

교량 점검신뢰도 분석법 개발과 향상방안

정유석¹, 김우석^{2*}, 이일근³, 이재하⁴

Development of Bridge Inspection Reliability and Improvement Strategy

Yo-Seok Jeong¹, Woo-Seok Kim^{2*}, Il-Keun Lee³, Jae-Ha Lee⁴

Abstract: The present study proposed three inspection reliability indices which compared inspection results evaluated at in-depth(routine) inspection and in-depth safety inspection; Nominal inspection reliability index, Real inspection reliability index, and DS nominal inspection reliability index. The methods to improve the inspection reliability were also proposed. Since bridge inspection process is critical to ensuring the safety of bridges and identifying repair and maintenance needs, the quality of the inspection data produced from the inspection process is very important. Consequently, the inspection reliability indices were suggested to evaluate quality of current inspection practices. Specifically, approximately 85% of inspection errors evaluated by the DS nominal inspection reliability index are within 1 rating grade(equal to or less than damage score ± 0.1). In order to improve the inspection reliability, transportation agency should implement QC(Quality Control) practices and develop professional expertises of inspectors by higher requirements for inspectors, on-off line inspection training and etc.

Keywords: Bridge inspection, Bridge maintenance, Inspection reliability

1. 서론

국내 교량의 관리수량은 매년 증가하여 30,000여개(2014년)에 이르고 있다(Fig. 1). 1980년대 고도 경제성장으로 인해 1980년 후반부터 2000년 초반까지 사회기반 시설이 집중적으로 건설 되었으며 교량 또한 1980년 이후 현재까지 지속적으로 건설되고 있다(Fig. 2). 1985~2005년 사이에 건설된 교량은 전체 교량의 63%(약19,000 개소)를 차지하고 있으며 이들 교량은 20년 후부터는 노후화가 급속도로 진행 될 것으로 예상하고 있다. 특히 보수·보강이 필요한 공용연수 30년 이상의 교량은 현재는 8%(약 2,500개소)지만 10년 후 32%(약 9,600개소), 20년 후 71%(약 21,000개소)로 급증할 것으로 예측되고 있으며 급증하는 보수·보강 물량으로 인해 필요한 예산 또한 급속도로 증가하여 미래 지자체 및 관련 공기업의 부담으로 작용 할 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 효율적인 유지관리 전략이 요구 되고 있다.

점검은 교량의 보수·보강을 포함한 모든 유지관리의 시작점이다. 따라서 효율적인 유지관리를 위해서는 정확한 점검이 이루어져야 한다. 유지관리 부실로 인해 지난 90년대 성수

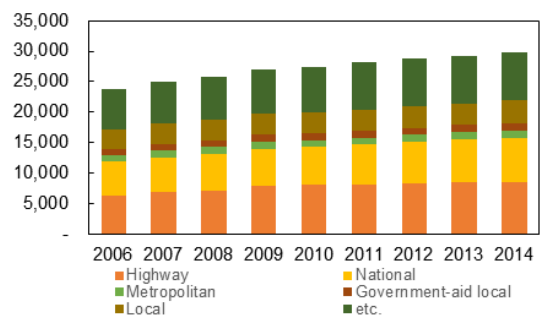


Fig. 1 Increase in numbers of bridges(KOSIS, 2015)

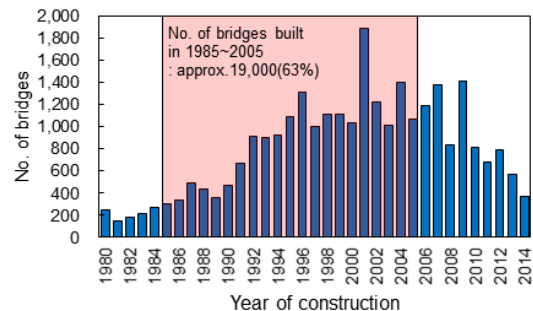


Fig. 2 Year of bridge construction(KOSIS, 2015)

¹정회원, 충남대학교 건설방재연구소 박사후연구원
²정회원, 충남대학교 토목공학과 부교수, 교신저자
³정회원, 도로교통연구원 구조물연구실 책임연구원
⁴정회원, 한국해양대학교 건설공학과 조교수

*Corresponding author: wooseok@cnu.ac.kr

Department of Civil Engineering, Chungnam National University

•본 논문에 대한 토의를 2016년 10월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 11월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

대교·삼풍백화점 붕괴가 발생하는 일이 있었다. 그로 인해 1995년 ‘시설물의 안전관리에 관한 특별법(이하 시특법)’이 제정 되었고 이를 바탕으로 지금까지 국가 주요 시설물의 물리적·기능적 결함 및 위험요인을 발견하고 이를 바탕으로 보수·보강이 이루어져 왔다. 교량의 유지관리 또한 시특법에 규정되어 있는 정밀(정기)점검 및 정밀안전진단과 적절한 보수·보강을 통해 이루어지고 있다. 따라서 교량의 효율적인 유지관리 전략을 위해서는 적절한 보수·보강이 이루어져야 하며 이를 위해 선행 되어야 하는 것이 교량상태에 대한 올바른 정보 획득 및 점검결과에 따른 신뢰성 확보이다.

1995년에 제정된 ‘시특법’의 실시로 인해 교량의 유지관리가 체계적으로 실시되고 있으며 이후 점검·진단 관련 시장의 양적 성장과 함께 기술수준 또한 발전을 거듭하면서 교량의 안전 확보가 크게 개선되었다. 하지만 현재 교량의 유지관리 정책이 점검결과를 바탕으로 필요한 유지관리활동(보수·보강)만을 실행하는 대응적유지관리임을 고려한다면 유지관리의 시작점인 점검에 대한 정확도 또는 신뢰도의 측정 사례가 없는 것은 현재 이루어지고 있는 점검에 대한 문제점 인식을 어렵게 하고 있다. 나아가서는 부적절한 점검결과를 바탕으로 한 부적절한 보수·보강으로 이어져 교량의 안전성 저하 및 교량의 수명을 단축시키는 결과를 낼 수 있다. 따라서 교량의 유지관리 수준을 측정할 수 있는 점검신뢰도가 필요 할 것으로 판단된다. 따라서 교량의 점검수준을 평가 할 수 있는 점검신뢰도 지표를 제시하고 점검신뢰도를 제고 할 수 있는 방법을 제안 하고자 한다.

2. 한국과 미국의 교량 점검현황

2.1 한국의 교량 점검

국내 시설물은 ‘시설물 안전관리에 관한 특별법’(이하 시특법)에 의해 유지 관리 되고 있다. 시특법에는 국가 및 기관의 시설물 유지관리 의무, 관리주체, 관리대상, 유지관리 계획 및 수립, 안전조치 등에 대해 규정되어 있으며 세부사항은 ‘시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침(이하 지침)’(MOLIT, 2012)에 기술되어 있다. 교량에 관련해서는 ‘안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서-교량(이하 세부지침)’(KISTEC, 2012)에 교량의 유지관리 주체, 대상, 주기, 평가방법이 자세하게 기술되어 있다. 이번 장에서는 국내 교량 점검의 주기, 점검자의 자격 및 결함도 점수(상태등급) 산정방법에 관하여 간략하게 기술하도록 하겠다.

교량의 점검 단계는 정기점검, 정밀점검, 정밀안전진단, 긴급점검으로 이루어진다. 정기점검은 경험과 기술을 갖춘 점

검자가 6개월에 1회 이상 실시하는 외관조사이며 이를 바탕으로 기능적 상태 및 사용조건이 기준을 만족하는지 평가한다. 여기서 점검자는 지침에 규정되어 있는 교육기관에서 시행하는 안전점검 및 정밀안전 진단 교육과정을 70 시간 이상 이수한 사람을 의미 한다(MOLIT, 2012). 정밀점검은 안전등급의 상태에 따라 차등 적용하며 점검 주기는 Fig. 3과 같다. 정밀안전진단은 시특법에 규정되어 있는 1종 시설물을 대상으로 쉽게 발견할 수 없는 결함부위를 발견하기 위하여 정밀한 외관조사, 각종 계측장비를 사용한 상태평가 및 안전성평가에 필요한 데이터를 확보하기 위한 점검이다. 정밀안전진단은 준공일 또는 사용승인일 기준 10년이 지난 때부터 1년 이내, 차회 정밀안전진단은 해당 시설물의 안전등급에 따라 정기적으로 실시한다(Fig. 3). 긴급점검은 관리주체 또는 관계기관장이 필요하다고 판단한 때 실시하는 정밀점검수준의 점검으로써 사고, 재해에 의한 교량의 손상 또는 결함이 의심되는 경우 시행하는 점검이다. 국내의 전체적인 유지관리 업무 흐름을 Fig. 3에 나타내었다.

세부지침에 규정되어 있는 교량의 결함도점수(Damage Score) 산정 방법을 간략히 정리하면 다음과 같다. 교량의 결함도점수 산정은 먼저 경간별로 각 개별부재의 최저 결함도점수를 집계하여 개별부재 상태평가에 반영한다. 만약 한 경간 내에 동일 부재가 여럿 있는 경우 부재 중 최저 결함도점수를 해당 경간의 부재결함도점수로 산정한다. 부재의 상태평가 기준은 세부지침(KISTEC, 2012)에 설명되어 있다. 그리고 전체 교량의 상태평가는 경간별 부재결함도지수(Damage Index)에 가중치를 적용하여 평균한 값인 환산결함도점수를 기준으로 실시한다. 이때 경간별 부재결함도지수(Damage Index)는 최저

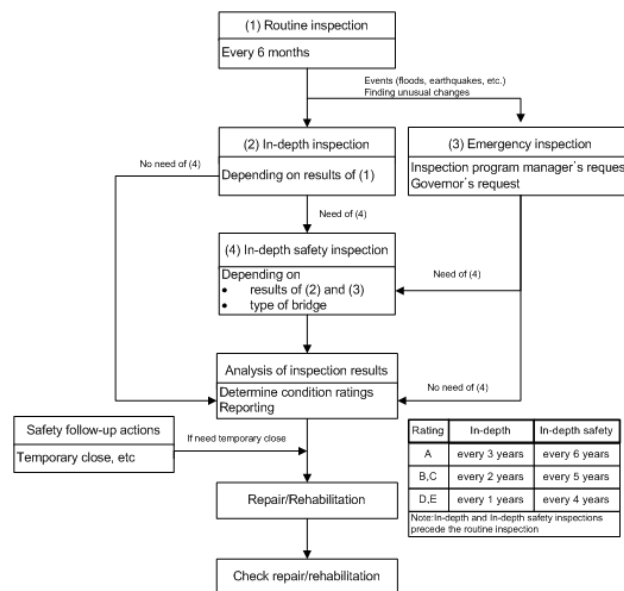


Fig. 3 Flow chart of bridge inspection in Korea(MOLIT, 2012)

Table 1 Criteria for evaluating condition rating of bridge/element based on damage score(KISTEC, 2012)

Condition State	Damage Index	Damage Score
A(a)*	0.1	$0 \leq DS < 0.13$
B(b)	0.2	$0.13 \leq DS < 0.26$
C(c)	0.4	$0.26 \leq DS < 0.49$
D(d)	0.7	$0.49 \leq DS < 0.79$
E(e)	1.0	$0.79 \leq DS$

*A(a) represents that 'A' is the condition rating of the bridge and 'a' is the condition rating of the bridge element.

Table 2 U.S. Inspection types and intervals(FHWA, 2012)

Inspection	Descriptions	Interval
Initial	First inspection of a bridge to provide all subsequent inspections relevant data to determine baseline structural conditions.	at bridge open
Routine	Regularly scheduled inspection consisting of observations and/or measurements.	≤ 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
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 DOT(Department of Transportation) can determine intervals for damage, in-depth, and special inspection.

결함도점수(Damage Score) 범위에 따라 결정된다(Table 1). 산정된 환산결함도점수는 교량 전체의 상태평가를 결정하는 기준이 되는 점수이며 결함도점수 범위에 따른 교량의 상태 등급은 Table 1과 같다.

2.2 미국의 교량점검

미국의 교량 점검은 'Bridge Inspector's Reference Manual' (이하 BIRM)을 기초로 이루어지고 있으며 BIRM에 따르면 교량의 점검단계를 5개로 구분하고 있다: 초기점검(Initial), 정기점검(Routine), 손상점검(Damage), 정밀점검(In-Depth) 그리고 특별점검(Special)(FHWA, 2012). 그리고 미국의 교량점검은 점검리더(Inspection Leader)의 책임 하에 이루어 지고 있으며 점검리더의 자격 요건을 다음과 같이 명시 하고 있다 (George, 2007): ① FE (Fundamental Engineer) 자격증을 보유한 공학사는 최소 2년 이상 교량 점검 경력, 또는 ② 공학사는 최소 4년 이상 교량 점검 경력, 또는 ③ 그 외는 최소 5년 이상

Table 3 NBI condition ratings in U.S.(FHWA, 2012)

NBI Rating	Descriptions
N	Not Applicable
9	As-built condition
8	No problems noted
7	Some minor problems
6	Structural elements show some minor deterioration
5	All primary structural elements are sound but may have minor section loss, cracking, spalling or scour
4	Advance section loss, deterioration, spalling or scour
3	Loss of section, deterioration, spalling or scour have seriously affected primary structural components. Local failures are possible. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present.
2	Advanced deterioration of primary structural elements. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present or scour may have removed substructure support. Unless closely monitored it may be necessary to close the bridge until corrective action is taken.
1	Major deterioration or section loss present in critical structural components or obvious vertical or horizontal movement affecting structure stability. Bridge is closed to traffic but corrective action may put back in light service.
0	Out of service - Beyond corrective action.

교량 점검 경력. Table 2는 교량 점검의 종류와 주기를 나타내고 있다.

교량 상태등급 산정의 경우, BIRM에 따르면 교량의 상부 구조, 하부구조 및 바닥판을 NBI Condition Rating 기준으로 0에서 9등급까지, 총 10개의 등급으로 분류하고 있다(Table 3). 교량의 상태등급은 점검자의 육안점검을 바탕으로 산정하고 있으며 부재 상태의 심각성(severity)과 분포정도(extent)를 기준으로 상태등급을 산정하고 있다(FHWA, 2012).

3. 교량의 점검신뢰도 분석 방법

3.1 점검신뢰도 분석 및 대상

교량 점검 신뢰도는 주기적으로 실시되는 정밀(정기)점검의 신뢰도를 대상으로 하였다. 점검신뢰도 분석에 활용된 정밀(정기)점검 및 정밀안전진단의 결과인 상태등급은 교량의 상태 및 안전성을 평가하는 대표적인 유지관리지표이다. 정밀(정기)점검은 경험과 기술을 갖춘 사람에 의해 세심하고 면밀한 육안조사를 통해 교량의 기능적 상태를 판단하고 현재의 사용요건을 만족하는가를 평가하는 점검이다(MOLIT, 2012). 이에 반해 정밀안전진단은 육안점검으로 쉽게 발견할 수 없

Table 4 Number of in-depth safety inspection data used to evaluate inspection reliability

Year	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
No. of bridges	20	33	117	143	94	125	149	259	175

는 결함 부위를 발견하기 위하여 정밀한 외관조사와 각종 측정, 시험장비에 의한 측정, 시험을 실시하여 시설물의 데이터를 확보하여 교량의 상태 및 안전성을 평가하는 점검이다 (MOLIT, 2012). 이처럼 정밀안전진단은 교량의 모든 부재에 대해 면밀한 외관조사부터 시작하여 각종 계측장비를 통해 교량의 상태를 평가하는 매우 강도 높은 점검으로 점검신뢰도 분석에서는 정밀안전진단의 결과를 참값으로 간주하고 점검신뢰도를 평가하였다.

점검 신뢰도 분석에는 2005년부터 2013년까지 HBMS(Highway Bridge Management System)에 조사된 정밀(정기)점검 및 정밀안전진단의 결과를 사용하였다. 점검기록 중 차년도에 정밀안전진단 점검기록이 존재하는 교량 1,115개소 자료를 활용하여 점검신뢰도를 분석하였다(Table 4). 이번 연구에서는 비교대상간의 시간차가 1년 정도가 있지만 1년 정도의 시간차에 의한 발생하는 열화는 교량 및 주요부재의 상태등급 변화에 영향을 주지 않을 것으로 가정 하였다.

3.2 점검신뢰도 방법론

본 절에서는 본 연구를 통해 개발된 세 가지의 점검신뢰도 분석방법을 소개하고자 한다. 세 가지의 점검신뢰도 분석 방법은 명목점검신뢰도, 실질점검신뢰도, DS명목점검신뢰도이다.

3.2.1 명목점검신뢰도

명목점검신뢰도 지표(이하 명목신뢰도)는 교량의 상태를 나타내는 상태등급을 활용한 점검 신뢰도 지표이다. 정밀(정기)점검과 정밀안전진단을 실시한 후 교량별, 부재별 상태등급이 산정된다. 명목신뢰도는 두 점검에서 산정된 상태등급의 일치 여부를 활용한 지표이며 일종의 일치률(%)로서 다음과 같이 정의 된다.

명목 점검신뢰도

(NRI, Nominal Inspection Reliability Index):

$$NRI = \frac{n_{SR}}{N} \times 100 \quad (1)$$

n_{SR} : 등급이 일치 한 교량의 개소 수

N : 점검신뢰도 산출 시 사용된 교량개소 수

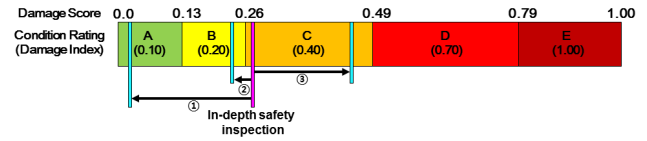


Fig. 4 Limitations of nominal inspection reliability index

	정밀안전진단		정밀(정기)점검		
예시	C	:	C	→	일치
	C	:	B	→	불일치

명목신뢰도는 HBMS에 입력되어 있는 교량의 상태등급을 활용하여 현재 점검신뢰도를 비교적 간편하게 측정 할 수 있는 유지관리 지표이다. 하지만 결함도 점수의 크기를 반영하지 못하는 한계를 가지고 있다(Fig. 4).

명목신뢰도의 첫 번째 한계는 차이는 등급의 크기를 반영하지 못한다. 즉, Fig. 4의 ①과 ②를 비교해 보면 정밀안전진단에서 C등급을 받은 교량 혹은 부재가 정밀(정기)점검에서 한 등급을 벗어난 B등급을 받은 ②의 경우와 두 등급을 벗어난 A등급을 받은 ①의 경우, 이 두 가지 경우 모두를 불일치로 보게 된다. 실제로는 두 등급의 벗어난 ①의 경우가 더 점검신뢰도가 낮아야 함을 알 수 있다. 명목신뢰도는 차이는 등급의 크기 뿐만 아니라 결함도 점수의 크기 차이를 반영하지 못하는 두 번째 한계도 포함하고 있다. 예를 들면, 그림 Fig. 4의 ②와 ③를 비교 했을 경우, 결함도 지수의 차이가 더 적은 ②의 경우를 불일치로 보게 되는 반면 상대적으로 결함도 지수의 차이가 큰 ③을 일치로 보게 되는 한계를 가지고 있다. 이러한 명목신뢰도의 한계점을 보완하기 위한 지표인 실질점검신뢰도를 다음 장에서 제시 하도록 하겠다.

3.2.2 실질점검신뢰도

실질점검신뢰도 지표(이하 실질신뢰도)는 결함도 지수 차이를 반영하지 못하는 명목신뢰도의 한계를 극복하기 위해 제안된 점검신뢰도이다. 실질신뢰도는 정밀(정기)점검과 정밀안전진단의 결과에서 산정된 결함도 점수 차이를 활용하여 다음과 같이 정의 된다.

실질점검신뢰도

(RRI, Real Inspection Reliability Index):

$$RRI = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N e^i}{e_0 \times N} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$= \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |DS_{In-depth(routine)}^i - DS_{In-depth safety}^i|}{0.1 \times N} \right) \times 100$$

e^i : i 번째 교량의 점검오차,
 $e^i = |DS_{In-depth(routine)}^i - DS_{In-depth(safety)}^i|$
 e_0 : 기준오차($e_0=0.1$)
 N :점검신뢰도 산출 시 사용된 교량개소 수
 $DS_{In-depth(routine)}^i$: i 번째 교량의 정밀(정기)점검의 결함도 점수
 $DS_{In-depth(safety)}^i$: i 번째 교량의 정밀안전진단의 결함도 점수

실질신뢰도에서 점검의 정확도를 백분율로 표현하기 위해 $(1 - \frac{e}{e_0})$ 로 정의 했으며 여기서 사용되는 e_0 는 기준오차로써 0.1을 사용하였다. 기준오차를 0.1로 결정한 근거는 다음과 같다. Table 1에 따르면 등급별 대표결함도지수(Damage Index)는 결함도점수(Damage Score) 범위에 따라 결정되며 이를 도식화 하면 다음 그림과 같다(Fig. 5). 이때, 대표 결함도지수와 등급별 경계 결함도점수 차, 즉 결함도점수 편차의 평균은 $\frac{0.1+0.03+0.07+\dots+0.21+0.00}{10}=0.1$ 로 산정된다. 편차의 평균으로 산정된 값 0.1을 실질신뢰도 산정 시 기준오차로 사용하였다. 여기서 산정된 기준오차 0.1의 의미는 등급변화가 평균적으로 ± 0.1 에서 발생함을 의미한다.

실질신뢰도가 의미하는 구체적인 내용은 Fig. 6에 설명이 되어 있다. 정밀(정기)점검과 정밀안전진단의 결함도 점수 차이가 작을 경우 RRI (실질신뢰도)는 증가하며(최대 100%) 오

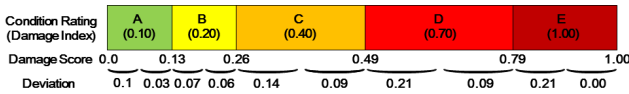


Fig. 5 Derivation of reference error

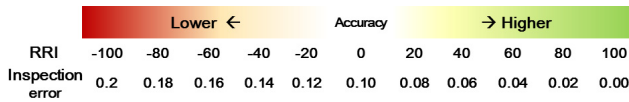


Fig. 6 Relationship between RRI and inspection error

Table 5 Examples of evaluating RRI

	1	2	3	4	5
$DS_{In-depth(routine)}^i (A)$	0.132	0.152	0.149	0.172	0.159
$DS_{In-depth(safety)}^i (B)$	0.176	0.187	0.211	0.192	0.217
$e^i = A - B $	0.044	0.035	0.062	0.02	0.058
$RRI^i = \left(1 - \frac{e^i}{e_0}\right) \times 100(\%)$	56	65	38	80	42
where, $e_0 = 0.1$					
$RRI = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N e^i}{0.1 \times N}\right) \times 100$				56 %	

차가 커질수록 RRI 는 감소하게 된다. 차이가 0.1를 넘게 되면 음의 백분율을 가진다(예, 결함도 점수 차이가 0(영)일 경우 100%, 차이가 0.2 일 경우 -100%). 따라서 점검오차 실질신뢰도는 다음식과 같은 관계가 성립된다.

$$Inspection\ error, e = 0.1 - 0.1 \times RRI \quad (3)$$

Table 5는 실질신뢰도 산출 예시를 보여 주고 있다

3.2.3 DS 명목점검신뢰도

DS 명목점검신뢰도 지표(이하 DS명목신뢰도)는 점검자의 인적오류(Human Error) 또는 점검프로그램 자체가 가지고 있는 오류를 고려하기 위해 제안된 점검신뢰도이다. 교량의 상태등급 산정은 육안점검을 기본으로 하고 있다. 육안점검은 점검자의 주관적 판단이 포함되어 있으며 이는 인간에 내재하고 있는 착각, 생략행위, 예측판단, 미숙련 과 같은 인적 오류를 포함하게 된다. 따라서 교량 점검 결과와 실제 교량의 상태에는 간극이 존재 할 수 있다. 또한 완벽한 점검프로그램이란 것은 존재 할 수 없으므로 점검 프로그램 자체가 가지고 있는 오류 또한 존재 할 가능성이 있다. 이러한 점검프로그램/인적 오류 등을 점검신뢰도에 반영하는 것이 보다 합리적이라 판단이 된다. 미국의 경우 이러한 오류 등을 점검기록 평가(QC, Quality Control, 품질관리) 시 반영하고 있다. 예를 들어 점검기록에 대해 QC를 실시할 경우, 평가기준기록(정답)에 대하여 평가대상교량의 점검기록이 NBI condition rating으로 한 등급 이내로 차이가 나더라도 이를 허용범위 이내의 인적 오류로 보고 있다(Glenn and Alec, 2009). 따라서 이번 장에서는 교량의 점검과정에서 발생 가능한 점검프로그램 또는 인적 오류를 고려할 수 있는 DS명목신뢰도 다음과 제안하고자 한다.

DS 명목 점검신뢰도

(DSNRI, DS Nominal Inspection Reliability Index):

$$DSNRI = \frac{n_{0.1}}{N} \times 100 \quad (4)$$

N :점검신뢰도 산출 시 사용된 교량개소 수

$n_{0.1}$:점검오차가 ± 0.1 이하인 교량개소 수

DS명목신뢰도는 앞에서 제안한 명목신뢰도와 실질신뢰도의 장점을 조합한 것으로 명목신뢰도에서 기준이 등급의 변화였다면 DS명목신뢰도에의 기준은 기준오차 0.1이다. 여기서 기준오차를 0.1로 도입한 이유는 실질신뢰도에서 언급한바와 같이 평균적으로 등급의 변화가 0.1에서 발생하기 때

문이다(Fig. 5). 이는 점검오차 0.1은 점검프로그램/인적 오류로서 발생할 수 있는 한 등급 이내의 오차로 간주하며 DS 명목신뢰도에서는 이러한 오차를 허용오차로 고려한다는 의미이다.

3.3 점검신뢰도 분석 결과

2005~2013년간의 HBMS에 정밀안전진단 실적이 있는 교량 1,115개소를 대상으로 앞에서 제안한 명목신뢰도, 실질신

Table 6 Inspection reliability index statistics

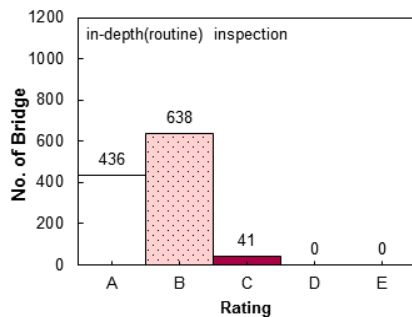
	In-depth safety inspection(DS_1)	In-depth(routine) inspection(DS_2)	Inspection error (e)
Mean(μ)	0.80	0.85	0.05
Standard deviation(σ)	0.05	0.05	0.05
Distribution of DS^1	$0.50 \leq DS_1 \leq 0.90$	$0.57 \leq DS_2 \leq 0.90$	$-0.20 \leq DS_1 - DS_2 \leq 0.28$
NRI ²		55%	
RRI ³		42%	
DSNRI ⁴		85%	

¹DS: Damage Score

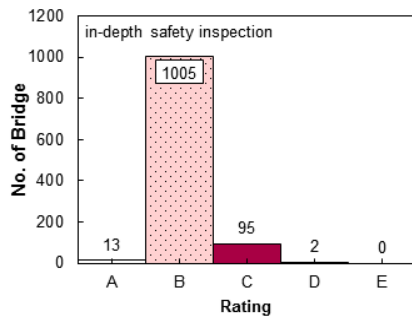
²NRI: Nominal inspection reliability index

³RRI: Real inspection reliability index

⁴DSNRI: DS Nominal inspection reliability index



(a)



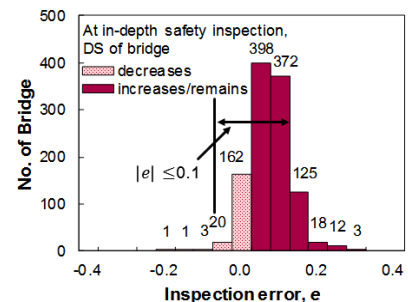
(b)

Fig. 7 Distribution of condition ratings evaluated at (a)in-depth (routine) inspection and (b)in-depth safety inspection

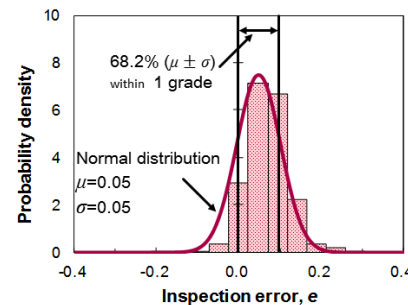
뢰도와 DS명목신뢰도를 활용해 교량의 점검신뢰도를 평가 하였다(Table 6). 정밀(정기) 점검과 정밀안전진단의 상태등급 분포를 Fig. 7에 나타내었다.

점검신뢰도 분석 결과의 교량에 대한 명목신뢰도는 55% 즉 HBMS상 두 점검간(정밀(정기)점검 vs. 정밀안전진단)의 교량 상태등급 일치율이 55%이다. 점검결과의 실질 정확도를 나타내는 교량에 대한 실질신뢰도는 42% 그리고 평균적인 견전도 지수 오차는 $0.058(0.058=0.1-0.1 \times RRI=0.1-0.1 \times 0.42)$ 이다. 상태등급의 변화는 ‘상승’(예, B등급→A등급) 보다는 ‘하락’(예, A등급→B등급) 비율이 높아 실제 교량의 상태는 보유하고 있는 정보보다 다소 열악할 것으로 예상된다(Fig. 7).

두 점검간의 결함도 점수 차(점검오차) 분포는 Fig. 8에 나타내었다. 인적오류를 고려한 점검결과인 DS명목신뢰도는 85%이다. 즉, 두 점검간의 점검오차 절대값이 0.1 보다 작은 교량의 개소수가 952개로 전체의 85%를 차지하고 있다(Fig. 8(a)). DS명목신뢰도가 85%로 여타 점검신뢰도 보다 상대적으로 높은 수치를 보여주고 있는데, 이는 현재 고속도로 교량의 평균공용연수가 13년으로 대부분의 교량이 상태등급 ‘A’ 또는 ‘B’에 집중적으로 분포하고 있고, 공용 초반에 상태등급 하락은 상대적으로 작으므로 두 점검(정밀(정기)점검 vs. 정밀안전진단)간의 차이는 한 등급(결함도 점수 0.1) 이상 차이가 나지 않을 것으로 해석이 된다. 하지만 교량의 노후화가 진행되어 교량 상태등급이 모든 등급에 분포되어 있을 경우 DS



(a)



(b)

Fig. 8 Distribution of inspection error(e) between in-depth(routine) and in-depth safety inspections: (a) number of bridges and (b) probability density

명목신뢰도는 지금의 수치보다 낮아질 것으로 판단된다.

현재 점검신뢰도 수준 확인을 위해 미국의 점검신뢰도 연구결과(Graybeal et al., 2002)와 비교 하였다. 빠른 이해를 위해 미국의 점검신뢰도 연구에 관한 내용을 간략하게 설명 하도록 하겠다. 미국의 교량 점검은 육안점검을 통해 이루어지고 있다. 따라서 점검자의 주관적 판단이 상당히 반영되므로 교량의 점검결과에는 여러 인자(예, 인적 오류)들에 의해 영향을 받는다. 이러한 점들을 규명하기 위해 FHWA(Federal Highway Administration)에서 점검신뢰도 연구를 실시하였다(Graybeal et al., 2002). 미국의 점검신뢰도 연구는 25개주 49명의 교량점검자를 대상으로 실시하였고 점검신뢰도 산정 방법은 이미 점검된 특정 교량의 재점검을 통해 점검자들이 얼마만큼 점검을 정확하게 수행하는지를 NBI condition rating 기준으로 기 점검된 교량의 점검결과와의 차이를 분석 하였다. 연구결과에 따르면 기 점검된 점검결과와의 점검오차가 정규분포를 따르며 점검오차의 68%가 NBI condition rating 기준으로 한 등급 이내 존재 하는 것으로 분석 되었다. 또한 대략 95%는 두 등급 이내 차이는 것으로 분석 되었다. 국내 고속도로 교량의 경우, 국내 고속도로 교량의 점검오차가 정규분포를 따른다고 가정하면 점검오차의 68.2%는 한 등급 이내에 분포 하는 것으로 분석 되어 미국과 비슷한 수준으로 확인 되었다(Fig. 8(b)). 점검신뢰도는 점검자의 전문성과 숙련도, 접근성, 계측 장비 유무, 업무의 강도 등과 같이 많은 인자들의 영향을 받지만 이러한 인자들을 고려하지 않고 본 연구에서는 점검신뢰도 수치만을 단순 비교하였다.

본 장에서는 앞서 제시한 점검신뢰도 지표를 활용해 현재 국내 고속도로 교량의 점검수준을 평가 하였다. 점검은 모든 유지관리의 시작이며 교량의 안전에 직결되는 매우 중요한 유지관리 활동이다. 이러한 점검신뢰도를 제고하기 위한 방안을 다음 장에서 기술하도록 하겠다.

4. 점검신뢰도 향상 방안

교량의 점검신뢰도는 교량의 안전과 직결되어 있다. 즉 점검신뢰도 향상은 안전 향상을 의미하므로 신뢰도 향상을 위한 방안이 필요하다. 국외의 경우(George, 2007; Glenn and Alec, 2009) 점검신뢰도 향상을 위해 여러 방안을 실시하고 있으나, 국내 실정에 적합한 사항을 요약하면 다음과 같다. 점검신뢰도 향상을 위해서는 크게 두 가지 측면에서 접근해야 할 것으로 판단된다. 첫 번째는 점검자의 역량을 강화하고 전문 점검인력을 육성하는 것, 두 번째는 점검결과 QC(Quality Control, 품질관리)를 실시하는 것이다.

- ▶ 점검자의 역량을 강화하고 전문점검인력 육성
 - 전문점검인력 채용: 구조물에 대한 이해가 충분한 경력을 보유한 전문점검인력 채용 실시
 - 유지관리담당자 전문성 강화: 유지관리 업무는 전문지식 요하는 분야로 구조전문가의 참여 필요
 - 지속적으로 점검자 교육을 실시
 - * 온·오프라인에서 심화교육 프로그램 및 콘텐츠를 개발·운영하여 점검자의 역량 강화
 - * 교육과목 특성에 맞게 모듈화하고, 수요자가 유지관리 업무 수행 중 필요한 콘텐츠를 자율적으로 수강 및 활용토록 운영
- ▶ 점검결과 QC (Quality Control, 품질관리) 실시
 - BMS(Bridge Management System)를 활용하여 점검인력 책임제 실시 및 관리 철저
 - QC 전담인원 배정 및 점검원 간의 peer-review를 통해 점검결과의 신뢰성을 향상
 - 무작위 선정된 교량에 대한 외부점검 평가 실시

5. 결 론

본 논문은 교량의 점검신뢰도를 평가 할 수 있는 지표를 제안 하였다. 제안한 점검신뢰도를 사용하여 현재 국내 고속도로 교량의 점검신뢰도를 평가 하였으며 이를 기초로 하여 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

- 1) 2005~2013년 동안 HBMS에 기록되어 있는 정밀안전진단 기록을 기준으로 당해년도 정밀(정기)점검기록과 차년도 정밀안전진단 기록을 비교하는 점검신뢰도 지표 세 가지를 제안 하였다. 명목점검신뢰도, 실질점검신뢰도, 그리고 DS명목점검신뢰도.
- 2) 점검신뢰도 결과는 명목, 실질, DS명목신뢰도 순으로 각각 55%, 42%, 85%로 평가 되었다. 점검프로그램/인적 오류 등을 고려한 DS명목신뢰도를 기준으로 현재 고속도로 교량의 점검신뢰도는 양호한 편으로 평가 된다. 이는 현재 고속도로 교량의 평균공용연수가 13년으로 대부분의 교량이 ‘A’와 ‘B’등급에 집중적으로 분포되어 상태변화가 크지 않은 점이 점검신뢰도가 양호하게 산정된 이유로 판단된다.
- 3) 국내 고속도로 교량 점검신뢰도 수준 확인을 위해 미국의 연구 결과와 비교하였다. 현재 국내 고속도로 교량의 점검오차가 정규분포를 따르며 대상 교량의 68.2%가 한 등급 이내에 분포하고 있다. 이 수치는 미국의 점검신뢰도 연구

결과와 비슷한 수준(한 등급 이내, 68%)인 것으로 파악 되었다.

- 4) 점검신뢰도를 제고하기 위해서는 점검자의 역량을 강화하고 전문점검인력 육성이 필요하며 점검결과 QC를 실시하여 점검결과의 신뢰도 제고가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2015년 도로공사 재원으로 한국도로공사 도로교통연구원의 지원을 받아 수행된 연구이며 이에 감사드립니다.

References

AASHTO (2012), AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, American Association for Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
FHWA (2012), Bridge Inspector's Reference Manual, FHWA-NHI-

12-049, Federal Highway Administration, U.S.
George, H. (2007), NCHRP Synthesis 375, Bridge Inspection Practices, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C.
Glenn, A., and Alec, C. (2009), Guideline for Implementing Quality Control and Quality Assurance for Bridge Inspection, NCHRP project 20-07, Task 252, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C.
Graybeal, B. A., Phares, B. M., Rolander, D. D., Moore, M., and Washer, G. (2002), Visual inspection of highway bridges, *Journal of Nondestructive Evaluation*, 21(3), 67-83.
KISTEC (2012), Guideline and Commentary of Safety Inspection and In-depth Safety Inspection for Structures-Bridge, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Korea (in Korean).
KOSIS (2015), Status of the Nation's Bridges and Tunnels in Republic of Korea, Korea Statistical Information Service, Korea (in Korean).
MOLIT (2012), Guideline of Safety Inspection and In-depth Safety Inspection for Structures, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea (in Korean).

Received : 04/12/2016

Revised : 05/23/2016

Accepted : 05/30/2016

요 지 : 교량의 안전은 점검에 의해 보장된다. 그리고 교량의 유지관리는 점검결과를 토대로 시작된다. 따라서 점검결과는 ‘교량의 안전’과 ‘효율적인 유지관리’를 위한 가장 중요한 정보이다. 따라서 본 논문에서는 교량의 점검신뢰도를 평가하고 이를 제고 할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 교량의 점검신뢰도를 평가 할 수 있는 세 가지 점검신뢰도를 제시하였다: 명목점검신뢰도, 실질점검신뢰도, DS명목점검신뢰도. 교량의 점검신뢰도 분석 방법은 정밀안전진단결과를 참값으로 간주하고 당해년도 정밀(정기)점검과 차년도 정밀안전진단결과를 비교하였다. 인적오류를 고려한 DS명목신뢰도를 기준으로 현재 고속도로교량의 점검신뢰도 85%로 양호한 편으로 평가 된다. 이는 현재 고속도로 교량의 평균공용연수가 13년으로 대부분의 교량이 ‘A’와 ‘B’등급에 집중적으로 분포되어 상태변화가 크지 않기 때문인 것으로 판단된다. 점검신뢰도를 제고하기 위해서는 점검자의 역량을 강화하고 전문점검인력 육성이 필요하며 점검결과에 대해 QC(Quality Control, 품질관리)를 실시하여 점검결과의 신뢰도 향상이 필요하다.

핵심용어 : 교량 점검, 교량 유지관리, 점검신뢰도
