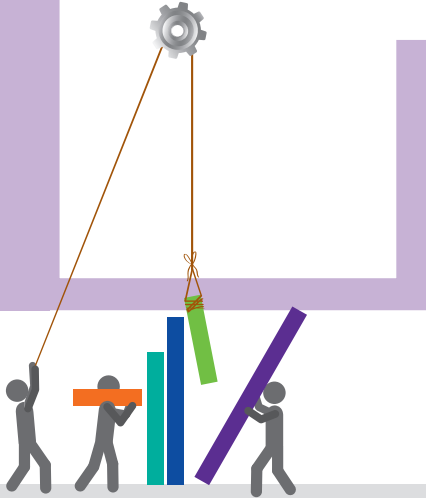


교량의 생애주기비용 절감을 위한 예방적 유지관리

Preventive Maintenances for Reduction of Bridge Life Cycle Costs



SCIENTIFIC ARTICLE

현재까지의 교량 유지관리는 주로 사용성 및 안전성에 초점을 맞추어 손상을 파악하여 보수·보강을 시행하는 대응적 유지관리(Reactive Maintenance, RM)였다. 대응적 유지관리의 문제점은 노후화가 진행됨에 따라 증가하는 보수·보강물량과 비용을 감당하기 힘든 단점이 있다. 미국의 경우 교량의 노후화 대비에 실패하여 매년 12.8조원이라는 천문학적인 예산을 쏟아 붓고 있으나, 이러한 비용도 필요한 유지관리 예산의 절반 수준이라는 것은 국내 교량 관리 주체가 눈여겨 보아야 하는 대목이다¹.

현재 국내 관리교량수가 매년 증가하여 30,000여개에 이르고 있다. 특히 압축적인 경제성장으로 인해 1985년부터 2005년 사이에 건설된 교량은 전체 교량의 63%(약 19,000 개소)를 차지하고 있으며 이들 교량의 급속한 노후화가 예상된다². 특히, 보수·보강 물량이 급증하게 되는 30년 이상의 노후 교량은 현재(2015년) 8%(약 2,500개소)지만 10년 후 30%(약 9,100개소), 20년 후 72% (약 21,000개소)로 급증할 것으로 예측되고 있다(Fig. 1).

노후교량의 수가 급격히 증가하게 되면 기존의 유지관리 전략만으로는 대처가 불가능하며 급격하게 노후화가 되기 시작할 경우 미국과 같이 사회적, 경제적으로 많은 문제를 야기 할 수 있다. 따라서 공용 초기부터 체계적인 유지관리를 통하여 교량의 수명을 연장하고 교량의 생애주기비용을 최소화하기 위한 전략이 필요하다. 그 중에서 예방적 유지관리(Preventive Maintenance, PM)를 하나의 대안으로 제안할 수 있다⁴. 예방적 유지관리는 열화를 지연 시킬 목적으로 수행되는 유지관리 활동으로 반복적이며 계획된 유지관리 활동이 일반적이다. 즉, 예방적 유지관리는 방향이 설정되면 전문적인 지식이나 전문가 도움 없이 쉽게 시행할 수 있는 유지관리 활동이다. 본 학술기사에서는 이러한 예방적 유지관리 효과를 생애주기비용(Life Cycle Cost, LCC) 측면에서 분석하고자 한다. 이를 위해 현 수준의 유지관리 전략(RM)과 새로운 유지관리 전략(RM+PM)의 비용분석을 실시하였다. 분석을 위해 2004년부터 2013년 동안의 고속도로 교량의 점검기록을 활용하여 교량



정유석 Jeong, Yoseok
충남대학교, 건설방재 연구소
박사후 연구원
yosoksi@gmail.com



김우석 Kim, WooSeok
충남대학교,
토목공학과 부교수
wooseok@cnu.ac.kr



이일근 Lee, Ilkeun
도로교통연구원,
구조물연구실 책임연구원
lik@ex.co.kr



이재하 Hwang, Kyung-Ju
한국해양대학교,
건설공학과 조교수
leonlee397@gmail.com

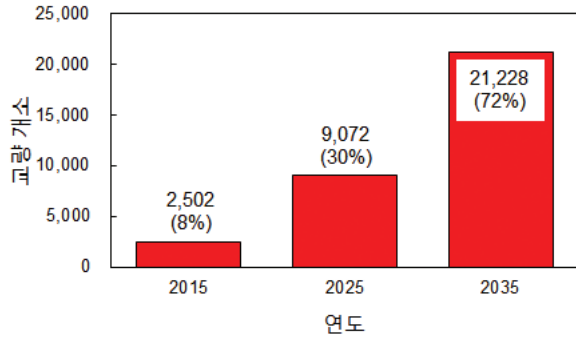


Fig. 1 공용연수 30년 이상 교량 증가 추세 [3]

의 공용연수에 따른 상태등급(건전도 점수) 관계식[2]과 비용분석을 위해서 외국 자료[4]를 활용하여 교량 상태에 따른 교량의 평균 보수·보강비용 관계를 설정하였다. 제안된 복수의 관계식을 활용하여 100년간 교량의 생애주기비용을 산정하였다.

2. 교량의 생애주기비용 모델

2.1 교량의 생애주기비용 시나리오

예방적 유지관리PM의 효과 분석을 위해서는 생애주기비용 시나리오를 구성해야 한다. 일반적으로 교량의 LCC는 식 (1)과 같이 구성된다. 하지만 본고에서는 고속도로 교량의 바닥판면적을 기준으로 표준교량(1,730 m²/교량)을 가정하여 표준교량 당 예방적 유지관리 비용 효과를 분석 하는 것으로 표준교량의 건설비용과 개축비용은 교량 당 일정한 것으로 가정하였다. 물가상승률은 본 계산에서 고려하지 않았다. 또한 개축비용을 고려하였을 경우 비교 시점에 따라 개축비용으로 인해 생애주기비용이 급격히 달라진다. 따라서 LCC산정에서는 초기공사비용IC과 개축비용RC는 고려하지 않았다.

$$LCC = \text{초기공사비용} \text{Initial Construction Cost, IC} + \text{유지관리 비용} \text{Maintenance Cost, MC} + \text{개축비용} \text{Replacement Cost, RC} \quad (1)$$

예방적 유지관리 효과 분석을 위해 다음 두 가지의 생애주기비용 시나리오를 제안하였다.

$$LCC_{70}^T = \sum_{t=1}^T MC_{70}(t) \quad (2)$$

$$LCC_{100}^T = \sum_{t=1}^T MC_{100}(t) \quad (3)$$

여기서, LCC_x^T 는 사용수명 x 년 교량의 시점까지 생애주기비용, $MC_{70}(t)$ 은 사용수명 70년을 위한 시간 t 에서의 연간유지관리비용, $MC_{100}(t)$ 은 사용수명 100년을 위한 시간 t 에서의 연간유지관리비용이다. 현재의 유지관리 전략은 대응적 유지관리^{RM}만을 시행 하므로 $MC_{70}(t)$ 는 교량의 상태등급에 따른 보수·보강 비용만을 산정 하였으며 $MC_{100}(t)$ 은 사용수명 100년을 위한 유지관리 비용으로 대응적 유지관리^{RM}뿐만 아니라 예방적 유지관리^{PM}를 포함하여 유지관리 비용을 산정 한 것이다. 여기서 70년은 2004년부터 2013년 동안의 고속도로 교량의 점검기록을 회귀분석하여 예측한 사용수명이다².

가정 1. 현재의 유지관리 전략인 대응적 유지관리^{RM}만을 실시하였을 경우, 교량의 사용수명은 70.8년이며 공용연수에 따른 표준교량의 건전도 점수는 Fig. 2의 실선 곡선을 따른다².

가정 2. 대응적 유지관리^{RM}와 예방적 유지관리^{PM}를 모두 실시하였을 경우, 교량의 사용수명은 100년으로 가정하였다(Fig. 2의 점선). 이와 같은 수치는 예방적 유지관리 실시 시 교량 사용수명은 30년 증가 하고 비용

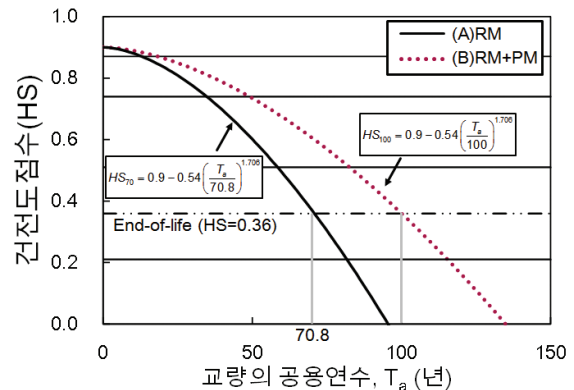
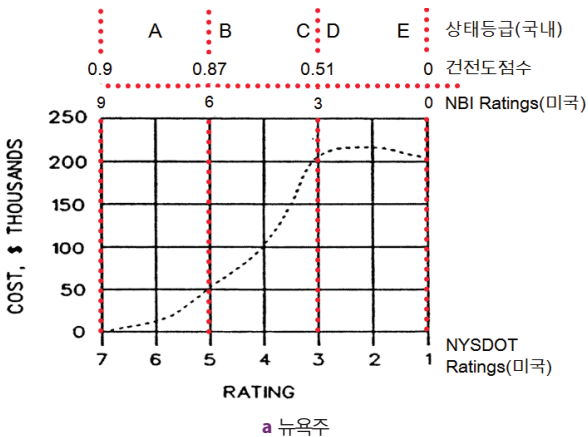


Fig. 2 건전도점수 곡선 (A)RM:대응적 유지관리만 고려(점선), (B)RM+PM:대응적 유지관리 및 예방적 유지관리 모두 고려(점선)

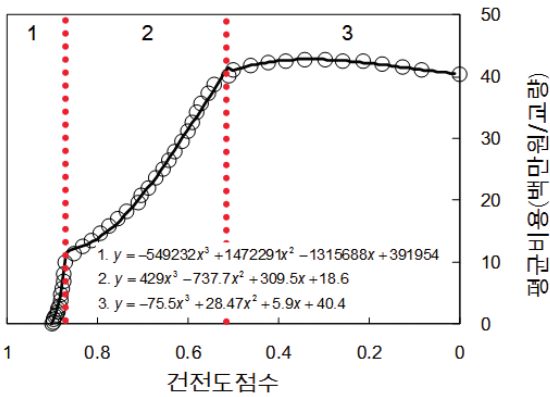
은 37% 감소한다는 미네소타 주의 보고서를 참고하여 결정하였다⁵.

2.2 교량의 생애주기비용분석 모델

교량의 상태등급에 따른 보수·보강 비용관계는 아직 국내에서는 정립되어 있지 못한 관계로 미국의 FHWA 자료를 활용 하였다⁴. FHWA자료(Fig. 3(a))는 교량의 상태등급에 따른 교량의 평균 보수·보강비용을 나타내고 있다. FHWA의 교량 상태등급에 따른 보수·보강 비용 그래프를 활용하여 현재 국내 고속도로 교량의 평균 상태등급(HS=0.87)과 최근 3년간 교량 당 투입된 평균 보수·보강 비용(7,924,600원/교량)을 기준으로 FHWA그래프를 등가적으로 국내 고속도로 교량 상태등급에 따른 보수·보강비용으로 변환하였다(Fig. 3(b)). Fig. 3(b)의 비용곡선은 예방적 유지관리 비용이 포함되어 있지 않은 보수·보강 비용 곡선이다.



a 뉴욕주



b 국내 고속도로

Fig. 3 교량의 상태등급에 따른 평균 보수·보강 비용

항목	주기(년)	단위	단가(원)	
청소	바닥판	1*	bridge	500,000*
	교대/교각			
	배수구			
도장	부분도장	3**	m ²	36,570***
	전체도장	20**	m ²	10,780***
	표면보호제	10**	m ²	42,629***

*미네소타교통국⁵
**도로교통연구원 연구보고서⁸
***공정단가표⁹

Table 1 교량의 생애주기비용 산정 시 사용된 예방적유지관리 항목 5, 8~9

본 분석에서는 예방적 유지관리의 효과를 분석 하는 것이 목적이므로 보수·보강 비용 곡선과 함께 적용될 예방적 유지관리 항목, 주기, 비용 결정이 필요하다. 현재 국내 고속도로 교량에는 예방적 유지관리 항목이 구체적으로 명시되어 있지 않아 외국에서 시행되고 있는 유지관리 항목^{5~6} 및 한국시설안전공단⁷에서 제안한 예방적 유지관리 항목을 참고하였다(Table 1).

3. 교량의 생애주기비용 산정 및 결론

현재의 교량 유지관리인 대응적 유지관리^{RM}만을 시행하였을 경우, 70.8년에서 수명종료를 맞이하므로 이때 교량의 개축이 필요하다. 하지만 교량의 개축은 많은 사회적 비용을 필요로 하므로 다양한 경제·사회적 의사 결정 단계를 거치게 된다. 실제 교량이 수명종료

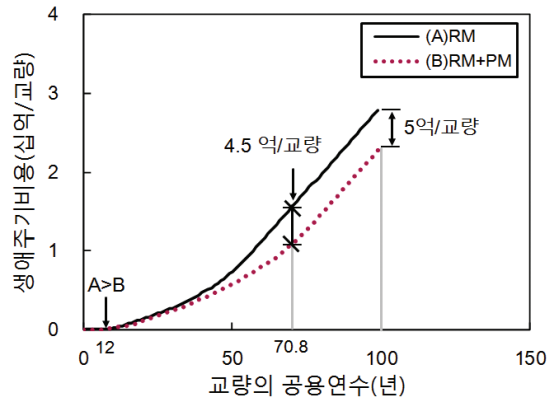


Fig. 4 교량당 생애주기비용 산정

에 도달하였다 하더라도 개축이 이루어지지 않고 보수·보강만 이루어지는 경우도 있을 것이다. 따라서 이번 분석에서는 순수하게 유지관리 비용 측면만을 고려하여 교량의 개축 없이 100년 동안의 생애주기비용을 분석하였다.

Fig. 4의 결과와 같이 예방적 유지관리를 포함한 예산^{RM+PM}을 투입 시, 운용초기에는 예방적 유지관리로 인해 현재의 유지관리 전략^{RM}에 비해 더 많은 유지관리 비용이 필요 하지만 일정 시간이 지난 시점(공용연수 12년)부터는 비용이 작음을 알 수 있다. 구체적으로 교량의 공용연수 70.8년이 지난 시점에서 LCC는 대응적 유지관리예산^{RM} 투입 시 교량 당 15.9억원 그리고 예방적 유지관리 포함 예산^{RM+PM}투입 시 교량 당 11.2억원으로 산정이 되었다. 70.8년간 교량 당 4.5억원 정도의 금액이 절약되는 것으로 예측되었다. 현재 도로공사가 관리하는 고속도로 교량 총 8,425 개소를 고려 할 경우 현재의 연간 유지관리 비용과 비슷한 연간 594억의 예산이 절약 될 것으로 예측 된다. 100년간의 비용 효과 고려

시 대응적 유지관리 예산^{RM}만 투입된 경우는 더욱 큰 격차를 보여준다. ■

● 참고문헌 references ●

- 1 ASCE (2013), 2013 Report Card for America's Infrastructure, American Society of Civil Engineers, U.S.
- 2 정유석, 김우석, 이일근, 이재하, 김진광, (2016), 교량의 유지관리를 위한 사용수명 정의, 종료 기준, 추정, 한국구조물진단유지관리공학회, 20(4), 68-76
- 3 통계청 (2015), 국내 교량 및 터널 현황
- 4 박병철, 박창호, 김재형, 신재인 (2006), 고속도로 교량의 예방적 유지관리, 한국구조물진단학회, 10(3), 3-13
- 5 MnDOT (2014), Transportation Asset Management Plan(Draft), Minnesota Department of Transportation, U.S.
- 6 Weykamp, P., Kimball, T., Hearn, G., Johnson, B. V., Ramsey, K. (2009), Best Practices In Bridge Management Decision-Making, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, U.S.
- 7 시설안전관리공단, (2014) 교량 유지관리매뉴얼.
- 8 한국도로교통연구원 (2015), 고속도로 교량 중장기 유지관리 비용 예측 모델 개발(연구보고서)
- 9 한국도로공사 (2015), 공정단가표