

중소규모 노후교량의 IoT기반 계측을 위한 대상 교량 선정에 관한 연구

박경훈*, 선종완*, 이용준*, 임종권**,

*한국건설기술연구원 구조연구본부 도로관리통합클러스터, **(주)바름브레인
e-mail: paul@kict.re.kr

A Study on the Selection of Target Bridges for IoT-Based Measurement of Deteriorated Small-and-Medium-Sized Bridges

Kyung-Hoon Park*, Jong-Wan Sun*, Yongjun Lee*, Jong-Kwon Lim**

*Dept. of Structural Engineering Research, Korea Institute of Civil Eng. and Building Tech.

**VARM Brain Co. Ltd.

요 약

중소규모 노후교량에 적합한 IoT기반 계측체계 도입을 위하여 교량별 관리요구수준을 결정할 필요가 있다. 이를 위하여 개별교량의 경험적, 잠재적, 상대적인 위험도를 평가하기 위한 방법을 제안하였다. 위험요인을 분석하고 평가기준을 설정하였으며, 개별교량의 위험도를 평가하여 계측 우선순위를 결정하였다.

1. 서론

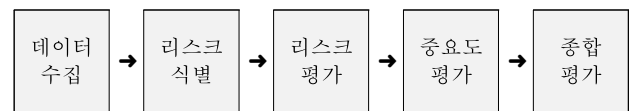
교량은 하천, 계곡, 해상 등 가설되는 위치의 특성상 열악한 환경에 놓이게 되는 경우가 많으며, 태풍, 홍수, 지진과 같은 자연재해뿐만 아니라 물동량의 증대와 운송수단의 대형화로 인해 교통량 및 통행하중의 지속적인 증가를 감당하여야 한다. 이로 인한 교량의 파손은 보수보강 및 교체에 따른 교통 통제, 극단적인 경우 갑작스런 붕괴 등이 발생할 수 있으며 사회경제적으로 커다란 손실과 인명사상의 피해를 유발하기 때문에 일정 수준 이상의 성능을 유지하도록 하고 있다.

교량의 노후화에 대비한 효율적 유지관리 예산 운영 및 안전 향상 등을 위하여 정책결정의 과학적 근거 마련이 요구된다. 첨단 IoT 기술을 활용하여 상시 계측을 통해 갑작스러운 성능변화를 모니터링하고, 지속적으로 축적된 성능변화 데이터는 보수·보강, 개축 등 주요 개량사업 의사결정의 합리적 근거로 활용되어야 한다. 이를 위해 IoT 기반 계측기술의 교량 적용을 위한 계측 대상교량 선정방법의 정립이 필요하다.

2. 교량 리스크 기반 위험도 평가방법 제안

2.1 교량의 위험도 평가 방법론 개요

국내외 교량관련 자산관리 데이터 수집 및 모니터링 가이드라인(에 기초하여 잠재적인 위험도와 중요도를 고려한 교량에 대한 관리 우선순위를 선정 절차를 정립하였다. [그림 1]은 제안된 절차를 나타내고 있으며, 각 단계에 따라 수행 내용을 기술하였다.



[그림 1] 교량 위험도 평가 절차

2.2 데이터 수집

교량관리시스템(BMS)을 통해 해당 교량의 제원, 구조, 유지보수 정보 등을 수집하고, 유관 시스템을 통해 교통량, 제설제 사용량, 기상자료, 홍수위험구역 정보 등을 수집하였다.

2.3 리스크 식별

위험도분석 연관인자로써는 위험성(Hazard; H), 취약성(Vulnerability; V), 심각성(Consequences; C)과 함께 불확실성(Uncertainty; U)을 고려하였다. 위험도 항목으로 안전위험(R_{SF}), 내구위험(R_{DF}), 사용위험(R_{SerF}), 기능위험(R_{FF})을 정의하였다. 위험도 항목별로 지진, 세굴, 동해환경 등 현실적으로 적용 가능한 위험요인들을 정의하고, 각각의 위험요인에 대하여 교량별 평가를 위한 평가등급을 구분하였다.

2.4 리스크 평가

교량별 리스크 평가는 식 (1)과 같이 위험항목별 평가점수의 제곱 평균제곱근을 구하여 평가하였다. 위험항목의 평가는 식 (2)와 같이 위험 연관인자들의 곱으로 수행하였다. 각 연관인자 내의 위험요인은 AHP(Analytic Hierarchy Process) 방법을 이용하여 각각의 가중치를 구하고, 위험요인별 가중합을 통해 연관인자를 구하였다.

$$R_{bridge} = \sqrt{\frac{R_{SF}^2 \times R_{DF}^2 \times R_{SerF}^2 \times R_{FF}^2}{N}} \quad (1)$$

$$R_i = H_i \times V_i \times C_i \times U_{bridge} \quad (2)$$

2.5 중요도(Criticality) 평가

교량의 중요도는 리스크가 실제로 발생했을 때 초래되는 도로네트워크의 피해 정도로 교량 규모, 교통량, 우회도로 여부 등으로 측정할 수 있다. 리스크를 평가했는데 중요도를 고려하는 이유는 리스크로만 접근했을 경우 낮은 위험확률로 인해서 네트워크 상에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 중요한 교량을 식별하지 못하는 경우를 사전에 차단하기 위해서이다. 교량별 중요도는 안전, 내구, 사용, 기능 위험요인으로 인한 심각성(C_{SF} , C_{DF} , C_{SerF} , C_{FF})중 최댓값으로 정의하였다.

2.6 종합 평가

교량별 도출된 리스크와 중요도를 기준으로 기본적, 중간적, 적극적 대응 교량으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 리스크와 중요도를 각각 5 단계로 나누어 관리수준이 높게 요구되는 교량부터 계측 대상교량으로 고려하였다.

3. 교량별 위험도 평가 사례

3.1 평가 개요

교량별 위험도 평가는 총 8,000여개소를 대상으로 수행하였다. 정의된 위험요인에 대해서 교량별 관리수준에 변별성이 부여되도록 위험요인의 평가기준을 적절하게 조정하였다. 또한 평가기준에 따른 적절한 데이터의 확보가 현재 곤란한 위험요인은 추후 고려하는 것으로 하고 제외하였다.

위험요인별 가중치 결정을 위하여 교량 유지관리 분야의 전문가 14인을 대상으로 AHP 방법 적용을 위한 설문조사를 실시하였다. 제안된 방법에 따라 엑셀(Excel)을 활용하여 자동화된 단계별 평가가 이루어지도록 프로그램화 하였다.

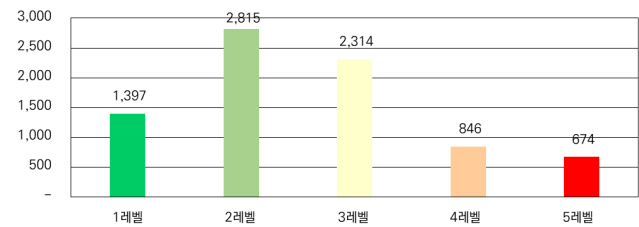
3.2 종합 평가 결과

리스크 및 중요도를 5단계로 구분하고, 직관적 판단이 용이하도록 [그림 2]와 같이 매트릭스 형태로 나타내었다. 리스크 레벨(Level)과 중요도레벨의 수준을 고려하여 종합관리수준을 15레벨로 구분하였다. 계산된 리스크와 중요도의 각 레벨에 대한 분할 폭은 구분하고자하는 목적에 따라 다르게 정의될 수 있다. 제안된 종합관리수준은 절대적인 교량의 관리수준에 대한 구분이라기보다는 상대적인 우선순위의 구분으로 활용할 수 있다.

리스크 레벨	$L_R. 5$	06	156	247	78	7
	$L_R. 4$	113	164	156	58	4
	$L_R. 3$	155	325	303	116	13
	$L_R. 2$	399	815	562	111	45
	$L_R. 1$	1397	1601	969	128	20
		$L_C. 1$	$L_C. 2$	$L_C. 3$	$L_C. 4$	$L_C. 5$
		중요도 레벨				

[그림 2] 리스크 및 중요도 레벨에 따른 평가 결과 매트릭스

종합평가 결과, 높은 관리수준이 요구되는 4, 5레벨의 교량은 전체 교량 중 약 19%로 도출되었다[그림 3]. 높은 관리수준이 요구되는 교량들이 모두 계측 대상교량이 되지 않는 다. 계측을 통해 사전·사후적으로 파악할 수 있는 위험에는 한계가 있으며, 위험요인의 선정이 계측을 전제로 이루어진 것은 아니기 때문이다.



[그림 3] 관리레벨에 따른 대상교량 현황

4. 결론 및 향후연구

노후 중소규모 교량 위주의 IoT 플랫폼기반 상시 계측시스템 설치를 위하여 관리수준이 높게 요구되는 교량을 선정하기 위한 방법론과 사례를 제시하였다. IoT 계측을 통해 사전적 또는 사후적으로 위험에 따른 영향을 분석하여 유지관리에 활용하기 위해서 우선적으로 필요한 관리요구수준을 결정하였다.

향후 상위 관리수준 요구교량에 대한 상세한 검토를 통해 IoT 계측 도입이 필요한 교량을 선정하고 적용 가능한 계측 항목을 결정하고자 한다.

참고문헌

- [1] 한국건설기술연구원, “2021 교량 및 터널 현황조사”, 국토교통부, 2021.
- [2] Piotr Omenzetter, Simon Bush, and Peter McCarten, “Guidelines for Data Collection and Monitoring for Asset Management of New Zealand Road Bridges”, RIMS, IPWEA, and Road Controlling, 2015.