

제 4장 시설물의 안전성능 평가

4.1 상태안전성능 평가

4.2 구조안전성능 평가

4.3 안전성능평가 결과

4.1 상태안전성능 평가

4.1.1 개요

상태안전성능평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 「세부지침」의 상태안전성능평가 기준에 따라 실시한다.

상태안전성능평가가 정확히 이루어졌는지 확인하는 동시에 기록용 문서로서 이용하기 위하여 안전점검 및 정밀안전진단을 실시한 사람은 외관조사 결과를 안전점검 및 정밀안전진단 서식에 각각의 결함의 형태, 크기, 양 및 심각한 정도 등을 기록하여야 한다.

본 장은 정량적이고 객관적인 상태안전성능평가를 위하여 시설물에 대한 외관조사 점검결과를 토대로 각 항목에 대한 상태안전성능 평가를 실시하며, 시설물의 평가체계에 따라 평가결과를 산정하는 절차를 정리·예시하였다.

4.1.2 상태안전성능평가 항목 및 기준

가. 정기안전점검

정기안전점검에서는 「세부지침」의 점검서식에 따라 기본시설물 또는 주요부재 종류별로 평가하는 것을 원칙으로 한다.

나. 정밀안전점검

정밀안전점검에서는 기본시설물 또는 주요부재에 대하여 점검하고, 외관조사망도를 작성하여 상세히 상태안전성능평가를 실시하며, 외관조사망도를 작성하지 않은 부위는 이전의 안전점검 및 정밀안전진단 보고서에 수록된 상태안전성능평가 결과를 참조하여 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태안전성능평가 결과를 결정한다.

다만, 선택과업으로 전체부재에 대한 외관조사망도를 작성하였을 경우에는 정밀안전진단의 상태안전성능평가 절차에 따라 상태안전성능평가 결과를 결정한다.

다. 정밀안전진단

정밀안전진단에서는 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재 단위별로 상세히 상태안전성능평가를 실시하여 각 평가항목 및 중요도를 고려해 총 단위 상태안전성능평가를 실시하고, 각 층의 중요도를 고려해 책임기술자가 전체 시설물의 상태안전성능평가 결과를 결정한다.

4.1.3 교량의 상태안전성능평가

가. 콘크리트 바닥판

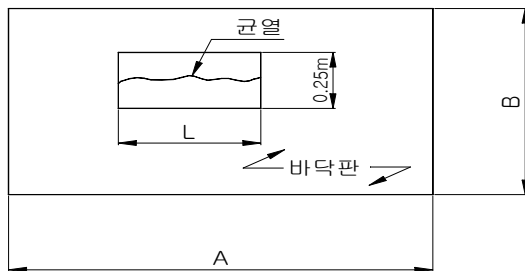
기준	균열		열화 및 손상
	1방향 균열	2방향 균열	
a	◦균열폭 0.1mm 미만	◦망상균열폭 0.1mm 미만	◦없음
b	◦균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만 ◦균열율 2%미만	◦망상균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만	◦표면 손상면적 2% 미만
c	◦균열폭 0.3mm이상~0.5mm미만 ◦균열율 2%이상~10%미만	◦망상균열폭 0.3mm이상	◦표면 손상면적 2%이상~10%미만 ◦철근부식 손상면적 2% 미만 ◦데크플레이트 박리 및 누수 발생
d	◦균열폭 0.5mm이상~1.0mm미만 ◦균열율 10%이상~20%미만	◦망상균열의 진전으로 인 한 콘크리트 박리 발생	◦표면 손상면적 10%이상 ◦철근부식 손상면적 2%이상 ◦데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식발생
e	◦균열폭 1.0mm이상 ◦균열율 20%이상	◦망상균열로 인한 박리가 심하여 편칭파괴 발생 가능성 있음	◦부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하 여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우

- 본 상태안전성능평가 기준은 모든 교량형식의 RC 및 PC 바닥판과 RC 및 PSC 박스거더교량의 상부플랜지의 상태안전성능평가에 적용한다.
- 1방향균열의 경우 0.3mm미만의 균열평가 기준을 “b로 1.0mm이상의 균열과 균열율 20% 이상인 상태를 ” e “로 평가한다.
- 2방향균열의 경우 망상균열로 인한 박리 발생 시 평가기준을 “d“, 편칭파괴의 발생 가능성이 있으면 ” e “로 평가한다.
- “열화 및 손상” 손상항목은 표면손상 면적과 철근부식손상 면적으로 평가하며, 철근 부식에 따르는 내하력 저하의 가능성이 없으면 표면손상으로, 부식에 의한 철근의 단면감소로 인하여 내하력 저하의 가능성이 있으면 철근부식손상으로 규정한다.
- 표면손상은 파손, 박락, 층분리, 재료분리 등과 같이 손상이 콘크리트 부분에 국한된 경우를 말하며, 철근부식손상은 철근노출 및 노출된 철근이 부식된 경우나, 탄산화 또는 콘크리트 내의 염화물로 인해 내부철근의 부식이 발생하고, 이로 인해 콘크리트의 팽창, 균열 및 박리가 발생한 경우를 말한다.
- PSC 박스거더의 경우 상하부 플랜지와 복부판이 일체가 되어 주형으로써 거동을 하지만, 활하중을 직접 받는 상부플랜지는 콘크리트 바닥판으로, 복부판과 하부플랜지는 PSC 거더로 구분하여 상태안전성능평가를 수행한다.
- 균열율은 폭 0.2mm이상의 균열을 대상으로 산정한다.

- 바닥판 하면이 테크플레이트로 보호된 경우 강바닥판이 아닌 콘크리트 바닥판으로 평가한다.
- 콘크리트 균열에 의한 평가기준은 콘크리트 부재에 대한 설계, 시공 및 유지관리 분야 간의 일관성을 위해 2007년 12월 개정된 콘크리트 설계기준에 명시된 허용균열폭을 참고하였다.

주1) 균열을 산정방법

■ 1방향 균열인 경우

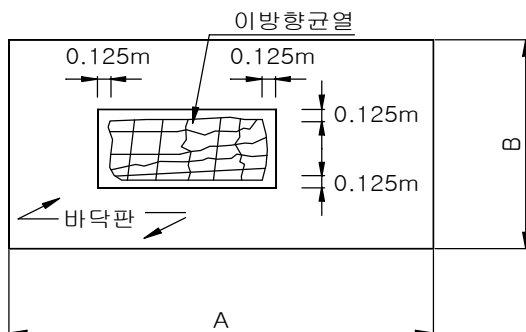


- 균열발생 면적은 길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 하며, 균열의 개수가 2개 이상일 경우는 각 균열길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 구한다.
- 균열면적율은 아래 식으로 산정한다.

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100$$

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

■ 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 구한다.
- 균열 면적율은 아래 식으로 산정한다.

$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100$$

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

주2) 표면손상에 대한 면적을 산정방법

$$\text{표면손상면적율}(\%) = \frac{\text{결함및손상발생면적}}{\text{조사단위면적}} \times 100$$

주3) 철근부식 손상면적율 산정 방법

노출의 발생면적은 철근노출 길이 당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 함.

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

나. 강 거더

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 변형	○ 보조부재 2%미만	○ 부분적 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷)	○ 부식발생 면적 2%미만
c	○ 보조부재의 전반적 균열 ○ 주부재의 국부적 균열	○ 보조부재의 전반적 변형 및 파단 ○ 주부재의 국부적 변형 ○ 주탑하단부 연결 볼트 부식	○ 보조부재 2%이상~10%미만 ○ 주부재 2% 미만	○ 주부재의 심한 용접불량(기공, 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 연결 볼트 파단	○ 보조부재 10%이상 ○ 주부재 2%이상~10%미만	○ 인장플랜지 용접 연결부 용입부족 및 용접누락으로 인한 안전성능저하	○ 부식발생 면적 10%이상 ○ 부식에 의한 단면손상 면적 10%미만
e	○ 균열이 주부재 단면의 20% 이상 진전	○ 좌굴에 의한 과대 변형 및 파단으로 주부재의 안전성능 저하	○ 주부재 10%이상	○ 인장플랜지 용접 연결부 균열진전으로 인해 연결 기능 상실	○ 부식에 의한 단면손상 면적 10%이상

- 본 상태안전성능 기준은 강 바닥판, 강 거더, 강 교각 및 케이블 교량의 보강형과 강 주탑의 상태안전성능 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 손상항목을 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.

다. 강 가로보와 세로보

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 파단발생	○ 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	-	-	-	-	-

- 본 상태안전성능 기준은 강I거더교, 플레이트거더교, 강박스거더교, 트러스교, 아치교 및 케이블교량의 강 가로보와 세로보의 평가에 적용한다.
- 2차부재인 강재 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.

라. 교대

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 날개벽사이에 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 안전성 저하	◦코핑부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성 있음 ◦심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성이 저하됨

- 본 상태안전성능평가 기준은 콘크리트로 시공된 모든 형식의 교대와 현수교의 앵커블록의 상태안전성능평가에 적용한다.
- 균열폭에 관한 상태안전성능평가 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 상태안전성능평가기준에 준하여 평가하며, 앵커블록을 제외한 하부구조물 중에서 하중지지와 토류벽체의 기능을 동시에 갖고 있으면 교대로, 하중지지 기능만 있을 경우에는 교각으로 평가한다.
- 자정식 현수교의 주케이블이 정착되는 교각은 교각의 상태안전성능평가 기준에 준하여 평가한다.

마. 교량받침

기준	받침 본체		받침 콘크리트
	탄성받침	강제받침	
a	◦양호	◦양호	◦양호
b	◦미세균열, 갈라짐 등 경미한 열화	◦외부 도장탈락 및 부식 ◦도장탈색, 먼지 쌓임	◦부분적 박리, 탈락 등 손상
c	◦측면 부풀음 ◦받침두께의 0.3배 미만의 전단변형	◦미끄럼판 부식 발생 ◦부분적 변형, 고정장치 파손 및 이완	◦받침 콘크리트에 0.3mm이상 균열 발생 ◦박리, 탈락 등 손상으로 지지단면 감소, 기능상 장애
d	◦고무재 파손 및 단차, 균열 심화 ◦받침두께의 0.3배 이상의 전단변형 ◦받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만 ◦받침의 신축기능 불량	◦받침 본체 부식으로 인한 받침 신축거동 장애 발생 ◦받침 본체 파손 ◦받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2미만	◦받침 콘크리트 파손 및 하부공동으로 받침의 탈락 및 침하 발생 가능성 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 거더 등 주부재의 파손발생 ◦받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2이상 ◦작동불능 상태	-

- 본 상태안전성능평가 기준은 강제 및 탄성받침의 상태안전성능평가에 적용하며, 기타 특수받침의 경우에도 본 상태안전성능평가 기준을 준용한다.
- 받침 본체는 상태안전성능평가 기준 범위는 “a~e”를 유지하고, 받침콘크리트는 본체에 비하여 중요도가 낮으므로 “a~d”로 한다.

바. 콘크리트 교각

기준	균열, 변위	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~1.0mm미만 ◦기초의 부등침하로 인한 교각 기울음	◦표면 손상면적 10%이상 ◦철근부식 손상면적 2%이상
e	◦균열폭 1.0mm이상 ◦부등침하로 인한 교각 안전성 저하	◦코핑부 파손으로 인하여 거더 탈락 가능성 있음 ◦심한 철근부식으로 인하여 교각의 안전성이 저하됨

- 본 상태안전성능평가 기준은 콘크리트로 시공된 모든 형식의 교각의 상태안전성능평가에 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.

사. 신축이음

기준	본 체	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 부분탈락 ◦누수로 인하여 신축이음 하부의 받침 및 코핑부에 이물질 퇴적 및 부식발생	◦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 후타내 폭 이상으로 큼
e	-	-

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

아. 기초

기준	기초(직접, 말뚝, 케이슨)손상	지반의 안정성
a	◦없음	◦없음
b	◦직접기초(확대기초)에 폭 0.3mm미만의 균열 발생	◦매립된 직접기초(확대기초)의 상부가 세굴등에 의해 노출됨
c	◦직접기초(확대기초)에 폭 0.3mm이상의 균열 및 단면손상 발생 ◦침식, 충돌 등에 의한 말뚝 및 케이슨 기초의 단면손상 발생	◦침하가 20mm미만 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	◦침하가 20mm이상 발생 ◦세굴에 의해 말뚝 및 케이슨기초가 전반적으로 노출됨 ◦기초의 부등침하 및 측방유동에 의해 교대/교각이 기울음
e	◦기초의 파손 및 침식으로 인한 하부구조물의 안전성 저하	◦기초의 부등침하 및 측방유동에 의한 교대/교각의 기울음으로 인해 상부구조물의 단차 및 파손 발생

- 본 상태안전성능평가 기준은 케이블 교량의 주탑기초를 포함하여 모든 하부구조물의 기초의 상태안전성능평가에 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.
- 기초의 침하는 20mm 미만이 발생하면 평가기준은 “c”, 20mm 이상이 발생하면 “d”로 평가한다.
- 지반의 안정성 평가항목의 경우, 세굴이 진행하여 기초 하부의 국부적인 노출이 발생하면 평가기준은 “c”로 평가하고, 기초하부의 전반적인 노출 및 부등침하 발생 시 “d”로 평가하며, 부등침하로 인한 상부구조물의 안전에 위해가 발생할 경우 “e”로 평가한다.

자. 배수시설

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

- 본 상태안전성능평가 기준은 모든 배수시설의 상태안전성능평가에 적용한다.
- 기타부재인 배수시설의 상태안전성능평가 기준 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.

차. 난간 및 연석

기준	강재	콘크리트
a	◦양호	◦양호
b	◦도장 불량 10%미만	◦경미한 손상, 0.3mm이하 균열
c	◦도장 불량 10%이상 ◦부식으로 인한 단면손상 10% 미만	◦0.3mm이상 균열 ◦박리, 파손, 철근노출 10%미만 ◦철근부식손상 길이 2%미만
d	◦부식으로 인한 단면손상 10% 미만	◦박리, 파손, 철근노출 10%이상 ◦철근부식손상 길이 2%이상

- 본 상태안전성능평가 기준은 강재 및 콘크리트 난간 및 연석을 포함하여 모든 난간과 연석의 상태안전성능평가에 적용한다.
- 기타부재인 난간과 연석의 상태안전성능평가 기준 범위를 “a~d”로 하며, 점검단위는 부재의 길이로 한다.
- 중앙분리대, 방호벽, 방음벽의 상태안전성능평가 시 난간 및 연석의 평가기준을 적용한다.
- 강재의 경우 도장 변색 및 손상 점검길이의 10%이상 즉, 단면 결손으로 차량이나 사용자에게 위험 가능성이 있는 상태의 기준은 “c”로 평가한다.
- 콘크리트는 0.3mm이상의 균열이 발생할 경우 평가기준은 “c”로 평가하며, 보수 및 보강을 실시한다.

카. 탄산화

기준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	◦30mm이상	탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	◦0mm이상~30mm미만	향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	◦0mm이상~10mm미만	탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	◦0mm미만	철근부식 발생
e	-	-

※ 일본 구조물진단기술협회 「비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼」(2003년)

- 탄산화 깊이에 대한 평가는 철근으로부터 탄산화의 남은 깊이를 지표로 하여 탄산화에 의한 강재부식 가능성을 나타낸 것으로 탄산화에 의한 단독 열화에 대하여 적용한다.
- 콘크리트 품질평가 기준인 탄산화는 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로서 상태안전성능평가 기준 범위를 “a~d”로 한다.
- 탄산화 조사는 상·하부구조로 구분하여 콘크리트 탄산화 깊이 측정에 따라 시행하며, 시험개소별로 평가한다.
- 철근의 피복은 조사 위치에서의 실측치를 기준으로 한다.

4.1.4 부재별 상태안전성능평가 적용범위

부재별 상태안전성능평가 기준은 교량의 거더와 가로보를 분리하고, 콘크리트의 탄산화와 염화물에 대한 평가항목을 포함하여 세분화하였으며, 아래의 표와 같이 부재별 상태안전성능평가 기준을 부재의 중요도를 감안하여 차등화함으로써 가능한 한 전체 상태안전성능평가 기준과 부합하도록 조정하였다. 교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 내구성에 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d로 범위를 조정하였다.

【표 4.1】 부재별 상태안전성능평가 적용 범위

부재의 분류		차등 적용범위
상부구조	바닥판, 거더, 케이블	a, b, c, d, e
	2차부재 (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
기타부재	신축이음, 난간 및 연석, 배수시설, 교면포장	a, b, c, d
콘크리트 재료	탄산화, 염화물	a, b, c, d

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

4.1.5 구조형식에 따른 부재별 가중치

【표 4.2】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치

구분	결합도 평가항목	슬래브 교량	거더교량					라멘교		
			일반 거더교			바닥판 · 거더 일체형		거더 없음	거더있음 (복개구조물)	
			일반	2차부재 없음	바닥판 없음	강 바닥판	PSC 박스			
상부	바닥판	44	15	17	-	15	15	44	15	19
	주 형	-	25	27	44	25	25	-	25	25
	2차부재	-	4	-	14	4	4	-	4	-
하부	교대/교각	13	13	13	13	13		13	13	13
	기초	12	12	12	12	12		12	12	12
받침	교량받침	15	15	15	15	15		15	15	15
기타	신축이음	7	7	7	-	7		7	7	7
	교면포장	4	4	4	-	4		4	4	4
	배수시설	3	3	3	-	3		3	3	3
	난간/연석	2	2	2	2	2		2	2	2

- 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.

4.1.6 상태안전성능평가 결과 결정

가. 경간(지점)별 부재 상태안전성능평가 산정

- 1) 개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태안전성능평가 결과 중 최저값을 개별부재 상태안전성능평가 결과로 산정한다.
- 2) 한 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태안전성능평가 기준 중 최솟값을 경간(지점) 상태안전성능평가 결과로 산정한다.
- 3) 복개구조물은 바닥판의 장변방향으로 경간을 구분하고, 1경간의 길이는 약 50m 범위 또는 신축이음부를 경계로 경간을 구분하는 것으로 한다.

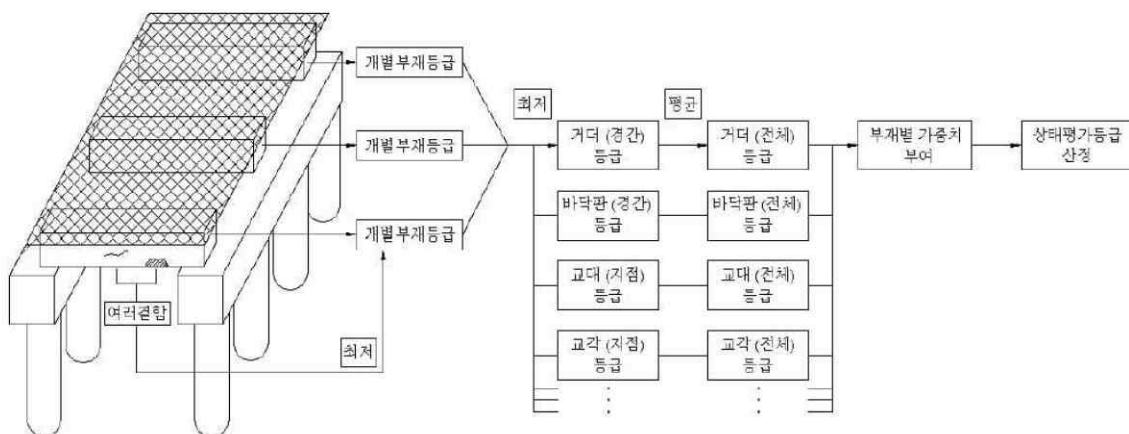
나. 전체 시설물의 상태안전성능평가 결과 결정

구조형식이 같은 부재에 대해 부재별로 평균하여 부재 상태안전성능평가를 결정한 후 구조형식에 다른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다.

환산 결함도 점수는 시설물 전체의 상태안전성능평가 결과를 산정하기 위한 기준값이며, 【표 4.3】의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태안전성능평가 결과를 구한다.

【표 4.3】 결함도 점수 범위에 따른 기준

기준	A	B	C	D	E
결함도지수	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
결함도범위	$0 \leq x < 0.13$	$0.13 \leq x < 0.26$	$0.26 \leq x < 0.49$	$0.49 \leq x < 0.79$	$0.79 \leq x$



【그림 4.1】 전체 교량의 상태안전성능평가 결과 산정 방법

4.1.7 상태안전성능평가 결과

가. 시설물 전체 상태안전성능평가 결과

물곡2교(상, 청평방향)의 현장조사 및 시험결과에 의한 상태안전성능평가를 수행한 결과, 구조물에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않은 상태로서 기능 발휘에는 지장이 없으나 경미한 손상, 결함, 열화 등이 발생하여 내구성 증진을 위해 부분적으로 보수가 필요한 상태인 ‘B등급’으로 산정되었다.

【표 4.4】 상태안전성능평가 결과표

부재의 분류			상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조	
상부	하부	구조형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간연석	신축이음	교량받침	하부	기초
S1	A1	STB	b	b	a	b	c	a	c	b	a	q
S2	P1	STB	b	b	a	b	c	b	-	a	b	q
S3	P2	STB	a	b	a	b	c	c	-	a	a	q
	A2								c	a	b	q
평균			0.167	0.200	0.100	0.200	0.400	0.233	0.400	0.125	0.150	-
가중치			15	25	4	4	3	2	7	15	25	-
(평균×가중치) /가중치합			0.025	0.050	0.004	0.008	0.012	0.005	0.028	0.019	0.038	-
											0.189	
											B	

■ 결함도 범위 : $0.130 \leq \text{결함도지수}(0.189) < 0.260$

4.2 구조안전성능 평가

4.2.1 개 요

물곡2교(상, 청평방향)에 대한 구조안전 성능평가는 기존 설계 준공도면, 구조계산서, 초기 점검 및 정밀점검보고 등의 제반 설계 자료를 통해 구조안전 성능 평가를 수행하였다.

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.

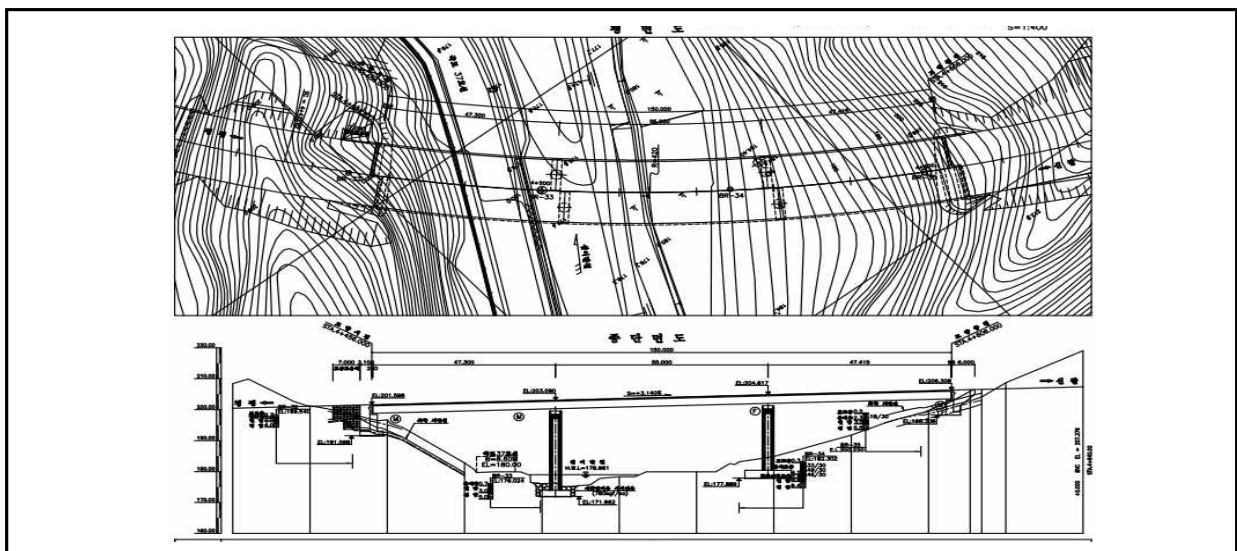
4.2.2 구조안전 성능평가 결과

가. 바닥판 및 STEEL BOX GIRDER

1) 교량형식

- 구조형식 : STEEL BOX GIRDER교
- 경 간 장 : $47.5+55.0+47.5 = 150.0$ m
- 폭 원 : 10.49 m
- 교량등급 : 1등교
- 설계하중 : DB-24, DL-24
- 사 각 : 90°

2) 교량 현황



3) 설계 하중

(1) 고정하중

- 철근콘크리트, 빔 및 바닥판 단위중량 : $W_c = 2.500 \text{ tonf/m}^3$
- LMC포장 단위중량 : $W_a = 2.350 \text{ tonf/m}^3$

(2) 활하중

- DB-24, DL-24
- 충격계수 : $I = 15 / (40+47.500)=0.171$ (1, 3경간), $I = 15 / (40+55.000)=0.158$ (2경간)

(3) 온도하중

- 콘크리트의 선팽창계수 : $\alpha = 0.00001$
- 상.하연의 온도차이 하중 : $\Delta T = \pm 5^\circ\text{C}$
- 종방향 온도하중 : $T = \pm 10^\circ\text{C}$

(4) 지점침하 : 교대와 교각에서 각각 10mm 침하

4) 재료의 성질

< 콘크리트 >

(1) 바닥판 콘크리트

- 설계기준강도 : $f_{ck} = 270.000 \text{ kgf/cm}^2$
- 탄성계수 : $E_c = 2.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$

(2) 철근

- 항복응력 : $f_y = 4000.00 \text{ kgf/cm}^2$
- 탄성계수 : $E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$

(3) 강재

- 항복강도 : $f_y = 3200.0 \text{ kgf/cm}^2$
- 탄성계수 : $E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$

5) 구조계산 결과요약

■ 바닥판

구 분	고정하중 모멘트 (kN · m)	활하중 모멘트 (kN · m)	소요강도 (Mu)	설계강도 (ϕM_n)	안전율	결과
좌측켄틸레버부	14.249	34.192	119.079	171.462	1.440	O.K
우측켄틸레버부	12.671	47.029	144.627	171.462	1.186	O.K
중 앙 부	6.804	36.400	114.148	148.084	1.297	O.K

■ STEEL BOX GIRDER

구 분		작 용 응 력(MPa)				허 용 응 력(MPa)				검토 결과
		바닥판 상 연	바닥판 하 연	강거더 상 연	강거더 하 연	바닥판 상 연	바닥판 하 연	강거더 상 연	강거더 하 연	
정모멘트부 (외측경간) SEC- 1	COMB 1	-	-	53.074	-57.685	10.800	10.800	142.767	190.000	O.K
	COMB 2	2.731	1.788	65.764	-115.545	10.800	10.800	142.767	190.000	O.K
	COMB 3	2.349	1.615	69.737	-114.452	10.800	10.800	164.182	190.000	O.K
	COMB 4	1.410	0.629	83.825	-110.996	10.800	10.800	164.182	190.000	O.K
	COMB 5	0.364	-0.556	99.235	-105.977	12.420	2.174	185.597	218.500	O.K
	COMB 6	2.457	1.815	68.416	-116.015	12.420	12.420	185.597	218.500	O.K
	항복응력	6.357	-	127.137	-192.493	16.200	-	315.000	315.000	O.K
	합성응력	$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 = 0.456 < 1.2$								O.K
	전단응력	$v = 32.359 \text{ MPa} < v_a = 110 \text{ MPa}$								O.K
정모멘트부 (내측경간) SEC- 1	COMB 1	-	-	33.514	-33.514	10.800	10.800	142.767	190.000	O.K
	COMB 2	2.177	1.462	43.959	-76.503	10.800	10.800	142.767	190.000	O.K
	COMB 3	1.871	1.297	45.718	-74.049	10.800	10.800	164.182	190.000	O.K
	COMB 4	0.635	0.079	54.669	-61.050	10.800	10.800	164.182	190.000	O.K
	COMB 5	-1.011	-1.513	67.166	-44.592	2.174	2.174	185.597	218.500	O.K
	COMB 6	2.280	1.671	42.171	-77.508	12.420	12.420	185.597	218.500	O.K
	항복응력	5.973		87.541	-145.491	16.200	-	315.000	315.000	O.K
	합성응력	$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 = 0.058 < 1.2$								O.K
	전단응력	$v = 26.420 \text{ MPa} < v_a = 110 \text{ MPa}$								O.K

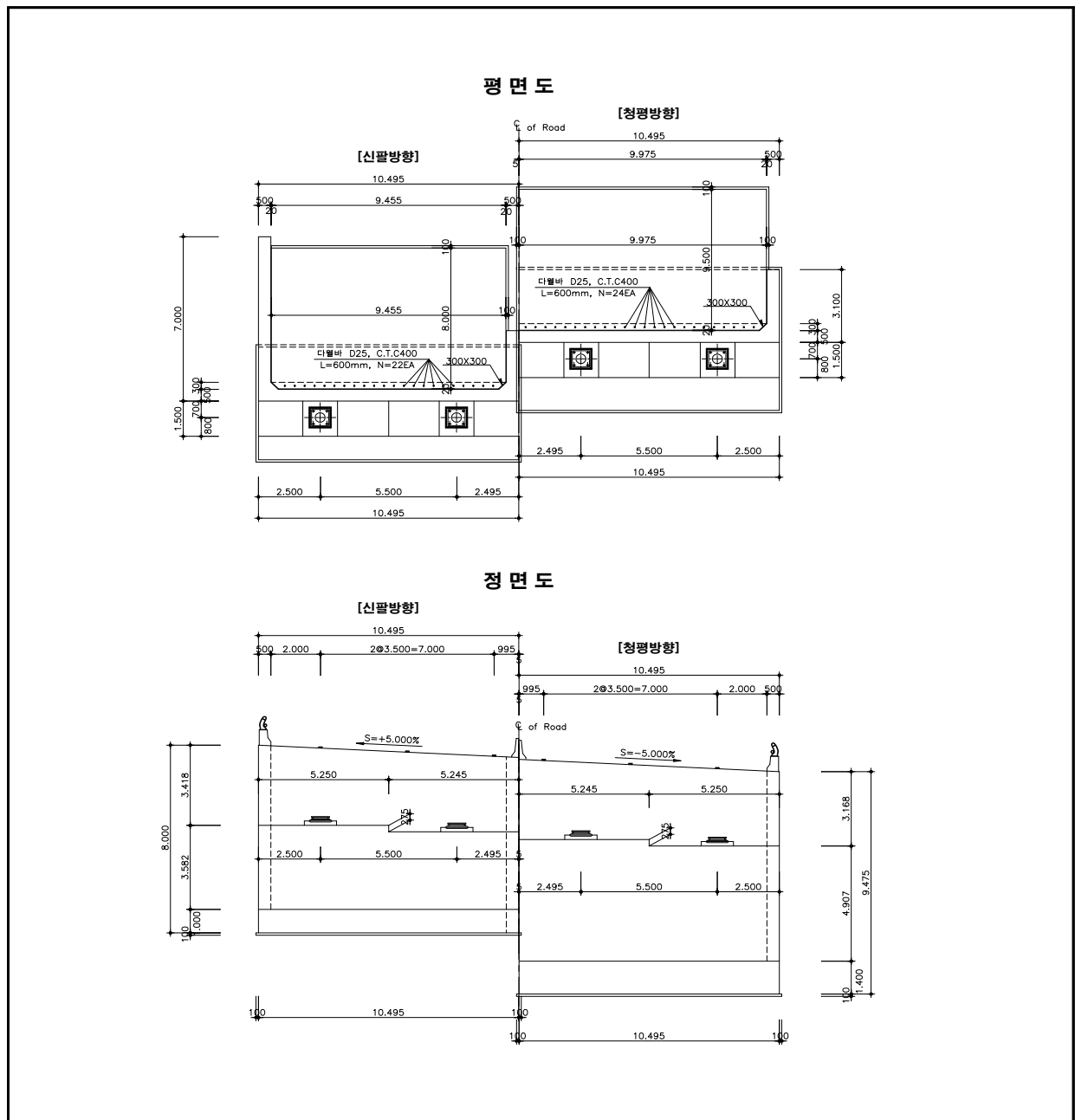
구분		작 용 응 력(MPa)				허 용 응 력(MPa)			검토 결과
		RE-BAR 상 연	RE-BAR 하 연	강거더 상 연	강거더 하 연	RE-BAR	강거더 상 연	강거더 하 연	
부모멘트부 SEC- 9	COMB 1	-	-	-58.686	53.365	10.800	190.000	190.000	O.K
	COMB 2	-3.257	-2.443	-76.982	96.777	1.890	190.000	190.000	O.K
	COMB 3	-2.378	-1.838	-79.902	92.459	1.890	190.000	190.000	O.K
	COMB 4	-3.765	-3.212	-74.606	100.614	1.890	190.000	190.000	O.K
	COMB 5	-5.896	-5.299	-65.960	112.568	2.174	247.000	218.500	O.K
	COMB 6	-1.634	-1.125	-83.252	88.661	2.174	247.000	218.500	O.K
	항복응력	-2.730		-101.928	142.603	16.200	315.000	315.000	O.K
	합성응력	$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 = 0.369 < 1.2$							O.K
	전단응력	$v = 66.794 \text{ MPa} < v_a = 110 \text{ MPa}$							O.K

다. 교대 검토

1) 검토 제원

- 교대형식 : 역T형 교대
- 교대높이 : 9.971 m
- 저판 폭 : 6.000 m
- 저판길이 : 10.495 m

2) 구조물 현황



3) 설계 조건

(1) 단위중량

- 흙의 단위중량 : 2.000 t/m^3
- 콘크리트의 단위중량 : 2.500 t/m^3

(2) 흙

- 내부마찰각 : 35.0°
- 점착력 : 5.00 t/m^2
- 기초바닥 N치 : 50

(3) 토 압

- 안정검토시 : 상시-RANKINE 토압공식, 지진시-MONONOBE OKABE 공식
- 단면검토시 : 상시-COULUMB 토압공식, 지진시-MONONOBE OKABE 공식

(4) 기타조건

- 콘크리트 설계기준강도 : $f_{ck} = 240.000 \text{ kgf/cm}^2$
- 철근의 항복강도 : $f_y = 3000.0 \text{ kgf/cm}^2$
- 과재하중 : 1.000 tonf/m^2
- 가속도계수 : 0.14 (내진 1등급교)

4) 구조계산 결과요약

■ 기초 안정성 검토

구 분	전 도		활 동		지지력(tonf/m ²)		결과
	발생력	안전률	발생력	안전률	발생력	허용력	
상 시	451.696	3.496	83.983	2.495	39.566	60.000	O.K
지진시	404.234	2.203	72.811	1.931	44.476	90.000	O.K

■ 단면 검토

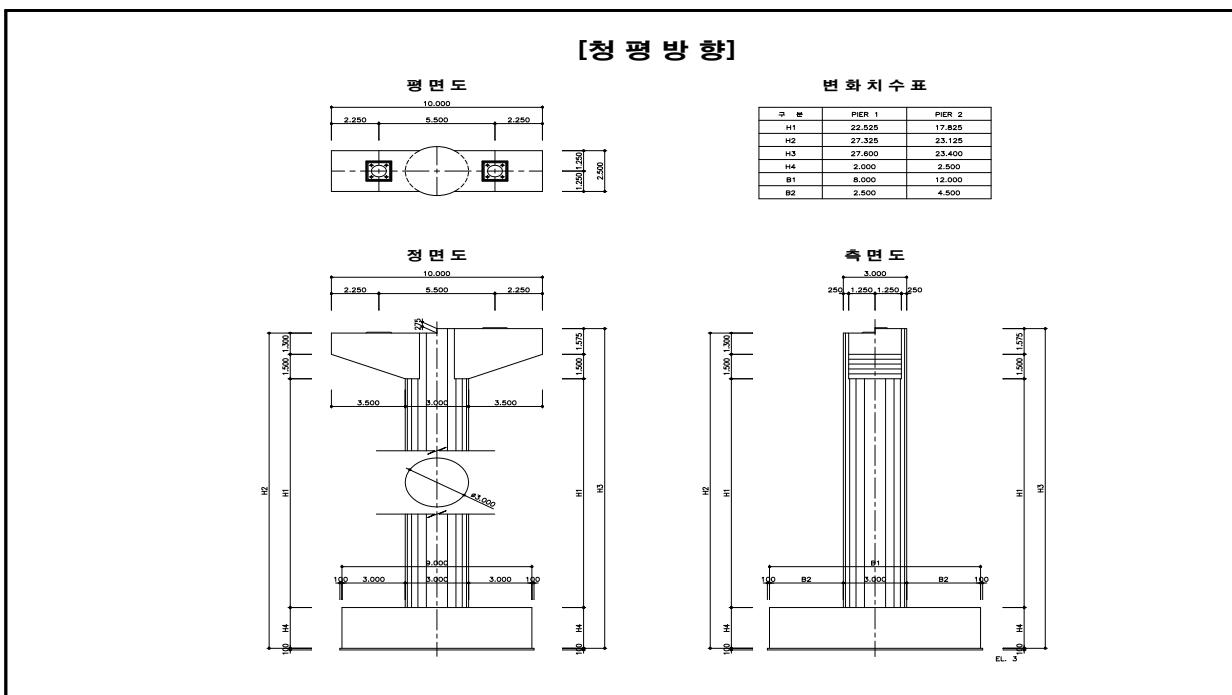
구 분	단면력		철근량		공칭단면력		결과
	Mu (tf-m)	Vu (tonf)	소요철근량 (cm ²)	사용철근량 (cm ²)	ØMu (tf-m)	ØVu (tonf)	
벽 체	176.342	41.755	49.23	64.24	303.505	124.803	O.K
뒷 굽	87.380	79.822	35.68	50.67	163.157	85.392	O.K
앞 굽	58.322	42.953	23.69	38.71	125.514	85.392	O.K
흙 벽	20.536	9.777	20.94	28.65	27.684	26.274	O.K
날개벽	15.910	12.238	19.74	28.65	29.145	27.588	O.K

라. 교각 검토

1) 검토 제원

- 교각형식 : T형 교각
- 교각높이 : 28.200 m
- 교각폭원 : 10.000 m
- 기초형식 : 직접기초 (9.000 m × 8.000 m)

2) 구조물 현황



3) 설계 하중

- (1) 활하중 : DB-24, DL-24
- (2) 상재토사 : $W_s = 2.000 \text{ tonf/m}$
- (3) 온도하중
 - 콘크리트의 선팽창계수 : $\alpha = 0.00001$
 - 가설시와 사용시의 온도 변화량 : $\Delta T = 20.000^\circ\text{C}$
- (4) 내진설계
 - 내진등급 : 1등급
 - 가속도 계수 : $A = 0.14$
 - 해석방법 : 단일모드 스펙트럼 해석

4) 사용 재료

< 콘크리트 >

- 설계기준강도 : $f_{ck} = 240.000 \text{ kgf/cm}^2$
- 탄성계수 : $E_c = 2300000 \text{ tonf/m}^2$
- 단위중량 : $W_c = 2.500 \text{ tonf/m}^3$

< 철근 >

- 항복강도 : $f_y = 3000.0 \text{ kgf/cm}^2$
- 탄성계수 : $E_s = 20000000 \text{ ton/m}^2$
- 단위중량 : $W_b = 7.850 \text{ tonf/m}^3$

5) 구조계산 결과요약

■ COPING 검토

구 분	단면력		허용지지력		주인장 철근량		결과
	Mu (tf-m)	Vu (tonf)	ØMn (tonf-m)	ØVn (tonf)	소요철근량 (cm ²)	사용철근량 (cm ²)	
PIER 1	1678.140	1077.890	2467.075	1148.404	309.388	381.216	O.K
PIER 2	1680.410	1077.080	2467.075	1148.404	309.388	381.216	O.K

■ 기둥 검토

구 분	Mu (tonf)	Pu (tonf)	ØMn (tonf-m)	ØPu (tonf-m)	사용철근량 (cm ²)	결과
PIER 1	2132.04	1522.35	4652.10	3321.76	1027.84	O.K
PIER 2	3620.46	1428.24	4414.52	1741.49	1270.72	O.K

■ 기초 FOOTING 검토

구 분		극한단면력		허용지지력		휨 철근량		결과
		Mu (tf-m)	Vu (tonf)	ØMn (tonf-m)	ØVn (tonf)	소요철근량 (cm ²)	사용철근량 (cm ²)	
P1	교축	247.041	77.189	370.134	121.519	71.340	81.072	O.K
	직각	413.541	132.148	465.075	156.790	90.950	102.784	O.K
P2	교축	627.136	148.716	731.203	154.362	109.745	127.072	O.K
	직각	306.723	69.08	473.501	154.362	69.376	81.072	O.K

마. 세굴에 대한 안전성 평가

세굴심이 기초 상단에 위치하여 해당사항 없음

4.2.3 내하력 평가

가. 개 요

본 과업에서는 교량별 바닥판 및 주거더(Steel Box Girder)에 대하여 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토해양부/한국시설안전공단, 2019.09)을 토대로 설계하중에 대한 구조검토 결과를 이용하여 기본내하력을 산정한다.

1) 허용응력설계법에 의한 평가방법

① 내하율(Rating Factor)

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

여기서, RF : 내하율

f_a : 재료의 허용응력

f_d : 고정하중에 의한 응력

$f_{LS(1+i)}$: 충격계수를 고려한 설계활하중(LS-22)에 의한 응력

② 내하력(Load Carrying Capacity)

$$\text{기본내하력(P)} = \text{RF} \times \text{Pr}$$

여기서, P : 기본내하력

Pr : 설계활하중(LS-22)

2) 강도설계법에 의한 평가방법

① 내하율(Rating Factor)

$$\text{내하율(RF)} = \frac{\phi M_n - \gamma_d \cdot M_d}{\gamma_\ell \cdot M_\ell(1+i)}$$

여기서, RF : 내하율

ϕM_n : 설계휨강도

M_d : 고정하중에 의한 모멘트

$M_\ell(1+i)$: 충격계수를 고려한 설계활하중에 의한 모멘트

γ_d : 고정하중계수(1.3)

γ_ℓ : 활하중계수(2.15)

② 내하력(Load Carrying Capacity)

$$\text{기본내하력(P)} = \text{RF} \times \text{Pr}$$

여기서, P : 기본내하력

Pr : 설계활하중

나. 내하력 평가 결과

바닥판의 기본내하력은 강도설계법에 따라 평가하였고, 주거더(Steel Box Girder)의 경우는 허용응력설계법에 따라 검토하였다. 검토 결과, 모두 설계내하력인 DB-24 이상을 확보하고 있는 것으로 평가되었다. 【표 4.5】 ~ 【표 4.6】는 내하력평가 결과를 보여준다.

【표 4.5】 강도설계법에 의한 바닥판의 내하력 평가결과

구 분		기본 내하율	응답 보정계수	공용 내하율	공용 내하력	비 고
바 닥 판	좌측켄틸레버부	$\frac{171.462 - 1.3 \times 14.249}{2.15 \times 34.192} = 2.080$	1.000	49.92	DB-24 이상	강도 설계법
	우측켄틸레버부	$\frac{171.462 - 1.3 \times 12.671}{2.15 \times 47.029} = 1.533$	1.000	36.79	“	“
	중앙부	$\frac{148.084 - 1.3 \times 6.804}{2.15 \times 36.400} = 1.779$	1.000	42.70	“	“

【표 4.6】 허용응력설계법에 의한 Steel Box Girder의 내하력 평가결과

구 분		기본 내하율	응답 보정계수	공용 내하율	공용 내하력	비 고
거 더	정모멘트부 (내측경간) SEC- 1	$\frac{190.000 - 71.703}{43.842} = 4.261$	1.347	137.75	DB-24 이상	허용 응력법
	정모멘트부 (외측경간) SEC- 1	$\frac{190.00 - 41.703}{34.799} = 2.698$	1.255	81.26	“	“
	부모멘트부 SEC- 9	$\frac{190.00 - 67.472}{29.305} = 4.207$	1.255	126.71	“	“

4.3 안전성능평가 결과

4.3.1 개요

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

단, 구조안전성능을 실시하지 않은 경우는 상태안전성능지수를 안전성능지수로 같음한다.

교량의 구조안전성능 평가지수 = Min(상태안전성능등급, 구조안전성능등급)

4.3.2 안전성능 평가 결과

구분	상태안전성능등급		구조안전성능등급		비고
	평가지수	평가등급	내하율(RF)	평가등급	
물곡2교(상, 청평방향)	0.189	b	1.533	a	
안전성능등급	상태안전성능평가와 구조안전성능평가를 종합하여 분석한 결과 최저평가지수인 0.189로 평가되었으며 평가등급은 B등급으로 산정되었다.				
결합도 지수	B				