

## 교량 유지관리 제도 개선 방안

## Improvement of Maintenance Standards for Road Bridge

박창호<sup>1\*</sup> · 강상규<sup>2</sup> · 김호경<sup>3</sup><sup>1</sup>한국도로공사 도로교통연구원 선임연구위원, <sup>2</sup>한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원, <sup>3</sup>서울대학교 건설환경공학부 교수Chang-Ho Park<sup>1\*</sup>, Sang Gyu Kang<sup>2</sup>, and Ho-Kyung Kim<sup>3</sup><sup>1</sup>Senior Research Fellow, Korea Expressway Research Institute, Korea Expressway Corporation, Gyeonggi-do 18489, Korea<sup>2</sup>Principal Researcher, Korea Expressway Research Institute, Korea Expressway Corporation, Gyeonggi-do 18489, Korea<sup>3</sup>Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

\*Corresponding author : Chang-Ho Park, jindanman@naver.com

Received : November 30, 2023

Revised : December 11, 2023

Accepted : December 11, 2023

## A B S T R A C T

In this study, the Facility Safety Act, Infrastructure Management Act, and related guidelines are reviewed. We compared and reviewed domestic and international standards, and investigated safety diagnosis reports and related study reports. It was confirmed that Korea road and bridge inspection system is more strictly regulated than that of all foreign countries. In addition, it was found that damages that occurred in the early stages of operation had a significant impact on bridge maintenance, and that damage did not occur rapidly during operation. As a result of this review, it was proposed the timing of initial inspection and safety inspection without classification according bridge size. In addition, performance evaluation system based on new road level unit was also proposed.

**Keywords** : initial inspection, safety inspection, safety diagnosis, condition evaluation, performance evaluation

## 1. 서론

지금까지도 우리 국민 모두의 기억속에 남아있는 1994년 성수대교 붕괴를 계기로 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”이 제정됨에 따라 우리나라의 시설물 유지관리는 체계화되기 시작하였다. 법 25조에서는 제도적인 기반이나 기술적인 수준이 미흡했던 국내 상황을 고려하여 시설안전기술공단(현 국토안전관리원)을 설립하여 점검과 진단 기술을 연구하여 보급할 수 있도록 했다.

유지관리 제도는 법이 개정되면서 지속적으로 강화되어 2018년부터는 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(이하 시설물안전법)”과 “지속가능한 기반시설 관리 기본법(이하 기반시설관리법)” 으로 시설물 유지관리 제도가 정착되었다. 기반시설관리법에서는 기반시설에 대한 성능평가를 실시하고, 최소 유지관리 기준과 성능개선 기준을 설정하여 적극적인 유지관리를 규정하고 있다. 또한 시설물안전법에도 시설물에 대한 성능평가 제도가 추가되었다. 유지관리를 위한 법을 시행하기 위하여 정부에서는 안전점검, 정밀안전진단 및 성능평가 세부지침을 마련하여, 관련 업무를 구체화하였다. 안전점검과 정밀안전진단 제도가 도입된 후 20년 이상 경과하면서, 유지관리 이력 데이터가 누적되고, 관련 연구 결과도 지속적으로 발표되고 있다. 따라서 본 연구에서는 시책법 제정 이후 관련 제도가 법 제정의 목적에 부합되고 있는지 되돌아보고, 보완이 필요한 부분을 도출하여 개선 방안을 제시하고자 하였다. 특히 도로 교량의 정밀안전진단 결과를 분석하고, 관련 연구 결과를 검토하고, 외국의 교량 유지관리 제도와 비교함으로써, 제도적인 보완 방안을 제시하고자 했다.



## 2. 국내외 교량 유지관리 제도

### 2.1 우리나라 유지관리 제도

우리나라의 교량 유지관리는 시설물안전법과 기반시설관리법으로 규정하고 있다. 유지관리 계획은 관리주체의 중장기 계획과 시설물의 공용 특성에 따라 차이가 있으므로 획일적으로 규정되기 어렵다. 보수와 보강은 손상의 원인과 교통 여건, 시공성 등을 종합적으로 고려하여 시행된다. 따라서 유지관리 규정의 핵심은 안전점검, 정밀안전진단, 성능평가에 대한 사항으로 정리할 수 있다. 안전점검과 정밀안전진단 및 성능평가는 시설물 종별에 따라 구분하고 있으며, 실시 시기는 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(Ministry of Land Infrastructure and Transport 2022a, 2022b)에서 규정하고 있다.

Table 1에서 알 수 있듯이 초기점검은 건설기술진흥법에서 규정되어 있으며, 점검 시기는 시설물의 종별과 안전등급에 따라서 결정된다. 따라서 교량의 점검은 교량의 구조적인 특성보다는 규모와 상태에 따라 상이한 기준을 적용하여 실시한다. 이는 교량의 설계시 하중의 크기를 결정하는 교량의 등급 적용 개념과 차이가 있다.

**Table 1.** Types of Bridge Inspection and Frequencies in Korea

Types	Classification		Frequency	Reference
	Class	Safety Grade		
Initial Inspection	Class I, Class II		before completion	PERFORMANCE GUIDELINE FOR CONSTRUCTION SAFETY MANAGEMENT  SPECIAL ACT ON THE SAFETY CONTROL AND MAINTENANCE OF ESTABLISHMENTS
Periodic Safety Inspection	Class I, Class II, Class III	A,B,C	6-month interval	
		D,E	4-month interval	
Full Safety Inspection	Class I, Class II	A	3-year interval	
		B,C	2-year interval	
		D,E	1-year interval	
Emergency Safety Inspection			If necessary	
Full safety Diagnosis	Class I	A	6-year interval	
		B,C	5-year interval	
		D,E	4-year interval	
Performance Assessment	Class I, Class II		5-year interval	

교량의 점검시 세부지침에서 규정하는 주요 업무 범위는 Table 2와 같다(Ministry of Land Infrastructure and Transport 2022a). 정기안전점검은 간단한 외관조사만 실시하며, 정밀안전점검은 외관조사와 함께 콘크리트 비파괴시험과 강재의 용접부 결함을 조사한다. 정밀안전진단은 외관조사와 비파괴시험, 코어링 등에 의한 콘크리트 염화물함유량 시험과 같은 내구성 시험을 하며, 구조적인 안전성을 평가하기 위한 내하력 평가를 실시한다. 각 점검시 비파괴시험은 규모에 따라 횟수가 정해져 있으며, 구체적인 위치는 제시되어 있지 않았다. 따라서 많은 정밀점검과 안전진단 보고서를 보면 시험이 편리한 위치에서 시험하는 경우가 대부분이며, 외관조사 결과로부터 전문가의 의견에 의하여 필요한 것으로 인정되는 곳에 실시하는 경우는 거의 없다. 이는 점검 기술자나 관리 주체 모두 시험의 목적을 구체적으로 알지 못하는 상태에서 수량만을 중요시 한 결과임을 의미한다.

성능평가지에는 정밀안전점검이나 정밀안전진단에서의 외관조사나 비파괴시험은 대동소이하며, 결과의 분석 방법에만 일부의 차이가 있다(Ministry of Land Infrastructure and Transport 2022a). 즉 점검이나 진단시에는 상태평가와 안전성평가로 결과를 도출하고, 성능평가지에는 안전성능, 내구성능으로 구분하여 결과를 분석하기 때문에 결과보고서에서 제시하는 유지보수 방

법은 대부분 동일하다. 사용성능평가의 사용성은 포장이나 조명 등을 평가하지만, 도로의 시설물인 교량만을 평가하는 것은 큰 의미가 없는 것으로 판단된다. 오히려 개별 구조물보다는 도로 전체의 포장 상태나 조명 등을 평가하여 필요시 개선하는 것이 도로 이용자의 사용편의성을 높일 수 있는 하나의 방법이라고 판단할 수 있다. 또한 사용성능의 교통량 평가도 도로망 자체의 교통 용량을 평가하여 중장기 국가 도로망 계획에 반영하는 것이 합리적일 것이다.

**Table 2.** Requirements of Bridge Inspection in Korea

Types	Work Scope			
	Evaluation	Detail Evaluation	Site Inspection	Material testing & non-destructive testing
Periodic Safety Inspection	Safety Grade	<u>Condition score</u>	<u>Careful visual inspection</u>	
Full Safety Inspection	Safety Grade	<u>Condition evaluation</u> - Usability - Durability	<u>Detailed visual inspection</u>	- Concrete strength - Carbonation depth
Full safety Diagnosis	Safety Grade	<u>Condition evaluation</u> - Usability - Durability  <u>Safety evaluation</u> - Structural safety - Foundation safety	<u>Precise visual inspection</u>	- Concrete strength - Reinforcing steel - Carbonation depth - Chloride content - Crack depth - Welding defect
Performance Assessment	Performance Grade	<u>Safety performance</u> - Condition performance - Structure performance  <u>Durability performance</u> - Concrete - Steel  <u>Usability performance</u> - Usability - Functionality	<u>Visual inspection</u> <u>Concrete durability performance</u> - cover concrete quality - Deterioration environment  <u>Steel durability performance</u> - Rusting, Paint deterioration - Atmosphere environment, Snowfall days  <u>Usability performance</u> - Pavement, Lighting, Vibration - Inspection facilities, Traffic volume	- Concrete strength - Carbonation depth - Chloride content - Nondestructive testing of steel

## 2.2 외국의 교량 유지관리 점검 체계

미국의 점검 종류와 실시 시기(FHWA 2012)는 Table 3에 정리하였다. 미국의 FHWA에서의 교량 점검 체계는 크게 7가지로 구분하고 있다. 우리나라와 일부 내용에 차이가 있으며, 우리나라 정밀안전점검과 유사한 In-Depth Inspection의 실시 시기는 별도로 정하도록 하고 있으며, 8개 주에서는 In-Depth Inspection의 실시 시기를 10년에서 15년까지로 설정하고 있다. 내하력 평가는 교량의 손상에 따라 안전을 확인할 필요가 있는 경우와 같이 주기적으로 실시하도록 규정하고 있지는 않았다. 우리나라와의 가장 큰 차이는 연방정부에는 점검에 대하여 획일적으로 규정하지 않고 있으며, 교량의 관리주체인 DOT에서 점검 형태를 세분화하고, 각 주의 특성을 고려하여 실시 시기를 결정하고 있다(NCHRP Synthesis 375 2007).

**Table 3.** Types of bridge inspection in FHWA

Types	Intensity of Inspection
Initial (Inventory)	An initial inspection is the first inspection of a bridge as it becomes a part of a bridge file, but the elements of an initial inspection may also apply when there has been a change in configuration of the structure or a change in bridge ownership. The initial inspection is a fully documented investigation and is accompanied by load capacity ratings.
Routine (Periodic)	Routine inspections are regularly scheduled inspections consisting of observations and/or measurements needed to determine the physical and functional condition. Inspection of underwater portions of the substructure is limited to observations during low-flow periods and/or probing for signs of scour and undermining. According to the NBIS, inspect each bridge at regular intervals not to exceed 24 months. However, certain bridges require inspection at less than the 24-month interval. Establish criteria to determine inspection frequency and intensity based on such factors as age, traffic characteristics, and known deficiencies.
Damage	A damage inspection is an unscheduled inspection to assess structural damage resulting from environmental factors or human actions. The scope of inspection is sufficient to determine the need for emergency load restrictions or closure of the bridge to traffic and to assess the level of effort necessary for an effective repair.
In-Depth	An in-depth inspection is a close-up, inspection of one or more members above or below the water level to identify any deficiencies not readily detectable using routine inspection procedures. Hands-on inspection may be necessary at some locations. When appropriate or necessary to fully ascertain the existence of or the extent of any deficiencies, nondestructive field tests may need to be performed. The inspection may include a load rating to assess the residual capacity of the member or members, depending on the extent of the deterioration or damage. This type of inspection can be scheduled independently of a routine inspection, though generally at a longer interval, or it may be a follow-up for other inspection types.
Fracture Critical	A fracture critical member (FCM) inspection is performed within arm's length of steel members in tension, or with a tension element, whose failure would probably cause a portion of or the entire bridge to collapse. The FCM inspection uses visual methods that may be supplemented by nondestructive testing. Fracture critical members (FCMs) are to be inspected at regular intervals not to exceed 24 months. However, certain FCMs require inspection at less than 24-month intervals.
Underwater	An underwater inspection is the inspection of the underwater portion of a bridge substructure and the surrounding channel, which cannot be inspected visually at low water by wading or probing, generally requiring diving or other appropriate procedures. According to the NBIS, underwater structural elements are inspected at regular intervals not to exceed 60 months. However, certain underwater structural elements require inspection at less than the 60-month intervals.
Special (Interim)	A special inspection is an inspection scheduled at the discretion of the Bridge Owner. It is used to monitor a particular known or suspected deficiency, such as foundation settlement or scour, fatigue damage, or the public's use of a load posted bridge. These inspections are not usually comprehensive enough to meet NBIS requirements for routine inspections

덴마크 도로국에서는 8개 종류의 점검으로 구분하고 있다(Danish National Road Directorate 1994). 덴마크의 교량 점검은 일상점검(정기점검)은 매년 실시하고, 정밀점검은 최대 6년 이내에 실시하는 것으로 규정하고 있으며, 내하력평가를 포함하는 특별 점검은 필요시에만 실시하고 있다. 이러한 점검 체계는 대부분의 유럽 국가에서 비슷하게 규정하고 있는 것으로 조사되었다. 외국의 주요 점검 체계를 우리나라의 정기안전점검과 정밀안전점검으로 구분하여 Table 4에 정리하였다. Table 4로부터 주요 외국에서의 점검은 상세 내용에 다소의 차이는 있지만 정기안전점검에 해당하는 Routine inspection은 육안점검 위주로 실시하며, 1년~2년 간격으로 실시한다. 정밀안전점검과 비슷한 Detailed inspection은 근접육안조사와 간단한 시험을 하며, 5년~6년 간격으로 실시한다.

외국 여러 나라의 점검 주기는 정기점검과 정밀점검 모두에서 우리나라의 실시 주기의 2배 이상인 것으로 조사되었다. 우리나라의 정밀안전진단시 실시하는 내하력평가는 모든 나라에서 안전에 영향을 미칠 정도의 심각한 손상이 발생하여 안전성을 검토할 필요가 있을 때 실시하도록 규정하고 있다. 또한 교량의 규모에 따라 점검 체계를 다르게 규정하는 경우도 없는 것으로 조사되었다. 이는 우리나라 점검 체계에 대한 재검토가 필요하다는 것을 의미한다.

**Table 4.** Frequency (year) of bridge inspection in various countries (NCHRP Synthesis 375 2007)

Types	USA	Denmark	Finland	France	Germany	Norway	Sweden	Republic of South Africa	England
Routine	2 (1~4)	1	1	1, 3	3	1, 2	1, 3	1	2
Detailed	10~15	6	5 (4~8)	6	6	5~10	6	5	6

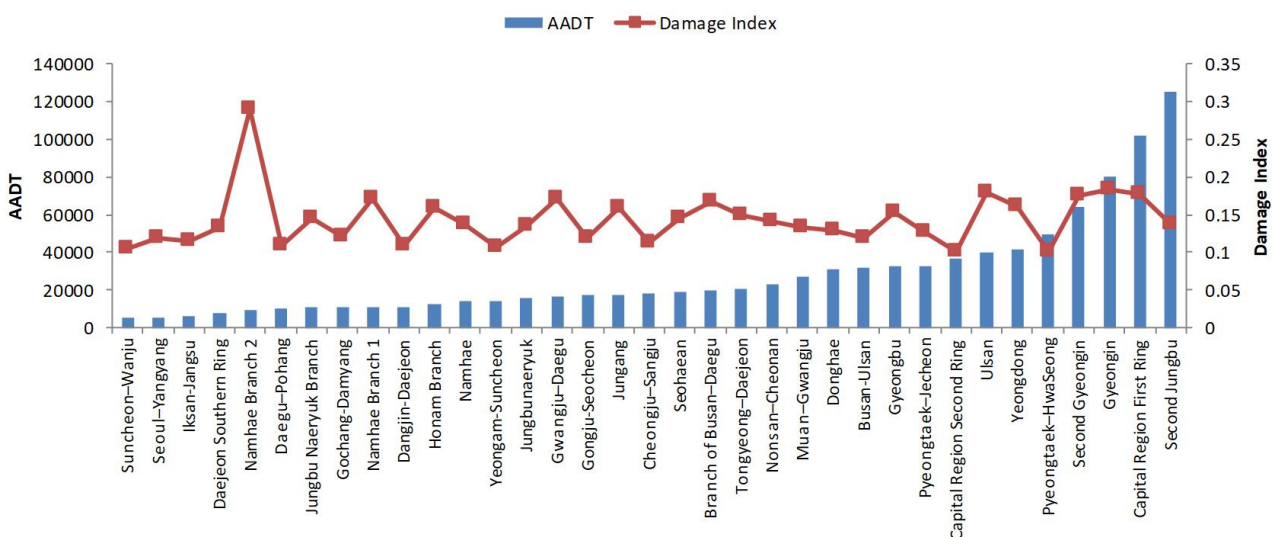
### 3. 도로 교량의 노후화 특성

#### 3.1 교량 설계 안전율

교량은 생애 전주기 동안 안전하게 사용할 수 있도록 하중, 재료, 시공과정, 구조시스템 등을 고려하여 설계한다. 사용 재료나 부재의 설계값을 구하기 위하여 재료와 치수 및 시공의 변동성과 저항모델의 불확실성을 고려하기 위하여 재료계수나 저항계수를 사용한다. 교량에 작용할 수 있는 하중의 가변성과 해석 정확도, 서로 다른 하중의 동시작용확률을 고려하는 하중계수를 적용한다. 이 외에도 시공 방법을 고려하여 시공 전 과정에 대한 세심한 검토를 통하여 시공 안전성을 확보한다. 많은 교량 형식에서 시공 과정에서 가장 불리한 조건이 만들어지므로, 교량 구조계가 완성된 이후에는 오히려 안전성이 높아진다. 이 외에도 공칭강도의 결정 과정에서의 안전율, 단면 설계시의 여유도, 내구성 확보를 위한 배려 등으로 인하여 교량의 안전성은 높아진다. 따라서 설계 오류나 부적절한 시공과 품질관리가 없다면 대부분의 교량은 준공 후 충분한 안전성을 확보하게 되며, 문제가 있는 경우에는 시공 중 또는 공용 초기에 손상이 발생하게 된다.

#### 3.2 교량의 손상 특성

교량에서 발생하는 결함 또는 손상은 부적절한 설계나 시공단계에서 발생하는 것, 외적 또는 내적으로 작용하는 물리적인 요인에 의하여 발생하는 것, 환경적인 요인에 의하여 물리적 화학적으로 변질, 변형되는 열화로 구분할 수 있다. 이러한 손상은 균열, 누수, 백태, 재료 분리, 박리, 박락, 강재 부식 등의 다양한 형태로 나타난다. 고속도로 교량 증장기 유지관리 비용 예측 모델 개발 연구(Park et al. 2015)에 따르면 교량에서 발견된 손상은 교통량과의 관계가 거의 없는 것으로 분석되었다. 손상과 공용 기간의 상관성은 높지는 않지만, 제한적으로 나타나는 것으로 확인되었다(Fig. 1, Fig. 2). Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 공용 연수가 길



**Fig. 1.** Relation between AADT and damage index of Korea expressway bridges

어지면 고속도로 교량에서 발생한 결함은 일부 증가하고 있지만, 사용 기간이 길지 않은 많은 노선의 교량에도 결함이 발견되고 있다. Fig. 1에서 AADT(annual average daily traffic)는 연평균 일교통량을 의미한다.

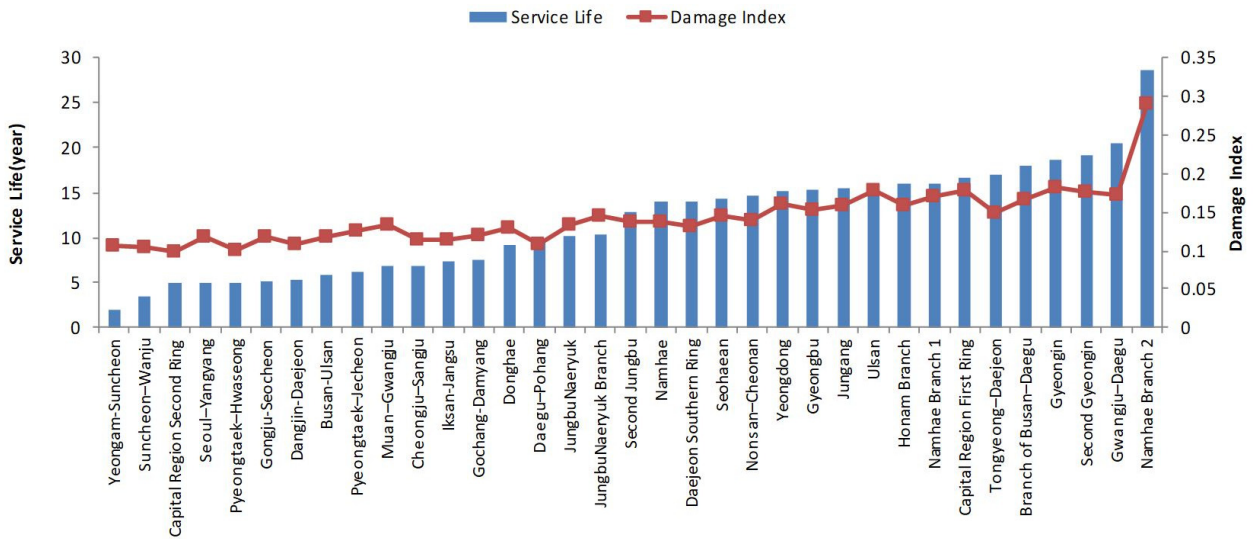


Fig. 2. Relation between service life and damage index of Korea expressway bridges

고속도로 교량 정밀안전진단 보고서를 분석하여 평균 손상량을 평가한 결과(Lee et al. 2013)를 정리하면 다음과 같다. 평균 손상량은 동일한 공용 기간을 가진 교량들의 손상량 평균값을 대푯값으로 계산한 것이다. 강박스 교량은 전체의 약 50%가 넘는 교량들이 준공 11년 차에 수행되었다. 이 기간은 교량의 일반적인 하자 담보 기간 종료 전·후의 기간이고 노후화가 진행되지 않은 시기이다. 준공 직후 진행된 초기점검 결과에 대한 초기손상의 유지보수가 완료된 것을 고려하면 국부적으로 진행된 일부 손상과 다수의 미초치 손상들이 이 시기에 조사된다.

Fig. 3은 교량 바닥판의 균열폭 0.3mm 미만의 평균 손상량을 나타낸 것이다. 그림에서 균열의 평균 손상량은 공용 기간과 상관성이 높지 않은 것으로 나타났다. 균열 조사 결과는 상부구조 형식에 따라 다소의 편차를 보였으며, 공용기간에 따른 일관성 있는 결과는 도출하지 못하였다.

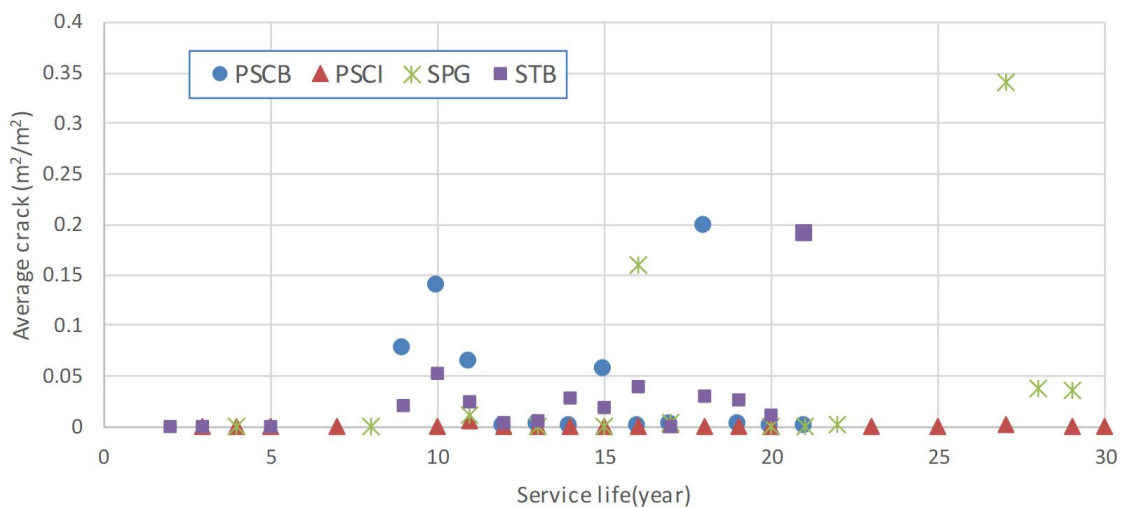


Fig. 3. Relation between Service Life and Average Crack (< 0.3 mm) of Decks

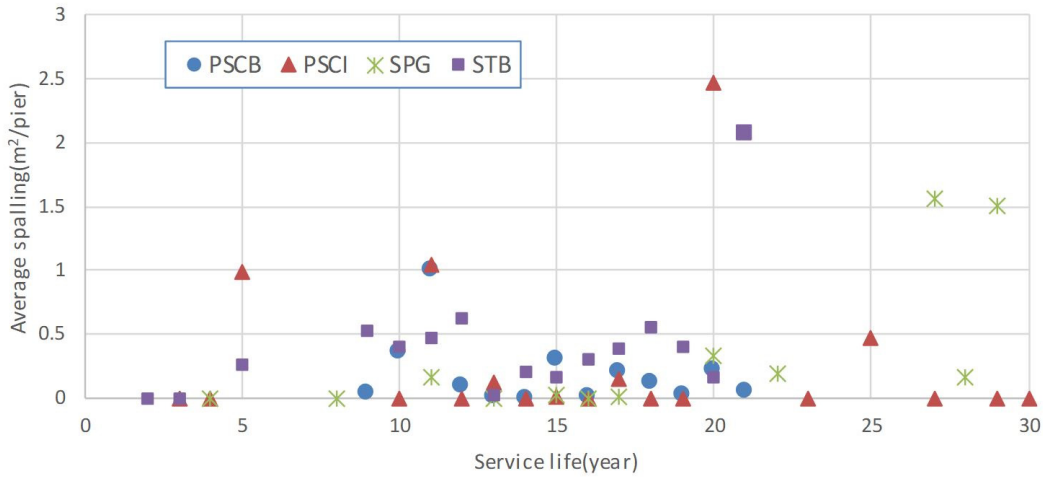


Fig. 4. Relation between Service Life and Spalling of Substructures

노후 교량에서 철근 부식에 의하여 주로 발생하는 박락의 평균 발생량은 Fig. 4와 같다. 공용 기간이 길지 않은 콘크리트 부재의 박락은 대부분 외부 충격에 의한 것으로서 유지관리 손상특성을 평가하는 데는 무리가 있다. 하지만 공용 기간이 길어짐에 따라 콘크리트 누수에 의한 철근 부식이 시작되면 박락이 급격히 증가하게 된다. Fig. 4에서도 20년 이상의 공용 기간이 경과한 교량에서 상대적으로 높은 발생량을 보였지만 일관성 있는 결과를 도출하지는 못하였다. 그러나 연구가 완료된 이후에 많은 교량에서 콘크리트 박락으로 인한 손상 사례가 크게 증가하여 고속도로 교량 전체에 경각심을 갖게 되었다는 것은 시사하는 바가 크다. 즉 손상 유형에 대한 주기적인 연구가 진행되어야만 노후 교량에 대한 손상 특성을 평가할 수 있을 것으로 판단된다. 그렇지만 지금까지의 연구 결과에서의 손상 특성은 시공 중 또는 공용 초기에 발생된 경우가 많으며, 공용 기간이 길지 않은 상태에서는 공용 기간에 따른 손상의 급격한 증가는 보이지 않는다는 결론은 얻을 수 있었다.

### 3.3 상태 등급 변화 특성

정밀안전점검과 정밀안전진단시 부재별 상태평가와 교량 전체 상태평가를 한다. 상태평가는 외관조사에 의한 손상 정도와 내구성 평가 결과를 종합적으로 고려하여 결정하며, A등급~E 등급의 5가지 등급으로 구분한다. 이때 C 등급까지는 구조적인 문제가 보이지 않고 단순 보수가 필요한 상태로 이해하며, D 등급과 E 등급은 구조적인 문제가 있는 것으로 판단할 수 있다. 고속도로 교량은 대부분 상태가 양호하여 D 등급 교량은 없는 상태이다. 최근에는 관리 목표를 B 등급으로 설정하여 C 등급 교량도 최소화하기 위한 노력을 기울이고 있다(Korea Expressway Corporation 2021).

이와 같이 구조물의 손상 정도를 정량화하여 평가한 상태등급은 구조물의 공용 특성을 나타내는 대표적인 척도로 활용되고 있으며, 유지관리 전략 수립을 위한 중요한 지표로 활용하고 있다. 1996년부터 2004년까지의 고속도로 교량 459개의 정밀안전진단 보고서를 분석한 결과 A등급 교량의 평균 공용 기간은 4.5년, B 등급은 14년, C 등급은 30년으로 나타났다(Park et al. 2005).

Kim et al.(2013)의 연구에서는 2000년부터 2011년까지의 HBMS 전체 자료를 분석한 결과, A 등급에서 B 등급으로 강등되는 교량의 평균 공용 기간은 10.6년, B등급에서 C 등급으로 강등되는 교량의 평균 공용 기간은 24년으로 조사되었다. 그러나 C 등급 교량의 수는 전체의 0.7%인 58개로서 대표성을 갖기에는 부족함을 알 수 있다. 이 값은 상태등급의 변화를 모형화하지 않고 데이터 자체만으로 값을 도출하기 때문에 변화 시기가 짧게 평가되었다.

2021년 한국도로공사에서 관리하는 전체 교량 9,542개소에 대한 상태등급에 따른 평균 공용 년수를 정리하면 Table 5와 같다. 교량 종별에 따라 다소의 차이는 있지만 B 등급 교량의 평균 공용기간은 18.9년이고, C등급 평균 공용 기간은 22.8년이다. 그러나 C등급은 교량 수가 전체의 0.5% 수준으로서 값 자체의 신뢰도가 높지 않다

**Table 5.** Average Service Life for Expressway Bridge Condition Rate (year)

Class	Condition Rate					
	A		B		C	
	Bridge No.	Average service life	Bridge No.	Average service life	Bridge No.	Average service life
Class-I	119	6.6	1,227	16.9	24	19.3
Class-II	123	5.6	2,110	16.6	21	21.9
Class-III	482	17.0	2,222	21.7	6	39.7
etc.	1,963	11.0	1,245	19.9	0	-
Total	2,687	11.6	6,804	18.9	51	22.8

Park and Shin(2008)의 연구 결과에서는 고속도로 교량이 A등급에서 B 등급으로, B등급에서 C 등급으로 변화되는 시기는 각각 22년과 45년으로 분석하였다. 그리고 구조적인 문제를 야기할 수 있는 D 등급이 되는 시기는 약 67년으로 예측되었다. 이 연구는 상태등급의 변화 과정을 선형 함수로 모형화하여 예측한 결과이다. 이 연구는 타 연구보다 이른 시기에 진행한 연구이지만 공용 중인 교량의 평균적인 특성값 만으로 평가한 결과보다 다소 길게 평가하는 것으로 나타났다. 이는 현재의 데이터만으로 상태 변화를 예측하면 공용 기간이 길지 않은 교량의 데이터가 결과를 왜곡하기 때문에 실 교량의 상태 변화보다는 변화 시기가 짧게 평가되기 때문이다.

따라서 현재 교량들의 공용 기간이 길어진 이후 추가적인 연구가 진행된다면 보다 정확한 값을 구할 수 있겠지만, 지금까지의 연구 결과만으로도 상태 등급 변화 시기는 B등급이 20년 이상, C 등급이 45년 정도로 평가할 수 있다. 이 결과는 현 점검 제도에서 정밀안전점검을 10회 이상 반복한 이후 상태 등급이 변한다는 것을 의미하며, 외국의 정밀점검 주기 5~6년도 충분하다고 판단할 수 있다.

Lee et al.(2013)의 연구 결과에서 부재별 상태 등급이 변하는 원인을 조사한 결과, 구조부재인 바닥판과 교대는 철근 부식에 의한 콘크리트 박락으로 인해 “d” 등급으로 평가한 것으로 나타났다. 교량받침은 교대의 수평 변위, 신축이음장치는 누수와 단차, 교면포장은 균열, 파손, 포트홀 및 소성변형 등의 손상이 발생하는 경우에 “d” 등급으로 강등되는 것으로 분석하였다. 그러나 거더의 상태 등급이 “d”인 경우는 없는 것으로 나타났다. 결국 교량의 상태 등급 변화는 비구조 부재인 경우 기능이나 사용성에 문제가 발생할 때이고, 구조 부재인 경우에는 누수에 의한 철근 부식이 발생할 때인 것으로 판단할 수 있다.

## 4. 유지관리 제도 개선 방향

### 4.1 교량 유지관리 제도 개요

시설물의 유지관리를 제도화하는 이유는 유지관리 책임이 있는 관리 주체가 시설물의 안전을 확보하기 위해 해야 할 최소한의 의무를 설정하는 것이다. 여기에는 각각의 유지관리 활동에 대한 책임자의 기술 자격을 설정하고, 관리 방법을 체계화하며, 각 유지관리 활동에 대한 평가 제도를 도입하게 된다. 이와 더불어 관련 기술이 부족한 경우에는 기술자 양성을 위한 지원 방안도 법이나 기준에 규정하기도 한다. 교량 유지관리를 위하여 우리나라에서는 안전점검과 정밀안전진단, 그리고 성능평가 제도를 도입하여 철저한 조사와 대책을 마련하도록 규정하고 있다. 또한 보고서 평가 제도를 운영하여 보고서의 질을 높이기 위한 노력도 한다 (Korea Law Information Center 2021a).

또한 교량 유지관리 제도는 교량의 설계와 시공 및 유지관리 전 과정에 대한 기술적인 설득력을 확보할 수 있어야 한다. 사용 중인 교량의 구조적인 특성, 손상 특성 및 노후화가 진행되는 과정을 반영할 수 있는지 고민할 필요가 있다. 이에 지금까지의 정밀안전진단, 정밀안전점검 결과들을 분석하고, 관련 연구들을 검토하여 아래에 제도 개선 방향을 제시하였다.



## 4.2 교량의 종별 구분 개선

우리나라 교량의 점검 체계는 Table 1과 같이 교량의 규모에 따라 종별 구분하여 점검을 차등화하고 있다. 종별 구분은 교량의 규모 즉 건설과 유지관리 비용에 초점을 두고 구분을 하였지만, 교량의 핵심 기능은 강이나 계곡 등으로 인하여 도로의 건설이 어려운 곳에 교량 등의 시설물을 활용하여 통행의 연속성을 확보하는 것이다. 즉 하나의 도로망에 여러 개의 교량이 있는 경우 교량 규모에 관계없이 어떤 하나의 교량에 문제가 발생하더라도 도로의 기능을 유지하기 어렵기 때문에 단위 도로망에서 교량의 기능은 규모에 관계없이 동일한 수준으로 판단해야 한다. 또한 교량의 차단으로 인한 영향은 교량 자체의 보강이나 개축 비용보다는 차단으로 인한 우회 비용과 지체비용이 크게 소요된다는 것이 일반적이다. 예를 들면 2010년 수도권제1순환고속도로 부천고가 교 화재 사고로 인한 교량 차단에 의한 사회적 비용을 평가한 결과 2,198억에 달하는 것으로 평가하였다(Hong et al. 2011). 이때 교량을 복구하기 위한 비용은 약 150억으로서, 사회적 비용과 비교할 때 상대적으로 작다는 것을 알 수 있다. 따라서 교량의 중요성은 시공이나 유지관리의 비용도 중요하지만, 사고나 문제발생시 사회적인 비용을 고려하여 도로의 중요도에 따라 구조물의 점검 체계를 마련하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

이는 교량의 종별에 따른 구분은 구조적인 특성을 충분히 반영하지 못하고 있다. 동일한 구조형식인 경우에도 경간 수에 따라 교량의 종별이 달라지므로 구조적인 특성이 반영되지 못할 수도 있다. 더구나 특수 교량을 제외하고 경간장이 긴 교량인 경우에 시공 안전성이 확보되면 준공 후 안전율이 증가하는 것이 일반적이며, 시공과정에서의 엄격하게 품질관리와 시공관리를 하는 것이 현실이다. 결국 점검 기준은 종별구분보다는 교량의 형식과 공용 중 안전 등급에 따라 정하는 것이 합리적인 것으로 판단한다. 이는 설계시 교량의 규모에 따라 하중에 차등을 두거나 요구하는 성능 수준이 다르지 않으며, 외국에서도 교량의 형식과 공용 상태만을 고려해서 점검 기준을 정한다는 사실로부터도 쉽게 알 수 있다.

## 4.3 초기점검 실시 시기 개선

제 3 장에서 교량의 노후화 특성과 상태 등급의 변화 과정을 고려하면, 대부분의 교량은 시공 중이나 공용 초기에 발생한 손상들의 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 안전한 유지관리를 위해서는 공용 초기에 체계적인 점검을 하고, 필요한 경우 보수를 통하여 내구성을 확보해야 한다. 교량의 초기점검은 2009년까지는 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서 내용을 규정하였지만, 2010년부터는 세부지침에서 누락된 상태이다.

건설기술진흥법(Korea Law Information Center 2022a) 과 국토교통부 지침(Ministry of Land Infrastructure and Transport 2022c)에서는 1종과 2종 시설물에 대하여 준공 전에 정밀점검 수준의 초기점검을 하도록 규정하고 있다. 그러나 도로 건설 공정에서 가장 마지막 공정이 대부분 교량 시공으로, 초기점검시에는 교량이 완성되지 못하는 경우가 많다. 특히 교량 부재의 마지막 공정인 신축이음장치가 설치되지 않은 상태이기 때문에 신축이음장치의 거동을 평가하지 못한다. 교량 유지관리에서 신축이음장치의 설치 유간은 상부구조의 온도 거동과 장기 거동 및 교대의 변위 등을 평가하기 위한 초기값으로 활용되지만, 초기점검의 실시 시기로 인하여 유지관리에 중요한 초기치를 확보하지 못하게 된다.

미국(TxDOT 2022)을 비롯한 선진 외국에서도 초기점검은 준공 초기에 실시하도록 규정하고 있으며(NCHRP Synthesis 375 2007), 유지관리를 위한 초기치 확보와 시공과정에서의 초기 손상들에 대한 철저한 보수를 위해서도 실시 시기 등을 개선할 필요가 있다.

본 연구에서 제안하는 초기점검은 다음과 같다.

- 1) 목적 : 관리 주체가 유지관리를 하는 데 필요한 초기치와 기초자료 획득
- 2) 대상 : 전체 교량
- 3) 실시 시기 : 준공 또는 사용 승인 후 6개월 이내
- 4) 과업 범위 : 정밀점검 수준의 외관 조사, 제원과 형상 등 시공 상태 조사, 설계 도서 검토를 통한 안전성 평가

#### 4.4 교량 노후화를 고려한 점검 체계

제 2 장에서 언급한 바와 같이 우리나라의 점검 체계는 외국과 비교할 때 매우 엄격하게 규정되어 있다. 정기안전점검과 정밀안전점검의 평균 시행 빈도가 각각 1년에 2회와 2년에 1회로서 외국과 비교할 때 동일기간에 2배 이상 자주 실시하도록 규정되어 있다. 또한 외국에는 없는 정밀안전진단을 5년마다 실시한다.

정밀안전진단은 정밀안전점검과 비교할 때 비파괴시험이나 내구성 시험에서 시험내용이나 수량에서 일부 차이가 있지만, 가장 큰 차이점은 안전성평가를 하는 것이다. 교량의 안전성은 구조검토를 통한 기본내하력과 재하시험까지 실시하는 경우 공용내하력을 구하여 평가한다. 안전성 평가 즉 내하력 평가는 모든 외국에서는 주기적으로 실시하지 않으며, 구조적인 손상이 심각하거나 대규모 보강시에 보강 효과를 조사하는 경우와 같이 기술자가 필요하다고 판단하는 경우에만 실시한다.

교량은 설계 기준에서 충분한 안전율이 확보되기 때문에 설계나 시공과정에서의 오류가 있거나, 공용 중 강재가 부식되어 단면 손실이 큰 경우, 강거더 용접부 등에 심각한 균열이 발생하는 경우와 같이 상태 등급이 낮은 경우 등에만 구조적인 문제가 발생할 수 있다. 더구나 설계나 시공 오류가 있는 교량은 시공 중 또는 공용 초기에 심각한 문제가 발생하기 때문에 이러한 경우에는 공용 초기에 대규모 보강을 실시하거나 성능개선을 한다. 또한 심각한 손상이 발생하기 전에는 내하력의 변화가 미소하기 때문에 구조적인 문제로 인하여 손상이 발생하기 전에는 안전성 평가 자체의 실효성이 떨어진다는 것은 널리 알려져 있다.

2018년부터 도입된 성능평가 기준에는 안전 성능, 내구 성능, 사용 성능을 평가하여 성능 등급을 평가하도록 규정하고 있다. 여기서 안전 성능과 내구 성능은 정밀점검의 상태 등급 평가와 대동소이하다. 반면에 사용 성능의 포장 상태, 조명이나 교통량은 교량 단위로 평가하는 것보다는 교량이 위치한 도로 관점에서 종합적으로 평가하는 것이 합리적이다. 진동 사용성은 교량의 위치에 따라 진동 허용값이 달라질 수 있으며, 설계시 진동을 고려하기 때문에 정기적으로 평가하는 것은 실효성이 떨어진다. 또한 점검 시설은 교량의 구조적인 특성, 관리주체의 보유 장비, 기술 개발 수준에 따라 다르게 배치되어야 하므로 정기적인 평가는 무의미한 것으로 판단할 수 있다. 즉 현재의 성능평가는 정밀점검과 대부분 항목이 중복되는 내용으로서 많은 인력과 비용을 투입하면서 정기적으로 시행하는 것은 심각한 낭비라고 판단할 수 있다.

따라서 성능평가가 실효성을 가지기 위해서는 “기반시설 관리기본법”에서 기반시설 즉 교량은 교량을 포함한 도로에 대하여 성능을 평가하여 노선 자체의 관리를 체계화하는 것이 합리적이라 판단할 수 있다. 예를 들면 단위 도로 구간에 나들목이나 주변 환경 등을 고려한 조명에 대한 기준을 설정하고 이를 만족하기 위한 관리 방안을 수립하여 운전자가 편안하게 운전할 수 있는 환경을 확보하도록 하는 것이 필요하다. 즉 성능평가는 시설물안전법에 따라 관리하는 내용은 제외하고, 도로나 철도와 같은 기반시

**Table 6.** Proposed Inspection System for Road Bridges

Classify	Safety Grade	Inspection Frequency (in Months)	비고
Initial Inspection		6-month after completion	
Periodic Safety Inspection	A	12	Safety Grade E bridges are excluded from safety inspections because they are out of service
	B, C	6	
	D	4	
Full Safety Inspection	A	36	
	B, C	24	
	D	12	
Emergency Safety Inspections		If Necessary	
Safety Evaluation	D	36	
	E	for reopening	
		When Initial inspection If necessary	

설에 대한 사용성 등을 단위 구간별로 평가하여 성능을 확보하도록 규정하는 것이 합리적이라 판단할 수 있다.

본 연구에서의 안전점검 체계 개선 방안은 Table 6에 정리하였다.

#### 4.5 성능평가 제도 개선

기반시설관리법(Korea Law Information Center 2021b)은 기반시설의 체계적인 유지관리와 성능개선을 위하여 2018년에 제정되었으며, 기반시설은 국토의 계획 및 이용에 관한 법률의 제2조에 도로·철도·항만·공항·주차장 등 교통시설로 정의하고 있다. 본 연구의 도로 교량 관점에서는 교량을 포함한 도로시설을 기반시설로 정의할 수 있다. 도로시설에는 포장, 교량, 터널, 지하차도, 고가차도, 신호등, 조명 등 수많은 시설들이 있으며, 도로의 성능은 모든 시설물들의 성능을 평가하여 종합적으로 판단해야 한다. 현재의 성능평가 제도는 제 2 장에서 언급한바와 같이 정밀점검이나 정밀안전진단의 업무와 대부분 중복되며, 사용 성능은 개별 시설물에 대한 평가보다는 기반시설 관점에서 평가하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

따라서 기반시설에 대한 성능평가 제도는 단위 도로를 정의하고, 도로에 대한 성능 평가를 실시할 필요가 있다. 이때 성능평가는 교통안전법(Korea Law Information Center 2022b) 34조에서 규정한 교통시설안전진단 제도와 통합을 고려할 필요가 있다. 교통시설안전진단에서는 도로분야 운영단계에서 도로 기능과 관련된 모든 안전상 결함을 도로이용자 시각에서 진단하고 있다. 결국 도로교통의 안전을 위하여 교통량, 조명, 포장, 선형을 비롯하여 교량, 터널, 표지판 등과 같은 도로교통의 안전과 관련된 모든 시설들에 대한 성능평가 제도로 발전시키고, 시설물의 안전은 시트법에 따른 점검 결과를 활용하면 현재의 기술수준으로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 5. 결론

1995년 시트법 제정 이후 시설물 유지관리 제도화가 시작되었고, 현재는 2018년 이후에는 시설물안전법과 기반시설관리법에 따라 유지관리를 하고 있다. 시트법 공포 이후 정기안전점검, 정밀안전점검, 정밀안전진단 제도가 활성화되어 많은 전문기관이 설립되고, 기술자들이 참여하고 있다. 그러나 양적인 성장과 함께 질적인 성장을 이루었는지는 의문이 든다. 따라서 본 연구에서는 현재의 유지관리 제도를 분석하고, 외국의 점검 체계와 비교하였다. 또한 정밀안전진단 보고서를 검토하고, 관련 연구 결과들을 종합하여 다음과 같은 제도 개선 방안을 도출하였다.

- 1) 도로 교량의 규모에 따른 종별 구분을 없애고, 도로의 중요성을 고려한 도로 교량의 점검 체계 개편이 필요하다.
- 2) 교량 준공 전에 실시하던 초기점검을 교량의 준공 후 6개월 이내에 종별 구분없이 실시하고, 설계 검토 개념의 안전성 평가(기본내하력 평가)를 실시한다.
- 3) 시설물안전법에서의 종별 구분을 없애고 모든 교량의 점검을 동일 수준으로 실시한다. 이때 정밀안전진단과 성능평가를 없애면서, 안전성 평가는 초기점검 및 필요시에 한다.
- 4) 기반시설관리법에서의 성능평가제도는 교통안전법에 의한 교통시설안전진단 제도와 발전적으로 통합할 필요가 있다. 개별 시설물 안전은 정밀점검 결과를 활용하고, 타 시설에 대한 평가 방법을 구체화하여 단위 도로에 대한 종합 진단 개념으로 보완한다.

#### References

Danish National Road Directorate (1994) *Inspection of Bridges*.  
FHWA (2012) *Bridge Inspector's Reference Manual*. FHWA NHI 12-049.

- Hong, S. Y., Jeong, S. Y., Baek, S. K., and Choi, Y. H. (2011) The Social Cost of a Fire under Bucheon Viaduct on Seoul Ring Expressway. *Transportation Technology and Policy* Vol. 8, No. 1. (In Korean)
- Kim, D. H., Lee, I. G., and Park, C-H. (2013) Condition Rating Degradation of Highway Bridges. *KSMI 2013 Spring Conference and Meeting*. (In Korean)
- Korea Expressway Corporation (2021) *2021 Bridge Safety Class Management Plan*. (In Korean)
- Korea Law Information Center (2021a) *Special Act on the Safety Control And Maintenance of Establishments*. (In Korean)
- Korea Law Information Center (2021b) *Framework Act on Sustainable Infrastructure Management*. (In Korean)
- Korea Law Information Center (2022a) *Construction Technology Promotion Act*. (In Korean)
- Korea Law Information Center (2022b) *Traffic Safety Law*. (In Korean)
- Lee, I-K., Park, C-H., and Lee, S-H. (2013) *Improvement of Bridge Inspection Practice by the Damage Analysis*. Expressway and Transportation Research Institute (EXTRI). (In Korean)
- Ministry of Land Infrastructure and Transport (2022a) *Detailed Guideline for the Safety Control And Maintenance of Establishments (Performance Evaluation)*. (In Korean)
- Ministry of Land Infrastructure and Transport (2022b) *Detailed Guideline for the Safety Control And Maintenance of Establishments (Safety Inspection/Diagnosis)*. (In Korean)
- Ministry of Land Infrastructure and Transport (2022c) *Performance Guideline for Construction Safety Management*. (In Korean)
- NCHRP Synthesis 375 (2007) *Bridge Inspection Practices* Transportation Research Board.
- Park, C-H., Lee, I-K., and Kim, K-H. (2015) *Prediction Model for Long-term Maintenance Costs of Highway Bridges*. Expressway and Transportation Research Institute (EXTRI). (In Korean)
- Park, C-H. and Shin, J-I. (2008) *Development of Estimation Model for Bridge Rating in Maintenance Action*. Expressway and Transportation Research Institute (EXTRI). (In Korean)
- Park, C-H., Shin, J-I., and Lee, B. (2005) Analysis of Condition Ratings for Highway Bridges. *KSMI 2005 Regular general meeting and Autumn Conference*. (In Korean)
- TxDOT (2022) *Bridge Inspection Manual*. Texas Department of Transportation.

## 요약

본 연구에서는 시설물안전법, 기반시설관리법 및 관련 지침을 검토하여 개선 방안을 도출하고자 하였다. 이를 위하여 국내외 관련 기준을 비교 검토하였으며, 정밀안전진단보고서와 관련 연구들을 분석하였다. 우리나라의 도로 교량 점검 체계는 외국의 모든 나라보다 엄격하게 규정되어 있다는 것을 확인하였다. 교량의 손상은 공용 초기에 발생한 손상들이 유지관리에 많은 영향을 미치고 있고, 공용 중에 손상은 급격하게 진행하지 않는다는 것을 알 수 있었다. 이러한 검토 결과 초기점검에 대한 실시 시기를 개선하고, 종별 구분을 없애는 것을 제안하였다. 또한 개별 교량에 대한 성능평가제도를 개선하여 도로 구간 단위의 성능평가 제도를 제안하였다.

**핵심용어** : 초기점검, 안전점검, 정밀안전진단, 성능평가, 상태평가