

기후위기 적응을 위한 도로교량의 성능평가 개선 필요성

이종소 부연구위원
이상은 센터장
신진욱 부연구위원
유현지 연구원
표희진 연구원

탄소중립 목표를 달성하더라도 우리나라의 기온과 강수량은 증가하고, 극한기후 역시 증가할 것으로 전망

- 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)가 2021년 발표한 제6차 평가보고서(AR6)에 따르면 적극적으로 탄소배출량을 줄여야 하는 SSP1-1.9, SSP1-2.6 시나리오에서도 전 지구적인 기온 상승과 강수량 증가를 전망
- 우리나라 역시 SSP1-2.6 시나리오 달성 시 탄소중립 실현은 가능하지만 기온은 상승하고 강수량은 증가할 것으로 전망되며, 폭염일수, 1일 최대강수량, 상위 1% 극한강수일 등 극한기후지수도 증가할 것으로 예측

주요 기반시설 중 도로교량은 기후변화에 취약할 수 있는 시설이기 때문에 노후화 및 유지관리비용 증가, 붕괴사고 발생 등 안전관리에 대한 시급성 증대

- 기후변화로 기온이 상승하면서 집중호우, 태풍, 폭한, 해수면 상승 등으로 인한 피해가 증가할 전망
- 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 시설물안전법)에서 관리하는 시설물의 평가지침을 살펴보면 교량, 댐, 제방 등의 시설은 기후변화에 취약할 수 있는 시설물로 분류
- 도로교량은 2022년 12월 말 기준 전체(3만 8,598개소)의 53.5%(2만 644개소)가 준공 후 20년을 경과하였고, 20.2%(7,786개소)가 30년을 경과하여 유지관리 비용은 지속적으로 증가할 것으로 예상
- 또한 최근 집중호우로 인한 교량붕괴 등의 사고가 다수 발생하고 있어 대책 마련의 시급성 증대

도로교량의 성능평가(안전, 내구, 사용성능) 기준을 조사·분석한 결과 기후변화로 인해 홍수량, 홍수위 증가가 예상되는데도 홍수방어에 필수인 여유고와 경간장 확보가 현재 유지관리 관련 업무에서 고려되지 않고 있는 상황

- 성능평가 지침에서는 염해환경, 동해환경, 습도, 강설횟수(제설제 살포빈도) 등의 기후환경 인자를 시간이 경과함에 따라 교량 부재의 내구성이 저하되는 점을 고려하기 위해 활용 중
- “설계기준 KDS 51 90 10 : 2018 하천교량”에서 설계 시 평가하고 있는 교량의 여유고와 경간장 확보는 홍수방어에 필수이나, 설치 이후 홍수량 증가에도 불구하고 현재 유지관리와 관련된 업무에서 중요도 미미

이와 같은 상황에서 기후위기 적응* 및 안전 확보를 위해서 안전점검·진단·성능평가 등 유지관리 시 기후변화에 따른 홍수량과 홍수위 증가에 대한 고려가 필요

- 특히, 기후변화에 따른 홍수량, 홍수위 증가는 교량의 직접적 붕괴위험을 가중시키기 때문에 하천기본계획 수립 시 검토되고 있는 계획홍수량과 계획홍수위 그리고 이에 따른 교량의 여유고 및 경간장 확보 여부를 유지관리 업무에 활용
- 더 나아가 성능평가에 따른 장기 유지관리 전략 수립 시 여유고 확보 및 통수단면 개선 계획을 반영한 관리전략 수립 유도 필요

* “기후위기 적응”이란 기후위기에 대한 취약성을 줄이고 기후위기로 인한 건강피해와 자연재해에 대한 적응역량과 회복력을 높이는 등 현재 나타나고 있거나 미래에 나타날 것으로 예상되는 기후위기의 파급효과와 영향을 최소화하는 활동(「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제2조)

01 우리나라 기후변화 전망과 영향

2050년까지 탄소중립을 달성(「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」 제7조 국가비전 및 국가 전략) 하더라도 기온, 강수량, 그리고 관련 극한기후지수는 증가할 것으로 전망

- IPCC는 2021년 발간한 제6차 평가보고서(AR6)에서 총 다섯 가지(SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5)의 기후변화 시나리오를 제시(IPCC 2021)
 - 이 보고서에서 IPCC는 국제사회의 사회경제적 요소를 반영한 새로운 기후변화 시나리오로 공통 사회경제경로(Shared Socio-economic Pathway: SSP)를 제시
 - SSPx-y의 형식에서 x는 기본으로 설정된 사회경제적 추세인 공통사회경제경로를 의미하며, SSP1은 친환경적인 성장, SSP2는 완화-적응의 중도성장, SSP3는 기후변화 취약성장, SSP5는 화석연료에 의존한 고속성장을 뜻하고 y는 2100년 기준의 복사 강제력(W/m²)을 의미
- 탄소중립 실현이 가능한 SSP1-2.6 시나리오에서도 우리나라는 기온 상승과 강수량 증가가 예측됨에 따라 2050년까지 탄소중립을 달성하더라도 이에 대한 대응이 필요한 상황
 - 시나리오에 따른 우리나라 기후변화를 전망해본 결과, 탄소중립 실현이 가능한 SSP1-2.6 시나리오에서도 기온과 강수량 증가
 - 폭염일수, 1일 최대강수량, 상위 1% 극한강수일 등의 극한기후지수 역시 탄소중립 실현이 가능한 SSP1-2.6 시나리오에서도 증가할 것으로 전망

〈표 1〉 현재 대비 기후변화 시나리오별 기온 및 강수 변화 전망

구분	현재	단기(2021~2040)		중기(2041~2060)		장기(2081~2100)	
		SSP1-2.6	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP5-8.5
평균 기온(°C)	11.9	+1.3	+1.5	+1.6	+2.9	+2.3	+6.3
평균 강수량(%)	-	+2.9	-0.7	+4.6	+6.6	+3.4	+18.3
강수일수(일)	110.9	-9.0	-7.4	-7.0	-5.5	-6.0	-5.6

자료: 국립기상과학원 2021, 20; 23의 자료를 참고하여 저자 작성.

〈표 2〉 현재 대비 기후변화 시나리오별 극한지수 변화

구분	현재	단기(2021~2040)		중기(2041~2060)		장기(2081~2100)	
		SSP1-2.6	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP5-8.5	SSP1-2.6	SSP5-8.5
폭염일수(일)	8.8	+8.1	+9.1	+13.3	+22.9	+15.4	+70.7
1일 최대강수량(%)	-	+17.7	+17.3	+17.9	+29.4	+20.6	+39.5
상위 1% 극한강수일수(일)	0.9	+0.3	+0.2	+0.3	+0.5	+0.3	+0.8

자료: 국립기상과학원 2021, 26; 34; 35의 자료를 참고하여 저자 작성.

기후변화는 기반시설 안전관리에 직접적인 영향을 미칠 것으로 보고 있으며, 그중 집중호우와 태풍에 대한 리스크가 가장 클 것으로 예상

- 기후변화 대응 기본계획과 적응대책에서는 집중호우, 태풍, 폭한, 해수면 상승의 기후변화가 시설물 안전관리에 직접적 영향을 주는 현상으로 파악
 - 이에 대한 피해는 침수, 시설물의 파손, 비탈면 붕괴 등으로 이어지며, 리스크 발생원인 측면에서는 총 14개의 리스크 중 집중호우가 9개로 가장 많은 비중 차지(관계부처 합동 2020, 80)
 - 기후변화로 인한 국토·연안부문의 피해현황을 살펴보면 극한 기상으로 발생한 피해액의 70%, 피해 복구액의 74%가 도로, 하천 등과 같은 공공시설에서 발생(관계부처 합동 2019, 86)
- 선행연구에 따르면 그중 집중호우 및 태풍에 대한 영향이 가장 클 것으로 예측
 - 국토안전관리원(2021)에서 실시한 전문가 설문조사에 따르면, 시설물 안전관리에는 집중호우와 태풍 및 해일이 가장 위협할 것으로 응답하였으며, 한국도로공사를 대상으로 데이터마이닝을 통해 기후변화 영향요소를 분석한 결과에서도 호우가 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석(이주광 외 2017, 115)
 - 국립재난안전연구원에서 실시한 전문가 설문조사에서도 향후 기후변화로 인해 가장 높은 위험성이 나타날 재난 1순위가 홍수로 나타났으며 잦은 집중호우 발생 및 장기화, 과거 강수량 통계를 기반으로 설계된 각종 방재 인프라로 인해 기반시설의 취약성은 더욱 증대될 것으로 예상(국립재난안전연구원 2021, 24)

도로교량은 기후변화 취약시설로서, 노후화 및 유지관리 비용 증가, 붕괴사고 발생 등의 이유로 안전관리에 대한 시급성이 요구되고 있으며, 본 연구에서는 집중호우와 태풍에 중점을 두고 연구를 수행

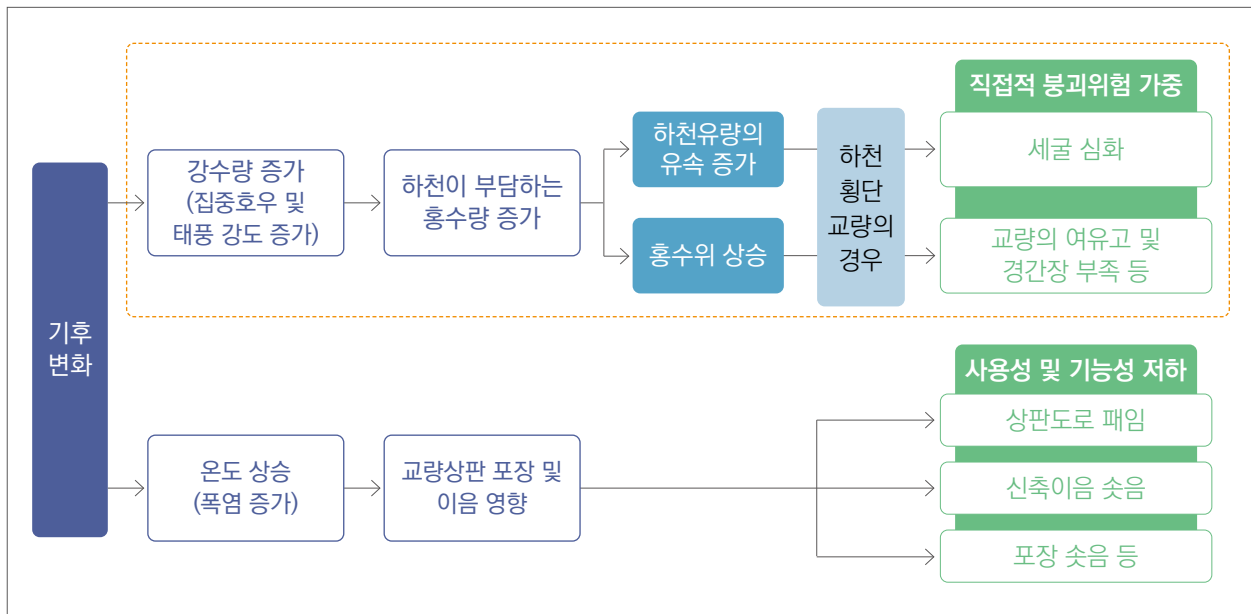
- 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 「시설물관리법」)에서 관리하는 시설물의 평가지침을 살펴보면, 교량, 댐, 제방 등의 시설은 기후변화에 취약할 수 있는 시설물(정규정 외 2019, 82)
- 향후 노후화 비중과 유지관리 비용의 지속적인 증가가 예상됨에 따라 유지관리 및 성능개선이 시급
 - 도로교량은 2022년 12월 말 기준 전체(3만 8,598개소)의 53.5%(2만 644개소)가 준공 후 20년을 경과, 20.2%(7,786개소)가 30년을 경과
 - 최근 국토교통부가 지자체를 대상으로 한 성능개선 지원사업에서 대부분 도로교량을 신청
 - 더욱이 최근 집중호우로 인한 교량붕괴 등 교량유훈 사고가 발생하고 있어 시급성 증대

〈표 3〉 도로교량 노후화 현황(2022년 12월 31일 기준)

경과연수	개소	누적비율	연장(km)	누적비율
30년 이상	7,786	20.2%	532	13.5%
20년 이상	20,644	53.5%	1,818	46.2%
10년 이상	32,502	84.2%	3,165	80.5%
전체	38,598	100.0%	3,931	100.0%

자료: 국토교통부 도로 교량 및 터널 현황정보시스템(<https://bti.kict.re.kr>, 2023년 6월 19일 검색)을 활용하여 저자 작성.

〈그림 1〉 기후변화가 교량시설물에 미치는 대표적인 영향



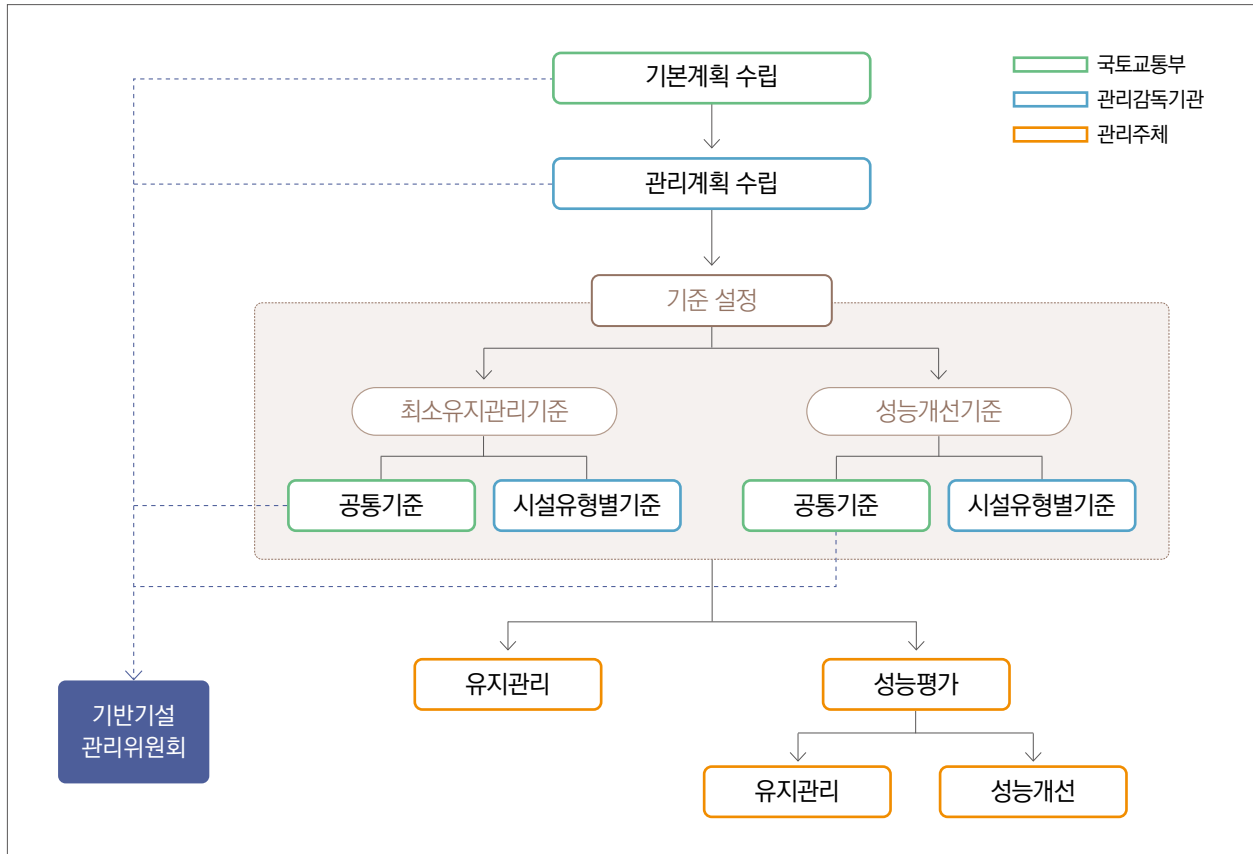
02 도로교량의 관리체계

우리나라는 2018년 기반시설의 선제적이고 효율적인 유지관리를 위하여 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」을 제정하였으며, 관리주체와 관리감독기관, 관리계획 및 기준 등을 수립하여 종합적인 유지·관리 체계 마련

- 우리나라는 2018년 기반시설의 선진적인 유지관리와 효율적 관리비용 운용을 목적으로 「지속가능한 기반시설 관리 기본법」(이하 기반시설관리법)을 제정하고, 국민의 인명·재산 피해 발생 가능성이 큰 시설 15종을 선정하여 관리
 - 「기반시설관리법」 대상 시설은 교통시설(도로·철도 등), 유통·공급시설(수도·전기 등), 방재시설(하천·저수지 등), 환경기초시설(하수도)의 시설 15종과 각 시설별 세부시설(예: 도로는 도로교량, 도로터널 등)로 구분
 - 각 기반시설의 유지관리는 안전관리 관련법(「시설물안전법」, 「지하안전관리에 관한 특별법」)과 개별 법령(「도로법」, 「철도법」 등)에 따르고 있으며, 일정 규모 이상의 교량, 터널 등 재난 위험이 크거나 안전관리가 필요한 시설은 「시설물안전법」의 기준을 적용
- 기반시설 관리체계는 관리주체, 관리감독기관, 기반시설관리위원회로 이루어지며, ‘기반시설관리(기본) 계획’과 ‘최소유지관리기준’, ‘성능개선기준’을 규정하여 유지관리체계를 구축
 - (관리주체) 기반시설 15종의 관리주체는 국가, 지자체, 공공기관, 지방공기업, 민자사업자, 민간 관리자로 구분되며, 각 기반시설의 종류 및 특성에 따라 다양한 주체가 관리

- (관리감독기관) ‘기반시설관리(기본)계획’을 수립하며 관리주체의 유지관리 이행 여부를 감독하고 필요한 조치를 요구하며, 관리감독기관의 장은 소관 기반시설 유지관리에 필요한 ‘최소유지관리기준’과 ‘성능개선기준’을 정하여 기준에 따라 관리주체가 기반시설을 관리
- (기반시설관리위원회) 국가 기반시설의 관리에 관한 주요 정책 방향과 그 이행에 관한 사항을 심의하기 위한 기구로서, 국무총리를 위원장으로 구성하여 기본계획 및 관리기준 심의와 관리감독기관의 정책 조정 등을 수행

〈그림 2〉 기반시설 관리체계



자료: 이태훈 외 2021을 참고하여 저자 작성.

〈표 4〉 기반시설 관리체계의 책임권자 및 역할

구분	책임권자	역할
관리주체	• 각 기반시설의 관리책임을 지는 국가, 지자체, 공공기관, 민자사업자 등	• 관리감독기관이 수립한 관리계획과 기준에 명시된 내용을 이행
관리 감독기관	• 소속 중앙행정기관 또는 관할 지역의 장을 원칙으로 함 • 시·군·구 이하 지역과 민자사업자는 해당 시설이 소재한 특별·광역시장, 도지사에게 해당	• 5년 단위의 ‘기반시설 관리계획’ 수립 • 관리주체의 유지관리 이행 여부를 감독하고 필요한 조치를 요구 • 시설물별 최소유지관리기준과 성능개선기준 설정
기반시설 관리위원회	• 국무총리	• 기본계획 및 관리기준 심의와 관리감독기관의 정책 조정 등을 수행

도로교량 관련 최소유지관리기준과 성능개선기준에서는 관리수준 설정 및 성능개선 적합성 검토를 위해 안전점검·진단, 성능평가 등을 「시설물안전법」 기준에 따라 실시

- 시설물의 안전과 기능을 유지하기 위하여 정기적으로 안전점검·진단과 성능평가를 실시
 - 제1종시설물에 대하여 정기적으로 정밀안전진단을 실시하도록 규정하고 있으며, 관리주체는 시설물의 붕괴·전도 등이 발생할 위험이 있다고 판단하는 경우 긴급 안전점검을 실시
 - 또한 「시설물안전법」 제40조 및 동법 시행령 제28조에 따라 성능평가를 실시하여야 하며, 안전점검, 정밀안전진단, 성능평가의 실시 시기를 정리(〈표 5〉 참조)

〈표 5〉 안전점검·진단 및 성능평가의 실시 시기

안전 등급	정기안전 점검	정밀안전점검		정밀안전진단	성능평가
		건축물	건축물 외 시설물		
A등급	반기에 1회 이상	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상	5년에 1회 이상
B·C등급		3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상	
D·E등급	1년에 3회 이상	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상	

자료: 「시설물안전법 시행령」 별표3.

- 교량의 성능평가 대상 시설의 경우 제1종시설물 및 제2종시설물에 해당하는 고속국도 및 일반국도의 교량과 제1종시설물 및 제2종시설물에 해당하는 고속철도 및 일반철도의 교량만 해당(「시설물안전법 시행령」 별표13)
 - 「시설물안전법」 적용 대상 시설물은 동법 제2조1호에서 정의하고 있으며, 「시설물안전법」 제4조에서 교량의 시설물 종류를 규모와 중요성 등을 고려하여 1, 2, 3종으로 구분
 - 교량시설물에서 안전점검·진단, 성능평가의 대상은 〈표 6〉과 같으며 성능평가는 「시설물의 안전 및 유지관리 세부지침(성능평가 편)」을 준수

〈표 6〉 종별 안전점검·진단 및 성능평가 대상

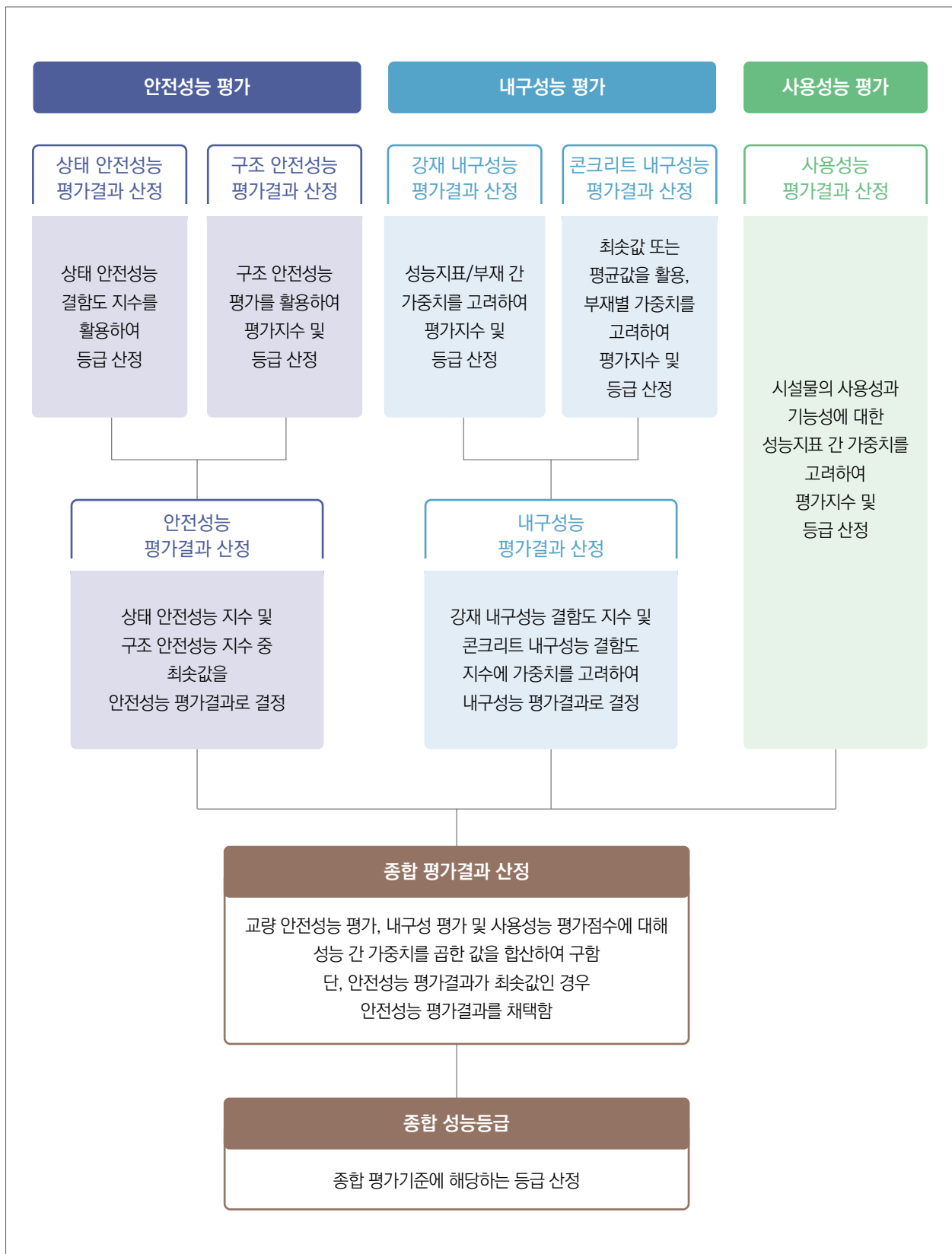
구 분	정기안전점검	정밀안전점검	정밀안전진단	성능평가
1종	대상	대상	대상	일부 대상
2종	대상	대상	-	일부 대상
3종	대상	필요시	-	-
기타	미관리대상	-	-	-

03 도로교량의 성능평가 기준 분석 및 문제점

성능평가는 시설물의 적절한 성능을 확보하여 재해 및 재난을 예방하며 안전성능, 내구성능, 사용성능을 평가함으로써 시설물의 효용성을 증진시키는 데 그 목적이 있음

- 성능평가는 외관조사, 시험 등을 통해 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 기능 및 성능 저하, 상태 등을 조사 및 평가하며, 제1종성능평가와 제2종성능평가로 구분
 - 제1종성능평가와 제2종성능평가의 차이는 제1종성능평가가 현장조사 항목에 더 많은 장비를 활용하고, 보수보강이 필요한 경우 어떠한 방식을 사용할 것인지 제시해야 한다는 점에서 발생
- 교량의 종합 성능평가는 안전성능, 내구성능, 사용성능에 가중치를 적용하여 평가하며, 평가체계는 <그림 3>, 각 부재의 조사 및 평가항목은 <표 7> 참조
 - 일반국도교량, 고속국도교량, 일반철도교량, 고속철도교량 구분에 따라 안전성능, 내구성능, 사용성능의 가중치를 다르게 적용
 - 안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능을 실시한 뒤 더 작은 값을 최종 교량의 안전성능 결과로 결정
 - 내구성능 평가는 강재 내구성능과 콘크리트 내구성능 평가로 구성되며, 각 부재별 가중치를 고려하여 최종적으로 교량의 내구성능 평가등급 산출
 - 사용성능 평가는 사용성과 기능성 항목에 대해 각각의 기준으로 평가한 뒤 가중치를 적용하여 사용성능 평가등급 산출
- 안전 및 내구성능에 관련된 항목을 살펴보면, 각 부재에서 발생할 수 있는 결함, 손상, 열화, 세굴, 침식 등을 평가하고 있지만 설계 시에 평가하는 교량 여유고와 경간장 확보에 대한 부분은 고려되지 않고 있는 상황
 - 하천을 횡단하는 하천교량의 경우 세굴을 포함한 기초안정성은 평가
 - 하지만 “설계기준 KDS 51 90 10 : 2018 하천교량”에서 설계 시 평가하고 있는 교량의 여유고와 경간장 확보는 현재 유지관리와 관련된 업무에서 고려하지 않는 것으로 보이며, 향후 이 부분은 고려할 필요가 있을 것으로 판단

〈그림 3〉 교량의 최종 성능평가 등급 산정을 위한 평가체계



자료: 국토교통부, 국토안전관리원 2021, 1-147의 그림 1.40.

〈표 7〉 교량의 조사 및 평가 항목

구분			평가항목	
안전 성능	상태 안전성능	공동	콘크리트	• 구조 균열(휨, 전단 등), 비구조 균열(건조수축 등), 박리(박락 포함), 열화(백태, 철근부식 등), 재료분리(철근노출 포함)
			강재 (앵커볼트 포함)	• 균열(피로 등), 열화(부식, 도장탈락 등), 변형, 용접부 결함, 볼트부 결함
			• 체수/누수, 시공불량(설치결함 등)	
		교면포장	• 함몰(포트홀), 단차, 요철	
		배수시설	• 막힘, 파손(배수관 또는 뚜껑)	
		보호시설	• 난간, 연석, 방호·방음·방풍벽 관련 손상	
		신축이음	• 고무재 파손(노화, 누수 포함), 유간 정도(부족 또는 과다), 이물질 퇴적 및 오염상태, 후타재 손상(마모, 단차 등), 본체 손상	
		받침	• 가동장애(이동량 부족 포함), 편기, 받침 손상(고무판 포함), 용량 부족, 받침콘크리트 손상	
		교대	• 변위(침하, 뒷채움, 측방유동 등)	
		교각	• 침식, 세굴, 변형(기울 등)	
		케이블	• 케이블 손상(단선 등), 정착구 손상, 행어밴드, 새들 손상	
		긴장재	• 강연선, 보호관	
	구조 안전 성능	상부구조	• 공용내하력 • 주행안전성(철도교량에 적용) (고유 휨 진동수, 임계속도, 연직가속도, 연직처짐, 면틀림, 종방향 변위, 단차) ※ 종방향 변위, 단차는 자갈궤도만 평가	
			하부구조	• 세굴을 포함한 기초안전성(하천교량 적용)
내구 성능	콘크리트	• 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트의 품질, 대기환경(염해환경, 동해환경)		
	강재	• 도장열화(발청, 박리, 균열, 부풀, 백아화), 도장두께, 대기환경(해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도), 강설희수(제설제 살포)		
사용 성능	사용성	• 포장상태, 교량조명, 진동사용성, 승차감		
	기능성	• 수요 및 용량(교통량, 통행량), 유지관리성(점검시설)		

자료: 국토교통부, 국토안전관리원 2021, 1-6의 표 1.2.

04 국내 도로교량의 사고사례

교량의 사고사례를 살펴보면 집중호우로 인한 설계 이상의 수위 증가로 하천이 교량을 월류함에 따라 교량이 붕괴되거나 유실되는 사고가 발생

- 시설물통합정보관리시스템에 등록된 공용 중인 교량 사고사례를 「시설물안전법」 제정 이후 사고로 한정하여 살펴보면 총 5건의 사건이 발생하였고 이 중 2건(40%)이 집중호우, 태풍으로 인해 발생
 - 2003년 구포교 붕괴는 구포교 20번 교각이 불어난 강물을 버티지 못하고 무너지면서 강물로 가라앉았는데, 이 사고는 태풍 매미로 인해 교각 상판에 균열이 생긴데다 낙동강 수위가 크게 불어나 교각에 엄청난 수압이 가해지면서 발생한 것으로 추정
 - 2019년 송천교 부분붕괴는 태풍 미탁에 의한 집중호우로 인하여 불어난 강물이 토사유실 및 세굴을 발생시켜 교각이 상류 측으로 기울어지면서 붕괴가 발생한 것으로 추정

〈표 8〉 시설물통합정보관리시스템에 등록된 국내 공용 중 발생한 사고 교량 현황 및 발생원인

사고명	시설물명	사고 발생원인	사고 발생일자
송천교 교량 상판 및 교각 부분붕괴	송천교	태풍	2019년 10월 03일
성산대교 교량 하부 교각콘크리트 탈락	성산대교	유지관리	2017년 06월 15일
경기도 6번국도 덕소강변대교 20cm 침하	덕소강변대교	유지관리	2004년 10월 15일
구포교 붕괴	구포교	태풍	2003년 09월 15일
안양 박달 우회도로 램프 C교 P1교각 파괴	안양 박달 우회도로 램프 C교	설계, 시공	1997년 07월 23일
성수대교 붕괴	국담교	설계, 시공, 유지관리	1994년 10월 21일
남해 창선교 붕괴	남해 창선교	설계, 시공	1992년 07월 30일

자료: 국토교통부 시설물통합정보관리시스템(<http://www.fms.or.kr>, 2023년 6월 13일 검색).

〈그림 4〉 시설물통합정보관리시스템에 등록된 국내 교량시설물 사고 사례



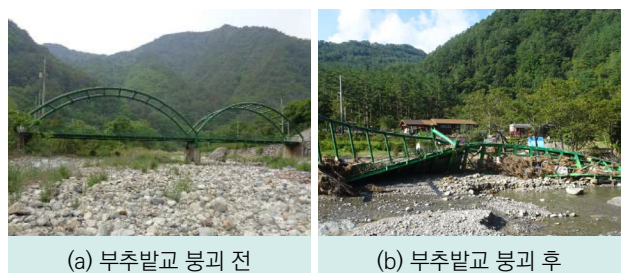
자료: 국토교통부 시설물통합정보관리시스템(<http://www.fms.or.kr>, 2023년 6월 13일 검색).

■ 2020년 태풍 마이삭 상륙 시 삼척시 성황교, 부추발교는 설계수위를 초과하는 상황이 발생하여 교량 붕괴 및 유실이 발생

- 점검등급 A~B등급(2020년 상반기)임에도 불구하고 상부구조 붕괴 등의 사고가 발생하였으며, 세종특별자치시 대곡교의 경우에도 2020년 8월 3일 집중호우에 의한 수위 증가로 교각붕괴 및 2개 경간 상판이 낙교(붕괴 전 안전등급 B등급)
- 건설된 지 오래된 교량의 경우 건설 당시 설계기준을 적용하게 되면 충분한 통수단면적 확보가 어려워지며, 시설물 노후화와 기후변화로 인한 홍수량 증가로 시설물 안전이 우려되는 상황

〈표 9〉 국내 교량시설물 사고 사례(2020년)

사고 장소	삼척시 부추발교 (강원도 삼척시 가곡면 풍곡리 103-2 일원)
사고 경위	9.2.(수) 시작된 태풍 마이삭의 영향으로 9.3.(목) 상부구조 붕괴
피해 규모	상부구조 유실(L=43.5m)
사고 원인	설계홍수위를 초과하는 집중호우에 의한 수위 증가



사고 장소	삼척시 성황교 (강원도 삼척시 가곡면 풍곡리 423-1 일원)
사고 경위	9.2.(수) 시작된 태풍 마이삭의 영향으로 9.3.(목) 상부구조 붕괴
피해 규모	상부구조 유실(L=27.0m)
사고 원인	교량을 월류하는 수위가 다른 위치보다 높았던 곳으로 통수단면적 변화 고려 미흡



(a) 성황교 붕괴 전



(b) 성황교 붕괴 후

자료: 국토안전관리원 2021의 자료를 참고하여 저자 작성.

05 안전한 도로교량 관리를 위한 성능평가 개선의 필요성

도로교량의 기후위기 적응 및 안전 확보를 위해서는 안전점검·진단, 성능평가 등 유지관리 시 기후변화에 따른 홍수량과 홍수위 증가를 고려해야 할 필요

- 기후변화로 인해 집중호우 및 태풍이 강력해짐에 따라 하천의 홍수량과 홍수위가 증가할 것으로 보이며, 이는 하천을 횡단하는 교량의 안전에 큰 영향을 미침
 - 하천유량의 유속이 증가함에 따라 세굴이 심화될 것이며, 홍수위 상승으로 인한 기존 교량의 여유고 및 경간장 부족 등으로 시설물 붕괴 유발 가능
- 기후변화 영향과 국내 도로교량의 사고사례를 종합적으로 분석했을 때, 집중호우로 인한 교량의 통수 단면적 부족, 세굴 등이 교량 붕괴에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단
 - 교량건설이 오래되었을 경우, 건설 당시 과거의 설계기준을 적용하여 충분한 통수단면적 확보가 어렵게 되며, 시설물 노후화와 기후변화로 인한 홍수량 증가로 시설물 안전이 점차 우려되는 상황
- 그러나 교량의 안전관리를 위해 실시하는 안전점검·진단, 성능평가 등에서는 기후변화로 인해 홍수량, 홍수위 증가가 예상되는 상황에서 홍수방어에 필수인 여유고와 경간장 확보를 유지관리와 관련된 업무에서 고려하고 있지 않은 상황
 - 성능평가 지침에서는 염해환경, 동해환경, 습도, 강설 횟수(제설제 살포빈도) 등의 기후환경 인자는 교량 부재의 내구성이 시간에 따라 저하되는 점을 고려하기 위해 활용
 - “설계기준 KDS 51 90 10:2018 하천교량”에서 설계 시 평가하고 있는 교량의 여유고와 경간장 확보는 홍수방어에 필수이나, 설치 이후 홍수량 증가에도 불구하고 현재 유지관리와 관련된 업무에서 중요도 미미
- 이와 같은 상황에서 도로교량(하천을 횡단하는 교량의 경우)의 안전을 확보하기 위해서는 계획홍수위에 따른 교량의 여유고, 계획하폭에 따른 경간장 확보 등을 안전점검·진단·성능평가 시 고려해야 할 필요

- 하천기본계획 수립 시 계획홍수량과 계획홍수위 결정 그리고 이에 따른 교량의 여유고 및 경간장 확보 여부를 하천시설물 능력검토 부분에 반영하고 있는바, 앞으로는 기후위기 적응 및 안전 확보를 위해 하천 횡단 교량인 경우 유지관리 업무에 하천기본계획 수립·변경 내용을 반영하도록 의무화할 필요
 - 기존 점검 진단 자료, 도면 등 정보수집 절차에서 하천 횡단 교량은 하천기본계획을 조사하도록 규정
 - 정밀점검 및 진단 보수보강 방안 작성 시 여유고 및 통수단면을 만족하지 못할 경우 개선방안을 제시하도록 규정
 - 성능평가에 따른 장기 유지관리 전략 수립 시 여유고 확보 및 통수단면 개선 계획을 반영한 관리 전략 수립

참고문헌

- 관계부처 합동. 2019. 제2차 기후변화대응 기본계획.
- _____. 2020. 제3차 국가 기후변화 적응대책 2021-2025.
- 국립기상과학원. 2021. 남한상세 기후변화 전망보고서: SSPI-2.6/SSP5-8.5에 따른 기후변화 전망. 제주: 국립기상과학원.
- 국립재난안전연구원. 2021. 기후변화 대책의 효율적인 이행을 위한 미래 전략. Future Safety Issue 17호: 1-33. 울산: 국립재난안전연구원.
- 국토교통부. 도로 교량 및 터널 현황정보시스템. <https://bti.kict.re.kr/> (2023년 6월 19일 검색).
- _____. 시설물통합정보관리시스템. <https://www.fms.or.kr/> (2023년 6월 13일 검색).
- _____. 2018. 설계기준 KDS 51 90 10 : 2018 하천교량. 12월 31일 개정. 세종: 국토교통부.
- _____. 2019. 제1차 기반시설관리 기본계획 2020~2025. 세종: 국토교통부.
- 국토교통부, 국토안전관리원. 2021. 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가 편). 12월. 진주: 국토안전관리원.
- 국토안전관리원. 2021. 기후변화에 따른 시설물 안전관리체계 개선방안 연구. 진주: 국토안전관리원.
- 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법. 2023. 법률 제19308호(2023. 3. 28., 일부개정).
- 도로시설 성능개선기준. 2021. 국토교통부고시 제2021-213호(2021. 2. 25., 제정).
- 도로시설 최소유지관리기준. 2021. 국토교통부고시 제2021-214호(2021. 2. 25., 제정).
- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법. 2021. 법률 제17946호(2021. 3. 16., 일부개정).
- 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 시행령. 2022. 대통령령 제32995호(2022. 11. 15., 일부개정).
- 이주광, 전기성, 남문석, 김경석, 이종섭, 황우주. 2017. 고속도로 기후변화 적응 대책 수립에 관한 연구. 화성: 한국도로공사 도로교통연구원.
- 이태훈, 정재훈, 권지혜. 2021. 기반시설 통합정보 관리체계 구축 및 활용방안 소개. 한국수자원학회지 물과미래 54권 10호: 64-70. 서울: 한국수자원학회.
- 정규정, 정일원, 김영민, 김원술, 장석준, 남우석, 김태현, 장훈, 정휘철, 정선희, 박현주, 권현한, 김동주, 소병진, 이주현, 김태웅. 2019. 시설물 기후변화 리스크 평가 및 관리 방안 기초연구. 진주: 국토안전관리원.
- 지속가능한 기반시설 관리 기본법. 2020. 법률 제17237호(2020. 4. 7., 일부개정).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. Summary for Policymakers. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (2023년 6월 29일 검색).

이 리포트는 2023년도 국토연구원 기본과제인 "기후위기를 고려한 기반시설 관리방안 연구"의 중간연구심의회 결과를 활용하여 작성하였음.

이종소 국토연구원 건설경제산업연구본부 부연구위원 (jslee@krihs.re.kr, 044-960-0648)

이상은 국토연구원 안전국토연구센터 센터장 (selee@krihs.re.kr, 044-960-0465)

신진욱 국토연구원 건설경제산업연구본부 부연구위원 (kisokujn@krihs.re.kr, 044-960-0387)

유현지 국토연구원 건설경제산업연구본부 연구원 (hjyoo@krihs.re.kr, 044-960-0393)

표희진 국토연구원 국토환경·자원연구본부 연구원 (pyo0224@krihs.re.kr, 044-960-0193)