

제1편 공 통 편



제1장 공통편

1.1 과업의 개요

1.2 현장조사 및 시험

1.3 상태평가

1.4 안전성평가 및 내하력평가

1.5 종합평가 및 안전등급

1.6 과업의 적용기준

제1장 공통편

1.1 과업의 개요

1.1.1 과업명

『옥산~오창 고속도로 민간투자사업 초기점검』

1.1.2 과업의 목적

본 과업은 『건설기술진흥법 시행령』 제100조에 의거 “옥산~오창 고속도로 민간투자사업” 중 시설물에 대한 초기점검을 시행하고, 현장조사를 통하여 손상이 발생한 부분을 조사·분석하여 안전성을 평가하며, 이에 따른 시설물 유지관리에 필요한 초기치와 기초자료를 확보함과 동시에 하자보수 범위 및 보수·보강(필요시)등의 공법을 결정하여 시설물의 기능유지, 안전도모 및 재해예방에 그 목적이 있다.

1.1.3 공사 현황

【표 1.1.1】 공사현황

사 업 명	옥산~오창 고속도로 민간투자사업 건설공사		
공사위치	충청북도 청주시 흥덕구 옥산면 수락리(경부고속도로) ~ 충청북도 청주시 청원구 오창읍 도암리(중부고속도로) 일원		
발 주 자	옥산오창고속도로(주)	감 리 자	(주)천일 동부엔지니어링(주) (주)평화엔지니어링
설 계 자	(주)삼보기술단 (주)용마엔지니어링	시 공 자	GS건설(주) (주)효성 (주)케이알 산업
과업연장	L = 12.1km	폭 원	B = 23.4m (4차로)

1.1.4 과업대상 시설물의 개요

【표 1.1.2】 과업대상 시설물의 개요

구분	시설규모	형식	비고
옥산JCT Ramp-A교	L=257m, B=12.6m	DCB(강재) 거더교	
옥산JCT Ramp-C교	L=257m, B=9m	DCB(강재) 거더교	
옥산JCT Ramp-D교	L=170.24m, B=12.6m	SEB(강재) 거더교	
병천천교	L=230m, B=15.975m~17.97m	개량형 PSC빔교	
용두천교	L=135m, B=24.47m	개량형 PSC빔교	
호죽2교	L=50.572m, B=11.825~12.455m	개량형 PSC빔교	
성산교	L=60.447m, B=24.3m	PRECOM 거더교	
서오창IC Ramp-A1교	L=50.305m, B=19.2m	개량형 PSC빔교	
산수교	L=140m, B=11.825m~12.645m	PSC 빔교	
복현1교	L=105m, B=24.64m	개량형 PSC빔교	
복현3교	L=100.66m, B=24.64m	개량형 PSC빔교	
오창JCT Ramp-A교	L=100.251m, B=17.1m	개량형 PSC빔교	
오창JCT Ramp-C교	L=180m, B=9.17m	강박스(HD) 거더교	
오창JCT Ramp-D교	L=415.422m, B=9.17m	개량형 PSC빔교+ 강박스(HD) 거더교	

1.1.5 과업의 범위 및 내용

가. 과업의 범위

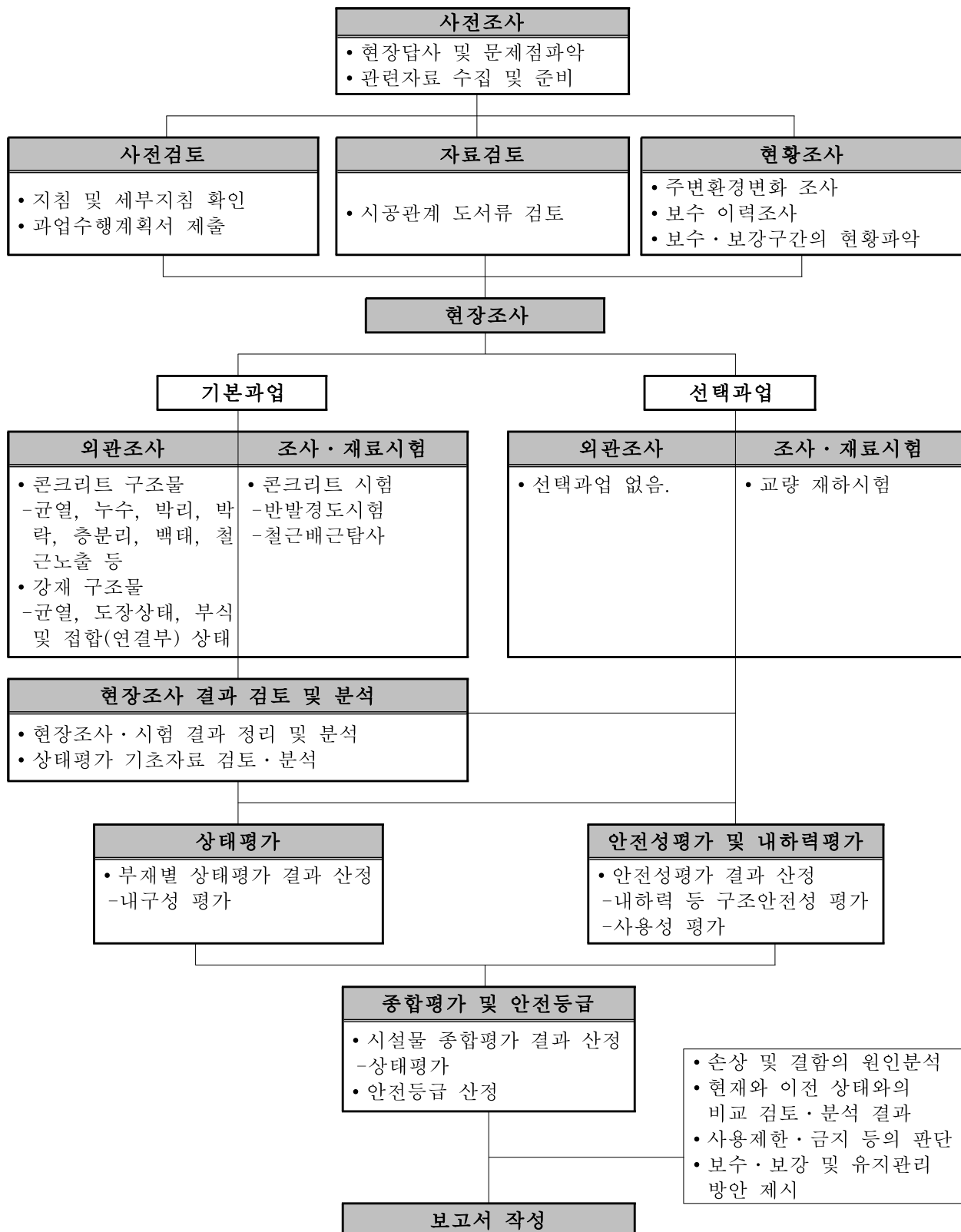
- 1) 과업수행계획 수립
- 2) 시설물 현황조사 및 관련자료 수집
- 3) 비파괴 현장시험
- 4) 시설물별 외관조사
- 5) 조사 및 시험 결과분석
- 6) 시설물의 상태평가 및 안전성평가
 - ① 부재별 상태평가
 - ② 안전성평가 및 내하력평가
- 7) 보수·보강 방안 및 유지관리방안 제시(필요시)
- 8) 종합평가 및 안전등급

나. 과업의 내용

구 분	과업수행 내용
자료수집 및 분 석	• 준공도면, 구조계산서, 특별시방서, 수리·수문계산서 • 시공·보수·보강도면, 제작 및 작업도면 • 재료증명서, 품질시험기록, 재하시험 자료, 계측자료, 안전점검 실시결과
현장조사 및 시 험	• 기본시설물 또는 주요부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 - 콘크리트 구조물 : 균열, 누수, 박리, 박락, 층분리, 백태, 철근노출 등 - 강재 구조물 : 균열, 도장상태, 부식상태 등 • 간단한 현장 재료시험 등 - 콘크리트 비파괴강도(반발경도시험) - 철근탐사시험(배근간격, 피복두께)
교량, 옹벽 상태평가	• 외관조사 결과분석 • 현장 재료시험 결과분석 • 대상 시설물(부재)에 대한 상태평가 • 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 책임기술자의 소견
교량 안전성평가	• 설계하중 및 시험하중에 대한 구조해석 • 재하시험과 이론해석 결과에 의한 변형률 및 처짐의 응답평가 • 재하시험 결과를 반영하여 설계기준 및 지침에 의한 내하력평가
종합평가	• 상태평가 등급과 안전성평가 등급을 비교, 종합평가 등급을 결정 • 대상 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급 결정
보수 및 보강공법 (필요시)	• 결함 및 손상부위에 대한 원인분석 및 평가 • 기능회복 및 향상을 위한 보수·보강공법 제시
유지관리 방안	• 유지관리상 문제점과 기준작성 • 효율적인 유지관리를 위한 방안의 제시
보고서 작성	• 최종보고서 작성 및 제출

1.1.6 과업수행 흐름 및 일정

가. 과업수행 흐름도



【그림 1.1.1】 과업수행 흐름도

나. 과업수행 일정

【표 1.1.3】 과업수행 일정표

일 정 항 목		2017년 10월 01일 ~ 2018년 01월 13일							비 고
		15일	30일	45일	60일	75일	90일	105일	
1. 사전조사 (관련자료 수집 및 분석)									
2. 현 장 조 사 및 시 험	현장조사 및 내구성조사								
	재하시험								
3. 보 고 서 작 성	자료정리 및 보고서작성								
	상태평가 및 안전성평가								
	종합평가 및 안전등급								
	보고서보완 및 납품								

1.1.7 사용장비 현황

【표 1.1.4】 현장시험 장비 목록 및 사진

장 비 명		규 격	용 도	활 용 방 법	사 진
균 열 측정기	PSM-20	PIKA	균열폭 측정	• 균열폭의 크기와 길이를 확대렌즈를 통해 육안으로 확인	
반발경도 측정기	Schmidt hammer	NR식	콘크리트강도	• 약 3cm 간격에 20회 정도 타격하여 그 값의 평균치를 구함	
철 근 탐사기	RC-Radar	NJJ-85A	철근배근상태· 피복두께 측정	• 본체와 연결된 스캐너를 통해 한쪽 방향으로 이동하여 철근의 위치를 액정화면을 통해 측정	

1.2 현장조사 및 시험

1.2.1 개요

현장조사 및 시험은 본 초기점검에서는 국토교통부(2017.01)에서 제시한 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량편)”에 의거 교량은 주요부재 및 보조부재로 구분하여 평가기준을 정하여 실시하였으며, 현장조사에서 조사된 결함사항 및 현장시험에 의해 측정된 결과값은 부록에 수록하였다.

1.2.2 현장조사

가. 주요 점검항목

【표 1.1.5】 주요 점검항목

부재명	점검부위	주요 조사항목
교면포장	• 공 통	• 균열(미세, 선상, 격자형) • 소성변형(요철, 바퀴자국, 단차) • 포트홀 • 노면잡물(구배불량)
	• 신축이음 전후, 구조물 경계부	• 단차, 침하
	• 배수구 주변	• 물고임(배수구 간격, 유출구 위치)
배수시설	• 배수구	• 파손, 누락 • 누수, 체수(막힘) • 오염(이물질 퇴적)
	• 배수관	• 파손(연결 고정부 탈락) • 배수관 길이부족(거더에 물 떨어짐) • 유출구 위치 부적절
방호벽	• 철근콘크리트	• 균열(부모멘트부 균열, 침하균열) • 박리, 박락, 철근노출, 파손(충돌)
바닥판	• 공 통	• 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 파손 • 백태, 오염 • 재료분리
신축이음	• 본 체	• 누수, 오염(배수시설 누락, 유간토사퇴적) • 유간(부족 또는 과다) • 이상진동(충격음) • 본체 유동 및 파손(충격음, 흔들림) • 방수재(씰재) 파손 - 노면수 유입
	• 후타재	• 균열, 파손(패임 및 요철) • 전·후의 단차(교면포장과의 단차)

【표 1.1.5】 주요 점검항목(계속)

부재명		점검부위	주요 조사항목
교량받침		• 본 체	- 부식(오물퇴적), 변형 - 균열, 파손 - 가동받침의 유간부족 및 가동 장애요소 - 받침과 거더의 밀착상태(분리) - 앵커볼트 파손(절단) - 가동방향 오류, 편기설치 - 부속물 파손
		• 받침대	- 균열, 파손 - 부분침하
거더	강재	• 공 통	- 변형, 균열, 파손 - 표면(도장)상태 오염, 부식 - 이상처짐 - 연결부 볼트 이완, 파손, 이상음
		• 받침부	- 복부판 부식 및 국부좌굴 - 박스내부 출입구 개폐 - 거더와 받침연결부 부식 - 박스내부 바닥 물고임 및 부식
		• 중앙부	- 맞대기 용접부 균열 - 플랜지 변형 및 처짐 - 다이아프램 연결부 균열
		• 2차부재	거더와의 연결부 균열
		• 보수부위	용접부 및 용접부 주변 균열
	콘크리트	• 공 통	박리, 박락(파손), 철근노출, 백태 발생여부 확인
		• 받침부	- 부스러짐 발생여부 확인 - 복부사인장 균열 발생여부 확인 - 연속교 상단 휨균열 발생여부 확인 - 격벽 개구부 모서리 균열 발생여부 확인
		• 중앙부	- 휨균열, 거더처짐 발생여부 확인 - 쉬스판 노출 및 파손 발생여부 확인 - 박스내부 플랜지 및 복부의 강선방향 균열 발생여부 확인 - 시공이음부 균열 및 누수 발생여부 확인
		• 강선정착부	정착부 균열 및 파손 발생여부 확인

【표 1.1.5】 주요 점검항목(계속)

부재명	점검부위	주요 조사항목
교 대	• 공 통	• 균열(시공이음부 횡방향 균열) • 박리, 박락, 층분리, 백태, 파손, 철근노출 • 교대회전
	• 두 부	• 두부 물고임 • 두부와 홍벽 경계부 균열 • 거더와 홍벽 신축유간 부족
	• 벽 체	• 균열(수직균열) • 벽체와 날개벽 분리(이동)
교 각	• 공 통	• 균열 박리, 철근노출, 파손 • 침하
	• 두 부	• 두부 물고임 • 받침 하부 균열 및 파손(박리, 박락)
	• 구 체	• 수직균열 • 이동 또는 기울음

나. 외관조사 방법

1) 구조물 육안 상세조사

【표 1.1.6】 외관조사 구간별 조사방법

구 간	위 치	조사방법(장비사용현황)	비 고
교 량	상면	도보 육안조사	
	거더 내부	조명장비를 이용한 도보 육안조사	
	외부	교량점검차를 이용한 육안조사	

2) 외관조사 전경



고소점검차를 이용한 바닥판 하부 조사



고소점검차를 이용한 바닥판 하부 조사



고소점검차를 이용한 바닥판 하부 조사



교량점검차를 이용한 바닥판 하부 조사



교량점검차를 이용한 바닥판 하부 조사



교량점검차를 이용한 바닥판 하부 조사

3) 신축이음부 유간거리조사

① 신축량 계산

㉠ 참조도서 : 도로설계편람(국토해양부, 2008)

㉡ 건조수축과 크리프에 의한 신축량은 제외

② 계산 신축량 산정

㉠ 온도변화에 의한 신축량

$$\Delta \ell_t = \Delta T \cdot a \cdot \ell \quad [\Delta T : \text{온도변화}, a : \text{선팅창계수}, \ell : \text{신축거더의 길이(m)}]$$

【표 1.1.7】 온도변화의 범위 및 선팅창 계수

교 량 형 식		온도변화의 범위(℃)		선팅창계수(a)
		보통 지방	한랭 지방	
강 교	상 로 교	-10℃ ~ +40℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}
	하 로 교 강바닥판교	-10℃ ~ +50℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}
RC, PSC 교		-5℃ ~ +35℃	-15℃ ~ +35℃	1.0×10^{-5}
지역		대전,구미,대구,부산,강릉논산,전주,광주,순천,진주,마산,창녕,고령	인천,수원,천안,영동,이천,원주,대관령,경안,진천	

㉡ 보의 처짐에 의한 신축량 : 활하중 작용

$$\Delta \ell_r = \sum(h_i \cdot \theta_i) = 2/3 \times \text{거더높이} \times 1/(150, 300)$$

: 보의 중립축에서 받침의 회전중심까지의 거리(거더 높이의 2/3)

: 받침부위의 보의 회전각 : 강교(1/150), 콘크리트교(1/300)

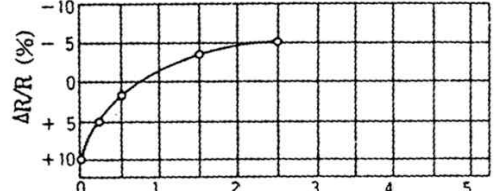
③ 검토 방법

㉠ 총 계산 신축량 > 측정 신축량 : N.G

㉡ 총 계산 신축량 < 측정 신축량 : O.K

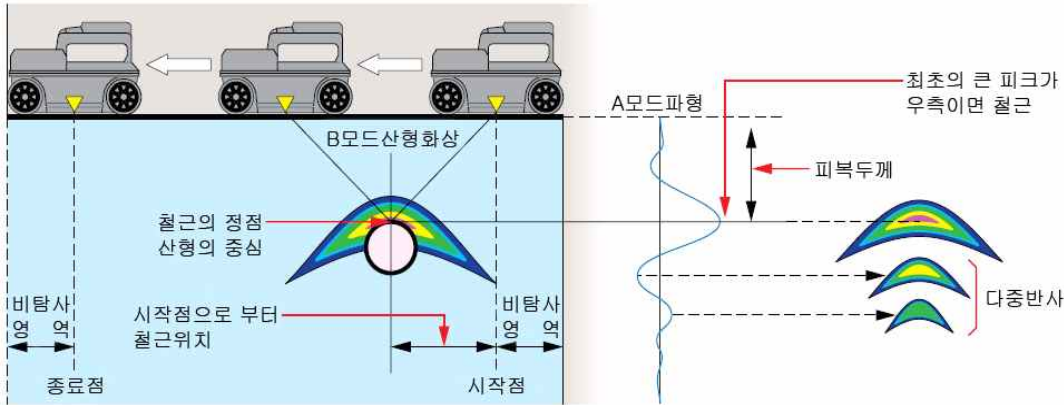
다. 콘크리트 강도조사

1) 반발경도법

개 요	- 콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법이다. - 슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(f_c')와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 적용함																																																																	
시험방법	- 반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 종·횡 간격을 30mm기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 ± 7의 범위(또는 $\pm 15 \sim 20\%$)를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정 - 측정점간의 최소간격은 30~60mm로 하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100mm 이상을 원칙으로 함 - 측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건습에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함	측정기의 기종 선정 ↓ 점검기에 의한 정도확인 ↓ 측정 장소의 확인, 요철제거 ↓ Marker 등에 의한 측정점의 표시 ↓ 측정, 20점 이상의 평균 ↓ 타격 방향, 습윤 및 재령의 보정 ↓ 강도추정식에 의한 압축강도 산출 ↓ 압축강도의 추정 <반발경도법에 의한 강도추정 흐름도>																																																																
보정방법	- 타격방향에 따른 보정(ΔR_1) <table><tr><th>반발경도 (R)</th><th colspan="4">수평과 이루는 각도</th><th rowspan="2">비고</th></tr><tr><th></th><th>+90°</th><th>+45°</th><th>-45°</th><th>-90°</th></tr><tr><td>10</td><td>-</td><td>-</td><td>+2.4</td><td>+3.2</td><td rowspan="6">상향수직 : +90° 하향수직 : -90°</td></tr><tr><td>20</td><td>-5.4</td><td>-3.5</td><td>+2.5</td><td>+3.4</td></tr><tr><td>30</td><td>-4.7</td><td>-3.1</td><td>+2.3</td><td>+3.1</td></tr><tr><td>40</td><td>-3.9</td><td>-2.6</td><td>+2.0</td><td>+2.7</td></tr><tr><td>50</td><td>-3.1</td><td>-2.1</td><td>+1.6</td><td>+2.2</td></tr><tr><td>60</td><td>-2.3</td><td>-1.6</td><td>+1.3</td><td>+1.7</td></tr></table> - 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(ΔR_3) 기건상태 : $\Delta R_3 = 0$, 습윤상태 $\Delta R_3 = +5$ - 콘크리트 재령에 따른 보정(α) <table><tr><th>구분</th><th>7일</th><th>14일</th><th>21일</th><th>28일</th><th>100일</th><th>500일</th><th>750일</th><th>1000일</th><th>2000일</th><th>3000일</th></tr><tr><td>재령(α)</td><td>1.72</td><td>1.36</td><td>1.12</td><td>1.00</td><td>0.78</td><td>0.67</td><td>0.66</td><td>0.65</td><td>0.64</td><td>0.63</td></tr></table> $R_o = R + \Delta R$ ($\Rightarrow \Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3$) 여기서, ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값 ΔR_2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값 ΔR_3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값	반발경도 (R)	수평과 이루는 각도				비고		+90°	+45°	-45°	-90°	10	-	-	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : -90°	20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4	30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1	40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7	50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2	60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일	재령(α)	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(ΔR_2) 압축응력 0.1MPa인 경우 $\Delta R_2 = -0.015R$, 0.25MPa인 경우 $\Delta R_2 = -0.05R$ 정도임  <압축응력에 따른 반발경도 보정곡선>
반발경도 (R)	수평과 이루는 각도				비고																																																													
	+90°	+45°	-45°	-90°																																																														
10	-	-	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : -90°																																																													
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4																																																														
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1																																																														
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7																																																														
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2																																																														
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7																																																														
구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일																																																								
재령(α)	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63																																																								
압축강도 추정식	- 방법 1 : $F_c = -18.0 + 1.27 \times R_o$ (MPa) $\Rightarrow$ 일본 재료학회 추정식 - 방법 2 : $F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.1$ (MPa) $\Rightarrow$ 일본건축학회 추정식																																																																	

- 주) • 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
 • 콘크리트 내구성 평가절차 수립(국토해양부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조
 • 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2017.01) 참조

라. 철근탐사시험

개 요	본 탐사는 시공 상태평가를 위하여 설계도서에 기록된 피복두께와 동일 시공여부를 조사하여 비교하고 탄산화로 인한 구조물의 내구성 평가와 장기적인 내구성 확보를 위한 대책마련을 위해 실시																																																												
탐사조건	- 적용 가능한 조건 - 탐사심도 200mm 이내 - 탐사대상 철근지름이 6mm 이상 - 콘크리트의 질이 균일한 곳 - 철근이 안테나 진행 방향에 직교한 곳 - 적용 곤란한 조건 - 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑에 철근이 위치한 경우 - 100mm 이하의 피치에서 배근된 경우 - 철근이 안테나 진행 방향과 평행한 경우																																																												
측정방법	철근탐사장비 RC-Radar의 측정원리는 전자파를 콘크리트의 표면에서 내부로 방사하여 콘크리트와 전기적 성질이 다른 철근이나 공동 등의 대상물로부터 반사되는 전파를 다시 안테나에서 수신하여 철근의 배근상태나 공동 등의 위치 및 깊이를 화상으로 기록하는 장비로 레이다 방식(화면 모니터 방식)이며, 측정가능심도는 5~200mm  <RC-Radar 측정원리>																																																												
평가기준	- 철근의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리로 함 - 철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부를 판단 - 실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직함 <철근의 피복두께 기준> <table border="1"> <thead> <tr> <th>구 분</th><th>조 건</th><th>부재종류</th><th>철근직경/구분</th><th>피복두께(mm)</th><th>비 고</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">현장 타설 콘크 리트</td><td rowspan="5">옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위</td><td rowspan="2">슬래브 벽체, 장선</td><td>D35 초과</td><td>40</td><td></td></tr> <tr> <td>D35 이하</td><td>20</td><td></td></tr> <tr> <td rowspan="2">보 기둥</td><td>$f_{ck} \geq 40\text{MPa}$</td><td>30</td><td></td></tr> <tr> <td>$f_{ck} < 40\text{MPa}$</td><td>40</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="2">셀, 절판 부재</td><td>20</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="3">수중에서 타설 되는 콘크리트</td><td>100</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="3">흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트</td><td>80</td><td></td></tr> <tr> <td rowspan="3">흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트</td><td rowspan="3"></td><td>D29 이상 철근</td><td>60</td><td></td></tr> <tr> <td>D25 이하 철근</td><td>50</td><td></td></tr> <tr> <td>D16 이하의 철근</td><td>40</td><td></td></tr> </tbody> </table> 주) 콘크리트 구조설계기준(한국콘크리트학회, 2007) 참조 <table border="1"> <thead> <tr> <th>유효깊이(d)</th><th>유효깊이의 허용오차</th><th>피복두께의 허용오차</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$d \leq 200\text{mm}$</td><td>$\pm 10\text{mm}$</td><td>-10mm</td></tr> <tr> <td>$d > 200\text{mm}$</td><td>$\pm 13\text{mm}$</td><td>-13mm</td></tr> </tbody> </table> 주) 피복두께의 허용오차는 도면 또는 설계기준에서 요구하는 최소 피복두께의 -1/3로 하여야 함					구 분	조 건	부재종류	철근직경/구분	피복두께(mm)	비 고	현장 타설 콘크 리트	옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위	슬래브 벽체, 장선	D35 초과	40		D35 이하	20		보 기둥	$f_{ck} \geq 40\text{MPa}$	30		$f_{ck} < 40\text{MPa}$	40		셀, 절판 부재		20		수중에서 타설 되는 콘크리트			100		흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트			80		흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트		D29 이상 철근	60		D25 이하 철근	50		D16 이하의 철근	40		유효깊이(d)	유효깊이의 허용오차	피복두께의 허용오차	$d \leq 200\text{mm}$	$\pm 10\text{mm}$	-10mm	$d > 200\text{mm}$	$\pm 13\text{mm}$	-13mm
구 분	조 건	부재종류	철근직경/구분	피복두께(mm)	비 고																																																								
현장 타설 콘크 리트	옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위	슬래브 벽체, 장선	D35 초과	40																																																									
			D35 이하	20																																																									
		보 기둥	$f_{ck} \geq 40\text{MPa}$	30																																																									
			$f_{ck} < 40\text{MPa}$	40																																																									
		셀, 절판 부재		20																																																									
	수중에서 타설 되는 콘크리트			100																																																									
	흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트			80																																																									
	흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트		D29 이상 철근	60																																																									
			D25 이하 철근	50																																																									
			D16 이하의 철근	40																																																									
유효깊이(d)	유효깊이의 허용오차	피복두께의 허용오차																																																											
$d \leq 200\text{mm}$	$\pm 10\text{mm}$	-10mm																																																											
$d > 200\text{mm}$	$\pm 13\text{mm}$	-13mm																																																											

주) • 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조

• 진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조

• 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2017.01) 참조

옥산~오창 고속도로 민간투자사업 초기점검

1.3 상태평가

1.3.1 상태평가 개요

상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2017년 01월)」의 상태평가 기준 및 방법에 따라 실시하며, 시설물 초기점검 실시결과는 「시설물의안전관리에관한특별법」 제10조의 2 및 동법 「시행령」 제11조의 5에 따라서 시설물에 대한 상태평가 및 안전성 평가 등을 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정하도록 명기되어 있다.

본 점검에서는 주요 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하고 결함의 발생 원인을 분석한 후 상태평가기준에 의해 주요 부재별로 상태평가를 실시하였고, 이를 기초로 시설물의 전체에 대한 상태평가등급을 부여하였다.

1.3.2 부재별 상태평가 적용범위

부재별 상태평가 기준은 교량의 거더와 가로보를 분리하고, 콘크리트의 탄산화와 염화물에 대한 평가항목을 포함하여 세분화하였으며, 아래의 표와 같이 부재별 상태평가 기준을 부재의 중요도를 감안하여 차등화 함으로써 가능한 전체 상태평가 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.

부재별 상태평가는 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.

【표 1.1.8】 부재분류에 따른 등급 차등 적용범위

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

가. 구조형식에 따른 부재별 가중치

【표 1.1.9】 부재별 상태평가 적용범위

구분	결함도 평가항목		거더 교량						
			일반 거더교			바닥판·거더 일체형		아치, 트러스	
			일반	2차부재 없음	바닥판 없음	강 바닥판	PSC 박스	콘크리트 바닥판	강 바닥판
상부	바닥판		18	18	-	20	20	15	
	주 형		20	25	37	18	20	23	
	2차부재		5	-	11	5	3	5	
하부	교대/교각		13	13	18	13		13	
	기초		7	7	7	7		7	
받침	교량받침		9	9	14	9		9	
기타	신축이음		9	9	-	9		9	
	교면포장		7	7	-	7		7	
	배수시설		3	3	-	3		3	
	난간/연석		2	2	6	2		2	
콘크리트	탄산화	상부	2(4)		-	-	2(4)	2(4)	-
		하부	2(3)		4(7)	4(7)	2(3)	2(3)	4(7)
	염화물	상부	2(0)		-	-	2(0)	2(0)	-
		하부	1(0)		3(0)	3(0)	1(0)	1(0)	3(0)

나. 상태평가 산정방법

1) 경간(지점)별 부재 상태평가 산정

- ① 개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태평가 결과 중 최저값을 개별부재 상태평가 결과로 산정한다.
- ② 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태평가 기준 중 최저값을 경간(지점) 상태평가 결과로 산정한다.

2) 전체시설물의 상태평가 결과 산정

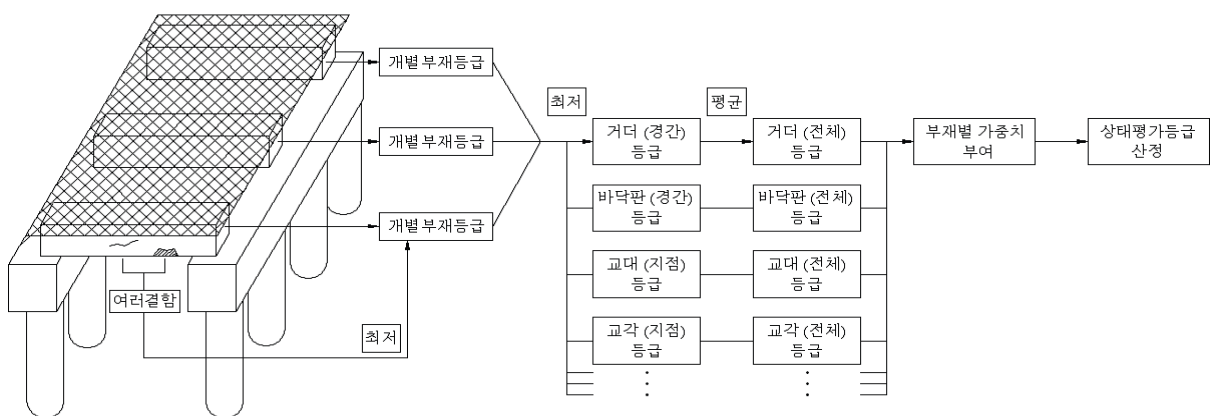
구조형식이 같은 부재에 대해 부재별로 평균하여 부재상태평가를 결정한 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산결함도 점수를 구한다. 환산결함도 점수는 시설물 전체의 상태평가 결과를 산정하기 위한 기준 값이며, 【표 1.1.10】의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물전체에 대한 상태평가결과를 구한다.

【표 1.1.10】 결함도 점수 범위에 따른 기준

등급	A	B	C	D	E
결함도범위	$0 \leq F < 0.13$	$0.13 \leq F < 0.26$	$0.26 \leq F < 0.49$	$0.49 \leq F < 0.79$	$0.79 \leq F$

3) 상태평가 산정방법

본교, 접속교, 램프교로 구성된 교량의 전체상태평가결과 산정사례를 예시하였다.



【그림 1.1.2】 전체교량의 상태평가결과 산정방법 예

다. 상태평가 기준

1) 상태등급

교량의 전산화를 위하여 각 부재에 대한 상태평가를 실시하여 손상상태 평가기준에 따라 상태등급을 기입한다. 점검항목에 대한 상태평가기준은 점검항목에 따라 상이하므로 정확한 평가기준에 의거 상태등급을 산정하며, 점검항목 손상 상태평가기준은 다음과 같다.

- ① A, B, C, D, E : 점검부재의 손상도에 따라 상태가 양호한 경우 A등급에서 손상이 심할 경우 E등급으로 손상의 정도에 따라 5등급으로 구분한다. 이에 대한 자세한 평가기준은 점검부재별로 세분한다.
- ② Q : 점검부재에 대한 접근이 불가능한 경우 등급 Q를 사용하여 점검되지 않은 부재임을 표시하고, 반드시 향후 실시하는 점검시에 접근장비를 동원하여 점검한다.
- ③ X : 점검대상 교량에 해당 점검부위가 없을 경우 등급 X를 사용하여 점검 필요성이 없음을 표시한다.

라. 부재별 상태평가 기준

1) 교면포장

교면포장의 상태는 차량의 주행성과 직접적인 연관이 있으며, 교면포장에 발생한 균열 및 함몰은 교면의 방수층을 파괴하여 상부구조의 누수를 발생시키는 원인이 될 수 있다. 교면포장에 사용되는 아스팔트 혼합물과 콘크리트는 재료적인 특성과 포장체 자체의 거동에서 상이한 면이 있으나 상태평가기준은 아스팔트와 콘크리트를 별도로 분리하지 않고 하나의 등급으로 평가한다.

경간단위로 평가하며, 균열, 보수흔적 등 전반적인 포장면의 불량정도를 나타내는 항목과 교량에 충격을 유발하는 요철, 단차, 파손 등의 손상항목으로 구분하여 평가한다.

포장불량율은 균열 발생부, 표면이 노화되어 마모된 부분, 기 보수된 부분 등의 면적을 전부 더한 값을 경간면적으로 나눈 비율이다. 균열율과 균열면적을 계산하는 방법은 아래에 기술하였다.

【표 1.1.11】 교면포장 점검부위 및 손상종류

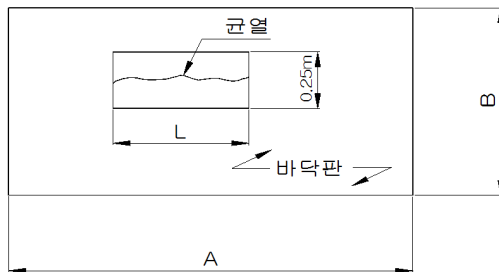
점 검 부 위		손 상 종 류
▷공통	▷아스팔트	• 균열, 함몰, 단차 및 요철, 블리딩, 마모
	▷콘크리트	• 균열, 마모, 박리, 파손
▷신축이음 전후, 구조물 경계부		• 단차, 파손
▷곡선부, 중차량 통행차로		• 마모, 바퀴자국
▷배수구 주변		• 물고임

【표 1.1.12】 교면포장 상태평가 기준

등급	포장불량		배수
a	• 미세균열	• 없음	• 없음
b	• 포장불량 2% 미만	• 포장손상이 미미하여 주행에 영향 없음	• 배수구배 및 배수시설 불량에 의한 부분적 물고임
c	• 포장불량 2~10% 미만	• 포장손상으로 인하여 차량의 통행에 영향 있음	• 배수구배 및 배수시설 불량에 의한 물고임 발생으로 주행성 저하
d	• 포장불량 100% 이상	• 전반적인 재포장이 필요한 상태	• 배수불량에 의한 물고임으로 통행차량의 안전성 저하
e	-	-	-

※ 균열면적 및 균열율 계산

① 일방향 균열

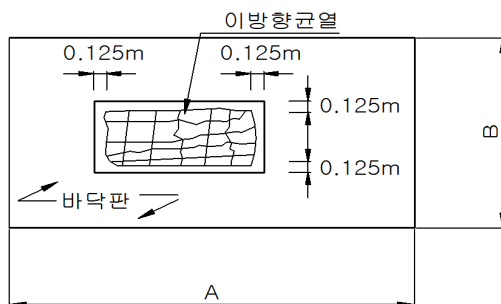


$$\frac{\text{균열발생면적}}{\text{바닥판(점검단위)면적}} \times 100$$

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

- 일방향 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.
- 일방향 균열의 개수가 2개 이상일 경우는 각 균열길이에 0.25m의 폭을 곱해서 합산하여 균열발생 면적을 구한다.
- 균열발생 간격이 0.25m 이하로 발생할 경우에도 c의 기준을 적용한다.

② 이방향 균열



- 이방향 균열의 발생면적은 균열발생부위를 가로, 세로의 최외측 균열을 경계로 하여 사각형 형태로 구분한 후 균열 발생면적(점선내부면적)은 (가로길이+0.25m)×(세로길이+0.25m)로 계산한다.
- 균열발생간격이 0.25m 이하로 발생할 경우에도 ①의 기준을 적용한다.

2) 배수시설

배수시설은 교면의 빗물을 배수하는 교량의 부속시설로서 배수시설의 상태가 불량하게 되면 교량을 주행하는 차량의 안전성을 위협하며, 누수로 인하여 구조물의 열화를 발생시키는 주요원인을 제공하게 된다.

경간단위로 평가하며, 한 경간에 두개이상의 배수시설이 있는 경우 각각의 등급을 평균하여 경간등급을 정한다.

【표 1.1.13】 배수시설 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위	손 상 종 류
▷ 배수구(유입구) - 뚜껑(그레이팅)	• 뚜껑파손 및 주변파손, 누락 • 오물퇴적, 막힘 • 배수구의 설치높이가 높음 • 배수구 설치위치 불량 • 배수구 설치간격 넓음
▷ 배수관	• 관의 연결부 어긋남, 파손 • 이물질에 의한 막힘 • 지지철물의 이완 및 파손 • 배수관 길이 부족(짧음) • 유출구 위치 부적절(도로구간)

【표 1.1.14】 배수시설 상태평가 기준

등급	상태등급 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	-

3) 난간 / 연석

교량의 난간과 연석은 구조적인 중요도는 낮으나, 파손되거나 재료적으로 열화된 경우 통행인에게 불안감을 느끼게 할 수 있다. 특히 차량충돌 등 외부의 강한 하중에 의한 손상일 경우에는 바닥판에도 손상이 발생할 수 있으므로 주의깊게 점검한다. 연석은 차량의 시선유도, 차량의 차도이탈방지, 사고 시 완충작용 등의 역할을 하는 것으로서 난간 점검 시 같이 조사를 한다.

경간단위로 평가하며, 난간, 연석, 중앙분리대를 대상으로 하고, 난간 및 연석의 등급은 손상 및 열화된 길이를 기준으로 정하며, 보충자료로서 강재와 콘크리트 재료의 손상에

대한 특징적인 내용들을 등급별로 부기하였다.

【표 1.1.15】 난간연석 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위		손 상 종 류
▷난간 연석	- 강재, 알루미늄	• 강재의 경우 도장 손상 및 부식 • 난간과 상판연결부의 결함, 파손 • 전체적인 처짐 및 선형불량
	- 철근 콘크리트	• 균열, 박리, 파손 • 철근노출 및 부식 • 전체적인 처짐 및 선형불량

【표 1.1.16】 난간연석 상태평가 기준

등급	강 재		콘크리트
a	• 양호	• 양호	• 양호
b	• 도장 불량 10%미만	• 고정장치 및 연결재의 이완이 국부적으로 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 (방음벽)	• 박리, 파손, 철근노출, 10%이상 • 철근부식손상 길이 2%이상
e	-	-	-

4) 바닥판

바닥판은 교면포장으로부터 전달되는 차량의 윤하중을 거더로 직접 전달하는 역할을 한다. 바닥판은 차량의 윤하중이 직접 작용하므로 교량 구성부재 중 손상이 가장 많이 발생하는 부재로서 한번 손상이 생기면 급속히 악화되므로 조기에 조치를 취하는 것이 중요하다.

조사 시에는 가능한 한 바닥판 밑면에 근접하여 점검하여야 하며, 표면에 경미한 손상이 발생한 경우라도 바닥판 내부 혹은 상부에 심각한 손상이 진행될 가능성이 있다는 것을 염두에 두고 점검하여야 한다. 또한 넓은 범위의 단면결손, 누수 또는 콘크리트 탈락이 의심스러운 경우 햄머로 여러 부위를 타격하여 소리를 들음으로서 건전성 여부를 판단하고 원인을 분석하여야 한다.

경간단위로 평가하며 콘크리트 바닥판을 대상으로 하고, 박스 거더의 상부플랜지는 구조적으로 바닥판과 거더의 역할을 같이 하지만 바닥판의 상태평가 기준안을 따른다.

상태평가 기준안에서 균열폭은 폭 0.2mm 이상의 균열을 대상으로 산정한다.

【표 1.1.17】 바닥판 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위		손 상 종 류
▷공통		• 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출 • 재료분리(공동, 공극) • 누수 및 백태(유리석회)
▷거더교		• 종방향 균열, 망상균열
▷슬래브	- 받침부(단부)	• 부스러짐 • 사인장균열
	- 중앙부	• 휨균열

【표 1.1.18】 바닥판 상태평가 기준

등급	균 열		열화 및 손상
	1방향균열	2방향균열	
a	• 0.1mm 미만 균열	• 망상균열폭 0.1mm미만	• 없음
b	• 균열폭 0.1mm이상~0.3mm미만 • 균열율 2%미만	• 망상균열폭 0.1mm이상~0.3mm 미만	• 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 인한 콘크리트 박리 발생	• 표면 손상면적 10%이상 • 철근부식 손상면적 2%이상 • 데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식 발생
e	• 균열폭 1.0mm 이상 • 균열율 20%이상	• 망상균열에 의한 박리가 심하여 편칭파괴 발생 가능성 있음	• 부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우

5) 신축이음

교량의 신축이음은 온도변화, 건조수축, 활하중에 따른 상부구조의 신축을 원활하게 수용하고 상부구조 이음부에서 차량의 주행성을 확보하기 위한 중요한 부속시설이다. 신축이음은 교면에서 차량하중을 직접 받고 외부에 노출되어 있어서 변형 및 파손되기 쉽다.

신축이음의 점검에서는 재료적인 열화, 방수재의 기능, 신축유간의 확보, 외부충격에 의한 파손 등을 중점적으로 점검하여야 한다.

지점단위로 평가하며, 본체와 후타재로 구분하여 평가한다. 신축이음의 형식별, 재료별로는 별도의 구분 없이 하나의 등급으로 평가한다.

【표 1.1.19】 신축이음 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위		손 상 종 류
▷본체	- 공통	• 충격음, 본체유동 및 파손 • 누수 • 유간부족 및 유간과다 • 유간 오물퇴적
	- 고무재	• 고무판 마모, 강판노출 및 부식
	- 강재	• 강재 연결부 이완 및 파손
▷후타재		• 단차(본체, 교면포장, 접속슬래브) • 균열 및 파손

【표 1.1.20】 신축이음 상태평가 기준

등급	본체	후타재
a	• 없음	• 양호
b	• 토사, 이물질 퇴적 • 고무판 노후화	• 미세균열이 발생
c	• 물받이 미설치 또는 파손으로 부분적으로 누수 • 유간사이 이물질로 기능 불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화 • 고무판 균열, 볼트 또는 너트의 부분 탈락 • 누수로 인하여 신축이음 하부의 받침 및 코핑부에 이물질 퇴적 및 부식발생	• 균열이 50cm 이하의 간격으로 발생 • 국부적인 박리, 박락, 파손
d	• 강판유동 및 연결불량으로 이상음 발생 • 신축유간 밀착으로 인한 거동 불량 • 신축유간이 넓어 차량통행에 지장 초래 • 신축이음 본체 탈락, 파손 및 작동 불능	• 신축이음의 심한 파손 및 단차로 인하여 차량통행시 충격발생 • 파손 범위가 후타재 폭 이상으로 큼
e	-	-

6) 교량받침

받침은 상, 하부구조 접속부에 있는 교량 부속물로서 교량의 구조 중 기계적 요소가 가장 강하며, 응력의 전달과 완충의 기능을 갖고 있어 응력전달을 위해 견고하게 연결되어야 한다. 받침을 점검할 때에는 받침이 설계시나 시공시 의도한 대로 작동하고 있는가에 유의하여야 하며, 재료에 따라 손상 특성이 다르므로 강재, 고무재 받침에 대한 특성을 고려하여 점검한다.

지점단위로 평가하며, 교량받침과 받침대콘크리트로 구분하여 평가한다. 단 받침본체 평가시 재료에 따른 특징적인 손상이 발견된 경우에는 아래 표를 참고로 하여 받침본체를 평가한다.

받침대의 연단부 균열 및 파손상태가 D급 이하로 교량의 기능에 심각한 영향을 초래할 경우 손상내용을 요약표에 별도 기록 관리한다.

【표 1.1.21】 교량받침 점검부위 및 손상종류①

점 검 부 위		손 상 종 류
▷본체	- 공통	• 가동받침의 신축유간 부족 • 가동받침 전·후방의 가동장애 요소 • 받침과 주거더의 밀착상태 • 수직보강재와 받침 편기상태 • 받침 물고임 및 부식
	- 강재받침	• 가동면 부식 • 부속물 파손(부상방지장치 및 이동제한장치)

【표 1.1.22】 교량받침 점검부위 및 손상종류②

점 검 부 위		손 상 종 류
▷본체	- 고무받침	• 고무재 부풀음 및 갈라짐 • 고무판의 과도한 변형
▷받침대		• 앵커볼트 파손, 절단 • 콘크리트 파손, 하부공동 및 침하 • 교각두부 균열

【표 1.1.23】 교량받침 상태평가 기준

등급	받침본체		받침 콘크리트
	탄성받침	강재받침	
a	• 양호	• 양호	• 양호
b	• 미세균열, 갈라짐 등 경미한 열화	• 외부 도장탈락 및 부식 • 도장도색, 먼지 쌓임	• 부분적 박리, 탈락 등손상
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 심하 • 받침두께의 0.3배 이상의 전단변형 • 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만 • 받침의 신축기능 불량	• 받침 본체 부식으로 인한 받침 신축거동 장애발생 • 받침 본체 파손 • 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만	• 받침 콘크리트 파손 및 하부 공동으로 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 1/2 이상	• 받침 신축기능 불량 인하여 거더등 주부재의 파손 발생 • 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 이상 • 작동불능 상태	-

7) 강재 거더

강재거더는 압연 또는 강재 후판으로 제작된 주거더를 의미하며, 제작방법 및 단면형상에 따라 압연 I형, 용접 또는 리벳 플레이트거더, 강박스거더로 구분한다. 강교의 점검은 주부재 또는 보조부재에 발생한 균열 및 변형, 연결부위의 결함, 강재표면의 상태 등을 조사하고 부재에 발생한 결함 및 손상을 조기에 발견하여야 한다.

압연 I형, 플레이트거더, 강박스거더, 강재바닥판을 대상으로 경간별로 점검하며 거더 각각을 하나의 평가단위로 한다. 평가항목은 부재의 균열, 변형, 연결부위의 이완 등을 나타내는 손상항목과 표면상태 항목으로 크게 구분한다.

가로보, 박스거더의 격벽(Diaphragm)과 같은 2차부재는 경간별로 점검하며, 거더와 인접거더 사이의 가로보 전부를 평균하여 하나의 평가단위로 한다. 가로보의 연결부위에 손상(이완, 탈락)이 발견될 경우 보조부재의 기준을 적용한다.

2거더 이하의 붕괴유발부재로서 주부재의 손상 및 연결부위 상태가 D급 이하로 심각할 경우 손상내용은 요약표에 별도기록 관리한다.

【표 1.1.24】 강재 거더 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위	손 상 종 류
▷공통	• 도장 손상 • 스프라이스 볼트 탈락 • 이상음 발생
▷받침부	• 복부판 부식 및 국부좌굴 • 거더와 받침연결부 부식 • 게르버교의 경우 핀 연결부 부식 • 지점보강재 하단 용접부 균열 • 박스내부 출입구 방치 • 박스내부 바닥 물고임 및 부식
▷중양부	• 플랜지 부식 • 플랜지 변형 및 처짐 • 맞대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열
▷2차부재	• 가로보, 세로보, 브레키트 및 브레이싱 변형 • 하중 집중점(가로보, 브레이싱 설치부), 가로보와 세로부 교차부 균열 • 거세트판 용접부 끝부분 균열
▷보수부위	• 용접부 및 용접부 주변 균열

【표 1.1.25】 강재거더 상태평가 기준

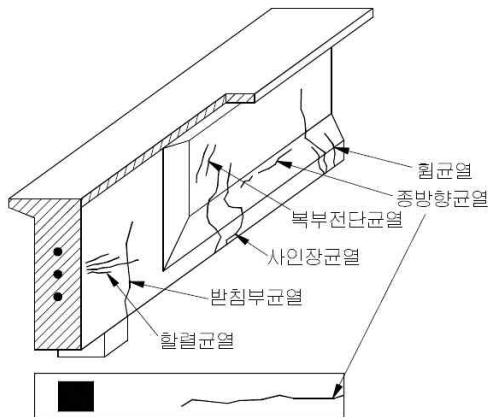
항목	모재 및 연결부 손상				표면열화
	균열	변형,파단	연결부위 이완, 탈락	용접연결부 결합	
a	• 없음	• 없음	• 없음	• 없음	• 없음
b	• 보조부재의 국부적 균열	• 보조부재의 국부적 변형	• 보조부재 2%미만	• 부분적 용접불량(기공, 슬래그, 언더컷)	• 도장탈락 면적 10%미만 • 부식발생 면적 2%미만
c	• 보조부재의 전반적 균열 • 주부재의 국부적 균열	• 보조부재의 전반적 변형 및 파단 • 주부재의 국부적 변형 • 주탑하단부 연결 볼트 부식	• 보조부재 2%이상~10%미만 • 주부재 2%미만	• 주부재의 심한 용접불량(기공, 슬래그, 언더컷) • 부분적 용접부족, 용접누락	• 도장탈락 면적 10%이상 • 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 용접연결부 용접부족 및 용접누락으로 인한 안전성저하	• 부식발생 면적 10%이상 • 부식에 의한 단면 손상 면적 10%미만
e	• 균열이 주부재 단면의 20%이상 진전	• 좌굴에 의한 과대변형 및 파단으로 주부재의 안전성 저하	• 주부재 10%이상	• 인장플랜지 용접 연결부 균열 진전으로 인해 연결 기능 상실	• 부식에 의한 단면 손상 면적 10%이상

8) 프리스트레스 콘크리트 거더

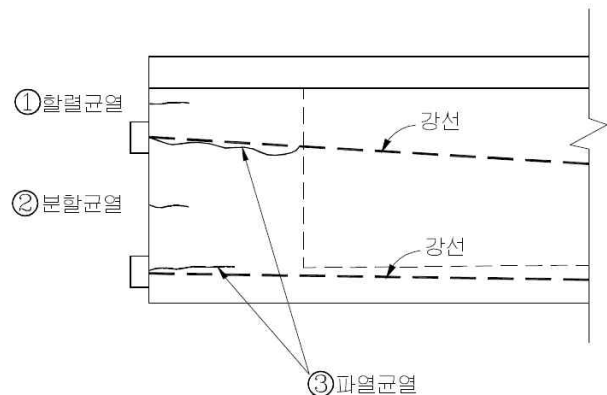
PSC I형 거더는 균열이 발생하지 않도록 설계되어 활하중에 대해 전단면이 저항하므로 효율성이 좋은 구조이나 RC 구조에 비하여 강성이 작으므로 변형이나 진동이 발생하기 쉽다. PSC 구조물은 제작 단계별로 응력상태를 점검하여야하며 특히 사용하중에서 결정된 단면이 파괴에 대하여 소정의 안전율을 가지는지 검토가 필요하다.

【표 1.1.26】 프리스트레스 콘크리트 거더 상태평가 기준

기준	균열	열화 및 손상
a	• 양호	• 양호
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 안전성 저하	• 단부 콘크리트의 심한 파손 또는 강선 정착부 파손으로 인한 부재의 안정성 저하



【그림 1.1.3】 PSC I빔의 점검부위



【그림 1.1.4】 정착구역의 국부균열

9) 콘크리트 가로보

【표 1.1.27】 콘크리트 가로보 상태평가 기준

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	-	-

10) 교대 및 교각, 기초

① 교대

교대 및 교각은 교량 상부구조의 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성

을 위해 아주 중요한 역할을 수행하는 구조부재이다. 일반적으로 교량을 점검할 때에 하부구조의 점검을 소홀히 하는 경우가 있는데, 교량 형식에 따라서는 하부구조에 약간의 손상이 발생되더라도 교량 전체의 안전에 중대한 위험이 발생되므로 하부구조의 점검에는 특별한 주의를 필요로 한다.

하천에 놓여진 교량의 경우에는 특히 세굴과 같은 흐르는 물에 의한 손상이 흔히 발생하지만 물속에 발생한 손상은 점검자가 쉽게 파악할 수 없으므로 특히 세심한 점검을 필요로 한다.

교대를 대상으로 각 지점별로 점검하며, 각 지점을 하나의 평가단위로 한다.

받침 연단부의 균열, 날개벽 연결부의 변위가 D급 이하로 심각할 경우 손상내용을 별도 기록 관리한다.

【표 1.1.28】 교대 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위	손 상 종 류
▷공통	- 교대 회전(기울음), 침하(연직이동) - 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)
▷두부(Coping)	- 두부 물고임 - 받침부 균열 및 파손 - 두부와 홍벽 경계부 균열 - 거더와 홍벽 신축유간 부족
▷벽체	- 수직균열 및 침하 - 구체와 날개벽 분리 - 구체부 배수구 막힘 - 수면접촉부 침식
▷날개벽(옹벽 포함)	날개벽 이동, 전도, 석축이 있는 경우 사면붕괴

【표 1.1.29】 교대 상태평가 기준

등급	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	- 구체균열폭 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

② 교각

교각을 대상으로 각 지점별로 점검하며, 각 지점을 하나의 평가단위로 하며, 교각 코핑부의 휨균열이나 전단균열, 받침 연단부의 균열이 D급 이하로 심각할 경우 손상내용을 별도 기록 관리한다.

【표 1.1.30】 교각 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위	손 상 종 류
▷공통	• 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 재료분리, 백태
▷두부(Coping)	• 두부 물고임 • 받침부 하부 균열 및 파손
▷구체	• 시공이음부 균열 • 이동 또는 기울음 • 수면접촉부 침식

【표 1.1.31】 교각 상태평가 기준

등급	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~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

③ 기초

기초의 대표적인 손상은 세굴로 인하여 발생할 수 있다. 세굴이란 흐르는 물의 침식작용에 의한 결과로서 하천 바닥이나 제방으로부터 파인 물질이 이동되는 현상으로 정의되며 하상재료의 구성에 따라 서로 다른 세굴양상을 보여준다.

하천에서의 세굴은 시간에 따라 장기적인 변화와 단기적인 변화로 구분할 수 있다. 장기변화는 하상의 상승이나 저하로 하천과 유역의 수리특성과 하천 단면변화와 관련이 있고, 단기변화로는 교량 등의 인공구조물에 의한 하천내의 통수단면적이 축소되어 발생하는 세굴이 있다. 또한 국부세굴은 흐름 속에 설치된 구조물에 의한 흐름의 간섭에서 발생한다.

기초를 대상으로 각 지점별로 점검하며, 각 지점을 하나의 평가단위로 하며, 기초에서 는 손상종류에 관계없이 D급 이하로 판정될 경우 손상내용을 요약표에 별도 기록 관리한 다.

【표 1.1.32】 기초 점검부위 및 손상종류

점 검 부 위	손 상 종 류
▷공통	• 박리, 박락, 철근노출, 백태 • 침식, 세굴, 이동, 침하
▷직접기초	• 수직방향 균열
▷말뚝기초	• 침식 및 말뚝 노출
▷케이슨기초	• 충돌파손

【표 1.1.33】 기초 상태평가 기준

등급	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 0.3mm 이상의 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 의한교대/교각의 기울음으로 인해 상부구조의 단차 및 파손 발생

1.4 안전성평가 및 내하력평가

1.4.1 재하시험

가. 재하시험 일반

재하시험은 실험적인 방법으로 교량의 거동을 해석하는 방법으로서 정해진 규정에 따라 교량의 탄성거동에 영향을 주지 않는 크기로 결정된 기지의 하중을 교량의 특정부위에 직접 재하하여 교량을 구성하는 주요 부재들의 실제거동을 관찰 및 계측하는 시험이다.

재하시험의 목적은 교량의 실제 내하력을 정량화시키기 위함이며, 재하시험의 결과는 이론적인 방법으로 평가된 교량의 내하력을 보완하는데 적용된다.

재하시험은 정적 및 동적 재하시험으로 구분하여 실시하되 의사 정적재하시험을 실시하는 경우에는 정적 재하시험을 생략할 수 있다. 재하시험을 시행할 경우에는 시험방법, 시험하중, 계측기기의 운영, 시험원의 자격요건 및 안전조치계획 등을 포함한 신중한 계획이 이루어져야 한다.

내하력평가에서 재하시험의 세부목적은 다음과 같다.

- 교량의 실제 정적 및 동적거동 평가
- 처짐, 진동 등에 대한 사용성 검토
- 새로운 해석방법 및 설계기법의 검증
- 교량의 결함원인의 분석 및 규명
- 해석에 의한 내하력이 작은 경우 실제거동을 반영한 내하력을 결정하여 교량 유지관리
의 경제성 향상
- 보수 보강 효과 확인
- 교량의 동특성(진동수, 진동모드 및 감쇠비 및 충격계수)평가
- 설계도서 및 보수 보강 이력자료가 미비한 교량의 내하력평가

나. 재하시험 계획

1) 재하시험 경간의 선정

- ① 시험경간은 최대응답이 발생할 것으로 예측되는 경간을 선택함을 원칙으로 하되 교량 총 연장에 따라 시험경간 개소를 증가시킬 수 있다.
- ② 상부구조가 2개 이상의 형식으로 구성되었거나 연속교와 단선교의 조합으로 구성된 경우, 형식별로 1개 경간을 선정하여 재하시험을 실시하는 것이 바람직하다.
- ③ 단, 주 형식 이외의 나머지 형식이 주 형식의 일부로 분류 가능한 경우 예외로 한다.

육산~오창 고속도로 민간투자사업 초기점검

2) 계측기 및 센서의 부착

- ① 대상교량의 구조형식 및 계측 목적에 따라 센서 및 계측기의 종류, 부착위치 및 개소 수, 재하하중, 시험회수 등을 결정한다.
- ② 계측기와 센서는 압축 인장 휨변형률, 전단변형률, 최대처짐, 진동 및 동적특성, 균열거동 등을 계측하기 위하여 부착한다.
- ③ 4차선 이하 교량의 경우 계측기와 센서의 부착 위치는 시험경간 내 전 거더를 대상으로 하며 4차선 이상의 경우는 예외로 한다. 슬래브교의 경우 시험트럭의 축간거리 간격만큼 이격시켜 전폭에 대하여 계측기와 센서를 부착함을 원칙으로 하며, 특수교량이나 박스교의 경우는 시험목적에 맞게 결정한다.
- ④ 연속교의 경우 하중 영향범위를 고려하여 정 부 모멘트부에 공히 계측기와 센서를 부착하는 것을 원칙으로 한다.
- ⑤ 센서를 부착할 경우 직사광선, 습기, 이물질에 의한 손상 및 간섭을 받지 않도록 방법 및 보호처리를 한다.

3) 재하하중 선택

- ① 재하하중은 교량의 형식을 고려하여 하중재하로 인한 계측효과를 충분히 얻을 수 있도록 재하하중을 정하여야 한다. 그리고 전륜/후륜의 축중은 현행법상 과적기준을 초과하지 않으며, 도로교설계기준의 규정을 벗어나지 않는 범위 내에서 시험 중 중량의 변화가 없는 토사를 적재한 덤프트럭을 사용한다.
- ② 시험차량은 성능이 양호한 차량을 선택하며, 차량에 대한 제원과 축중을 정확히 파악한다. 3차선 이상의 교량은 2대 이상을 교폭 또는 교축방향으로 동시에 재하시켜 시험하는 것이 바람직하며, 이때 트럭간 총중량의 차이는 최소화하고 가급적 같은 모델의 차량을 사용하는 것이 좋다.
- ③ 우천시에는 우수로 인한 적재물의 중량 증가를 방지할 수 있도록 덮개를 씌우고, 시험 종료후 하중증가가 우려되는 경우 축중을 재측정한다.

다. 정적재하시험

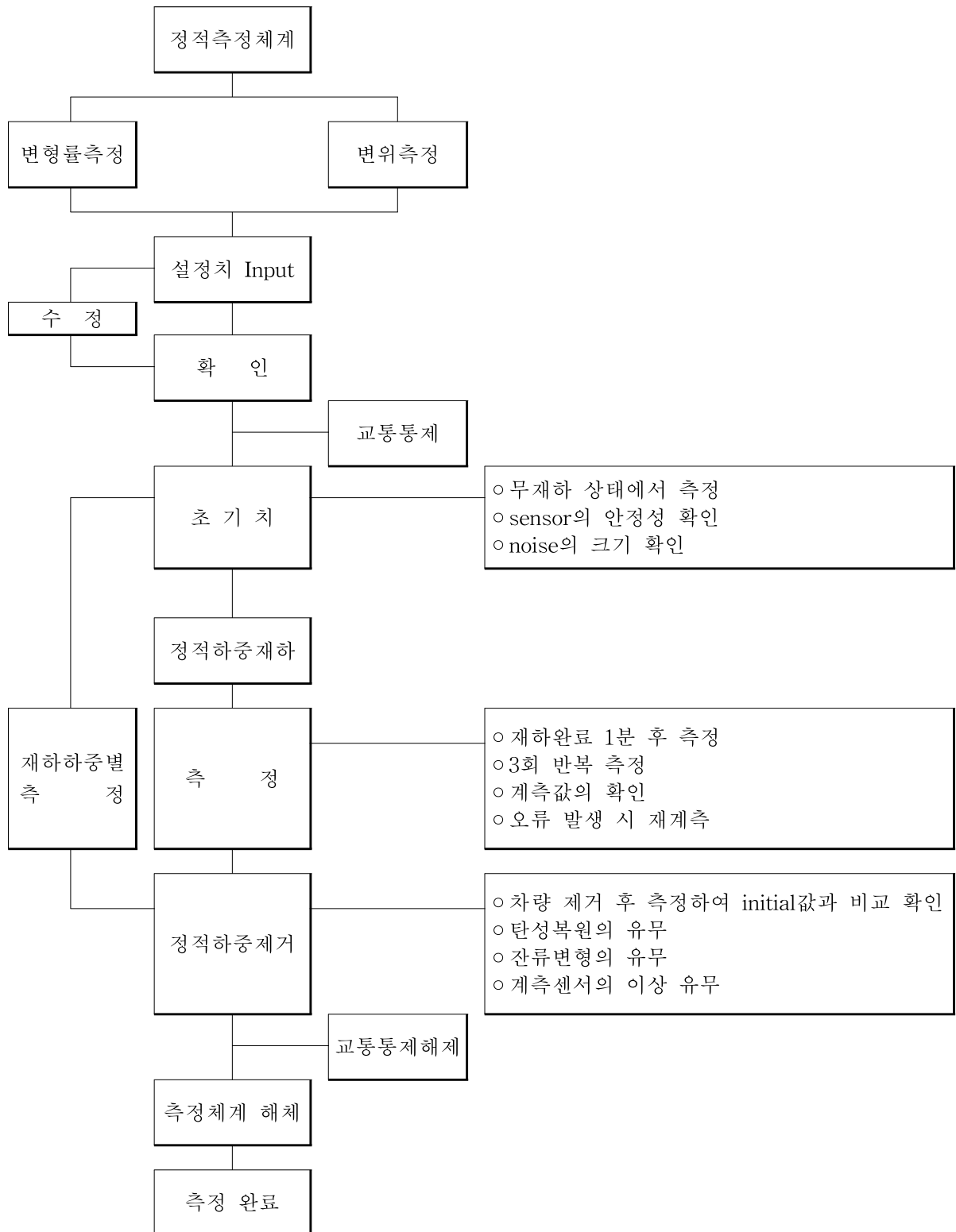
1) 개요

시험차량의 재하위치는 최대 휨모멘트 발생부와 최대 전단력 발생부에 재하하는 것을 원칙으로 하며, 시험차량을 횡방향으로 이동시키면서 하중 횡분배와 중첩의 효과를 측정할 수 있는 재하경우로 측정한다.

시험차량을 소정의 위치에 재하하며, 재하 완료 후 정적응답은 구조체의 응답시간을 고

육산~오창 고속도로 민간투자사업 초기점검

려한 최소 1분간 대기하여 측정하며, 이 때 1분 간격으로 연속 3회 정도 측정한 값이 동일함을 확인 후 완료한다.



【그림 1.1.5】 정적재하시험 흐름도

2) 정적재하시험 수행절차

① 시험방법

- ㉠ 재하시험은 재하차량 이외에 일반차량이 완전히 통제된 상태에서 실시한다.
- ㉡ 재하경우별로 시험경간에 재하차량을 포함한 활하중이 전혀 재하되지 않은 상태에서 매 재하경우마다 0점 조정을 실시하여 시험결과를 정리할 때 반영토록 한다.
- ㉢ 상부구조의 진동, 소음, 충격 등이 측정결과에 영향을 미칠 수 있으므로 시험차량은 시동을 끈 후 구조체의 응답시간을 고려하여 약 1분 정도의 측정대기 시간을 가진 후 측정하는 것이 좋다.
- ㉣ 재하경우별로 2회 이상 반복측정을 실시하는 것이 바람직하다.
- ㉤ 활하중 재하위치는 설계조건, 차선조건을 고려하여 계측 대상부재에 최대응답이 발생하도록 결정하고, 대칭성과 중첩성을 확인할 수 있는 재하조건을 적어도 1회 이상 실시하는 것으로 한다.
- ㉥ 전면 교통통제에 따른 차량지체가 예상되고, 교통사고의 가능성이 높은 경우에는 재하횟수를 합리적으로 줄여서 시행할 수 있으며, 재하차량을 차선별로 주행시켜 시험하는 의사정적 재하시험을 수행할 수 있다.

3) 정적처짐

정적처짐의 측정위치는 대상교량의 규모와 재하시험의 목적에 따라 결정한다. 각 주형의 지간 중앙부에는 반드시 측점을 설치하고 필요에 따라 경간의 1/4지점, 3/4지점 (또는 1/3지점, 2/3지점) 등 측점수를 증가시킨다.

4) 정적변형률

정적변형률의 측정위치는 대상교량의 구조적 특성과 재하시험의 목적에 따라 결정한다.

5) 정적시험 Data 분석

교량 각 부재의 정적하중에 의한 처짐 및 변형률을 실측하여 교량의 실제거동을 분석하고 실측값과 이론에 의한 해석값을 비교하여 교량의 실제 내하력을 구할 수 있다.

계측된 정적처짐과 변형률을 이용하여 다음과 같은 내용을 분석한다.

- 중립축 위치 판단
- 하중의 횡분배
- 주형과 바닥판과의 합성 작용
- 부재의 강성

- 응력 및 처짐의 영향선
- 계산응력과 측정응력의 비교(응답비 산출) 등

6) 정적하중의 실측응답량 산정

시험차량의 축중량이 직접적으로 재하되는 주형들에 부착된 각종 센서들의 응답량은 안정된 값을 보이거나, 재하된 위치로부터 멀링 떨어진 곳에서 측정된 응답량들은 변동량이 대체로 크게 증가하는 경향을 나타내고 있다.

실측응답량은 내하력 평가에 사용되는 응력보정계수(K_s)로 활용된다는 점에서 응답량이 안정된 값을 보이는 가장 큰 응답량을 선정하는 것이 구조물의 안전도 측면에서 바람직한 것으로 판단된다.

따라서 내하력 평가에서 실측응답량은 시험차량의 축중량이 직접적으로 재하되는 부위의 응답량을 이용하여 도출한 응답보정계수로 사용해야 한다.

7) 구조적 거동의 대칭 및 중첩성 분석

구조의 중첩거동 및 대칭거동 등의 분석으로 계측 결과의 신뢰성 확인과 이상거동 유무를 판단한다. 대칭성 분석은 재하하중을 주형 횡분배의 대칭으로 구조적 거동 분석이며, 중첩성 분석은 최대 휨모멘트 지점에서 시험차량의 각각 한 대 재하의 경우와 동시 두 대의 경우를 비교 분석함으로써 파악하고자하는 구조적 거동 분석이다.

8) 변형률을 이용한 중립축 위치

상부 슬래브 또는 주형 상·하부에서 계측된 변형률 값을 이용하여 직선으로 연결 도시하며, 구조해석 결과와 연계하여 분석한다. 단, 구하고자 하는 단면은 시험차량의 축중과 일치되는 지점이며, 중립축 위치를 구하기 위한 단면 제원은 게이지 부착위치를 기준으로 한다.

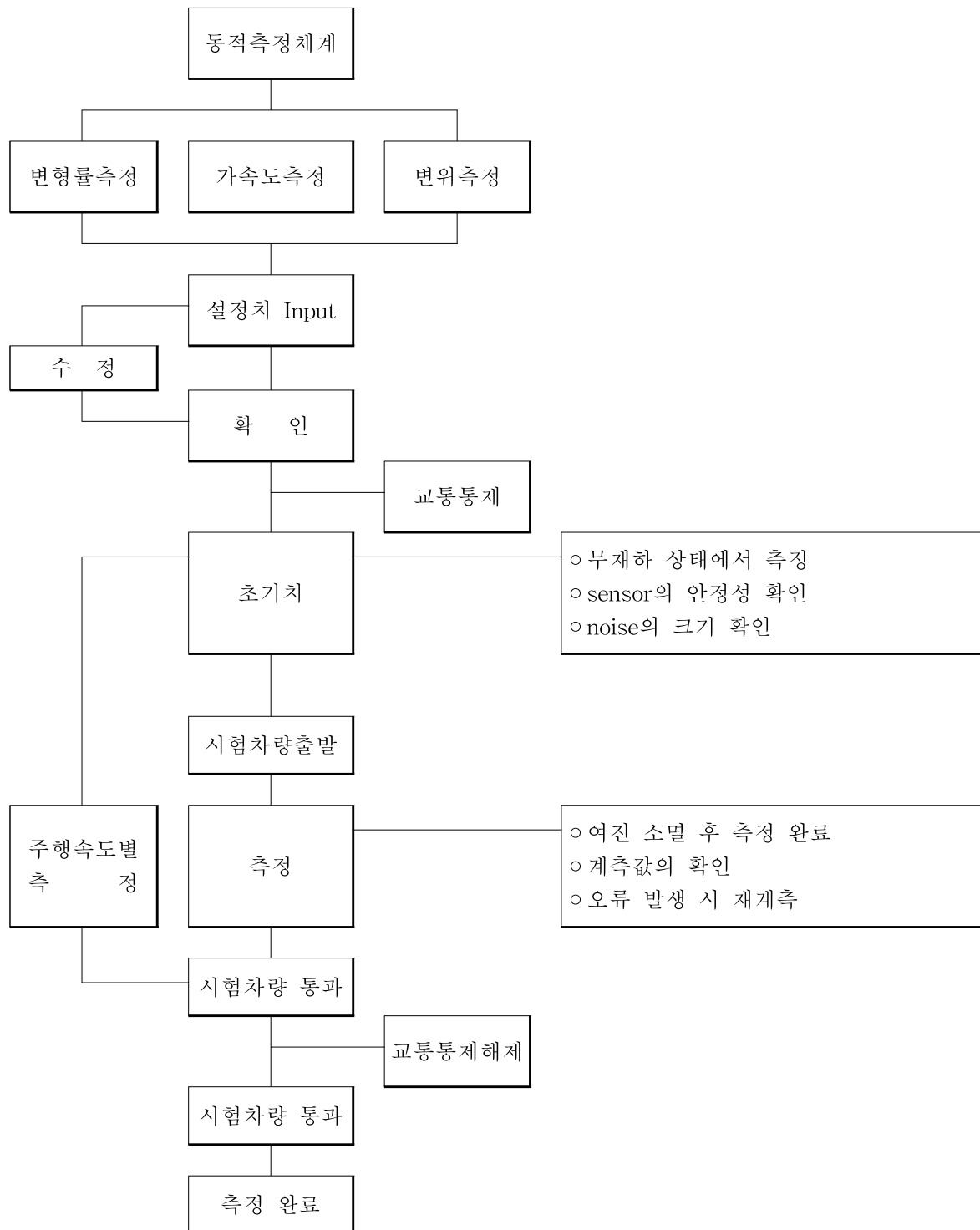
9) 합성작용의 평가

거더 상·하연의 측정된 변형률 결과로부터 판단이 가능하며, 계측된 변형률의 값이 같거나 거의 비슷한 경우는 합성교로, 차이가 많이 나면 그 정도에 따라 비합성교로 판정한다. 한편, 거더와 슬래브 인접부는 변형률 값이 작아 상대적으로 노이즈에 대한 영향이 크게 나타나며, 특히 콘크리트 구조물에서는 세심한 주의가 필요하다.

라. 동적재하시험

1) 개요

교량의 동적 재하시험은 시험차량의 주행속도에 따른 동적응답으로부터 실제 교량의 충격계수 및 진동평가를 위한 시험과 교량의 동적특성을 구하기 위한 시험이 있다.



【그림 1.1.6】 동적 재하시험 흐름도

2) 동적재하시험 수행절차

① 차량 주행시험

특수한 목적을 제외하고 동적재하시험은 재하차량 이외에 일반차량이 완전히 통제된 상태에서 실시한다.

정적재하시험용 계측기와 동적재하시험용 계측기가 상이한 경우 계측기의 측정오차를 검정하기 위하여 동적재하시험용 계측기를 사용하여 정적재하시험과 동일한 1개 재하 경위를 선택하여 정적재하시험을 실시한다.

측정결과를 이용하여 교량의 충격계수, 동적변형률, 가속도, 진동주기, 고유진동수에 따라 사용성 측면에서의 교량진동 특성을 분석한다.

② 동적특성 시험

교량의 동적특성 즉 고유진동수, 감쇠율, 모드형상을 구하는 시험으로써 상시 미진동, 주행차량에 의한 진동, 가진기에 의한 진동 등을 가속도계 및 변위계로 측정한다.

장대교의 경우 내진안전도, 내풍안전도를 평가함에 있어 대상교량의 동특성이 기본 자료로 활용되며 공용중인 교량에서 기간 경과에 따른 동특성의 차이는 교량의 손상정도를 평가하는데 사용될 수 있다.

3) 동적시험 Data 분석

계측된 동적응답으로부터 다음과 같은 내용을 분석한다.

- 동적 증폭율
- 충격계수
- 고유 진동수
- 진도의 크기(처짐, 가속도)

4) 충격계수 산정

- 대상 교량의 내하력 평가에 이용
- 포장의 요철, 신축이음의 단차 등 구조물의 전반적인 기능저하 상태평가

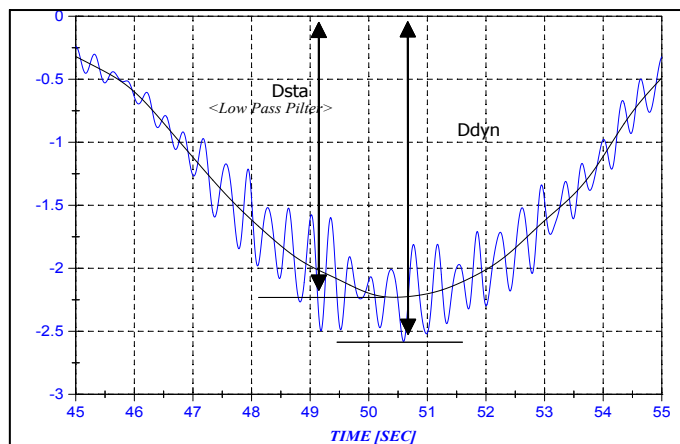
5) 실측충격계수 분석

일반적으로 계측된 변형율, 처짐 등을 이용하여 실측충격계수를 분석하고자 할 때 정적 재하, 의사정적(5km/h) 주행시험 등에서 계측된 응답곡선<Dsta(max)>을 정적 응답곡선으로 하여, 속도별로 계측된 동적 응답곡선<Ddyn(max)>과 비교하여 실측충격계수로 산

정하는 방법을 이용하였다.

이는 주행시험에서 각 주행속도마다 운전자의 숙달, 습관 등에 의해서 시험차량은 정적 재하시험에 이용된 부착 Gauge 상단으로 동일하게 주행하는 것은 어려운 상태이며, 의사 정적 주행시에도 노면의 요철 등의 원인으로 대상 교량에 가해지는 충격이 각 속도별로 다르게 나타내고 있는 상태로 이들을 정적응답이력곡선이나, 동적응답 이력곡선으로 보아 실측충격계수로 산정하는 것은 문제점을 내포하고 있는 것으로 판단된다.

그러므로 이러한 문제점들을 해결하고자 동적주행 시험의 각 속도별의 동적응답 곡선을 Low Pass Filter에 의해서 필터링한 최대정적응답<Dsta(max)> 곡선을 기준으로 하여 계측 최대동적응답<Ddyn(max)>과 비교하여 실측충격계수를 산정하여 대상 교량 안정성 평가에 적용하는데 목적이 있다.



【그림 1.1.7】 변위 응답곡선

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

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

6) 충격계수의 산정

실측충격계수를 적용하는데 시험차량이 주행한 상부구조 주형의 동적변형률 또는 동적 처짐량의 최대 계측값이 발생하는 시험차량 속도를 기준으로 속도별로 계측된 파형에 Low Pass Filter의 필터링 범위를 0.6~1.0Hz로 순차적으로 수행 후 안정적인 값이 나타날 때의 정적최대변형률(처짐) <Dsta(max)>을 이용하여 교량의 안정성 평가에 적용한다.

7) 고유진동수 분석

① 대상 주파수의 결정

고유치 해석을 선행하여 진동수의 측정범위를 결정하여야 하며, 계측값의 신뢰성을 확보하기 위해서는 대상 물리량의 주파수를 미리 예상하는 것이 매우 중요하다. 측정된 주파수가 예상된 주파수를 크게 벗어나는 경우에는 반드시 원인을 분석하여야 한다.

② 진동 모드

고유진동수와 감쇠특성은 가속도에 대한 계측파형으로부터 구한다. 즉, 고유진동수가 다르면 진동모드도 다르기 때문에 진동모드는 고유진동수를 추정할 때 중요한 정보가 된다.

③ 고유진동수

시험차량에 의한 교량 각 부재의 진동 가속도 측정결과를 이용하여 교량의 고유진동수를 도출한다. 또한, 진동주기에 대한 분석으로 1sec에 주기(T)가 몇 회 발생하였는가를 계산하여 고유진동수를 분석하는 것으로 처짐 계측파형은 단순조화운동을 나타낸다.

단위시간 동안에 이루어지는 운동의 사이클 수를 진동수, 또는 주파수라고 하며, 주기의 역수가 된다. 따라서 순환진동수 f 는 다음과 같다.

$$f = \frac{w}{2\pi} \quad T = \frac{2\pi}{w} = \frac{1}{f}$$

여기서, w 는 원진동수 또는 운동의 가속도이고 시간당 라디안으로 측정
진동수 f 의 단위는 1초당 사이클 수(c.p.s), 또는 Hz를 쓴다.

1.4.2 내하력평가

가. 허용응력법에 의한 공용내하력 평가

1) 내하율의 평가

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시에 하중조합으로는 D+L(1.0+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.0이 된다.

사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력을 사용하여 도로교 표준시방서와 철도건설공사 표준시방서 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 고

정하중은 현재 교량에 작용하고 있는 모든 고정하중을 가능한 한 정확히 고려한다. 활하중은 현행 도로교 표준시방서와 철도건설공사 표준시방서의 설계활하중을 사용한다.

허용응력법에 의한 내하율은 강 부재의 내하력 산정 시 적용하는 것이 바람직하며, 허용응력법에 의한 교량부재의 내하율은 다음 식으로 계산한다.

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

여기서, f_a = 실측 허용응력

f_d = 실측 고정하중에 의한 응력

f_l = 설계 활하중(도로교의 경우 DB 또는 DL하중)에 의한 응력

i = 충격계수는 도로교 표준시방서에서 제시한 설계 충격계수를 적용한다.

2) 공용내하력의 산정

허용응력법에 의한 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

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

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

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

$i_{\text{계산}}$ = 도로교의 경우 도로교표준시방서에 의한 충격계수

$i_{\text{실측}}$ = 동적재하시험으로부터 평가된 최대 충격계수

P_r = 설계 활하중(도로교의 경우 DB 또는 DL하중)

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

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

나. 강도설계법에 의한 공용내하력 평가

1) 내하율의 평가

강도설계법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시 하중조합으로는 1.3D+2.15L(1.0+i)를 사

용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15가 된다.

단면강도는 단면의 현재 상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교 표준시방서와 철도건설공사 표준시방서의 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 도로교 표준시방서의 설계 활하중(DB 또는 DL하중)을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다.

강도설계법에 의한 내하율은 콘크리트 부재의 내하력 산정에 적용하는 것이 바람직하다.

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

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)

γ_l = 활하중 계수 = 2.15

γ_d = 고정하중 계수 = 1.30

i = 도로교 표준시방서에서 제시한 설계 충격계수를 적용한다.

2) 공용내하력의 산정

강도설계법에 의한 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

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

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

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

P_r = 설계활하중(도로교의 경우 DB 또는 DL하중)

1.4.3 안전성평가 기준

가. 개요

구조물의 안전성평가는 주요 구조부재의 정밀외관조사, 비파괴 현장시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다. 현재 도로교의 경우 허용응력설계법, 콘크리트 교는 강도설계법으로 설계되고 있다.

안전성 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 안전성평가는 내하력평가 개념으로 규정되어 왔으나 내하력은 활하중 여유도로서 하중비에 따라 내하력의 변동폭이 크게 변하므로 교량의 안전성을 일관되게 평가하는 기준으로 적절하지 못하다.

따라서 안전성평가는 교량의 안전율 개념을 도입하여 평가하였다. 그러나 안전율이 0.9에서 1.0 사이에 있어 재하시험에 의한 공용내하력 평가를 실시한 경우 공용내하력 산정결과에 따라 안전성평가 결과를 산정한다.

【표 1.1.34】 구조물의 안전성평가 기준

등급	안전성평가 기준	비 고
A	$SF > 1.0$	◦ 허용응력설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_{d+l}}$ ◦ 강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\Phi M_n}{M_u}$
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	$SF < 0.75$	

나. 안전성평가 산정 방법

1) 안전성평가의 고려사항

① 상부구조의 고려사항

상부구조의 안전성 평가 시 다음 사항을 충분히 고려하여 엄밀한 판정이 되도록 한다.

- 콘크리트 및 강재 등 재료의 실제강도
- 균열, 박리, 박락, 층분리
- 강재, 철근, 프리스트레싱 텐던의 부식
- 구조부재의 실제단면적과 철근의 위치

- 처짐
- 볼트, 리벳, 용접 등 연결부위의 상태
- 신축 이음부와 받침부의 구속력

장교의 경우, 교량에 발생하는 결함 및 손상의 대부분이 용접부 및 절취부 등의 불연속면에 작용하는 응력집중에 의한 국부적인 추가손상 및 피로파손에 기인하므로 피로응력에 대한 평가를 필요로 하는 경우가 있다.

② 하부구조의 고려사항

교량의 안전성에 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, 점검 결과 및 기타 적절한 자료를 토대로 한다. 교각 및 교대를 포함한 하부구조는 상부구조를 지지할 수 있는 최소한의 안전성 확보 유무가 점검되어야 하며, 우물통과 교각기초 사이의 거동, 기초가 암반에 근입된 상태, 교대의 부등침하, 전방이동 등을 고려한다.

③ 여유도가 없는 구조물 (Nonredundant Structure)

구조물에는 부분적인 부재의 파괴가 교량 전체의 붕괴를 일으킬 것으로 예상되는 주요 구조부재가 존재한다. 이러한 구조물의 안전성평가 시에는 이들 여유도가 없는 부재에 특별히 유의한다.

④ 복잡한 구조물

현수교, 사장교, 곡선 거더교, 아치, 연속트러스 및 변단면 거더 교량과 같이 복잡한 구조물의 안전성검토에는 특별한 해석법 및 절차를 필요로 하며, 사교의 경우에는 부반력도 검토한다.

1.5 종합평가 및 안전등급

1.5.1 종합평가 기준

가. 일반

시설물의 종합평가는 구조물 부재의 결함 및 손상에 대하여 평가기준 및 상태평가 기법에 따라 수행한 상태평가 결과와 시설물의 안전성평가 결과를 고려하여 개별시설물의 종합평가 결과를 결정한다.

교량 등 각 시설물에 대한 종합평가는 상태평가만 실시하거나 또는 상태평가와 안전성평가를 각각 실시한 후 이들 결과를 기초로 종합하여 이루어진다. 즉, 상태평가만 실시하는 경우에는 상태평가 결과를 종합평가 결과로 가름하여 상태평가 결과가 종합평가 결과로 결정되지만 상태평가와 안전성평가가 동시에 실시한 경우에는 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교 검토하여 최종적인 종합평가 결과를 부여하게 된다.

따라서 상태평가와 안전성평가가 동시에 실시되는 경우에 대하여 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 객관적이고 정량적이며 통일성 있는 종합평가가 이루어지고 합리적인 종합평가 결과가 결정될 수 있도록 종합평가 기준을 설정하고 그 평가방법 및 절차를 수립하였다.

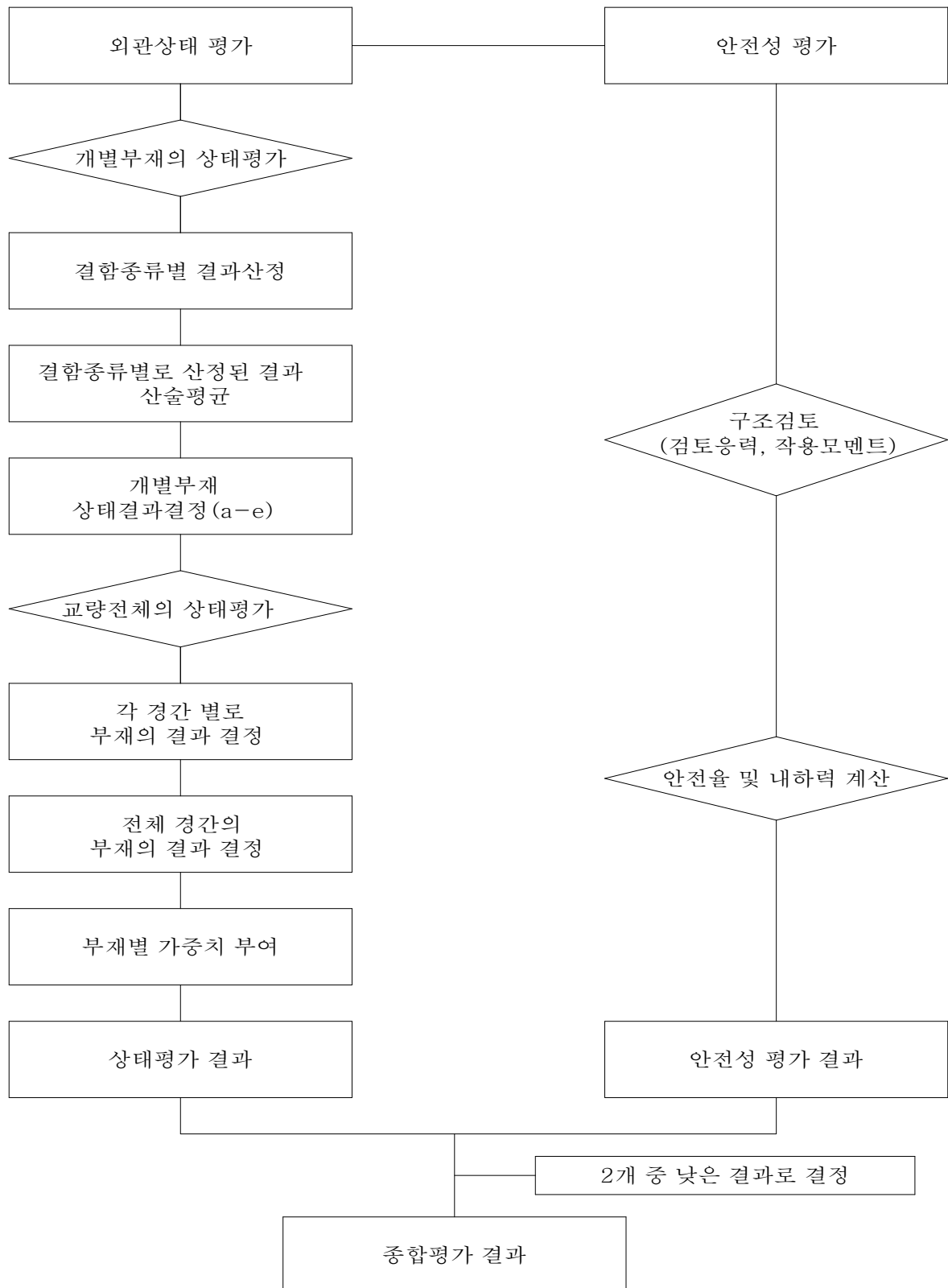
나. 종합평가 기준

시설물의 상태평가와 안전성평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 종합적으로 비교·검토하여 그 시설물에 대한 종합평가를 결정한다.

다. 종합평가 결과 산정 방법

외관조사에 따른 상태평가 결과와 안전성 검토에 근거한 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 시설물의 종합평가 결과로 결정한다.

○ 종합평가 결과 = MIN(상태평가 결과, 안전성평가 결과)



【그림 1.1.8】 종합평가 결과의 산정흐름도

1.5.2 안전등급 산정

초기점검을 실시하는 경우 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여 「법」 제10조의 2 및 「영」 제11조의 5에 따라서 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 하고, 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정하여야 하며, 안전등급에 따른 시설물의 상태는 다음과 같다.

【표 1.1.35】 시설물의 안전등급

안전등급	시설물의 상태 및 안전성
A(우수)	• 문제점이 없는 최상의 상태
B(양호)	• 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C(보통)	• 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D(미흡)	• 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E(불량)	• 주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위협이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

1.6 과업의 적용기준

- 1) 시설물의 안전관리에 관한 특별법
- 2) 건설기술진흥법
- 3) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부 제정)
- 4) 콘크리트구조설계기준
- 5) 콘크리트 표준시방서
- 6) 도로교 표준시방서 및 도로교 설계기준
- 7) 콘크리트 구조물의 균열, 누수 보수·보강 전문 시방서
- 8) 도로설계편람