

교량 성능변화를 고려한 유지관리비용 추계분석 방법 개발

선종완, 이후석, 박경훈*
한국건설기술연구원 인프라안전연구본부

Development of maintenance cost estimation method considering bridge performance changes

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

Dept. of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil Eng. and Building Tech.

요약 사회기반시설물의 노후화에 따른 교량 유지관리비용의 급격한 증가에 대비하기 위해서는 미래 발생 가능한 유지관리비용의 예측이 선행되어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 교량 관리주체의 유지관리 현황 분석을 통해 교량의 관리수준을 파악하고, 이를 생애주기에 따른 목표관리수준과 성능향상 한계 값으로 모델링하였다. 이와 함께 교량 안전점수에 따른 보수보강비용 예측모델, 성능열화모델, 평균개축비용단가, 평균 개축시기로 구성된 기존의 비용 및 성능 예측모델과 연계하여, 교량 유지관리비용 추계분석을 위한 방법론 및 절차를 제안하였다. 제안된 방법의 활용성 검증을 위해 특정 관리주체가 관리하는 교량의 규모, 노후화 정도, 현재 관리현황을 고려하여 미래 유지관리비용 추계 분석을 수행하였다. 연차별로 개별 교량 수준의 안전등급과 유지관리 조치에 따른 비용 추정 결과와 이들을 관리주체 수준으로 합산하여 연차별 평균 안전점수, 안전등급 구성비, 점검진단비용, 보수보강비용, 개축비용을 합리적으로 추정할 수 있다. 향후 목표성능관리수준의 변경에 따른 생애주기 예산의 변화를 추정하여 최적의 관리수준을 제안할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract To prepare for the explosive increase in maintenance costs of bridges according to the aging of infrastructure, future maintenance costs of bridges should be predicted. For this purpose, the management status of bridges was investigated and modeled as the upper limit of the performance level and the target management level according to the life cycle. This paper proposes methodologies and procedures for estimating the bridge maintenance costs using two models and existing cost and performance prediction models that consist of unit repair cost model according to the safety score, performance degradation model of bridges, unit reconstruction cost, and average reconstruction time. To verify the applicability, future maintenance costs can be forecasted for specific management agency considering the number of bridges, degree of aging, and current management status. As a result, it is possible to obtain the maintenance cost and safety level of an individual bridge level for each year. In addition, by summing them up to the agency level, the average safety score, ratio of the safety level, inspection costs, repair costs, and reconstruction costs can be obtained. In a further study, the changes in maintenance costs can be analyzed according to the changes in the target management levels using the developed method. The optimal management level can be suggested by reviewing the results.

Keywords : Life-cycle Maintenance Cost, Performance Degradation Model, Target Management Level, Maintenance Cost Estimation Process, Maintenance Cost Estimation Method

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 31, 2018

Revised (1st November 23, 2018, 2nd November 27, 2018)

Accepted December 7, 2018

Published December 31, 2018

1. 서론

교량은 도로시설물 중 가장 극한적인 환경 및 하중 조건에서 사용되며, 시의적절한 보수보강이 이루어지지 않으면 성능감소와 붕괴확률 증가로 이어지게 된다. 이로 인해 이용자의 불편을 야기하거나 안전을 직접적으로 위협하고, 도로망의 단절로 인한 경제적 손실을 초래할 수 있기 때문에 적극적인 관리가 필요하다.

일반적으로 인프라구조물의 시간에 따른 열화로 인해 보수보강 등 주의 깊은 관심이 요구되는 시기는 개통 후 30년으로 가정할 수 있다. 전국 도로법 상 교량 중 현재 30년을 초과하는 비중은 11.0% 수준이나, 5년 후에는 19.2%, 10년 후에는 34.8% 까지 증가하는 것으로 조사되었다[1]. 이렇게 가까운 미래에 발생할 것으로 예상되는 교량의 노후화와 그에 따른 유지관리 예산 증가 문제에 효과적으로 대응하기 위해서는 미래에 소요되는 유지관리 예산의 적절한 추정이 선행되어야 한다.

국내외적으로 유지관리 단계에서 대규모 교량 군(群)에 대한 유지관리비용을 추정하기 위한 연구 사례는 제한적이다. 또한 실무적 관점에서 미래의 유지관리 예산 추정은 일반적으로 과거 유지보수비용이나 신규투자대비 비율 등의 추세에 근거하여 이루어져 합리성이 결여되어 있다.

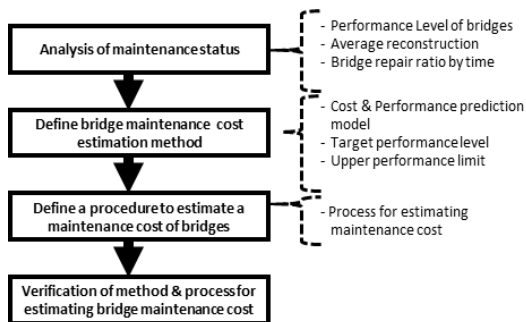


Fig. 1. Research Process

본 논문에서는 교량의 성능변화를 고려한 유지관리비용 추계분석 방법을 개발하기 위하여 Fig. 1과 같이, 교량 유지관리 현황 분석을 바탕으로 현재 교량의 관리수준, 평균 개축 시기 등에 대한 분석결과와 점검진단, 보수보강 등 유지관리 이력데이터 분석을 통해 개발된 비용 및 성능 예측 모델을 연계해 교량 유지관리비용 추계 분석 방법을 정의하였다. 교량의 기본현황(연장, 폭, 공

용기간, 중별 기준, 현재 상태등급)정보와 본 논문에서 제시한 추계분석방법을 적용해 관리주체의 모든 교량에 대한 유지관리비용 추계분석을 위한 절차를 개발하였다. 제안한 방법 및 도구의 적절성을 검토하기 위해 특정 관리주체가 관리하는 교량에 대한 유지관리비용 추계분석을 수행하였다.

2. 기존 연구 동향

교량과 같은 공공자산의 유지관리비용 추계 분석은 그 중요성에 비해 정보 접근의 한계, 정책적 영향에 따른 변동성 등으로 연구 사례가 많지 않다. 기존 연구 또한 교량의 성능을 고려하지 않고 단순히 보수보강의 주기, 조치율, 단가 등을 이용한 생애주기비용 분석 또는 그 사례분석과 관련된 연구가 주를 이루고 있다.

이동현 등[2]은 거시적 관점에서 미래 유지보수 투자 규모에 관한 연구에서 기존 자산추정 방법, 기존 거시 예측모델 적용 방법, 개발된 거시 예측모델 적용, 개발된 상세 예측모델 적용방법으로 구분해 사회기반시설의 유지관리비용을 예측하였다. 제안된 모델은 교량의 성능변화를 고려하지 않는 한계를 가지고 있으며, 주요 유지관리 조치인 개축(재건설)을 고려하지 않고 있다.

한국도로공사에서는 고속도로 생애주기비용 분석에 사용한 모델이 실제 유지관리 정보를 고려하지 못하고 있다는 점을 개선하기 위해 연간일상유지관리 개념(연평균 보수보강비용 산정)을 적용하기 위한 연구를 수행한 바 있다[3]. 그러나 전문가 설문 등을 통해 개발된 보수보강의 주기, 보수율, 단가 형태로 구성된 모델이나 제시된 연간일상유지관리 개념도 성능의 변동은 고려하지 못하며, 현재의 성능관리수준을 유지한다고 가정했을 때 소요되는 비용을 산정하는데 머물러 있다.

국외의 교량 유지관리 우선순위 결정에 관한 연구[4]에서는 교량의 상태, 구조 안전성, 위치, 네트워크 용량 등의 인자와 휴리스틱 알고리즘 등을 이용해 우선순위를 평가하는 방법을 제안하였다. 이와 같은 방법은 예산이 이미 정해진 시점에 예산의 효율적 이용하기 위한 방법을 찾는 목적으로 수행되는 것으로 본 논문에서 제안한 추계 분석과는 그 목적이 다르다.

또한 페인트칠된 강재와 아연도금 강재를 사용한 교량의 비교 대안에 대해 확률적 방법에 따라 유지관리 방법, 주기, 시나리오, 할인율의 차이에 따른 생애주기비용

비교를 통해 최적의 대안을 선정하는 연구[5]가 수행중이다. 이러한 연구들이 유지관리 단계에서 예산을 효율적으로 집행하기 위한 방안을 찾는데 중점을 두고 있다면, 본 논문은 현재 목표관리수준을 유지하기 위해 필요한 예산 소요를 추정하는데 목적이 있다.

3. 교량 유지관리 제도 및 예산체계

3.1 교량 유지관리 법령 및 규정

교량 유지관리에 관한 대표적인 법령은 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법[6](이하 시설물안전법), 도로법이 있다. 시설물안전법에서는 교량의 규모, 형식 등에 따라 1, 2, 3종(種)으로 구분하고, 교량의 현재 안전등급에 따라 일정 주기로 점검, 진단을 수행하도록 규정하고 있다. 도로법[7]에는 시설물 안전법의 개별 교량에 관한 구체적인 점검진단 방법을 준용하고, 전체적인 관리계획수립과 관련된 관리주체의 역할 등을 정의하고 있다.

교량의 성능과 관련해서 시설물안전법에 따른 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[8]에서는 교량의 안전등급을 A-E(매우양호-매우불량)까지 5등급으로 구분한다. 부재의 안전등급이 C등급(보통) 이하이거나 교량의 안전등급이 B(양호), C등급인 경우 보수보강계획을 수립하고, D등급(불량) 이하로 평가된 경우 즉시, E등급으로 평가된 경우 차량 통제 후 즉시 조치를 취해야 한다.

3.2 교량 유지관리 예산 체계

미래에 필요한 예산을 현실성 있게 추정하기 위해서는 예산 과목, 집행항목에 대한 분석이 필요하다. 도로교량의 유지관리를 위한 중앙정부(국토교통부)의 예산은 점검진단을 위한 기본조사설계비와 보수보강, 개축 등 공사의 실시설계비, 시공비, 감리비, 시설부대비로 구분된다. 지방정부 역시 지방자치단체 예산편성 운용에 관한 규칙 중 세출예산 집행기준에 따라 자본지출-시설비 계정 내 기본조사설계비, 실시설계비, 시설비, 시설부대비로 구분하여 집행기준을 수립한다. 따라서 기본적으로 중앙정부와 지방정부는 예산 과목 측면에서는 동일하다고 할 수 있다.

교량 유지관리 단계에서 수행하는 사업은 개량사업과 보수보강사업으로 구분할 수 있다. 개량사업은 노후교량 개축, 저등급 교량 성능개선, 통수단면 개선, 내진보강

등과 같이 상위관리주체가 교량 전체에 대하여 우선순위를 평가하고 개별 교량의 우선순위에 따라 조치를 취한다. 보수보강사업은 하위관리주체가 점검·진단을 통해 발견된 손상 및 열화된 다수의 교량을 조치하기 위해 시행된다.

개량사업은 미리 별도의 중기계획(우선순위 등 판단)을 수립하고, 실시설계로 예산이 확정된 후 단계적으로 집행하므로 중기계획 내 연차별 시행 대상과 예산을 미리 정의할 수 있다. 반면 보수보강은 점검진단을 통해 발견된 결함 및 손상을 조치하는 것이기 때문에 차년도 예산을 수립하는 단계에서는 당해 연도의 실제 점검진단 결과를 반영해 대상 및 소요예산을 확정할 수 없다는 특징이 있다.

4. 대상 관리주체 교량 성능관리 현황

4.1 노후 및 개축 교량 현황

성능변화를 고려한 유지관리비용 추계분석을 위하여 선정된 대상 관리주체의 교량 성능관리 현황을 분석하였다.

해당 관리주체의 분석 대상 교량은 약 7천여개소로, 공용년수에 따라 구분하면 Fig. 2와 같다. 20년 이내 교량이 약 82%에 이르며, 30년을 초과하는 비중은 현재 3.1%에 불과하지만 5년 후에는 7.9%, 10년 후에는 18.2% 수준으로 크게 증가할 것으로 예상된다. 최근 5년 동안 개축이 시행된 교량 31개소의 공용기간을 분석해보면 Fig. 3과 같다. Fig. 3을 보면 가장 많은 개축이 수행되는 시기는 30~32년이며, 개축 시 평균공용기간은 약 34년, 87%의 교량이 사용기간 30년 후에 개축된 것으로 조사되었다.

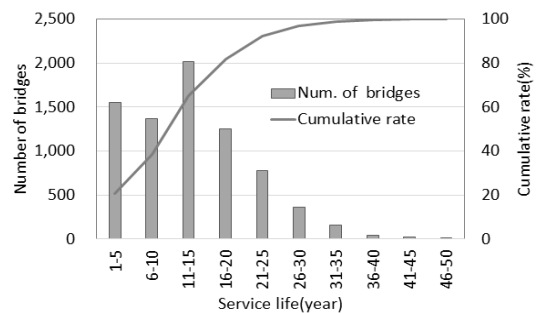


Fig. 2. Service life of bridges

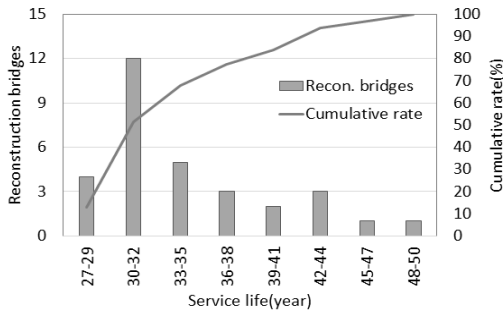


Fig. 3. Service life of reconstruction bridges

4.2 교량 안전등급 현황

공용년수에 따른 교량 안전등급 현황을 분석해보면, Fig. 4와 같이 개축 중인 교량 일부가 안전등급 D를 나타내고 있으며, 전체 교량 중 C등급 비율은 약 3.5% 수준으로 관리되고 있는 것으로 나타났다. 공용년수 30년이 될 때까지 C등급 비율은 점진적으로 증가세를 나타내다가, 이후 30년 이상 교량 중 C등급 비율은 15% 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 상대적으로 A등급의 비율은 감소세를 나타내고 있다.

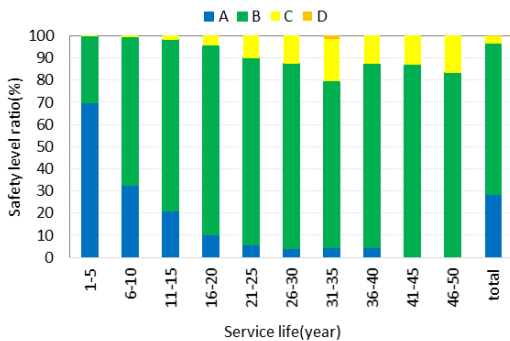


Fig. 4. Safety level ratio by service life

4.3 교량 보수보강 현황

대상 관리주체 교량의 최근 4년간 보수보강 이력을 분석하였다. Fig. 5와 같이 공용년수가 증가할수록 보수비율(=보수보강을 수행한 교량개소/사용기간 내 교량개소)이 높아지다가, 노후도가 높아져 개축 여부를 가늠하기 시작하는 30년을 전후해 보수보강비율이 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 가까운 장래에 개축의 가능성이 높은 노후 교량에 많은 보수보강 예산을 투입하는 것은

비용효율성이 낮기 때문으로 판단된다. 공용년수 6년~20년 교량의 연평균 보수보강 비율은 15% 수준(1회/6, 7년)이며, 20년 이상 35년 미만 교량은 25% 이상(1회/4년)으로 조사되었다.

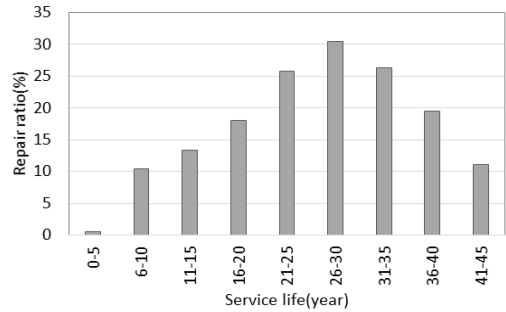


Fig. 5. Repair ratio by service life

5. 교량 유지관리비용 추계분석 방법

5.1 유지관리비용 산정 방법

교량 유지관리단계에 발생하는 비용은 점검진단비용, 보수보강비용, 개축비용으로 정의할 수 있다. 점검진단은 생애주기 동안 안전등급 이력에 따라 그 시기가 결정되고, 안전점검 및 성능평가 비용(대가)의 산정기준[9]을 이용해 생애주기 동안의 점검진단비용을 산정할 수 있다.

보수보강공사는 정기점검, 안전 점검 및 진단 등을 통해 조치가 필요하다고 조사된 교량에 대해, 실시설계를 통해 공사방법 및 예정공사비를 산정한 후 보수보강 공사를 수행하는 체계로 진행된다. 보수보강비용은 점검진단, 실시설계, 공사의 결과로 각각 산정된다. 그 중 점검진단 결과로 수집된 정보가 성능(안전등급)과 밀접하게 관련되어 있으므로, 미래의 보수보강 예산 추정 모델의 개발을 위해서 점검진단 결과로 수집된 정보를 활용하는 것이 합리적이다.

이에 본 논문에서는 저자들[10]에 의해 개발된 교량 성능 수준(안전등급)에 따른 단위보수보강비용 예측 모델을 성능점수에 따른 형태로 변환하여 사용하였다.

$$UC_{repair} = 0.5339X^2 - 117.95X + 6836.06 \quad (1)$$

여기서 UC_{repair} 는 단위상관면적당 보수보강 단가(천원

/m²), X는 성능점수로 Fig. 6에서 보듯이 각 안전등급을 100~50점까지 10점 단위로 등분하여 연속화한 값이며, 본 모델의 개발에 사용된 원천 데이터는 특정 관리주체의 '13~'17년까지 수행된 6,609회의 정밀 점검 및 진단 보고서 상의 '대표 안전등급'과 '보수보강 개략공사비'이다.

개축은 기존 교통의 흐름을 유지하며 수행하여야하기 때문에 일반적인 신설공사보다 해체폐기비, 토공, 가시설, 부대시설, 연결도로 가설비 등 많은 비용이 소요된다. 본 논문에서는 대상 관리주체의 2013년 이후 개축된 31개 교량의 단위연장에 따른 평균단가(70.379백만원/m, 4차선기준)를 이용해 개축시기에 도달한 교량의 평균개축비용을 산정하였다[11].

개축비용을 산정하기 위한 또 다른 인자는 개축시기이다. 본 논문에서는 Table 1과 같이 기타교량에 대해서는 한국건설기술연구원[11]에서 제안한 준공년도에 따른 평균개축시기를 적용하였으며, 김현배 등[12]에서 조사한 교량구조물 공용수명을 참조하여 1, 2종 등 시설물 안전법에 의해 특별히 관리되고 있는 교량에 대해서는 75년, 별도의 특별 관리가 수행되고 있는 특수교(사장교, 현수교, 트리스교, 아치교)는 100년으로 가정하였다.

Table 1. Reconstruction time(proposed)

Classification	Special type	Type I, II	Other	
			Before '99	After '00
Year	100	75	32	47

5.2 유지관리비용 추계분석 방법

유지관리비용 추계분석방법은 예산을 미리 정의하고 그 예산범위에서 유지관리를 수행하는 체계(비용 관점 관리)가 아닌, 성능목표를 미리 정의하고 성능목표를 달성하기 위해 필요한 예산을 정의하는 체계이다. 본 논문에서는 성능 평가 인자로 안전등급을 고려하였다.

Fig. 4의 안전등급 현황과 Fig. 5의 보수보강 현황으로부터 빈번하게 보수보강을 수행하고 공용기간이 길어질수록 성능수준이 저하된다는 점, 개축 시점까지 높은 성능수준을 유지하는 것은 비효율적이라는 점, 시간이 경과할수록 높은 수준(A등급)을 유지하는 것은 불가능하다는 점, 심각한 손상이 진전되기 전에 예방적 유지관리를 수행하는 것이 경제적이라는 점 등을 고려하여, 본

논문에서는 교량의 개축시점(수명도달시점)에 관리하한치(C등급)에 도달하도록 Fig. 6의 ①과 같이 목표관리수준을 정의하였다.

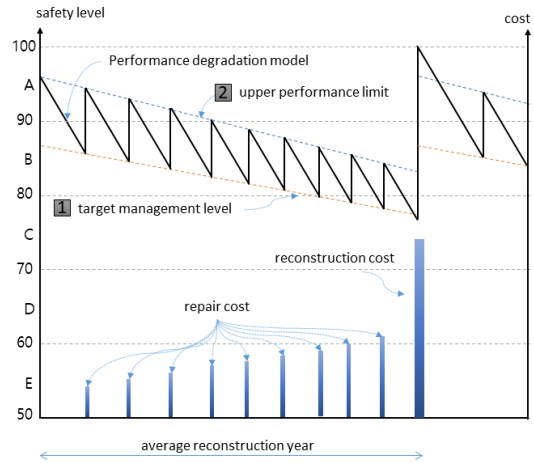


Fig. 6. Conceptual diagram for estimating maintenance cost

교량의 공용기간이 증가할수록 노후화로 인해 보수보강에 따른 안전등급 향상 효과가 감소한다는 점, 사용기간이 길어질수록 보수보강 빈도가 증가한다는 점을 반영하기 위해 성능향상의 정도가 제한적인 모델이 필요하다. 이에 본 논문에서는 Fig. 6의 ②와 같이 보수보강 후 성능향상의 최대치는 시간이 지남에 따라 감소하는 것으로 정의하였다.

성능열화모델은 보수보강이 수행되지 않은 기간의 교량 안전등급 이력 정보를 이용해 교량의 연평균 열화율을 산정할 수 있다[11, 13]. 본 논문에서는 한국건설기술연구원[11]을 참고하여 연평균 성능점수 감소율을 1.77/년으로 가정하였다.

① 목표관리수준과 ②성능향상한계 사이에서 현재 안전등급에서 연평균 성능점수 감소율을 반영한 안전 추정치가 ① 목표관리수준에 미치지 못한 경우 보수보강을 수행하고, 보수보강 후 안전향상은 사용기간에 따른 ② 성능향상한계에 도달하는 것으로 정의하였다. 이와 같은 과정을 반복하는 방식으로 보수보강 여부를 결정하며, 공용기간이 예상 개축시기를 초과하면 개축을 실시하는 방식으로 적용하였다.

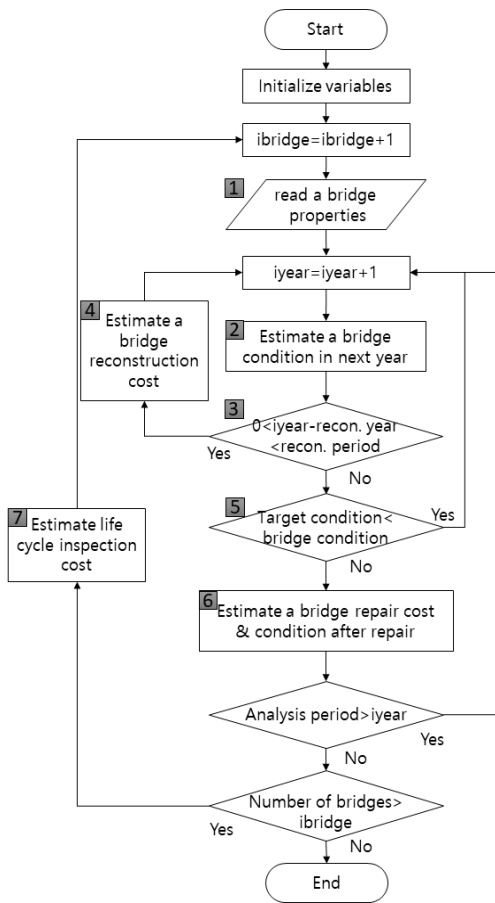


Fig. 7. Flowchart for estimating maintenance cost

5.3 유지관리비용 추계분석 절차

유지관리비용 추계분석은 유지관리비용 산정방법과 추계분석 방법을 조합해 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 분석할 대상 교량에 대한 정보를 준비하여야 한다. 유지관리비용 추계분석에 필요한 정보는 교량의 연장, 폭, 차선수, 준공년도, 상부구조형식, 종별구분, 상태등급으로 정의할 수 있다. 교량 연장, 폭, 준공년도, 상태등급은 보수보강비용 예측하는데, 교량연장은 개축비용을 산정하는데, 교량연장, 차선수, 상부구조형식, 종별구분, 상태등급은 점검진단비용 산정하는데 사용되는 인자이다.

두 번째로 상태열화모델을 이용해 내년도 상태등급을 추정하고, 세 번째로 분석년도(iyear)가 Table 3을 이용해 정의한 개축 예정기간에 도달하면 개축을 수행하며, 네 번째로 개축비용은 단위연장에 따른 평균단가를 이용해 산정한다.

다섯 번째로 교량의 상태등급이 목표관리수준에 도달하였을 때 보수보강을 수행하게 되며, 여섯 번째로 보수보강비용은 상태등급에 따른 보수보강비용 예측모델을 이용하여 조치 후 상태등급은 성능항상 한계를 이용해 산정한다. 일곱 번째로 분석기간이 종료된 후 생애주기 동안 상태등급 관리이력, 개축시기를 고려해 점검진단비용을 산정한다.

5.4 유지관리비용 추계분석사례

Fig. 8-10, Table 2는 본 논문에서 제안한 유지관리비용 추계분석 방법을 적용해 대상 관리주체 7,412개소 교량에 대해 50년간 유지관리비용을 산정한 결과이다.

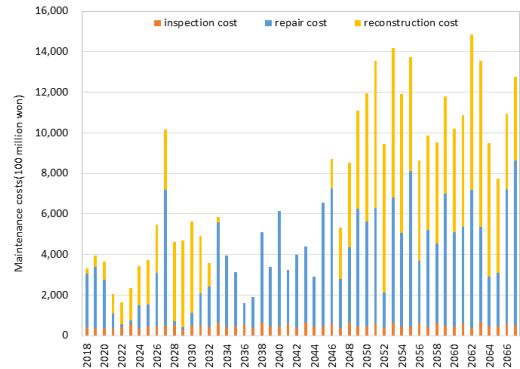


Fig. 8. Maintenance cost of bridges by time(summed up)

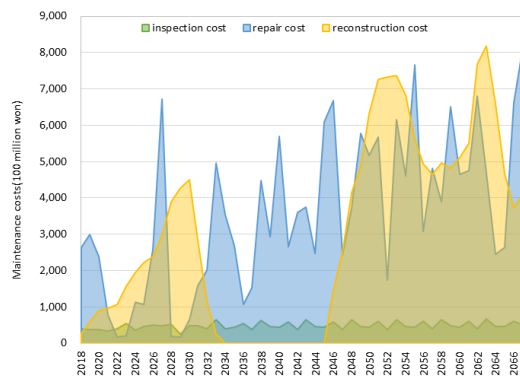


Fig. 9. Maintenance cost of bridges by time(division)

Fig. 8, 9를 보면 분석 결과 전체적으로 시간이 지남에 따라 보수보강비용이 증가하는 경향을 보인다. 세부적으로 살펴보면 점검진단비용은 매년 유사한 수준인데 비해 개축과 보수보강비용은 연차별로 많은 차이를 보인다

다. 특히 개축은 ‘30년(향후 12년)까지 연 4,500억 원 수준까지 증가하다가 ‘33년에 종료되는 1차 기간과 다시 ‘46년에 시작하는 2차 기간이 존재하는 것으로 조사되었다. 보수보강의 경우도 정해진 규칙(목표관리수준에 도달하면 보수보강 수행)에 따라 추계분석을 수행하는 경우 주기를 갖는 것을 확인할 수 있다. 전체 유지관리비용의 시간에 따른 변동성을 살펴보면 최소비용은 연 1,610억 원인데 비해 최대비용은 연 1.49조로 최소값 대비 약 9.3배 수준이며, 50년 평균값은 7,078억 원, 표준편차는 3,947억 원인 것으로 조사되었다.

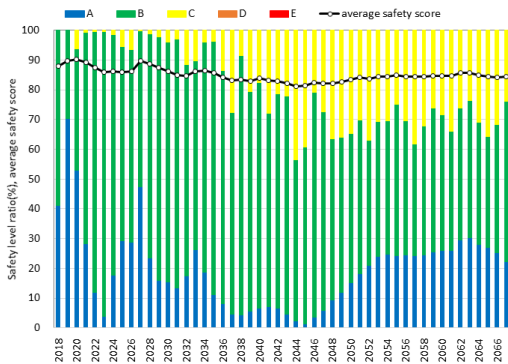


Fig. 10. Safety level ratio of bridges by service life

Fig. 10에 정리한 상태등급의 경우 최초 18년간 C등급 이하 비율이 평균 3.4% 수준으로 유지하다 이후 8년간 20%, 또 그 이후 24년간 평균 31% 수준을 유지함을 확인할 수 있다. 이는 실제 개축을 수행하기 전에 C등급을 허용하기 때문으로 판단된다. 최초 개축 집중기(‘30

년 이전)의 개축개소가 연평균 196개소인데 비해 2차 개축 집중기는 개축개소가 연평균 471개소인데서 그 이유를 찾을 수 있다.

6. 결론

노후화로 인한 미래 교량 유지관리비의 폭발적 증가에 대비하기 위해서 미래 유지관리비의 추계분석이 선행되어야 한다.

이를 위하여 본 논문에서는 기존의 과거 유지보수비용 추세식이나 신규투자대비 비율로 결정하였던 기존의 추계방식을 개선하고자, 목표성능관리수준 확보를 위해 현재의 성능으로부터 미래 성능을 예측하고 미래의 성능이 목표관리수준에 도달했을 때 조치를 취하며 상태등급에 따른 보수보강비용 예측모델을 통해 그 때 비용을 산정하는 체계로 추계분석 방법 및 절차를 정의하였다.

개발된 방법을 활용하여 관리주체별로 교량의 규모(개수, 총 연장 등), 노후화 정도, 현재 관리현황(개축시기 및 기간 등)에 따라 미래 유지관리비용 추계 분석이 가능할 것이다. 또한 이는 동일한 방법, 절차에 따라 산정된 값이므로 중앙정부 입장에서 지방정부의 예산 추계를 검토하거나 동일한 정부의 산하기관별 예산추계의 상대적 검토에 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 논문의 목표관리수준을 변동(향상 또는 저하)시키는 방식으로 목표관리수준에 따라 예산에 미치는 영향을 분석할 수 있을 것이다.

Table 2. Bridge maintenance cost over 10 years

Year	Performance score	Safety level(%)					Cost(million won)			
		A	B	C	D	E	Inspection	Repair	Reconstruction	Total
1	87.9	41.2	58.8	0.0	0.0	0.0	40,107	264,837	26,559	331,503
2	89.8	70.2	29.8	0.0	0.0	0.0	37,990	299,857	57,998	395,845
3	90.3	53.0	40.9	6.1	0.0	0.0	37,405	238,200	91,119	366,723
4	89.1	28.2	71.1	0.6	0.0	0.0	32,686	76,871	96,073	205,630
5	87.5	12.0	87.5	0.4	0.0	0.0	40,280	16,116	106,450	162,846
6	86.0	4.0	95.6	0.4	0.0	0.0	54,379	21,707	158,068	234,155
7	86.2	17.8	80.8	1.4	0.0	0.0	35,345	113,487	195,334	344,166
8	86.1	29.3	65.2	5.5	0.0	0.0	45,388	105,866	222,739	373,993
9	86.2	28.7	64.7	6.5	0.0	0.0	49,432	259,619	237,952	547,004
10	89.7	47.3	52.3	0.3	0.0	0.0	47,328	672,822	297,413	1,017,564

References

- [1] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT), "Statistics of Roadway Bridge and Tunnel", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2018.
- [2] Dong-Hyun Lee, Tae-Hyun Jun, Ji-Won Kim, Ki-Tae Park, Yongsoo Kim, "A Study on Macroscopic Future maintenance Investment Scale for National SOC Infrastructure", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.21, No.4, pp.87-96, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.11112/jksmi.2017.21.4.087>
- [3] In Hur, Yong Ku Lee, Jaekyung Yang, Choi, Young Min, Kim, Seung Hyun, "Application of Generally Annual Maintenance Concept for LCC Analysis with a Highway", Technical report of Korea Journal of Construction Engineering and Management, Vol.12, No.5, pp.43-54, 2011.
- [4] Weili Zhang, Naiyu Wang, "Bridge network maintenance prioritization under budget constraint", Structural Safety, Vol.67, pp.96-104, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.strusafe.2017.05.001>
- [5] B. Rossi, S. Marquart, G. Rossi, "Comparative life cycle cost assessment of painted and hot-dip galvanized bridges", Journal of Environmental Management, vol.197, pp.41-49, 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.022>
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Special Act on The Safety Control and Maintenance of Establishments", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Act No. 14545, 2017.
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Road Act", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Act No. 15115, 2017.
- [8] Korea Infrastructure Safety Corporation(KISTEC), "Detailed Guidelines of Safety Inspection and Precise Safety Diagnosis for Bridges", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2018.
- [9] Korea Infrastructure Safety Corporation(KISTEC), "Criteria for calculation of safety inspection and performance evaluation costs", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2018.
- [10] Sun, Jong Wan, Park, Kyung Hoon, Lee, Huseok, "Development of Unit Maintenance Cost Model for Bridge Maintenance Strategy Analysis", Proceedings of Spring Conference of Korea Concrete Institute Vol.30, No.1, pp.331-332, 2018.
- [11] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT), "Operation of bridge management system in 2016", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017.
- [12] Kim, Hyun Bae, Kim, Yong Su, "A Study on the Estimation of Probabilistic Repair · Reinforcement Cycles from Rating Curve of Steel Girder Bridges", Korea Journal of Construction Engineering and Management, Vol.10, No.2, pp.102-110, 2009.
- [13] Ahn, Sang Mi, Lee, Jin Hyuk, Cha, Kyung Hwa, Lee, Kyung Yong, Kong, Jung Sik. "Development and

Updating the Bridge Performance Model", Proceedings of Conference of Korean Society of Civil Engineers, pp.199-200, 2016.

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

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 인프라안전연구본부 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 인프라안전연구본부 연구위원

<관심분야>

교량공학, 기반시설생애주기관리