케이블부재 평가기준

기준	케이블 부재			정착구	행어밴드, 새들
	부식	손상, 단선	보호관		
a	•없음	•없음	•없음	•없음	•없음
b	•점녹발생길이 10% 미만	•케이블의 변형발생	•보호관 파손길이 2%미만	•정착구 누수발생	—
c	•점녹발생길이 10%이상 •부식발생길이 2%미만 •내부소선 부식발생	•케이블의 변형으로 소선 손상 •소선단선 개수 2%미만	•보호관 파손길이 2%이상~ 0%미만	•표면부식 발생 •변형 발생 •댐퍼 열화, 변형 •정착구 체수로 인한 강재부식 및 콘크리트 열화 발생	•부식발생 •행어밴드 고정볼트 긴장력 감소
d	•부식발생길이 2%이상 •부식에 의한 단면감소발생 •내부소선 부식으로 인한 단면 손상	•소선단선개수 2%이상~ 0%미만	•보호관 파손길이 10%이상	•부식으로 인한 단면손상 발생 •부분적인 파손 •댐퍼 이탈 파손 •정착구 체수로 인한 강재 단면 손상 및 콘크리트 파손 발생	•부식에 의한 단면 손상 발생 •볼트이완 및 탈락 발생
e	•부식에 의한 케이블 소선 단선 발생	•소선단선개수 10%이상	—	•부식 및 파손으로 인한 정착구 안전성능 저하	•볼트이완 및 탈락으로 인한 변위 및 변위 발생 •행어밴드 및 새들 파손

< 해설 >

- 본 평가기준은 현수교의 주케이블과 행어케이블, 사장교의 사장재 및 기타형식의 교량 케이블의 평가에 적용한다.
- 점녹이라 함은 도장두께부족이나 도장하부의 염분입자 등으로 인해 점 모양의 부식이 발생한 것을 말하며, 일반적인 부식평가 기준에 비해 완화된 기준을 적용한다.
- 부식에 의해 발생한 단선은 조치를 취하지 않으면 연속적인 단선이 발생할 가능성이 크므로 엄격한 기준을 적용하여야 하나, 시공중 또는 공용중 일시적으로 발생한 충격에 의해 발생한 단선은 동일한 충격이 지속적으로 반복되지 않으면 손상이 진행되지 않으므로 부식에 의한 단선보다는 완화된 기준을 적용한다.
- 내부소선의 부식발생여부는 췌기조사방법에 의해 확인한다.
- 사장교 사장재에 보호관이 설치되어 있을 경우, 부분적으로 절취하여 케이블의 상태를 확인할 수 있으나, 전체적인 케이블의 상태를 직접적으로 확인할 수 없으므로, 보호관의 상태만 평가한다. 이 경우 보호관의 상태안전성능 기준 범위는 “a~d”이며, 보호관의 손상길이가 전체길이의 10%이상일 경우(d)에는 손상된 보호관을 제거한 후 케이블의 상태를 직접 확인하여야 한다.
- 현수교의 주탑상부와 앵커블록 내에 설치된 새들은 구조적으로 케이블 부재는 아니지만, 새들의 상태는 주탑이나앵커블록보다 케이블의 안전과 밀접한 연관이 있으므로 케이블부재의 평가항목에 포함한다.

8) 긴장재

【표 4.11】 긴장재 평가기준

기준	강연선 노출 및 손상	시멘트 그라우트 충전 결함	보호관 손상
a	•노출없음	•충전결함 없음	•이상 없음
b	•노출 ¹⁾	•충전결함	•손상 ⁵⁾
c	•표면부식 ²⁾	•충전결함 시 염화물함량 ⁴⁾ 1.2kg/m ³ 이상~2.5kg/m ³ 미만	—
d	•단면손실을 동반한 부식 ³⁾	•충전결함 시 염화물함량 2.5kg/m ³ 이상	—
e	•강연선(소선) 파단(단선)	—	—

주1) 노출 : 강연선이 그라우트 충전결함으로 피복되지 않은 상태

주2) 표면부식 : 표면에 녹이 발생한 상태

주3) 부식 : 발청이 진전되어 단면감소가 발생한 상태

주4) 염화물함량 : 전 염화물 이온량 기준

주5) 보호관손상 : 누수 또는 백태, 단차, 파손 등

< 해 설 >

- 시멘트 그라우트의 전염화물 이온량은 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 내구성능 기준으로 평가한다.
- 외부텐던에 대한 내부 충전결함은 강구막대를 이용한 청음조사가 일반적으로서 격벽상단변곡부(크라운부) 및 방향전환블럭 전·후 1.5m 구간에 대해 기본과업으로 실시한다.
- 강연선이 노출되어 있으나 표면부식이 없는 경우는 “b” 이고 표면부식이 있으면 “c” 이며 단면손실이 발생한 경우 “d” 이다.
- 외부긴장재의 보호관은 강연선과 충전재(그라우트)의 케이싱 역할로 중요도가 높지 않으므로 평가기준 범위를 “a~b” 로 하며, 평가기준이 “b” 일지라도 보호관 역할을 수행 못 할 정도의 손상이 조사되었을 경우에는 책임기술자가 판단하여 보수방안을 제시한다.
- 강연선의 파단(단선) 시작은 연속적인 추가 파단으로 이어질 수 있으므로 시설물의 사용을 중지하고 장력시험(외부강연선) 또는 재하시험(내부강연선)을 실시하여 결과에 따라 보수·보강 이후 계속사용 또는 개축을 검토하여야 한다.
- 강연선의 기준 “a~e” 와 시멘트그라우트의 기준 “c~d” 를 산정하기 위한 선택과업(천공시험, 내시경조사 등)은 책임기술자의 기술적인 판단에 따라 관리주체의 승인을 받아 실시하여야 한다.
- 내부긴장재의 경우 외관조사 시 프리스트레스트 콘크리트거더 상태안전성능 균열 평가 기준 “d, e” 에 해당하는 균열폭의 구조적균열이 발견될 경우 균열에 대한 분석을 실시하여 긴장재 손상과 관련된 구조적 균열로 의심될 경우 책임기술자의 판단에 따라 천공 시험 등을 실시하여 강연선의 평가기준을 적용하여야 한다.
- 이때, 선택과업(국부변형시험, 천공시험, 내시경조사, 국부파취조사, 장력시험 등)에 대한 비용 산정은 필요시 견적을 받아 실제비용으로 계상한다.

9) 교대

【표 4.12】 교대 평가기준

기준	균열, 변위	열화 및 손상
a	•구체 균열폭 0.1mm미만	•없음
b	•구체 균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	•표면 손상면적 2%미만 •앵커블록 내부 결로 발생
c	•구체 균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만 •교대와 날개벽 사이에 폭 1.0mm이상의 균열 발생	•표면 손상면적 2%이상~10%미만 •철근부식 손상면적 2%미만 •앵커블록 내부 결로에 의한 체수
d	•구체 균열폭 0.5mm이상~1.0mm미만 •날개벽 기울음 및 손상 심화(배면토 유출) •기초의 부등침하로 인한 구체 기울음	•표면 손상면적 10%이상 •철근부식 손상면적 2%이상
e	•구체 균열폭 1.0mm이상 •날개벽 전도 위험 있음 •부등침하로 인한 교대 안전성능 저하	•코핑부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성 있음 •심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성능이 저하됨

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 콘크리트로 시공된 모든 형식의 교대와 현수교의 앵커블록의 평가에 적용한다.
- 균열폭에 관한 상태안전성능 기준은 교대 구체에서 발생한 균열에 국한한다.
- 열화 및 손상과 철근부식은 표면손상 면적과 부식으로 인한 철근의 단면손상 발생면적으로 평가한다.
- 상부구조의 침하 및 단차가 발생하거나, 받침 연단부 파손으로 거더의 탈락이 우려되는 경우 “e”로 평가하며, 즉시 보강 또는 개축을 실시한다.
- 타정식 현수교의 앵커블록은 교대의 평가기준에 준하여 평가하며, 앵커블록을 제외한 하부구조물중에서 하중지지와 토류벽체의 기능을 동시에 갖고 있으면 교대로, 하중지지 기능만 있을 경우에는 교각으로 평가한다.
- 자정식 현수교의 주케이블이 정착되는 교각은 교각의 평가기준에 준하여 평가한다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

10) 콘크리트 교각

【표 4.13】 콘크리트 교각 평가기준

기준	균열, 변위	열화 및 손상
a	•균열폭 0.1mm미만	•없음
b	•균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	•표면 손상면적 2%미만
c	•균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만	•표면 손상면적 2%이상~10%미만 •철근부식 손상면적 2%미만
d	•균열폭 0.5mm이상~1.0mm미만 •기초의 부등침하로 인한 구체 기울음	•표면 손상면적 10%이상 •철근부식 손상면적 2%이상
e	•균열폭 1.0mm이상 •부등침하로 인한 교대 안전성능 저하	•코핑부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성 있음 •심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성능이 저하됨

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 콘크리트로 시공된 모든 형식의 교각의 평가에 적용한다.
- 열화 및 손상과 철근부식은 표면손상 면적과 부식으로 인한 철근의 단면손상 발생면적으로 평가한다.
- 코핑부 파손으로 거더의 탈락이 우려되는 경우 “e” 로 평가하며 즉시 보강 또는 개축을 실시한다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

11) 기초

【표 4.14】 기초 평가기준

기준	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상	지반의 안전성
a	•없음	•없음
b	•직접기초(확대기초)에 폭 0.3mm 미만의 균열 발생	•매립된 직접기초(확대기초)의 상부가 세굴 등에 의해 노출됨
c	•직접기초(확대기초)에 폭 0.3mm이상의 균열 및 단면손상 발생 •침식, 충돌 등에 의한 말뚝 및 케이슨 기초의 단면손상 발생	•세굴이 직접기초(확대기초)의 하단까지 진행되어 말뚝 및 케이슨기초가 부분적으로 노출됨
d	•직접기초(확대기초)의 파손으로 인한 철근노출 발생 •침식, 충돌 등에 의한 말뚝 및 케이슨 기초의 철근노출 발생	•세굴에 의해 말뚝 및 케이슨기초가 전반적으로 노출됨 •기초의 부등침하 및 측방유동에 의해 교대/교각이 기울음
e	•기초의 파손 및 침식으로 인한 하부 구조물의 안전성능 저하	•기초의 부등침하 및 측방유동에 의한 교대/교각의 기울음으로 인해 상부구조의 단차 및 파손 발생

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 케이블 교량의 주탑기초를 포함하여 모든 하부구조물의 기초의 평가에 적용한다.
- 기초 자체의 손상항목에는 직접기초(파일두부)의 파손, 파일의 손상 및 결함 등이 있으며, 지반의 안정성항목으로는 기초의 근입장 부족, 측방유동, 세굴 등에 의한 기초의 부등침하가 중요한 평가항목이 된다.
- 지반의 안정성 평가항목의 경우, 세굴이 진행하여 기초 하부의 국부적인 노출이 발생하면 평가기준은 “c” 로 평가하고, 기초하부의 전반적인 노출 및 부등침하 발생시 “d” 로 평가하며, 부등침하로 인한 상부구조물의 안전에 위해가 발생할 경우 “e” 로 평가한다.

12) 교량받침

【표 4.15】교량받침 평가기준

기준	받침 본체		받침콘크리트
	탄성받침	강재받침	
a	•외관상태 양호	•외관상태 양호	•외관상태 양호
b	•미세균열, 갈라짐 등 경미한 열화	•외부 도장탈락 및 부식 •도장탈색, 먼지 쌓임	•부분적 박리, 탈락 등 손상
c	•균열이 심화되어 고무재가 갈라짐 •전단변형량이 받침고무 두께의 0.7배(사용한계 상태) 이상	•미끄럼판 부식 발생 •부분적 변형, 고정장치 파손 및 이완	•받침 콘크리트에 0.3mm이상 균열 발생 •박리, 탈락 등 손상으로 지지단면 감소, 기능상 장애
d	•고무 본체의 보강 철판에 부식이 진행됨 •측면 부풀어 고무재에 균열이 발생함 •전단변형량이 받침고무 두께의 1.5배(극단상황한계상태) 이상 •받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만 •받침의 신축기능 불량	•받침 본체부식으로 인한 받침 신축거동 장애발생 •받침 본체 파손 •받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2미만	•받침 콘크리트 파손 및 하부공동으로 받침의 탈락 및 침하 발생가능성 있음
e	•받침 신축기능 불량으로 인하여 받침 본체 및 거더(바닥판)의 파손 발생 •받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2이상	•받침 신축기능 불량으로 인하여 거더등 주부재의 파손 발생 •받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2이상 •작동불능 상태	—

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 강재 및 탄성받침의 평가에 적용하며, 기타 특수받침의 경우에도 본 평가 기준을 준용한다.
- 받침 본체는 평가기준 범위는 “a~e”를 유지하고, 받침콘크리트는 본체에 비하여 중요도가 낮으므로 “a~d”로 한다.

13) 신축이음

【표 4.16】신축이음 평가기준

기준	본체	후타재
a	•없음	•양호
b	•토사, 이물질 퇴적 •고무판 노화	•미세균열 발생
c	•물받이 미설치 또는 파손으로 인한 누수 •유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화 •고무판 균열, 볼트 또는 너트의 부분 탈락 •누수로 인하여 신축이음 하부의 받침 및 코핑부에 이물질 퇴적 및 부식발생 •설계온도 범위에서 허용신축유량 초과시	•균열이 50cm이하의 간격으로 발생 •국부적인 박리, 박락, 파손
d	•강판유동 및 연결불량으로 이상을 발생 •신축유간이 밀착으로 인한 거동불량 •신축유간이 넓어 차량통행에 지장 초래 •신축이음 본체 탈락, 파손 및 작동 불능	•신축이음의 심한 파손 및 단차로 인하여 차량통행 시 충격발생 •파손 범위가 후타재 폭 이상으로 큼
e	—	—

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 모든 신축이음의 평가에 적용한다.
- 기타부재인 신축이음의 평가기준 범위를 “a~d” 로 한다.
- 신축이음 본체 하부의 전체적인 부식 및 변형이 발생하는 경우 “d” 로 평가하며, 긴급보수·보강을 실시한다.
- 후타재 균열이 30cm이하의 간격으로 발생하거나, 전반적인 파손과 단차가 발생하면 평가를 “d” 로 한다.

14) 교면포장

【표 4.17】아스팔트 콘크리트 교면포장 평가기준

기준	포장불량		배수
a	•미세균열	•없음	•없음
b	•포장불량률 5%미만	•포장손상이 미미하여 주행에 영향이 없는 상태	•배수경사 및 배수시설 불량에 의한 부분적인 물고임이 발생한 상태
c	•포장불량률 5%이상~10%미만	•포장손상으로 인하여 차량의 통행에 영향을 미치는 상태	•배수경사 및 배수시설 불량에 의한 물고임 발생으로 주행성을 저하시키는 상태
d	•포장불량률 10%이상	•포장손상이 심하여 전반적인 보수가 필요하거나 재포장을 고려해야하는 상태	•배수불량에 의한 물고임으로 통행차량의 안전성이 저하되는 상태
e	—	—	—

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 아스팔트 콘크리트 교면포장 상태평가에 적용한다.
- 교면포장의 평가기준 범위를 “a~d” 로 한다.

- 평가기준 “d” 는 균열률을 포함하여 포장불량이 10%이상인 상태 즉, 전반적인 재포장이 필요한 상태로 평가한다.
- 포장불량률은 균열발생부, 표면이 노화되어 마모된 부분, 상온형 아스콘 등으로 임시 보수된 부분 등의 면적을 전부 더한 값을 경간면적으로 나눈 비율이다.
- 평가기준 “d” 는 균열율을 포함하여 포장불량이 10%이상인 상태로 전반적인 보수가 필요하거나 또는 재포장을 고려해야하는 상태로 평가하며, 캔틸레버부 상면에 뚜렷한 폭의 균열(5mm 이상) 발생, 교축방향 연속적인 균열 발생, 교면 포장 보수 또는 재포장 후 기존 손상과 유사한 손상이 지속 발생하는 경우 등에 해당하면 [표 1.37의2] 콘크리트 바닥판 상세조사 상태평가를 실시하여야 한다.
- 필요시 관리주체는 포장부에 대한 코어시험 및 GPR탐사 등을 추가과업으로 실시할 수 있으며, 책임기술자는 시험 및 탐사결과와 상태평가 결과를 종합적으로 분석하여 보수 또는 재포장 여부를 결정할 수 있다.
- 선택과업(코어시험, GPR탐사 등)은 책임기술자의 기술적인 판단에 따라 관리주체의 승인을 받아 실시한다.
- 이때, 선택과업(코어시험, GPR탐사 등)에 대한 비용산정은 지침에 따라 실비로 계상한다.

▷ 코어시험	○포장 균열부의 깊이, 방수층 손상, 콘크리트 상판 손상 등 확인
▷ GPR탐사	○포장 두께, 공동, 체수 여부 등 취약부위의 확인

【표 4.18】 시멘트 콘크리트 교면포장 평가기준

기준	포장불량		배수
a	•미세균열	•없음	•없음
b	•포장불량률 10%미만	•포장손상이 미미하여 주행에 영향이 없는 상태	•배수경사 및 배수시설 불량에 의한 부분적인 물고임이 발생한 상태
c	•포장불량률 10%이상~30%미만	•포장손상으로 인하여 차량의 통행에 영향을 미치는 상태	•배수경사 및 배수시설 불량에 의한 물고임 발생으로 주행성을 저하시키는 상태
d	•포장불량률 30%이상	•포장손상이 심하여 전반적인 보수가 필요하거나 재포장을 고려해야하는 상태	•배수불량에 의한 물고임으로 통행차량의 안전성이 저하되는 상태
e	—	—	—

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 시멘트 콘크리트 교면포장 상태평가에 적용한다.
- 기타부재인 교면포장의 평가기준 범위를 “a~d” 로 한다.
- 포장불량률은 균열발생부, 표면이 노화되어 마모된 부분, 상온형 아스콘 등으로 임시보수된 부분 등의 면적을 전부 더한 값을 경간면적으로 나눈 비율이다.
- 평가기준 “d” 는 균열률을 포함하여 포장불량이 30%이상인 상태로 전반적인 보수가 필요하거나 또는 재포장을 고려해야하는 상태로 평가하며, 캔틸레버부 상면에 뚜렷한 폭의 균열(0.5mm 이상)

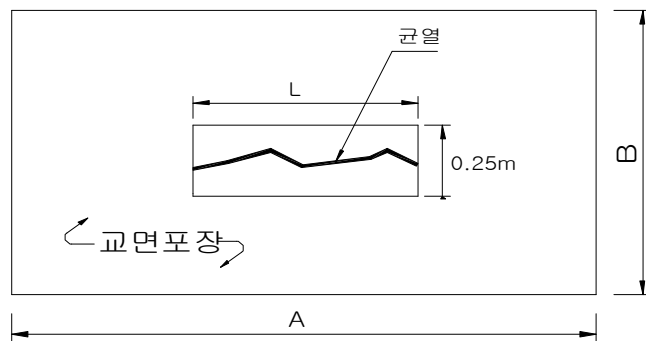
발생, 교축방향 연속적인 균열 발생, 교면 포장 보수 또는 재포장 후 기존 손상과 유사한 손상이 지속 발생하는 경우 등에 해당하면 [표 1.37의2] 콘크리트 바닥판 상세조사 상태평가를 실시하여야 한다.

- 필요시 관리주체는 포장부에 대한 코어시험 및 GPR탐사 등을 추가과업으로 실시할 수 있으며, 책임기술자는 시험 및 탐사결과와 상태평가 결과를 종합적으로 분석하여 보수 또는 재포장 여부를 결정할 수 있다.
- 선택과업(코어시험, GPR탐사 등)은 책임기술자의 기술적인 판단에 따라 관리주체의 승인을 받아 실시한다.
- 이때, 선택과업(코어시험, GPR탐사 등)에 대한 비용산정은 지침에 따라 실비로 계상한다.

▷ 코어시험	○포장 균열부의 깊이, 방수층 손상, 콘크리트 상판 손상 등 확인
▷ GPR탐사	○포장 두께, 공동, 체수 여부 등 취약부위의 확인

주1) 균열률 산정 방법

■ 1방향 균열인 경우

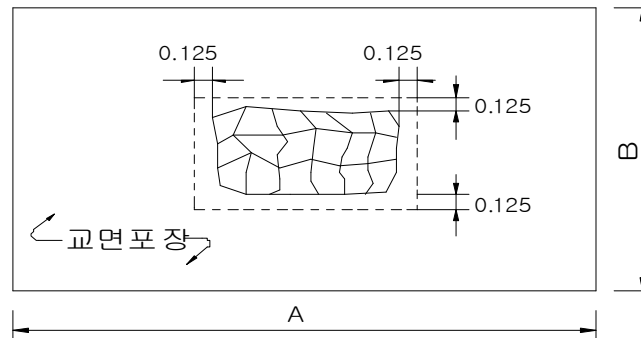


- 균열발생 면적은 길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하며, 균열의 개수가 2개 이상인 경우는 각 균열 길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 구한다.
- 1방향 균열 포장불량률 산정은 다음 식과 같다.

$$\frac{\sum \text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\sum \text{균열길이}(L) \times 0.25}{A(m) \times B(m)} \times 100 = \%$$

- 여기서, 조사단위 면적은 바닥판 한경간의 면적을 말한다.

■ 2방향 균열인 경우



- 균열발생 면적은 균열부위를 가로,세로의 최외측 균열을 경계로 사각형으로 구획한 후, 점선 내면면적인(가로길이+0.25m)×(세로길이+0.25m)로 구한다.
- 2방향 균열 포장불량을 산정은 다음 식과 같다.

$$\frac{\sum \text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100 = \frac{\sum \text{균열발생면적}(\text{m}^2)}{A(\text{m}) \times B(\text{m})} \times 100 = \%$$

- 여기서, 조사단위 면적은 바닥판 한 경간의 면적을 말한다.

주2) 포장불량률 산정 방법

- 포장불량률은 1·2방향 균열면적률 및 그 외 손상면적률을 전부 더한 값을 말한다.
- 포장불량률 = 1·2방향 균열 면적률(%) + 그 외 손상 면적률(%) = 포장불량률(%)

15) 배수시설

【표 4.19】 배수시설 평가기준

기준	상태기준 설명
a	•양호
b	•다소의 퇴적물이 있으나 배수에는 이상 없음
c	•배수시설의 상태불량, 길이부족 •많은 퇴적물, 누수 •누수로 인하여 구조물 부식 발생 •배수관 유출구 위치가 부적절하여 하부통행에 따른 위험 초래
d	•파손이나 노후화로 인하여 재설치가 필요한 상태
e	—

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 모든 배수시설의 평가에 적용한다.
- 기타부재인 배수시설의 평가기준 범위를 “a~d” 로 한다.
- 평가기준 “d” 는 파손이나 노후화로 인하여 재설치가 필요한 상태로 정의한다.
- 한 경간에 두 개 이상의 배수시설이 있는 경우 각 배수시설의 평가기준 중 최저값을 배수시설의 평가결과로 한다.

16) 보호시설

【표 4.20】 보호시설 평가기준

기준	강 재		콘크리트
a	•양호	•양호	•양호
b	•도장불량 10%미만	•고정장치 및 연결재의 이완이 국부적 발생	•경미한 손상, 0.3mm이하 균열
c	•도장불량 10%이상 •부식으로 인한 단면 손상 10%미만	•파손 및 탈락 10%미만	•0.3mm이상 균열 •박리, 파손, 철근노출 10%미만 •철근부식손상 길이 2%미만
d	•부식으로 인한 단면 손상 10%이상	•파손 및 탈락 10%이상 •낙석으로 인한 손상발생 •고정부 열화 및 손상으로 인한 전도의 위험이 있음 (방호벽)	•박리, 파손, 철근노출 10%이상 •철근부식손상 길이 2% 이상
e	—	—	—

< 해 설 >

- 본 상태안전성능 기준은 강재 및 콘크리트 난간 및 연석을 포함하여 모든 난간과 연석의 평가에 적용한다.
- 기타부재인 난간과 연석의 평가기준 범위를 “a~d” 로 하며, 평가단위는 부재의 길이로 한다.
- 중앙분리대, 방호벽, 방음벽의 평가시 난간 및 연석의 평가기준을 적용한다.
- 강재의 경우 도장 변색 및 손상 평가길이의 10%이상 즉, 단면 결손으로 차량이나 사용자에게 위험 가능성이 있는 평가기준은 “c” 로 평가한다.
- 콘크리트는 0.3mm이상의 균열이 발생할 경우 평가기준은 “c” 로 평가하며, 보수 및 보강을 실시한다.
- 책임기술자의 판단하에 구조적균열, 비구조적 균열을 구분하여 평가할 수 있다. 단, 책임기술자가 비구조적균열로 판단할 경우 손상종류, 위치, 크기(균열폭), 등급조정, 사유 등을 별도로 작성하여 반드시 조정내역을 보고서에 수록하도록 한다.

다. 공중이 이용하는 부위

평가 항목	평가 등급	평가 기준
추락 방지 시설	a	•손상 및 결함 등이 없는 최상의 상태
	b	•추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태
	c	•추락방지시설에 결함 및 파손으로 인하여 기능에 일부 문제가 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
	d	•고정부 및 연결부 파손 등으로 인해 추락방지시설의 전도 및 이탈이 발생할 수 있어 즉각적인 보수·보강이 필요한 상태
	e	•추락방지시설의 전반적 기능저하로 사용자의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지해야 하는 상태
도로 포장 파손	a	•포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태
	b	•포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생한 상태로 차량주행에 문제는 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
	c	•포장 결함 및 파손이 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아니나 차량 운전자에게 불쾌감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태
	d	•깊이 8cm이상의 포트홀에 의해 차량에 심각한 손상이 발생할 수 있어 즉각적인 보수가 필요한 상태 •배수불량으로 인한 주행차로 상시 물고임으로 통행차량의 안전성 저하가 우려되는 상태
	e	•도로포장 결함 및 파손 정도가 심각하고 차량주행이 불가하여 차량통행 제한 및 사용금지가 필요한 상태
도로부 신축 이음 부	a	•신축이음부에 손상이 없는 상태
	b	•신축이음 본체의 토사 및 이물질 퇴적, 고무판 노후, 후타재의 미세균열이 발생한 상태로 기능발휘에는 지장이 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
	c	•신축이음 본체의 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화가 발생한 상태 또는 후타재의 균열이 50cm이하의 간격으로 발생하거나, 국부적인 박리, 박락, 파손이 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
	d	•신축유간 밀착으로 인한 거동불량 또는 신축유간이 넓어 차량통행에 지장을 초래할 수 있어 교체가 필요한 상태 •신축이음의 파손 상태가 심각하여 차량통행 시 충격이 발생하는 등 긴급한 보수·보강이 필요한 상태
	e	•신축이음부 본체 탈락으로 차량주행 시 파손을 유발하거나, 주행 중 사고의 원인이 될 수 있는 상태
환기구 등의 덮개	a	•환기구 등의 덮개가 최상의 상태
	b	•덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없고 기능성에 문제가 없는 상태 •기능성에 문제가 없어 결함 및 파손에 대해 지속적 관찰이 필요한 상태
	c	•덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능에 일부 문제가 발생하여 보수가 필요한 상태
	d	•덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능이 상실되어 국부적인 교체 및 보강이 필요한 상태
	e	•결함 및 파손 정도가 심각하거나 덮개 등이 탈락된 상태

라. 구조형식에 따른 부재별 가중치

【표 4.21】 일반교량 부재별 가중치

성 능 구 분	시 설 물		일반교량									비 고
			Slab교	거더 분리형 교량			일체형 교량		라멘교			
				일반	2차 부재 없음	바닥판 없음	강 바닥판	PSC 박스	거더 없음	거더		
										2차 부재	2차 부재 없음	
상 태 안 전 성 능	상부 구조	바닥판	44	15	17	－	15	15	44	15	19	
		거더	－	25	27	44	25	25	－	25	25	
		2차부재	－	4	－	14	4	4	－	4	－	
	하부 구조	교대 /교각	13	13	13	13	13		13	13	13	
		기초	12	12	12	12	12		12	12	12	
	받침	교량 받침	15	15	15	15	15		15	15	15	
	기타	신축 이음	7	7	7	－	7		7	7	7	
		교면 포장	4	4	4	－	4		4	4	4	
		배수 시설	3	3	3	－	3		3	3	3	
		보호 시설	2	2	2	2	2		2	2	2	
	소계			100	100	100	100	100	100	100	100	

<해 설>

- 기둥, 거더 및 슬래브로 구성된 복개구조물은 거더가 있는 라멘교에 준해서 평가하며, 박스형 복개구조물은 터널시설물의 상태안전성능 기준에 따라 평가한다. 단, 박스형 복개구조물 상부슬래브에 차량하중 작용시 라멘교에 준해서 평가한다.
- 교량받침이 없는 라멘교의 경우, 교량받침에 할당된 가중치를 바닥판, 거더, 교대/교각의 가중치에 균등하게 배분한다.
- 기타시설물(신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간/연석)이 없는 경우, 기타시설물에 할당된 가중치는 바닥판의 가중치에 포함시킨다.
- 기초에 대한 평가가 수행되지 않았을 경우, 기초에 할당된 가중치는 교대/교각의 가중치에 포함시킨다.
- 긴장재는 거더에 긴장력을 도입하여 일체로 거동하는 부재이므로 거더에 포함하여 평가하고, 긴장재의 가중치는 거더와 균등하게 배분한다.

【표 4.22】 특수교량 부재별 가중치

성 능 구 분	시 설 물		특수교량								비 고
			아치교•트러스교		현수교		사장교		엑스트라도즈드교		
			바닥판	바닥판 없음	일반 거더형	보강형, PSC 거더형	일반 거더형	보강형, PSC 거더형	일반 거더형	보강형, PSC 거더형	
상 태 안 전 성 능	상부 구조	바닥판	4	—	10	—	11	—	15	—	
		거더 (보강형)	11	13	10	15	11	17	13	18	
		아치리브 •트러스	15	15	—	—	—	—	—	—	
		케이블	12	13	22	30	21	29	10	23	
		2차부재	2	3	3	—	3	—	3	—	
	하부 구조	주탑	—		13		13		13		
		보조주탑	—		4		4		4		
		교대 (앵커블럭)	13		8		5		5		
		교각			—		3		3		
		기초	12		4		3		3		
	받침	교량받침	15		10		10		15		
	기타	신축이음	7		7		7		7		
		교면포장	4		4		4		4		
		배수시설	3		3		3		3		
		보호시설	2		2		2		2		
	소계			100	100	100	100	100	100	100	100

<해설>

- 케이블의 구조적 기여도는 현수교>사장교>엑스트라도즈드교의 순이며, 거더의 기여도는 이와는 반대로 현수교<사장교<엑스트라도즈드교 순이다.
- 상기 표에서 일반거더형이라 함은 바닥판과 거더가 구분되어 있는 교량을 말하며, 보강형과 PSC 박스는 박스단면의 상부플랜지가 바닥판의 역할을 하는 폐합된 거더의 형태를 말한다.
- 일반거더형 케이블 교량의 경우 바닥판과 거더는 일반교량의 바닥판과 거더의 상태안전성능 기준에 준하여 평가하고, 보강형은 강거더, PSC 박스는 PSC 박스거더 부재의 상태안전성능 기준에 준하여 평가한다. 또한, 보강형 내부의 격벽은 강재 가로보의 상태안전성능 기준에 준하여 평가한다.
- 상기 표에서 교각이라 함은 하부구조물중에서 주탑, 앵커블록 및 교량 양단부의 교대(교각)를 제외하고 케이블 교량구간에 추가로 설치된 교각을 말하며, 추가 설치된 교각이 없을 경우에는 교각의 가중치를 교대의 가중치에 포함한다.
- 보조주탑은 강주탑과 기초사이에 설치되어 주탑의 하중을 기초로 전달하는 콘크리트 기둥을 말하며, 콘크리트 교각(주탑)의 상태안전성능 기준에 준하여 평가한다. 보조주탑이 없을 경우 보조주탑의 가중치를 주탑의 가중치에 포함한다. 기초는 주탑기초와 교대(교각)의 기초를 각각 평가하며, 주탑기초가 여러 개일 경우에도 개별적으로 평가한다.
- 기초에 대한 평가가 수행되지 않았을 경우, 기초에 할당된 가중치는 주탑(보조주탑이 있을 경우에는 보조주탑)과 교대/교각/앵커블록의 가중치에 균등 분배한다.
- 아치교, 트러스교의 케이블이 없을 경우, 케이블에 할당된 가중치는 바닥판, 거더, 아치리브/트러스에 균등분배 한다.
- 케이블교량 구간은 상부구조물의 하중이 케이블부재에 의하여 지지되는 구간까지를 말한다. 즉, 현수교의 주케이블이 일반교량 구간에 설치된 앵커블록에 연결된 경우에는 거더가 행어케이블에 의해 주케이블에 연결되는 구간까지를 현수교의 구간으로 정의한다.

마. 경간(지점)별 부재 상태안전성능 산정

개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태안전성능 결과 중 최저값을 개별부재 상태안전성능 결과로 산정한다.

한 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태안전성능 기준 중 최저값을 경간(지점) 상태안전성능 결과로 산정한다.

복개구조물은 바닥판의 장변방향으로 경간을 구분하고, 1경간의 길이는 약 50m 범위 또는 신축이음부를 경계로 경간을 구분하는 것으로 한다.

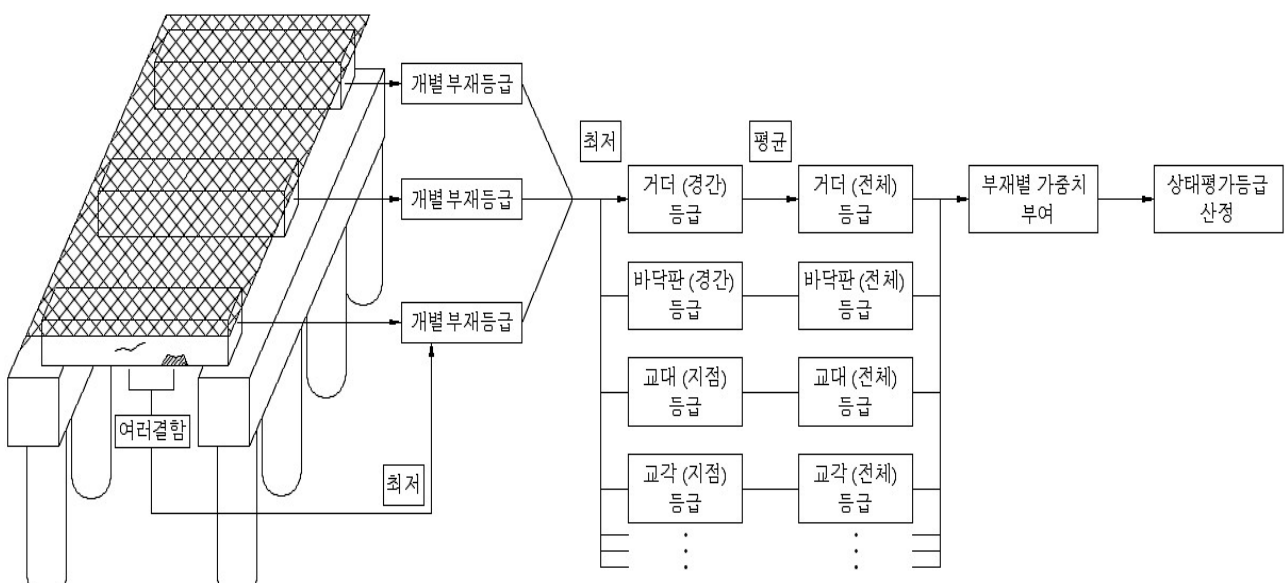
바. 전체 시설물의 상태안전성능 결과 결정

구조형식이 같은 부재에 대해 부재별로 평균하여 부재 상태안전성능을 결정한 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다. 환산결함도 점수는 시설물 전체의 상태안전성능 결과를 산정하기 위한 기준값이며, 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태안전성능 결과를 구한다.

【표 4.23】 결함도 점수 범위에 따른 기준

기준	A	B	C	D	E
결함도 지수	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
결함도 범위	$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

다음은 전체 교량의 상태안전성능 결과 산정 방법의 예를 도식화한 결과이다.



【그림 4.1】 전체 교량의 상태안전성능 결과 산정 예

4.1.3 구조안전성능 평가

가. 일반

구조안전성능 항목별 평가방법은 정량적으로 평가하기 어렵거나 또한 다양한 경우가 대부분이므로 상호의 평가결과를 비교하는 것이 필수적이다.

본 장에 기술되지 않은 평가항목으로서 시설물의 안전에 미치는 영향이 크다고 판단될 경우에는 구조안전성능 기준을 제시하고 의견서를 첨부하여 시설물의 평가에 반영할 수 있다. 또한, 시설물의 특성 및 제반 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

만약 구조안전성능이 상태안전성능보다 낮은 등급으로 결정 될 경우, 구조안전성능의 평가 등급에 따른 결함도 지수는 구조물의 안전측면을 고려하여 결함도 점수 범위에 따른 기준의 등급별 결함도 범위 점수 중 최저값을 사용하며 설정된 결함지수는 다음과 같다.

【표 4.24】 결함도 점수 범위에 따른 기준

기준	A	B	C	D	E
결함도 지수 (상태안전성능등급>구조안전성능등급)	0.129	0.259	0.489	0.789	0.999

나. 구조안전성능 기준

1) 내하력 평가

- 구조물의 구조안전성능은 주요 구조부재의 정밀외관조사, 비파괴 현장시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다.
- 강교의 경우 허용응력설계법(이하 ‘허용응력법’), 콘크리트교는 강도설계법(이하 ‘강도법’)으로 설계되었다.
- 구조안전성능 평가의 기본개념은 현행 도로교 설계방법으로 규정된 허용응력법과 강도법을 적용하며, 교량의 상부구조형식 및 사용재료에 따라 [표 1.57]와 같이 평가방법을 기본적으로 적용한다.
- 또한, 거더교의 바닥판은 강도법을 적용하며 표에 규정되어 있지 않은 상부구조형식을 갖는 교량의 평가방법에 대해서는 해당 교량형식의 설계방법이나 당초 설계법을 사용하여 평가한다.

【표 4.25】 상부구조 형식 및 구조재료에 따른 평가방법

구분	교량 상부구조 형식	교량 재료	안전성능 평가방법
콘크리트교	RC 슬래브교	철근콘크리트	강도법
	RC 라멘교	철근콘크리트	강도법
PSC교	RC T거더교	철근콘크리트	강도법
	PSC I거더교, PSC 박스 거더교	프리스트레스트 콘크리트	허용응력법, 강도법
강교	강 I거더교	압연강재	허용응력법
	강박스거더교	판형강재	허용응력법
콘크리트교 강교	플레이트거더교	판형강재	허용응력법
	한계상태설계법으로 설계된 교량	콘크리트, 강	한계상태설계법

※ PSC 거더의 하중단계별 응력검토는 허용응력법을 적용하며 극한하중에 대해 안전성능 검토를 강도법으로 수행하여야 한다.

- 구조안전성능 검토는 대상 교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 하고, 최근 도입되고 있는 신뢰성이론에 의한 평가방법은 충분한 통계자료가 뒷받침되어야 하므로 참고자료로 활용한다.
- 또한 교량의 구조안전성능은 내하력평가 개념으로 규정되어 왔으나 내하력은 활하중 여유도로서 하중비에 따라 내하력의 변동폭이 크게 변하므로 교량의 구조안전성능을 일관되게 평가하는 기준으로 적절하지 못하다.
- 따라서 구조안전성능은 교량의 안전율 개념을 도입하여 평가하였다. 그러나 안전율이 0.9에서 1.0 사이에 있어 재하시험에 의한 공용내하력 평가를 실시한 경우 공용내하력 산정결과에 따라 구조안전성능 결과를 산정한다.

【표 4.26】 구조물의 구조안전성능 기준

기준	구조안전성능 기준	비고
A	$SF > 1.0$	- 허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}}$ - 강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\Phi MN}{Mu}$
B	$0.9 \leq SF < 1$ 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	$0.9 \leq SF < 1$	
D	$0.75 \leq SF < 0.9$	
E	$SF < 0.75$	

① 허용응력법에 의한 공용내하력 평가

- 내하율의 평가

- 허용응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시에 하중조합으로는 $D+L(1.0+i)$ 을 사용하므로 하중계수는 각각 1.0이 된다.
- 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력을 사용하여 건설기준 코드(구 도로교 설계기준, 철도 설계기준) 규정에 의거 부재종류에 따라 결정한다.
- 고정하중과 활하중에 의한 응력은 대상 부재단면에 있어서 철근 및 강재부식, 콘크리트의 탄산화, 염해, 동해 등에 의한 강도저하와 단면손실 등을 고려하여 계산한다. 이때 고정하중은 현재 교량에 작용하고 있는 모든 고정하중을 가능한 한 정확히 고려한다. 활하중은 현행 건설기준코드(구 도로교 설계기준, 철도 설계기준)의 설계활하중을 사용한다.
- 허용응력법에 의한 내하율은 강 부재의 내하력 산정 시 적용하는 것이 바람직하며, 허용응력법에 의한 교량부재의 내하율은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{내하율}(RF) = \frac{f_a - f_d}{f_1(1+i)}$$

여기서, f_a = 실측 허용응력

f_d = 실측 고정하중에 의한 응력

f_1 = 설계 활하중 (도로교의 경우 DB 또는 DL하중,

철도교의 경우 KRL하중)에 의한 응력

i = 충격계수는 건설기준코드(구 도로교 설계기준, 철도 설계기준)에
서 제시한 설계 충격계수를 적용

－ 공용내하력의 산정

- 허용응력법에 의한 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{공용내하력}(P) = K_s \times RF \times P_r$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } K_s = \text{응답 보정계수} &= \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}} \\ \text{또는 응답 보정계수} &= \frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}} \end{aligned}$$

$i_{\text{계산}}$ = 도로교의 경우 건설기준코드(구 도로교 설계기준),

철도교의 경우 건설기준코드(구 철도 설계기준)

$i_{\text{실측}}$ = 동적재하시험으로부터 평가된 최대 충격계수값 = 설계 활하중
(도로교의 경우 DB 또는 DL하중, 철도교의 경우 LS하중)

$\delta_{\text{계산}}(\delta_{\text{실측}})$ = 이론적인 처짐량 (실측 처짐량)

$\epsilon_{\text{계산}}(\epsilon_{\text{실측}})$ = 이론적인 변형률 (실측 변형률)

② 강도법에 의한 공용내하력 평가

－ 내하율의 평가

- 강도법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시 도로교량 하중조합은 $1.3D+2.15L(1.0+i)$, 철도교량 하중조합은 $1.35D+1.85L(1.0+i)$ 을 사용하므로 하중계수는 각각 도로교량 1.3, 2.15, 철도교량 1.35, 1.85가 된다.
- 단면강도는 단면의 현재 상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 건설기준코드(구 도로교 설계기준, 철도 설계기준)의 공칭강도와 강도감소 계수에 따라 계산한다.
- 교량 설계시의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가 시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용 중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정한다.
- 그러나 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정 시는 교량의 현재 상태에 따른 단면감소와 코어 강도에 따른 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다.
- 고정하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 고정하중과 현행 건설기준코드(구 도로교 설계기준)의 설계 활하중(DB 또는 DL하중) 및 건설기준코드(구 철도 설계기준)의 설계활하중(KRL하중)을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다.

- 강도설계법에 의한 내하율은 콘크리트 부재의 내하력 산정에 적용하는 것이 바람직하다.

$$\text{내하율}(RF) = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)}$$

여기서, ϕM_n = 극한 저항모멘트 (강구조물 $\phi = 1$,

RC·PC구조물의 휨부재 $\phi = 0.85$)

M_d = 실측 고정하중모멘트

M_l = 설계 활하중에 의한 모멘트

(도로교의 경우 DB 또는 DL하중, 철도교의 경우 KRL하중)

γ_l = 활하중 계수

γ_d = 고정하중 계수

i = 도로교의 경우 건설기준코드(구 도로교 설계기준),

철도교의 경우 건설기준코드(구 철도 설계기준)

－ 공용내하력의 산정

- 강도설계법에 의한 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{공용내하력}(P) = K_S \times R_F \times P_r$$

$$\text{여기서, } K_S = \text{응답보정계수} = \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$$

$$\text{또는 응답보정계수} = \frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$$

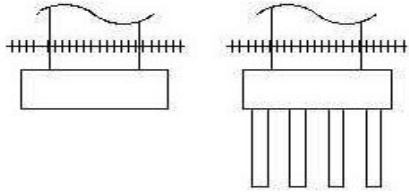
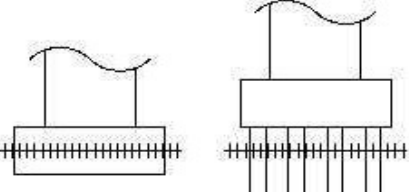
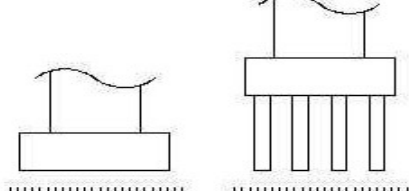
P_r = 설계활하중

(도로교의 경우 DB 또는 DL하중, 철도교의 경우 KRL하중)

2) 세굴을 포함한 기초안전성

- 교량의 안전성능에 영향을 주는 모든 하부구조 부재의 불안정한 흔적에 대하여 특별히 관리를 하여야 하며, 하부구조의 평가는 정확한 공학적 판단 하에 실시한다. 하부 구조물의 적정성 여부는 준공도면, 시공도면, 구조 계산, 평가 결과 및 기타 적절한 자료를 토대로 한다.
- 교각 및 교대를 포함한 하부구조는 상부구조를 지지할 수 있는 최소한의 안전성능 확보 유무가 평가되어야 하며, 우물통과 교각기초 사이의 거동, 기초가 암반에 근입된 상태, 교대의 부등침하, 전방이동 등을 고려해야 한다.
- 하천(해상)을 횡단하는 공용중인 교량에 대한 세굴을 포함한 기초안전성 평가방법은 세굴심 검토와 기초지반의 안전성을 평가하도록 한다.
- 세굴심 검토와 기초지반의 안전성을 검토하는 2단계의 평가절차를 적용한다. 1단계 (세굴심 검토)의 경우, 예상세굴심과 기초근입심도를 비교하여 3가지 경우로 구분한다.

【표 4.27】 세굴에 취약한 교량의 등급판정

구분	계산된 세굴심	필요한 조치
① 기초 상단 위에 세굴심 위치		조치가 필요 없음
② 기초 또는 말뚝 내에 세굴심 위치		기초의 구조 해석 수행
③ 기초 또는 말뚝하단 아래에 세굴심 위치		세굴심을 모니터링하고 필요시 세굴방지공 설치

<해 설>

- ① : 계산된 세굴심이 기초상단에 위치하여 안전조치가 필요 없는 경우를 말한다.
 ② : 기초 또는 말뚝 내에 계산된 세굴심이 있어 구조해석 결과에 따라 안전조치가 필요한 경우를 말한다.
 ③ : 계산된 세굴심이 기초나 말뚝 하단 아래에 위치하여 긴급한 안전조치가 필요한 경우를 말한다.

- 기초나 말뚝 내에 예상세굴심이 있는 경우는 2단계(기초안전성)구조해석 결과에 따라 안전조치가 필요한 경우로서 등급 “a~d” 로 구분한다.
- 예상세굴심이 기초상단에 위치하여 안전조치가 필요 없는 경우, 적정세굴보호공이 설치되어 있으며 공용중 세굴발생이 없을 것으로 예상되는 경우를 “a” 로 평가한다.
- 그러나 기존에 세굴방지공이 설치되어 있지만 설계기준을 만족하지 못할 경우는 “b” 로 평가한다.
- 구조해석 결과에 따라 안전율을 확보한 경우는 특별한 안전조치가 필요하지 않은 안전에 지장이 없는 상태이므로 등급 “c” 로, 안전율을 확보하지 못한 경우 세굴방지공 설치 등의 긴급한 보수·보강 조치가 필요하므로 등급 “d” 로 구분한다.
- 또한 교량기초는 기초형식에 따라 지지력, 전도, 활동에 안정하여야 하며 기초의 변위량은 허용변위량을 초과하지 않아야 한다.

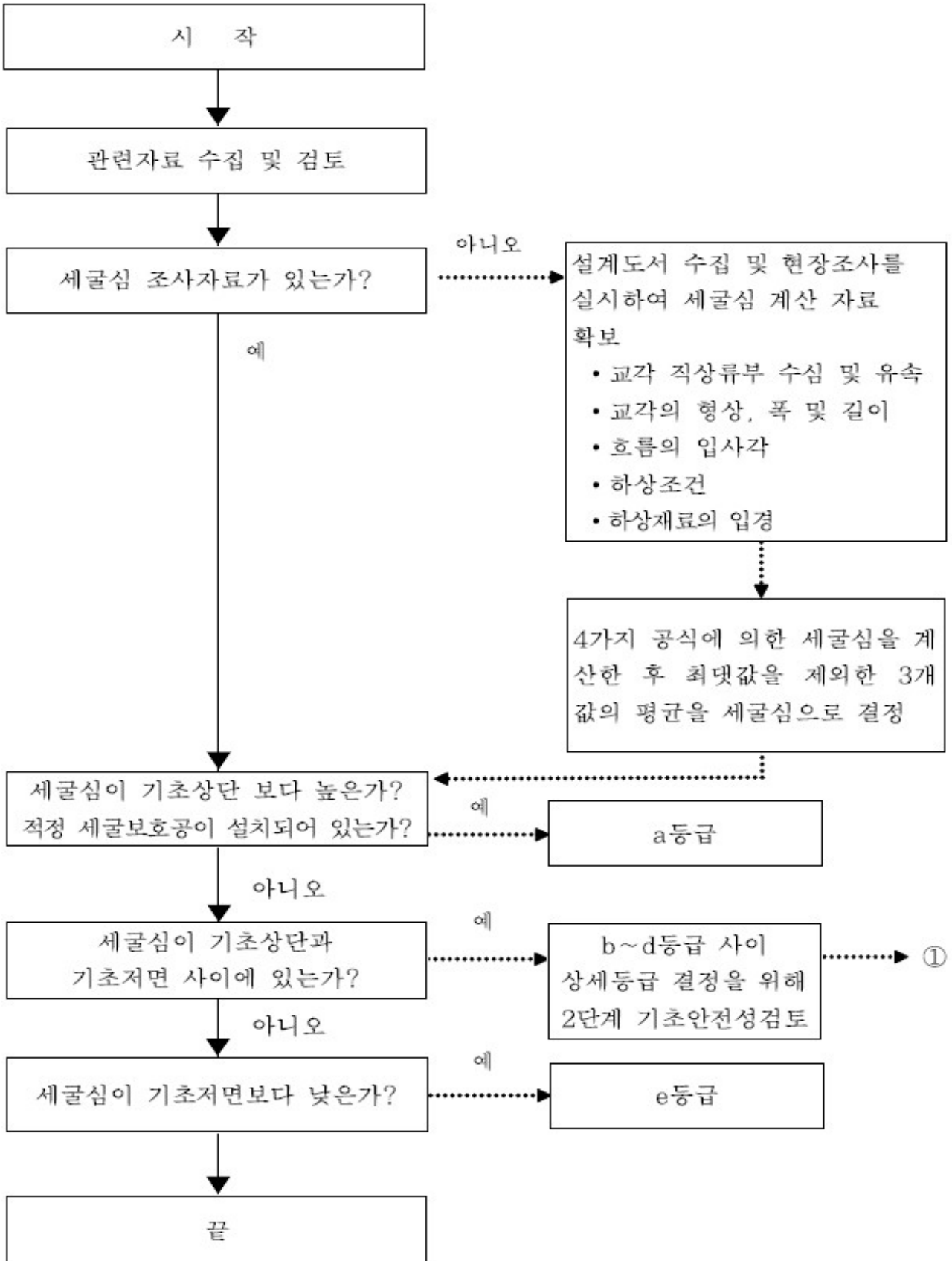
【표 4.28】 기초의 안전성능 평가기준

기준	1단계(세굴심 검토)	2단계(기초안전성)
a	•세굴심도가 기초상단보다 높을 경우	•적정 세굴보호공이 설치되어 있으며 공용중 세굴발생이 없는 경우
b	•세굴심도가 기초상단과 지초저면 사이에 있을 경우	•세굴보호공이 설치되어 있어 있으나 설계기준을 만족하지 못한 경우
c		•기초 지지력 확보 $S.F. \geq 1.0$ •허용변위량 이내일 경우
d		•기초 지지력 부족 $S.F. < 1.0$ •허용변위량을 초과할 경우
e	•세굴심도가 지초저면보다 낮을 경우	—

< 해 설 >

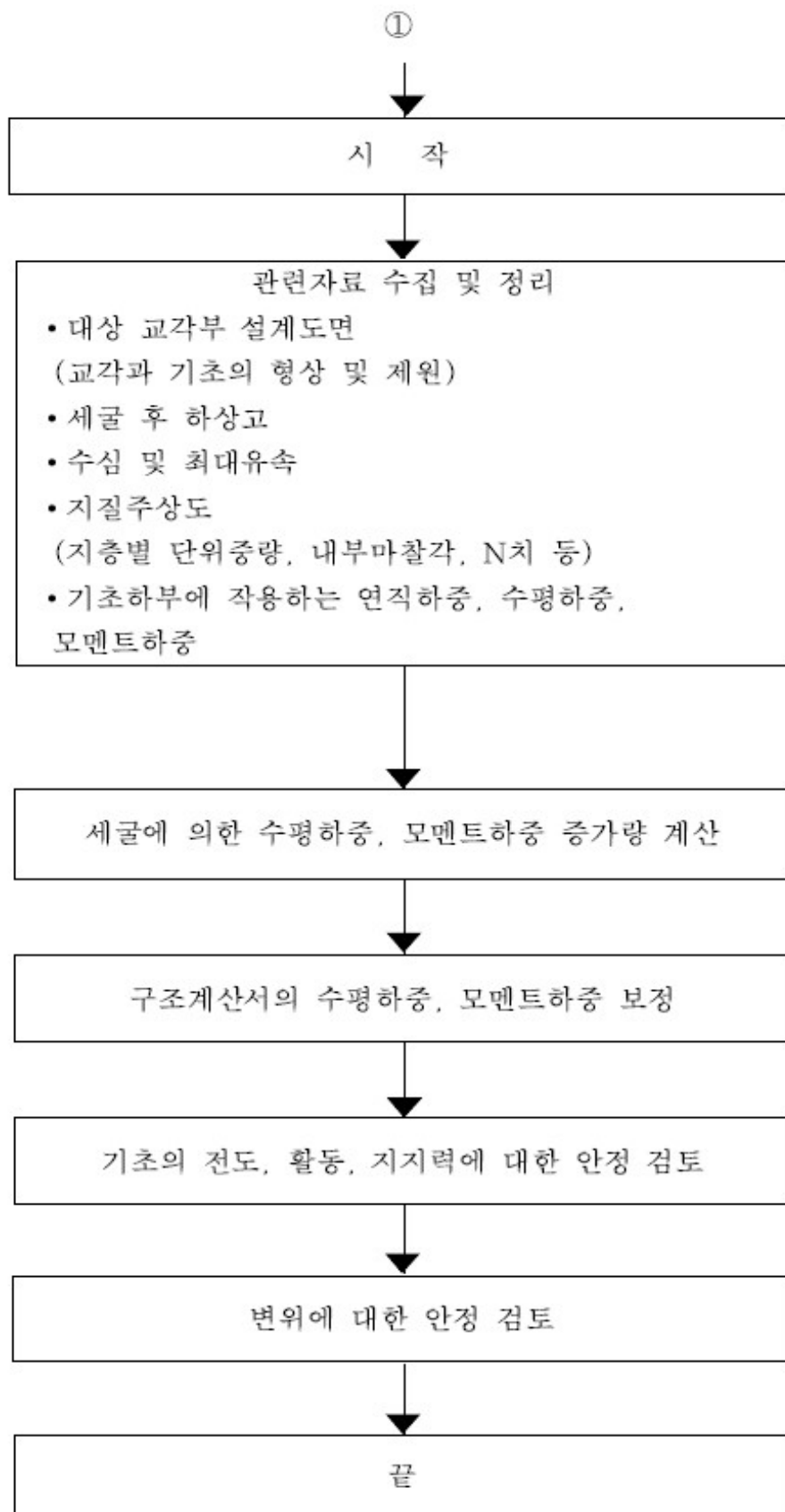
- 1단계(세굴심 검토)의 세굴심도 계산은 건설기준코드(구 하천설계기준, 도로교설계기준) 등 관련 설계기준을 참고하여 수행한다.
- 2단계(기초안전성) 평가의 기초지지력은 기초형식별로 도로교설계기준 등 관련 설계기준을 참고하여 책임기술자의 판단에 따라 산정할 수 있다.
- 2단계(기초안전성) 평가의 실시가 곤란한 경우 책임기술자의 판단에 따라 1단계 (세굴심 검토)에 의한 구조안전성능결과를 산정할 수 있다.
- 지지력의 안전율($S.F.$) = 지반의 허용지지력/작용응력
- 기초형식별 허용변위량은 건설기준코드(구 도로교설계기준, 구조물 기초 설계기준) 등 관련 설계기준을 참고하여 결정한다.
- 책임기술자는 유속, 교량의 형상, 사석의 크기 등을 고려하여 적정 세굴보호공이 설치여부를 판단할 수 있다.

① 1단계 세굴심 평가



【그림 4.2】 1단계 세굴심 평가 결과 산정 방법

② 2단계 기초안정성 평가



【그림 4.3】 2단계 기초안전성 평가 결과 산정 방법

③ 세굴의 종류 및 개요

- 교각주변에 발생하는 세굴의 종류는 여러 매개변수에 의해 분리될 수 있으나 크게 3가지로 구분되며 이중 장기하상변동에 의한 세굴은 그 영향이 미미하므로 교각의 주된 세굴은 단면축소세굴과 국부세굴로 대변할 수 있다. 세굴의 종류는 아래와 같다.

【표 4.29】 세굴의 종류

장기하상변동	•장기간에 걸쳐 하천의 흐름에 의해 발생
단면축소세굴	•교량의 건설에 의해 기존 흐름단면이 축소되면서 발생
국 부 세 굴	•교량의 교대 혹은 교각기초에 의해 발생
총 세 굴	•장기하상변동+단면축소세굴+국부세굴

④ 교각주위의 국부세굴 특성

- 교각주위에서 일어나는 국부세굴은 유수의 흐름을 방해하는 교각이나 교대로부터 발생되며 다음과 같이 3가지 형태로 일어난다.

㉠ 마제형 와류

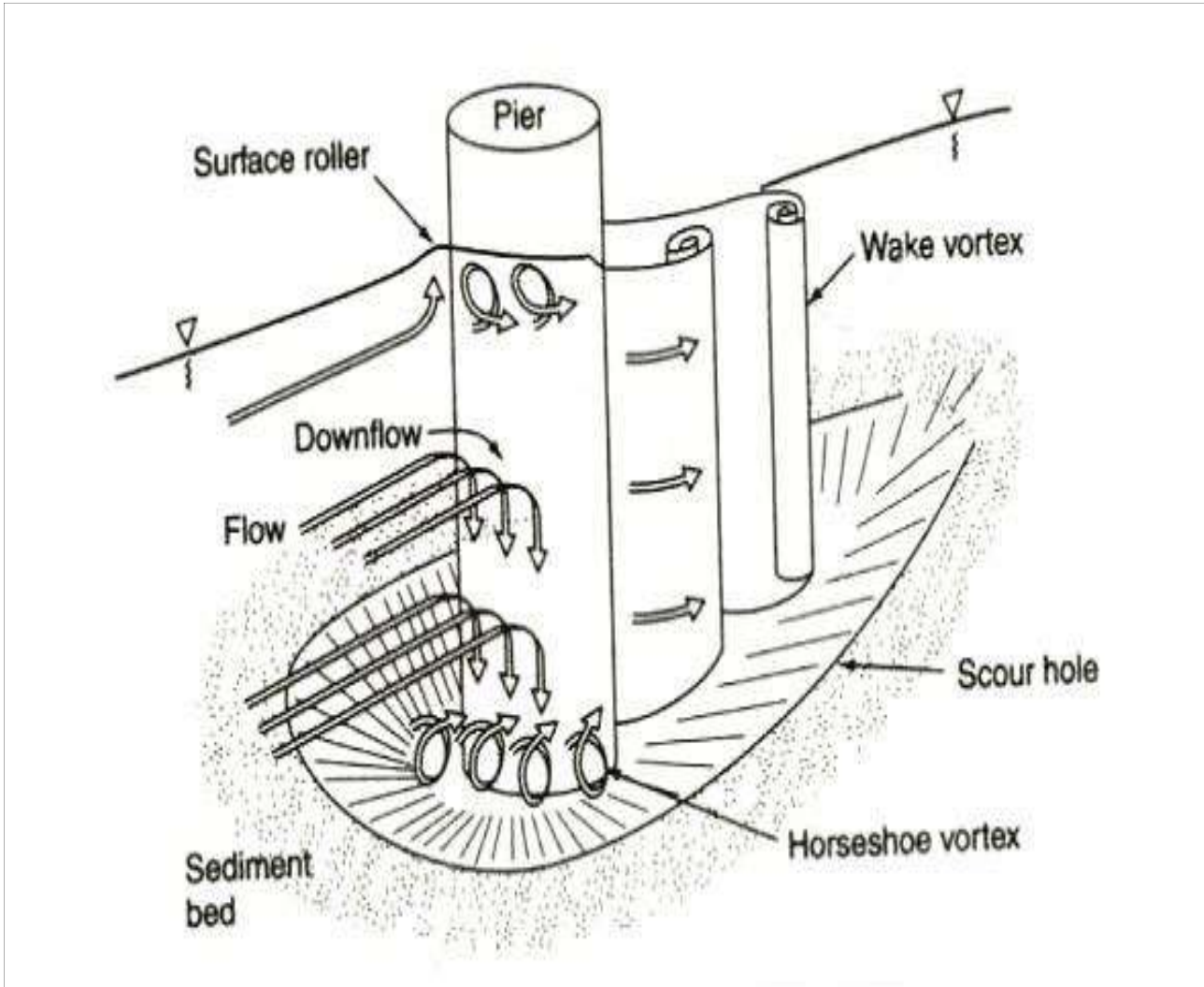
- 교각전면에서 발생되며, 교각설치로 인하여 수로바닥 또는 벽면에 3차원적인 분리를 일으키게 되며, 이 3차원적인 마제형 와류가 발생한다.

㉡ 반류형 와류

- 마제형 와류와는 반대로 교각자체에 의해 발생되며 주로 교각후면에서 발생한다. 반류형 와류는 교각 표면에서 일어나는 불안정한 전단층(ShearLayers)의 유체가 미끌어 지거나 회전하며 형성된다.

㉢ Trailing형 와류

- 대개 물에 의해 완전히 잠긴 수중에서 발생하며, 3차원 교각의 침두부분과 접촉된 상태에서 여러개로 분리된 맴돌이로 이루어진다.



【그림 4.4】 원형교각에서의 세굴 모식도

⑤ 국부세굴에 영향을 미치는 요소

- 교 각 폭 : 교각폭의 증감은 세굴심에 직접적인 영향을 미친다.
- 교각길이 : 교각의 길이는 세굴의 직접적인 영향을 주지 않지만 각도의 변화에 따라 세굴에 커다란 영향을 미친다.
- 수 심 : 흐름깊이의 증가는 세굴깊이를 증가시킨다.
- 접근류의 유속 : 접근속도의 증가는 세굴깊이를 증가시킨다.
- 하상물질의 크기 : 모래입자크기의 범위에서는 세굴깊이에 영향을 미치지 않으나, 정지세굴이나 이동상세굴 상태에서는 세굴깊이에 영향을 미친다.
- 교대, 교각의 접근각(입사각) : 교각이나 교대에 부딪히는 유수의 각도는 세굴에 큰 영향을 미친다.

⑥ 수축세굴 산정방법

- Laursen 공식

$$\frac{y_2}{y_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{\frac{6}{7}} \left(\frac{W_1}{W_2} \right)^{k_1}, \quad y_s = y_2 - y_0$$

여기에서, y_s = 평균 단면축소 세굴심 (m)

y_2 = 축소 단면에서의 세굴후의 평균수심 (m)

y_1 = 상류주하도의 평균수심 (m)

y_0 = 축소 단면에서의 세굴전의 평균수심 (m)

Q_1 = 교량의 상류부 접근단면에서의 유량 (m³/sec)

Q_2 = 축소 단면에서의 유량 (m³/sec)

W_1 = 교량의 상류부 접근단면에서의 수면폭 (m)

W_2 = 축소 단면에서의 수면폭 (m)

k_1 = 하상재료의 이송양상에 따른 계수

【표 4.30】 k_1 산정기준

V_*/ω	k_1	하상재료 이동양상
< 0.50	0.59	대부분 하상접촉 이동
0.50 ~ 2.0	0.64	부분적인 부유사 이동
> 2.0	0.69	대부분 부유사 이동

주) V_* : 접근단면에서의 전단속도 (m/sec)

ω : 하상재료 D50의 침강속도 (m/sec)

⑦ 국부세굴 산정방법

- 국부세굴공식을 이용하여 교각주위내 세굴량을 산정하는 경우 CSU 공식을 적용하여 산정하되, 불확실성을 감안하여 CSU 공식 이외에 Froehlich 공식, Laursen 공식, Neil 공식 중 최소한 2개 이상을 택하여 세굴량을 산출하고 세굴깊이와 세굴폭에 대한 평가를 실시한 후 세굴량을 결정하도록 한다. 각 공식으로 구한 세굴량의 차이가 큰 경우 산술 평균값을 적용할 수 있다.

- C.S.U(Colorado State University) 공식

$$\frac{y_s}{y_1} = 2.0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \left(\frac{a}{y_1}\right)^{0.65} Fr_1^{0.43}$$

여기서, y_s = 세굴심(m)

y_1 = 축소 단면에서의 세굴후의 평균수심(m)

k_1 = 교각 형상에 대한 보정계수

k_2 = 흐름 입사각에 대한 보정계수

k_3 = 하상조건에 대한 보정계수

k_4 = 하상재료의 크기에 대한 보정계수

a = Pier 폭 (m)

Fr_1 = 구조물설치 직상류부의 Froude수

【표 4.31】 교각 형상에 따른 보정계수(K1)

교각돌출부형상	K1
(a) 직사각형	1.1
(b) 반원형	1.0
(c) 원통형	1.0
(d) 날카로운 교각	0.9
(e) 원통그룹	1.0

【표 4.32】 흐름의 입사각에 따른 보정계수(K2)

각도(°)	보정계수 K2		
	L/a=4	L/a=8	L/a=12
0	1.0	1.0	1.0
15	1.5	2.0	2.5
30	2.0	2.75	3.5
45	2.3	3.3	4.3
90	2.5	3.9	5.0
a = 교각의 폭(m), L = 교각의 길이(m)			

【표 4.33】 하상 조건에 따른 보정계수(K3)

하상조건	사구높이 H(m)	K3
정 적 세 굴	N / A	1.1
평 탄 하 상 및 역 사 구 흐 림	N / A	1.1
작 은 사 구	$3 > H > 0.6$	1.1
중 간 사 구	$9 > H > 3$	1.1~1.2
큰 사 구	$H > 9$	1.3

【표 4.34】 하상재료의 크기에 대한 보정계수(K4)

종류	D50(mm)	D90/D50 ≥	최대유속	K4
모 래	< 2.0	—	—	1.0
자 갈	2 ~ 32	—	—	1.0
자 갈	32 ~ 64	4 ~ 3	$V1 \leq 0.7VC$	0.95
조약돌	64 ~ 250	3 ~ 2	$V1 \leq 0.8VC$	0.90
조약돌	250 ~ 500	2 ~ 1	$V1 \leq 0.8VC$	0.85
조약돌	> 500	1	$V1 \leq 0.9VC$	0.80

- Neil 공식

$$\frac{Y_s}{b} = 1.5 (Y/b)^{0.3}$$

여기에서, Y_s : 세굴심 (m)

b : 교각의 폭 (m)

Y : 교각 전면의 수심 (m)

- Laursen 공식

$$\frac{b}{Y} = 5.5 \frac{Y_s}{Y} \left[\left(\frac{Y_s}{11.5Y} + 1 \right)^{1.7} - 1 \right]$$

여기에서, b : 교각의 폭 (m)

Y : 구조물 설치 직상류부 수심 (m)

Y_s : 세굴심 (m)

- Froehlich 공식

$$\frac{Y_s}{b} = 0.32 \Phi \left(\frac{b'}{b} \right)^{0.62} \left(\frac{Y}{b} \right)^{0.46} Fr^{0.2} \left(\frac{b}{D_{50}} \right)^{0.08} + 1$$

여기에서, Y_s : 세굴심도 (m)

b : 교각의 폭 (m)

b' : 흐름의 접근각에 대한 직각방향의 투영교각 폭 (m)

Φ : 교각의 형상계수 (사각형:1.3, 원형:1.0, 날카로운 교각:0.7)

Y : 구조물 설치 직상류부 수심 (m)

Fr : 구조물 설치 직상류부의 Froude 수

D_{50} : 하상입자의 평균입경 (m)

3) 주행안전성 평가

① 교량의 첫 번째 고유 휨 진동수, f_1^m (Hz)

【표 4.35】 교량의 첫 번째 고유 휨 진동수에 대한 평가기준

등급	평가기준		비고
	초기실측치자료외 비교 ¹⁾	고유치해석에 의한 값과 비교	
안전 (O.K)	$\alpha \geq 1.0$	$\alpha \geq 1.05$	$\alpha = \frac{f_1^m}{f_1^{mp}}$ 또는 $\frac{f_1^m}{f_1^c}$
불안전 (N.G)	$\alpha < 1.0$	$\alpha < 1.05$	

주1) 초기 실측자료가 없는 경우, 가용한 실측자료 중 가장 최근 자료를 적용한다.

② 임계속도, V_{cr} (m/sec)

【표 4.36】 교량의 첫 번째 고유 휨 진동수에 대한 평가기준

등급	평가기준	안전율	비고
안전 (O.K)	$V_{cr} > V_{operation}$ 이고, 초기치 ¹⁾ 이상인 경우	SF>1.0	$\cdot V_{operation}$: 상시 운행속도 $\cdot SF(\text{안전율}) = \text{임계속도/실운행속도}$
불안전 (N.G)	$V_{cr} \leq V_{operation}$	SF≤1.0	

주1) 초기치가 없는 경우에는 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

③ 교량 상판의 연직가속도, a (m/s²)

【표 4.37】 교량 상판의 연직가속도에 대한 평가기준

등급	평가기준		안전율	비고
	자갈계도	콘크리트계도		
안전 (O.K)	0.35g 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	0.50g 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	SF>1.0	$\cdot g$: 중력가속도 $\cdot SF(\text{안전율}) = \text{허용기준/발생응답}$
불안전 (N.G)	0.35g를 초과하는 경우	0.50g를 초과하는 경우	SF≤1.0	

주1) 초기치가 없는 경우에는 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

④ 교량의 연직처짐, δ

【표 4.38】 교량의 연직처짐에 대한 평가기준

등급	평가기준	안전율	비고
	주행안전성		
안전 (O.K)	$L/600$ 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	$SF \geq 1.0$	· $SF(\text{안전율}) = \text{허용기준}/\text{발생응답}$
불안전 (N.G)	$L/600$ 을 초과하는 경우	$SF < 1.0$	

주1) 초기치가 없는 경우, 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

⑤ 먼트림

【표 4.39】 먼트림에 대한 평가기준

등급	평가기준	안전율	비고
안전 (O.K)	[표1.25]의 값 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	$SF \geq 1.0$	· $SF(\text{안전율}) = \text{허용기준}/\text{발생응답}$
불안전 (N.G)	[표1.25]의 값을 초과하는 경우	$SF < 1.0$	

주1) 초기치가 없는 경우, 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

⑥ 상부구조 끝단 상부면 종방향 변위

【표 4.40】 상부구조 끝단 상면 종방향 변위에 대한 평가기준

등급	평가기준	안전율	비고
안전 (O.K)	8mm 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	$SF \geq 1.0$	· $SF(\text{안전율}) = \text{허용기준}/\text{발생응답}$
불안전 (N.G)	8mm를 초과하는 경우	$SF < 1.0$	

주1) 초기치가 없는 경우, 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

⑦ 인접 경간 사이 또는 상부구조와 교대 사이의 단차

【표 4.41】 인접 경간 사이 또는 상부구조와 교대 사이의 단차에 대한 평가기준

등급	평가기준		안전율	비고
	열차속도 160km/h 미만	열차속도 160km/h 이상		
안전 (O.K)	3mm 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	2mm 이하이고, 초기치 ¹⁾ 이하인 경우	$SF \geq 1.0$	· $SF(\text{안전율}) = \text{허용기준}/\text{발생응답}$
불안전 (N.G)	3mm를 초과하는 경우	2mm를 초과하는 경우	$SF < 1.0$	

주1) 초기치가 없는 경우에는 가용한 가장 앞선 평가결과를 적용한다.

4.1.4 구조안전성능 결과 산정방법

가. 구조안전성능 결과산정

평가대상 교량에 대하여 구조안전성능을 실시한 후 그 결과를 비교하여 최저등급을 평가 결과로 결정한다.

나. 구조안전성능 결과산정 예시

평가대상 교량에 대하여 구조안전성능 산정 절차를 예시하면 다음과 같다.

교량의 구조안전성능 평가지수 = Min(공용내하력, 기초안전성), 주행안전성

※ 하천을 횡단하는 교량(해상교량 포함)의 경우 공용내하력과 기초안전성 평가를 실시하여 둘 중 최저등급으로 결정하며, 철도교량의 경우 주행안전성(7개 평가기준)은 평가하여 철도 운행 및 구조물의 보수보강 의사결정시 참고자료로 활용 한다.

4.1.5 안전성능 결과 산정방법

가. 안전성능 결과산정

평가대상 교량에 대하여 상태안전성능 및 구조안전성능을 실시한 후 그 결과에 의해 산출된 상태안전성능지수와 구조안전성능지수를 비교하여 작은 값을 최종 안전성능 지수로 결정하여 교량의 안전성능 결과를 결정한다.

단, 구조안전성능을 실시하지 않은 경우는 상태안전성능지수를 안전성능지수로 같음한다.

나. 안전성능 결과산정 방법

평가대상 교량에 대하여 안전성능 산정 절차를 예시하면 다음과 같다.

교량의 안전성능 결과를 결정하기 위해 교량 상태안전성능 및 구조안전성능 결과로 산출된 상태안전성능지수와 구조안전성능지수를 사용하며, 이 값 중에서 작은 값을 교량의 안전성능 지수로 적용하여 안전성능 결과를 부여한다.

단, 구조안전성능을 실시하지 않은 경우는 상태안전성능지수를 안전성능지수로 같음한다.

안전성능등급 = Min(상태안전성능등급, 구조안전성능등급)

4.2 상태안전성능 평가

상태안전성능 평가 등급산정은 한국시설안전공단에서 제공하는 교량상태평가 프로그램 (Bridge Level2)을 이용하여 산정하였으며 결과는 다음과 같다.

4.2.1 상태안전성능 평가 결과

1) 부재별 상태안전성능 평가 결과

① 콘크리트 바닥판

【표 4.42】 콘크리트 바닥판 상태안전성능 평가 결과

구분	부재 면적 (m²)	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상				데크 플레이트		평가 결과
		균열폭 (mm)		균열율 (%)		균열폭 (mm)		균열율 (%)		표면 손상 면적(%)		철근부식 손상면적(%)				
S1	740.00	0.2	b	—	a	—	a	—	a	0.01	b	—	a	—	a	b
S2	925.00	0.2	b	—	a	—	a	—	a	0.11	b	—	a	부식	b	b
S3	925.00	0.2	b	—	a	—	a	—	a	0.45	b	—	a	부식	b	b
S4	925.00	0.2	b	—	a	—	a	—	a	0.23	b	—	a	부식	b	b
S5	925.00	0.2	b	—	a	—	a	—	a	3.24	c	—	a	부식	b	c
S6	740.00	0.2	b	—	a	—	a	—	a	0.21	b	—	a	부식	b	b

② 강 거더

【표 4.43】 강 거더 상태안전성능 평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	균열		모재 및 연결부 손상										평가 결과
		균열폭(mm)		변형, 파단		연결볼트 이완, 탈락(%)		용접연결부 결함		도장탈락 면적(%)		부식 발생면적 (%)		
S1	1,620.00	－	a	－	a	－	a	－	a	0.17	b	0.03	b	b
S2	2,025.00	－	a	8.00	b	－	a	－	a	0.13	b	0.10	b	b
S3	2,025.00	－	a	4.90	b	－	a	－	a	0.11	b	0.07	b	b
S4	2,025.00	－	a	4.30	b	1	b	－	a	0.14	b	0.07	b	b
S5	2,025.00	－	a	3.80	b	－	a	－	a	0.18	b	0.12	b	b
S6	1,620.00	－	a	－	a	－	a	－	a	0.41	b	1.19	b	b

③ 가로보 및 세로보

【표 4.44】 가로보 및 세로보 상태안전성능 평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								열화 및 손상				평가 결과
		부재 균열		변형, 파단		연결볼트 이완, 탈락(%)		용접연결부 결함		도장손상 면적(%)		부식 발생면적 (%)		
S1	183.80	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	a
S2	230.00	－	a	0.80	b	－	a	－	a	－	a	－	a	b
S3	230.00	－	a	0.30	b	－	a	－	a	－	a	－	a	b
S4	230.00	－	a	0.30	b	－	a	－	a	－	a	－	a	b
S5	230.00	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	a
S6	183.80	－	a	－	a	－	a	－	a	－	a	1.71	b	b

④ 교대 및 교각

㉠ 콘크리트 교대

【표 4.45】 교대 상태안전성능 평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭(mm)		변위		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
A1	97.70	0.2~0.3	c	—	a	7.42	c	—	a	c
A2	110.90	0.1~0.2	b	—	a	2.93	c	0.05	c	c

㉡ 콘크리트 교각

【표 4.46】 교각 상태안전성능 평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭(mm)		변위		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
P1	363.30	0.1~0.2	b	—	a	0.50	b	—	a	b
P2	323.80	0.1~0.2	b	—	a	1.37	b	—	a	b
P3	339.40	0.1~0.2	b	—	a	0.02	b	—	a	b
P4	333.00	0.1~0.2	b	—	a	0.01	b	—	a	b
P5	218.60	0.1~0.2	b	—	a	0.01	b	0.06	c	c

⑤ 기초

【표 4.47】 기초 상태안전성능 평가 결과

구분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상		지반의 안정성		평가 결과
A1	확인불가	q	확인불가	q	q
P1	확인불가	q	확인불가	q	q
P2	확인불가	q	확인불가	q	q
P3	확인불가	q	확인불가	q	q
P4	확인불가	q	확인불가	q	q
P5	확인불가	q	확인불가	q	q
A2	확인불가	q	확인불가	q	q

⑥ 교량받침

【표 4.48】 교량받침 상태안전성능 평가 결과

구분	받침본체		받침콘크리트				평가 결과
	강재받침		균열폭(㎜)		박리, 탈락, 파손 등		
A1	미끄럼판 부식	c	－	a	－	a	c
P1	－	a	0.1~0.2	b	파손	b	b
P2	－	a	－	a	－	a	b
P3	도장탈락 및 부식	b	0.1~0.2	b	－	a	b
P4	－	a	0.1~0.2	b	－	a	b
P5	－	a	0.1~0.2	b	－	a	b
A2	미끄럼판 부식	c	0.3	c	파손	b	c

⑦ 신축이음

【표 4.49】 신축이음 상태안전성능 평가 결과

구분	본체		후타재				평가 결과
			균열폭(mm)		박리, 박락, 파손 등		
Exp.J1 (A1)	토사, 이물질퇴적	b	—	a	—	a	b
Exp.J2 (A2)	토사, 이물질퇴적	b	—	a	—	a	b

⑧ 교면포장

【표 4.50】 교면포장 상태안전성능 평가 결과

구분	부재 면적 (m²)	포장불량				배수		평가 결과
		포장불량 면적(%)		주행 및 통행성				
S1	740.00	48.24	d	포장손상	c	배수구 막힘	b	d
S2	925.00	64.54	d	포장손상	c	배수구 막힘	b	d
S3	925.00	61.08	d	포장손상	c	배수구 막힘	b	d
S4	925.00	55.14	d	포장손상	c	배수구 막힘	b	d
S5	925.00	30.35	d	포장손상	c	배수구 막힘	b	d
S6	740.00	48.11	d	포장손상	c	배수구 막힘	b	d

⑨ 배수시설

【표 4.51】 배수시설 상태안전성능 평가 결과

구분	평가내용	평가결과
S1	배수시설의 상태불량, 길이부족	c
S2	배수시설의 상태불량, 길이부족	c
S3	배수시설의 상태불량, 길이부족	c
S4	배수시설의 상태불량, 길이부족	c
S5	배수시설의 상태불량, 길이부족	c
S6	배수시설의 상태불량, 길이부족	c

⑩ 보호시설

【표 4.52】 보호시설 상태안전성능 평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	콘크리트						강재						평가 결과
		균열폭 (mm)		박리,파손, 철근노출(%)		철근부식 손상률(%)		도장 불량률(%)		파손 손상률(%)		방음, 방현막		
S1	80.00	0.2~0.3	c	—	a	—	a	—	a	—	a	—	a	c
S2	100.00	0.2~0.3	c	—	a	—	a	—	a	—	a	—	a	c
S3	100.00	0.3	c	—	a	—	a	—	a	—	a	—	a	c
S4	100.00	0.2~0.3	c	—	a	—	a	—	a	—	a	—	a	c
S5	100.00	0.2~0.3	c	—	a	—	a	—	a	—	a	—	a	c
S6	80.00	0.1~0.2	a	—	a	0.13	c	—	a	—	a	—	a	c

2) 시설물 전체 상태안전성능 평가 결과

- 상태안전성능 평가 결과, 교량 전체의 결함지수는 0.282로 산정되었으며, 상태안전성능 평가등급은 “C”등급($0.26 \leq x \leq 0.49$)으로 평가되었다.
- 상태안전성능평가 결과에 가장 크게 영향을 미치는 인자는 바닥판에 데크플레이트 부식 및 도장박리와 거더 외부의 도장박리, 교대, 교각의 폭 0.3mm의 균열, 교면포장균열 및 망상균열 등으로 인한 것으로 확인되었다.

【표 4.53】 상태안전성능 평가 결과

부재의 분류			상부구조		2차 부재	하부구조		받침	기타부재			
번호	구조 형식		바닥판	거더	가로보	하부	기초	교량 받침	신축 이음	교면 포장	배수 시설	보호 시설
S1	A1	STB	b	b	a	c	q	c	b	d	c	c
S2	P1	STB	b	b	b	b	q	b	—	d	c	c
S3	P2	STB	b	b	b	b	q	b	—	d	c	c
S4	P3	STB	b	b	b	b	q	b	—	d	c	c
S5	P4	STB	c	b	a	b	q	b	—	d	c	c
S6	P5	STB	b	b	b	c	q	b	—	d	c	c
	A2	STB	—	—	—	c	q	c	b	—	—	—
평균			0.233	0.200	0.167	0.286	—	0.257	0.467	0.700	0.400	0.400
가중치			15	25	4	25	—	15	7	4	3	2
(평균×가중치)/가중치합			0.044	0.050	0.008	0.025	—	0.029	0.028	0.024	0.006	0.003
※ 성능평가 과업에서는 탄산화 및 염화물 시험을 제외하였음											0.282	
※ 백아화는 상태평가 기준의 도장탈락 기준을 적용하였으며, 도장두께 측정 및 열화도를 반영하여 평가하였음											C	

3) 공중이 이용하는 부위 상태안전성능평가

① 추락방지시설

경미한 결함 및 파손이 발생한 상태로 지속적인 관찰 후 보수가 필요한 “b”로 평가됨.

기준	상태기준 설명
a	○손상 및 결함 등이 없는 최상의 상태
b	○추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태
c	○추락방지시설에 결함 및 파손으로 인하여 기능에 일부 문제가 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○고정부 및 연결부 파손 등으로 인해 추락방지시설의 전도 및 이탈이 발생 할 수 있어 즉각적인 보수·보강이 필요한 상태
e	○추락방지시설의 전반적 기능저하로 사용자의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지해야 하는 상태

② 도로포장

포장의 결함 및 파손이 운전자에게 불쾌감을 유발할 수 있는 상태로 “c” 등급으로 평가됨.

기준	상태기준 설명
a	○포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태
b	○포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생된 상태로 차량주행에 문제는 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○포장 결함 및 파손이 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아니나 차량 운전자에게 불쾌감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태
d	○깊이 8cm이상의 포트홀에 의해 차량에 심각한 손상이 발생할 수 있어 즉각적인 보수가 필요한 상태 ○배수불량으로 인한 주행차로 상시 물고임으로 통행차량의 안전성 저하가 우려되는 상태
e	○도로포장 결함 및 파손 정도가 심각하고 차량주행이 불가하여 차량통행 제한 및 사용금지가 필요한 상태

③ 도로부 신축이음부

이물질 퇴적, 미세균열이 발생된 상태로 “b” 로 평가됨.

기준	상태기준 설명
a	○신축이음부에 손상이 없는 상태
b	○신축이음 본체의 토사 및 이물질 퇴적, 고무판 노후, 후타재의 미세균열이 발생된 상태로 기능발휘에는 지장이 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태
c	○신축이음 본체의 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화가 발생한 상태 또는 후타재의 균열이 50cm이하의 간격으로 발생하거나, 국부적인 박리, 박락, 파손이 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태
d	○신축유간 밀착으로 인한 거동불량 또는 신축유간이 넓어 차량통행에 지장을 초래할 수 있어 교체가 필요한 상태 ○신축이음의 파손 상태가 심각하여 차량통행 시 충격이 발생하는 등 긴급한 보수·보강이 필요한 상태
e	○신축이음부 본체 탈락으로 차량주행 시 파손을 유발하거나, 주행 중 사고의 원인이 될 수 있는 상태

④ 환기구 등의 덮개

미설치된 상태로 평가불가.

기준	상태기준 설명
a	○환기구 등의 덮개가 최상의 상태
b	○덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없고 기능성에 문제가 없는 상태 ○기능성에 문제가 없어 결함 및 파손에 대해 지속적 관찰이 필요한 상태
c	○덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능에 일부 문제가 발생하여 보수가 필요한 상태
d	○덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능이 상실되어 국부적인 교체 및 보강이 필요한 상태
e	○결함 및 파손 정도가 심각하거나 덮개 등이 탈락된 상태

4.3 구조안전성능 평가

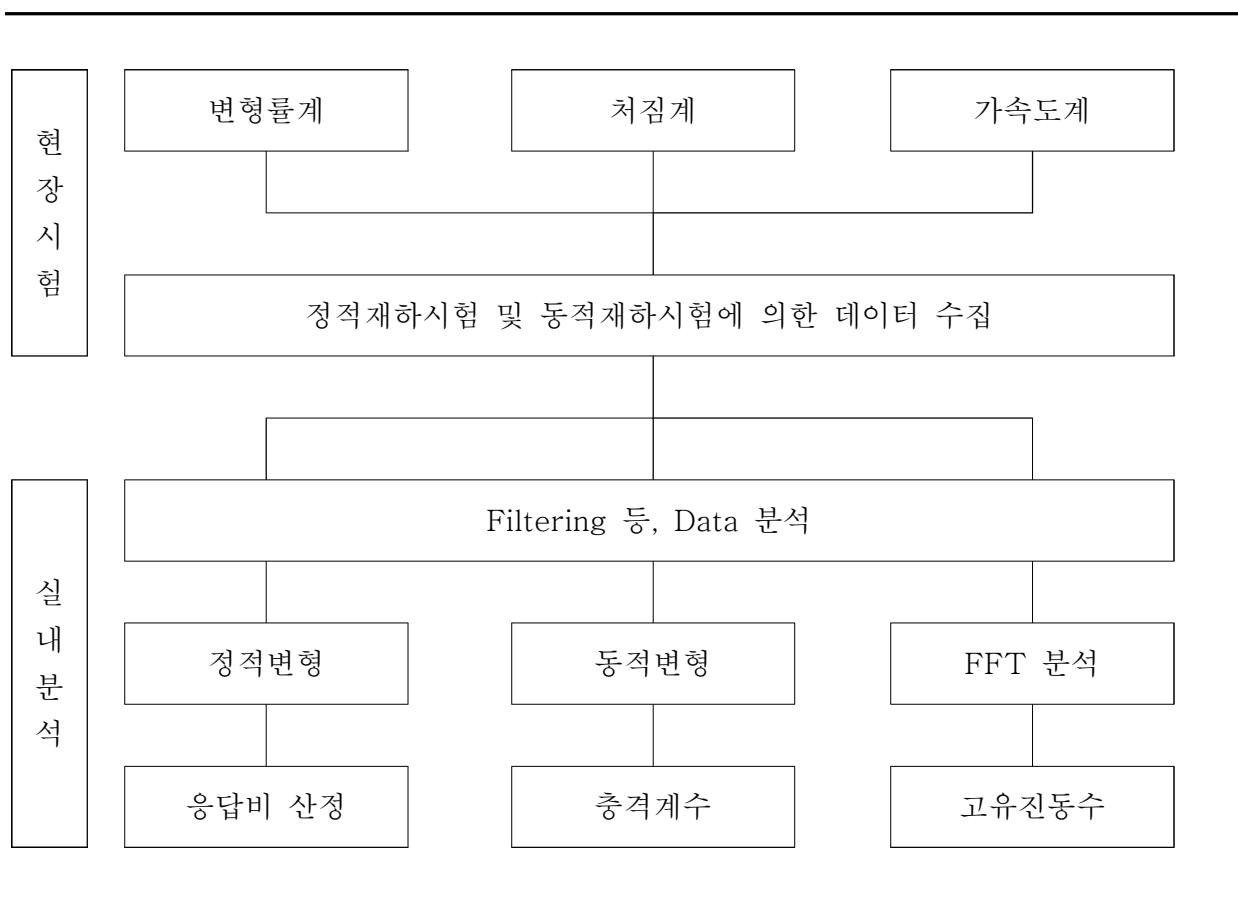
4.3.1 구조안전성 재하시험

1) 개요

재하시험은 대상 구조물의 실거동을 파악하여 안전도 및 내하력을 평가하기 위하여 필요한 자료를 획득하고자 실시하는 시험으로 구조형식에 따른 측정부위 및 재하방법의 선택이 중요하다.

재하시험은 일반적으로 하중의 재하방법에 따라 정적재하시험 및 동적주행시험으로 대별되는데, 전자의 경우 작용외력에 대한 대상교량의 정적거동특성을 파악하고 정적변위 및 응력의 응답비 등 내하력평가를 위한 제반계수를 산정하기 위함이며, 구조물의 동적거동을 측정하여 대상교량의 실충격계수와 실고유진동수 등의 동적 특성을 파악하여 교량의 안전성을 검토하기 위한 기본자료를 얻기 위하여 후자의 시험을 실시한다.

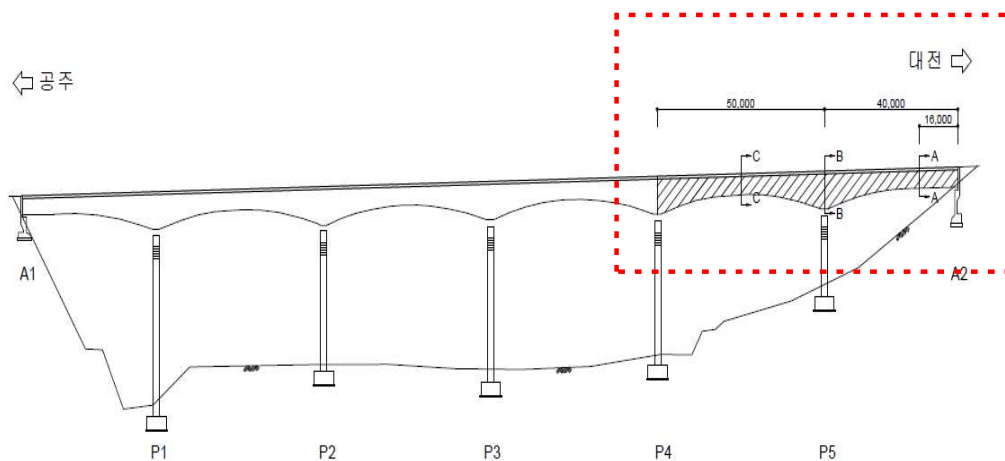
정적재하시험 및 동적재하시험의 데이터 측정체계는 아래와 같다.

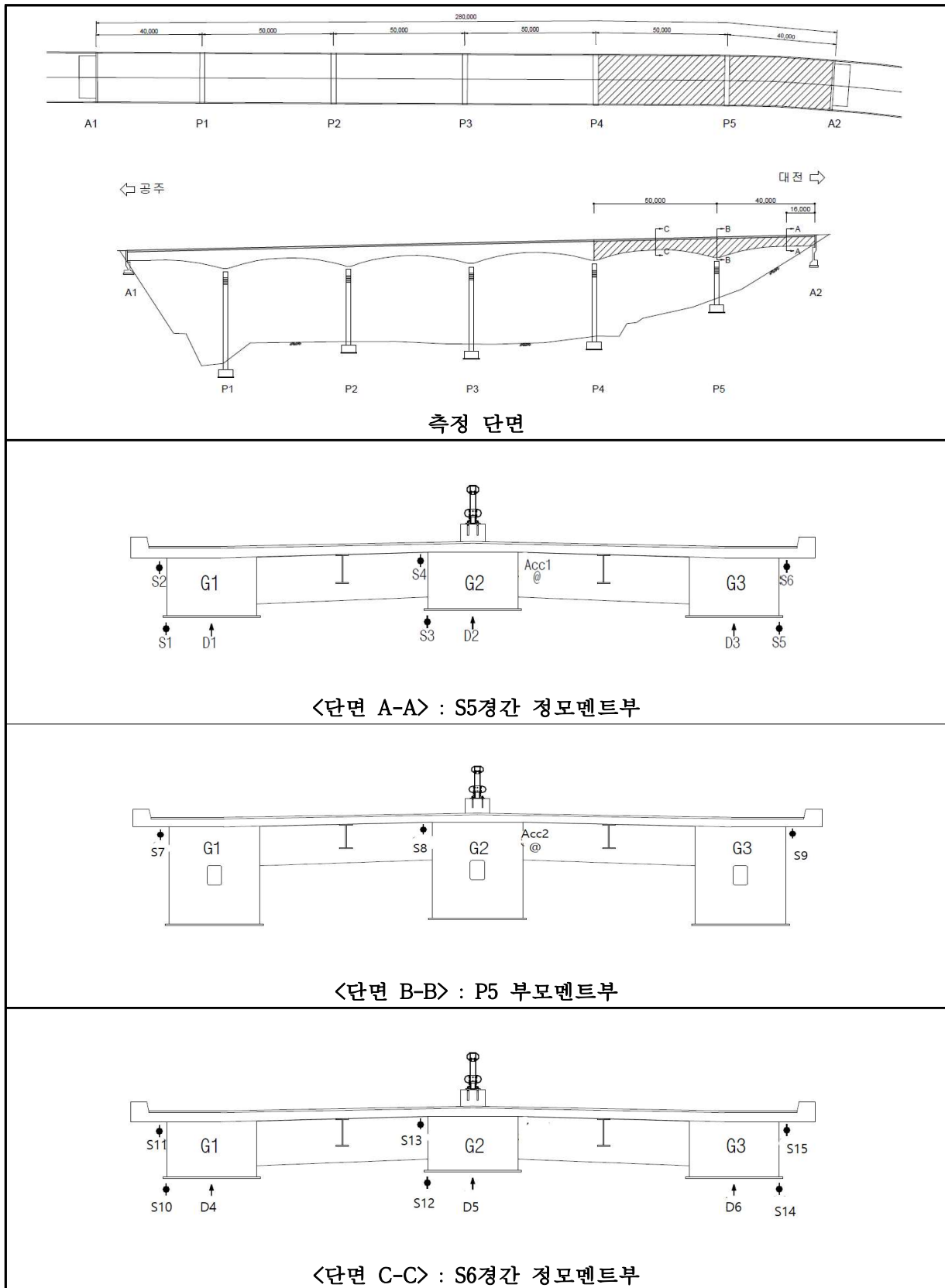


2) 재하시험 대상경간 선정 및 센서부착위치

- ① 구조적으로 최대 단면력이 발생하는 단면(기존 재하시험 단면과 동일)을 측정단면으로 선정
- ② 접근장비 및 게이지부착의 용이성
- ③ 교통통제의 최소화
- ④ 동적주행시험시 충분한 가속거리 및 제동거리를 확보
- ⑤ 재하시험을 위한 기타 제반여건이 양호하며 안전을 고려

재하시험 대상경간 및 측정단면은 구조적 거동의 대표성을 가지며, 차량통제의 최소화, 접근장비 및 게이지 부착의 용이성, 충분한 주행속도 및 제동거리 확보 등 여러 가지 제반 사항 및 구조적 특성 등을 고려하여 아래 그림과 같이 최대단면력이 발생하는(기존 재하시험 단면과 동일) S5~S6경간을 측정단면으로 선정하였고, 처짐계, 변형율계 및 진동가속도계를 그림의 위치에 설치하여 교량의 전반적인 종방향 및 횡방향 거동을 측정하였다.





기 호	기호설명	설치개소	비고
≡	처짐 게이지	6	
≡	강재 변형율 게이지	15	
▲	가속도 게이지	2	



변형율 게이지 (1)



변형율 게이지 (2)



변형율 게이지 (3)



변형율 게이지 (4)



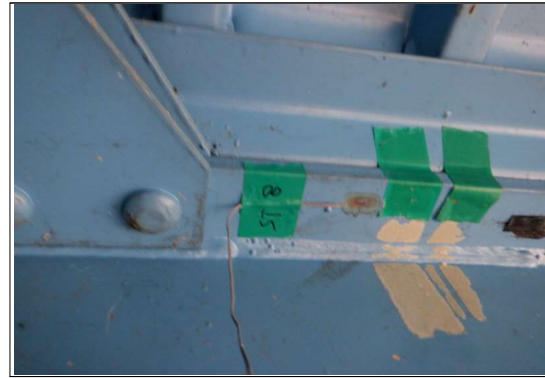
변형율 게이지 (5)



변형율 게이지 (6)



변형율 게이지(7)



변형율 게이지(8)



변형율 게이지(9)



변형율 게이지(10)



변형율 게이지(11)



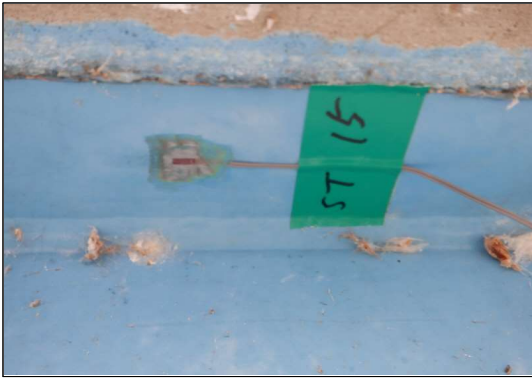
변형율 게이지(12)



변형율 게이지(13)



변형율 게이지(14)



변형율 게이지(15)



처짐 게이지(1)



처짐 게이지(2)



처짐 게이지(3)



처짐 게이지(4)



처짐 게이지(5)



처짐 게이지(6)



가속도 게이지(1)



가속도 게이지 (2)



장비 운영현황



시험 차량(정적재하)



시험 차량(동적재하)

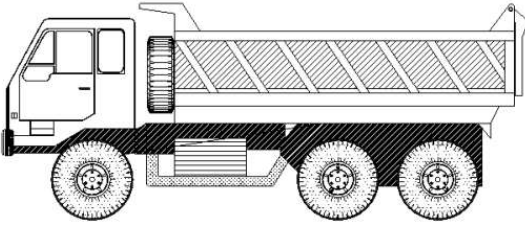
3) 시험차량

본 교량의 재하시험에 사용된 시험차량은 토사를 적재한 15ton 덤프트럭 2대를 사용하였으며, 아래에 시험차량의 제원 및 축중하중을 나타내었다.

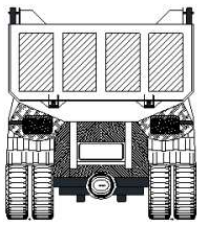
구 분		1축	2축	3축	총중량(tonf)
15톤 덤프	1호차(7318)	3.037	12.147	12.147	27.330
15톤 덤프	2호차(7360)	3.173	12.693	12.693	28.560



2.050



3.225 1.300



1.850

계 량 증 명 서 (제 출 용2)			
전표번호 : 0001			
일 자	2025-11-25		
차 량 번 호	006나7318		
거 래 처	양지		
행 선 지			
제 품			
총 중 량	08:30	27,330 kg	
공 차 중 량	08:26	0 kg	
감 량	0 %	0 kg	
실 중 량	27,330 kg		
단 가	0 원	0 원	
웅진계량소 충남 공주 금흥 528-1 041-854-1993 010-4727-8993 ※ 본 증명서는 재발행하지 않음. ※ 필히 재확인해 주십시오. ※ 계량후 중량의 변동은 본사에서 책임지지 않음. ※ 상기와 같이 제품 계량을 증명함.			

계 량 증 명 서 (제 출 용2)			
전표번호 : 0002			
일 자	2025-11-25		
차 량 번 호	충남06모7360		
거 래 처	양지		
행 선 지			
제 품			
총 중 량	08:33	28,560 kg	
공 차 중 량	08:31	0 kg	
감 량	0 %	0 kg	
실 중 량	28,560 kg		
단 가	0 원	0 원	
웅진계량소 충남 공주 금흥 528-1 041-854-1993 010-4727-8993 ※ 본 증명서는 재발행하지 않음. ※ 필히 재확인해 주십시오. ※ 계량후 중량의 변동은 본사에서 책임지지 않음. ※ 상기와 같이 제품 계량을 증명함.			

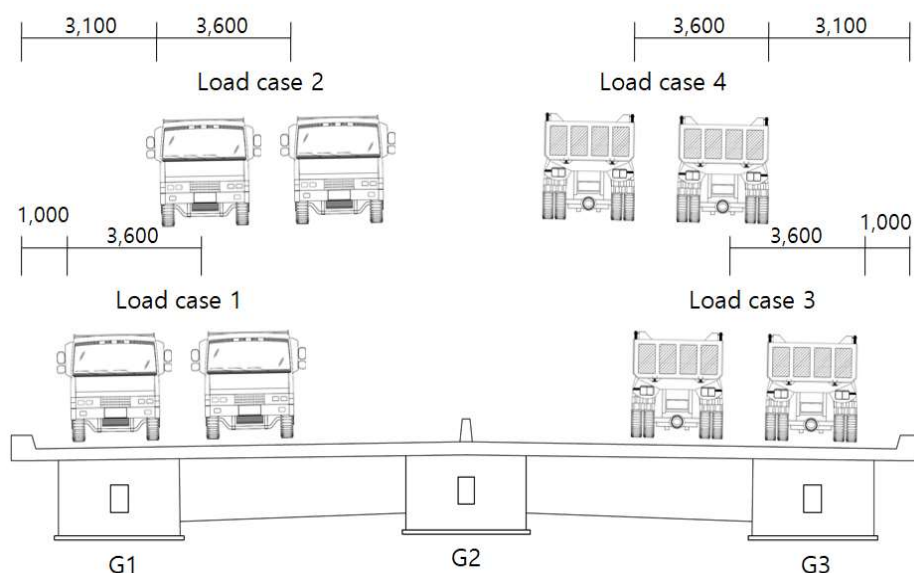
1호차 재하차량(7318)	2호차 재하차량(7360)
----------------	----------------

5) 하중 재하 경우

가) 의사정적재하시험 재하 경우

의사정적 재하시험에서는 약 27.33톤, 28.56톤의 재하차량 2대를 이용하여 교량의 정 모멘트에서 최대 변형을 및 최대 처짐 등 최대하중을 작용시켜 응답치를 얻고 횡분배의 특성을 가지도록 하였으며, 10km/h 주행시 우측차선 끝에 트럭2대를 나란히 붙여서 주행, 좌측차선 끝에 트럭2대를 나란히 붙여서 주행하여 A2(대전방향) → A1(공주방향)의 거더 G1, G2의 최대값, A1(공주방향) → A2(대전방향)의 거더 G3, G2의 최대값을 얻고자 왕복주행으로 시험을 실시하였다.

기호	진행방향	차량배치	비고
Load Case 1	A2→A1(공주방향)	우측차선 나란히	
Load Case 2	A2→A1(공주방향)	좌측차선 나란히	
Load Case 3	A1→A2(대전방향)	우측차선 나란히	
Load Case 4	A1→A2(대전방향)	좌측차선 나란히	



나) 동적재하시험 재하 경우

동적주행시험은 대상교량의 동적거동을 측정하여 충격계수와 고유진동수 등을 산출함으로써 교량의 동적거동특성을 파악하기 위하여 실시하는 시험으로 시험차량의 최대 속도는 교통량의 흐름, 가속구간의 확보 및 제동거리의 확보 등 안전사고를 고려하여 20km/hr ~ 60km/hr 속도까지 단계적으로 증가하면서 실시하였다.

4.3.2 의사정적 재하시험 결과

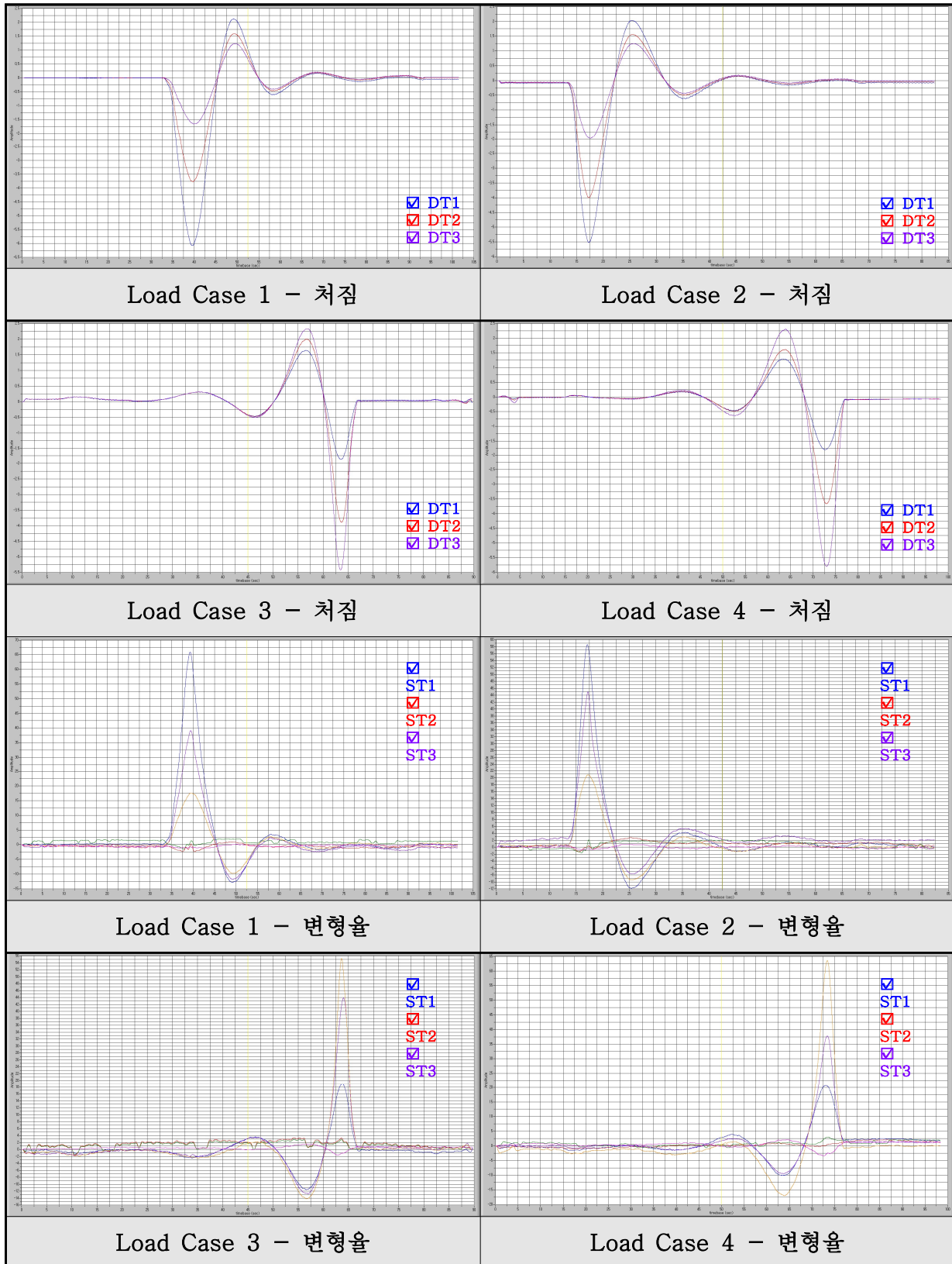
1) 의사정적 재하시험 측정결과

가) 단면 A-A S6경간 정모멘트부 재하시험 측정결과

센서명	센서 부착위치		측정결과				비고
	부착단면	센서ID	L.C 1	L.C 2	L.C 3	L.C 4	
처짐 (mm)	단면 A-A S6 경간 정모멘트부	DT1	-6.074	-5.521	-1.869	-1.792	-
		DT2	-3.766	-3.996	-3.889	-3.663	
		DT3	-1.656	-1.975	-5.425	-5.802	
변형률 ($\mu \epsilon$)	단면 A-A S6 경간 정모멘트부	ST1	65.901	58.563	18.918	20.626	-
		ST2	-2.339	-1.280	-1.774	-1.085	
		ST3	39.142	44.925	43.822	37.809	
		ST4	-1.421	-1.635	-1.521	-0.712	
		ST5	17.542	20.803	55.221	63.568	
		ST6	-1.136	-1.916	-1.591	-3.420	

최대 휨모멘트 발생 하중에 대한 처짐 측정결과, S6경간의 정모멘트부의 최대 처짐은 L.C1의 DT1에서 (-)6.074mm가 발생하였다.

최대 휨모멘트 발생 하중에 대한 변형률 측정결과, S6경간 정모멘트부의 최대 변형률은 L.C1의 ST1에서 65.901 $\mu \epsilon$ 가 발생하였다.



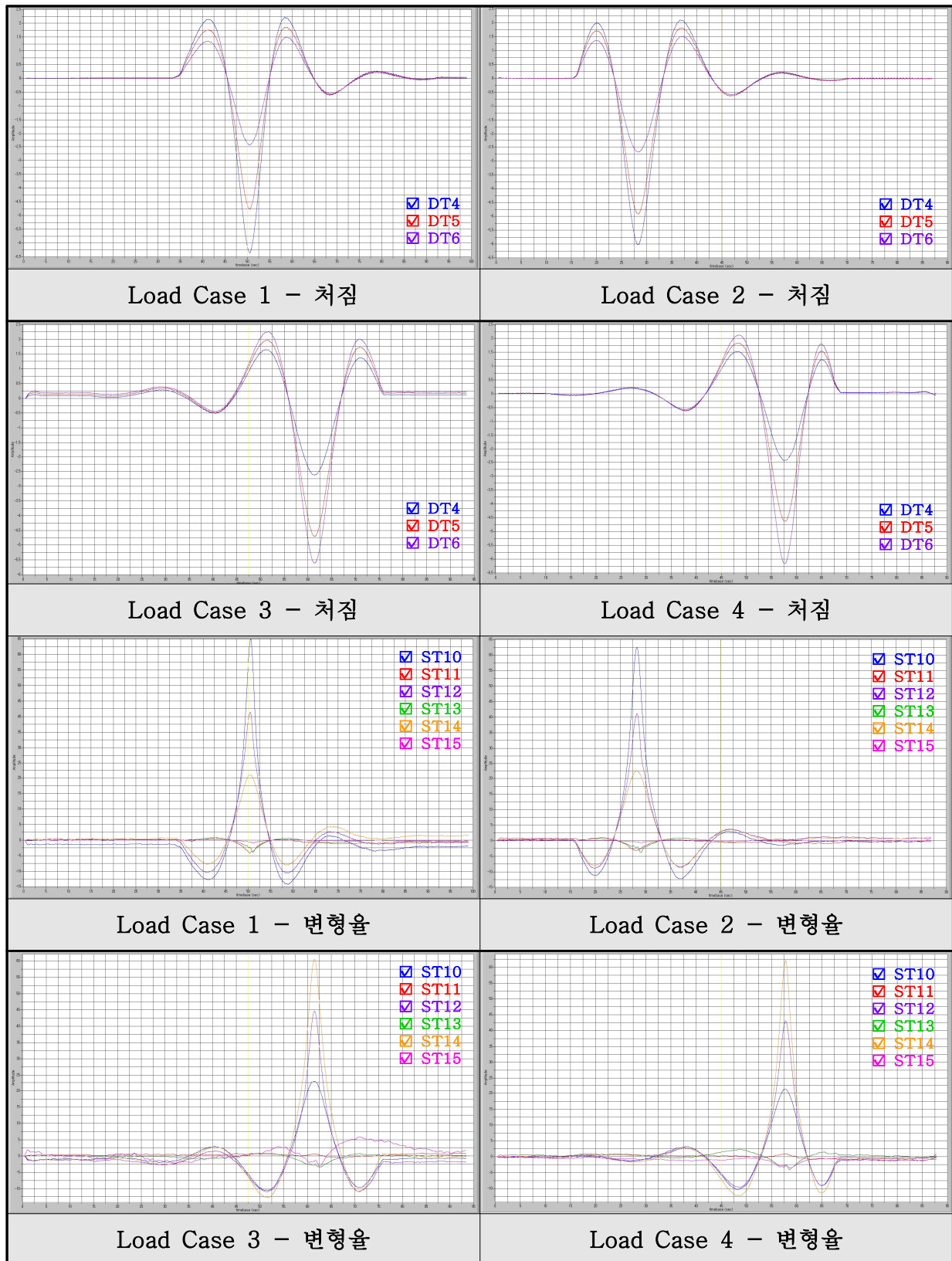
나) 단면 C-C S5경간 정모멘트부, 단면 B-B P5 부모멘트부 재하시 측정결과

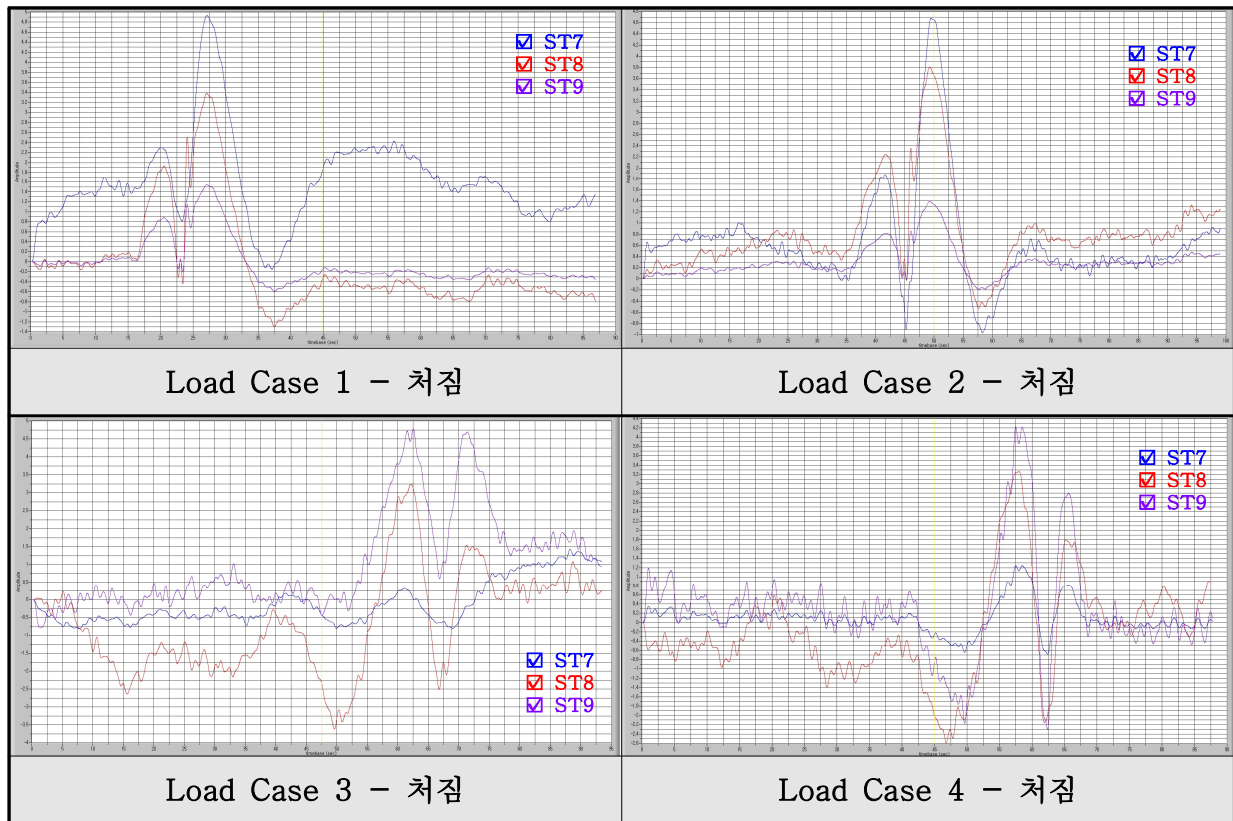
센서명	센서 부착위치		측정결과				비고
	부착단면	센서ID	L.C 1	L.C 2	L.C 3	L.C 4	
처짐 (mm)	단면 C-C S6 경간 정모멘트부	DT4	-6.357	-6.025	-2.621	-2.426	-
		DT5	-4.769	-4.917	-4.704	-4.628	
		DT6	-2.440	-2.678	-5.608	-6.153	
변형률 ($\mu \epsilon$)	단면 C-C S6 경간 정모멘트부	ST10	64.957	62.515	23.091	21.277	-
		ST11	-4.153	-3.144	-0.619	-0.838	
		ST12	41.388	41.141	44.648	43.027	
		ST13	-3.932	-3.850	-3.376	-3.553	
		ST14	20.909	22.447	60.547	62.042	
		ST15	-0.944	-0.716	-3.064	-4.086	
	단면 B-B P5 경간 부모멘트부	ST7	4.930	4.676	1.428	1.245	-
		ST8	3.379	3.807	3.245	3.265	
		ST9	1.544	1.387	4.773	4.221	

최대 휨모멘트 발생 하중에 대한 처짐 측정결과, S5경간의 정모멘트부의 최대 처짐은 L.C1의 DT4에서 (-)6.357mm가 발생하였다.

최대 휨모멘트 발생 하중에 대한 변형률 측정결과, S5경간 정모멘트부의 최대 변형률은 L.C1의 ST10에서 64.957 $\mu \epsilon$ 가 발생하였다.

최대 휨모멘트 발생 하중에 대한 변형률 측정결과, P5 부모멘트부의 최대 변형률은 L.C1의 ST7에서 4.930 $\mu \epsilon$ 가 발생하였다.





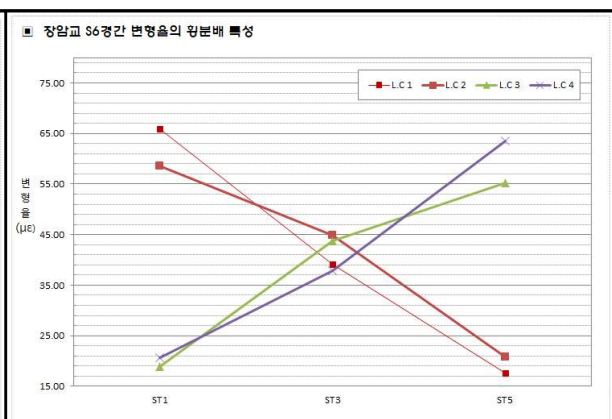
다) 구조적 거동특성 : 횡분배(대칭성) 특성분석

교량부재에 하중 재하시 건전한 거동유무를 판단하며 현장에서 측정된 데이터를 토대로 얻어진 값들에 대한 신뢰성을 갖고 있는가를 확인하기 위해 횡분배 특성분석(대칭성)을 수행하였다.

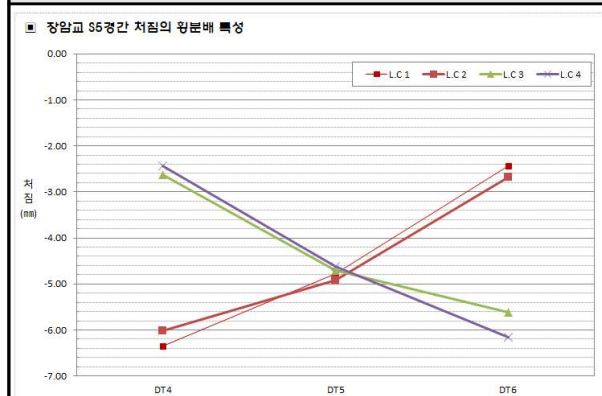
대칭성이란 대칭구조의 교량부재에 하중을 대칭으로 재하시, 측정결과는 대칭성을 보여주게 되는데, 측정값이 합리적이고 충분한 신뢰성을 가지고 있다면 교량의 대칭거동 분석을 통해 구조물의 하중분배, 이상거동 유무를 판단하여 교량의 건전성을 판단하는 기초자료로 활용할 수 있으며, 본 재하시험 측정 데이터를 이용한 대칭성 분석을 실시하여 현 상태의 교량 이상거동 유무를 검토하였다.



a. A-A S6 경간 처짐의
횡분배(대칭성)_정모멘트부



b. A-A S6 경간 변형율의
횡분배(대칭성)_정모멘트부



c. C-C S5 경간 처짐의
횡분배(대칭성)_정모멘트부



d. C-C S5 경간 변형율의
횡분배(대칭성)_정모멘트부

횡분배 분석 결과 그림에서 보는바와 같이 이상거동은 없으며, 슬래브는 하중을 고르게 분담하는 것으로 측정되었다. 또한, 미세한 센서의 차이 및 차량 재하시 재하위치의 오차 등을 감안할 때 대칭성 분석을 통한 본 교량의 거동상태는 비교적 양호한 상태로 판단된다.

2) 중립축 검토

정모멘트부(A-A단면, C-C단면)의 G1, G2 상·하단에서 측정된 변형률 데이터를 이용하여 합성 후 거더의 이론적인 중립축과 실측 중립축을 비교하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

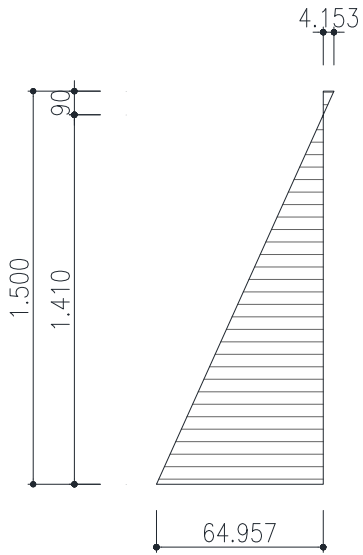
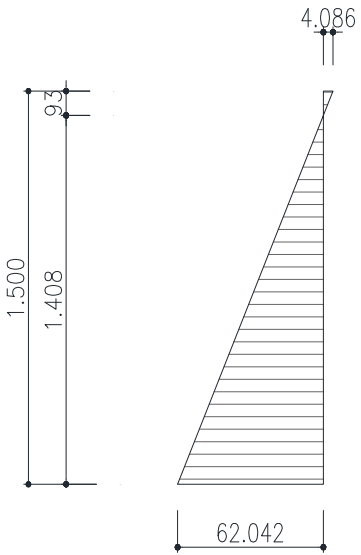
이론 중립축 검토

이론적인 중립축		이론적인 중립축 계산	
		위치	S5 정모멘트부 S6 정모멘트부
		거더 높이	1,500mm

Load Case별 거더의 중립축 검토

구 분	중립축 위치	
	실측	실측
정모멘트부 (A-A단면)		
	<LC1> S6-G1 - ST1, ST2	<LC4> S6-G3 - ST5, ST6

Load Case별 거더의 중립축 검토

구 분	중립축 위치	
	실측	실측
정모멘트부 (C-C단면)		
	<LC1> S5-G1 - ST10, ST11	<LC4> S5-G3 - ST14, ST15

중립축 분석 결과

구 분	정모멘트부(A-A단면)		정모멘트부(C-C단면)	
	G1 (LC.1)	G3 (LC.4)	G1 (LC.1)	G3 (LC.4)
거더 높이	1,500mm	1,500mm	1,500mm	1,500mm
이론 중립축(A)	1,257mm	1,257mm	1,273mm	1,273mm
실측 중립축(B)	1,449mm	1,424mm	1,410mm	1,408mm

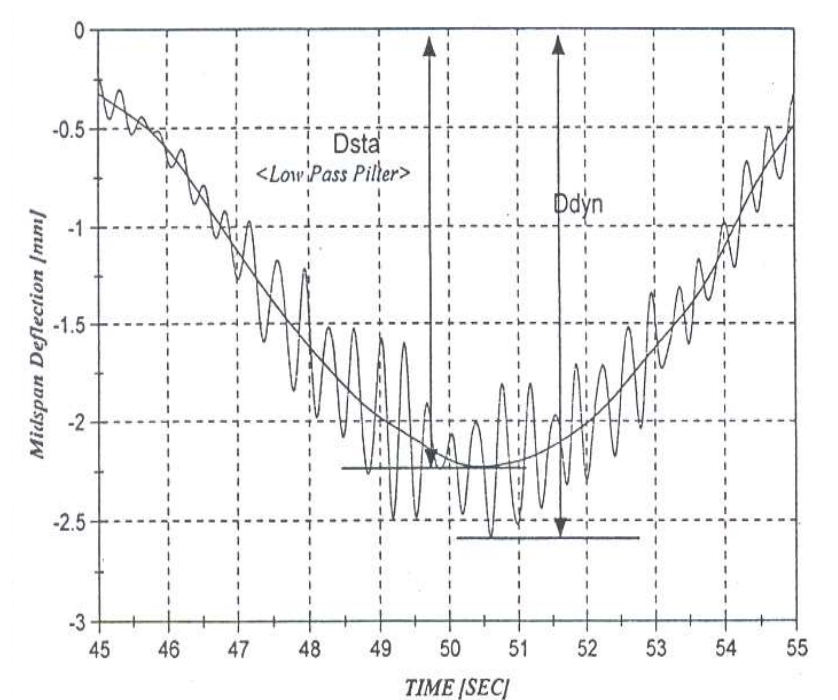
정거더의 실측 중립축 위치와 이론상의 중립축 위치를 비교 평가하기 위하여 각 검토단면에 대하여 실측된 변형률 분포도로부터 중립축 위치를 산출하여 분석한 자료는 위와 같다.

검토결과, 실측 중립축 위치는 해석치와 다소 차이를 보이고 있으나, 바닥판과 거더의 합성거동은 양호한 상태로 판단된다.

4.3.3 동적재하시험 결과

가) 충격계수

교량의 노면상태, 차량의 주행속도, 지간장, 사하중과 활하중비, 구조적 특성 등의 다양한 인자들로 인하여 정적하중에 비해 활하중에 의한 충격 정도를 본 교량에 더욱더 줄 수 있으므로 그 영향정도를 파악하기 위하여 동적 주행시험시 측정된 계측결과(변위, 변형율)를 이용하여 충격계수를 구하였다. 본 교량은 시험차량 속도를 10, 20, 30, 40, 50, 60km/hr로 변화시키면서 주행시험을 실시하여 얻어진 교량의 각 측정부재별 동적 최대응답치와 이를 Low Pass filtering하여 정적화한 응답곡선의 값과 비교하였다.



처짐 이력곡선

$$\text{동적증폭율(Dynamic Load Factor)} : D.L.F = \frac{D_{dyn}(max)}{D_{sta}(max)}$$

$$\text{실측충격계수(Impact Factor)} : i = D.L.F - 1$$

① 이론충격계수

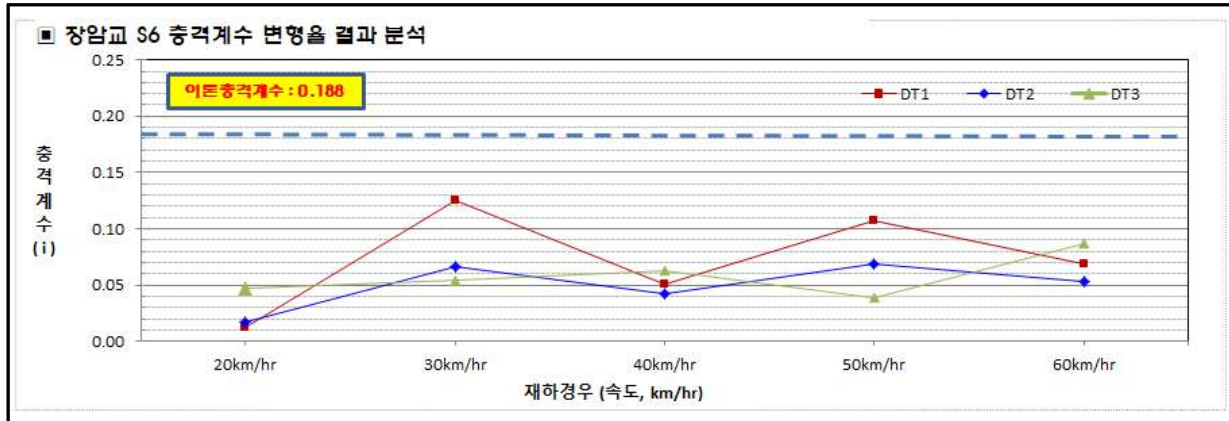
장암교 이론충격계수

구분	경간 위치	적용식	경간장(L)	이론충격계수
장암교	S6	$i = \frac{15}{40 + L}$	40.0m	0.188
	S5		50.0m	0.167

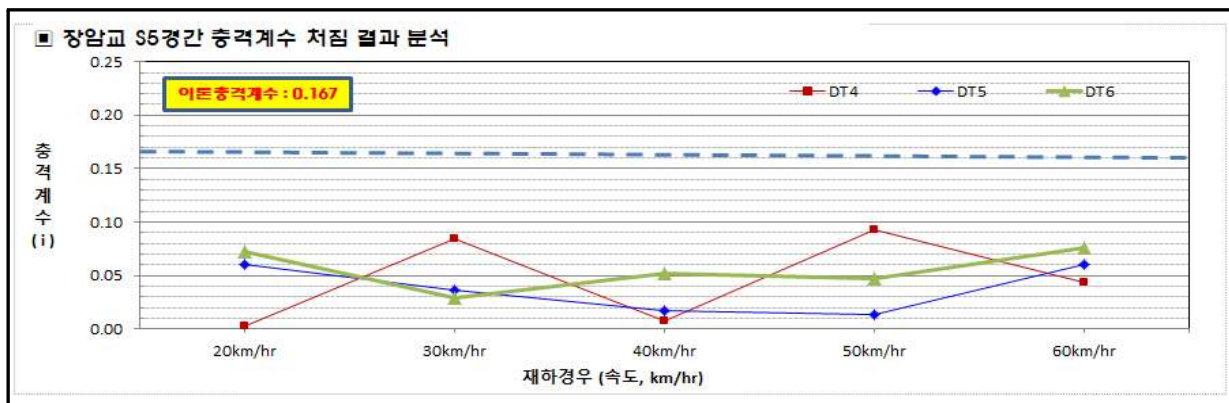
② 동적재하시험 처짐 측정결과 및 충격계수

처짐의 동적재하시험 측정결과 및 충격계수(i)

재하경우 (주행속도)	동적응답(mm) 정적응답(mm) 충격계수	단면 A-A S6경간			단면 C-C S5경간			비고
		DT1	DT2	DT3	DT4	DT5	DT6	
L.C 2 (20km/hr)	δ dyn	-5.726	-3.936	-1.932	-6.374	-5.056	-2.804	-
	δ sta	-5.656	-3.869	-1.845	-6.357	-4.769	-2.613	
	i	0.012	0.017	0.047	0.003	0.060	0.073	
L.C 3 (30km/hr)	δ dyn	-2.223	-3.93	-5.313	-2.659	-4.789	-6.037	-
	δ sta	-1.976	-3.686	-5.04	-2.451	-4.621	-5.865	
	i	0.125	0.066	0.054	0.085	0.036	0.029	
L.C 4 (40km/hr)	δ dyn	-5.811	-4.014	-1.988	-6.211	-4.993	-2.763	-
	δ sta	-5.531	-3.849	-1.871	-6.159	-4.911	-2.627	
	i	0.051	0.043	0.063	0.008	0.017	0.052	
L.C 5 (50km/hr)	δ dyn	-2.079	-3.816	-5.096	-2.816	-4.828	-6.246	-
	δ sta	-1.878	-3.569	-4.903	-2.576	-4.76	-5.966	
	i	0.107	0.069	0.039	0.093	0.014	0.047	
L.C 6 (60km/hr)	δ dyn	-6.062	-4.112	-2.046	-6.343	-5.133	-2.796	-
	δ sta	-5.669	-3.905	-1.882	-6.078	-4.836	-2.599	
	i	0.069	0.053	0.087	0.044	0.061	0.076	
최대 충격계수(대표값)		0.125			0.093			

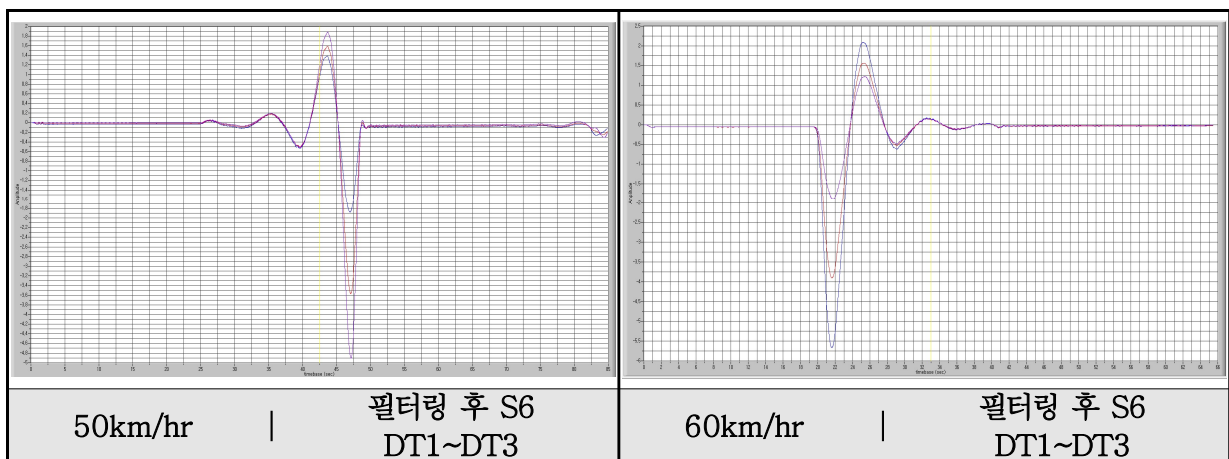


동적재하시험 A-A S6경간 충격계수 처짐 측정 결과

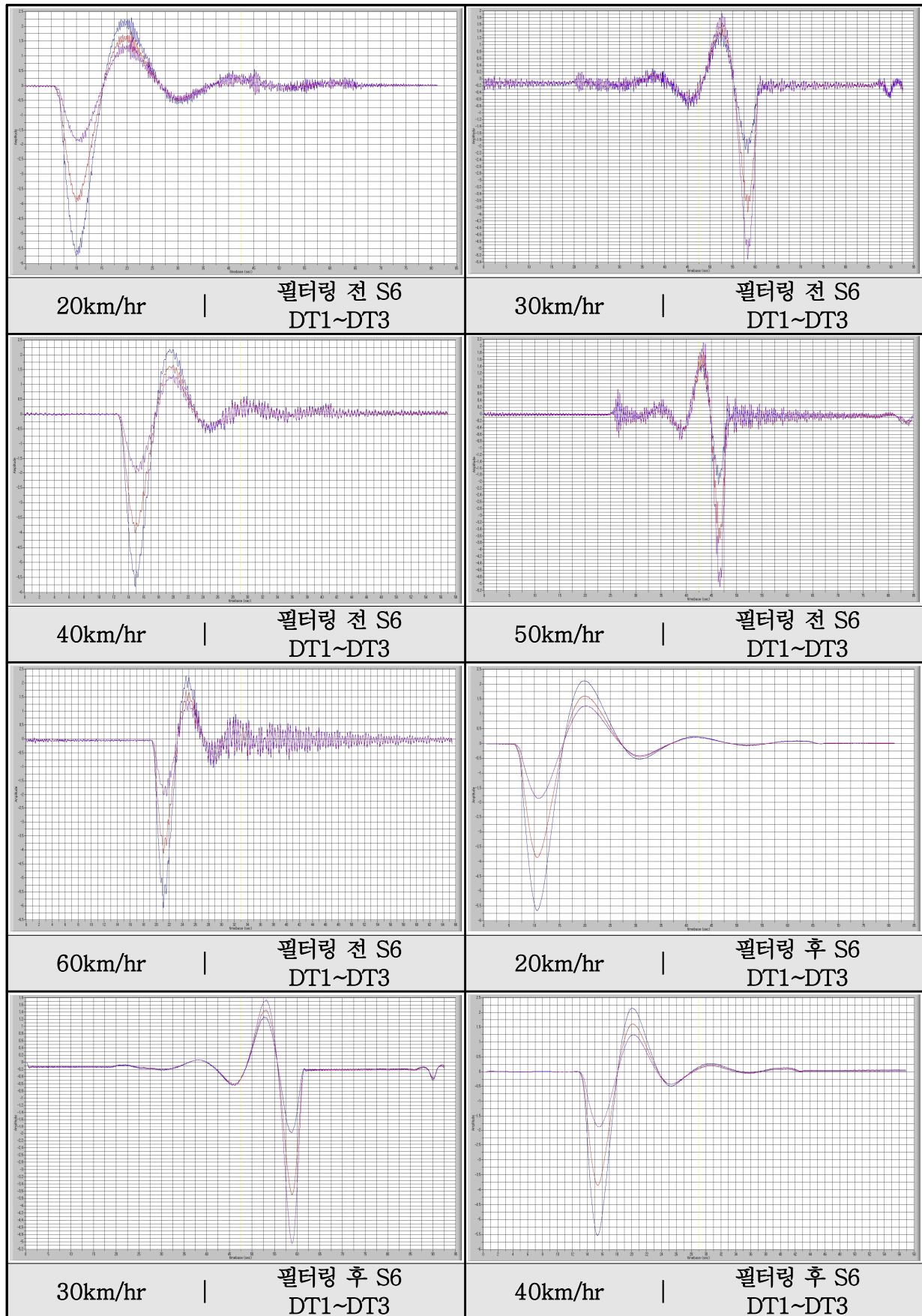


동적재하시험 C-C S5경간 충격계수 처짐 측정 결과

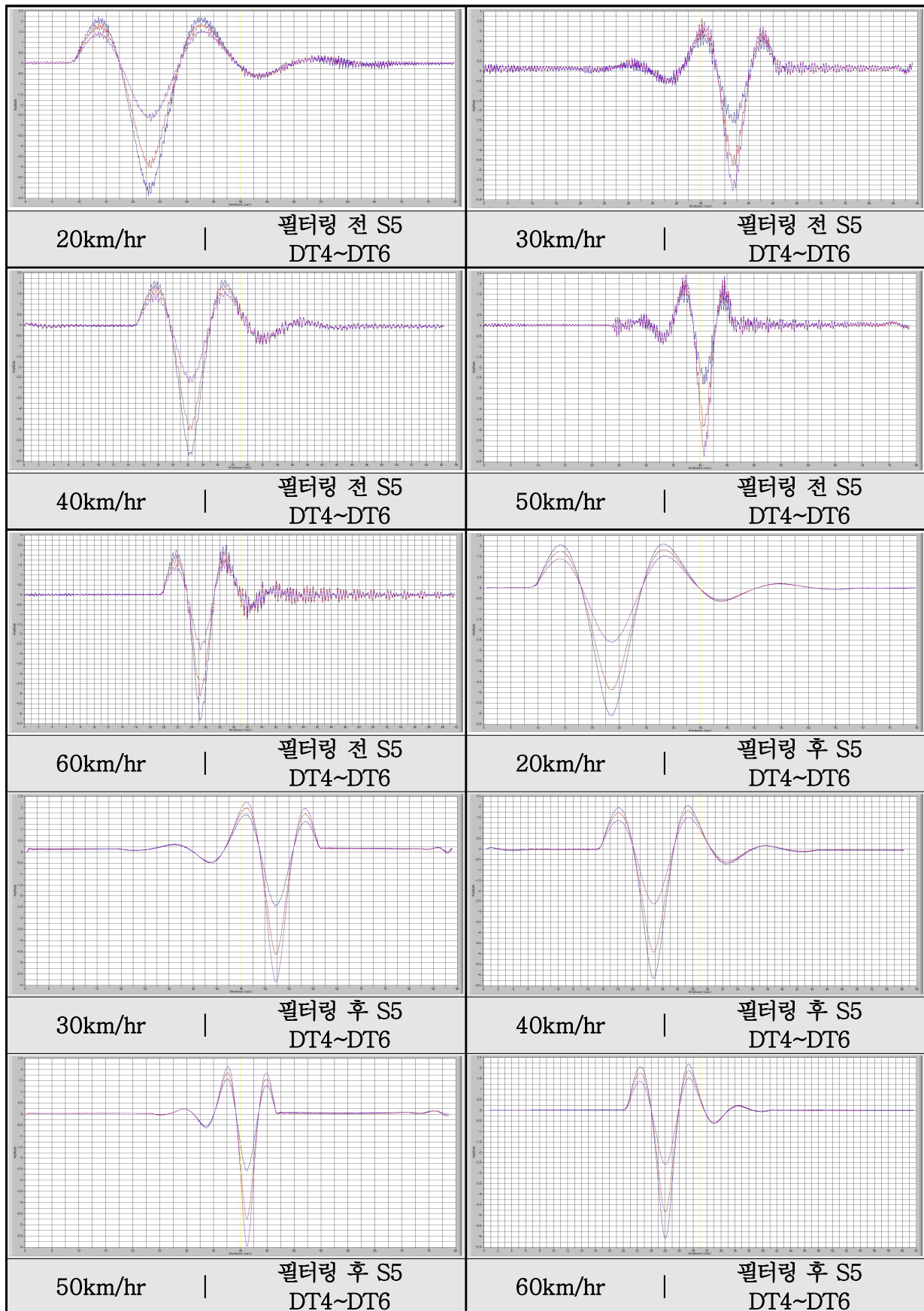
동적재하시험에 따른 S6경간 처짐의 최대 충격계수는 30km/hr 주행시 DT1에서 0.125으로 측정 되었으며, S5경간 처짐의 최대 충격계수는 50km/hr 주행시 DT4에서 0.093으로 측정되어, 도로교 설계기준에서 제시하는 이론충격계수 S6경간 0.188, S5경간 0.167과 비교시 작은 값으로 분석되어 이동하중에 대한 충격의 영향은 양호한 상태로 판단된다.



동적재하시험 처짐 응답곡선(A-A S6경간)



동적재하시험 처짐 응답곡선(A-A S6경간) (계속)



동적재하시험 처짐 응답곡선(C-C S5경간)

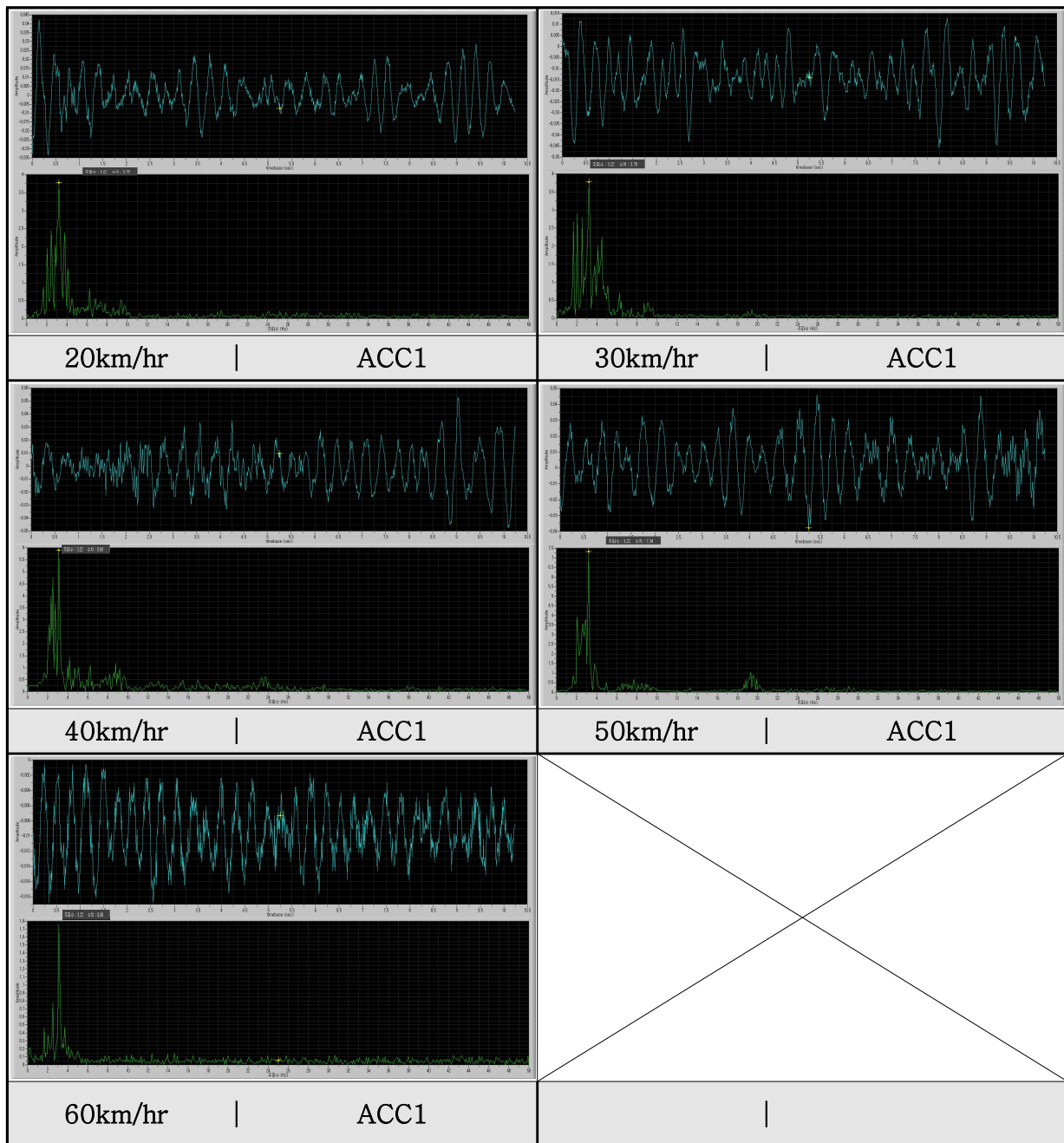
나) 고유진동수

진동데이터의 스펙트럼 해석이란 불규칙한 진동파형을 Fourier 변환하여 시간영역의 데이터를 진동수 영역의 데이터로 바꾸고, 진동파형에 포함되어있는 진동수 성분의 강도(F.F.T)를 구하는 것을 말하며 Window Function의 Hanning type 이용하여 교량에 설치한 가속도계로부터 재하차량이 측정경간을 벗어나 영향을 주지 않는 자유진동상태의 가속도 응답곡선을 이용하여 고유진동수를 구하였다. 해석고유진동수와 실측 고유진동수를 비교한 결과는 실측지와 해석치의 고유진동수 비교표와 같이 나타났다.

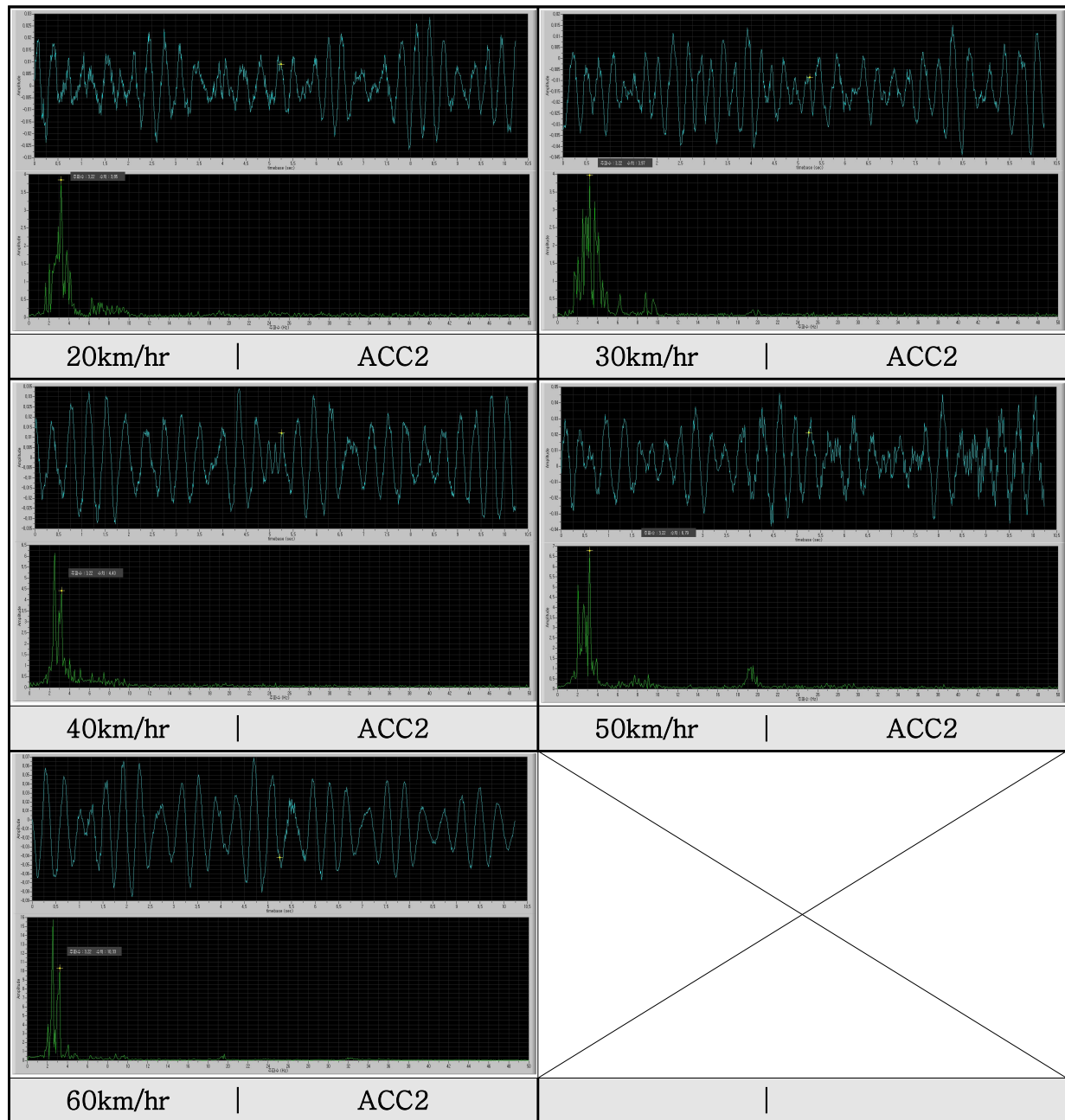
구조물의 진동특성은 구조물의 질량과 강성에 관계되나 해석시 이상화된 해석모델과 달리 실제 구조물은 기하학적 형상이나 지지조건 및 부부재 등에 따라 매우 복잡한 진동을 하게 된다. 구조해석에 의한 진동 현상표는 해석결과 제시된 구조물의 진동형상을 나타낸 것이며 경간별 실측 고유진동수는 계측결과 얻어진 구조물이 진동수를 나타내었다.

실측지와 해석치의 고유진동수 비교

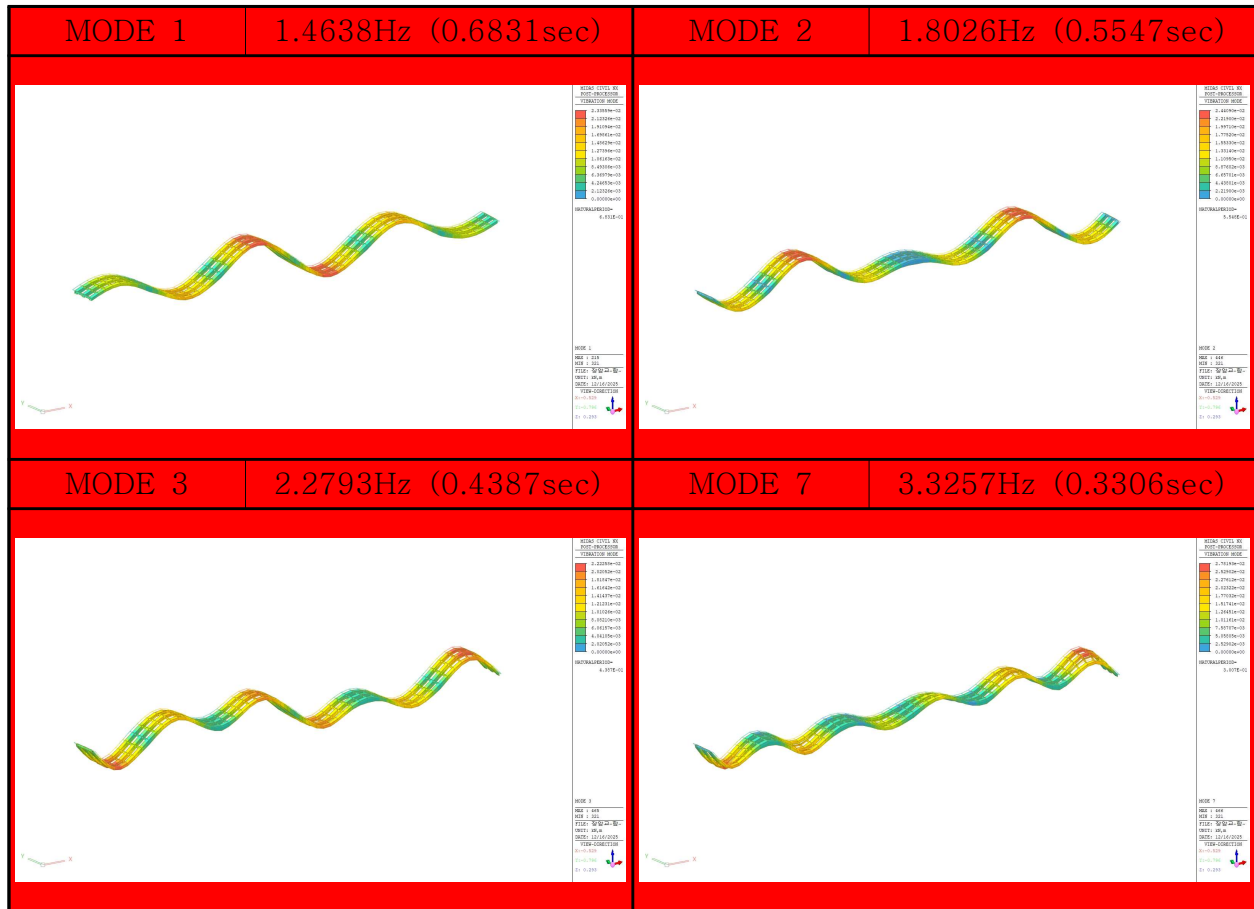
교량명	경간	재하경우	해석 고유진동수	측정 고유진동수	비 고
장암교	S6	20km/hr	1.4638~3.3257 Hz	3.220Hz	—
		30km/hr		3.220Hz	—
		40km/hr		3.220Hz	—
		50km/hr		3.220Hz	—
		60km/hr		3.220Hz	—
	S5	20km/hr		3.220Hz	—
		30km/hr		3.220Hz	—
		40km/hr		3.220Hz	—
		50km/hr		3.220Hz	—
		60km/hr		3.220Hz	—



A-A S5경간 실측 고유진동수



C-C S6경간 실측 고유진동수



구조해석에 의한 진동 형상

재하시험을 통한 대상경간의 실측 고유진동수는 S5, S6경간 3.220Hz로 측정되어 해석치 1.4638~3.3257Hz와 비교시 상회하는 값으로 측정되었고 실제 강성이 이론적인 강성보다 양호한 것으로 평가되며, 구조해석 모델은 타당하다고 판단된다.

4.3.4 기 진단('23년) 측정결과 비교

가) 본 장암교는 준공 후 30년이 경과한 구조물로, 기 진단('21년)시 재하시험 결과와 비교를 위해 동일 경간을 대상경간으로 선정하였고, 그 결과에 대한 비교·분석은 다음과 같다.

정적재하시험 측정결과 비교

구분		단면 A-A S6 정모멘트		단면 C-C S5 정모멘트	
		L.C 1	L.C 4	L.C 1	L.C 4
		DT1	DT3	DT4	DT6
처짐 (mm)	기 진단('21년)	-6.042	-5.263	-5.249	-6.073
	금회 진단('25년)	-6.074	-5.802	-6.357	-6.153

구분		단면 A-A S6 정모멘트		단면 C-C S5 정모멘트	
		L.C 1	L.C 4	L.C 1	L.C 4
		ST1	ST5	ST10	ST15
변형율 ($\mu \varepsilon$)	기 진단('21년)	81.779	76.913	76.052	68.374
	금회 진단('25년)	65.901	63.568	64.957	62.042

충격계수 측정결과 비교

구분		단면 A-A S6 정모멘트		단면 C-C S5 정모멘트	
		이론치	처짐	이론치	처짐
충격 계수	기 진단('21년)	0.188	0.094	0.167	0.055
	금회 진단('25년)	0.188	0.125	0.167	0.093

고유진동수 측정결과 비교

구분		실측고유진동수	해석고유진동수
고유 진동수 (Hz)	기 진단('21년)	3.1043Hz ~ 3.1738Hz	1.4024Hz ~ 3.6894Hz
	금회 진단('25년)	3.220Hz	1.4638Hz ~ 3.3257Hz

금회 진단시 재하시험 결과와 전회차('21년 정밀안전진단) 측정결과와의 비교시 다소 차이를 보이고 있으나 이는 기 진단 당시와 현재의 교면상태 변화 및 재하위치의 오차, 센서의 차이 등을 고려할 때 교량의 강성 변화에 의한 것은 아닌 것으로 추정된다.

따라서, 기 진단과 금회 진단의 비교·분석 결과 센서의 차이, 차량 재하하중 및 재하위치의 오차 등을 감안할 때 교량의 이상처짐은 없으며 전반적인 거동 상태는 양호한 것으로 판단된다.

4.3.5 구조안전성 평가

구조검토 대상인 장암교는 준공된 지 30년이 지난 상태이며, 교통량 증가 및 공용연수 증대에 따른 성능 저하, 외부 손상에 대한 안전성과 사용성을 확보하는 것이 중요하다. 현 교량의 안전성 평가는 설계도서 검토, 현장 외관조사를 실시한 후, 재하시험 결과를 바탕으로 응답비 산출과 내하력 산정 및 평가를 실시하게 된다.

가. 구조형식 및 재료에 따른 평가 방법

현행 도로교 설계 방법은 허용응력설계법과 강도설계법을 적용하며, 교량의 상부구조 형식 및 사용재료에 따라 아래 표와 같이 적용하고, 거더교의 콘크리트 바닥판은 강도 설계법을 적용한다. 또한, 표에 규정되어 있지 않은 상부구조 형식을 갖는 교량의 평가 방법에 대해서는 『도로교설계기준, 2023』에 규정된 해당 교량 형식의 설계 방법이나 당초 설계법을 사용하여 평가한다.

【표 4.54】 구조 형식 및 구조재료에 따른 평가 방법

교량 상부구조 형식	교량 재료	안전성 평가 방법
RC 슬래브교	철근콘크리트	강도설계법
RC 라멘교	철근콘크리트	강도설계법
RC T거더교	철근콘크리트	강도설계법
PSC I거더교, PSC 박스 거더교	프리스트레스 콘크리트	허용응력설계법 강도설계법
강 I거더교	압연강재	허용응력설계법
강박스 거더교	판형강재	허용응력설계법
플레이트거더교	판형강재	허용응력설계법

나. 구조계산의 기본가정

- 보요소를 이용한 격자해석을 실시하여 실제 구조물과 유사하게 모델링한다.
- 철근량은 측정값을 기준으로 하며 철근의 종류는 도면을 참조한다. 유효높이는 철근탐사 결과 측정된 피복두께와 준공도를 참조하여 단면력 검토 시 안전측을 적용한다.
- 콘크리트 강도는 비파괴 압축강도 시험 결과와 설계기준 값의 만족 여부를 고려하여 적용한다.
- 포장두께는 현장조사를 통해 측정된 실측 포장두께 중 안전측 검토를 위해 최대두께를 적용하여 검토한다. (아스팔트 포장 8.0cm)
- 활하중은 DB, DL하중 및 충격하중을 고려하여 산정한다.
- 강도 검토 시 하중계수는 도로교설계기준(2010)을 이용한다.
- 구조검토 결과는 도로교설계기준에 준하여 SI단위계를 사용한다.

$$\ast 1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.098 \text{ MPa} \approx 0.1 \text{ MPa}$$

다. 내하력 평가 방법

장암교는 Steel Box Girder교로 강재 거더의 경우 허용응력설계법, 바닥판은 강도설계법으로 내하력을 평가한다.

라. 허용응력설계법

가) 허용응력설계법

허용응력법에 의한 교량 부재의 내하율 산정 시에 하중조합으로는 D+L(1.0+i)를 사용하여 하중계수를 각각 1.0으로 하며, 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력, 콘크리트의 경우 실제 압축강도를 사용하여 도로교 설계기준과 콘크리트구조설계기준 규정에 의거 부재 종류에 따라 결정한다.

허용응력법에 의한 내하력 평가 방법은 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 내하율(RF)} = \frac{f_a - f_d}{f_l (1+i)} \quad \text{여기서, } f_a = \text{허용응력}$$

f_d = 고정하중에 의한 응력

f_l = 설계 활하중에 의한 응력

i = 충격계수

- 공용내하력(P) = $K_s \times RF \times P_r$

$$\text{여기서, } K_s = \text{응력 보정계수} = \frac{\varepsilon_{\text{계산}}}{\varepsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$$

$i_{\text{계산}}$ ($i_{\text{실측}}$) = 이론적인 충격계수 (실측 최대 충격계수)

$\varepsilon_{\text{계산}}$ ($\varepsilon_{\text{실측}}$) = 이론적인 변형률 (실측 변형률)

마. 강도설계법

강도설계법에 의한 교량 부재의 내하율 산정 시 $1.3D+2.15L(1.0+i)$ 의 하중조합을 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15가 된다. 단면강도는 단면의 현재상태, 즉 재료 강도와 단면 손실 등을 고려하여 도로교설계기준과 콘크리트구조설계기준의 공칭강도와 강도감소 계수에 따라 계산한다. 교량설계 시의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가 시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용 중에 부재 단면의 손상 정도에 따라 결정되어야 한다.

그러나, 부재의 손상 정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도 산정 시에는 교량의 현재 상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고, 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다.

강도설계법에 의한 내하력 평가 방법은 다음과 같다.

- 내하율(RF) = $\frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_1 M_l (1+i)}$

여기서, ϕM_n = 극한 저항 모멘트 (RC-PC구조물의 휨부재 $\phi=0.85$)

M_d = 실측 고정하중 모멘트

M_l = 설계 활하중 모멘트

γ_1 = 활하중 계수(2.15)

γ_d = 고정하중 계수(1.30)

i = 충격계수

- 공용 내하력(P) = $K_s \times RF \times P_r$

$$\text{여기서, } K_s = \text{응력 보정계수} = \frac{\varepsilon_{\text{계산}}}{\varepsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$$

P_r = 설계 활하중

4.3.6 구조해석 및 안전성 검토

가. 구조형식 및 제원

- 1) 구조형식 : 6경간 연속 강박스거더교
- 2) 연 장 : 280.0m (=40.0+4@50.0+40.0)
- 3) 교량폭원 : 19.500m
- 4) 교량등급 : 1등급(DB-24, DL-24)

나. 사용재료

1) 콘크리트

- 설계강도 : $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$
- 탄성계수 : $E_c = 26,701 \text{ MPa}$
- 단위중량 : $\gamma_c = 25.0 \text{ kN/m}^3$
- 허용응력 : $f_{ca} = 0.4 f_{ck} = 10.80 \text{ MPa}$, $f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.89 \text{ MPa}$

2) 철근

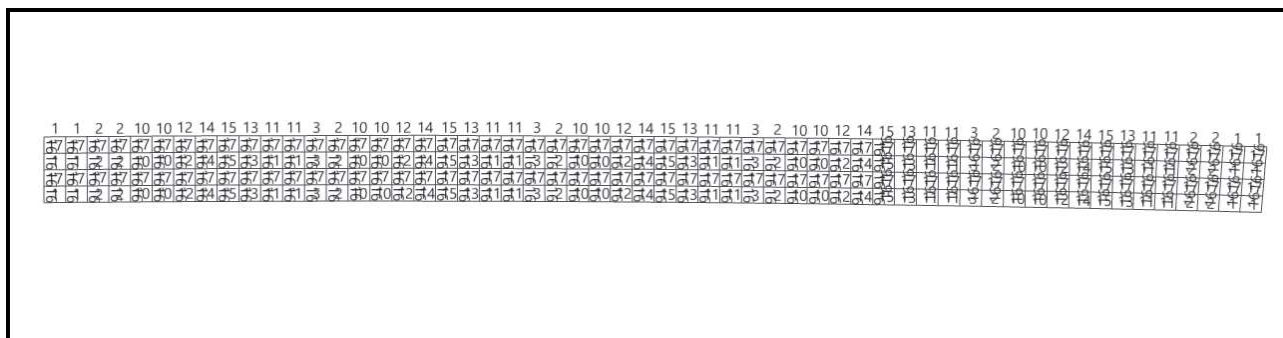
- 종 류 : SD40
- 항복응력 : $f_y = 400 \text{ MPa}$
- 탄성계수 : $E_r = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$
- 허용응력 : $f_{ta} = 160 \text{ MPa}$, $f_{ca} = 180 \text{ MPa}$

3) 강재

- 종 류 : 주부재 SM490 (SWS50B), 부부재 SM400 (SWS41B)
- 탄성계수 : $E_s = 2.05 \times 10^5 \text{ MPa}$
- 단위중량 : $\gamma_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$
- 허용응력 : 주부재 $f_{sa} = 190 \text{ MPa}$, 부부재 $f_{sa} = 140 \text{ MPa}$

4) 단면특성

【그림 4.5】는 강박스거더교의 주부재와 부부재에 대한 단면 ID 및 단면형상을 나타낸 것이고, 【표 4.55】은 도로교설계기준에 따라 바닥판 및 플랜지의 유효폭을 고려하여 합성전과 합성후의 단면에 대하여 단면특성을 나타내었다.



【그림 4.5】 단면 ID 및 단면형상

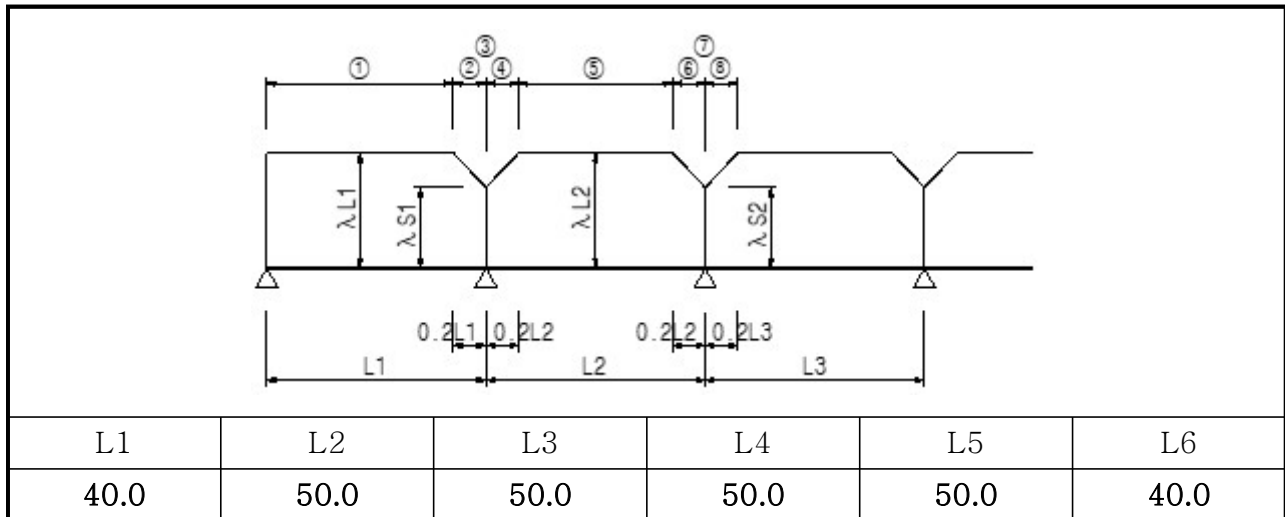
【표 4.55】 구조해석모델 단면특성

단면ID.		구분	단면적 A(cm ²)	비틀림강성 Ixx(cm4)	단면2차모멘트	
					Iyy (cm4)	Izz (cm4)
거 더	A	합성 전	1,502	10,794,130	6,783,191	12,461,920
		합성 후	3,396	16,912,780	14,088,750	79,139,670
	B	합성 전	1,718	12,073,580	8,060,927	13,774,120
		합성 후	3,612	18,122,060	16,007,390	80,451,870
	C	합성 전	1,664	11,786,200	7,719,445	13,446,070
		합성 후	3,558	17,594,130	15,120,380	80,123,820
	D	합성 전	1,589	17,083,710	13,111,920	14,352,530
		합성 후	3,482	24,184,880	25,129,370	81,030,280
	E	합성 전	1,698	22,663,490	19,917,780	16,079,000
		합성 후	3,592	30,659,520	40,776,360	82,756,750
F	합성 전	2,144	34,206,030	34,600,070	21,039,440	
	합성 후	4,038	44,047,160	65,673,330	87,717,190	
Stringer			144	54	157,091	5,405
CrossBeam			180	64	394,019	5,407

5) 플랜지 유효폭 산정

응력과 변형을 계산하기 위한 유효폭은 강재플랜지의 유효폭과 바닥판의 유효폭으로 구분하여 계산하며, 도로교 설계기준에 따른다.

① 플랜지 유효폭



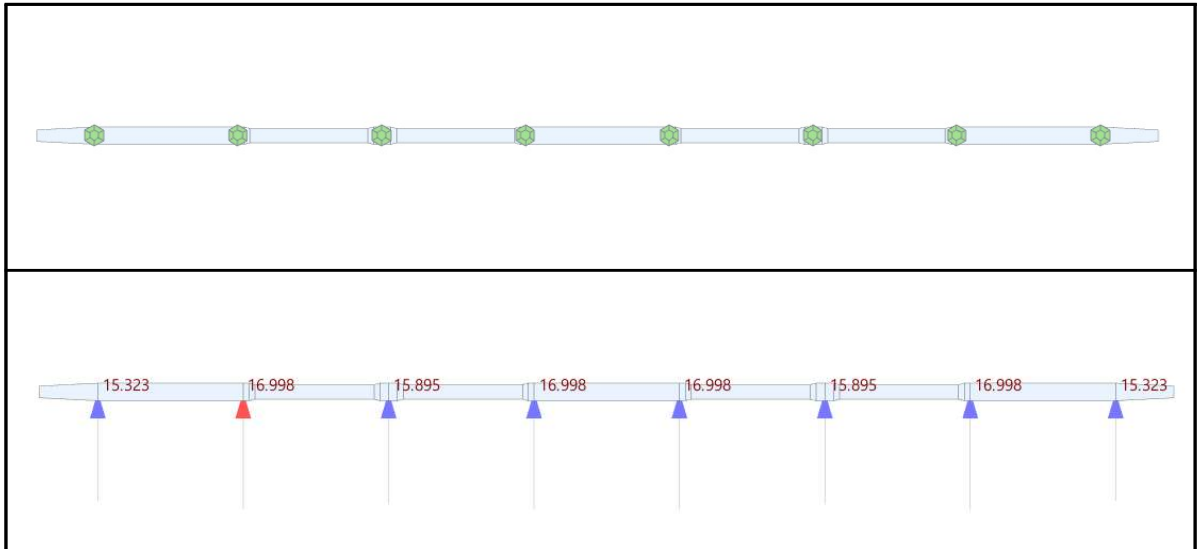
위치	등가 지간장 (l)	복부간격 (2b)		플랜지 돌출폭 (be)		b/l		λL or λS		강재 플랜지 유효폭	
		상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부	상부	하부	상 부	하 부
L1	32.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.039	0.039	1.250	1.250	2.700	2.700
L1~L2	18.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.069	0.069	1.074	1.074	2.349	2.349
L2	30.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.042	0.042	1.250	1.250	2.700	2.700
L2~L3	20.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.063	0.063	1.097	1.097	2.394	2.394
L3	30.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.042	0.042	1.250	1.250	2.700	2.700
L3~L4	20.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.063	0.063	1.097	1.097	2.394	2.394
L4	30.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.042	0.042	1.250	1.250	2.700	2.700
L4~L5	20.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.063	0.063	1.097	1.097	2.394	2.394
L5	30.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.042	0.042	1.250	1.250	2.700	2.700
L5~L6	18.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.069	0.069	1.074	1.074	2.349	2.349
L6	32.000	2.500	2.500	0.100	0.100	0.039	0.039	1.250	1.250	2.700	2.700

다. 하중조건

1) 합성전 고정하중

① 강재 자중

교량의 강재 자중은 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중을 포함하여 주부재 자중의 1.254배를 적용하였다.



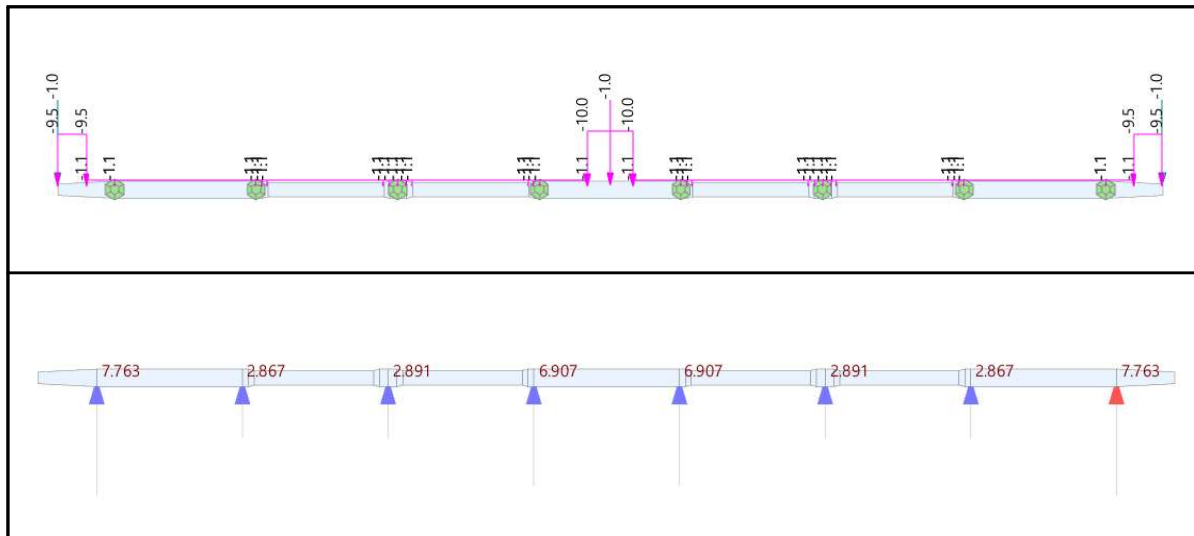
② 바닥판 하중

구 분		거더폭(n)	G-1	ST1	G-2	ST2	G-3
반력	P1	2.500	15.323	15.895	16.998	15.895	16.998
	P2	2.500	16.998	—	16.998	—	15.323
Pt		—	32.321	15.895	33.996	15.895	32.321
Mt		—	2.094	—	0.000	—	-2.094

2) 합성후 고정하중

포장, 연석 등의 하중을 고려하여 다음과 같은 하중을 적용하였다.

- 아스팔트 포장(W) : $0.05 \times 23.0 = 1.150 \text{ kN/m}^2$
- 연석 : $W1 = 9.500 \text{ kN/m}^2$
- 중분대 기초 : $W1 = 10.000 \text{ kN/m}^2$
- 차량방호책 및 중분대 : $W1 = 1.000 \text{ kN/m}$



구 분		거더폭 (n)	G-1	ST1	G-2	ST2	G-3
반력	P1	2.500	7.763	2.891	6.907	2.891	2.867
	P2	2.500	2.867	—	6.907	—	7.763
Pt		—	10.630	2.891	13.814	2.891	10.630
Mt		—	-6.120	—	0.000	—	6.120

3) 활하중(DB-24, DL-24)

설계활하중은 DB-24 / DL-24에 대해 이동하중으로 편도 2차선(왕복 4차선) 재하의 경우중 최대 활하중 효과가 발생하는 하중경우에 대하여 검토하였다. 설계충격계수는 아래의 식으로 계산되어진 0.167과 0.188을 사용하였다.

① 재하조건 및 횡방향 재하

- 차도폭 : $W_c = 9.000 \text{ m}$ · 차선수 : $N = 2$ (상하행 왕복 4차로)
- 설계차선평폭 : $= W_c / N = 9.000 / 2 = 4.600 \text{ m} > 3.6 \text{ m} \quad \therefore 3.600 \text{ m}$ 적용
- 설계활하중 : DB-24 : $P_f = 24.0 \text{ kN}, P_r = 96.0 \text{ kN}$

$$DL-24 : w = 12.7 \text{ kN/m}, P_m = 108.0 \text{ kN}, P_s = 156.0 \text{ kN}$$

② 충격계수

$$\cdot i = \frac{15}{40 + L_1} = \frac{15}{40 + 40.0} = 0.188$$

$$\cdot i = \frac{15}{40 + L_1} = \frac{15}{40 + 50.0} = 0.167$$

4) 온도하중

온도하중은 합성형교에서 고려하는 일반적인 경우로서 바닥판 콘크리트와 강박스거더의 온도차이를 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 로 고려하였다.

5) 재하시험 차량하중

대상교량의 내하력을 평가하기 위해 재하차량에 대한 해석을 수행하였다. 제원은 5장에 수록되어 있으며 측정 거더에 직접 재하되는 하중경우에 대해 최대응답을 산정하였다.

6) 크리프

합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 크리프에 의한 응력은 도로교 설계기준에 제시되어 있는 $\phi_1 = 2.0$ 을 사용하여 검토하였다.

7) 건조수축

바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 도로교 설계기준에 제시되어 있는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2\phi_1 = 4.0$ 을 사용하여 검토하였다.

8) 하중조합

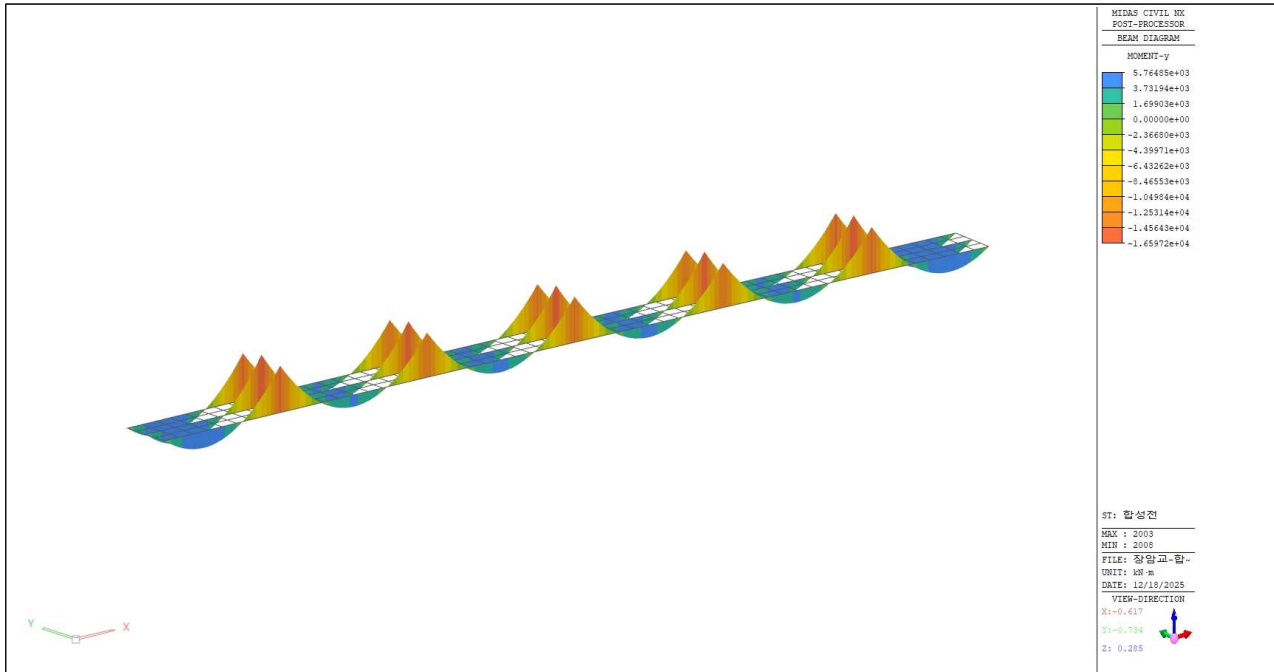
대상교량의 구조안전성검토를 위해 고려된 하중조합은 다음과 같다.

- ① COMB 1 : 고정하중(합성전)
- ② COMB 2 : 고정하중(합성전 + 합성후) + 활하중 + 지점침하
- ③ COMB 3 : 고정하중 + 활하중 + 지점침하 + 크리프
- ④ COMB 4 : 고정하중 + 활하중 + 지점침하 + 크리프 + 건조수축
- ⑤ COMB 5 : 고정하중 + 활하중 + 지점침하 + 크리프 + 건조수축 + 온도변화(+10 $^{\circ}\text{C}$)
- ⑥ COMB 6 : 고정하중 + 활하중 + 지점침하 + 크리프 + 건조수축 + 온도변화(-10 $^{\circ}\text{C}$)

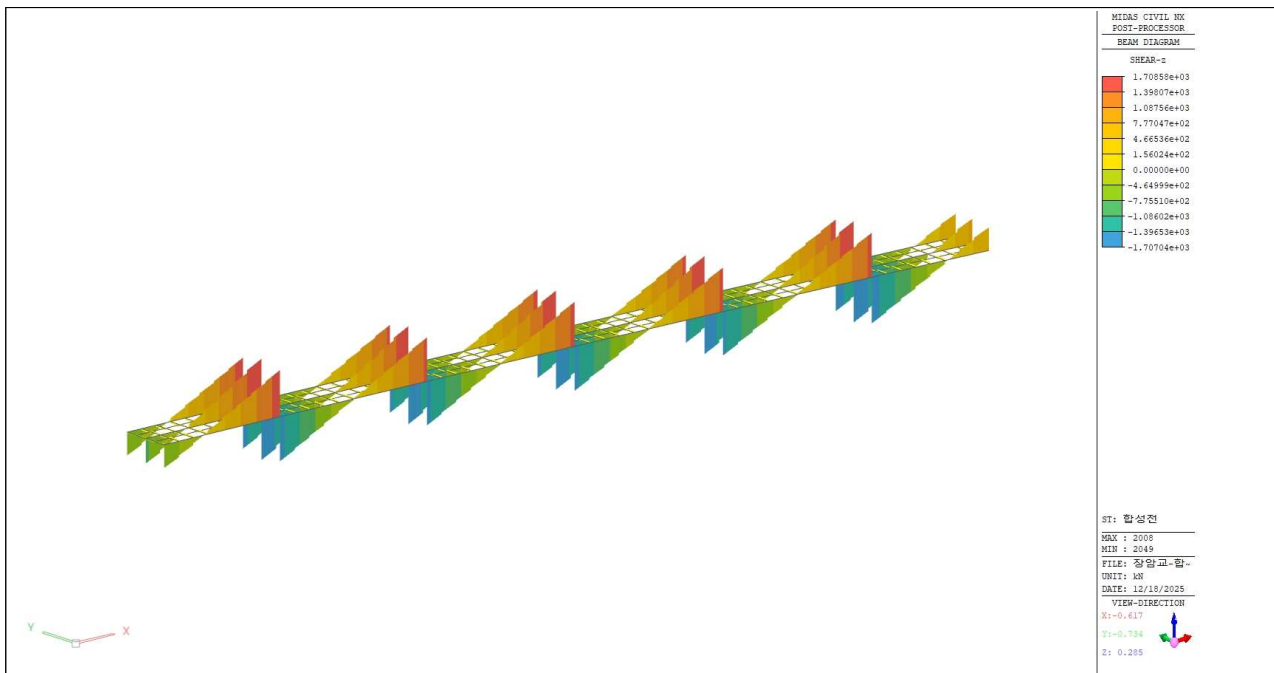
4.3.7 구조해석 결과

가. 단면력도

각 하중조건에 대해서 강박스 거더의 부재력도를 【그림 4.6】 ~ 【그림 4.10】에 나타내었다.

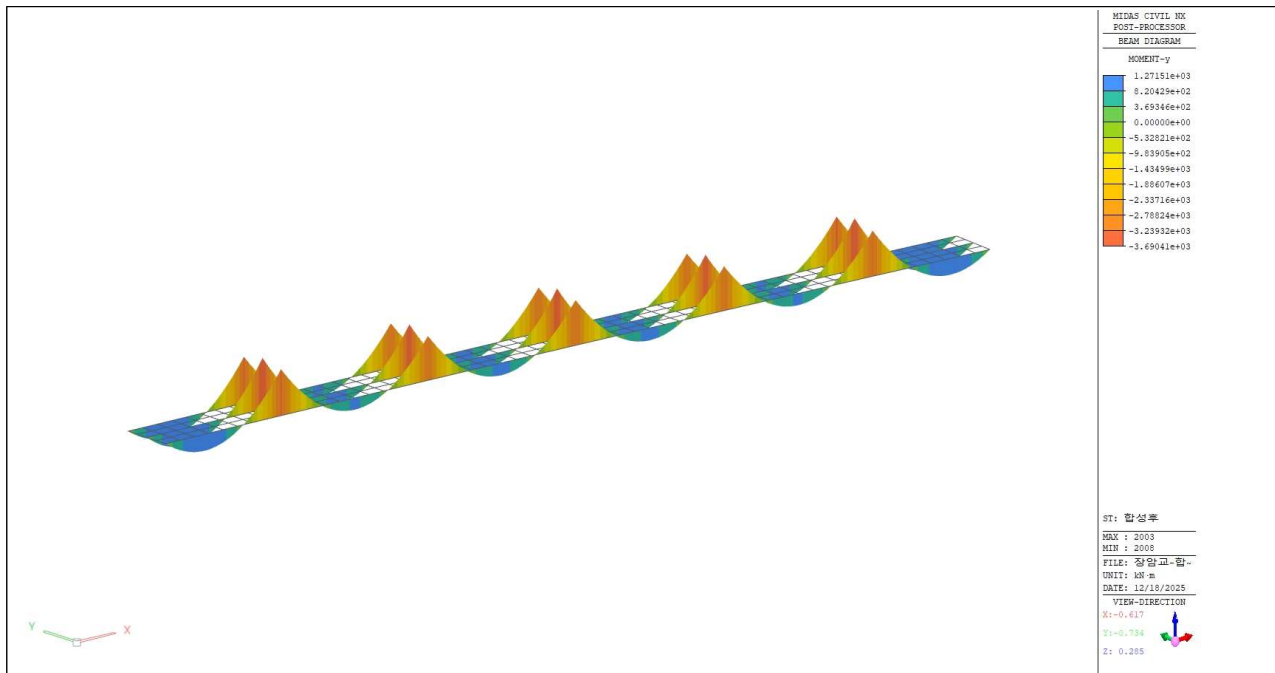


(a) 휨모멘트도

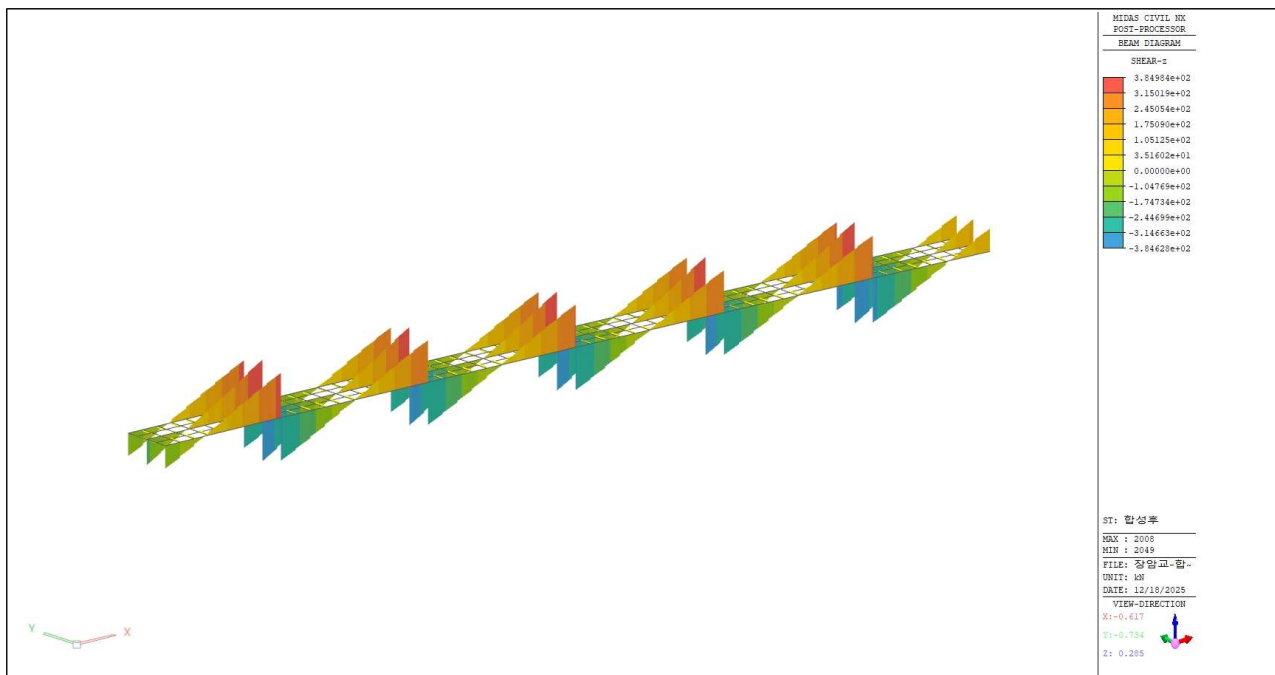


(b) 전단력도

【그림 4.6】 합성전 고정하중에 의한 부재력도

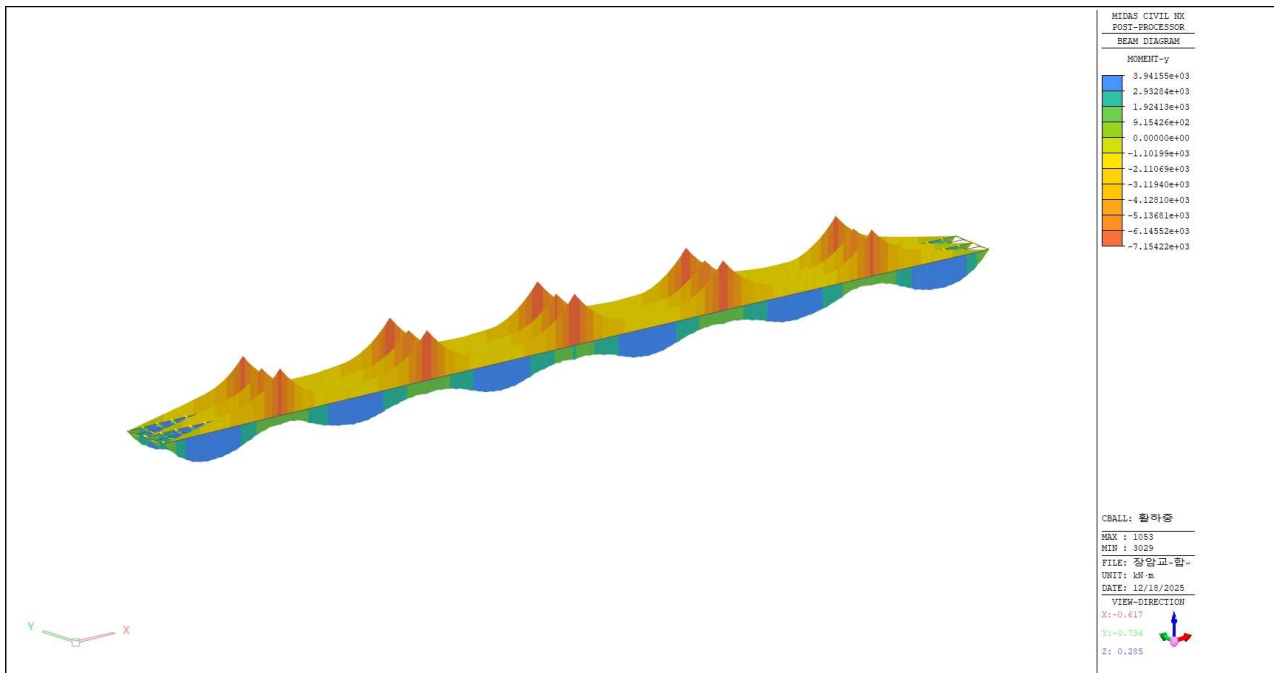


(a) 힉모멘트도

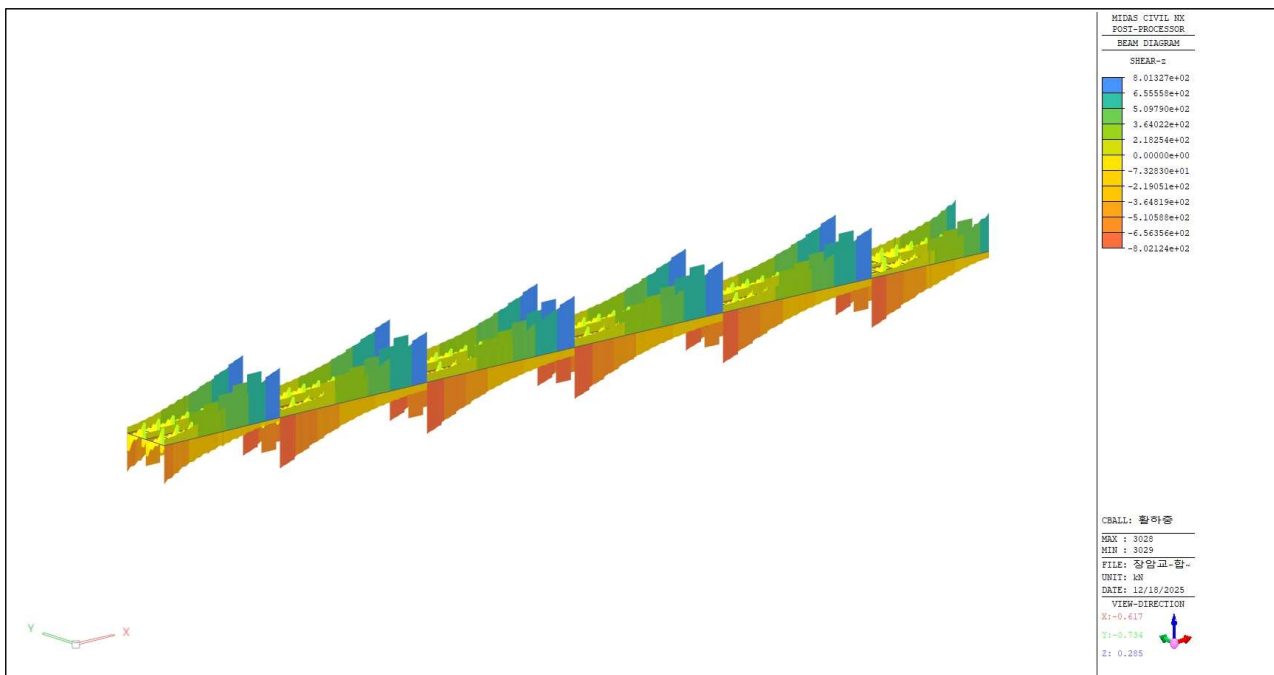


(b) 전단력도

【그림 4.7】 합성후 고정하중에 의한 부재력도

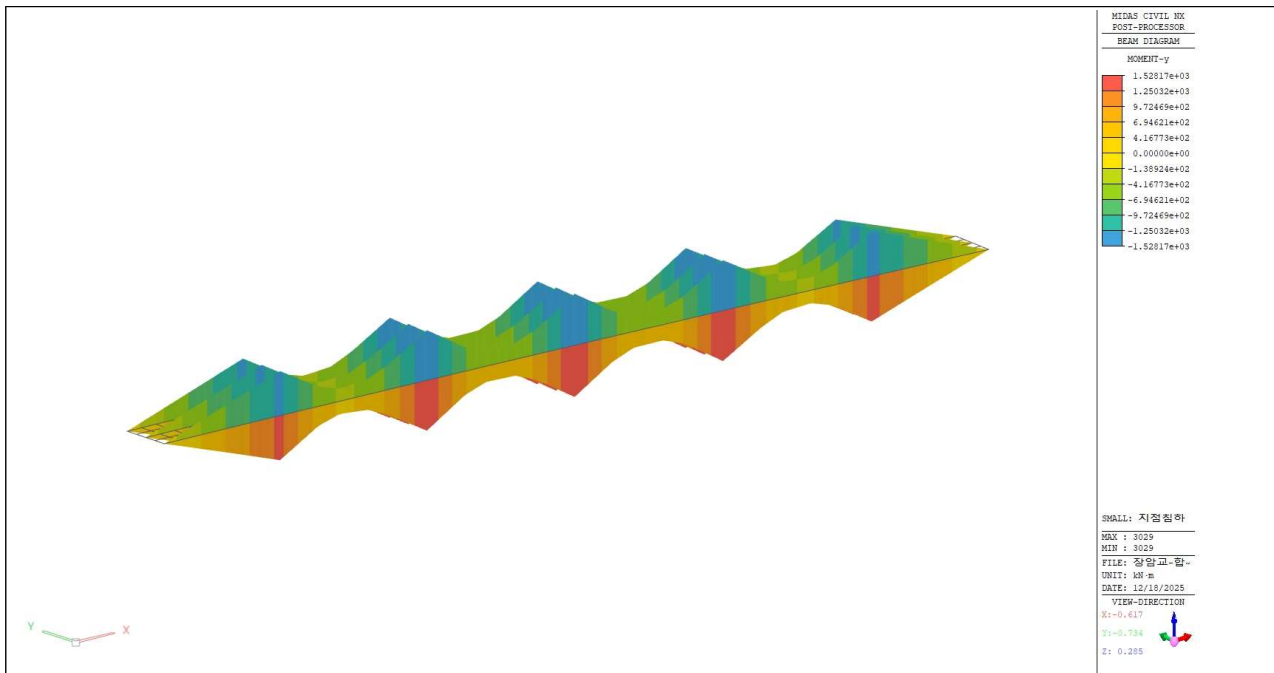


(a) 휨모멘트도

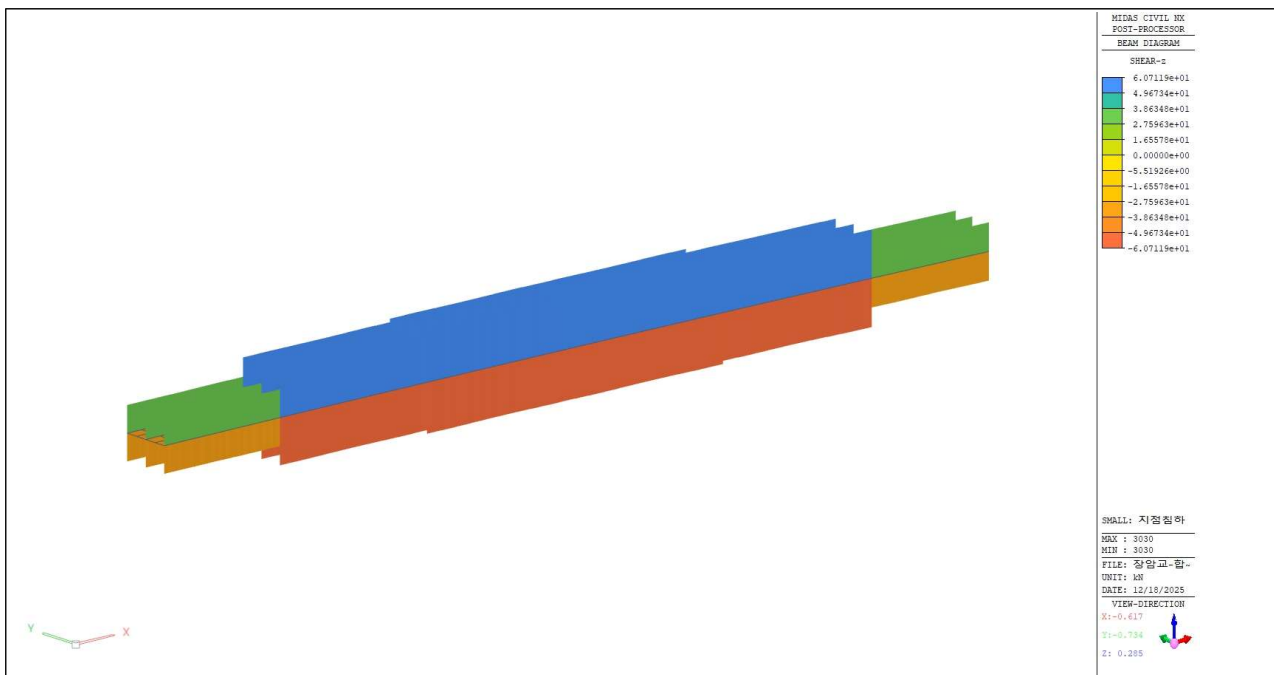


(b) 전단력도

【그림 4.8】 활하중에 의한 부재력도

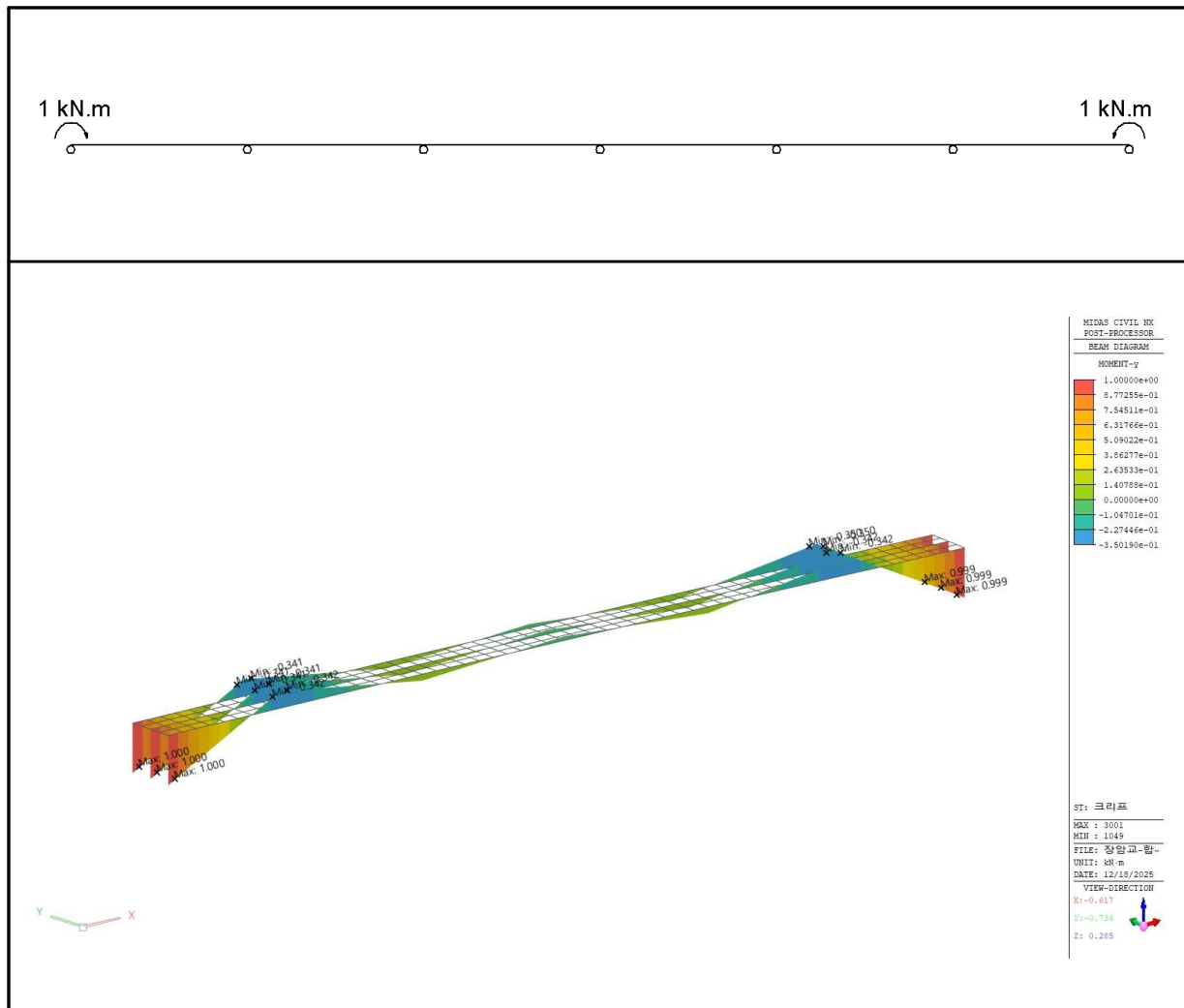


(a) 휨모멘트도



(b) 전단력도

【그림 4.9】 지점침하에 의한 부재력도



【그림 4.10】영향계수 K

나. 단면력 및 단면응력

외측지간(S1, S6)과 내측지간(S2~S5)의 외측거더(G1,G3), 내측거더(G2)의 정모멘트가 발생하는 중앙부와 부모멘트가 발생하는 지점부로 나누어 검토한 단면력은 다음과 같다..

【표 4.56】 거더의 단면력 및 휨응력

구 분		휨모멘트 (kN·m)	전단력 (kN)	비틀림모멘트 (kN·m)
1,6지간 외측거더 중앙부	합성전 고정하중	5,449.851	-359.941	-164.956
	합성후 고정하중	1,201.676	78.422	-30.798
	활하중+지점침하	4,478.995	-405.180	-329.279
1,6지간 내측거더 중앙부	합성전 고정하중	5,757.516	-377.771	-65.355
	합성후 고정하중	1,270.028	-89.604	-14.652
	활하중+지점침하	4,127.705	-275.949	-492.615
2~5지간 외측거더 중앙부	합성전 고정하중	4,005.824	-280.596	66.240
	합성후 고정하중	887.707	-61.450	19.965
	활하중+지점침하	4,355.788	-442.045	263.807
2~5지간 내측거더 중앙부	합성전 고정하중	4,333.907	-292.762	8.008
	합성후 고정하중	943.707	-70.443	1.866
	활하중+지점침하	4,071.966	-342.978	408.368
외측거더 지점부	합성전 고정하중	-15,214.215	-1,545.606	-488.447
	합성후 고정하중	-3,346.850	-334.670	-39.465
	활하중+지점침하	-7,886.951	845.637	-840.208
내측거더 지점부	합성전 고정하중	-16,568.814	-1,707.044	-103.589
	합성후 고정하중	-3,683.798	-384.628	-23.406
	활하중+지점침하	-7,040.102	702.489	1,251.794

다. 하중조합에 의한 응력집계

강박스거더의 구조안전성 검토시 고려된 하중조합에 대한 응력검토결과는 【표 4.57】과 같으며, 허용응력 이내로 검토되었다.

【표 4.57】 하중조합에 의한 안전성 검토

구 분		휨 응 력(MPa)			허용응력(MPa)			검토 결과
		바닥판 상 연	강거더 상 연	강거더 하 연	바닥판 상 연	강거더 상 연	강거더 하 연	
1,6지간 외측거더 중앙부	COMB 1	—	53.003	-52.708	—	186.100	190.000	O.K
	COMB 2	2.579	63.416	-98.556	10.800	190.000	190.000	O.K
	COMB 3	2.270	66.676	-98.214	10.800	218.500	190.000	O.K
	COMB 4	1.017	88.339	-96.425	10.800	218.500	190.000	O.K
	COMB 5	0.029	103.690	-94.168	12.420	247.000	218.500	O.K
	COMB 6	2.005	72.988	-98.681	12.420	247.000	218.500	O.K
	항복응력	6.069	129.694	-161.107	16.200	315.000	-315.000	O.K
	합성응력	$(f/f_a)^2 + (\tau/\tau_a)^2 = 0.334 < 1.2$						O.K
	전단응력	$v = 28.1 \text{ MPa} < v_a = 110 \text{ MPa}$						O.K
1,6지간 내측거더 중앙부	COMB 1	—	55.995	-55.684	—	186.100	190.000	O.K
	COMB 2	2.450	65.890	-99.248	10.800	190.000	190.000	O.K
	COMB 3	2.123	69.328	-98.869	10.800	218.500	190.000	O.K
	COMB 4	0.867	90.941	-96.982	10.800	218.500	190.000	O.K
	COMB 5	-0.126	106.273	-94.645	2.174	247.000	218.500	O.K
	COMB 6	1.860	75.608	-99.319	12.420	247.000	218.500	O.K
	항복응력	5.771	132.472	-159.677	16.200	315.000	-315.000	O.K
	합성응력	$(f/f_a)^2 + (\tau/\tau_a)^2 = 0.327 < 1.2$						O.K
	전단응력	$v = 25.7 \text{ MPa} < v_a = 110 \text{ MPa}$						O.K.
2~5지간 외측거더 중앙부	COMB 1	—	39.286	-41.666	—	186.100	190.000	O.K
	COMB 2	2.439	48.802	-87.113	10.800	190.000	190.000	O.K
	COMB 3	2.146	50.693	-85.374	10.800	218.500	190.000	O.K
	COMB 4	0.504	66.388	-71.072	10.800	218.500	190.000	O.K
	COMB 5	-1.021	79.652	-58.724	2.174	247.000	218.500	O.K
	COMB 6	2.029	53.123	-83.419	12.420	247.000	218.500	O.K
	항복응력	6.418	101.012	-157.684	16.200	315.000	-315.000	O.K
	합성응력	$(f/f_a)^2 + (\tau/\tau_a)^2 = 0.261 < 1.2$						O.K
	전단응력	$v = 24.9 \text{ MPa} < v_a = 110 \text{ MPa}$						O.K.

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

【표 4.57】 하중조합에 의한 안전성 검토 (계속)

구 분		휨 응 력(MPa)			허용응력(MPa)			검토 결과
		바닥판 상 연	강거더 상 연	강거더 하 연	바닥판 상 연	강거더 상 연	강거더 하 연	
2~5지간 내측거더 중앙부	COMB 1	—	42.503	-45.078	—	186.100	190.000	O.K
	COMB 2	2.333	51.606	-88.551	10.800	190.000	190.000	O.K
	COMB 3	2.021	53.617	-86.702	10.800	218.500	190.000	O.K
	COMB 4	0.380	69.311	-72.400	10.800	218.500	190.000	O.K
	COMB 5	-1.146	82.575	-60.052	2.174	247.000	218.500	O.K
	COMB 6	1.905	56.046	-84.748	12.420	247.000	218.500	O.K
	항복응력	6.168	104.339	-157.463	16.200	315.000	-315.000	O.K
	합성응력	$(f/f_a)^2 + (\tau/\tau_a)^2 = 0.262 < 1.2$						O.K
	전단응력	$v = 23.3 \text{ MPa} < v_a = 110 \text{ MPa}$						O.K
외측거더 지점부	COMB 1	—	-76.604	72.651	—	190.000	186.100	O.K
	COMB 2	-59.493	-127.903	125.126	160.000	190.000	186.100	O.K
	COMB 3	-64.408	-132.826	120.113	160.000	190.000	186.100	O.K
	COMB 4	-50.527	-118.923	134.300	160.000	190.000	186.100	O.K
	COMB 5	-56.556	-100.330	153.160	184.000	218.500	214.015	O.K
	COMB 6	-44.499	-137.515	115.440	184.000	218.500	214.015	O.K
	항복응력	-97.849	-99.585	94.446	400.000	-315.000	315.000	O.K
	합성응력	$(f/f_a)^2 + (\tau/\tau_a)^2 = 0.645 < 1.2$						O.K
	전단응력	$v = 38.8 \text{ MPa} < v_a = 110 \text{ MPa}$						O.K.
내측거더 지점부	COMB 1	—	-83.424	79.119	—	190.000	186.100	O.K
	COMB 2	-56.792	-132.395	129.213	160.000	190.000	186.100	O.K
	COMB 3	-62.209	-137.819	123.701	160.000	190.000	186.100	O.K
	COMB 4	-48.309	-123.899	137.870	160.000	190.000	186.100	O.K
	COMB 5	-54.318	-105.290	156.713	184.000	218.500	214.015	O.K
	COMB 6	-42.299	-142.508	119.027	184.000	218.500	214.015	O.K
	항복응력	-91.028	-108.451	102.855	400.000	-315.000	315.000	O.K
	합성응력	$(f/f_a)^2 + (\tau/\tau_a)^2 = 0.679 < 1.2$						O.K
	전단응력	$v = 39.7 \text{ MPa} < v_a = 110 \text{ MPa}$						O.K.

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

【표 4.58】 강재주거더의 허용응력 증가율(도로교 설계기준 3.9.3)

하중의 조합			증가율(%)	
			정의 휨모멘트를 받는 부분	부의 휨모멘트를 받는 부분
1	크리프의 영향과 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중+바닥판 콘크리트와 강재주거더와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15
4	가설시 하중	압축연	25	25
		인장연	25	25

라. 거더의 처짐검토

충격하중을 포함한 활하중에 의한 강교 주거더의 처짐검토 결과 【표 4.59】의 도로교설계기준에 의한 허용처짐 이내로 검토되었다.

【표 4.59】 처짐값

구 분		해석처짐 (mm)	허용처짐 (mm)	비 고
활하중 (1 + i)	1,6지간	19.704	$\frac{L}{500} = \frac{40,000}{500} = 80$	O.K
	2~5지간	26.972	$\frac{L}{500} = \frac{50,000}{500} = 100$	O.K

4.3.8 바닥판의 안전성 검토

바닥판에 대한 안전성 검토는 강도설계법을 이용하여 안정성을 평가하였으며, 바닥판 철근배근은 도면의 값을 적용하여 평가 하였다.

가. 바닥판 두께 검토

현재 바닥판의 철근과 콘크리트 물성치는 【표 4.60】 과 같으며, 바닥판의 최소두께는 【표 4.61】 의 도로교설계기준(2010)로부터 검토한다.

- 대상교량 바닥판의 지간 : 0.150m
- $280L + 180 = 280 \times 0.150 + 180 = 222\text{mm}$ 와 220mm 중 큰 값 적용
- ∴ 바닥판 최소두께 = $222\text{mm} \leq$ 현(설계) 바닥판 = 250mm ∴ O.K

【표 4.60】 차도부분의 바닥판의 최소두께 (도로교설계기준 2010, 4.7.4.1)

판의 구분			바닥판 지간의 방향	
			차량 진행방향에 직각	차량 진행방향에 평행
1등교, 2등교 및 3등교	단 순 판		40L + 130	65L + 150
	연 속 판		30L + 130	50L + 150
	캔틸레버판	$L \leq 0.25$	280L + 180	240L + 150
		$L > 0.25$	80L + 230	

【표 4.61】 콘크리트와 철근의 물성치

콘크리트 설계강도	철근의 항복강도	철 근 량	
		도면	철근탐사
27 MPa	400 MPa (SD40)	H16@125 (1,588.8 mm ²)	—

나. 바닥판 단면 검토

【표 4.62】 바닥판 작용하중 산정

구분	휨모멘트($kN \cdot m$)				
	고정하중	활하중	원심하중	충돌하중	풍하중
연속판	4.442	31.720	0.000	—	—
캔틸레버판	6.878	14.857	0.000	16.625	0.735

【표 4.63】 바닥판의 극한하중 산정

구분		극한하중 산정					
		고정하중	활하중	원심하중	충돌하중	풍하중	부재력
연속판		1.3	2.15	1.3	—	—	<u>73.972</u>
캔틸레버판	U1	1.3	2.15	1.3			40.884
	U2	1.3	1.3	1.3	1.3		49.868
	U3	1.3	1.3	1.3		0.65	28.733
	U4	1.2			1.2	1.2	29.085
	U5	1.3				1.3	9.897
	최대 부재력						<u>49.868</u>

【표 4.64】 바닥판의 휨강도 검토결과

구분	소요강도(M_u)	설계강도(ϕM_n)	안전율	안전성
연속판	73.972	105.961	1.432	O.K
캔틸레버판	49.868	132.971	2.666	O.K

현행 도로교 설계기준에 의하여 강도설계법으로 검토한 결과, 강박스거더교 바닥판의 내하력이 설계하중인 DB-24를 만족하고 있으며, 바닥판 최소두께의 규정 역시 만족하고 있다.

4.3.9 내하력 평가

내하력평가지 강박스거더교에 대해서는 허용응력법으로 내하력을 평가하며, 콘크리트 바닥판은 강도설계법에 의하여 내하력을 평가한다.

가. 허용응력법

허용 응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정시에 하중조합으로는 $D+L(1+i)$ 를 사용하여 하중계수를 각각 1.0으로 하며, 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력, 콘크리트의 경우 실제 압축강도를 사용하여 도로교 설계기준에 의거 부재종류에 따라 결정한다.

고정하중과 활하중에 의한 응력은 도로교설계기준에 의거하여 계산하였으며, 본 교량에서의 적용 활하중은 DB-24 및 DL-24이다.

허용응력법에 의한 교량부재의 내하력 평가방법은 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 내하율}(RF) = \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$$

여기서, f_a = 허용응력

f_d = 고정하중에 의한 응력

f_l = 활하중에 의한 응력

i = 설계기준에 의한 이론적 충격계수

이 내하율로 부터 교량부재의 공용내하력은 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 공용내하력}(P) = K_s \times RF \times P_r$$

$$\text{여기서, } K_s = \text{응력보정계수} = \frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \times \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$$

$\epsilon_{\text{계산}} (\epsilon_{\text{실측}})$ = 이론적인 변형률 (실측 변형률)

$i_{\text{계산}} (i_{\text{실측}})$ = 설계기준에 의한 이론적인 충격계수 (실측 충격계수)

나. 강도설계법

강도설계법으로 내하율을 산정할 때의 하중조합으로는 $1.3D + 2.15L(1+i)$ 을 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15 가 된다. 단면강도는 단면의 현재상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교설계기준의 공칭강도와 강도감소 계수를 적용하여 계산한다.

교량설계시의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차등을 고려하는 계수이나 내하력 평가시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정되어야 한다.

그러나 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정시는 교량의 현재상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다. 고정하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 고정하중과 현행 도로교 설계기준의 설계활하중(DB 또는 DL하중) 및 콘크리트 구조설계기준을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다.

강도설계법에 의한 내하력 평가방법은 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 내하율}(RF) = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)}$$

여기서, ϕM_n = 설계 모멘트 ($RC \cdot PC$ 구조물의 휨부재 = 0.85)

M_d = 고정하중 모멘트

M_l = 활하중 모멘트

γ_l = 활하중 계수 = 2.15

γ_d = 고정하중 계수 = 1.30

i = 이론상의 충격계수

이 내하율로 부터 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

$$\bullet \text{ 공용내하력}(P) = K_s \times RF \times P_r$$

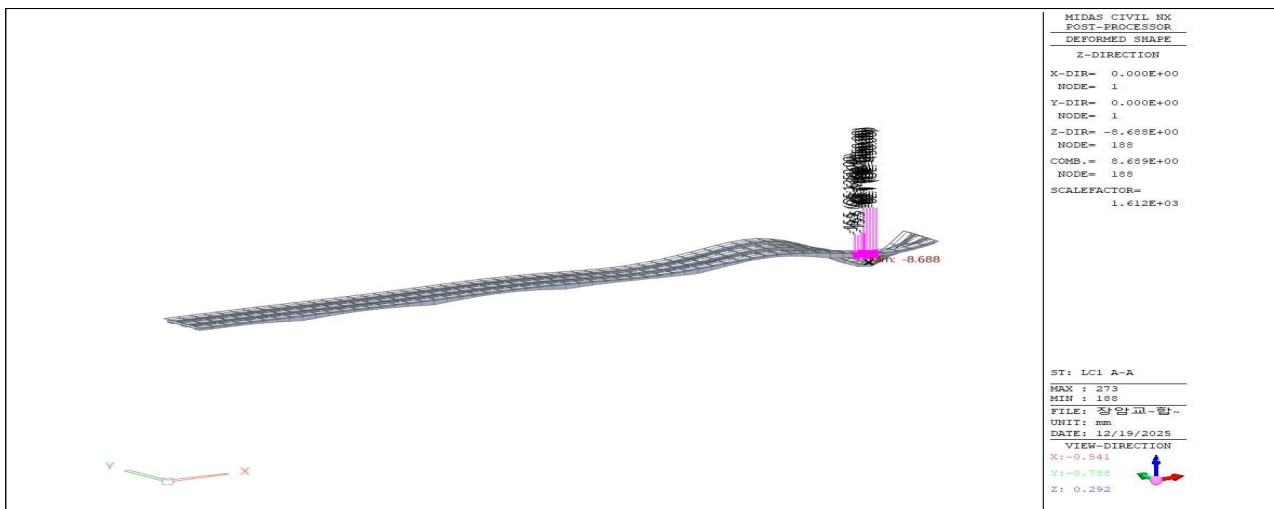
여기서, K_s = 응력보정계수 = $\frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \times \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$

P_r = 설계 활하중

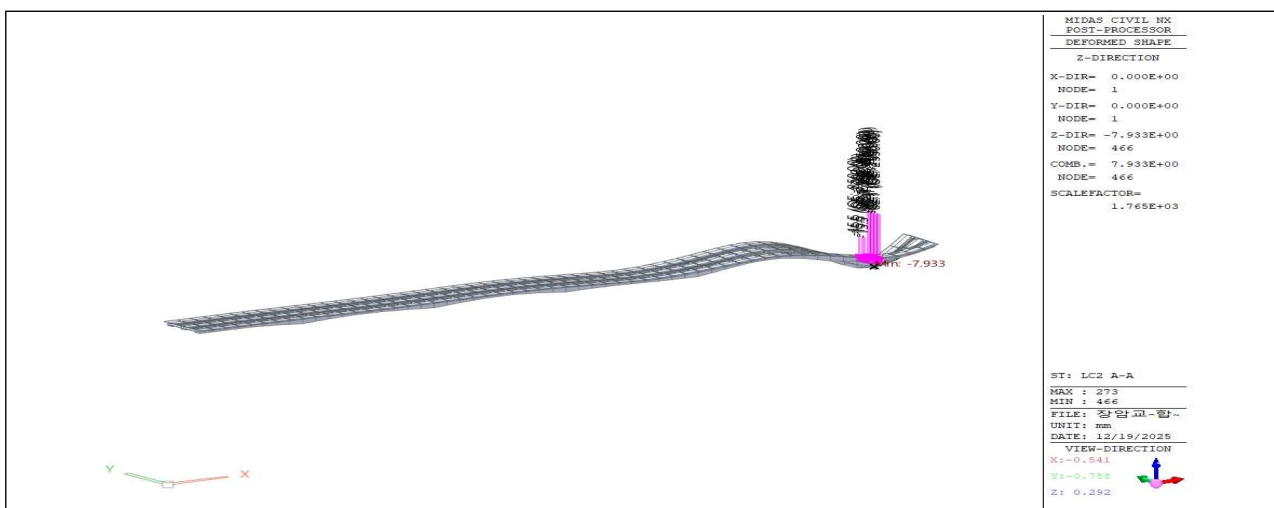
4.3.10 응답비

가. 재하시험에 대한 구조해석

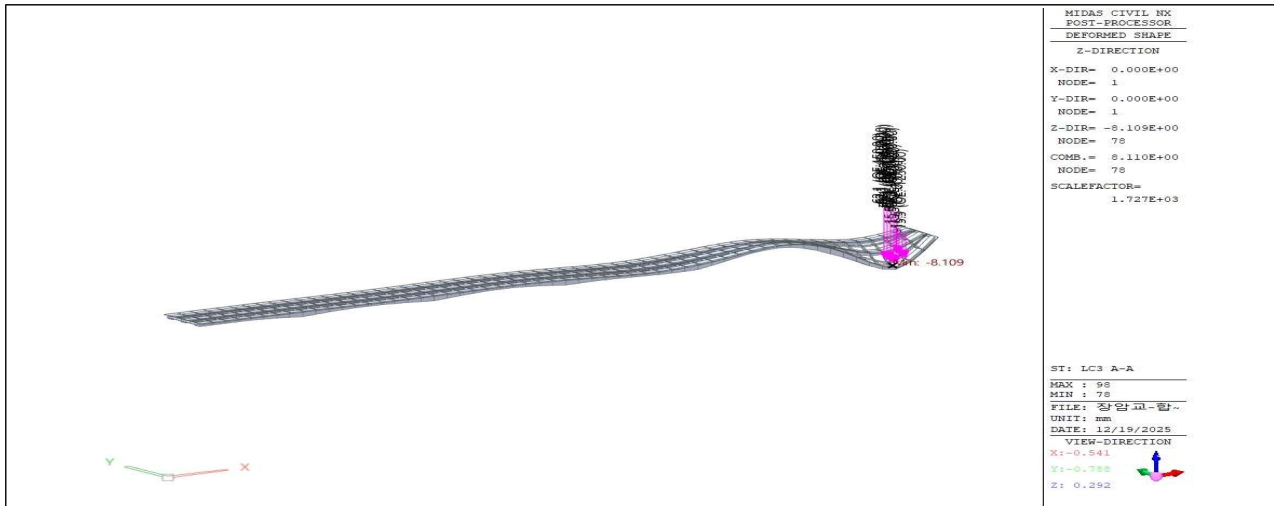
해석모델링은 공용중인 교량의 거동특성에 관한 것이므로 합성후에 대한 모델링을 사용하였고 해석된 고유진동수와 실측된 가속도의 FFT 분석을 실시하여 얻은 고유진동수와 비교하여 볼 때 앞장에서 언급한 것처럼 해석모델이 구조물의 동적특성을 적절히 반영된 것으로 판단된다. 【그림 6.10】는 처짐도, 【그림 6.11】은 모멘트도를 나타낸 것이다.



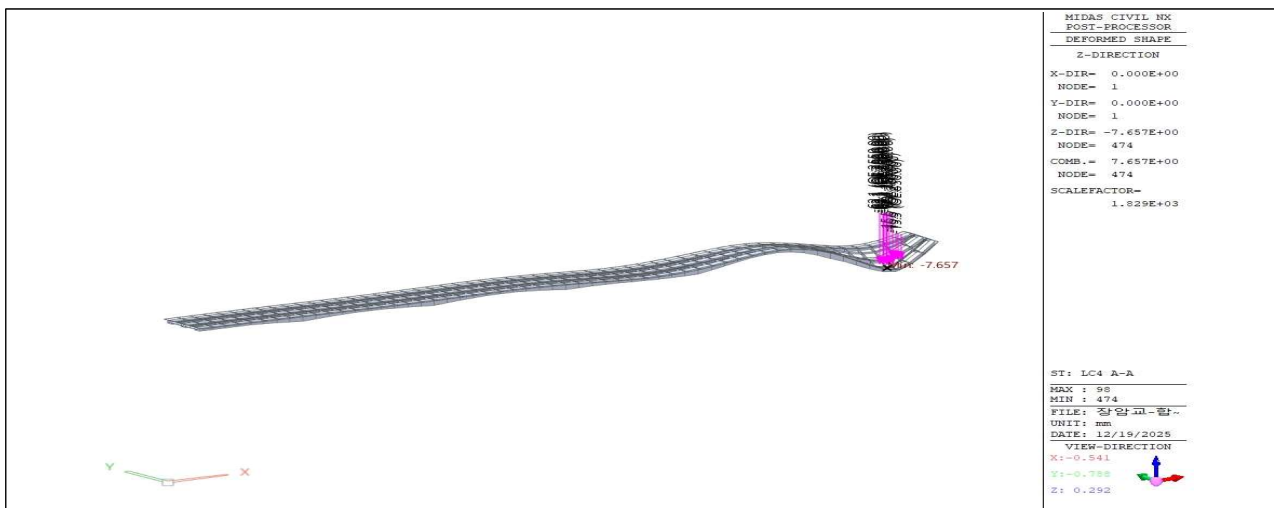
(a) 처짐도 (L.C.1 A-A단면) STEEL BOX



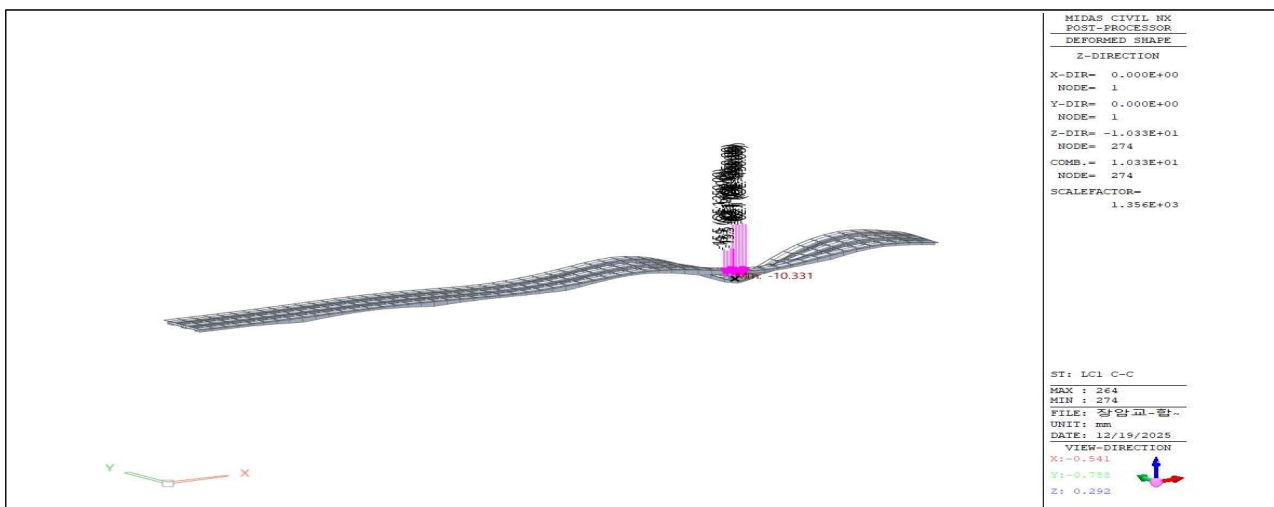
(b) 처짐도 (L.C.2 A-A단면) STEEL BOX



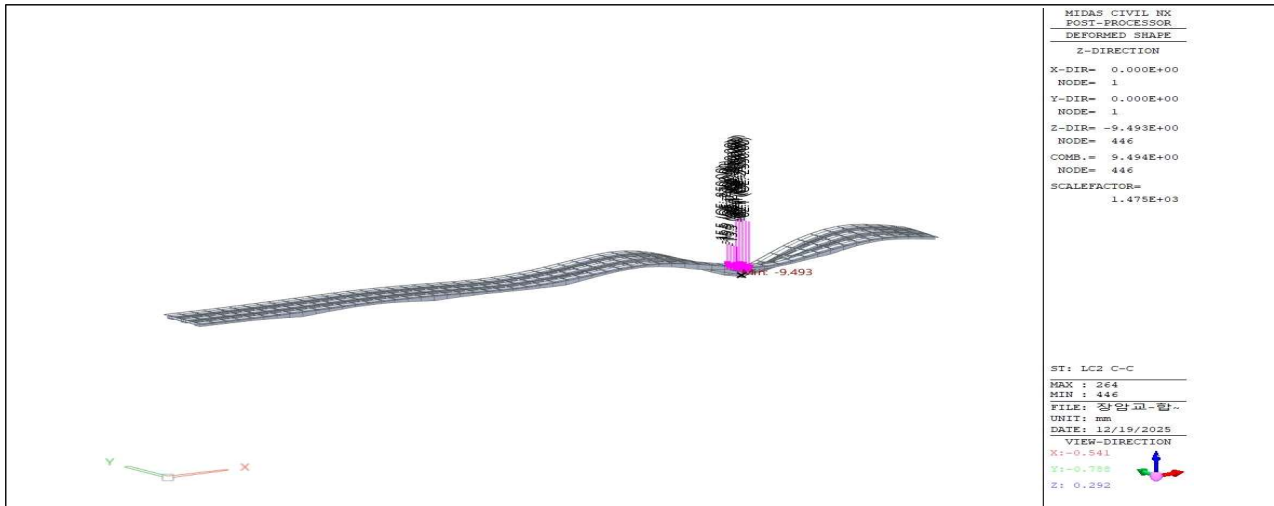
(c) 처짐도 (L.C.3 A-A단면) STEEL BOX



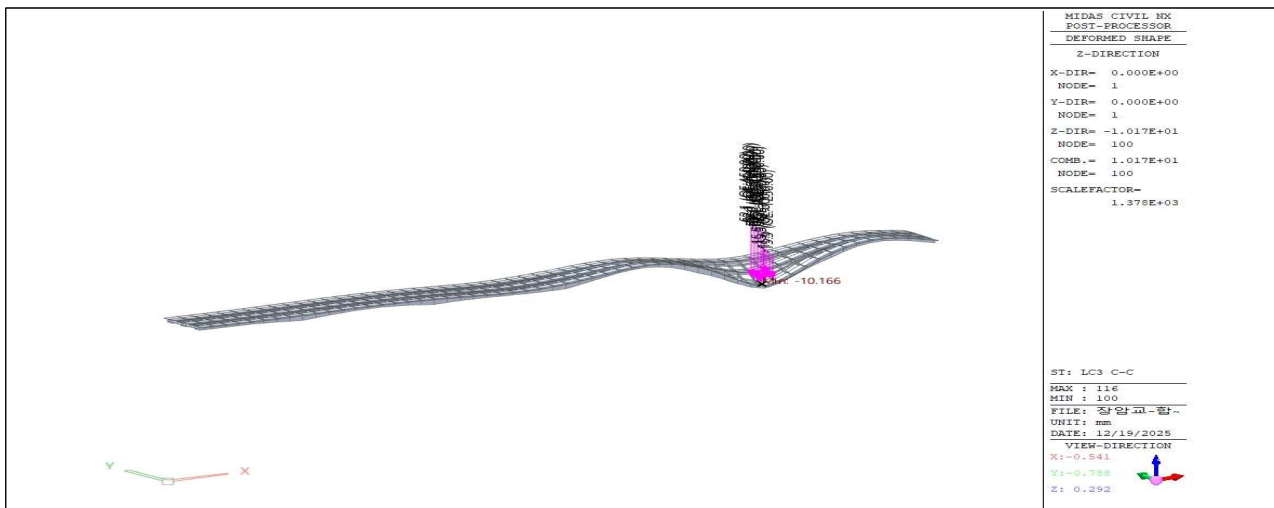
(d) 처짐도 (L.C.4 A-A단면) STEEL BOX



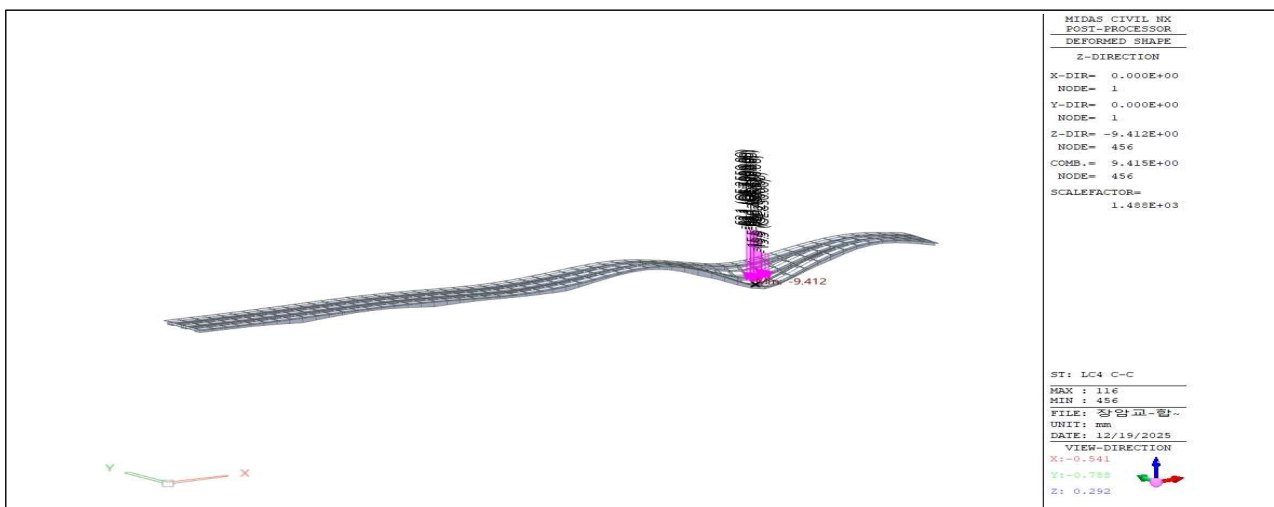
(e) 처짐도 (L.C.1 C-C단면) STEEL BOX



(f) 처짐도 (L.C.2 C-C단면) STEEL BOX

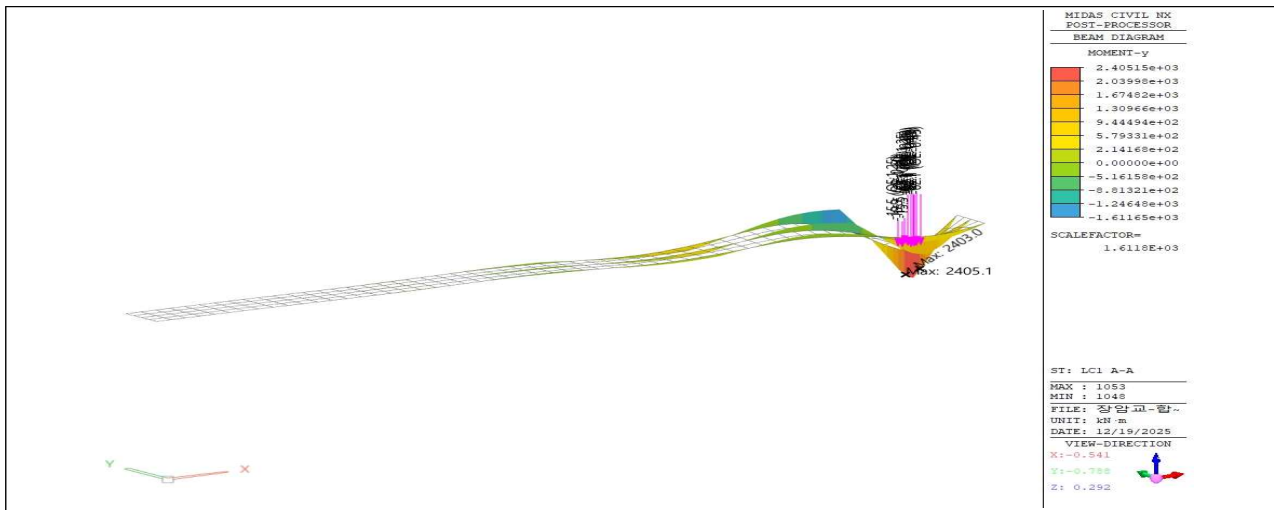


(g) 처짐도 (L.C.3 C-C단면) STEEL BOX



(h) 처짐도 (L.C.4 C-C단면) STEEL BOX

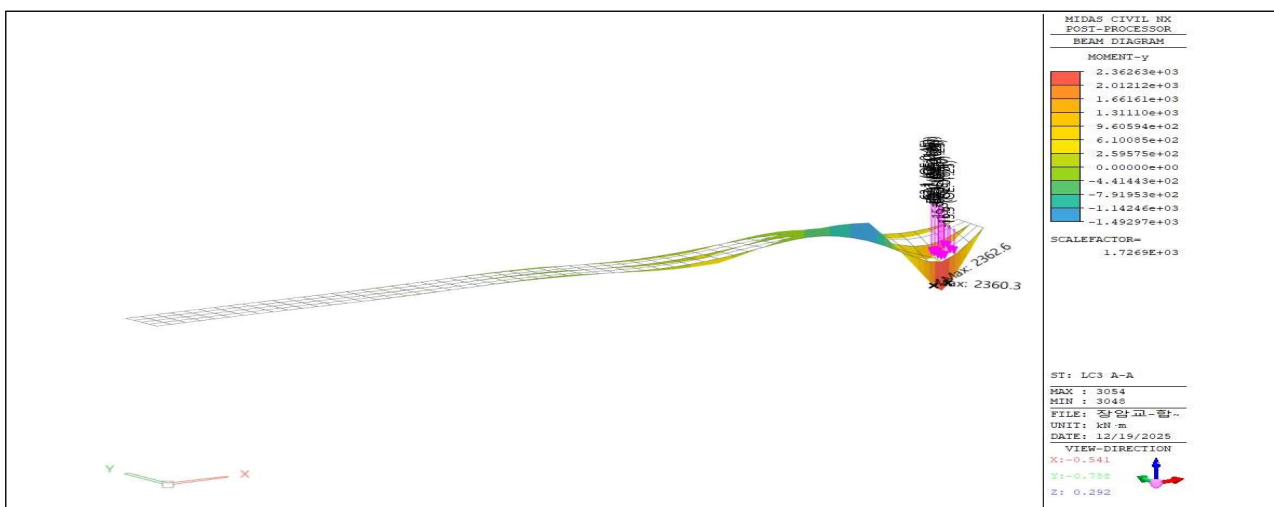
【그림 6.10】 하중경우별 처짐도



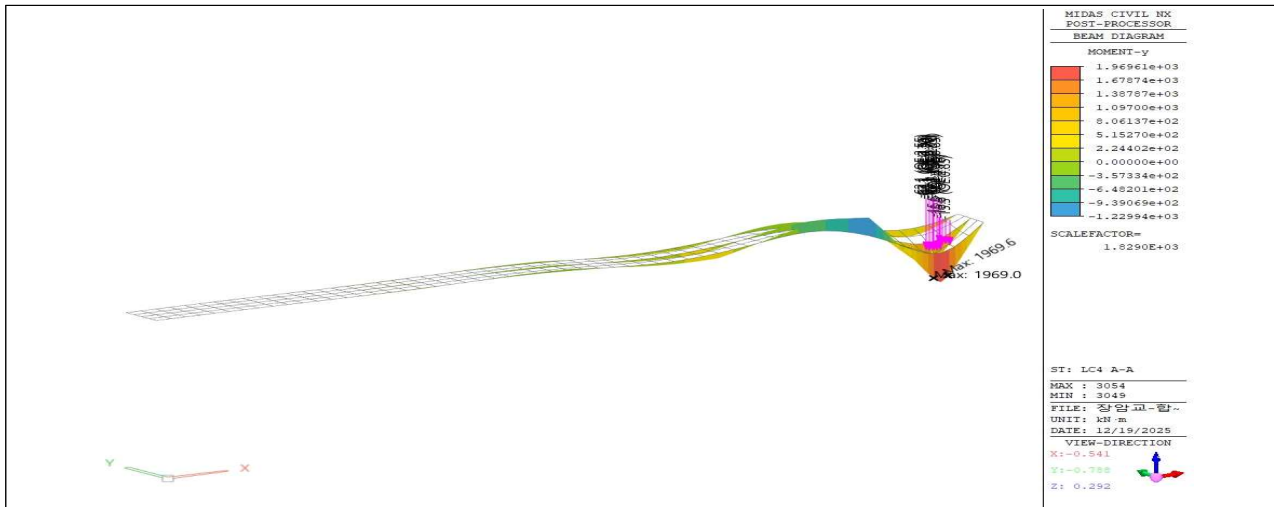
(a) 모멘트도 (L.C.1 A-A단면) STEEL BOX



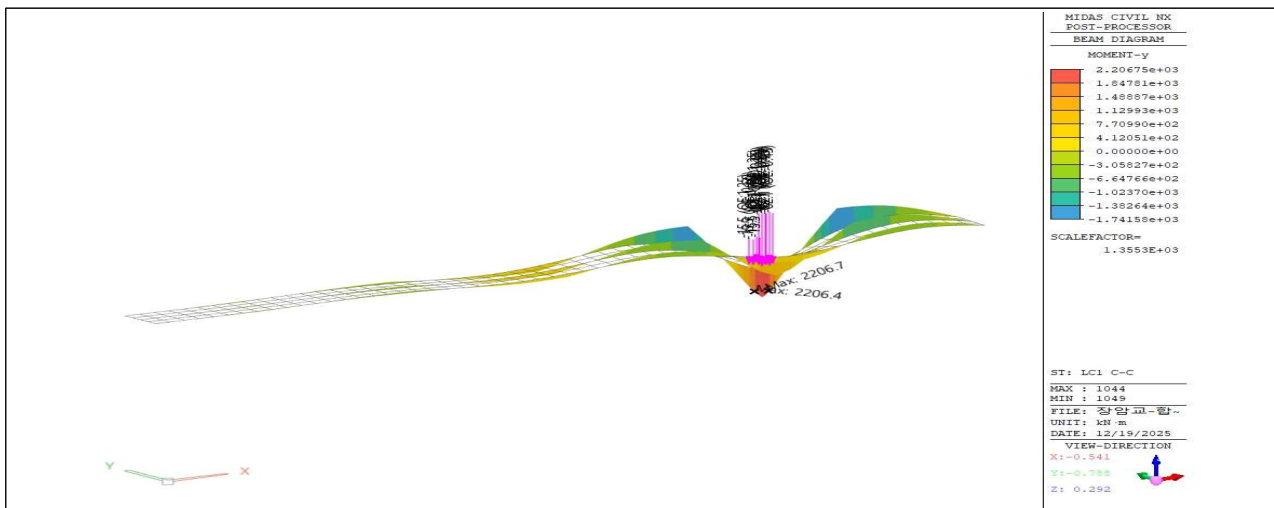
(b) 모멘트도 (L.C.2 A-A단면) STEEL BOX



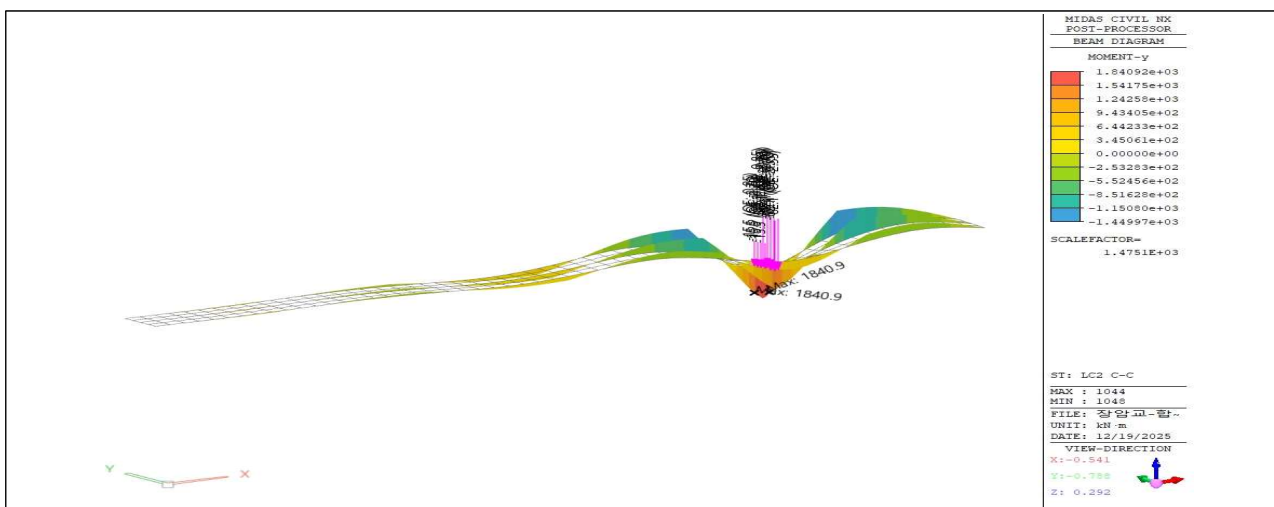
(c) 모멘트도 (L.C.3 A-A단면) STEEL BOX



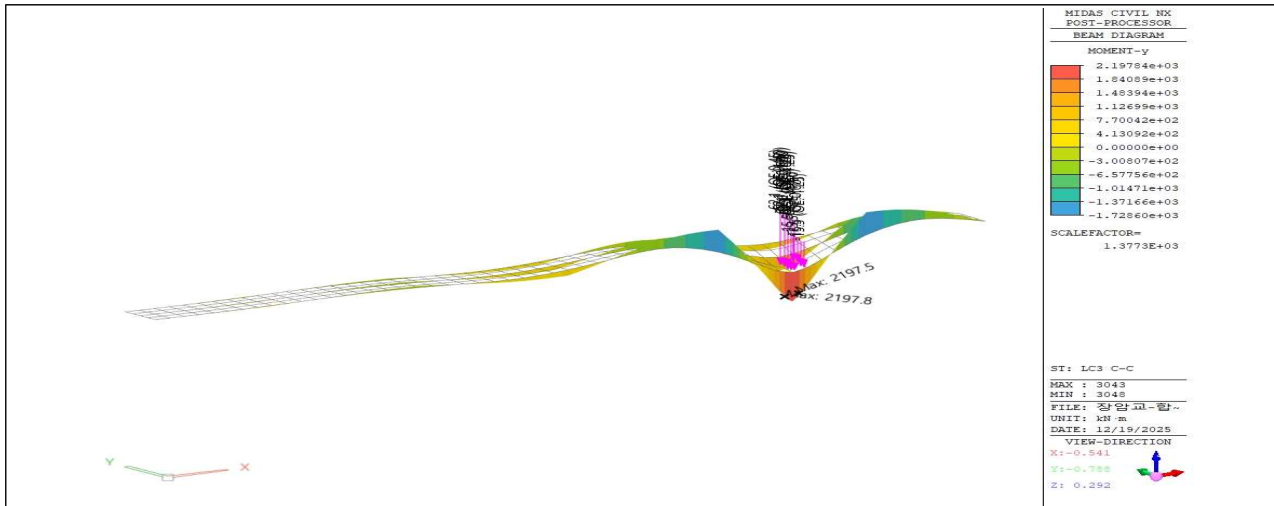
(d) 모멘트도 (L.C.4 A-A단면) STEEL BOX



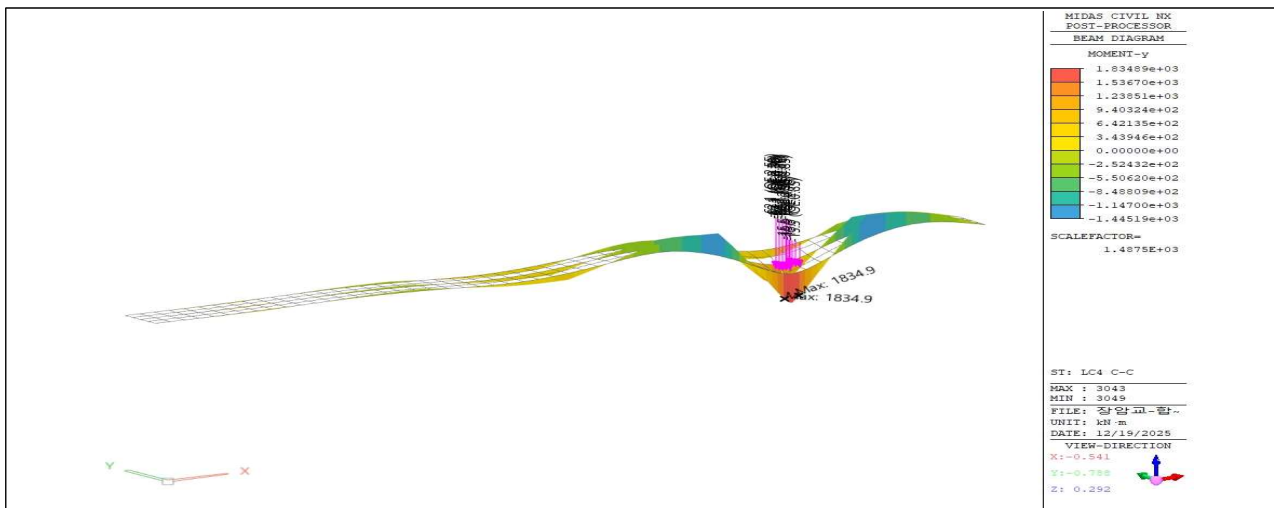
(e) 모멘트도 (L.C.1 C-C단면) STEEL BOX



(f) 모멘트도 (L.C.2 C-C단면) STEEL BOX



(g) 모멘트도 (L.C.3 C-C단면) STEEL BOX



(h) 모멘트도 (L.C.4 C-C단면) STEEL BOX

【그림 6.11】 하중경우별 모멘트도

나. 응답비 산정

일반적인 응답비 산정은 변형률 및 처짐에 대한 해석치/실측치로 구하며 이 결과를 상호 비교하여 구조물의 전체적인 거동을 대표할 수 있도록 도출한다. 본 교량은 6경간 연속에 대하여 재하시험을 실시하였으므로 거동을 파악하기 위하여 정모멘트부(S_6)와 부모멘트(P_5)에 대하여 응답비를 산정하였다.

【표 4.65】 처짐에 대한 응답비

Section	Gague No.	구 분	LC1	LC2	LC3	LC4	적용
A-A	DT1 (G1)	이론치	-8.688	-7.366	-1.866	-2.365	1.334
		실측치	-6.074	-5.521	-1.869	-1.792	
		응답비	1.430	1.334	0.998	1.320	
	DT2 (G2)	이론치	-4.764	-5.499	-4.522	-5.310	1.163
		실측치	-3.766	-3.996	-3.889	-3.663	
		응답비	1.265	1.376	1.163	1.450	
	DT3 (G3)	이론치	-1.889	-2.353	-8.109	-6.936	1.195
		실측치	-1.656	-1.975	-5.425	-5.802	
		응답비	1.141	1.191	1.495	1.195	
C-C	DT4 (G1)	이론치	-10.331	-8.923	-2.988	-3.585	1.481
		실측치	-6.357	-6.025	-2.621	-2.426	
		응답비	1.625	1.481	1.140	1.478	
	DT5 (G2)	이론치	-6.151	-6.934	-6.108	-6.907	1.290
		실측치	-4.769	-4.917	-4.704	-4.628	
		응답비	1.290	1.410	1.298	1.492	
	DT6 (G3)	이론치	-2.984	-3.568	-10.166	-8.798	1.430
		실측치	-2.440	-2.678	-5.608	-6.153	
		응답비	1.223	1.332	1.813	1.430	

주) **진한글자** : 내하력평가에 사용된 응답비 (주거터부 직접재하 위치)

【표 4.66】 변형률에 대한 응답비

Section	Gague No.	구 분	LC1	LC2	LC3	LC4	적용
A-A	ST1 (G1-상단)	이론치	94.692	78.480	15.707	20.176	1.340
		실측치	65.901	58.563	18.918	20.626	
		응답비	1.437	1.340	0.830	0.978	
	ST2 (G1-하단)	이론치	-21.507	-17.825	-3.567	-4.583	9.195
		실측치	-2.339	-1.280	-1.774	-1.085	
		응답비	9.195	13.926	2.011	4.224	
	ST3 (G2-상단)	이론치	47.983	58.910	46.141	57.596	1.053
		실측치	39.142	44.925	43.822	37.809	
		응답비	1.226	1.311	1.053	1.523	
	ST4 (G2-하단)	이론치	-10.898	-13.380	-10.480	-13.082	6.890
		실측치	-1.421	-1.635	-1.521	-0.712	
		응답비	7.669	8.184	6.890	18.373	
	ST5 (G3-상단)	이론치	16.419	20.845	93.018	77.544	1.220
		실측치	17.542	20.803	55.221	63.568	
		응답비	0.936	1.002	1.684	1.220	
	ST6 (G3-하단)	이론치	-3.729	-4.735	-21.127	-17.613	5.150
		실측치	-1.136	-1.916	-1.591	-3.420	
		응답비	3.283	2.471	13.279	5.150	
B-B	ST7 (G1-상단)	이론치	38.795	32.299	7.925	10.007	6.908
		실측치	4.930	4.676	1.428	1.245	
		응답비	7.869	6.908	5.550	8.038	
	ST8 (G2-상단)	이론치	21.047	24.871	20.905	24.662	6.229
		실측치	3.379	3.807	3.245	3.265	
		응답비	6.229	6.533	6.442	7.553	
	ST9 (G3-상단)	이론치	8.080	10.183	38.506	32.193	7.627
		실측치	1.544	1.387	4.773	4.221	
		응답비	5.233	7.342	8.068	7.627	

【표 4.66】 변형률에 대한 응답비 (계속)

Section	Gague No.	구 분	LC1	LC2	LC3	LC4	적용
C-C	ST10 (G1-상단)	이론치	93.301	77.834	18.600	22.887	1.245
		실측치	64.957	62.515	23.091	21.277	
		응답비	1.436	1.245	0.805	1.076	
	ST11 (G1-하단)	이론치	-19.536	-16.297	-3.895	-4.792	4.704
		실측치	-4.153	-3.144	-0.619	-0.838	
		응답비	4.704	5.184	6.292	5.719	
	ST12 (G2-상단)	이론치	47.971	58.865	47.700	58.686	1.068
		실측치	41.388	41.141	44.648	43.027	
		응답비	1.159	1.431	1.068	1.364	
	ST13 (G2-하단)	이론치	-10.044	-12.325	-9.988	-12.288	2.555
		실측치	-3.932	-3.850	-3.376	-3.553	
		응답비	2.555	3.201	2.958	3.459	
	ST14 (G3-상단)	이론치	18.770	23.025	92.924	77.579	1.250
		실측치	20.909	22.447	60.547	62.042	
		응답비	0.898	1.026	1.535	1.250	
	ST15 (G3-하단)	이론치	-3.930	-4.821	-19.457	-16.244	3.975
		실측치	-0.944	-0.716	-3.064	-4.086	
		응답비	4.163	6.733	6.350	3.975	

주) **진한글자** : 내하력평가에 사용된 응답비 (주거터부 직접재하 위치)

□ 응답비 산정결과

- 시험차량에 의한 거더의 변형률, 처짐을 측정하여 이론치와 비교한 결과 정·동적 거동 특성은 양호한 것으로 판단됨.

4.3.11 응답보정계수

변형률의 응답비는 재하시험에서 시험차량하중을 재하하였을 경우에 측정된 실 구조물의 변형에 대한 구조해석에서 해석모델상에 동일한 시험차량 하중을 적용하였을 경우의 이론적인 변형의 비(계산치/실측치)를 말하며, 이 변형률의 응답비와 충격계수의 응답비(이론충격계수/실측충격계수)를 곱한 값이 응답보정계수이다.

재하시험시 측정된 변형은 계측장비 및 센서의 정밀도, 측정시의 기후조건, 교량의 기하학적 특성 및 차량재하시 하중집중으로 인한 국부적인 변형의 증가 등의 요인으로 인하여 오차를 포함하게 되므로 계측값이 큰 재하경우의 응답비를 이용하여 응답보정계수를 산정하는 것이 일반적이다.

본 교량의 경우 처짐과 변형률 중 가장 작은 응답비를 적용하였으며 응답보정계수 산정 결과는 다음과 같다.

【표 4.67】 응답보정계수 산정

구 분	응답비	계산 충격계수	실측 충격계수	응답보정계수
A-A	1.053	0.188	0.125	1.112
B-B	6.229	0.177	0.109	6.611
C-C	1.068	0.167	0.093	1.140

4.3.12 공용내하력 평가

응답비는 재하차량이 주행하는 거더에 대한 응답비를 선정하였으며, 처짐에 의한 계수값보다 변형률에 의한 계수값이 작게 산정되어 변형률에 의한 응답보정계수를 이용하여 공용내하력 평가에 적용하였다.

【표 4.68】 거더 공용내하력 평가

구 분		기본 내하율	응답 보정계수	공용 내하율	공용 내하력	비 고
A-A	상연	$\frac{190.0 - 55.206}{8.211} = 16.417$	1.112	18.248	DB-24이상	허용 응력법
	하연	$\frac{(-190.0) - (-62.407)}{-36.150} = 3.530$	1.112	3.923	"	"
B-B	상연	$\frac{(-190.0) - (-91.887)}{-36.016} = 2.724$	6.611	18.010	"	"
	하연	$\frac{186.1 - 88.285}{36.842} = 2.655$	6.611	17.553	"	"
C-C	상연	$\frac{190.0 - 40.897}{7.905} = 18.862$	1.140	21.502	"	"
	하연	$\frac{(-190.0) - (-49.360)}{-37.753} = 3.725$	1.140	4.247	"	"

【표 4.69】 바닥판 기본내하력 평가

구 분	기본 내하율	기본 내하력	비 고
캔틸레버부	$\frac{132.971 - 1.3 \times 6.878}{2.15 \times 14.857} = 3.883$	DB-24이상	강도 설계법
연속부	$\frac{105.961 - 1.3 \times 4.442}{2.15 \times 31.720} = 1.469$	"	"

4.3.13 평가결과

본 교량에 대한 재하시험 및 구조해석 결과를 이용한 거더의 공용내하력과 바닥판의 기본내하력은 설계활하중 DB-24(DL-24)를 만족하는 것으로 평가된다.

4.3.14 구조안전성능 평가결과

장암교의 설계하중에 대한 안전율은 다음과 같이 계산된다.

- 강박스 거더 (허용응력설계법)

$$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+1}} = \frac{186.100}{137.870} = 1.350$$

- 강박스 거더 콘크리트 바닥판 (강도설계법)

$$SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\phi M_n}{M_u} = \frac{105.961}{73.972} = 1.432 \quad 『A』$$

대상교량의 구조해석에 의한 구조안전성능 평가결과는 【표 4.70】와 같다.

【표 6.70】 구조안전성능 평가결과

부 재		SF(안전율)	등 급
STEEL BOX	거더	1.350	A
	바닥판	1.432	A

구조안전성능 평가결과 대상교량은 STEEL BOX 거더와 바닥판 모두 안전율 1.0이상을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

4.4 안전성능 평가 결과

대상 구조물의 안전성능 평가는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가편, 2024. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 의거 상태안전성능평가 결과와 구조안전성능평가 결과를 비교하여 낮은 결과를 시설물의 전체 안전성능 결과로 결정하였다.

외관조사에 의한 상태안전성능평가 결과와 구조검토에 의한 구조안전성능평가 결과를 종합하여 검토한 결과, 장암교의 안전성능 평가 결과는 “C”로 평가되었다.

【표 4.60】 안전성능 평가 결과

구조물명	상태안전성능평가 결과		구조안전성능평가 결과		안전성능결과
	결함지수	기준	결함지수	기준	
장암교	0.282	c	0.130	a	C(0.282)
안전성능평가 결과	- 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태안전성능평가 결과, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태인 “c”로 평가됨 - 구조안전성능평가 결과, 안전율 1.0이상으로 “a”로 평가됨 - 상태안전성능평가 및 구조안전성능평가 결과를 통한 안전성능 평가 결과, 『광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준』인 “C등급”으로 평가됨				