

교량 안전등급 분석을 통한 유지관리전략 개선 방안 연구

황윤국¹, 선종완¹, 최영민², 박경훈^{1*}

¹한국건설기술연구원 인프라안전연구본부, ²자람기술(주)

A Study on Improvement of Maintenance Strategy based on Analysis of Bridge Safety Grade

Yoon-Koog Hwang¹, Jong-Wan Sun¹, Young-Min Choi², Kyung-Hoon Park^{1*}

¹Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, ²JARAM-Tech. Ltd.

요약 교량은 국가 주요 기반시설물 중의 하나로서 '시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법'에 따라 정기적인 안전점검 또는 진단이 실시되고 있다. 이를 통해 교량의 상태평가 및 안전성평가 결과에 의해 각각 상태등급과 안전성등급이 개별적으로 산정되고, 두 등급의 결과 중 상대적으로 낮은 등급이 해당 교량의 안전등급으로 결정된다. 본 연구에서는 교량 안전등급의 핵심인 상태등급과 안전성등급의 상관관계를 일반국도 상에 위치한 교량의 대표적인 상부구조형식인 RC슬래브교, PSCI거더교, 강박스거더교, 라멘교 및 프리플렉스거더교를 대상으로 분석하였다. 또한 분석 대상 교량의 형식별로 각각의 등급 간의 상관현황, 상관범위 등을 파악하고, 교량 상부구조형식별 점검 및 진단의 적정 수행주기 변경 방안을 제안하여 국내의 기존 유지관리 정책 수립의 합리적인 개선 방향을 제시하고자 하였다. 연구 결과에 근거하여 교량은 상부구조형식, 안전등급에 따라 기존 점검 및 진단 주기의 일부 조정이 필요할 것으로 판단되며, 향후 보다 다양한 교량형식에 대한 세부적인 연구를 통해 유지관리 정책의 개선이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Abstract Because bridges are major national infrastructure, regular safety inspections or diagnoses for bridges have been conducted in accordance with the "Special Act on the Safety and Maintenance of Facilities." Accordingly, the condition and safety assessments of the bridge are conducted to derive the condition and safety rating, respectively. A lower result is determined to be the safety grade of the bridge. In this study, the relationship between the condition rating and safety rating, which are the core of the bridge safety grade, was analyzed by the representative superstructure types of bridges, such as RC slab, PSCI girder, Steel box girder, Rhamen, and Preflex girder, to identify the correlation status and range between each rating. A reasonable improvement direction for establishing existing maintenance policies was suggested by proposing an alternative plan to change the proper implementation cycle of the inspection and diagnosis of bridge superstructure types. As a result of the research, it is necessary to adjust the inspection and diagnosis cycle according to the superstructure type and safety grade. In addition, maintenance policies need to be improved through detailed research on more diverse bridge types in the future.

Keywords : Bridge, Safety Grade, Condition Assessment, Safety Assessment, Maintenance Strategy

본 논문은 국토교통부의 교량관리시스템 운영 과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Kyung-Hoon Park(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: paul@kict.re.kr

Received December 30, 2020

Revised February 22, 2021

Accepted March 5, 2021

Published March 31, 2021

1. 서론

급속한 경제성장 과정에서는 사회기반시설물의 빠른 확충을 위해 공사기간의 단축 및 공사비 절감이 최우선 되지만, 국가가 발전함에 따라 일정 수준 이상 기반시설이 확충되면 기반시설물의 신규 건설을 위한 투자 보다 유지관리에 관심을 기울일 수밖에 없다. 1994년 10월 21일의 성수대교 붕괴사고는 시설물 유지관리의 대전환점이 되어 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(이하 시설물안전법)[1]”이 제정 공포되었고, 지속적으로 개정되어오고 있다. 시설물안전법에서는 시설물의 중요도, 규모 등을 고려하여, 시설물을 제1·2·3종으로 구분하고 있다. 그 중 제1종시설물에 대해서는 정기적으로 정밀안전진단과 안전점검(정기·정밀)을, 제2종시설물에 대해서는 정기적으로 안전점검을, 제3종시설물에 대해서는 정기안전점검을 실시하도록 규정하고 있다.

정밀안전진단과 안전점검에 따른 평가등급의 정량화는 일반적으로 A등급(우수)에서 E등급(불량)까지 5단계로 구분된다. 교량의 정밀안전진단 실시 주기는 직전 평가된 안전등급이 A등급이면 6년, B·C등급은 5년, 그리고 D·E등급은 4년에 1회 이상으로 정의하고 있다. 정밀안전점검은 A등급 3년, B·C등급 2년, 그리고 D·E등급은 1년에 1회 이상 실시하도록 정의하고 있다. 일반적으로 교량의 안전등급 분포가 대부분 B와 C 등급인 점을 고려하면 대체로 2년마다 정밀안전점검을 실시(1·2종 교량)하고, 5년마다 정밀안전진단을 실시(1종 교량)하게 된다.

“시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침[2]”에서 교량의 안전등급은 상태평가와 안전성평가 중 낮은 평가된 등급을 적용하도록 정의되어있다. 일반적으로 상태평가는 모든 점검·진단에 기본적으로 적용되며, 안전성평가는 정밀안전점검에는 선택적으로 정밀안전진단에는 기본적으로 적용된다. 1종 교량에 평균 5년마다 적용되는 정밀안전진단의 대가는 1·2종 교량에 평균 2년마다 적용되는 정밀안전점검 대가의 약 5.5배에 이른다. ‘19년 일반국도 상 교량 중 정밀안전점검이 수행된 교량은 1,115개소, 정밀안전진단이 수행된 교량은 151개소이다. 따라서 대부분의 경우 점검주기가 짧은 정밀안전점검의 상태평가 결과가 전체 교량 군(群)의 안전등급 경향을 지배하게 되고, 보수보강 여부의 일차적인 판단에 활용되고 있다. 정밀안전진단의 안전성평가 결과는 수행되는 비율이 낮고, 일반적으로 상태평가에 비해 양호한 등급을 나타내므로 전체 교량 군의 안전등급 경향에 영향이 크지 않다. 하지만 육안점검 위주인 상태평가를 통해 발견하기 어려

운 개별 교량의 구조적 안전성을 판단하는데 효과적으로 활용될 수 있다.

본 논문에서는 비교적 유지관리가 체계적으로 이루어지고 있는 일반국도 상 주요 상부구조형식 교량에 대해 조사된 상태평가와 안전성평가 결과를 바탕으로 상태등급과 안전성등급의 관련성을 비교, 분석하여 합리적인 유지관리 정책 수립의 방향성을 제시하고자 한다.

2. 연구동향

국외에서는 다수의 교량에 대해 주기적인 안전성평가를 수행하는 경우가 드물어 상태평가와 비교분석을 수행한 연구를 찾아보기 어려운 실정이며, 국내의 관련 연구는 다음과 같다. 교량의 유지관리와 관련하여 상태평가와 내하력과의 상관성을 분석하고자 Park 등[3]은 거더교와 슬래브교를 대표 교량으로 선정하여 연구하였다. 그러나 거더교량의 범주에 PSCI거더교 외에 PSC박스거더교, 강박스거더교, 강플레이트거더교, 강거더교를 모두 포함하여 50개 교량을, 슬래브교의 범주에 RC슬래브교, PSC슬래브교, 라멘교를 포함하여 18개 교량을 대상으로 고려하고 있어 상부구조 형식에 적합한 세분화가 필요하다. 또한 등급 비교분석을 최종 안전등급으로 수행하여 동일 등급에서 상태등급과 안전성등급의 구분에 따른 관련성을 분석할 필요가 있다. Lee 등[4]은 소규모 교량에 대해 상태평가와 내하성능평가를 통해 유지관리의 적정성을 분석하였다. 이 연구는 30년 이상 된 소규모 노후교량 12개를 대상으로 분석하였으나 교량의 형식이 RC슬래브교, PSCI거더교 및 라멘교로 국한하여 분석대상 교량의 수가 적고, 교량형식별 구분이 되지 않아 분석결과의 보편성에 한계를 가지고 있다. 내하성능과 상태평가 지수 사이의 상관성에 대해서도 교량형식별로 구분한 상세분석이 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다. Kyung 등[5]은 내하력평가와 직접적인 관련성이 있는 변수를 대상으로 공용년수가 내하력에 미치는 영향을 분석하였다. 하지만 내하력과 상태등급과의 상관성에 대한 분석 시에 상태등급을 결정하게 된 환산결합도점수를 고려하지 않아 실질적인 상태평가 결과와 내하력과의 상관성을 명확하게 밝히는데 한계가 있다. 한편 상태등급과 공용내하율과의 직접적인 상관성 추정은 어렵지만, 공용년수에 따라 일정한 경향을 나타내고 있으므로 보다 많은 데이터를 확보하여 지속적인 연구가 필요하다고 제안하고 있다.

이 외에도 점검활동의 개선방향을 제시하기 위해 Jeon 등[6]은 고속도로 교량에 대해 손상의 유형을 결합에 의한 손상, 물리력에 의한 손상 및 열화에 의한 손상 등 3가지 유형으로 분류하고 유손상율의 개념을 도입하여 교량 구성부재의 손상이 어떤 유형에 해당하는지에 관심을 가지고 검토하였다. 또한 10대 손상유형을 정리하여 유지관리단계에서의 증점관리 손상유형을 제시하였다. 한편 Oh 등[7]은 일반국도 상의 교량 바닥판에 한정하여 상태평가등급에 영향을 미치는 변수로 지역 및 공용기간을 분석대상으로 삼았으며, Lee 등[8]이 고속도로 교량의 바닥판 열화 현황을 검토하였으나 동절기에 의한 열화인자가 관심의 대상이었다. 이상의 연구는 전체 경향을 파악하고 상세 연구를 진행하는 방식이 아니라 분석 대상 교량 수가 적거나 상세한 분류를 통해 특정 그룹에 제한적이고 세분화된 분석을 수행하여 일반화된 결론을 도출하는데 어려움이 있다.

3. 상태평가 및 안전성평가 방법

3.1 상태평가 방법

교량의 외관상태 점검결과에 따라 부재별 상태평가를 수행하며, 부재별 가중치를 곱하여 환산결함도점수(x)를 계산한다. 결함도점수의 범위에 따라 결함도지수는 0.1~1.0, 상태등급은 A~E로 구분되며, 각각의 결함도지수와 상태등급이 일반적으로 의미하는 바는 Table 1과 같다.

Table 1. Criteria for grade and defect-rate

Condition Rating	Defect-rate index	Defect-rate range	Meaning
A	0.1	0 ≤ x < 0.13	Excellent
B	0.2	0.13 ≤ x < 0.26	Good
C	0.4	0.26 ≤ x < 0.49	Fair
D	0.7	0.49 ≤ x < 0.79	Poor
E	1.0	0.79 ≤ x	Bad

3.2 안전성평가 방법

교량의 안전성은 안전율(Safety Factor; SF)과 공용내하력(load-carrying capacity)에 따라 결정되며, 안전성평가 기준은 Table 2와 같다. 안전율은 콘크리트교는 강도설계(Ultimate Stress Design; USD), 강교는 허용응력설계(Working Stress Design; WSD) 방법에 따라 Eq. (1) 및 (2)로부터 구한다.

Table 2. Criteria for Safety Evaluation

Classification	Safety Rating
A	$SF < 1.0$
B	$0.9 \leq SF < 1.0$, but when the load-carrying capacity is greater than the design load
C	$0.9 \leq SF < 1.0$
D	$0.75 \leq SF < 0.9$
E	$SF < 0.75$

$$SF = \frac{\phi M_n}{M_u} \text{ for USD} \quad (1)$$

$$SF = \frac{f_a}{f_{d+l}} \text{ for WSD} \quad (2)$$

Where, ϕ denotes strength reduction factor, M_n and M_u denote designed and ultimate bending moment strength, respectively. f_a denotes allowable stress and f_{d+l} denotes stress due to dead and live load simultaneously.

공용내하력(P)의 산정은 Eq. (3)과 같이 구조해석을 통해 기본내하율(RF , Eq. (4)&(5))을 구하고, 여기에 재하시험을 통해 구한 응답보정계수(K_s , Eq. (6))와 설계하중(P_r)을 곱하여 구한다.

$$P = K_s \times RF \times P_r \quad (3)$$

$$RF = \frac{M_d - \gamma M_l}{\gamma M_l(1+i)} \text{ for USD} \quad (4)$$

$$RF = \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)} \text{ for WSD} \quad (5)$$

$$K_s = \frac{\delta_{cal}(\epsilon_{cal})}{\delta_{mea}(\epsilon_{mea})} \times \frac{(1+i_{cal})}{(1+i_{mea})} \quad (6)$$

Where, M_d and M_l denote bending moment due to dead loads and live loads, respectively. f_d , γ_d and f_l , γ_l denote stress and load factor due to dead loads and live loads, respectively. i represent impact factor, δ_{cal} , ϵ_{cal} , δ_{mea} , and ϵ_{mea} denote calculated and measured displacement and strain respectively.

4. 안전등급의 비교분석

4.1 일반국도 상 교량 현황

우리나라의 도로 교량 현황은 2019년 말 기준으로 35,902개소이며, 고속국도, 일반국도, 특별·광역시도, 지방도 및 시·군·구도로 구분된다[9]. 대표적 교량 상부구조 형식인 RC슬래브교, PSCI거더교, 강박스거더교, 라멘교, 프리플렉스거더교의 5가지 형식을 도로 구분에 따라 분류하면 Table 3과 같다. 본 연구에서는 일반국도 교량 중 개소 수의 91.8%, 연장의 85.1%를 점유하고 있는 5가지 대표 교량형식을 대상으로 하며, 각 형식이 차지하는 개소 수 및 연장 비율은 Fig. 1과 같다.

Table 3. Number (N) and length (L, unit: km) of bridges according to superstructure type and classification of road

Road type		RC slab	PSCI girder	Steel box	Rahmen	Preflex girder	Etc.
Express highway	N	282	3,935	1,886	2,902	445	1,152
	L	13,367	580,041	399,524	48,682	21,803	332,317
National road	N	1,180	2,488	1,938	2,026	387	721
	L	55,700	267,949	403,528	38,963	20,985	150,578
Metropolitan city road etc.	N	215	233	334	197	114	363
	L	19,576	38,038	146,318	10,911	13,550	138,625
Local road	N	2,162	791	401	1,242	186	707
	L	68,181	92,128	90,972	28,390	13,774	103,766
City road etc.	N	4,956	685	380	2,126	340	1,128
	L	184,446	84,854	76,193	59,064	26,189	138,393
Sum	N	8,435	8,132	4,939	8,493	1,472	4,431
	L	359,270	1,063,009	1,116,534	186,009	96,301	845,679

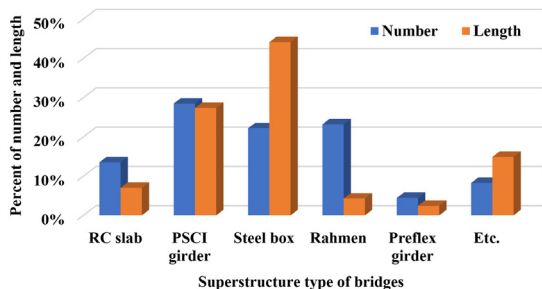


Fig. 1. Distribution of number and length of bridges according to superstructure type on national road

4.2 안전등급 평가

본 연구에서는 일반국도 교량관리시스템(Bridge

Management System; BMS)[10] 및 시설물통합정보시스템(Facility Management System; FMS)[11]을 통해 5가지 대표 상부구조형식 교량에 대한 정밀안전진단 수행 정보를 조사하여 안전등급, 상태등급 및 안전성등급의 연관성 분석을 수행하였다. Table 4와 같이 5가지 대표 교량형식에 대해 최근 10년간 수행된 정밀안전진단 결과 중 수집된 데이터 209건을 대상으로 하였으며, 동일 교량에 반복 시행된 32건의 결과를 고려하면 총 177개소 교량을 분석대상으로 하였다.

Table 4. Number of reference and overlap bridges

Bridge	RC slab	PSCI girder	Steel box	Rahmen	Preflex girder
Reference	59	44	67	12	27
Overlap	3	4	20	1	4

Table 4의 교량을 대상으로 상부구조형식별 안전등급(safety grade)과 상태등급(condition rating), 안전성등급(safety rating)의 분포를 나타내면 각각 Fig. 2~4와 같다. 교량의 안전등급은 각 교량에 대해 상태등급과 안전성등급 중에 낮은 등급을 부여한다. Fig. 2와 Fig. 3을 비교해보면 교량의 안전등급이 상태등급과 유사한 형태로 나타나는 것을 알 수가 있다. 이는 상태등급이 해당 교량의 안전등급을 결정하는데 있어 지배적이며, 구조적 안전성을 나타내는 Fig. 4의 안전성등급은 Fig. 3의 외관조사에 의한 상태등급보다 높게 평가되고 있음을 확인할 수 있다.

이상의 결과로부터 단순히 최종적인 안전등급에 근거하여 유지관리전략을 수립하는 것은 상태등급과 안전성등급의 영향을 복합적으로 고려하지 못하므로, 이러한 관계를 비교분석하여 안전성등급을 평가하기 위해 주기적으로 수행되는 고비용의 정밀안전진단 주기를 조정하는 방안 마련이 필요하다.

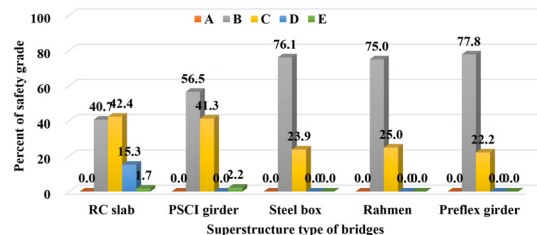


Fig. 2. Distribution of safety grade by superstructure type

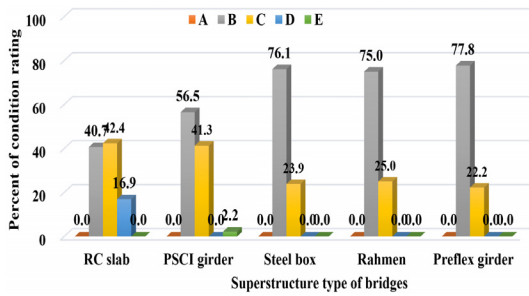


Fig. 3. Distribution of condition rating by superstructure type

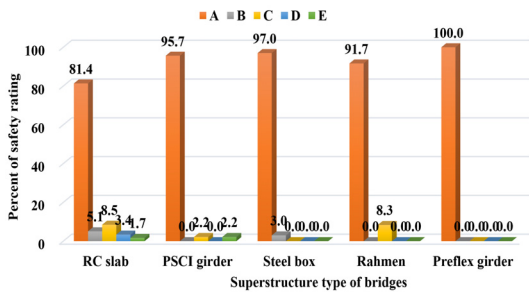


Fig. 4. Distribution of safety rating by superstructure type

4.3 상태등급과 안전성등급의 비교분석

대상교량의 상태등급 분포는 Fig. 3과 같이 B등급과 C등급이 대부분이지만 안전성등급은 Fig. 4에서 알 수 있듯이 RC 슬래브교를 제외한 대부분의 대상교량이 A등급으로 나타나고 있다. 따라서 B 이하의 안전성등급 데이터는 통계적 의미를 갖는 범위 밖에 있으므로, 안전성등급이 A인 교량에 대해 상태등급과 안전성등급 사이의 관련성을 분석하였다. 안전성등급 B 이하인 교량은 대부분 노후도가 높은 교량으로, 향후 노후도의 진전에 따라 관련 데이터가 충분히 확보되면 연구를 확대하고자 한다.

상태등급과 안전성등급 간의 관계를 보다 자세히 비교 분석하기 위해, 각 등급을 A=100 이상, B=90, C=80, D=70, E=60 이하는 되도록 지수화하고, 100 이상과 60 이하는 선형 비례하도록 선정하였다. 각 평가등급의 정량적 지수인 상태지수(condition index)와 안전성지수(safety index)를 동등하게 비교하기 위하여 두 지수 간의 정규화를 수행하였다. 정규화된 상태지수와 안전성지수를 상부구조형식에 따라 비교해 보면 Fig. 5~9와 같다. 안전성지수의 정규화 값은 안전성등급 A 이상을 대상으로 하였으므로 전체가 100 이상이 됨을 알 수가 있다. Fig. 5~9와 같이 상부구조형식과 무관하게 상태지수

와 안전성지수의 결정계수(R^2)는 0.0286~0.2687의 범위로 매우 낮게 나타났다. 이를 통해 외관조사로부터 도출되는 상태지수를 통한 안전율이나 내하력과 같은 구조적 안전성을 나타내는 안전성지수의 정량적, 직접적 예측에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

형식 자체의 높은 구조적 안전성과 데이터가 상대적으로 부족한 라멘교를 제외한 교량형식에 있어 상태지수와 안전성지수가 정도에 차이는 있지만 연동하여 정비례(Fig. 5~7, 9)함을 알 수 있다. 이는 현재와 같은 점진진단과 유지관리가 수행된다면, 정밀안전진단이 이루어지지 않는 교량의 경우에도 안전점검 결과를 바탕으로 일정 부분 구조적 안전성을 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 라멘교는 반비례(Fig. 8)하는 경향을 나타내고 있으므로 향후 좀 더 많은 데이터를 확보하여 추가적인 분석이 필요하며, 본 연구에서 제시되지 않은 기타형식의 교량에 대해서도 동일한 분석을 수행하여 그 결과를 바탕으로 최종 방향을 모색하는 것이 필요하다.

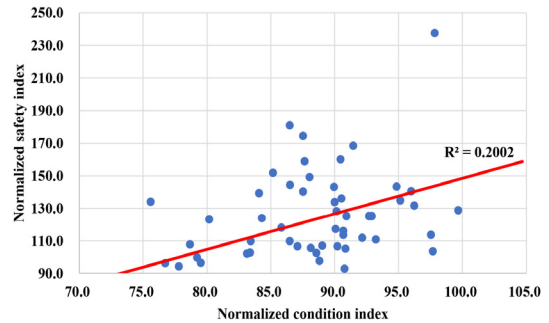


Fig. 5. Relationship between the condition index and safety index of RC slab bridges

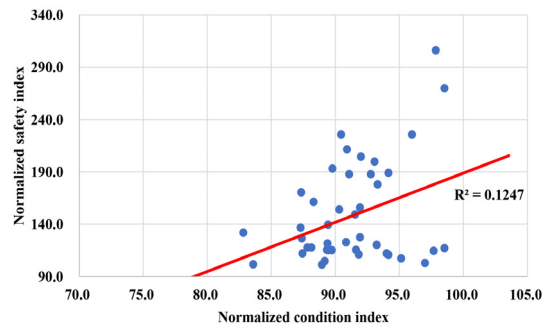


Fig. 6. Relationship between the condition index and safety index of PSCI girder bridges

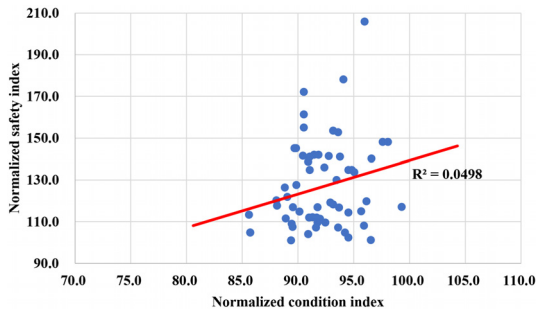


Fig. 7. Relationship between the condition index and safety index of Steel box girder bridges

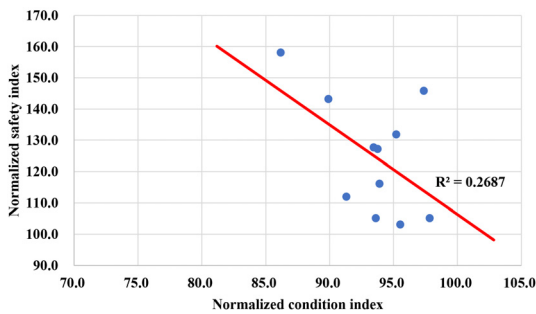


Fig. 8. Relationship between the condition index and safety index of Rahmen bridges

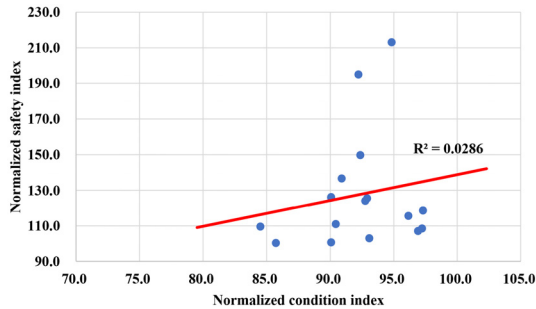


Fig. 9. Relationship between the condition index and safety index of Preflex girder bridges

유지관리 정책 수립의 핵심정보인 안전등급의 선정이 주로 상태등급에 의해 지배된다는 것을 4.2절에서 확인하였다. 따라서 상태등급에 의해 안전등급이 최종 판정된 교량에 대해, 안전성등급이 상태등급에 비해 어느 정도의 안전여유(safety margin)를 가지고 있는지 살펴보기 위해 정량적인 지수(안전성지수/상태지수)로 변환시켜 비교분석하였다. 그 예로서 PSCI 거더교의 정규화 된 상태 지수와 안전성지수 그리고 안전여유를 나타내면 Table 5와 같다. 각 상부구조형식별 안전여유의 평균값과 표준편차를 나타내면 Table 6 및 Fig. 10과 같다.

Table 5. Normalized safety margin of PSCI girder bridges

No. of bridge	(A)	(B)	(C)	No. of bridge	(A)	(B)	(C)
1	90.8	122.8	1.35	23	89.7	115.0	1.28
2	88.1	117.6	1.33	24	89.4	121.6	1.36
3	87.8	117.6	1.34	25	89.4	115.6	1.29
4	91.6	115.6	1.26	26	96.0	225.5	2.35
5	87.3	136.5	1.56	27	90.5	225.5	2.49
6	98.5	269.8	2.74	28	90.9	211.4	2.32
7	91.9	127.6	1.39	29	93.1	199.7	2.15
8	94.0	112.0	1.19	30	91.9	155.8	1.69
9	97.0	102.8	1.06	31	89.8	193.2	2.15
10	89.4	115.1	1.29	32	87.4	112.0	1.28
11	94.2	110.8	1.18	33	87.3	170.3	1.95
12	89.0	101.2	1.14	34	88.3	161.2	1.83
13	87.4	126.4	1.45	35	92.0	204.4	2.22
14	91.5	149.2	1.63	36	91.8	111.0	1.21
15	90.3	154.0	1.71	37	97.8	306.0	3.13
16	94.2	189.2	2.01	38	89.2	104.8	1.18
17	93.2	120.0	1.29	39	93.3	178.0	1.91
18	93.2	120.0	1.29	40	91.1	187.7	2.06
19	89.3	115.6	1.29	41	92.8	187.7	2.02
20	83.6	101.6	1.21	42	82.8	131.9	1.59
21	98.5	117.0	1.19	43	95.2	107.2	1.13
22	89.4	139.6	1.56	44	97.7	114.6	1.17

Note : (A) Normalized condition index, (B) Normalized safety index, (C) Safety margin

Table 6. Average and standard deviation of safety margin

Bridge	RC slab	PSCI girder	Steel box	Rahmen	Preflex girder
Average	1.38	1.62	1.37	1.34	1.42
Stand. Dev.	0.28	0.40	0.18	0.18	0.28

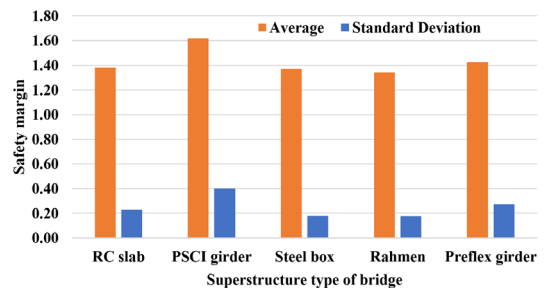


Fig. 10. Average and standard deviation of safety margin by superstructure type

평균안전여유가 1.0이면 상태등급의 분석을 통해 유지관리방안을 수립하는 것이 안전성평가를 통해 유지관리방안을 수립한 것과 유사하다고 할 수 있다. 그런데 모든 상부구조형식에 대해 평균안전여유는 1.0을 훨씬 상회하는 평균값(1.34~1.62)을 가지고 있으며, 각각의 표준편차를 고려하여도 1.0 이하가 발생할 확률이 거의 없는 것을 알 수가 있다. 이로부터 안전성등급이 A 이상인 교량에 한정적인 결과이기는 하지만, 고정된 주기를 가지고 안전성평가를 수행하기 보다는 상태평가를 주기적으로 진행하여 특정 시점에 안전성평가를 시행하는 방안을 모색하는 것이 합리적으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 교량의 안전점검·진단에 있어 최종적인 안전등급을 산정하기 위하여 수행되는 상태평가와 안전성평가의 상호 관련성을 분석하고, 효과적이고 합리적인 유지관리 정책 수립을 위하여 점검 및 진단의 적절한 평가 주기를 제안하고자 하였다. 일반국도 상의 대표 상부구조형식 교량에 대한 209건의 실제 점검·진단 자료를 분석하고, 상태등급과 안전성등급을 바탕으로 상태지수, 안전성지수, 안전여유 등을 제안하고 분석인자로 활용하여 보다 구체적인 분석을 수행하였다. 도출된 결론은 다음과 같다.

교량의 안전등급 결정에는 상태등급이 지배적이며, 육안조사에 치중된 상태등급과 구조적 해석 또는 실험 결과가 반영된 안전성등급을 단순 비교하면 안전성등급이 안전 측의 결과를 보였다. 상태지수와 안전성지수를 정규화하여 비교한 결과, 두 지수간의 상관성은 크지 않으나 대부분의 교량 형식에서 상호 연동하여 정비례 관계를 나타내었다. 따라서 현행 법·제도에 기반하여 유지관리업무 수행이 이루어지고 적정 수준의 보수·보강이 지속적으로 이루어진다면 정밀안전진단에 따른 안전성평가가 수행되지 않는 교량의 경우에도 안전점검의 상태평가 결과를 바탕으로 간접적인 구조적 안전 수준의 추정이 가능할 것으로 판단된다.

상태등급에 대한 안전성등급의 여유도를 나타내는 안전여유를 분석한 결과, 현재의 안전성등급이 A 이상인 교량에 한정하여 상부구조형식별로 평균안전여유는 1.34~1.62로 평가되었다. 따라서 일정한 고정주기로 안전성평가를 수행하기 보다는 상태평가를 주기적으로 진행하여 일정 기준 이상의 평가결과가 도출된 시점에 안

전성평가를 시행하거나, 구체적인 분석을 통해 안전성평가 주기를 적정한 수준으로 증가시키는 방안을 모색하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

데이터 수집의 현실적 제약으로 인해 제한된 교량을 대상으로 연구를 수행하였으나 향후 대상교량의 수를 확대하고 동일 교량에 대해 지속적인 점검·진단과 이에 따른 보수·보강 수행 효과를 반영한 열화손상의 분석이 실시된다면 보다 합리적인 안전성평가 주기를 제시할 수 있을 것이다. 또한 교량 상부구조형식에 따라 상태평가 결과를 통해 간접적인 안전 수준의 판단이 가능해지면 보다 효율적인 국가예산의 활용을 도모할 수 있을 것이다.

References

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Special act on the safety and maintenance of Facilities, 2020.
- [2] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Detail Guidelines for safety inspections and full safety examinations, Korea Authority of Land and Infrastructure Safety, 2019.
- [3] J.-H. Park, H. An, M. Han, J. Min, J.-H. Lee, "Examination of correlation between the condition evaluation results of superstructure and the safety and load-carrying capacity of bridges", *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol.24, No.4, pp.64-71, Aug. 2020. DOI: <https://doi.org/10.11112/iksmi.2020.24.4.64>
- [4] H. Lee, H. Roh, J.-W. Sun, K.-H. Park, "Analysis of appropriateness for maintenance of aged small bridges based on condition and load carrying capacity evaluation", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.20, No.2, pp.59-66, Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.2.59>
- [5] G. S. Kyung, Y. I. Lee, S. J. Lee, "Analysis of load carrying capacity of bridges based on field data with serviced time", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.35, No.1, pp.31-38, Jan. 2015. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.1.0031>
- [6] J. C. Jeon, I. K. Lee, C. H. Park, H. H. Lee, "A study on improvement of inspection activity based upon condition analysis of expressway bridges", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.37, No.1, pp.19-28, Feb. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2017.37.1.0019>
- [7] K. C. Oh, J. G. Lee, J. Y. Shin, B. S. Chang, "A study on condition assessment of the general national road bridge deck", *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol.16, No.6,

pp.93-101, Nov. 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2012.16.6.093>

- [8] I.-K. Lee, W.-S. Kim, H.-T. Kang, J.-W. Seo, "Analysis and prediction of highway bridge deck slab deterioration", *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol.19, No.2, pp.68-75, Mar. 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2015.19.2.068>
- [9] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Yearbook of road bridge and tunnel statistics, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 2020.
- [10] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT), Bridge and Tunnel Integrated Management System, Available From: <https://nbms.kict.re.kr> (accessed Dec. 18, 2020)
- [11] Korea Authority of Land and Infrastructure Safety, Facility Management System Available From: <https://www.fms.or.kr> (accessed Dec. 18, 2020)

황 윤 국(Yoon-Koog Hwang) [정회원]



- 1983년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 1998년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (구조공학박사)
- 1984년 9월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 전문위원

<관심분야>

토목구조 기준, 해석 및 설계, 유지관리, 해양구조물

선 종 완(Jong-Wan Sun) [정회원]



- 2004년 2월 : 한양대학교 대학원 토목환경공학과 (구조공학석사)
- 2010년 8월 : 한양대학교 토목공학과 (구조공학박사)
- 2008년 8월 ~ : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 수석연구원

<관심분야>

기반시설생애주기관리, 구조신뢰성

최 영 민(Young-Min Choi) [정회원]



- 1992년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 1999년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (구조및재료공학박사)
- 2002년 9월 ~ 2004년 8월 : 한양대학교 BK21 연구교수
- 2004년 7월 ~ 현재 : 자람기술(주) 대표

<관심분야>

가치공학, 구조공학, 신뢰성공학

박 경 훈(Kyung-Hoon Park) [정회원]



- 1998년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 2006년 2월 : 한양대학교 대학원 토목환경공학과 (구조공학박사)
- 1999년 3월 ~ 2000년 2월 : 한양대학교 강사

- 2000년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 연구위원

<관심분야>

교량공학, 기반시설생애주기관리