

# 교량 유지관리 프로그램과 보수보강 공법에 대한 국가 간 비교 연구: 미국, 영국, 일본, 한국을 중심으로

정유석<sup>1</sup>, 민근형<sup>2</sup>, 이일근<sup>3</sup>, 윤일로<sup>4</sup>, 김우석<sup>5\*</sup>

## Comparative Study of Bridge Maintenance: United States, United Kingdom, Japan, and Korea

Yo-Seok Jeong<sup>1</sup>, Geun-Hyeong Min<sup>2</sup>, Il-Keun Lee<sup>3</sup>, Il-Ro Youn<sup>4</sup>, Woo-Seok Kim<sup>5\*</sup>

**Abstract:** This paper compared bridge maintenance in United States, United Kingdom, Japan, and Korea. Bridges play an essential role in transportation network and in the economic production process. To provide a desirable level of service to the public within limited budgets, it is required to provide effective bridge maintenance activities (e.g. inspection and repair/rehabilitation) at acceptable level of bridge service. A number of bridges are expected to age rapidly in Korea, which will be the excess burden of government. Since several countries have experienced a number of deteriorated bridges because of aging, the countries aforementioned in this study have already developed comprehensive bridge maintenance programs such as inspection practice and repair/rehabilitation techniques. Therefore, the goal of this paper is to synthesize and to compare useful knowledge on bridge maintenance and bridge crack repair/restoration of deteriorated concrete bridge in the four countries. Finally, recommendations that will serve as guidance to transportation agencies for potential enhancements to bridge maintenance and bridge repairs are presented.

**Keywords:** Bridge, Condition ratings, Crack repair, Inspection, Maintenance, Restoration of deteriorated concrete

### 1. 서론

국내 교량의 관리수량은 매년 증가하여 35,000여개에 이르고 있으며(Fig. 1) 노후화 또한 빠르게 진행되고 있다(Fig. 2). 고도 경제 성장으로 1985년부터 2005년 사이에 건설된 교량은 전체 교량의 63%(약 19,000 개소)를 차지하고 있으며 추후 이들 교량의 노후화가 급격히 진행 될 것으로 예상된다. 특히, 보수·보강 물량이 급증하게 되는 30년 이상의 노후 교량은 2015년도에 8%(약 2,500 개소) 수준에서 10년 후에는 30%(약 9,600개소)로 증가하고, 20년 후에는 72%(약 21,000개소)까지 급증할 것으로 예측되고 있다(Fig. 2).

이들 교량은 건설제의 사용과 과적차량 등의 요인에 의해 교량의 열화와 손상이 발생하고 있으며 동시에 교량의 노후

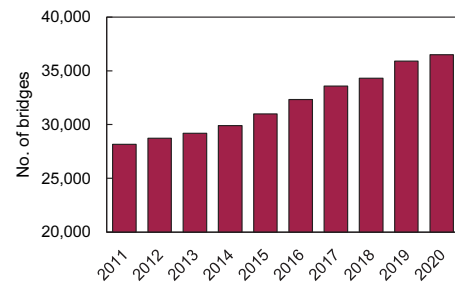


Fig. 1 Increase in number of bridges in Korea (KOSIS, 2021)

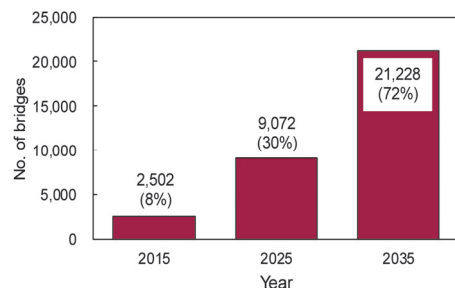


Fig. 2 Predicted numbers of bridges in service over 30 years (KOSIS, 2021)

<sup>1</sup>정희원, 경북대학교 건설방재공학부 조교수

<sup>2</sup>정희원, 충남대학교 토목공학과 박사과정

<sup>3</sup>정희원, 한국도로공사 도로교통연구원 구조물연구실 연구위원

<sup>4</sup>정희원, 경북대학교 건설방재공학부 교수

<sup>5</sup>정희원, 충남대학교 토목공학과 교수

\*Corresponding author: wooseok@cnu.ac.kr

Department of Civil Engineering of Chungnam National University Daehak-ro 99, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

•본 논문에 대한 토의를 2021년 11월 30일까지 학회로 보내주시면 2021년 12월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

화에 따라 교량의 안전등급 또한 감소 추세에 있다. 따라서 사용수명을 연장시키기 위한 점검, 진단, 보수, 보강, 개량 등의 적절한 유지관리가 요구되고 있다.

미국의 2021 Report Card for America's Infrastructure(ASCE, 2021)에 따르면 약 61만개소의 교량이 공용 중에 있으며 현재 사회간접시설의 확대기를 지나 관리교량의 평균공용연수 44년에 이를 정도로 교량 노후화를 겪고 있다. 대략 42% 이상 교량이 50년 이상의 공용연수를 가지고 있다. 열화된 교량의 상태(안전)등급을 향상시키기 위해서는 보수·보강 비용으로 1,250억 달러(약 146조원)가 필요한 상황이다. 이는 현재의 보수·보강 비용에 대한 예산 증액이 없는 상황에서 교량의 상태(안전)등급 향상을 위해서는 약 50년이 필요하다는 의미이다(ASCE, 2021). 영국의 경우, Highway England에서 발표한 자료에 따르면 Highway England가 관리하고 있는 하수관로를 포함한 9,000여개의 교량 구조물 중 3,836개소가 나쁨 상태(Poor condition)로 조사 되었으며 그중에 858개소가 매우 나쁨 상태(Very poor condition)로 조사 되었다(Kennedy, 2020). 열화된 구조물 유지관리를 위해 Highway England는 향후 5년 동안 15억 파운드(약 2.4조원) 사용할 계획이다(Kennedy, 2020). 일본의 경우 과거 급속한 경제 발전으로 인해 건설된 인프라 시설이 현재 노후화가 진행되어 공용연수 50년 이상의 고속도로교량이 40만 개중에 18%를 차지하며 공용연수 43년 이상의 교량 또한 전체 43%를 차지하고 있어 교량 유지관리 비용의 급속한 증가를 예상하고 있다(MLIT, 2013).

국내의 경우 급격한 경제 발전으로 인해 교량의 수가 급속도로 증가하였지만 미국과 일본의 경우처럼 노후화 시기에는 본격적으로 진입하지는 않은 상황이다(Fig. 3). 하지만 최근 염수 살포로 인해 다수의 콘크리트 교량에서 세설염해가 발생하고 그로 인한 교량의 열화가 급속도로 진행되고 있다(KEC 2016). 따라서 미국과 영국, 일본의 사례를 타산지석으로 삼아 적절한 교량의 유지관리가 필요 할 것으로 판단된다.

현재 국내 교량의 유지관리는 ‘시설물의 안전관리에 관한 특별법’에 근거하여 이루어지고 있으며 교량의 상태평가 및

구조적 안전성 평가는 ‘안전점검 및 정밀안전진단 세부지침-교량편(이하, 세부지침)’에 따라 이루어진다(MOLIT, 2019). 교량의 보수·보강은 점검결과를 바탕으로 이루어지고 있다. 열화 된 콘크리트 교량의 성능 복원을 위해 단면복구공사 및 균열보수공사가 시행되고 있다. 하지만 이러한 보수공사 사례의 증가와 함께 보수 부위의 품질저하로 인해 재보수 사례도 증가하고 있다(KEC, 2020).

따라서 현재 세부지침을 바탕으로 국내에서 실행되고 있는 교량유지관리활동(점검 및 보수공사)과 유지관리 선진국(미국, 영국, 일본)에서 이루어지고 있는 교량유지관리활동을 비교하여 국내 교량유지관리에 시사하는 점을 분석하고자 한다. 예를 들면, 국내 교량 유지관리 기준을 유지관리 프로그램, 유지관리 지표, 콘크리트 교량의 단면복구 공법 및 재료 기준, 그리고 콘크리트 균열 보수 공법 및 재료 기준 등의 측면에서 상호 비교하여 분석하였다. 본 연구에서는 콘크리트 교량이 국내 교량의 다수를 차지하고 있으므로 보수공사공종에서 이루어지고 있는 유지관리 활동의 경우는 콘크리트 교량에 한정하여 비교하도록 하겠다.

## 2. 교량 유지관리 프로그램

### 2.1 교량유지관리 기관

교량의 유지관리는 교량의 사용함에 있어 사용자의 이용편의와 공공의 안전을 위해 교량의 종별, 규모, 그리고 해당 시설물의 소유자 및 관리계약에 따라 관리주체가 달라진다. 일반적으로 관리주체는 공공관리주체와 민간관리주체로 구분하지만 본 연구에서는 공공관리주체를 주로 다루도록 하겠다.

미국은 교통국(Department of Transport, 이하 DOT) 산하에 있는 FHWA(Federal Highway Administration, 이하 FHWA)가 연방(Federal) 또는 주(State) 소유 교량의 유지관리 업무를 관리 감독하고 있다. 실제 교량의 유지관리를 담당하는 관리주체는 주 교통국(State DOT)이며 FHWA는 이들 주 교통국의 교량 유지관리 업무를 지원하고 규제하는 업무를 수행하고 있다. 영국의 경우 고속도로관리기관(Highways Agency)에서 교량의 점검 및 유지관리를 담당하고 있다. 일본은 고속도로 교량을 제외한 나머지 교량의 경우는 지방정부가 교량 점검 및 유지관리를 담당하고 있다. 고속도로 교량의 경우는 1956년에 설립된 일본도로공단(日本道路公團)에서 지속적으로 관리를 하였으나 2005년 민영화 되면서 동일본(東日本), 서일본(西日本), 중일본(中日本) 세 개로 분할되면서 각 고속도로 주식회사(高速道路株式会社)에서 고속도로 교량의 점검 및 유지관리를 담당하고 있다. 국내 또한 일본과 동일하게 고속도로를 제외한 교량의 경우 지방자치단체에서 관리를 한다. 고속도로 교량의 경우는 1969년부터 한국도로공사에서 교량

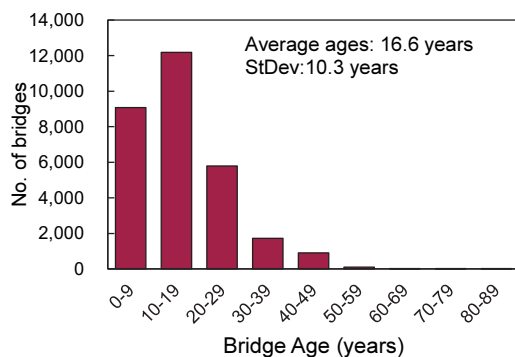


Fig. 3 Distribution of bridge age in Korea (KOSIS, 2021)

의 점검 및 유지관리 업무를 수행하고 있다.

## 2.2 교량유지관리 지침

교량의 유지관리를 담당하고 있는 기관은 교량 점검 시 교량 점검 지침을 기반으로 교량 점검을 시행하고 있다. 본 절에서는 각국의 교량 점검 시 사용하는 교량점검지침을 기술하였으며 Table 1에 요약정리 하였다.

미국의 교량점검지침은 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials, 이하 AASHTO)에서 발간한 “Manual for Bridge Element Inspection” (AASHTO, 2019), FHWA에서 발간한 “Bridge Inspection’s Reference Manual” (FHWA, 2012)이 있다. DOT 산하의 FHWA은 국가기관이며 AASHTO는 국가기관이 아닌, 미국 주 교통국 간의 협의체이지만, 도로교통 관련, 특히 고속도로에 관련된 다양한 지침과 설계기준을 발간하고 있다.

영국의 교량점검은 2021년에 Highways England에서 발간한 “CS450 Inspection of Highway Structures” (Highways England, 2021(a)) 과 “CS454 Assessment of Highway Brides and Structures (Highways England, 2021(b))” 를 바탕으로 교량 점검이 이루어지고 있다.

일본의 경우는 국토교통성(国土交通省)에서 발간한 교량 점검지침인 “교량정기점검요령(橋梁定期點檢要領)” (MLIT, 2014)을 기준으로 교량점검을 실시하고 있다.

국내 교량은 ‘시설물 안전관리에 관한 특별법’에서 국가 및 기관이 시설물의 유지관리 의무, 관리주체, 관리대상, 유지관리 계획 및 수립, 안전조치 등에 대해 규정하고 있으며 교량점검의 세부사항은 국토교통부에서 발간한 세부지침(MOLIT, 2019)에 규정하고 있다.

## 2.3 교량 점검 종류

교량의 유지관리 활동은 교량의 상태를 요구 수준으로 유지하기 위해서 이루어진다. 교량의 유지관리의 시작은 점검으로부터 이루어지며 점검 종류 및 주기 또한 점검의 목적에 따라 다르다. 본 절에서는 조사 대상 국가의 교량 점검 종류 및 주기에 관한 내용을 기술 하도록 하겠다.

미국의 교량 점검 및 주기는 FHWA의 점검지침(Bridge Inspector’s Reference Manual)에 따르면 5개의 점검 단계로 분류 된다(Table 2) : 초기점검(Initial), 정기점검(Routine), 손상점검(Damage), 정밀점검(In-depth) 그리고 특별점검(Special). AASHTO의 점검지침(Manual for Bridge Element Inspection)

**Table 1** Manuals and guides used to manage bridges in four countries (AASHTO, 2019; FHWA, 2012; FHWA, 1995; Highways England 2021(a); Highways England 2021(b); MLIT, 2014; MOLIT, 2019)

Nation	Publisher	Document
U.S.	AASHTO	• Manual for Bridge Element Inspection, 2 <sup>nd</sup> Edition, 2019
	FHWA	• Bridge Inspector’s Reference Manual, 2012 • Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation’s Bridge, 1995
UK	Highways England	• CS450 Inspection of Highway Structures • CS454 Assessment of Highway Brides and Structures
Japan	MLIT	• Manual for Bridge Periodic Inspection, 2014
Korea	MOLIT	• Guidelines and Commentary for Safety Inspection and In-depth Safety Inspection for structures-Bridge, 2019

**Table 2** Bridge inspection types and intervals in U.S. (FHWA, 2012)

Inspection	Descriptions	Interval
Initial	First inspection of a bridge as it becomes a part of the bridge inventory to provide all subsequent inspections with relevant data to determine baseline structural conditions.	at bridge open
Routine (Periodic)	Regularly scheduled inspection consisting of observations and/or measurements needed to determine the physical and functional conditions of the bridge.	≤ 24 months
Damage	An unscheduled inspection to assess structural damage resulting from environmental factors or human actions.	various*
In-depth	A close-up inspection of bridge to identify any deficiencies not readily detectable using routine inspection procedures.	various
Fracture-critical	A hands-on inspection of a fracture-critical member or member components that may include visual and other nondestructive evaluation	≤ 24 months
Underwater	Inspection of the underwater portion of a bridge substructure and the surrounding channel.	≤ 60 months
Special	An inspection scheduled at the discretion of the bridge owner, used to monitor a particular known or suspected deficiency.	various

\*various: A bridge owner or state DOTs can determine intervals for damage, in-depth, and special inspection

은 FHWA에 붕괴유발부재점검(Fracture Critical), 수중점검(Underwater), 그리고 특별점검 포함하여 더 세밀하게 점검수준을 구분하고 있다.

영국의 교량 점검 및 주기는 다음 표(Table 3)와 같다. 안전 점검(Safety inspection) 및 특별점검(Special inspection)은 관리기관의 필요에 따라 시행여부가 결정되는 점검이며 일반점검(General inspection) 및 정밀점검(Principal inspection)은 주기적으로 시행된다. 일반점검의 경우는 교량점검차등과 같은

**Table 3** Bridge inspection types and intervals in UK (Highways England, 2021(a))

	Descriptions	Interval
Safety	Safety inspections for highway structures shall be carried out to ensure the safe and efficient identification of safety related defects	varied*
General	A general inspection shall comprise a visual inspection of all parts of the structure that can be inspected without the need for additional access equipment, using safe, ground level viewing positions around the structure.	≤ 24 months
Principal	A principal inspection shall comprise a close examination, within touching distance, of all accessible parts of a structure	≤ 72 months
Special	A special inspection shall provide detailed information on a particular element, part, area or defect that is causing concern, or inspection of which is beyond the requirements of the general and principal inspection regime	varied

\*varied: The Overseeing Organization can determine intervals for safety and special inspection

교량점검 장비 없이 단순히 점검자의 육안으로 진행되는 수준이다. 반면 정밀점검은 필요시 각종 점검장비 및 접근 차량들을 사용하여 교량의 상태를 점검자의 근접 거리에서 면밀히 교량의 상태를 평가하는 점검방식이다.

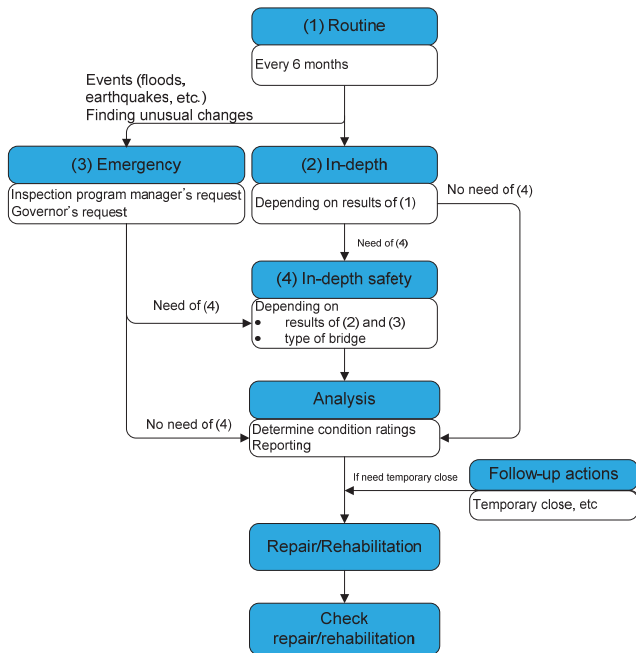
일본은 교량점검에 관해서는 정기점검만을 규정하고 있다. 교량정기점검요령(橋梁定期點檢要領)에 따르면 최초점검은 교량의 공용 시작 후 2년 내에 이루어지며 정기점검은 최초점검 이후 매 5년 마다 이루어진다. 정기점검 외의 점검에 대해서는 명확하게 규정하고 있지 않지만, 교량의 열화 종류와 정도에 따라 교량 점검 필요시 기술자의 판단에 의해 점검이 이루어진다고만 규정되어 있다(MLIT, 2014).

국내의 유지관리 단계는 정기점검(Routine inspection), 정밀점검(In-depth inspection), 정밀안전진단(In-depth safety inspection), 긴급점검(Emergency inspection)으로 이루어진다(Fig. 4).

정기점검(Routine inspection)은 6개월에 1회 이상 실시되며 경험과 기술을 갖춘 점검자에 의한 외관조사로서 시설물의 기능적 상태, 사용조건을 만족시키는지를 평가한다. 정밀안전진단(In-depth safety inspection)은 1종 시설물을 대상으로 쉽게 발견할 수 없는 결함부위를 발견하기 위하여 정밀한 외관조사, 각종 측정·시험장비를 사용한 상태평가 및 안전성 평가에 필요한 데이터를 확보하기 위한 점검이다. 정밀안전진단(In-depth safety inspection)은 준공일 또는 사용승인일 기준 10년이 지난 때부터 1년 이내, 차회의 정밀안전진단은 해당 시설물의 안전등급에 따라 정기적으로 실시한다. 긴급점검(Emergency inspection)은 관리기관이 필요하다고 판단할 경우 실시하는 정밀점검(In-depth inspection) 수준의 점검으로서 사고 또는 재해에 의한 교량의 손상 또는 결함이 의심되는 경우 시행하는 점검이다. 국내 교량 점검의 순서도는 Fig. 4와 같다.

### 3. 교량의 유지관리 지표

교량유지관리기관은 교량을 효율적으로 유지관리하기 위하여 교량의 상태를 대표할 수 있는 유지관리 지표가 필요하다. 교량의 유지관리 지표를 통해 교량의 후속대책을 결정하며 대책의 효용성을 판단한다. 가장 대표적인 교량의 유지관리 지표로서 상태등급(Condition Rating)을 사용하며 이를 활용하여 교량의 열화 정도를 판단하고 있다. 교량의 상태등급은 교량의 현재 상태를 나타내는 등급으로서 교량에 사용된 재료, 부재의 물리적 상태를 처음 교량의 상태와 비교하여 얼마나 열화되었는지 나타내며 교량의 전체적인 상태를 나타내는 지표이다. 따라서 상태등급은 각 부재가 가지고 있는 다양한 결함과 열화를 포착할 수 있도록 다양한 정보로 구성되며



**Fig. 4** Flowchart of bridge inspection in Korea (MOLIT, 2019)

이를 바탕으로 교량 전체의 상태를 평가한다. 본 절에서는 교량의 유지관리 지표로서 사용되는 각국의 교량상태등급에 대하여 기술하도록 하겠다.

미국의 상태평가 방법은 지침의 발간 주체(AASHTO 와 FHWA)에 따라 차이가 있으나, 어떠한 기준으로 부재의 상태를 수집하더라도 교량유지관리시스템(Bridge Management System, 이하 BMS)상에서 수집된 NBE(National Bridge Elements, 이하 NBE) 상태자료를 바탕으로 교량의 상태정보를 제공할 수 있는 유연성을 가지고 있다. 특히 BMS에서는 중요한 부재를 CoRe Element로 지정하여 관리하고 있다 (AASHTO, 2019). 부재의 상태평가 결과는 FHWA 기준과 AASHTO 기준사이에서 변환할 수 있는 절차 또한 존재 한다. (AASHTO, 2019). 교량 부재의 상태평가는 Manual for Bridge Element Inspection(AASHTO, 2019), Bridge Inspection's Reference Manual(FHWA, 2012)에 규정된 절차에 따라 결정 된다. 위에서 언급된 CoRe elements는 AASHTO에서 각 DOT 간 BMS 상에서 정보를 교환하기 위해 지정한 부재 및 분류기준이며 NBE는 교량에서 하중을 전달하는, 중요한 1차 부재들의 목록이다(AASHTO, 2019). 교량의 구성 부재중에서 중요한 1차 부재의 상태정보는 FHWA에서 관리되는 BMS의 NBI(National Bridge Inventory)로 넘겨져 교량 전체의 등급이 결정된다. 교량 구성부재 중에서, 바닥판, 상부구조, 하부구조의 상태를 0에서 9까지 10개의 단계로 나누고 있으며 각 등급에 대한 교량상태를 Table 4에 정리 하였다. Bridge Inspection's Reference Manual(FHWA, 2012)기준으로, 교량의 상태등급이 4등급 이하로 나타나면 교체를 위한 근거로 사용되며 이를 위한 자금마련, 계획수립이 시작된다. 그러나 한정된 예산, 선행 건설프로젝트, 더 우선순위를 가지는 문제의

해결로 인해 3등급 이하의 교량도 자주 나타난다. 그러나 4등급 이하 교량의 교체는 강제 사항이 아니라 권고사항이다.

FHWA에서 유지관리 정책 단계에서 교량을 평가하는 방법으로 SR(Sufficiency Rating, 이하 SR)지표를 사용한다. SR은 미국 FHWA에서 사용하는 교량의 유지관리지표로서 교량이 아직 사용가능한지를 나타내는 정량적인 지표이다. 미국의 BMS인 Pontis에서 교량의 상태는 Table 4에 나타난 바와 같이 NBI Condition Rating(이하 NBI Rating)을 통해 평가한다. 그러나 NBI Rating은 교량의 상태만을 나타낼 뿐, 안전성, 사용성, 기능성과 같은 서비스 수준을 나타내지는 못한다. 하지만 SR은 이러한 서비스 수준까지 포함한다. SR은 교량이 최상의 서비스 수준일 때 100%, 최악의 서비스 수준일 때 0%로 나타내며 다음 식으로 표현 된다(FHWA, 1995).

$$SR = S_1 + S_2 + S_3 - S_4 \quad (1)$$

여기서,  $S_1$ 은 구조적인 상태 및 안전성을 나타내며 SR에서 최대 55%의 비율을 차지한다.  $S_2$ 는 사용성 및 기능성의 감소를 평가하는 항목으로 최대 30%의 비율을 차지한다.  $S_3$ 은 공공 필수성 항목을 평가하며 최대 15%를 차지한다.  $S_4$ 는 교량의 구조형식, 안전성에 따른 감소계수로 최대 13%를 차지한다.  $S_4$ 는 감소계수로서 우회로 길이, 교량형식, 교통안전시설 상태에 따라 결정된다. SR은 유지관리지표로서의 장점을 여럿 갖추고 있다. 교량의 구조적이면 뿐만 아니라 사용성 그리고 공공의 서비스를 위해 필요한 사항 또한 고려하고 있다. SR의 계산에 필요한 모든 자료는 BMS에서 얻을 수 있으며 관리자의 주관적 판단이 필요한 항목이 없으므로 BMS상에서 자동으로 계산이 가능하다. 미국에서 교량의 유지관리 및 개축

**Table 4** NBI condition rating (FHWA, 1995)

State	Condition	Descriptions
9	Excellent	A new bridge.
8	Very good	No problems noted.
7	Good	Some minor problem.
6	Satisfactory	Structural elements show some minor deterioration.
5	Fair	All primary structural elements are sound but may have minor section loss, deterioration, spalling or scour.
4	Poor	Advanced section loss, deterioration, spalling, scour.
3	Serious	Loss of section, etc. has affected primary structural components; Local failures are possible. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present.
2	Critical	Advanced deterioration of primary structural elements. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present or scour may have removed structural support. Unless closely monitored it may be necessary to close the bridge until corrective action is taken.
1	Imminent failure	Major deterioration or loss of section in critical structural components or obvious vertical or horizontal movement affecting structural stability. Bridge is closed to traffic but corrective action may allow it to be returned to light service.
0	Failed	Out of service. Beyond corrective action.

을 계획할 때는 SR을 바탕으로 교량이 요구되는 기능을 만족하는지 평가하게 된다. 만일 SR이 80점 이하라면 보수보강을 위한 예산배정을 시작하며 50점 이하의 교량은 개축을 위한 자원할당을 시작하도록 권고하고 있다(FHWA, 2012). 즉, 미국은 교량의 상부구조, 하부구조 및 교량 바닥판의 상태는 NBI Rating을 통해 나타내고 있다. 정책적 단계, 교량의 보수·보강, 개축과 같은 유지관리 정책 의사결정 단계에서는 SR을 사용하고 있다. 특히 SR은 교량의 구조적인 성능뿐만 아니라 사회적, 기능적인 항목까지 포함하고 있으므로 교량의 상태를 포괄적으로 잘 표현하고 있다고 판단된다.

영국은 주기적으로 시행되는 정밀점검(Principal inspection, see Table 3)의 결과를 정량화하여 유지관리지표로 활용하고 있다. 정밀점검 시 점검자의 육안점검을 통해 기록되는 교량의 결함의 규모(Extent)는 A~E로 평가하며 결함의 심각성(Severity)은 1~5로 평가 한다(Table 5).

결함의 규모 및 심각성에 대한 점수는 BMS에 입력 관리된다. 교량부재별 가중치를 고려하여 교량상태성능지수(BCPI, Bridge Condition Performance Indicator in Table 6)로 환산하

**Table 5** Bridge condition rating system in UK (Highways England 2021(a); Highways England 2021(b))

	State	Descriptions
Extent	A	No significant defect.
	B	Slight, not more than 5% of surface area/length/member.
	C	Moderate, 5% - 20% of surface area/length/number.
	D	Wide, 20% - 50% of surface area/length/number.
	E	Extensive, more than 50% of surface area/length/number.
Severity	1	As new condition or defect has no significant effect on the element (visually or functionally).
	2	Early signs of deterioration, minor defect/damage, no reduction in functionality of element.
	3	Moderate defect/damage, some loss of functionality could be expected.
	4	Severe defect/damage, significant loss of functionality and/or element is close to failure/collapse.
	5	The element is non-functional/failed.

**Table 6** BCPI (Bridge Condition Performance Indicator) in UK (ATKINS, 2002)

BCPI Value	Condition
$90 \leq BCPI \leq 100$	Very good
$80 \leq BCPI < 90$	Good
$65 \leq BCPI < 80$	Fair
$40 \leq BCPI < 65$	Poor
$0 \leq BCPI < 40$	Very poor

여 교량의 상태평가를 실시한다(Highways England 2021(a); Highways England 2021(b)).

일본의 경우는 교량의 상태를 계량화 하여 구간에 따라 교량의 상태를 결정하는 것이 아니라 점검 시 발견된 손상의 정도에 따라 교량의 상태를 결정 한다(Table 7).

이를 대책구분(對策区分)이라 하며 대책구분에 따라 손상에 대한 대책 실행의 긴급성이 결정 된다. 교량부재 손상 대책에 대한 긴급성이 결정되면 대책의 수준은 교량의 건전성에 의해 결정 된다(Table 8). 부재 단위의 건전성 진단은 주목하는 부재와 손상이 도로교의 기능에 미치는 영향의 관점에서 실시한다. 일반적으로 교량손상에 대한 후속조치는 ‘대책구분’과 ‘건전성’의 조합으로 이루어진다.

국내의 경우 교량의 상태평가는 결함도 점수(Damage Index, DI)를 사용한다. 식 (2)와 같이 산정 한다(MOLIT, 2019). 상태평가는 재료시험 및 점검자의 육안조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 세부지침의 상태평가 기준에 따라 실시한다(MOLIT, 2019).

**Table 7** Maintenance urgency rating for the bridge element in Japan (MLIT, 2014)

State	Descriptions
A	No repair needed.
B	No immediate repairs needed.
C1	Immediate repairs needed from standpoint of preventative maintenance.
C2	Immediate repairs needed from standpoint of structural safety.
E1	Immediate actions needed from standpoint of structural safety.
E2	Immediate actions needed in tandem with other factors.
M	Repairs needed during regular maintenance work.
S1	In-depth investigation needed.
S2	Follow-up investigations needed.

**Table 8** Bridge soundness in Japan (MLIT, 2014)

State	Condition	Descriptions
I	Good	No problems in bridge's functions.
II	Preventative Maintenance	No problems in bridge's functions but maintenance required from standpoint of preventative maintenance.
III	Early action	Possibility of problems in bridge's functions, need for early action.
IV	Emergency action	Possibility of problems or existing problems in bridge's functions, need for emergency actions.

$$DI = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n CR_i \times WF_i \quad (2)$$

여기서,  $WF_i$ : 부재별 가중치 (단,  $\sum_{i=1}^n WF_i = 100$ )

$CR_i$ : 부재 평균 상태 등급

각 부재의 상태평가 기준은 세부지침(MOLIT, 2019)에 설명되어 있다. 유지관리 절차에 의해 교량의 상태등급은 A에

**Table 9** Damage Index (DI) for bridge condition rating in Korea (MOLIT, 2019)

State	Condition	Descriptions
A	$0 \leq DI < 0.13$	Perfect, no problems.
B	$0.13 \leq DI < 0.26$	Minor problems in primary elements, need for small repairs for improvement in durability.
C	$0.26 \leq DI < 0.49$	Minor problems in primary elements or extensive problems in secondary elements, need for repairs in primary elements or of rehabilitation of secondary elements.
D	$0.49 \leq DI < 0.79$	Problems in primary elements, need for emergency repairs/rehabilitation.
E	$0.79 \leq DI$	Serious problems in primary elements, out of service, need for rehabilitation or replacement.

서 E까지 5개 등급으로 구분 한다(Table 9). 앞에서 설명한 상태등급에 따른 교량의 사용제한에 따르면 교량의 사용제한이 E등급에서는 즉각적이고 강제적으로 이루어지며 D등급에서 사용제한여부를 검토하는 수준이다.

Table 10은 연구대상 국가의 교량유지관리지표를 정리하였다. 여기서 동일한 행에서 보여주고 있는 국가 간의 상태평가는 반드시 교량의 상태가 동일하다는 것을 의미하는 것은 아니라 상대적으로 비교가 가능하다는 의미이다. 미국의 NBI ratings은 매우 상세하게 교량의 상태를 구분하고 있어 여기 비교에서는 NBI ratings을 기준으로 대상국가간의 유지관리 지표를 비교하였다. 교량의 유지관리 지표 기능은 (1) 교량의 물리적인 상태, (2) 교량의 상태에 따른 유지관리 활동 그리고 (3)사회경제적 영향으로 그 기능을 구분할 수 있다. 일본을 제외한 미국(NBI ratings, SR), 영국(BCPI), 한국(DI)의 유지관리 지표는 교량의 물리적인 상태를 정량적으로 보여주고 있으며 일본(Soundness)은 교량상태에 따른 필요한 유지관리 활동을 보여주는 차이가 있다. 그리고 미국의 SR지표의 경우 교량의 사회·경제적인 영향을 교량의 상태평가에서 고려하고 있다. 정량적인 값으로 산정되는 유지관리 지표의 경우(예, NBI ratings, SR, BCPI, DI 등)는 교량의 유지관리 활동 일정 및 예산 배정 결정에 매우 유용할 것으로 판단된다. 반면 일본의 유지관리지표(Soundness)는 교량의 상태에 따른 필요한

**Table 10** Comparisons of condition ratings of four countries: U.S., UK, Japan, and Korea (FHWA, 2012; ATKINS, 2002; MLIT, 2014; MOLIT, 2019)

Descriptions	U.S.	UK	Japan	Korea
	NBI ratings <sup>1</sup>	BCPI <sup>2</sup>	Soundness <sup>3</sup>	DI <sup>4</sup>
A new bridge	9	Very Good	I	A
No problem noted	8	( $90 \leq BCPI \leq 100$ )		
Some minor problem	7	Good		B
Structural elements show some minor deterioration	6	( $80 \leq BCPI < 90$ )	II	
All primary structural elements are sound but may have minor section loss, deterioration, spalling or scour.	5	Fair		C
Advanced section loss, deterioration, spalling, scour	4	( $65 \leq BCPI < 80$ )		
Loss of section, etc. has affected primary structural components. Local failures are possible. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present.	3			
Advanced deterioration of primary structural elements. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present or scour may have removed structural support. Unless closely monitored it may be necessary to close the bridge until corrective action is taken.	2	Poor	III	D
		( $40 \leq BCPI < 65$ )		
Major deterioration or loss of section in critical structural component or obvious vertical or horizontal movement affecting structural stability. Bridge is closed to traffic but corrective action may put back in light service.	1	Very poor	IV	E
		( $0 \leq BCPI < 40$ )		
Out of service. Beyond corrective action	0			

<sup>1</sup>Bridge Inspector's Reference Manual, 2012

<sup>2</sup>CSS Bridge Condition Indicators, Volume 3: Evaluation of Condition Indicators, 2002

<sup>3</sup>Guideline and Commentary for Safety Inspection and In-depth Safety Inspection for Structures-Bridge, 2019

<sup>4</sup>Manual for Bridge Periodic Inspection, 2014

유지관리 활동이 즉시 결정되므로 의사결정에 따른 소요시간을 단축할 수 있다.

모든 유지관리의 시작은 점검자의 육안검사로부터 시작된다. 점검자의 의해 시행되는 육안검사 결과는 점검자의 주관적인 견해로부터 벗어날 수 없다. 따라서 객관적이고 효율적인 교량의 상태평가 위해서는 영상기반교량점검방법과 같은 점검자의 주관에 배제될 수 있는 방법도입이 필요할 것으로 판단된다. 또한 교량의 물리적인 상태뿐만 아니라 교량의 경제적인 유지관리를 위해서는 교량 부재의 경제적인 가치, 교량의 사용성, 기능성을 고려한 지표개발을 통해 교량의 사회·경제적 가치를 유지관리프로그램에 반영하는 것이 필요하다.

#### 4. 보수·보강 공법: 단면복구, 균열보수

유지관리 절차에 의해 교량의 상태가 평가되며 이를 근거로 교량의 유지관리 활동(보수·보강)이 결정이 된다. 콘크리트 교량의 대표적인 보수공종으로 열화된 콘크리트 단면을 제거하고 원래의 형상에 따라 단면을 교체하는 단면복구와 균열부위를 보수재로 채우는 균열보수가 있다. 본 절에서는 대표적인 보수공종인 단면복구공법과 균열보수공법에 대해 대상국가간 비교를 하도록 하겠다. 대상국가간 보수공종 비교 시 사용한 문헌은 Table 11에 요약정리 하였다.

##### 4.1 단면복구공법

###### 4.1.1 단면복구 재료 성능기준

열화 된 콘크리트 구조물의 단면복구는 발견된 결함의 원인과 기타 조건을 고려하여 가장 적절한 재료, 공법, 시기를 선정해야 한다. 특히 단면복구공사에 적용되는 재료는 역학적 성능, 적합성능, 내구성능, 시공성능, 미적성능, 환경부화 및 지속가능성 등이 요구 된다(KISTEC, 2012). 이 중에서도 서로 다른 재료의 부착을 통해 열화 된 콘크리트 단면을 재건

하는 공사인 단면복구공사는 역학적 성능, 적합성능, 및 내구성능을 중요하게 고려해야 할 것으로 판단한다. 본 장에서는 국가별 단면복구공사 재료의 요구성능을 조사 비교하였다.

Table 12는 대상 국가의 콘크리트 단면복구 재료에 대한 기준을 정리 한 것이다. 영국은 구조용 복구재료로 사용되는 높은 압축강도를 가진 ‘Class R4’(≥ 45.0 MPa)와 ‘Class R3’(≥ 25.0 MPa)를 기준으로 비교하였다. 미국은 단면복구 공사 시 참고할만한 실험값을 나머지 국가는 기준값을 제시하고 있다. 비교 대상국가 모두 동일하게 압축강도 및 부착강도에 관련된 역학적 성능 규정이나 수치를 제공하고 있으며 나머지 재료 물성치(내구성능 또는 적합성능) 제시 여부는 국가별로 상이하였다.

국내는 한국산업표준으로 단면복구재료의 재료성능 기준을 제공하고 있다. 예를 들어 KS F 4042는 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르 재료 성능 기준을 제공하고 있으며 KS F 4043은 콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지 모르타르 재료의 성능 기준을 규정하고 있다. 따라서 한국산업표준에 따라 성능검증을 마친 재료들만 시중에 유통되므로 단면복구재료의 성능 문제는 없을 것이라 예상된다. 다만 단면복구공사 후 보수된 구조물의 구조성능(예, 계면의 부착강도 등)에 대한 규정은 없는 것으로 조사 되었다. 구조성능 중 부착강도의 경우 국외 기준(미국, 영국, 일본)은 국내에 비해 1.5~2.0배 높게 규정하고 있다. 따라서 국내 부착강도의 기준을 국제 기준 평균에 맞게 상향을 고려할 필요가 있다. 적합성능 중 길이변화율(Length Change in Table 12) 항목의 경우는 국내와 미국이 고려하고 있다. 하지만, 국내 기준은 미국 기준에 비해서 팽창의 경우 7.5배 크며 수축의 경우 3.0배 크게 설정을 하고 있어 적합성능의 저하가 우려가 된다. 적합성능 저하는 단면복구재료와 모재사이의 부착성능저하를 유발하여 일체거동을 제한할 수 있다. 따라서, 실험을 통해서 적절한 길이변화율 값을 제한할 필요가 있을 것으로 판단된다.

**Table 11** Manuals and guides used to repair and rehabilitate bridges in four countries (ACI, 2014; ACI 2006; ACI 2013; ICRI 2013; BS 2005; PWRI 2014; KEC 2019; KISTEC 2012)

Nation	Publisher	Document
U.S.	ACI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ACI 546R-14 Guide to concrete repair, 2014</li> <li>• ACI 546.3R-06 Guide for the selection of materials for the repair of concrete, 2006</li> <li>• ACI 562M-13 Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings and Commentary, 2013</li> </ul>
	ICRI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concrete Repair Manual 4<sup>th</sup> edition, 2013</li> </ul>
UK	BS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EN-1504 Products and systems for the protection and repair of concrete structures-Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity, 2005</li> </ul>
Japan	PWRI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual for repair and rehabilitation of concrete Structure, 2014</li> </ul>
Korea	KEC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guide for maintenance of expressway bridges, 2019</li> </ul>
	KISTEC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guide for repair and rehabilitation of structure (bridge and tunnel). 2012</li> </ul>



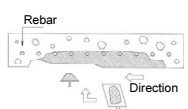
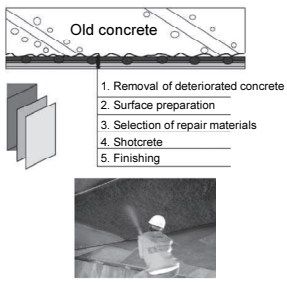
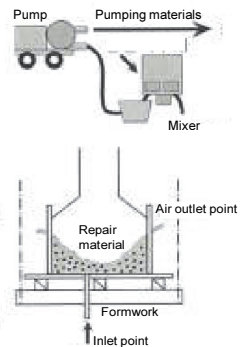
**Table 12** Performance requirements of repair materials (ACI 2006; BS 2005; PWRI 2014; KS 2012)

	U.S.**	UK			Japan	Korea	
		Condition	R4	R3		Polymer Cement Mortar	
Flexural Strength (MPa)	7/28 days: 3.4~17.0				-	≥ 6.0	
Compressive Strength (MPa)	28 days: 21~85		≥ 45.0	≥ 25.0	Use 28-day compressive strength as a quality check index		≥ 20.0
Bond Strength (MPa)	1 day: 0.48~1.0	Standard	≥ 2.0	≥ 1.5	Standard	≥ 1.5	Standard ≥ 1.0
	2 days: 1.0~1.7	Freeze-thaw	≥ 2.0	≥ 1.5	1 year exposure test or Dry/Wet test	≥ 1.5	
	28 days: 1.7~2.1	Thunder shower	≥ 2.0	≥ 1.5	Underwater durability test	≥ 1.0	Freeze-thaw ≥ 1.0
Modulus of Elasticity (MPa)	-		≥ 20.0		-	-	
Freeze-Thaw (DF)	28 days: 80~100		-		-	-	
CTE* (/°C)	25×10 <sup>-6</sup>	Not required if thermal compatibility is carried out, otherwise declared value.			-	-	
Length Change (%)	-0.05(contraction) ~+0.02(expansion)		-		-	≤± 0.15	
Shrinkage (%)	0.05~0.15		-		-	-	

\*CTE: Coefficient of Thermal Expansion

\*\* Test values

**Table 13** Methods for concrete repairs (KISTEC 2012)

Methods	Descriptions
 <p>Trowel</p>	<p>Trowels or other suitable placing tools are used to transport the repair material to the prepared substrate.</p>
 <p>Shotcrete</p>	<p>Repair material is placed dry or slightly damp into shotcrete machine and mixed with compressed air. The mixture is transported via hose to the exit nozzle where water and admixtures.</p>
 <p>Formwork and cast-in-place</p>	<p>The placement of repair material into a confined space with formwork defining all exposed boundaries. Repair materials are deposited into the formwork and consolidated by rodding or conventional vibration.</p>

#### 4.1.2 단면복구공법

조사 대상국가에서 콘크리트 단면복구를 목적으로 사용되는 공법을 Table 13에 정리하였다.

단면복구공법은 열화 콘크리트 특정부위에 적용하는 공법으로 열화부위를 제거하고 단면복구재를 시공하여 원래 성능 및 형상치수로의 복원을 목적으로 한다. 표에 따르면 대상국가에서 사용되는 단면복구공법은 미장공법(Trowel), 뿔칠공법(Shotcrete), 충전공법(Formwork and cast-in-place)을 공통으로 사용하고 있다. 미국의 경우는 현장여건에 따라 사용도구, 방법, 재료형태 등을 변형하여 사용하고 있었다(ICRI, 2013). 세 가지 공법에 대한 각각의 설명은 Table 13에 정리하였다. 대상국가 모두 단면복구공법으로 미장공법, 뿔칠공법, 충전공법을 공통으로 사용하고 있는 것으로 보아 언급한 공법은 단면복구공법으로서 적합성, 시공성, 복구성능은 충분히 보유하고 있는 것으로 판단된다.

#### 4.2 균열보수공법

##### 4.2.1 균열보수 재료 성능기준

균열보수공법에 사용하는 재료는 사용하는 공법에 따라 재료를 구분할 수 있다. 크게 수지계, 시멘트계로 분류할 수 있으며 그 선정에 있어서는 균열보수재의 특징을 고려한다.

미국은 균열보수용 재료에 대한 기준은 없는 것으로 조사

**Table 14** Performance requirements for crack repair materials (epoxy resin) in U.S. (ACI, 2006)

Properties	Test value	Recommended value
Tensile strength	28~55 MPa	> 35 MPa
Compressive strength	35~105 MPa	> 21 MPa
Shear strength	17~70 MPa	> 14 MPa
Gel time	5~180 min.	> 30 min.
Deflection Temperature	43~71 °C	> 49 °C
Elongation	1~10%	< 10%

**Table 15** Performance requirements for crack repair materials in UK (BS, 2005)

Properties	Requirements	
Tensile bonding strength (H, P)	> 2 MPa (H) Cohesive failure in the substrate (P)	
Force transmitting	Volume change (H, P)	-1% (contraction) ~+5% (expansion)
	Bleeding (H)	< 1% after 3 hours
	Glass transition temperature (P)	> 40 °C
	Chloride content (H)	< 0.2%
Ductile filling	Adhesion (P)	Declared value
	Elongation (P)	> 10%
	Watertightness (P)	Watertight at 0.2 MPa
	Glass transition temperature (P)	For information
Swelling fitted filling	Watertightness (P)	Watertight at 0.2 MPa

H: Crack repair product formulated with reactive hydraulic binder.  
P: Crack repair product formulated with reactive polymer binder.

**Table 16** Korean standards for crack repair materials according to methods (KEC 2019)

Methods	Korean Standards
Surface coatings	KS F 4930 Penetrating water repellency of liquid type for concrete surface application
	KS F 4936 Coating materials for the protection of concrete
	KS F 4919 Cement-polymer modified waterproof coatings
	KS F 4922 Polyurea resin waterproofing membrane coating
Injection	KS F 4923 Epoxy adhesives for repairing in concrete structure
Filling	KS F 4042 Polymer modified cement mortar for maintenance in concrete structure
	KS F 4043 Epoxy resin mortar for restoration in concrete structure

되었다. 다만 균열보수공사 시 재료선택 및 사용 가능한 권장 재료물성치 가이드라인을 ‘ACI 546.3R-06 Guide for the

selection of materials for the repair of concrete’을 통해 제공하고 있으며 Table 14에 정리하였다.

영국의 경우 균열보수를 위한 시공으로 균열피복공법(Surface coatings), 주입공법(Injection)을 사용하고 있다. 주입공법은 균열충전 목적 및 효과를 기준으로 하중전달(Force transmitting filling of cracks), 연성거동(Ductile filling of cracks), 팽창효과(Swelling fitted filling of cracks)등으로 구분한다. 기준에 따르면 각각의 목적 및 효과를 달성하기 위한 재료성능기준을 Table 15에 정리하였다.

일본의 경우 균열보수 후 보수부위 누수재발이나 균열충전 재료의 재박리 사례가 많아져서 적절한 재료선택이 이루어지지 않고 있다고 보고되고 있다(PWRI, 2014). 이에 일본의 경우 균열보수용 재료에 대한 재료성능을 규정하기 보다는 균열 보수된 구조물의 구조성능을 규정하여 이를 만족하는 재료를 선택하도록 하고 있다. 예를 들어 “균열복구공법 및 균열복구재의 선정은 대상콘크리트 구조물의 보수 후 요구성능을 만족하도록 하여야 한다”라고 기술되어 있다.

국내의 경우 콘크리트 균열보수공사에서 사용하는 재료는 균열보수 공법에 따라 한국산업표준(KS, Korean Standards)에서는 재료기준을 Table 16와 같이 규정하고 있다.

한국산업표준에 따르면 균열피복공법(Surface coatings), 균열주입공법(Injections), 균열충전공법(Fillings) 및 균열의 진행 정도, 균열의 크기, 철근의 부식여부등에 따라 다양하게 균열보수 재료를 선택할 수 있다(KEC, 2019).

일반적으로 콘크리트 교량의 균열보수라고 함은 주입공법이라고 할 수 있다(KEC 2019). 따라서 본 연구에서는 주입공법에 사용되는 재료에 대해서 간단하게 기술하도록 하겠다. 주입공법에 사용되는 재료를 크게 분류하게 되면 합성수지계와 시멘트계로 구분할 수 있다. 강성회복 및 균열의 완전 충전등을 고려하면 대표적인 균열보수 재료는 에폭시 수지가 있다. 한국산업표준에서 규정하고 있는 중점도형 에폭시 수지 재료에 대한 재료 물성치 요구사항은 Table 17과 같다. 에폭시 수지는 신장률에 따라 경질형(Hard epoxy)과 연질형(Soft epoxy)으로 구분하며 점성에 따라 저점도형, 중점도형, 고점도형으로 구분한다. 콘크리트 균열보수에 사용되는 경질형과 연질형 에폭시수지의 경우는 균열의 거동에 따라 사용기준을 구분할 수 있다. 비진행성 또는 균열거동이 미약한 경우는 경질형 에폭시 수지를 사용하며 진행성 균열일 경우는 연질형 에폭시 수지를 사용한다(KS 2021). 콘크리트 균열의 경우는 저점도와 중점도 수준의 에폭시 수지를 사용하며 고점도의 에폭시 수지는 큰 균열 및 들뜸의 보수에 사용 된다(KS 2021).

조사 대상 국가들 간의 콘크리트 균열보수용 재료에 대한 규정을 비교하였다. 한국은 보수공법에 따른 균열보수재료에 대하여 재료성능 요구사항을 한국산업표준으로 규정하고 있

**Table 17** Performance requirements for crack repair materials (normal viscous epoxy) in Korea (KS 2021)

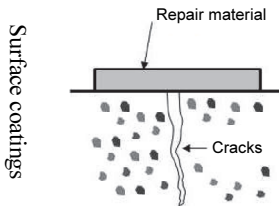
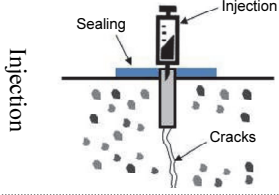
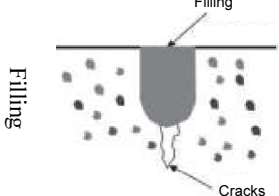
Properties		Conditions	Requirements
Hard epoxy	Bonding strength	Standard	≥ 6.0 MPa
		Low temp.	≥ 3.0 MPa
		Wet	≥ 3.0 MPa
		Dry/Wet cycles	≥ 3.0 MPa
	Tensile strength	Standard	≥ 15 MPa
Elongation	Standard	≤ 10 %	
Soft epoxy	Bonding strength	Standard	≥ 3.0 MPa
		Low temp.	≥ 1.5 MPa
		Humid	≥ 1.5 MPa
	Tensile strength	Dry/Wet cycles	> 1.5 MPa
		Standard	≥ 1.0 MPa
Elongation	Low temp.	≥ 1.0 MPa	
	High temp.	≥ 1.0 MPa	
	Standard	≥ 50 %	
Elongation	Low temp.	≥ 50 %	
	High temp.	≥ 50 %	

다. 반면 영국의 경우는 균열보수공법의 종류별 (예, 하중전달, 연성거동, 팽창효과) 특성을 반영한 재료의 요구성능을 규정하고 있었다. 미국의 경우는 균열보수 공사 시 참고할만한 실험값 및 권장값을 다양한 재료군에 대하여 제공하고 있었다. 일본은 균열보수재료에 대한 재료성능 요구치를 제공하기 보다는 보수된 구조물의 구조성능을 규정하여 이에 부합하는 재료를 선택하도록 하고 있다. 국내는 규정중심설계 방법을 따라 재료별로 요구 성능을 규정하고 있다. 반면 국외는 성능중심 설계에 따라 공법에 따른 재료의 요구 성능을 규정하거나 보수된 구조물의 요구구조성능을 규정하고 있다. 외국의 사례와 같이 국내도 성능중심설계에 기반 하여 균열 보수된 구조물의 성능이 요구성능에 부합하도록 균열 보수재료의 요구성능을 규정하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

#### 4.2.2 균열보수공법

균열보수공법은 콘크리트 구조물에 균열이 발생한 경우 균열을 보수하는 목적으로 시행하는 공법이다. 탄산화, 염화물 침투 등에 의한 콘크리트 피복의 전면적인 열화에는 본 공법을 적용하지 않으며 균열, 균열부의 철근부식, 균열부의 누수, 체수·백태에 대해서 보통 사용한다. 균열보수는 크게 균열피복공법(Surface coatings), 균열주입공법(Injection), 균열충전공법(Fillings)으로 나누며 조사 대상국가에서 사용하는 균열 보수공법도 이 세 가지의 공법과 거의 동일하였다. 조사 대상 국가별 균열보수를 목적으로 사용되는 공법을 Table 18 에 정

**Table 18** Methods for crack repairs (KISTEC 2012)

Methods	Descriptions
	<p>The method is the treatment of concrete to reduce surface porosity and to strengthen the surface. The pores and capillaries are partly or totally filled.</p>
	<p>The method is the injection materials such as epoxy which, when injected into a concrete structure, restore the structural integrity and/or durability.</p>
	<p>This method is used for filling slots cut for repair of cracks. This method can fall into two types according to reinforcement states.</p>

리 하였다. 대상국가 모두 균열보수공법으로 균열피복공법, 균열주입공법, 균열충전공법을 공통으로 사용하고 있다. 이와 같은 공법이 균열보수공법으로서 적합성, 시공성, 균열보수성능을 충분히 보유하고 있는 것으로 판단된다.

## 5. 결론

국내 교량의 급속한 노후화는 이미 예견되고 있으며 이를 위해 효과적인 교량유지관리가 필요하다. 본 논문은 국내와 해외 교량 유지관리 선진국(미국, 영국, 일본)에서 실행되고 있는 교량유지관리활동(점검 및 보수공사)을 국내·외 교량유지관리활동과 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 조사 국가 간의 교량유지관리 프로그램의 상당부분은 유사 하였으나 유지관리지표 산정에서는 차이점이 존재하였다. 이는 국가 별 설계기준, 재료 품질, 시공 수준, 품질관리 수준, 유지관리수준(인식, 점검수준, 예산 등) 차이에 기인한 것으로 판단된다. 국내 유지관리 지표의 경우 교량의 물리적인 상태만을 점검자의 육안검사를 통해 정량적으로 평가한다. 교량의 경제적인 유지관리를 위해서는 국외 사례와 같이 교량 부재의 경제적인 가치, 교량의 사용성, 기능성을 고려한 지표개발을 통해 교량의 사회·경제적 가치를 유지관리프로그램에 반영하는 것이 필요하다.
- 2) 조사 대상국가 모두 단면복구공법으로 미장공법, 뿔칠

공법, 충전공법을 공통으로 사용하고 있었다. 단면복구 재료 성능기준에 대해서는 외국과 비교하였을 경우 대표적인 역학성능 중 하나인 부착강도는 상대적으로 낮게(1.5~2.0배 ↓), 적합성능 중 하나인 길이변화율은 상대적으로 높게(1.5~2.0배 ↑) 규정하고 있었다. 따라서, 국제기준에 맞게 이 항목에 대해서는 조정이 필요할 것으로 판단된다.

- 3) 조사 대상국가 모두 균열보수공법으로 균열피복공법, 균열주입공법, 균열충전공법을 공통으로 사용하고 있었다. 균열보수공법의 재료 성능기준의 경우 국내는 균열보수용 재료별 요구성능을 한국산업표준으로 규정하였다. 국외(예, 영국과 일본)의 경우 성능중심설계에 기반하여 공법에 따른 재료별 요구 성능을 요구하거나 보수된 구조물의 요구구조성능을 요구하고 있다. 따라서 국내의 경우도 성능중심설계에 기반한 보수설계를 위해서는 구조물의 요구성능에 부합하는 보수재료의 성능을 규정하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1C1C1014370).

## References

1. AASHTO (2019), Manual for Bridge Element Inspection, American Association of State Highway Officials, Washington DC, U.S.
2. ACI (2006), ACI 546.3R-06 Guide for the Selection of Materials for the Repair of Concrete, American Concrete Institute, Detroit, U.S.
3. ACI (2013), ACI 562M-13 Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings and Commentary, American Concrete Institute, Detroit, U.S.
4. ACI (2014), ACI 546R-14 Guide to concrete repair, American Concrete Institute, American Concrete Institute, Detroit, U.S.
5. ASCE (2021), Report card for american's infrastructure-Bridge, American Society of Civil Engineers, Reston, U.S.
6. ATKINS (2002), CSS Bridge Condition Indicators, Volume 3: Evaluation of Condition Indicators, County Surveyors' Society, Lincoln, England.
7. BS (2005), EN-1504 Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures-Definitions, Requirements, Quality Control and Evaluation of Conformity, British Standards, London, England.
8. Kennedy, C., 2020 (2020), 4,000 of UK's Busiest Road Bridges are in 'poor' Condition, *New Civil Engineer*.  
https://www.newcivilengineer.com/latest/4000-of-uks-busiest-road-bridges-are-in-poor-condition-04-12-2020/
9. FHWA (1995), Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridge, Federal Highway Administration, Washington DC, U.S.
10. FHWA (2012), Bridge Inspector's Reference Manual, Federal Highway Administration, Washington DC, U.S.
11. Highways England (2021(a)), CS450 Inspection of Highway Structures, Highways England, Birmingham, England.
12. Highways England (2021(b)), CS454 Assessment of Highway Bridges and Structures, Highways England, Birmingham, England.
13. ICRI (2013), Concrete Repair Manual 4th edition, 2013, International Concrete Repair Institute, Minnesota, U.S.
14. Jeong, Y., Kim, W., Lee, I., and Lee, J. (2016), Bridge Life Cycle Cost Analysis of Preventive Maintenance, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 20(6), 1-9 (in Korean)
15. KEC (2016), Development of Maintenance Index for the Bridge Service Life to 100 years, Korea Expressway Corporation, Gimcheon, South Korea. (in Korean)
16. KEC (2019), Guide for Maintenance of Expressway Bridges, Korea Expressway Corporation, Gimcheon, South Korea. (in Korean)
17. KEC (2020), Performance Investigation and Improvement Measures for Concrete Section Restoration Work. Korea Expressway Corporation, Gimcheon, South Korea. (in Korean)
18. KISTEC (2012), Guide for Repair and Rehabilitation of Structure (bridge and tunnel), Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation, Jinju, South Korea. (in Korean)
19. KOSIS (2021), Status of the Nation's Bridges and Tunnels in Republic of Korea, Korea Statistical Information Service, Sejong, South Korea. (in Korean)
20. KS (2012), KS F 4042, Polymer Modified Cement Mortar for Maintenance in Concrete Structure, Korean Standards & Certifications, Eumseong, South Korea. (in Korean)
21. KS (2021), KS F 4923, Epoxy Adhesives for Repairing in Concrete Structure, Korean Standards & Certifications, Eumseong, South Korea. (in Korean)
22. MLIT (2013), White Paper on Land, Infrastructure, Transportation, and Tourism in Japan, Ministry of Land, Infrastructure, Transportation, and Tourism, Tokyo, Japan.
23. MLIT (2014), Manual for Bridge Periodic Inspection, Ministry of Land, Infrastructure, Transportation, and Tourism, Tokyo, Japan. (in Japanese)
24. MOLIT (2012), Guideline and Commentary of Safety Inspection and In-depth Safety Inspection for Structures-Bridge. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Sejong, South Korea. (in Korean)
25. PWRI (2014), Manual for repair and rehabilitation of concrete Structure, Public Works Research Institute, Tsukuba, Japan. (in Japanese)

Received : 08/25/2021  
Revised : 09/08/2021  
Accepted : 09/27/2021

---

**요 지** : 본 논문은 국내·외 (미국, 영국, 일본, 한국)의 교량유지관리활동을 비교하였다. 교량은 물류 및 교통망에 있어 매우 중요한 역할을 하고 있다. 제한된 예산으로 시민에게 적절한 수준의 서비스를 제공하기 위해서는 효율적인 교량 유지관리 활동 (예, 점검 및 보수·보강)이 이루어져야만 한다. 1980년대 후반 급속한 경제 성장은 국내 사회기반 시설 증가로 이어졌고 교량의 개소수 또한 급속도로 증가 하게 하였다. 교량 증가와 함께 노후화 또한 최근 빠르게 진행되고 있으며 이러한 교량 노후화 속도는 교량 유지관리를 담당하고 있는 관리주체에게는 상당한 부담이 되고 있다. 다행이 이러한 과정을 이미 경험하고 있는 해외국가의 체계적이고 종합적인 교량 유지관리 체계는 국내 유지관리 체계에 상당한 시사점을 줄 수 있을 것이라 판단하다. 따라서, 본 연구의 목적은 교량유지관리 선진국 (예, 미국, 영국, 일본)에서 시행되고 있는 교량 유지관리활동을 비교 분석하여 국내 유지관리에 시사하는 점을 분석하였다.

**핵심용어** : 교량, 상태평가, 균열보수, 점검, 유지관리, 콘크리트 단면복구

---