

위험도 지수 기반 중소규모 교량 성능평가 우선순위 결정 방안 제안

이희현¹, 신병길^{2*}, 이영일³, 김영민⁴

Suggestion of Priority Decision Method for Performance Evaluation Based on Risk Index for Small and Medium Sized Bridges

Hee-Hyun Lee¹, Byoung-Gil Shin^{2*}, Yeong-Il Lee³, Young-Min Kim⁴

Abstract: This paper presents a methodology for priority decision of performance evaluation of small-and-medium-sized highway bridges. This methodology could be used for establishing a maintenance strategy of those bridges which are not liable to the law of the Special Act on the Safety Control and Maintenance of Establishments and are thought laid under blind spot. The risk index are calculated considering vulnerability and social influence, then the bridges are classified as three types, one requiring immediate evaluation, the other one requiring evaluation within next year, and the third one observing, according to the index. The suggested method was applied to a small bridge under service and its field applicability verified. From this study, it was judged that this methodology could be used appropriately for establishing maintenance strategy and saving the maintenance budget.

Keywords: Bridge, Maintenance strategy, Performance evaluation, Priority, Risk index, Vulnerability index, Social influence index

1. 서 론

성수대교 붕괴 이후, 1995년 1월 5일 「시설물의 안전관리에 관한 특별법(이하 ‘시특법’이라 한다.)」이 제정/공포됨에 따라 시설물의 안전관리에 대한 업무를 체계화하고 점검/진단과 유지관리를 전문적으로 수행할 수 있는 법적 체계를 구축하였다.

국토교통부에서는 20년 동안 관리·운영한 시특법을 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(이하 ‘시설물안전법’이라 한다.)」으로 전부개정(‘18.1.18 시행)하고 시설물 안전관리 범위를 3종으로 확대하고 1, 2종 평가체계를 성능중심형으로 전환하였다.

동법 시행령에서는 시설물 규모와 중요도에 따라 1, 2종을 구분하고 있으며 안전점검등, 성능평가의 실시방법 등에 관한 필요사항을 정하여 ‘시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침(이하 ‘지침’이라 한다)’을 고시하고 있다(MOLIT, 2018).

지침(KISTEC-1, 2019; KISTEC-2, 2019)에서 선언하고 있는 평가 수행방법은 ‘시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단편, 성능평가편)으로 관리하고 있으며 현장조사 및 각종 시험 등 시설물에 내재되어 있는 위험요인을 발견하고 이에 대한 적절한 보수·보강 및 조치방안 등을 제시함으로써 시설물의 안전을 확보하고 있다.

국내 1,2종 교량은 시설물편 세부지침에 따라 「시설물안전법」 체계에 의해 주기적으로 점검/진단/성능평가를 체계적으로 수행함으로써 효율적인 관리가 이루어지고 있다. 반면 1,2종에 포함되지 않은 교량은 관리의 사각지대에서 사고발생 위험에 노출되어 있다.

「시설물안전법」이 전부개정되면서 과거 「재난 및 안전관리 기본법」으로 관리하고 있던 중소규모 교량의 일부를 3종 교량(준공후 10년이 경과된 교량으로 「도로법」상 도로교량 연장 20m 이상 ~ 100m 미만 교량, 연장 100m 미만 철도교량 등)으로 지정하여 관리하도록 법제화 되었다. 그러나 1, 2, 3종에 포함되지 않은 교량(이하 ‘중소 규모 교량’이라 한다)은 관리 사각지대에서 재난발생 위험에 노출되어 있다.

한편, 2017년 12월 기준, 국내 공용 중인 도로교량 33,572개 중 1,2종 교량 9,667개 교량을 제외한 약 23,905개 교량(약 71.2%)(KICT and KISTEC, 2018)이 3종을 포함한 중소 규모의 교량이다.

관리주체가 지정한 3종 교량은 법체계에 의해 유지관리를

¹정회원, 씨티씨주식회사 대표이사

²정회원, 한국시설안전공단 시설성능연구원 과장

³정회원, 씨티씨주식회사 상무이사

⁴정회원, 한국시설안전공단 시설성능연구원 부장

*Corresponding author: bk3022@kistec.or.kr

Research Institute for Infrastructure Performance, Korea Infrastructure Safety Corporation, 24, Ena-ro 128beon-gil, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea

•본 논문에 대한 토의를 2019년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2020년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

수행하고 있으나, 대부분의 3종 이하 중소 규모의 교량은 관리주체의 인력부족 및 유지관리 예산부족 등의 문제로 인해 적절하고 체계적인 안전관리가 이루어지지 않은 실정이다.

이와 같은 현실적인 문제에 지속될 경우 Photo 1과 같은 사고가 발생될 가능성이 크다. 2018년 7월 발생한 PSC 슬래브 교(2@12.5m) 보도부 파손 사진이다(Engineer & Human, 2018). 또한 문헌(Duck-Yong Ryu et.al., 2013)에서는 중소규모 교량의 경우 중차량과 세굴에 의해 중소교량의 안전사고가 발생할 가능성이 높다. 따라서 사고를 미연에 방지하기 위해서는 중소규모 교량의 체계적인 안전관리 방안마련이 중요한 과제가 된다.

3종 이하 중소규모의 교량의 안전관리를 1, 2종 교량 평가 체계와 동일한 주기와 방법으로 수행한다면, 소요되는 예산 마련, 인력 지원/배치 등 국가 안전관리 정책을 운영하는 측면에서 쉽지 않다.

본 논문은 별도의 구조해석이나 현장조사 없이, 안전 사각 지대에 놓여 있는 중소규모 교량을 대상으로 네트워크와 프로젝트 레벨에서의 성능목표를 설정하고자 한다.

1차적으로 취약도, 영향도를 고려하여 위험도 기반 평가를 통해 네트워크 차원에서 우선순위를 산정하고, 즉각적인 평가를 요구되는 교량의 경우 2차적으로 일평균교통량(ADT, Average Daily Traffic)과 공용연수를 토대로 프로젝트레벨에서의 각 교량의 성능목표(안)를 제시하였다.

단기간에 교량의 안전성에 영향을 줄 수 있는 항목을 취약도(Vulnerability)로 정의하고, 장기간에 걸쳐 교량의 안전성을 위협하는 항목과 교량 폐쇄시 사회·경제적으로 미치는 영향항목을 영향도(Social Influence)로 정의하였다.

취약도와 영향도의 가중평균으로 위험도 지수(Risk Index)를 산출하여 평가 우선순위를 산정하는 방안을 제시하였으

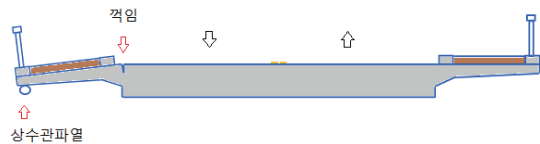


Photo 1 Rupture of Sidewalk at PSC Slab Bridge

며, 우선순위 선정방법 및 절차의 적정성을 확인하기 위하여 실 교량을 대상으로 2종 성능평가를 실시한 결과와 비교해 보았다.

2. 연구대상 교량 현황

시설물안전법에 의한 1, 2종 교량을 제외한 본 연구대상 교량의 정의는 Table 1과 같다. 연구대상 교량에는 3종 교량도 포함된다(MOLIT, 2018).

문헌(KICT and KISTEC, 2018)에 의하면, 2017년 12월 기준 33,572개 교량 중, 1, 2종 교량(9,667개)을 제외한 23,905개 교량이 본 논문의 대상 교량인데, 이들 교량 중 공용연수 30년 이상인 동시에 DB-18 이하로 설계된 교량도 2,849개 있어, 이들 교량의 안전관리가 중요함을 알 수 있다. 문헌(KOCED, 2016)에서는 공용연수 30년 이상이고 C등급 이하인 교량을 노후교량으로 정의하고 있다.

Table 2는 우리나라 도로교 설계기준 명칭과 바닥판 최소두께 규정 및 설계 트럭의 후륜 중량(Pr) 변천과정을 보여 준다.

이 표로부터 1977년 이전(준공 후 약 40년 경과)에는 1등급의 설계하중이 DB-18이고, 또한 바닥판 최소두께 규정도 현재와 비교하여 상당히 얇은 것을 알 수 있다. 이러한 사실로부터 바닥판에서 많은 손상이 발견되고 이로 인해 포장 파손도 빈번하다는 것을 다소 이해할 수 있다. 그러므로, 향후 유지관

Table 1 Definition of Small-and-Medium-Sized Bridge

Definition of small-and-medium-sized bridge	
• Bridge whose total length is under 100m	
• Although its total length is under 100m, the following bridges are excluded	
- suspension bridge, cable stayed bridge, arch and truss bridges	
- length of single span is over 50m	
- stream covered structure	

Table 2 History of Korean Highway Bridge Design Code

Year	Code Name	Design Load Minimum Thickness of Deck
1972	Design Standard Specification for Steel Highway Bridges	DB-18(Pr : 7.2tf) 15cm
1977	Standard Specification for Highway Bridges	DB-24(Pr : 9.6tf) 18cm
2005	Design Criteria for Highway Bridges	DB-24(Pr : 96kN) 22cm
2016	Design Criteria for Highway Bridges (The Limit State Design)	KL-510(Pr : 96kN) 22cm

리시에는 공용연수가 40년을 초과하는 교량의 경우 매우 세 심히 관리할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3. 현행 세부지침에 의한 성능평가

3.1 현행 세부지침에 의한 성능평가 방법

본 논문의 주요 목적은, 관리주체에서 보유하고 있는 자료 만을 이용하여, 별도의 구조해석이나 현장조사 없이, 취약도와 영향도를 산정하고, 이로부터 위험도 지수를 계산하여 네 트워크 수준에서 중소교량들의 성능평가 우선순위를 산정하 기 위한 방안을 제시하는 것이다. 그리하여 여기서는 취약도와 영향도를 결정하는 항목을 도출하기 위해, 현행 세부지침 에서 규정되어 있는 성능평가를 위한 조사항목 및 방법을 검 토하였다(KISTEC-3, 2019). 세부지침에는, Table 3과 같이, 안전성능, 내구성능 및 사용성능 평가한 후 이들 성능에 적절 한 가중치를 부여하여 교량의 종합성능을 평가하도록 하고 있다. Table 3에는 안전성능, 내구성능 및 사용성능을 평가하 기 위한 조사항목도 함께 보여 준다.

Table 3에서, 안전성능은 단기간에 교량의 안전성에 영향 을 주는 성능으로 판단되며, 내구성능은 장기간에 걸쳐 교량 의 안전성에 영향을 주는 성능이고, 사용성능은 이용자의 편 의성과 교량 폐쇄시 미치는 사회적 영향을 판단하는 지표이 다. 따라서, 성능평가 우선순위 산정시 고려되는 취약도는 안 전성능과 밀접한 관계가 있고, 영향도는 내구성능 및 사용성 능과 밀접한 관계가 있는 것으로 간주할 수 있을 것이다. 세부 지침에서 안전성능, 내구성능 및 사용성능에 대한 가중치는 도로교의 경우 Table 3과 같이, 약 7 : 2 : 1 이므로, 이 연구와

같이 취약도와 영향도를 고려하여 성능평가 우선순위를 산 정하기 위해서는 7 : 3 의 가중치를 사용하면 세부지침의 내용 과 부합할 것으로 판단된다.

그리고 세부지침에서는, Table 3의 성능평가 결과를 성능목 표와 비교하여 유지관리전략을 수립 · 시행하도록 하고 있다. 이때 성능목표는, 일 교통량, 중차량 통행량 및 대상교량 차단시 우회거리를 고려하여, B(결함도 범위: $0.13 \leq X < 0.2$) 또는 B(결 함도 범위: $0.2 \leq X < 0.26$)로 제시되어 있다(KISTEC-2, 2019).

3.2 성능평가 적용사례

본 연구에서는, 성능평가 우선순위 방법 및 결과의 적정성 을 확인하기 위하여, 국도상에 가설된 중소규모 교량 1개소 를 선정하여 현행 세부지침에 따라 2종 성능평가를 실시하고, 그 결과를 본 논문에서 제시하는 방법에 의한 우선순위 산정 결과와 비교해 보았다. 연구대상 교량의 개략적인 제원 및 현 황은 Photo 2, Table 4 및 Fig. 1과 같고, 현행 세부지침에 따라 2종 성능평가를 실시한 결과를 요약 · 정리하면 Table 5와 같



Photo 2 Overall View of Test Bridge

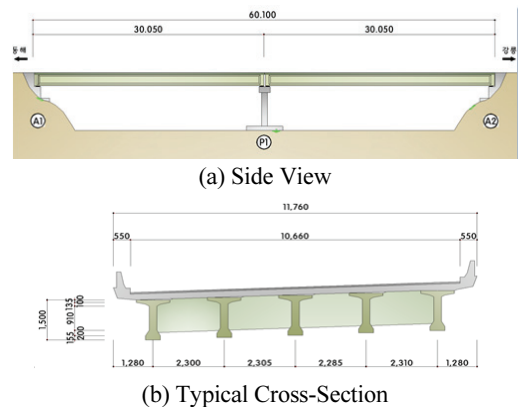


Fig. 1 Approximate Dimension of Test Bridge

Table 3 Method and Items for Performance Evaluation of the 1st and 2nd Class Bridges by the Present Specific Guidelines

	Weighting Factor by Performance		
	Safety	Durability	Serviceability
Nat. Road	68	21	11
Expressway	68	19	13
Evaluation Items	<ul style="list-style-type: none"> • Visual Condition • Structural Safety • Load Carrying Capacity(LCC) • Foundation Safety Including Scour 	<ul style="list-style-type: none"> • Concrete 1) Deterioration Progress 2) Deterioration Environment • Steel 1) Paint 2) Deterioration Environment 	<ul style="list-style-type: none"> • Serviceability 1) Pavement 2) Lighting Facility 3) Vibration Serviceability • Function 1) Maintenance Facility 2) Traffic Volume

※ Load test, underwater investigation, non-destructive test for steel, sonic inspection for external tendon and endoscopy are optional.

Table 4 Outline of Test Bridge

Items	Contents	Items	Contents
Name	Bridge A	Constructed Year	1975
Design Load	DB-24	Road Type	Nat. Road
Length	$L = 2 @ 30.5 = 61.0$	Width	11.7m(2 lanes)
Shoe	Elastic Bearing	Expansion Joint	New Monocell

Table 5 Results of Performance Evaluation for Test Bridge

Visual Cond.	Safety		Durability		Serviceability			
	Structural		Dete. Prog.	Dete. Env.	Serviceability		Function	
	LCC	Scour			Pav.	Vib. Serv.	Mai. Fac.	Tra. Vol.
c	a	c	b	c	c	e	e	c
	c							
C			B		D			
Overall Performance C (Defect Index 0.343)								

다. 이 교량에는 조명시설이 설치되어 있지 않아 세부지침에 따라 조명시설에 대한 평가는 생략하였다(KLLBC and CTC, 2019).

4. 중소규모 교량 성능평가 우선순위 결정 방안 제안

본 논문에서는, 취약도와 영향도에 적절한 가중치를 부여하여 계산되는 위험도 지수(Risk Index, RI)를 계산하고, 계산된 위험도 지수가 높은 순으로 3개의 그룹, 즉, 성능평가 즉시 실시 교량, 단기실시 교량 및 관찰교량으로 구분하여 성능평가를 실시하는 방안을 제시하였다. 여기서, 즉시실시교량이란 예비비등을 사용하여 우선순위 산정 후 6개월 이내에 성능평가를 실시해야 하고, 단기실시교량은 다음 연도 이내에 실시해야 되는 교량을 의미한다. 그리고 관찰교량이란 일상적인 유지관리계획에 따라 관찰 또는 정기점검을 실시해야 하는 교량을 의미한다.

4.1 취약도 평가 항목 및 방법

본 논문에서는 Table 2를 참조하여 Table 6과 같은 취약도 평가 항목, 선정사유 및 배점 기준을 제시하였다. Table 6을 적용하는 경우, DB-24 미만으로 설계되었으나 공용중 DB-24로 성능개선한 경우 DB-24로 평가하여야 하고, 점검결과 d 또는 e 등급으로 판명된 경우 중대결함으로 해석하여야 한다. 설계 오류, 세굴 등 중대결함 발생한 경우에는 반드시 즉시실시교량으로 분류될 수 있도록 이에 대한 배점은 6점을 부여하였다.

문헌(Mori et al., 2007) 에 의하면 교량을 유지관리하는데 가장 중요한 인자 중 하나는 차량의 정확한 중량이고, 교량의 피로수명은 중차량 교통량의 영향을 매우 크게 받는 것으로 알려져 있다.

한국건설기술연구원에서 운영하고 있는 교통량정보제공시스템(KICT, 2003)에는 우리나라 차량들을 12종으로 분류하고 있지만, 차종별 중량 조사가 이루어지지 않아, 중차량을

Table 6 Evaluation Items and Score for Vulnerability

Item	Selected Reason	Score
1. Serviced year	Deterioration, Design live load of the 1 st class bridge before 1977 was DB-18.	- Over 40 or uncertain : 1.0 - Over 30 : 0.8 - Over 20 : 0.5 - Over 10 : 0.3 - Under 10 : 0.0
2. Design load	Heavy truck exceeding the design live load of the bridge can use it.	- DB-13.5 or uncertain : 1.0 - DB-18 : 0.8 - DB-24 : 0.0
3. ADTT	Heavy truck can affect accident, civil complain, maintenance cost and bridge life.	- Over 2,000 : 1.0 - Over 1,000 : 0.8 - Over 500 : 0.5 - Under 500 : 0.0
4. Severe defect	If there are severe defect designated by the presidential executive order or design error or scour, safety can be threatened.	- existent or uncertain : 6.0 - non existent : 0.0
5. Dead load change	If safety check was not performed considering extra dead load due to pavement overlay, soundproof wall and other exterior material, its safety is not secured.	- no check or uncertain : 1.0 - no change : 0.0
6. Collusion	If collusion by vehicles passing under the bridge occurs, then severe damage can occur.	- negligence after collusion : 1.0 - safety checked after collusion but no protective facilities installed : 0.8 - safety checked after collusion and protective facilities installed : 0.3 - no possibility of collusion : 0.0
7. Design documents	Complete design documents are essential for maintenance.	- non existent : 1.0 - recovered drawings existent : 0.8 - keep as-built drawing : 0.0
8. Maintenance documents	Complete repair and rehabilitation documents are essential for maintenance.	- not existent full maintenance documents: 1.0 - keep full maintenance documents : 0.0

정확히 분류하는 것은 불가능하다. 그리하여 본 논문에서는 12종의 차종 중 3개 이상의 축을 갖는 중형화물과 대형화물을 Table 6의 중차량으로 정의하였다. 교통량 자료는 교통량정보제공시스템으로부터 손쉽게 획득할 수 있다. 유지관리에 필요한 도면 및 유지보수이력 자료는 성능평가에 반드시 필요한 자료임을 감안하여 취약도에 포함시켰다.

4.2 영향도 평가 항목 및 방법

본 논문에서는 Table 7과 같은 영향도 평가 항목, 선정사유와 배점 기준을 제시하였다.

Table 7에서, 제설재 염해환경과 해안까지의 거리 및 점검

시설 설치여부는 성능평가 세부지침의 내용을 참조하였다 (KISTEC-2, 2004). 교량하부 기간망, 중요시설물 부착여부, 우회도로거리에 대한 배점기준은 내진성능평가 요령을 참조하여 정하였다(EES, 2010 ; KISTEC, 2015 ; KISTEC et al., 2013).

Table 7 Evaluation Items and Score for Social Influence

Item	Selected Reason	Score
1. De-icing material	Influence on durability	- under class c by the guideline : 1.0 - class b by the guideline : 0.5 - class a by the guideline : 0.0
2. Distance from coast	Influence on durability	- under class c by the guideline : 1.0 - class b by the guideline : 0.5 - class a by the guideline : 0.0
3. Road type	Ripple effect due to closing	- bridges located on expressway or inside metropolis : 1.0 - bridges located on national road : 0.5 - the others : 0.0
4. Bridge width	Influence by closing	- more than 8 lanes : 1.0 - more than 6 lanes : 0.8 - more than 4 lanes : 0.5 - under 4 lanes : 0.0
5. Underneath infrastructure	Effect on underneath infrastructure network	- train passing : 1.0 - road vehicle passing : 0.8 - river or stream flow : 0.5 - the others : 0.0
6. Attached lifelines	social influence by important lifelines such as pipes for gas, communication and electric power etc.	- pipelines for gas, oil, communication, water supply attached or complex facility (more than 2) attached : 1.0 - pipes for sewage, electric power etc. attached : 0.5 - no lifelines attached : 0.0
7. Detour	economic and time loss and inconvenience due to bypass	- bypass distance above 45km : 1.0 - bypass distance under 45km and above 20km : 0.8 - bypass distance under 20km and above 5km : 0.8 - bypass distance under 5km : 0.0
8. Civil complain	Distrust to infrastructure can occur if civil complain is raised by drainage, landscape, lighting facility and vibration etc.	- more than 2 cases : 1.0 - 1 case : 0.5 - no case : 0.0
9. Maintenance facility	Proper maintenance facility is necessary for inspection	- under class c by the guideline : 1.0 - class b by the guideline : 0.5 - class a by the guideline : 0.0

4.3 위험도 지수 산정(안)

앞에서 살펴본 바와 같이, 성능평가 세부지침에는, 교량의 성능을 안전성능, 내구성능 및 사용성능으로 구분하고 있고, 이들 성능 중 안전성능을 가장 중요시하여, 일반 도로교량의 경우, 3가지 성능에 대한 가중치를 약 7 : 2 : 1로 부여 하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 세부지침과의 일관성을 유지하기 위하여 취약도와 영향도 지수에 7 : 3의 가중치를 고려하여 식(1)에 의해 위험도 지수를 계산하고, 계산된 위험도 지수에 따라 교량을 3개의 그룹, 즉, 성능평가 즉시실시 교량, 단기실시 교량 및 관찰교량으로 구분하여 성능평가를 실시하는 시기를 제시하고, 이때 동일 그룹내에서 성능평가 실시 우선 순위는 위험도 지수가 높은 교량부터 하도록 제안하였다.

$$\text{위험도 지수 RI} = 7 \times \text{취약도지수} + 3 \times \text{영향도지수} \quad (1)$$

4.4 위험도 지수 산정 결과와 성능평가 결과 비교

제시한 성능평가 우선순위 산정방안의 적용성을 확인하기 위하여, 3.2절의 성능평가 실시 교량을 대상으로 위험도 지수를 산출하고, 그 결과를 성능평가 결과와 비교해 보았다. 대상 교량에 대한 위험도 지수 산정결과, 이 교량의 위험도 지수는 Table 9에서 알 수 있는 바와 같이 40.6이고, 이 교량은 Table 8에 의하면 성능평가 관찰교량으로 분류된다. 그런데 이 교량에 대한 성능평가 결과, 이 교량의 종합성능은 Table 5에서 보는 바와 같이 C등급인데, 현행세부 지침에 의하면 이 교량의 성능목표는 B 이므로, 현재 보유하고 있는 성능은 성능목표

Table 8 Classification of Bridges by the Risk Index

Classification	Classification by the Risk Index		
	immediate evaluation	evaluation within next year	observing
Range of RI	RI ≥ 60	43 ≤ RI < 60	RI < 43
Background	<ul style="list-style-type: none"> • If the bridge is rated as the worst condition in 6 items except design error for vulnerability and 6 items for social influence, and the other items rated as the best, then, RI = 6×7 + 6×3 = 60. Say, if RI becomes more than 60, this bridge is classified as a bridge requiring immediate evaluation. • If the bridge is rated as the worst condition in 4 items except design error for vulnerability and 5 items for social influence, and the other items rated as the best, then, RI = 4×7 + 5×3 = 43. Say, if RI becomes more than 43 and under 60, this bridge is classified as a bridge requiring evaluation within next year • If RI becomes under 43, this bridge is classified as observing. • If RI of several bridges are same, then evaluation should be performed in the sequence of the vulnerability index. 		

Table 9 Calculation of Risk Index for Test Bridge

Bridge Name	Bridge A			
	Vulnerability		Social Influence	
Evaluation of Risk Index	Serviced year	1.0	De-icing	0.0
	Design load	0.8	Distance from Coast	0.0
	ADTT	0.8	Road Type	0.5
	Severe defect	0.0	Bridge Width	0.0
	Dead load change	0.0	Underneath infrastructure	0.8
	Collusion	0.0	Attached lifelines	0.0
	Design documents	1.0	Detour	0.5
	Maintenance documents	1.0	Civil complain	0.0
	Sub-total	4.6	Maintenance facility	1.0
			Sub-total	2.8
Risk Index	40.6			
Classification	Observing			

Table 10 Target Performance for Small-and-Medium-Sized Bridges

ADT		Serviced Year			
Expressway	National Road	more than 40	under 40 and more than 30	under 30 and more than 10	under 10
		more than 50,000	more than 20,000	group 2	group 2
more than 35,000	more than 15,000	group 3	group 2	group 2	group 1
more than 20,000	more than 10,000	group 3	group 3	group 3	group 1
under 20,000	under 10,000	group 3	group 3	group 3	group 2

- Bridge of group 1 : The bridge belonging to this group should be maintained as Class B of the Specific Guidelines (range of defect index : $0.13 \leq X < 0.26$).
- Bridge of group 2 : The bridge belonging to this group should be maintained as Class C of the Specific Guidelines (range of defect index : $0.26 \leq X < 0.38$).
- Bridge of group 3 : The bridge belonging to this group should be maintained as Class C of the Specific Guidelines (range of defect index : $0.38 \leq X < 0.49$).

에 미달하게 된다. 이러한 경우, 세부지침에서는 보수우선순위를 결정하고 유지관리 전략을 수립하여 유지관리토록 하고 있으나, 필자들의 판단으로는 이와 같은 중소규모 교량도 2종 교량과 같은 성능목표를 유지하도록 하는 것은 매우 보수적인 유지관리 전략으로 판단된다. 그리하여 필자들은, 교통량과 공용연수를 고려하여, 중소규모 교량들에 대해 Table 10과 같은 성능목표를 제안한다. Table 10과 같이 제안한 이유는, 공용연수가 40년 이상이고, 통행량이 많지 않은 교량을 B 등급으로 유지하는 것은 다소 과다한 유지관리 전략으로 판단

되기 때문이다. Table 10의 성능 목표는, 공용연수가 오래되고 교통량이 적을수록 C등급으로, 그러나 최근에 준공되고, 교통량이 많은 교량일수록 B등급으로 관리되도록 제안한 것이다.

이 교량의 일교통량 8,710대(KICT, 2003), 공용연수 44년 임을 고려할 때, Table 10에서 성능목표는 3그룹(성능목표 C 등급, 결함도 범위: $0.38 \leq X < 0.49$)이다. 또한 이 교량의 성능평가 결과 Table 5에서 실제 결함도 점수는 0.343이므로, 제시한 성능목표(안)와 실제 성능평가가 결과가 유사함을 알 수 있다. 따라서 이 교량은 관찰교량으로 분류하여 당분간 일상적인 유지보수만을 시행하여도 무방할 것으로 판단된다. 세부지침에는 C등급의 종합성능 수준을 ‘광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준’으로 정의하고 있다.

5. 결론

본 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 중소규모 교량들에 대해 취약도와 영향도를 고려하여 위험도 지수를 산출하고, 이 위험도 지수에 따라 성능평가 우선순위 교량을 선정하는 방안 및 실시시기를 제안하였다.
- 2) 비교적 단시간에 교량의 안전성에 영향을 줄 수 있는 요인으로 정의되는 취약도와, 비교적 장시간에 걸쳐 서서히 교량의 안전성을 위협하는 요인과 교량 폐쇄시 사회·경제적으로 큰 영향을 주는 요인 및 교량의 유지관리 부재로 야기되는 민원 등을 고려하는 영향도를 고려하여 성능평가 우선순위를 산정하기 위해서는, 취약도에 가중치 7, 영향도에 가중치 3을 부여하여 우선순위를 산정하면 본 연구의 목적에 부합될 것으로 판단되었다.
- 3) 공용기간이 오래되고 교통량도 많지 않은 중소규모교량을 1, 2종 교량과 같은 성능목표를 유지토록하는 것은 다소 과도한 유지관리 대책으로 판단되어, 중소규모 교량들에 대해서는 1, 2종 교량에 비해 한 단계 낮은 등급으로 관리하는 방안을 제안하였다.
- 4) 국도상에 공용중에 있는 중소규모 교량을 선정하여, 2종 성능평가를 실시하고, 그 결과를 본 연구결과와 비교한 결과, 여기서 제시한 성능평가 우선순위 결정방안과 성능목표는 비교적 합리적인 방안임을 알 수 있었다.

본 논문에서 제시한 방법은 실무에 적용되어 유지관리 예산절감 뿐 아니라 중소교량의 안전사고 예방에 널리 기여할 수 있을 것으로 판단되나, 저자들의 경험을 토대로 제안한 방법이므로, 지속적으로 보완하여 현업에 맞게 개정하면서 사용할 것을 건의한다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 건설기술연구사업(과제번호: 19SCIP-B128566-03) ‘중소노후교량 실증기반 성능 및 보수보강 평가 연구’의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (MOLIT) (2018), Special Act on the Safety Control and Maintenance of Establishments. (in Korean)
2. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (KISTEC-1)(2019), Specific Guidelines on the Safety Control and Maintenance of Establishments(Part of Performance Based Evaluation)_Common Requirement, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation(MOLIT). (in Korean)
3. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (KISTEC-2)(2019), Specific Guidelines on the Safety Control and Maintenance of Establishments(Part of Safety Inspection and Precise Safety Diagnosis)_Bridge, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation(MOLIT). (in Korean)
4. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT), Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (KISTEC)(2018), Integrated Bridge Management System - 2017 Operating Work. (in Korean)
5. Engineer & Human(2018), Newspaper, July 31. (in Korean)
6. Duck-Yong Ryu, Dong-Woo Yoo, Sung-Young Kim(2013), The Current State of Maintenance on Small Infrastructures, KSCE, 61(6), 2013, pp.45-52. (in Korean)
7. Korea Construction Engineering Development Collaboratory Management Institute(KOCED)(2016), Establishment of Research Base for Long Life of Aged Bridges by Performance Evaluation, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement. (in Korean)
8. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (KISTEC-3)(2019), Specific Guidelines on the Safety Control and Maintenance of Establishments(Part of Performance Based Evaluation)_Bridge, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation(MOLIT). (in Korean)
9. Mori T. Hee-Hyun Lee, Kab-Soo Kyung(2007), Fatigue life estimation parameter for short and medium span steel highway girder bridge, Engineering Structures 29, Elsevier.
10. Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT 2003), Traffic Monitoring System(www.road.re.kr), Ministry of Land, Infrastructure and Transportation(MOLIT). (in Korean)
11. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (KISTEC-2)(2004), Evaluation of Seismic Performance of Existing Bridges, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation(MOLIT) (in Korean)
12. Earthquake Engineering Society of Korea(EES)(2010), Revision of Guideline on Evaluation and Enhancement of Seismic Performance of Existing Bridges, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation(KISTEC) (in Korean)
13. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (KISTEC) (2015), Guideline of Evaluation and Its Commentary on Enhancement of Seismic Performance of Existing Bridges, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation(MOLIT) (in Korean)
14. Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation (KISTEC), Korea Railroad Research Institute(KRRI), Construction Technology Consultant (CTC) (2013), Evaluation of Seismic Performance and Retrofitting of High Speed Rail Structures, Korea Rail Network Authority. (in Korean)
15. Korea Long Life Bridge Center(KLLBC), Construction Technology Consultant (CTC) (2019), Research Report on Precise Safety Diagnosis and Performance Evaluation for A Bridge. (in Korean)

Received : 08/07/2019

Revised : 08/20/2019

Accepted : 09/05/2019

요 지 : 본 논문은, 시설물안전법의 적용을 받지 않아 안전사고 지대에 놓여 있는 중소규모 교량들의 유지관리 전략 수립시 기초자료로 활용할 수 있는, 중소규모 교량 성능평가 우선순위 결정 방안을 제시하기 위해 실시하였다. 이를 위해 취약도와 영향도를 기반으로 하는 위험도 지수를 산출하고, 산출된 위험도 지수에 따라 이들 교량들을 성능평가 즉시실시교량, 단기실시교량 및 관찰교량으로 구분하여 제안하고, 실제 공용중에 있는 중소규모 교량에 적용하여 제안한 방안의 현장 적용성을 확인하였다. 연구결과, 여기서 제시된 방안은 향후 중소규모 교량의 유지관리 전략 수립에 적절히 활용되어 중소규모교량 사고 방지 및 유지관리 예산절감에 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 교량, 유지관리 전략, 성능평가, 우선순위, 위험도 지수, 취약도 지수, 영향도 지수