

교량 안전성과 공용년수를 고려한 적정 보수보강 예산 배분

선종완, 이후석, 박경훈*
한국건설기술연구원 구조융합연구소

Bridge Appropriate Maintenance Budget Allocation Considering Safety and Service Life

Jong-Wan Sun, Huseok Lee, Kyung-Hoon Park*

Structural Eng. Research Division, Korea Institute of Civil Eng. and Building Tech.

요약 교량의 목표 수명 동안 통행 안전성을 유지하기 위해서는 적절한 보수보강 예산의 확보와 확보된 예산의 합리적인 배분이 필요하다. 기존의 단순 교량 규모 기반 예산 배분 방식을 개선하여 다양한 영향인자를 고려한 합리적인 예산 배분 결정 체계를 제안하였다. 전체 교량을 하위 관리주체별로 일정한 관리 수준이 확보되도록 교량의 보수보강 예산을 적정하게 배분하기 위하여 과거 보수보강 이력에 기초한 조치율 모델과 단위 비용 모델을 개발하였다. 제안된 모델을 이용하여 관리주체별 적정 예산 배분 비율 결정 방법을 제안하고 사례 분석을 수행하였다. 교량의 보수보강 예산 배분의 영향 인자로 교량 규모뿐만 아니라 종별 현황과 현재 안전등급, 공용년수가 고려되어야 적정 예산 배분이 이루어지는 것으로 나타났다. 개발된 방법을 활용하여 관리 주체별 예산 소요를 명확하게 반영한 예산 분배를 시행함으로써 불필요한 예산 낭비를 방지하고 예산 배분의 합리적인 근거를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract To maintain traffic safety during the target lifetime of bridges, it is essential to secure an appropriate maintenance budget and allocate that budget appropriately. This paper proposes a reasonable budget allocation system that considers various impact factors to improve the conventional budget allocation method simply considering the bridge scale. The maintenance action rate model and the unit cost model based on the prior maintenance history were developed to allocate appropriately the bridge maintenance budget for the total bridges of the management organization with the target management level. A method to determine the optimal budget allocation ratio for each management subject was proposed and case analysis was conducted using the proposed model. Proper budget allocation was made considering the bridge types, current safety level, and service life as well as the bridge size as an impact factor of the budget allocation of the bridge. The developed method can prevent budget waste and provide a rational basis for budget allocation by implementing the rational budget distribution.

Keywords : Budget Allocation, Bridge Maintenance and Reinforcement, Bridge Management, Life Cycle Cost, Maintenance and Reinforcement Cost

1. 서론

교량은 도시시설물 중 가장 극한적인 환경조건에서 사용되며, 적기에 보수보강하지 못함으로써 발생하는 성능감소와 그에 따른 붕괴확률 증가는 국민의 안전을 직

접적으로 위협할 수 있고 도로망 단절과 같은 경제적 손실과 국민 불편을 초래할 수 있기 때문에 적극적인 관리가 필요하다. 교량을 합리적으로 안전하게 관리하기 위해서는 적절한 보수보강 예산의 확보가 필요하다. 그러나 전체 교량에 대한 예산을 관장하는 상위관리주체

본 논문은 국토교통부의 지원으로 수행되었음.

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

Tel: +82-31-910-0565 email: paul@kict.re.kr

Received October 12, 2017

Revised November 2, 2017

Accepted November 3, 2017

Published November 30, 2017

(headquarters)가 교량 안전진단 또는 점검을 통해 발견된 열화·손상을 즉각적으로 조치할 수 있는 보수보강 사업을 수행할 만큼 충분한 예산을 확보하는 경우는 드물다. 또한 권역별로 관리되고 있는 다수의 하위관리주체 (regional office)가 규모, 성능수준 등에 있어 동일한 조건의 교량을 소유하고 있는 것은 아니기 때문에, 확보된 예산의 배분에 대한 결정권이 있는 상위관리주체는 어느 하위관리주체에 어느 정도의 예산을 배분해야 할지를 결정하여야 한다.

예산의 배분과 관련하여 기존에 가장 일반적으로 사용하고 있는 방법은 교량 규모, 즉 하위관리주체별 소유하고 있는 교량 개수나 연장, 상판면적 등 규모 관련된 인자를 이용해 단순 규모비율로 총 예산을 배분하는 것이다. 이러한 방법에서 교량의 사용기간인 공용년수 (service life)를 고려하여 최근 준공된 교량의 일부는 제외하기도 한다. 하지만 이러한 방법은 각 하위관리주체 별로 관리하고 있는 교량의 안전성, 노후도, 보수보강 여부 등 다양한 인자를 고려하지 못한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 신뢰도 높은 예산 적정 배분 모델을 개발하기 위해, Fig. 1과 같이 교량 유지관리 현황 분석을 바탕으로 보수보강 예산에 영향을 미치는 주요인자를 도출하고, 주요인자에 따라 관리주체별 소유 교량 현황과 보수보강현황 분석을 통해 보수보강예산 배분모델을 개발하고 이를 활용해 보수보강예산 배분비율을 결정하는 체계로 연구를 수행하였다.

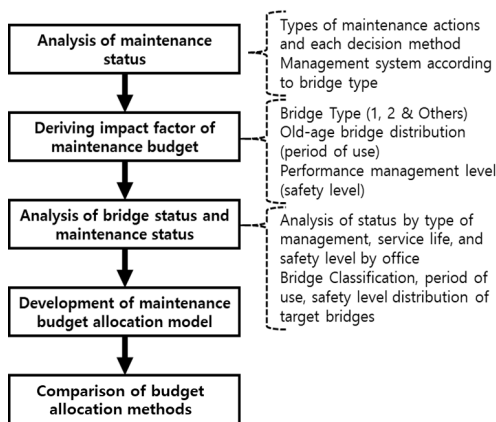


Fig. 1. Research Process

일반적으로 교량 유지관리 단계에서 수행하는 사업은 크게 노후교량 개축, 저등급 교량 성능개선, 통수단면 개

선, 내진보강과 같이 상위관리주체가 전국 단위 교량 전체에 대하여 개별 교량의 우선순위에 따라 조치를 수행하는 개량사업과, 하위관리주체가 점검·진단을 통해 발견된 손상 및 열화된 다수의 교량을 조치하기 위한 보수보강 사업으로 구분할 수 있다. 본 논문은 보수보강 사업만을 대상으로 하며, 개발된 모델은 특정시점의 제한된 표본을 이용해 개발되었으므로 최근 유지관리 현황이 유지된다는 가정 하에 차년도 배분비율을 추정하는 용도로 사용될 수 있다.

2. 기존 연구 동향

교량과 같은 공공자산의 관리정책에 따른 예산 배분의 문제는 그 중요도에 비해 정보 접근의 한계 등으로 연구 사례가 많지 않다. 대부분의 기존 연구는 단일시설의 수선, 교체비용이나 성능평가방법에 대한 연구가 주를 이루고 있다.

건축분야에서 운영관리비, 수선 및 교체 예산의 수립을 위한 연구개발 사례가 있다. Kim 등(2013)은 건축물의 다양한 특성을 고려하여 합리적인 운영관리비를 산정할 수 있도록 운영관리비 산정모델을 개발하였으며, 그중 수선·교체비용은 실적자료를 이용해 상주인원과 층수를 독립변수로 한 다중회귀모델을 통해 산출하는 방법을 사용하고 있다[1]. 사용하는 기법 자체는 본 논문에서 제안한 방법과 유사하다. 또 다른 연구로 Oh 등(2010)은 공용 빌딩을 위한 수선 및 교체 예산을 수립할 수 있는 관리 시스템의 개발을 위한 연구를 진행하였다[2]. 이 연구에서는 보수 및 교체비용의 항목, 각각의 산정식 및 절차 등을 정의하고, 정해진 사항에 따라 생애주기 동안 발생할 비용을 예측하는 기능이 구현되어 있다. 하지만 이 기능은 현재의 상태 등을 고려하지 못한다는 점에서 그 적용에 한계가 있다.

토목분야의 예산 배분 관련 연구로 Kim(2011)은 계층구조분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP), 최적화 방법 등을 이용한 예산 배분 방법을 제안하였다. 여기에서는 한정된 예산으로 철로선로시설을 개선하기 위한 예산배분 방법으로 노후도가 심한 곳에 예산을 배분하는 것으로 정의하고, AHP를 이용해 각 요소별 노후도 점수를 통합하는 방법론을 제안하였다[3]. 하지만 이 방법은 하위관리주체 수준에서 배정받은 예산을 사용할 때 적용

할 수 있는 방법으로, 모든 하위관리주체의 모든 시설을 같은 수준으로 평가할 수 없기 때문에 전체 예산을 배분하는 방법론으로 적용하기에는 한계가 있다. 최근 Shim 등(2016)은 주어진 예산 범위 내에서 바닥판 손상비율 또는 보수보강비용의 최소화 등 단일목적함수로 최적화 문제를 정의하거나 비용과 성능 두 요소 모두를 목적함수로 하는 다중목적 최적화 문제를 정의하여, 어떤 교량을 보수보강 할 것인지를 결정하는 연구가 수행되었다 [4]. 하지만 이러한 연구는 각 개별 교량의 현재 상태 및 보수보강 조치 후 상태, 조치에 필요한 비용 등을 미리 정의할 수 있을 때 사용 가능하며, 본 논문의 연구 내용과 같이 모든 보수보강 대상이 기 결정되지 않은 시점에는 적용이 곤란하다는 한계가 있다.

3. 교량 유지관리 현황 분석

3.1 기존 유지관리체계 및 예산집행

3.1.1 유지관리주체별 역할 및 수행내용

관리주체(management organization)는 교량을 점검·진단하고, 열화·손상이 발견되면 정도와 시급성에 따라 차량 통제, 즉시 조치, 차년도 조치 등을 결정한다. 조치 시기에 따라 하위관리주체는 예산 마련 및 집행(보수보강 조치), 공사 감독 등 일선 현장에서 교량 유지관리 실무를 담당한다. 상위관리주체는 전체 교량에 대한 관리수준, 유지관리 전략 등 정책결정과 하위관리주체의 예산요구사항 등을 종합, 검토한 후 예산 투입 여부의 판단, 예산부서에 예산요청 등의 업무를 수행한다. 이를 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Role by management organization

Classification	Headquarters	Regional Office
Role	<ul style="list-style-type: none"> · Policy decision such as maintenance level and maintenance strategy · Budget request(to Budget Department) · Budget allocation (Regional Office) - Maintenance reinforcement - Improvement business 	<ul style="list-style-type: none"> · Inspection&Diagnosis · Determine whether & when to act · Budget request (to Headquarters) - Maintenance & reinforcement - Rehabilitation · Budget execution · Construction supervision

확정된 보수보강 예산의 요청 및 배분 측면에서 상위

및 하위관리주체의 업무 체계를 살펴보면 Fig. 2와 같다. 하위관리주체는 점검·진단을 통해 발견된 손상 및 열화 중 시급하지 않은 것에 대해 조치계획(차년도)을 수립하고 상위관리주체에 예산을 요청한다. 상위관리주체는 각각의 하위관리주체가 요구한 예산 요청안을 종합, 판단하여 예산을 배분한다(Fig. 2 음영부분). 그 후 하위관리주체는 배정받은 예산으로 보수보강공사를 수행하며, 완료 후 교량관리시스템에 조치정보를 입력하는 체계로 유지관리를 수행한다.

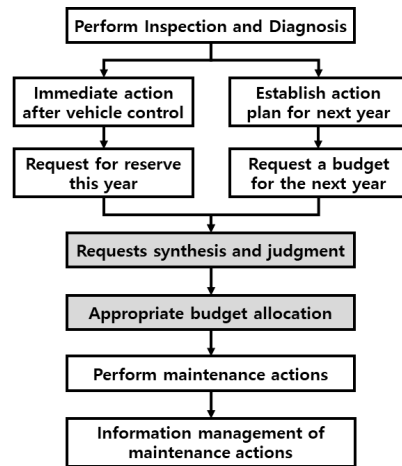


Fig. 2. Bridge management work process

3.1.2 기존 보수보강 예산 배분방법

기존 예산을 배분할 때, 상위관리주체는 수해, 지진 발생 등 긴급현황에 대비하기 위해 예산관련부서로부터 배정받은 예산 중 유보비율(약 20% 수준) 만큼을 제외하고 배정한다. 식 (1)과 같이 관리주체별 교량 규모(10년 이상 사용된 교량의 면적비 등) 비율로 예산배분 비율을 결정하고, 식 (2)와 같이 예산배분 비율과 배정예산, 1-유보비율의 곱으로 하위관리주체별 배정예정예산을 산정한다.

$$rb_a = \sum_{b_a=1, n_a} A_a^{b_a} \cdot x(b_a) / \sum_{\substack{a=1, all \\ b_a=1, n_a}} A_a^{b_a} \cdot x(b_a) \quad (1)$$

$$B_a = (1 - rr) \cdot B \cdot rb_a \quad (2)$$

여기서, rb_a 는 관리주체 a 의 예산배분비율, $A_a^{b_a}$ 는 관리주체 a 의 소관시설물 b_a 의 상판면적, n_a 는 관리주체 a 가 관리하는 교량 개수, $x(b)$ 는 교량 b 가 10년 이상 사용교

량이면 1, 그렇지 않으면 0을 나타내는 지시함수, B_a 는 관리주체 a 의 배정예정예산, r_r 은 예산 유보율, B 는 총 예산을 의미한다.

만약 하위관리주체의 요구예산이 배정예정예산보다 적은 경우에는 요구예산만큼 배정하며, 배정예정예산보다 많은 경우에는 조치 우선순위에 따라 선택된 교량들의 요청예산 합이 배정예정예산보다 적도록 조치 대상교량을 선택한다.

3.1.3 교량 유지관리 법령 및 정책

교량 유지관리에 관한 대표적인 법령은 시설물의 안전관리에 관한 특별법(이하 시특별), 도로법 등이 있다. 시특별에서는 교량의 규모, 형식 등에 따라 1, 2종(種) 및 종외(種外)교량(기타교량)으로 구분하고, 교량의 현재 안전등급에 따라 일정 주기로 점검, 진단을 수행하도록 규정하고 있다. 1, 2종 교량은 전문업체가 장비 등을 동원해 세밀하고 정량적으로 정밀 점검 및 안전진단을 수행하고 그 결과에 근거하여 보수보강 여부를 결정한다. 기타교량은 인력에 의한 단순 육안조사에 의한 정기 점검을 통해 열화-손상이 발견되면 정밀 점검 또는 안전진단을 수행하고 필요시 보수보강을 시행하게 된다.

시특별 제 13조에 따라 정의된 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[5]을 이용해 Table 2와 같이 교량의 안전등급을 결정하며, 부재의 안전등급이 C등급이거나 교량의 안전등급이 B, C등급인 경우 보수보강계획을 수립하고, D등급 이하로 평가된 경우 즉시, E등급으로 평가된 경우 차량 통제 후 즉시 조치를 취해야 한다.

Table 2. Safety level and bridge condition state

Safety Level	Bridge condition state
A (Great)	The best condition without any problems
B (Good)	Minor defects occurred in the auxiliary member but there is no problem in functioning. In order to improve the durability, some maintenance is required
C (usual)	Minor defects in major members or extensive defects in auxiliary members, but not detrimental to the overall safety of the facility, Maintenance is required to prevent durability and functional deterioration of major members, or simple reinforcement is required for auxiliary members
D (Inadequate)	Since defects occur in the main members, urgent repair and reinforcement is necessary and deciding whether to use restrictions is necessary
E (Defective)	Since there is a risk of safety of facilities due to serious defects in major members, immediate use prohibited and need reinforcement or reconstruction

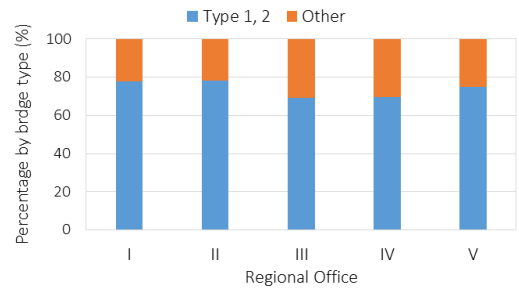
3.2 관리주체별 교량 현황 분석

보수보강 예산의 적정 분배를 위한 사례분석을 위하여 2016년 교량 현황조사[6]를 이용해 Table 3과 같이 교량 6,910개소를 선정하였다. 해당 교량은 권역별로 5개 하위관리주체에 의해 관리되며, 대상 교량의 규모, 안전등급, 공용년수 등을 분석하였다.

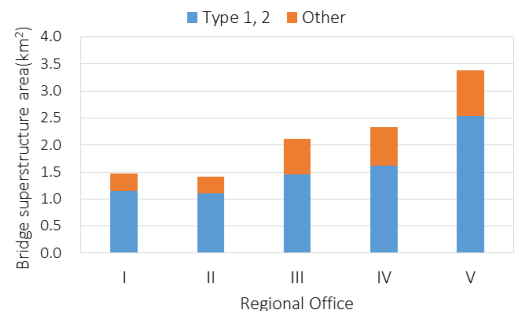
관리주체별로 관리하고 있는 교량의 유지관리 측면에서 규모는 개소나 연장 보다는 교량 상부구조(상관, 바닥판 등)의 면적을 고려하는 것이 합리적이다. Table 3에서 알 수 있듯이 1, 2종 교량의 개소 비율은 약 32.5%에 불과하지만 Fig. 3(a)와 같이 상부면적 비율은 규모가 큰 1, 2종 교량이 69.0~78.2%에 이르고 있다. 하위관리주체별로 절대적인 관리 교량 규모는 구역 V가 가장 크며, 구역 I과 II는 상대적으로 규모가 작은 것을 알 수 있다.

Table 3. Status of bridges to be analyzed

Classification	Total number	Bridge type 1, 2		
		Number	Length(m)	Area(km ²)
Sum.	6,910	2,249	523,147	7.86
Area I	759	286	72,715	1.15
Area II	942	370	86,473	1.10
Area III	1,435	422	93,018	1.46
Area IV	1,786	492	118,250	1.62
Area V	1,988	679	152,692	2.54



(a) Superstructure-area percentage by bridge types



(b) Superstructure-area by bridge types

Fig. 3. Bridge superstructure-area by regional offices

교량의 보수보강 예산 투입 여부를 판단하기 위한 기준으로 현재의 안전등급과 준공 후 경과시간을 의미하는 공용년수가 활용될 수 있다. Table 2의 안전등급을 관리주체별로 나타내면 Fig. 4와 같다. 최근의 안전등급은 구역 II(A등급 44%, B등급 55%, C등급 1%)가 가장 높게 나타나고 있으며, A등급의 비율이 낮고 C등급의 비율이 높은 구역 I의 안전등급이 낮은 것을 알 수 있다. A등급을 95점, B등급을 85점, C등급을 75점으로 나타내어 전체 교량에 대한 평균적인 안전등급을 표현하고 있는 평균안전점수 역시 같은 결과를 보여주고 있으며, 전체적으로 85점 이상의 높은 안전성을 확보하고 있는 것을 알 수 있다.

하위관리주체별로 사용기간에 따른 현황을 살펴보면, 구역 II, III, IV에 최근 10년 내 건설된 교량이 많으며 20년 이상 된 교량의 비율은 구역 I, II에 많은 것을 알 수 있다. 전체적인 평균 공용년수는 13.01년이며, 구역 II와 V가 상대적으로 평균공용년수가 높게 나타났다.

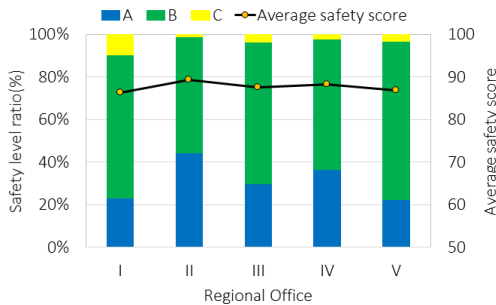


Fig. 4. Safety level ratio by regional offices

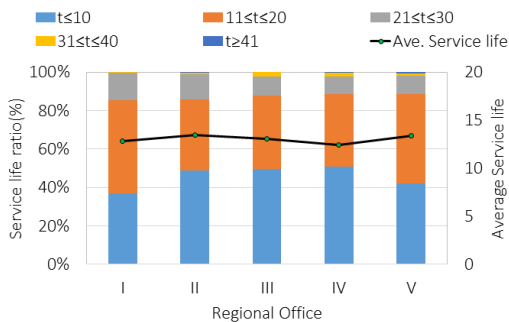


Fig. 5. Service life ratio by regional offices

3.3 교량 보수보강 현황 분석

시트법 대상 여부, 안전등급, 공용년수에 따라 보수보

강 수행 교량의 현황을 분석하였다. 시트법의 1, 2종 교량은 주기적으로 용역에 의한 정밀 점검 또는 안전진단을 수행하고, 그 결과 열화손상이 발견된 경우 2년 이내 조치를 취해야 한다. 반면 기타교량은 인력이 접근 가능한 구간의 육안조사에 의해 정기점검을 수행하므로 열화손상을 제때 발견하지 못할 가능성이 높다.

1, 2종 교량이나 기타교량은 모두 같은 환경 조건에서 공용되지만 주기적이고 세밀한 점검, 진단을 수행하는 1, 2종 교량의 열화손상이 발견될 가능성이 높고 그로 인해 조치율(보수보강비율)이 높게 나타나는 것을 Fig. 6을 통해 알 수 있다. 특히 낮은 공용년수에 조치가 빈번하게 이루어지는 1, 2종 교량에 비해 기타 교량은 공용년수 30년에 가까워 문제가 심각해 진 후에 조치가 이루어지고 있는 것으로 판단되며 Fig. 7을 통해 확인 할 수 있다. 조기에 빈번한 보수보강이 이루어지는 1, 2종 교량의 조치단가는 낮은 반면 문제가 발견될 가능성이 낮고 열화손상이 많이 진행된 이후 조치하게 되는 기타교량은 조치단가가 높게 나타나고 있다.

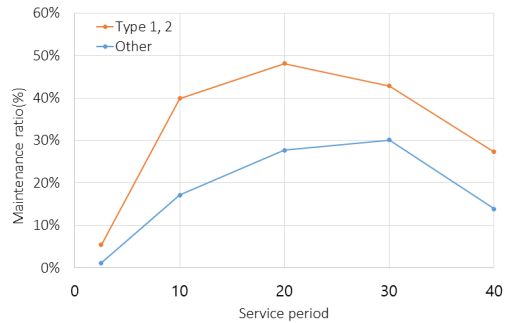


Fig. 6. Maintenance ratio according to service life and bridge types

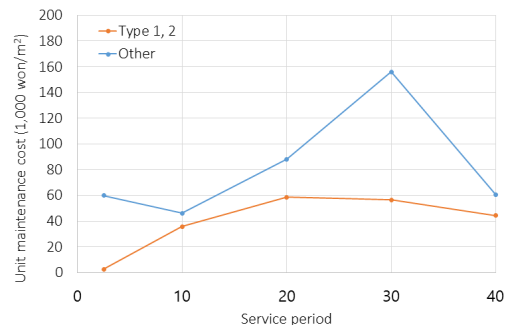


Fig. 7. Unit maintenance cost according to service life and bridge types(Safety level B)

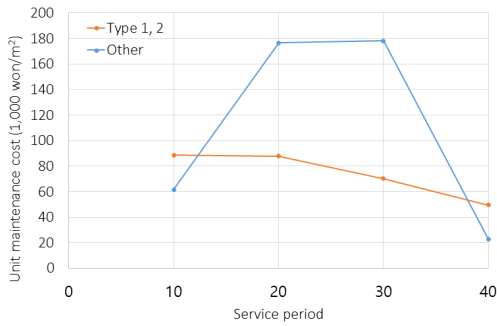


Fig. 8. Unit maintenance cost according to service life and bridge types(Safety level C)

일반적으로 30년 이상 사용된 교량은 노후교량으로 고려되기 때문에 최소한의 관리만 수행한 후 개축하거나 상당기간 사용수명을 연장하기 위해 대규모 보수보강을 수행하는 두 가지로 경우로 구분되어 관리된다. 따라서 30년 이상 사용된 교량은 조치율은 일반적으로 낮게 평가되었다. 시투법에 따르면 안전등급이 A에서 B, C로 내려갈수록 교량의 상태는 나빠진다. Fig. 7, 8을 보면 안전등급이 B등급, C등급으로 내려갈수록 조치단가는 상승하는 것을 확인할 수 있다.

4. 보수보강 예산 적정 배분 모델

4.1 예산 적정 배분 모델 개발

보수보강 예산은 점검 및 진단 용역을 통해 추정된 정보와 실제 보수보강 공사를 통해 집행된 정보로 구분할 수 있다. 점검·진단을 통해 수집된 정보(손상정보, 보수보강 물량, 중요도)를 활용하여 예산 배분 모델을 개발할 수 있으나, 손상에 따른 보수보강공법별 표준 단가로 개략적인 예산을 추정하기 때문에 정보의 신뢰도가 낮고 실제 교량의 현장 여건을 고려하는 것이 곤란하다. 그에 비해 실제 예산이 투입된 보수보강 공사 정보는 하위관리주체가 점검 및 진단 업무 중 발견된 열화·손상을 조치하기 위해 예산을 요구하고 상위관리주체는 예산을 배분하였다는 것을 의미한다. 따라서 점검·진단 정보 보다 실제적인 예산 배분 모델 개발을 위해 보수보강 공사 수행 정보를 활용하는 것이 합리적으로 판단된다. 따라서 유지관리 업무 중 발견된 열화·손상을 조치하기 위해 예산을 요구하고 배정받아 공사를 수행했던 통계 현황에 따른 조치비용모델을 이용해 하위관리주체별로 차년도 조

치비용을 추정하고 그 비율을 예산배분 결정 모델로 정의하였다.

조치비용모델은 조치율모델과 단위비용모델로 이루어진다. 식 (3)의 조치율모델 $MR(\cdot)$ 은 보수보강 조치율로 1, 2종 여부 및 공용년수의 함수이다. 식 (4)의 단위비용모델 $UC(\cdot)$ 은 교량의 단위면적당 보수보강비용으로 1, 2종 여부, 공용년수, 안전등급의 함수이다. 보수보강 조치율은 Fig. 6의 분석 결과를 바탕으로 1, 2종 교량과 기타교량으로 구분하여 4차 다항식으로 모델링하였으며, Table 4는 다항식의 계수값을 나타내고 있다. Fig. 7, 8의 보수보강 단가 중 안전등급 B, C에 대해서는 표본이 존재하므로 회귀분석을 통해, D등급은 B, C등급 평균값을 선형추계하여 단가를 정의하였다. 이를 정리하면 Table 5와 같다. 제시된 모델의 계수는 특정 관리주체에 대해 한정된 기간 동안 수집된 표본을 이용해 개발된 것으로 예산배분모델의 신뢰도를 높이기 위해 매년 추가로 수집되는 정보를 이용해 갱신이 필요하다.

$$MR(\cdot) = f(\text{special}, \text{time}) \tag{3}$$

$$UC(\cdot) = f(\text{special}, \text{time}, \text{condition state}) \tag{4}$$

Table 4. Maintenance ratio $MR(\cdot)$ model

Classification	a4	a3	a2	a1	const.	Remarks
Type 1, 2	-1.30 E-06	1.35 E-04	- 5.52 E-03	9.90 E-02	-1.61 E-01	4th polynomial
Other type	-6.84 E-07	5.07 E-05	-1.73 E-03	3.73 E-02	-7.18 E-02	

Table 5. Unit maintenance cost $UC(\cdot)$ model

Classification		a2	a1	const.	Remarks
Type	Safety level				
1, 2	B	-0.10	5.26	-8.69	
	C	-0.05	1.15	82.83	
	D			113.5	
Other	B	0.22	-3.43	64.65	$t \leq 30$
				60.38	$t > 30$
	C			62	$t < 10$
			11.51	-53.48	$10 \leq t \leq 20$
				177.4	$20 < t \leq 30$
				22.9	$t > 30$
D			222		

here, t is service life

본 논문에서 새롭게 제안한 하위관리주체별 적정 예산배분비율 rb_a^* 는 단위비용모델과 조치율모델을 이용해

하위관리주체별로 보유하고 있는 교량에 대한 기대 보수 보강비용 값과 전체 교량에 대한 기대보수보강비용의 비율 형태로 식 (5)와 같이 정식화할 수 있다.

$$r_{0a}^* = \frac{\sum_{b_a=1, n_a} UC(\cdot) \cdot MR(\cdot) \cdot A_a^{b_a}}{\sum_{\substack{a=1, all \\ b_a=1, n_a}} UC(\cdot) \cdot MR(\cdot) \cdot A_a^{b_a}} \quad (5)$$

여기서, $A_a^{b_a}$ 와 n_a 는 식 (1)과 같다.

4.2 예산 배분 방법의 비교 검토

교량 및 터널 현황조사[6]를 통해 수집한 관리주체별 교량 현황과 본 논문에서 제안한 예산배분비율 모델을 이용해 차년도 보수보강예산 배분을 수행하였다. 기존의 일반적인 예산배분 방식인 관리 교량의 규모(상부구조 면적)에 따른 결과와 비교 분석하였다. 차년도에 확정된 예산은 1,000억 원으로 가정하여 하위관리주체별 예산 배분을 결정하였다.

Table 6은 기존의 단순 상부구조 면적 비율에 따른 하위관리주체별 예산배분 금액과 제안된 방법에 의한 적정 예산배분 금액 결과를 보여주고 있다. Fig. 9는 기존 배분방법을 통한 예산배분 비율과 본 과제의 제안방법을 통해 산정된 예산배분비율을 비교한 것이다.

Table 6. Budget allocation by regional offices

Classification	Budget allocation by superstructure area ratio		Appropriate budget allocation
	Whole bridge	Over 10 years of service life	
Area I	137.7	160.1	184.4
Area II	131.4	123.7	110.3
Area III	197.2	183.0	191.6
Area IV	217.7	196.9	184.4
Area V	316.0	336.3	329.3

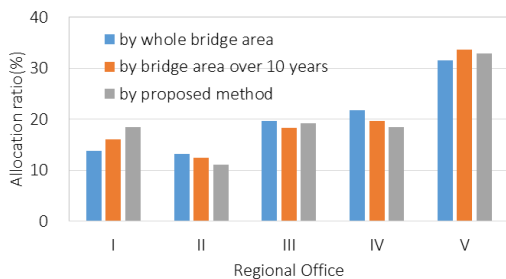


Fig. 9. Budget allocation ratio by regional offices

단순 규모만을 고려한 기존 방법에 비해 제안된 방법은 교량의 규모뿐만 아니라 점검·진단 수준을 고려한 중별 현황, 준공 후 공용이력, 현재 안전등급 등 다양한 인자들이 반영된 합리적인 대안을 제공하게 된다. Fig. 9에서 확인할 수 있듯이 구역 I은 단순 면적비를 고려한 예산 배분에 비해 제안된 방법에 의한 예산배분율이 높아졌으며, 구역 II와 IV는 낮게 나타났으며, 구역 III과 V는 유사한 비율을 보이고 있다.

구역 I은 Fig. 3~5로부터 1, 2종 교량의 비율은 77.8%로 규모를 고려한 예산배분비율과 유사하지만, 안전등급 구성비와 공용년수가 상대적으로 다른 구역에 비해 높아 제안된 방법에 의한 예산이 증가한 것으로 판단된다. 반대로 구역 II와 IV는 안전등급이 양호하고 공용년수가 높지 않아 예산배분비율이 감소하였으며, 구역 III과 V는 규모를 고려한 예산배분비율에 안전등급이나 공용년수가 미치는 영향이 적은 것을 알 수 있다. 예산의 총액을 제한한 상태에서 하위관리주체별 예산배분비율을 결정하는 사례를 제시하였으나, 예산 제약이 없는 상태에서는 관리주체별 목표관리수준(안전등급점수, C등급 이하 비율 등)을 고려한 최적 예산수준을 결정하는데 제안된 방법을 활용할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 단순 교량 규모 기반 예산배분 방식을 개선하고자 안전등급, 공용년수, 중별 등 다양한 인자를 고려한 합리적인 예산 배분비율 결정 체계를 제안하였다.

기존의 교량 유지관리 및 보수보강 현황 분석을 통해 1, 2종 교량이 기타교량에 비해 주기적인 점검진단에 의해 조기에 보수보강이 이루어지며 상대적으로 투입비용의 단가가 낮게 나타났다. 생애주기 측면에서 예방적 관리가 수행되는 1, 2종 교량의 수명이 기타교량에 비해 길어질며 생애주기비용 또한 감소할 것으로 판단된다.

전체 교량을 일정 권역별(하위관리주체)로 구분하여 일정한 관리수준이 확보되도록, 교량의 보수보강 예산을 적정하게 배분하기 위하여 과거 보수보강 이력에 기초한 조치유도모델과 단위비용모델을 개발하였다. 제안된 모델을 이용하여 하위관리주체별 적정 예산배분비율 결정 방법론을 제안하고 사례분석을 수행한 결과, 교량의 보수

보강 예산 배분의 영향인자로 교량 규모뿐만 아니라 중별 현황과 현재 안전등급, 공용년수가 고려되어야 적정 예산 배분이 이루어지는 것으로 나타났다.

제안된 적정 예산배분 결정 방법론을 바탕으로 하위 관리주체별로 유사한 관리수준을 유지할 수 있는 적정 예산배분의 당위성을 확보할 수 있으며, 합리적인 예산 배분 근거를 제공하여 의사결정의 신뢰도를 높여줄 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Se-Ryang Kim, Yun-Sik Kim, Chang-Taek Hyun, and Chae-Gyung Cho, Development of Operation & Maintenance Cost Estimating Model for Facility Management of Buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, vol. 29, no. 1, pp. 11-21, 2013.
- [2] Seichang Oh, Jungwoo Lee, Kyujin Lee, and Keechoo Choi, Prioritization of Intermodal Transportation Facilities with Considering the Budget Rate Constraints of Focal Terminal Types, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, vol. 30, no. 4D, pp. 361-368, 2010.
- [3] Seongho Kim, Deterioration Evaluation of Railway Line Segments Using Analytic Hierarchy Process, Journal of the Korean Society for Railway, vol. 14, no. 6, pp. 569-574, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.7782/JKSR.2011.14.6.569>
- [4] Hyung Seop Shim and Seung Hyun Lee, Balanced Allocation of Bridge Deck Maintenance Budget Through Multi-objective Optimization, KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 21, no. 4, pp. 1039-1046, 2016.
- [5] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(MLTM), Detailed Guidelines of Safety Inspection and Precise Safety Diagnosis for Bridges, Korea Infrastructure Safety Corporation, 2010.
- [6] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT), Statistics of Roadway Bridge and Tunnel, Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT), 2016.

선 종 완(Jong-Wan Sun)

[정회원]



- 2004년 2월 : 한양대학교 대학원 토목환경공학과 (구조공학석사)
- 2010년 8월 : 한양대학교 토목공학과 (구조공학박사)
- 2008년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 구조융합연구소 연구원

<관심분야>

기반시설생애주기관리, 구조신뢰성

이 후 석(Huseok Lee)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 2013년 2월 : 한양대학교 대학원 건설환경공학과 (구조공학박사)
- 2013년 3월 ~ 2015년 4월 : 한양대학교 ERICA 공학기술연구소 Post-Dr.
- 2016년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 구조융합연구소 연구원

<관심분야>

구조동역학, 수치해석, 교량 안전성평가

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 구조융합연구소 연구위원

<관심분야>

교량공학, 기반시설생애주기관리