

리스크매트릭스를 활용한 중소규모 교량의 유지관리 시나리오 기법 개발

박현찬¹, 신병길^{2*}, 조중연³, 김영민⁴, 장범수⁵

Development of Maintenance Scenario Method for Small and Medium-sized Bridges Using Risk Matrix

Hyun-Chan Park¹, Byoung-Gil Shin^{2*}, Choong-Yuen Cho³, Young-Min Kim⁴, Buhm-Soo Chang⁵

Abstract: This paper is a maintenance system for bridge represented by Class 3 and other than by law bridges. Domestic bridge are divided into Class 1 & 2 bridges and Class 3 & other than by law bridges. The number of type 3 and other than by law bridges is very large. But, it is considered to be of relatively low importance compared to Class 1 & 2 Bridge Bridge. So, in this paper is propose a maintenance system and procedure for small & medium-sized bridges. However, because the number of small & medium-sized bridges is large, it is not possible to evaluate the performance of all bridges like Class 1 & 2 bridge. The reason is the lack of manpower and budget. Based on the Risk Matrix method, a maintenance procedure was created to select the bridge for which performance evaluation should be performed first. For this purpose, basic information of the bridge is used. And, the developed maintenance procedures were applied to the bridges in actual use.

Keywords: Risk matrix, Small & medium sized bridges, Class 3 and other than by law facility, Maintenance scenario, Prioritization based on risk, Bridge management system

1. 서 론

국내 전체 교량 32,638개소 중 1,2종을 제외한 중소규모 교량으로 대표되는 3종 및 법정 외 교량은 63%에 해당하는 21,245개소(20.12월 시설물통합정보관리시스템(Facility Management System, FMS) 기준)이다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020). 이러한 중소규모 교량은 안전점검 평가 미비 및 성능평가를 수행하는 규정이 없어 유지관리 보완조치가 미흡하여 사고 발생 및 관리 사각 우려 등의 한계가 있다. 1, 2종 및 국도 교량의 경우는 안전점검 및 정밀점검, 정밀안전진단과 같이 관리주체의 의지에 따라 철저한 관리가 시행되고 있으나, 3종 이하 및 지방도로 등의 교량은 정기안전점검과 필요한 경우에만 시행하는 정밀안전점검 및 긴급안전점검 등으로 1, 2종 교량에 비해 관리가 소홀한 실정이다. 현실적으로

로 전체 교량의 63%의 많은 교량을 관리하기 어려운 실정이므로 제한된 교량관리 인력과 예산의 한계를 극복하기 위해 생애주기비용(Life Cycle Cost, LCC) 기반의 유지관리 기법 개발을 통하여 운영 체계의 효율적인 개선이 필요하다.

또한, 과거 80~90년대 시설물 증가하였고, 이 때 건설된 시설물의 노후화로 인해 유지관리 비용이 증가할 것으로 예상되고 있다. 이러한 유지관리 증가를 대비하여 서울시에서는 시설물의 빅데이터를 기반한 기반시설 통합관리 시스템을 수립하고, 국토교통부에서 15종 기반시설을 대상으로 기반시설시스템(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021)을 구축하여 현재 운영중이다.

시스템을 이용한 효율적인 교량의 관리를 위해 관리주체에서는 시설물 관리 시스템에 대해 관심을 가지고 있다. 국토교통부의 교량통합관리시스템(Bridge Management System, BMS)은 교량을 대상으로 개발된 시스템으로써 실제 공용중인 교량의 현황 및 유지관리 관련 데이터를 통계 분석하여 유지관리 계획 및 현황 파악에 사용하고 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020). 이를 통해 비용모델과 열화모델을 사용하여 전문성을 강화하였다. 서울시 기반시설 통합관리시스템은 실제 관리주체에서 성능, 비용, 수명에 대한 기대효과를 분석하여 예산 확보 및 집행에 대한 타당성을 마련하였다.

국내 시스템을 이용한 유지관리 사례들과 본 연구의 공통

¹정회원, 국토안전관리원 안전성능연구소 연구원

²정회원, 국토안전관리원 안전성능연구소 선임연구원

³정회원, ㈜유니콘스 대표이사

⁴정회원, 국토안전관리원 안전성능연구소 정책연구실장

⁵정회원, 국토안전관리원 생활시설본부 국장

*Corresponding author: bk3022@kalis.or.kr

Research Institute for Safety Performance, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety (Kalis), 24, Ena-ro 128beon-gil, Jinju-si, Gyeongsangkam-do, 52856, Korea)

• 본 논문에 대한 토의를 2022년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2022년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

점은 실제 공용중인 교량의 효율적 관리를 위한다는 것은 동일하나, 유지관리 체계 및 분석 모델은 1, 2종의 대형 교량이나 시설물에 중점되어 있다. 또한, 기존 체계와는 다르게 중소규모 교량에 적합한 유지관리 체계를 위한 모델을 분석과 점검 및 진단 등 점검체계가 1, 2종에 비해 열악한 실정의 중소 규모 교량을 현황 정보를 이용한 위험도 분석을 통해 선택적으로 우선순위로 성능평가를 수행할 수 있어야 할 것이다. 이를 위해 본 논문은 중소 규모 교량의 유지관리 절차에 대한 제안과 그 절차 중 종합적 성능평가 우선순위 대상 선정을 위해 리스크 매트릭스 기법을 사용한 방법을 제시하였다.

2. 중소 규모 교량의 유지관리 체계 제안

2.1 중소 규모 교량의 유지관리 체계에 따른 절차

2.1.1 중소 규모 교량의 유지관리체계 제안

본 논문에서 제안하고 하는 중소교량의 관리체계는 크게 네트워크 레벨과 프로젝트 레벨로 구분할 수 있다. 먼저, 네트워크 레벨의 교량관리 체계는 관리대상 교량 전체에 대하여 그룹화하여 관리하는 방안이고 관리대상 교량 중 개별의 교량 관리하는 방안을 프로젝트 레벨의 관리체계라 한다. 결국 프로젝트 레벨과 네트워크 레벨의 교량관리 체계는 유기적으로 수행되며 이를 도식화 하면 Fig. 1과 같다.

네트워크 레벨의 교량 관리체계는 관리대상 교량 전체에 대한 현황정보를 수집하여 이를 데이터베이스(Database, DB)화하여 리스크매트릭스를 이용한 위험도 기반의 성능평가 우선순위 평가를 수행한다. 위험도 기반의 성능평가 우선순위 평가결과는 관찰교량군, 단기실시 교량군, 즉시실시 교량군으로 분류한다.

프로젝트 레벨의 교량 관리체계는 각각의 교량별로 앞서 실시한 위험도 기반의 성능평가 우선순위의 결과 중 즉시실시 교량군에 속하는 개별 교량에 대해 종합적 성능평가를 수행하며, 종합적 성능평가를 수행한 결과는 성능등급으로 산출되는 A등급에서 E등급까지 대상 교량의 성능등급이 산출

된다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019).

이 성능등급과 교량의 공용년수를 제시된 기준에 따라 조치계획을 수립하며, 조치계획은 일정 성능등급 이상일 경우 조치를 수행하지 않고 지속적인 관찰을 한다. 또한, 일정 성능등급 이하의 경우 공용년수에 따라 보수보강 공사 계획과 성능개선 공사 계획을 수립한다. 조치 계획에 따라 조치한 결과를 교량 현황정보에 업데이트하여 최신화한다.

2.1.2 중소 규모 교량의 유지관리 절차

유지관리 시나리오 절차는 교량의 현황 정보를 수집하고 수집된 정보로 위험도 기반의 성능평가 우선순위를 산정하고 선정된 교량의 성능평가를 통해 중소 규모의 교량을 관리하는 것이다.

먼저, 현황조사 정보수집으로 관리 대상의 중소 규모의 교량에 대한 정보를 수집하며, 정보의 내용은 다음 2.2절에 기술하였다. 위험도 기반 성능평가 우선순위 산정은 위험도를 이용하여 수집된 현황 정보를 통해 위험도 분석을 실시하여 조치가 필요한 대상 교량군에 대하여 종합적 성능평가 우선순위를 부여한다.

종합적 성능평가 수행은 위험도 기반 성능평가 우선순위를 산정하여 성능평가 대상 교량을 선정하고 선정된 교량에 대하여 3종 및 법정 외 교량 대상의 성능평가를 수행하여 등급을 산출한다. 산출되는 성능등급은 A-E등급으로 구분되며 상위 성능부터 A등급을 부여한다. 이 때, 종합적 성능평가를 실시하여 대상 교량의 추가 자료는 현황조사 정보에 갱신한다. 종합적 성능평가의 방법 및 절차에 대해서 본 논문에서는 다루지 않고 평가결과인 성능등급만을 사용한다.

성능평가 결과 조치 기준 등급이하의 교량에 대하여 즉각 조치가 필요하다고 판단될 경우 보수보강 공사 및 성능개선 공사 계획을 수립한다. 또한, 조치 기준상으로 즉각적인 조치가 아닌 경우 판단될 경우 추가로 조사된 정보들은 정보수집 단계의 현황정보에 갱신하여 차후 평가시 활용된다. 일련의 유지관리 시나리오 절차를 도식화 하면 Fig. 2와 같다.

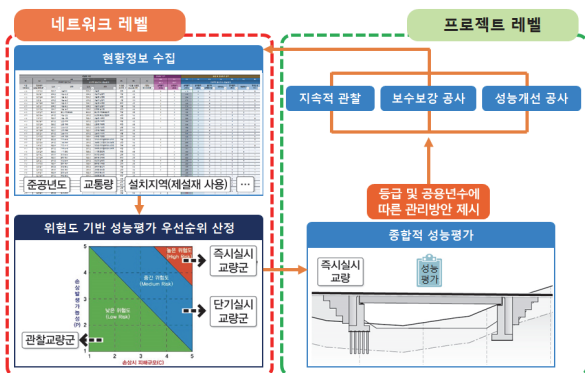


Fig. 1 Management system of small and medium sized bridges

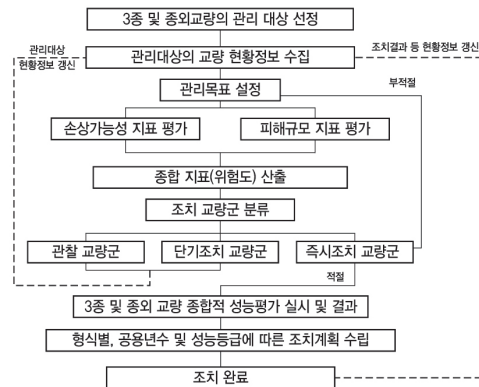


Fig. 2 Procedure of maintenance scenario

2.2 종합적 성능평가 대상 우선순위 선정

2.2.1 리스크매트릭스를 이용한 위험군 분류

중소 규모의 교량인 3종 및 기타 교량은 1, 2종 교량에 비해 점검진단 및 성능평가에 대한 관심을 받지 못하고 있으나, 사회 기반시설물로 그 중요성은 1, 2종에 못지 않게 중요성을 갖고 있다. 하지만, 1, 2종 교량의 경우 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(국토교통부, 2020)으로 주기적인 성능평가를 실시하고 있다. 하지만 3종 및 법정외 교량의 경우 이러한 법적인 강제성이 없으므로 관리주체의 예산, 인력 등의 문제로 인하여 소홀히 관리될 수도 있다.

이에 따라 본 논문에서는 교량의 현황 및 유지관리에 대한 정보 중 관리주체에서 수집 가능한 정보를 바탕으로 리스크 매트릭스를 기반한 종합적 성능평가 우선순위 선정 방안을 제시한

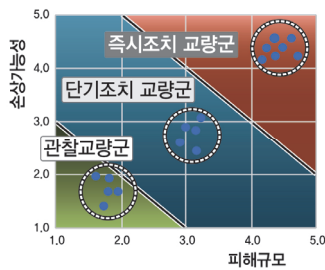


Fig. 3 Classification by risk group

다. 이를 위해 중소규모 교량의 성능평가 우선순위 분석을 위한 관리체계를 구축하고 개별교량에 대하여 Eq. 1과 같이 손상발생 가능성(P)과 손상시 피해규모(C)를 고려하여 위험도를 산정한다. 리스크 매트릭스 산정방법은 각 손상발생 가능성(P_i)의 평가항목에 대한 평가를 실시하여 해당 가중치를 곱하여 해당 교량의 손상발생 가능성(P)을 산정한다. 손상시 피해규모(C)도 같은 방법으로 산정한다. 각 교량의 손상발생 가능성을 y 축으로 손상시 피해규모 점수 x 축으로 하여 Fig. 3의 그래프에 작도하여 구분되는 위험군 영역에 해당하는지 분석한다.

$$P = \sum P_i W_i \text{ and } \sum C_i W_i \quad (1)$$

여기서 P_i 는 손상발생가능성의 각 항목별 위험도이고, C_i 는 피해규모의 각 항목별 위험도이다. 또한, W_i 는 각 항목의 가중치이며, 손상발생가능성 및 피해규모 항목의 가중치의 각 합은 1이다.

이에 따라 각 위험군 영역을 본 연구에 적용하여 다음 Fig. 3와 같이 높은 위험도를 즉시 조치 교량군, 중간 위험도를 단기 조치 교량군, 낮은 위험도 영역은 관찰 교량군으로 적용하였다.

리스크 매트릭스(Risk Matrix) 기법을 사용하여 교량에 위험성을 줄 수 있는 요인들을 손상가능성과 피해규모로 구분하고 세부 요인들을 선정한다. Table 1은 손상가능성과 피해

Table 1 Risk-based comprehensive performance evaluation priority calculation evaluation items

Item		Contents
Possibility of damage	Years of use	The deterioration (damage) of the bridge is a factor that has a great influence on the damage of the bridge since it begins to be used after construction is completed.
	Design Load Grade	The design grade is an important factor in determining the strength to resist the load applied to the bridge. The higher the design grade, the higher the resistance strength is, so it is an important factor in the deterioration of the bridge.
	Truck traffic volume	The truck traffic volume, which is one of the important factors in bridge damage, is selected as a factor because the deterioration phenomenon varies depending on the traffic volume of heavy vehicles.
	Drawing existence	Structural types and characteristics can be identified through the drawings or design data of the bridge, and it is selected as a factor because it is an important data for maintenance.
	Recently Analysis result	Comprehensive performance evaluation, it was selected as a priority for comprehensive performance evaluation, and it was selected because the results of the bridge's immediate or follow-up measures are very important factors.
Amount of damage	Snow removal chloride attack	Calcium chloride, a component of snow removal materials, is a major cause of concrete deterioration, so the effect of salt damage can be identified by the amount of snowfall.
	Types of Road	The scale of deterioration varies depending on whether the road is located in a large city, a highway, or other road, so it was selected as a factor.
	Width of bridge	The bridge width was selected as a factor because it has a great effect on closure or damage depending on the bridge width.
	Under bridge facilities	It is important what kind of facilities exist under the bridge because damage or maintenance of the bridge affects the lower facilities.
	Latest inspection and diagnosis results	Class 3 Bridge : It is possible to grasp the status of the status grades (A to E grades) through regular or detailed inspections and emergency inspections. Other Bridge(Except for Class 1, 2 Bridge) : Excellent, good, normal, poor, very poor grades calculated from regular inspections or grades according to grades A to E calculated from urgent and detailed inspections

규모에 대한 평가 항목으로 앞서 연구된 “위험도 지수 기반 중소규모 교량 성능평가 우선순위 결정 방안 제안”(Lee H.Y., 2019) 를 기반으로 결정하였다. Lee H.Y., 2019의 논문에서는 본 논문과 같이 위험도를 결정하는 항목을 이용하여 위험도 지수를 산출하고 가중치를 이용하여 일정 위험도 점수 이상 일 때 성능평가를 수행하는 것으로 되어 있다. 본 논문과의 차이점은 위험도 지수를 통한 종합적 성능평가 우선순위 산정이 아닌 위험군의 영역을 지정하여 즉시조치 교량군으로 선정시 종합적 성능평가를 수행하는 것이다.

2.2.2 종합적 성능평가 우선순위 산정 평가항목

다음은 위험도 분석을 위해 조사되어야 할 항목 및 각 항목별 위험도 점수 기준 및 가중치에 대해 알아본다. 먼저 발생가능성 항목 중 공용년수는 구조물을 사용함에 따라 발생하는 노후화에 대한 내용이며, 설계등급은 구조물의 강도를 결정하는 항목이고, 대형차교통량은 교량 손상에 중요 요인이며, 도면보유는 유지관리시 중요한 자료이다. 또한 전회차 평가 결과는 본 평가가 1회에 그치지 않고 지속적으로 수행되었을 때 해당 회차 전번의 평가결과이다.

또한, 피해규모에서 제설제 사용은 콘크리트나 강교에 심각한 피해 중 염해를 고려한 것이고, 도로의 종류는 교량 손상으로 인한 피해 규모가 도시 규모에 따르기 때문이며, 교량 폭은 폭에 따라 차로수가 결정되고 이는 통행하는 차량의 수에 상관한다. 교량하부 기간망은 교량 붕괴시 피해에 대한 항목이고, 최신 점검진단 결과는 교량 현 상태를 파악하기 위함이다.

다. Table 1은 손상가능성과 피해규모에 대한 평가 항목이다.

2.2.3 위험도 기반 종합적 성능평가 우선순위 평가 지표

앞 절에서 위험도 기반 종합적 성능평가 우선순위를 평가할 수 있는 평가항목을 정하였으며, 각 평가항목에 따른 평가 지표를 선정하여야 한다. 손상가능성과 손상 피해규모에 대한 항목은 각 평가항목별 1~5점을 부여하였으며, 각 평가항목별 가중치를 통하여 가중합산으로 손상가능성 및 손상 피해 규모를 산정하였다.

Table 2와 Table 3는 손상발생 가능성 및 손상 피해규모의 각 평가항목별 가중치를 부여하여 손상가능성 지표를 산정하였다. 이 때, 평가 항목중 전회차 평가결과는 최초 평가에서는 제외한다. 이때 전회차란 최초 평가 이후 시행되는 평가의 직전 회차를 의미한다. 이에 따라 평가항목별 가중치 또한 최초 평가와 그 이후 평가가 다르게 한 이유는 최초 평가시 평가할 수 없는 항목을 제외시키기 위함이다. 평가항목에 대한 가중치와 배점은 시설물 유지관리 전문가를 대상으로 점수 및 가중치의 적절성을 설문을 진행하여 설문자의 경력에 따라 가중 평균으로 결정하였으며, 추후 실제 교량을 관리하는 관리주체 및 다양한 전문가 집단을 대상으로 추가적 설문을 진행하여 객관성 및 전문성을 확보할 것이다.

2.2.4 위험도 기반 종합적 성능평가 우선순위 선정 기준

앞 절에서 제시된 기준에 따라 리스크 매트릭스 평가를 실시하여 관리주체에서 관리되고 있는 교량의 정보를 통해 각

Table 2 Points criteria and weight of damage possibility

Item	Years of use	Design Load Grade	Truck traffic volume	Drawing existence	Recently Analysis result	
Points	1	10 years or less	DB-24	Less than 500 cars	Hold in complete form	Performance improvement construction in the last 5 years
	2	11 to 20 years	-	500 to 1000 cars	Bridges for which comprehensive performance evaluation was performed of the hold in some form	Repair or Reinforcement construction in the last 5 years
	3	21 to 30 years	DB-18	1000 to 1500 cars	Hold in some form	Observation bridge group as a result of the previous evaluation or As a result of performance evaluation, bridges with grade B or higher
	4	31 to 40 years	-	1500 to 2000 cars	Bridges for which comprehensive performance evaluation was performed of the hold in anything	Short-term action bridge group as a result of the previous evaluation or As a result of performance evaluation, bridges with grade C
	5	Over 40 years	Under DB-18	Over 2000 cars	Hold in anything	Immediate action bridge group as a result of the previous evaluation and bridge not repaired
Weight	First	30%	30%	20%	20%	-
	Later	25%	10%	10%	15%	40%
Evaluation cycle	Every Anal-ysis	Every Anal-ysis	Every Analysis	Every Analysis	Excluding first evaluation	

Table 3 Points criteria and weight of amount of damage

Item	Snow removal chloride attack	Types of Road	Width of bridge	Under bridge facilities	Latest inspection and diagnosis results		
					Class 3 Bridge	Other Bridge	
Points	1	Average number of snowfall days in 10 years is less than 10days	The other road	Less than 2 lanes	The other	Regular or detailed or emergency inspections result is A grade	Regular inspections result is Excellent or detailed /emergency inspections result is A grade
	2	-	-	3 to 4 lanes	-	Regular or detailed or emergency inspections result is B grade	Regular inspections result is Good or detailed /emergency inspections result is B grade
	3	Average number of snowfall days in 10 years is less than 14days	Except for highway or metropoli-tan city road	5 to 6 lanes	River crossing	Regular or detailed or emergency inspections result is C grade	Regular inspections result is Normal or detailed /emergency inspections result is C grade
	4	-	-	7 to 8 lanes	Road crossing	Regular or detailed or emergency inspections result is D grade	Regular inspections result is Pool or detailed /emergency inspections result is D grade
	5	Average number of snowfall days in 10 years is more than 14days	Highway or metropoli-tan city road	More than 9 lanes	Rail crossing	Regular or detailed or emergency inspections result is E grade	Regular inspections result is Very pool or detailed /emergency inspections result is E grade
Weight	First	10%	10%	40%	40%	-	
	Later	10%	10%	10%	15%	50%	
Evaluation cycle	Every Anal-ysis	Every Anal-ysis	Every Analy-sis	Every Analy-sis		-	

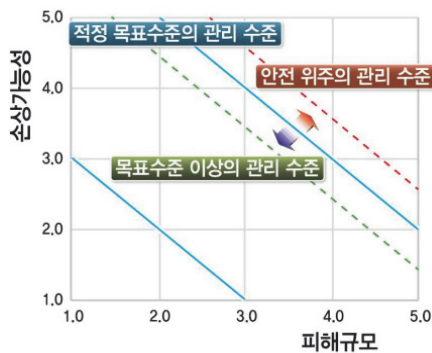


Fig. 4 Determination of criteria of risk group according to management level

교량의 손상가능성 및 피해규모 점수를 산정한다. 산정된 점수를 그래프에 작도한다. 이 때, 그래프에 표시된 해당 교량의 점수에 따라 높은 위험군인 즉시조치 교량군, 중간 위험군인 단기조치 교량군, 낮은 위험군인 관찰 교량군으로 분류된다. 이렇게 분류되는 기준은 리스크 매트릭스 기법에서는 각 위험군을 분류하는 기준은 통상적으로 각 위험군이 그래프상 거의 동일 면적으로 갖는 것을 일반적으로 하지만 본 연구에서는 그 기준을 설문 및 자문을 통하여 일부 조정하였다.

전문가 설문 및 자문을 통해 위험군의 적정 영역을 조사하였고, 수집된 결과를 평균하고 이를 보정하여 Fig. 3과 같이 위험등급 중 즉시조치 교량군의 위험도 등급을 손상가능성 5.0,

피해규모 2.0이 되는 점을 연결한 선의 상위부분을 즉시조치 교량군으로, 손상가능성 2.0, 피해규모 5.0이 위치한 점을 연결한 선보다 하위에 있는 부분은 관찰교량군으로, 두 기준 사이 부분을 단기조치 교량으로 한다.

하지만 위험군의 영역은 관리주체의 규모, 예산 수준, 인력 등의 여러 변수에 의해 변경될 수 있다. 또한 관리주체에서 교량을 관리하는 수준 즉, 관리목표에 따라 변경될 수도 있다.

이에 따라 Fig. 4와 같이 관리목표를 높은 수준으로 설정하느냐, 또는 적정한 수준이나, 안전에 이상 없는 수준으로 설정하느냐에 따라 그 기준은 변경될 수 있다.

교량군별 기준과 평가지표는 시설물 유지관리 전문가를 대상으로 설문을 진행하여 결정하였으며, 추후 실제 교량을 관리하는 관리주체 및 다양한 전문가 집단을 대상으로 추가적 설문을 진행하여 객관성 및 전문성을 높일 것이다.

2.3 실제 공용중 교량에 대한 적용 예

2.3.1 실제 공용중인 관리 교량 정보 조사

본 연구의 유지관리 시나리오 적용을 위하여 실제 공용중인 교량에 대하여 적용하였다. 적용된 관리주체에서 관리하고 있는 교량의 수는 총 400여개이고, 이 중 1, 2종은 210여개, 3종 및 법정 외 교량의 개소수는 231개이다. 적용 예의 교량현황은 Fig. 5에 나타내었다.

테스트 베드 지역의 현황은 1, 2종 교량이 47.8%, 3종 및 기타 교량이 52.1%로 전체 교량과 같이 3종 및 기타교량의 개소

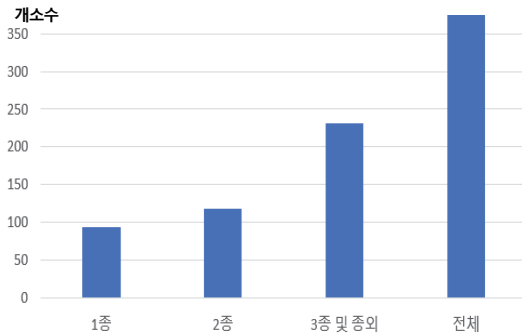


Fig. 5 Status of bridge by class

수가 대부분을 차지하고 있다. 공용년수별 현황을 보면 20년 이상 교량이 전체의 65.7%를 차지하고 있어 노후도가 심각한 상황이다. 그 중 3종 및 기타교량의 노후화는 20년 이상 전체 교량중 46%를 차지하고 있어 특히 심각한 상황이다. 따라서, 노후화 정도가 심하고, 1, 2종 교량에 비해 관리가 소홀하며 전체 교량 개소수 중 많은 비율을 차지하고 있는 3종 및 기타 교량에 대한 체계적인 관리가 필요한 상황이다.

또한, 해당 지역은 대도시 지역이며, 기상청의 통계로 5년간 연평균 적설일이 약 10일정도이며 내륙지역에 위치해 있다.

발생가능성 지표로 공용년수와 설계등급, 평균 일트럭교통량 및 도면보유 여부를 조사하였다. 평가를 위해 앞의 2.2.3절에서 제시한 평가 기준에 따라 손상가능성과 피해규모를 산정하였다.

2.3.2 위험도 기반 종합적 성능평가 우선순위 산정

조사된 3종 및 법정 외 교량의 현황정보를 통해 위험도 기반 성능평가 우선순위 대상을 선정할 수 있다. 이 방법은 2.3절에서 제시한 방안을 통해 분석할 수 있다.

분석결과를 살펴보면 즉시조치 교량군이 총 54개소, 단기조치 교량군이 171개소, 관찰 교량군이 6개소로 분석되었다. 이 평가는 앞에서 설명한 바와 같이 최초 평가로 기존에 보유하고 있는 정보의 수준으로 분석한 사례이다. 정보가 없는 경우 위험성을 판단할 수 없기 때문에 가장 위험하다고 가정하여 최고점이 5점을 부여하였으며, 그에 따라 준공된 지 시간이 오래 경과된 교량의 경우 위험한 수준인 즉시조치 교량군에 속해있다.

이에 대한 결과는 Fig. 6과 같으며 총 231개 교량에 대해 아래 그래프와 같이 점 하나에 중복되어 있는 경우가 있다. 따라서, 아래 그림의 원안에 숫자는 점 한 개에 중복되어 있는 교량의 개수이다. 빨간색 원은 즉시조치 교량군, 파란색 원은 단기조치 교량군, 그리고 녹색 원은 관찰교량군을 나타내었다. 적용 사례에서는 종합적 성능평가를 실시하지 않아 실제 공용 중인 데이터는 아래의 위험도 기반 우선순위 선정 평가까지

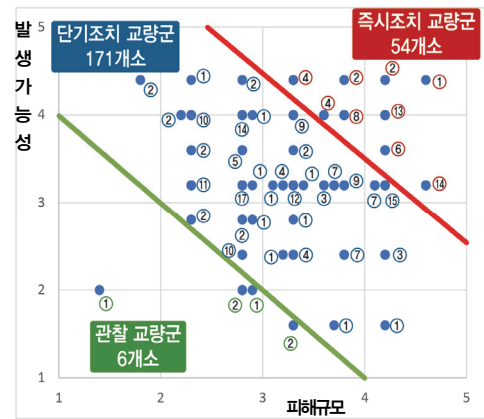


Fig. 6 Result of risk based priority evaluation

할 수 있다.

다음 절에서 종합적 성능평가를 대신하여 점검진단 결과인 상태성능등급을 종합적 성능평가 결과라고 가정한 상태에서 추후 단계에 대하여 진행하도록 하겠다.

2.3.3 교량 관리를 위한 재평가 분석

앞 2.3.2절에서 3종 및 법정 외 교량의 유지관리 시나리오를 수립하여 그 평가 절차에 따라 교량의 현황조사를 수행하고 그 결과를 가지고 위험도 기반 성능평가 우선순위 선정을 위한 평가를 최초로 실시하였고, 평가 결과를 토대로 분석된 54개 교량에 대한 종합적 성능평가를 수행하였다고 가정한다. 종합적 성능평가 결과는 실제 수행하지 않았으므로, 해당 교량의 최신 점검진단 결과를 성능평가 등급이라 가정한다. 정기점검 결과가 우수, 양호, 보통, 미흡, 불량으로 나오는 결과에 대하여 우수는 A등급, 양호는 B등급, 보통은 C등급, 미흡은 D등급, 불량은 E등급으로 가정한다. 비록 정기점검 등에서 나오는 결과가 실제 성능평가와는 다르지만 현재 재평가 결과를 위해 가정하였다.

이렇게 3종 및 법정 외 교량에 대한 유지관리 시나리오는 1회성에 그치지 않고 주기적으로 수행하여 종합적 성능평가 결과 및 지속적 관찰, 보수보강, 성능개선으로 조치를 수행하고 이에 대한 결과는 교량의 현황 정보에 업데이트 될 것이다. 앞서 가정된 종합적 성능평가와 교량형식, 공용년수를 기반으로 유지관리 조치계획을 수립하고 조치계획에 따라 지속적 관찰, 보수보강 공사 계획, 성능개선 공사 계획을 수립하여 조치하였다고 가정하고, 재평가에 대한 분석을 수행하였다.

또한 2.2.3절에서 제시한 위험도 기반 종합적 성능평가 우선순위 산정을 위한 발생가능성 지표와 피해규모 지표에서 최초 평가에서 제외되는 항목들이 있으므로 이에 대한 사항을 적용 사례로 분석하기 위해 재평가에 대한 분석을 수행하고, 재평가 결과와 최초평가 결과를 비교하려 한다.

업데이트된 정보 및 시간 경과에 따른 정보들도 변경되어 최초 평가를 수행하고 재평가하는 평가 주기를 5년으로 가정하였다. 이에 따라 5년이 경과한 다음 회차 평가를 수행할 때에는 최초의 교량 현황정보와 차이를 보이게 된다. 이러한 차이를 살펴보고자 시간경과 및 조치방안, 그리고 추가된 정보를 통해 재평가를 수행하여 수립된 유지관리 시나리오에 대한 타당성을 검증하고자 한다. 최초 평가에서 5년 경과 후 변경되는 항목으로 발생가능성 지표에서는 공용년수가 변하며, 교통량의 변화는 없다고 가정하였다. 또한 도면보유 여부에 대한 평가는 등급평가에서도 언급한 바와 같이 전회차 평가에서 즉시조치 교량의 종합적 성능평가를 통해 도면이 추가로 작성되므로 이에 따른 등급의 변화가 있다. 또한, 최초 평가와 달리 전회차 평가결과에 대한 항목이 추가되고 이에 따른 가중치도 변하게 된다.

피해규모 지표에서는 도로의 종류, 교량폭, 교량하부 기간망은 시간에 따라 변화되지 않는 항목이며, 제설제 염해의 경우 연평균 강설일에 따라 변화되지만 본 평가에서는 전회차와 동일하다고 가정하였다. 추가되는 평가항목으로는 최신 점검진단 결과를 반영한 내용이 추가되었으며, 이에 따라 피해규모 지표에 대한 가중치도 조정된다.

피해규모 지표에서는 기존에 데이터가 존재하지 않았던 내용들이 보강될 수 있으며, 최신 점검진단 결과에 대한 평가 항목이 추가된다. 발생가능성 및 피해규모에 대한 지표 및 점수에 대한 기준은 2.2.3절에 자세히 나타내었다.

최초 우선순위 선정을 위한 평가에서 즉시조치 교량군 54개소 중 성능평가 결과로 가정한 점검진단 결과를 통해 보수보강 및 성능개선 공사를 18개소 진행하였다고 가정하고 분석을 수행하였다. 재평가 결과 최초평가지에 비해 즉시조치 교량군은 22개소 감소한 32개소로 평가되었고, 관찰 교량군은 최초 평가에 비해 성능개선 및 보수보강 공사 대상 교량의 교량군 이동으로 18개소로 증가하였다.

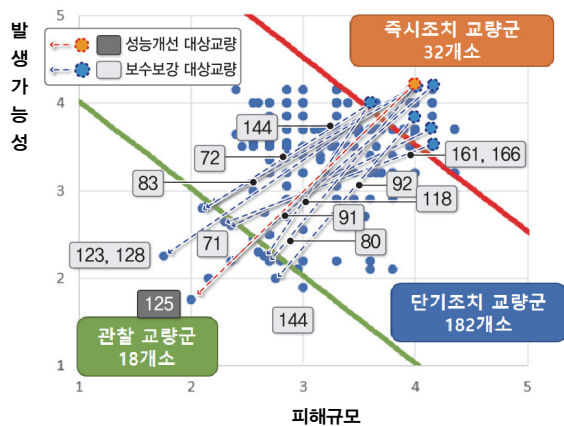


Fig. 7 Result of risk based Priority re-evaluation

최초 평가에서 즉시조치 교량으로 평가되어 종합적 성능평가를 수행하고 보수보강공사를 수행한 18개소 교량은 기존 즉시조치 교량군에서 관찰 교량군으로 이동한 것을 알 수 있다. Fig. 7상에서 파란색 점선 원이 해당교량이 최초평가지 평가된 위험도이고 파란색 점선 화살표를 따라 이동한 것을 알 수 있다. 이 때, 네모안에 숫자는 231개 교량에 대한 교량 번호이다. 또한, 125번 교량은 종합적 성능평가를 수행하여 성능개선공사를 실시하였고, 주황색 점선 원의 최초 평가지 위험도에서 빨간색 화살표를 따라 관찰 교량군으로 이동한 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 논문은 중소규모 교량의 유지관리 시나리오 기법 개발에 대한 연구로 1, 2종 교량에 비해 관리적 측면에서 소홀한 3종 및 기타 교량인 중소 규모 교량에 대한 관리체계를 수립하기 위한 연구이다. 중소규모 교량의 공학적 가치분석으로 위험도 분석을 기반으로한 성능평가 우선순위 대상의 교량을 선정하는 위험도 기반 성능평가 우선순위 산정에 대한 방법을 제시하였다. 이로 인해 3종 및 법정 외 교량에 대해 우선적으로 관리가 필요한 교량을 선정하고 이에 따라 종합적 성능평가를 수행함으로써 중소규모 교량 전체에 대한 성능평가보다 효율적이고 경제적인 관리를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

이에 따라 실제 공용중인 교량을 대상으로 검증을 수행하였다. 이렇게 제시된 기법에 대한 활용방안으로는 본 논문을 통해 기대되는 효과는 국내 중소규모 교량의 관리에 있어, 우선적으로 관리되어야 할 교량의 선정을 교량 현황 정보를 통해 선택할 수 있으며, 이에 따라 관리주체 인력 및 예산의 적절한 사용이 이루어질 것으로 기대한다.

추후 진행되어야 할 연구로 위험도 기반 성능평가 우선순위 대상을 선정하기 위해 위험도매트릭스(Risk Matrix) 기법을 사용하였는데 각 평가항목은 시간의 흐름에 따라 변화하는 항목과 시간의 흐름과 상관없이 불변 또는 변화의 차이가 미비한 항목들도 존재한다. 또한 평가항목별 가중치 역시 고려되어야 할 항목이다. 본 연구에서 평가항목별 가중치에 대한 고찰이 부족한 실정이므로 추가적인 연구에서는 평가항목별 가중치와 발생가능성 및 피해규모 지표에 대한 가중치의 필요성 여부에 대한 추가적인 연구가 절실하다. 본 연구의 유지관리 시나리오 체계는 5년정도의 일정한 주기를 가지고 지속적인 평가를 수행하는 체계이며, 이에 따라 변동되는 위험 교량군을 평가하여야 한다. 따라서 추후 연구에서는 평가항목에 대한 고찰과 평가항목의 등급 선정 기준에 대하여 추가적인 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부 건설기술연구사업(과제번호 : 21SCIP-B128492-05) ‘중소 노후교량 실증기반 성능 및 보수보강 평가 연구’의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Kim, H. J., Ji, S. G., Kim, H. K., Kim, P. S., Jung, J. S., and Lee, M. J. (2018), Evaluation of Tension of PSC Box Girder Bridges Using Risk Matrix, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 19(5), 53-60.
2. Ji, S. G., Kim, J. S., and Kim, H. J. (2017), Probability Risk Analysis for Prestressed Concrete Bridge Post-Tension based on Risk Matrix, *The Korea Institute For Structural Maintenance and Inspection, KSMI 2017 Spring Conference & Forum*, 21(1), 383-384
3. CEREMA1 (2014), RISK ANALYSIS OF VULNERABLE BRIDGES ON THE NATIONAL ROAD NETWORK IN FRANCE, Division for transportation Infrastructure and Materials, Technical Centre for Bridge Engineering.
4. He, Zhi. (1995), Risk management for overseas construction project, *International Journal of Project Management*, 13(4), 231-237.
5. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2019), Detailed guidelines for the safety control and maintenance(Performance assessment).
6. 「Special Act On The Safety Control And Maintenance Of Establishments」, Act No. 17551, Oct. 20, 2020.
7. 「Framework Act On Sustainable Infrastructure Management」, Act No. 17237, Apr. 7, 2020.
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2021), Integrated Infrastructure management system: <https://www.inframanage.go.kr>
9. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2020), Facility management system: <https://www.fms.or.kr>
10. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (2020), Bridge Management System: <http://nbms.kict.re.kr>
11. Lee, H.Y., Shin, B. G., Lee, Y. I., and Kim, Y. M. (2019), Suggestion of Priority Decision Method for Performance Evaluation Based on Risk Index for Small and Medium Sized Bridges, *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection*, 23(6), 70-76.

Received : 10/21/2021

Revised : 11/01/2021

Accepted : 11/23/2021

요 지 : 본 논문은 3종 및 법정 외 교량인 중소규모 교량에 대한 유지관리 체계를 수립하여 제안하는데 그 목적을 두고 있다. 국내 교량은 1, 2종 교량과 3종 및 법정 외 교량으로 구분된다. 3종 및 법정 외 교량의 개소수는 많으나 1, 2종 교량에 비해 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 중소규모 교량에 대한 유지관리 시나리오 체계를 수립하고자 한다. 하지만 중소규모 교량의 경우 그 개소수가 많아 1, 2종 교량과 같이 모든 교량에 대해 성능평가를 실시하는데 인력과 예산의 문제가 있다. 이에 따라 본 연구는 리스크 매트릭스 기법을 기반으로 교량의 기본적인 현황정보를 이용하여 현재 성능평가가 우선적으로 수행되어야 할 교량을 선정하기 위한 기법을 개발하였으며, 개발된 기법에 대하여 실제 공용중인 교량을 대상으로 적용하였다.

핵심용어 : 리스크 매트릭스, 중소규모 교량, 3종 및 법정 외 시설물, 유지관리 시나리오, 위험도 기반 우선순위 선정, 교량 관리 체계
