

교량전산관리시스템 및 의사결정 Bridge Management System and Decision-Making

1. 교량관리시스템의 국내외 현황

1.1 한국의 교량관리시스템 현황

국내 교량관리시스템(BMS) 개발은 최초 1989년 한국도로공사, 1990년 건설교통부(현 국토해양부)가 시도하였으나 컴퓨터 보급 및 숙련자 부족 등의 이유로 실무에 활용하지 못하였다. 그러나 교량유지관리에 정보화시스템의 도입이 필요하다는 전반적인 인식과 함께 체계적인 교량관리의 필요성이 대두되어 1995년 건설교통부에서는 국도상 교량을 대상으로 BMS를 개발하게 되었다. 이후 운영주체의 변경 등을 겪으며 현재는 국토관리사무소 업무전산화 체계인 CALS 내에 시설물유지관리시스템에 주기능이 구현되어 있다. 기타 고속도로를 대상으로 한 교량관리시스템을 구축하고 있다. 또한 시트법의 관리대상인 1,2종 교량에 대해서는 한국시설안전기술공단에서 관리하고 있는 시설물정보통합관리시스템(FMS)에 의해서도 점검 및 진단 정보가 관리되고 있다. 표 1은 교량 유지관리 주체별 시스템 보유현황을 나타낸 것이다.

표 1 교량 유지관리 주체별 시스템 보유현황

| 도로종류 | 유지관리주체 | 관련시스템 | 개발년도 | 용도 |
|-------|----------------|--------------------|------|---------------------------|
| 일반국도 | 국토관리사무소 | CALS | 2003 | 국도내 교량, 터널, 통로 박스 등 시설물관리 |
| | | 시설물유지관리시스템 | | |
| 고속국도 | 한국도로공사 | 도로관리통합시스템(HMS) | 2002 | 도로관련 시스템의 자료취합, 제공 |
| | | HBMS | 2004 | 고속도로내 교량관리 |
| 지방도 | 지방자치단체사업소 | - | - | - |
| 시도 | 지방자치단체사업소 | 도로시설물관리 시스템(서울시) | 1998 | 교량, 터널, 지하차도, 고가교 등 관리 |
| 모든 도로 | 국토해양부 기술안전과 | 시설물정보통합 관리시스템(FMS) | 2002 | 시트법대상 시설물 정보관리 |

1.2 국외 교량관리시스템 현황

교량은 사회기반시설물, 도로, 교량으로 연계되는 계층구조의 최하단을 차지하는 시설물이지만, 도로의 연결고리로서 구조적 안전의 중요성과 파손에 따른 경제적 파급효과가 크기 때문에, 국내외에서는 교량의 효율적인 유지관리를 위해 교량관리시스



공 정 식

고려대학교 건축사회환경공학과 교수



이 원 우

고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정



이 진 혁

고려대학교 건축사회환경공학과 석박통합과정

템을 개발해 사용하고 있다. 많이 알려진 미국의 교량관리시스템 이외에는 세계 각국의 교량관리 현황을 분석하는 것은 자료의 부족, 정보의 폐쇄성 등으로 인해 쉽지 않은 작업이다. 따라서 최근의 세계 각국의 교량관리 동향에 대해서 분석하기 위하여 기존의 대표적인 현황분석사례(BRIME 2001, FHWA 2005, Adey *et al.* 2012)를 활용하고자 한다. 최근의 세계적인 교량관리 변화 경향을 파악하여 국내 교량관리체계 수립을 위한 방향 설정에 참고하였다.

1.2.1 유럽·미국의 유지관리

유럽 대부분의 나라들은 각국의 실정에 맞는 구조물 관리 체계와 가이드라인을 구축하고 있다. 이러한 가이드라인 및 방법론에 근거하여 유럽의 각국에서는 교량 구조물의 유지관리를 위한 다양한 관리시스템을 구축하고 있다. 즉, 유럽은 주체별로 특성이 다른 관리시스템의 수준과 기능을 파악하고자 BRIME(2011)프로젝트를 수행하였다. BRIME에서는 기존의 BMS를 검토하고 통합적인 BMS를 제안하고 있으며, 그림 1과 같이 교량의 성능과 비용을 고려한 의사결정 관리수준을 3단계로 구분하고 있다. 단순한 상태점검 결과에 따른 우선순위 판정을 수준 1이라고 하면, 안전지수와 잔존수명 등을 고려한 우선순위 판단을 수준 2로 보고있다. 최종적으로 비용/편익 비를 고려한 교량의 서비스수준 및 예산, 정책, 자연재해 등 자산관리개념이 고려된 교량군수준의 최적화를 통한 유지관리를 최고수준으로 구분하였다. 미국을 비롯해 유럽의 영국이나, 덴

마크, 핀란드 등이 수준 3의 시스템 구축을 위한 다양한 연구 개발을 진행 중에 있다. 미국의 경우도 유럽과 마찬가지로 각 주(캘리포니아, 텍사스 등)의 실정에 맞는 구조물 관리 체계와 가이드라인을 구축하고 있으며, 이러한 가이드라인 및 방법론에 근거하여 미국 각 주에서도 교량 구조물의 유지관리를 위한 다양한 관리시스템을 구축하고 있다.

1.2.2 IABMAS의 연구사례

최근 세계적으로 교량 관리주체들의 교량관리시스템 활용이 증가하고 있는 추세지만 대부분 해당 관리주체가 사용하고 있는 시스템의 기능을 최신 정보에 근거해서 타 시스템과 비교하여 판단하지 못하고 있는 실정이다. 그러나 이러한 정보가 공유된다면 해당 시스템의 향후 개선 또는 개발 방향을 결정하는데 도움을 얻을 수 있을 것이다. 이러한 의도로 IABMAS (International Association for Bridge Maintenance and Safety)의 교량관리위원회(Bridge Management Committee; BMC)는 IABMAS 학술대회와 연계하여 현재 활용되고 있는 세계 각국의 교량관리시스템의 현황을 분석한 보고서를 간행하였으며, 2014년 개정된 보고서를 발간하였다. IABMAS는 교량의 유지관리와 안전에 관한 국제규모의 학술단체로서 2년에 한 번씩 학술대회를 개최하고 있다. 세계 각국의 교량의 관리 및 안전과 관련된 전문가들이 활발하게 활동하고 있으며, 교량의 유지관리 요구의 증가와 함께 지속적으로 규모가 확대되고 있다. BMS 보고서는 약 1,000,000개의 목적물을 관리하는데 사용되

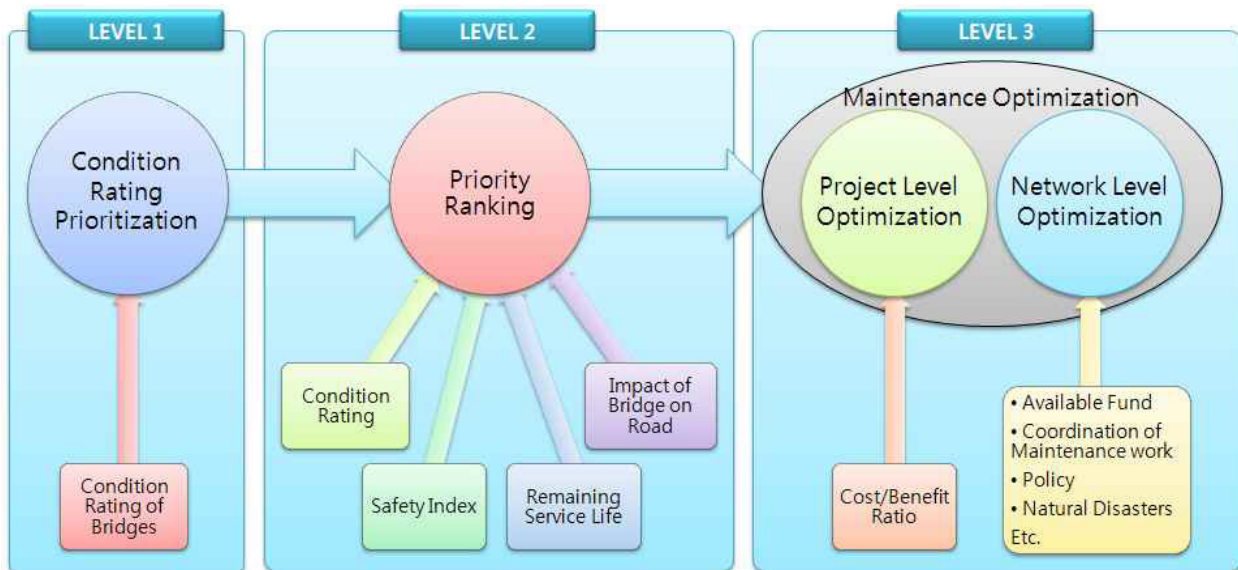


그림 1 의사결정 수준에 따른 교량관리 수준의 구분

고 있는 25개 교량관리시스템(18개국)에 대하여 각 국가의 담당자에 대한 설문조사를 토대로 작성된 것으로, 각 교량관리시스템의 일반적인 개요를 제시하고 있으며, 시스템 내에서 사용되는 특정 절차에 대한 세부내용을 상세히 다루고 있지 않다. BMS는 교량관리시스템에 새로운 기능을 부여할 때 이중의 노력을 줄이고 보다 발전된 시스템의 개발을 장려함으로써 교량관리체계를 개선시킬 것으로 기대하고 있다.

2. 생애주기를 고려한 교량통합관리시스템 개발

2012년 한국건설기술연구원에서는 ‘생애주기를 고려한 교량통합관리시스템 구축 연구’를 통하여 기존 BMS를 보완하고 교량의 생애주기 성능변화와 유지관리비용을 고려하여 최적의 유지관리 의사결정을 지원할 수 있는 새로운 교량관리 체계의 구축 및 시스템 개발을 수행하였다. 이 연구에서는 생애주기 동안의 교량의 성능 및 비용모형을 개발하고 교량유지관리의 사결정 알고리즘을 구축하였다.

2.1 생애주기를 고려한 성능 모델

국내의 경우 건설사업 분야에서 공공건설사업의 효율성을 제고하기 위한 방안의 하나로 건설교통부는 대통령령에 따라

“건설기술관리법시행령”을 개정하여 공공사업수행 절차와 기준을 법제화하였으며, 이후 시행령 38조 13의 “설계의 경제성 등 검토” 실시를 의무화하는 시행지침을 작성하여 시행하고 있다. 이에 따라 생애주기비용(LCC)을 고려하는 설계가 도입이 되었으며 생애주기비용 산정을 위한 성능모델에 대한 연구도 병행하여 이루어지고 있다. 시설안전기술공단(2000)에서는 다양한 교량의 열화모델 및 전문가의견과 자료 분석을 통한 교량의 상태등급곡선을 제안하고 있다. 그러나 최근까지 국내에서 교량의 성능모델에 관련된 심도있는 선행 연구는 찾아보기 힘든 실정이고 전문가의견이 지배적이며 상태등급곡선의 Case가 재료적인 구분인 콘크리트와 강재를 기준으로 하고 있어 실제 교량에 적용하는데 한계점이 있다. 이에 따라 2012년 ‘생애주기를 고려한 교량통합관리시스템 구축 연구’에서는 국도교량의 상태이력데이터를 바탕으로 성능변화모델을 개발 구축하였다.

이 연구에서는 교량의 현 상태와 성능을 정확히 평가하기 위하여 대상 교량별 주요 부재에 대해 상태/성능 변화이력(Life-Cycle condition/performance Profile : LCP) 모델을 개발하였다. 그림 2와 그림 3은 교량생애주기 상태예측 모델 및 안전성능 모델 개발 절차를 보여준다. 위의 절차를 거쳐 개발된 모델을 이용해 전체 분석 대상 교량에 대한 상태 및 안전성능 예측 모델 개발 및 열화모델을 구성하는 계수를 분석하고 이를 데이터베이스 상에 적용시킴으로써 교량관리시스템을 구축한다.

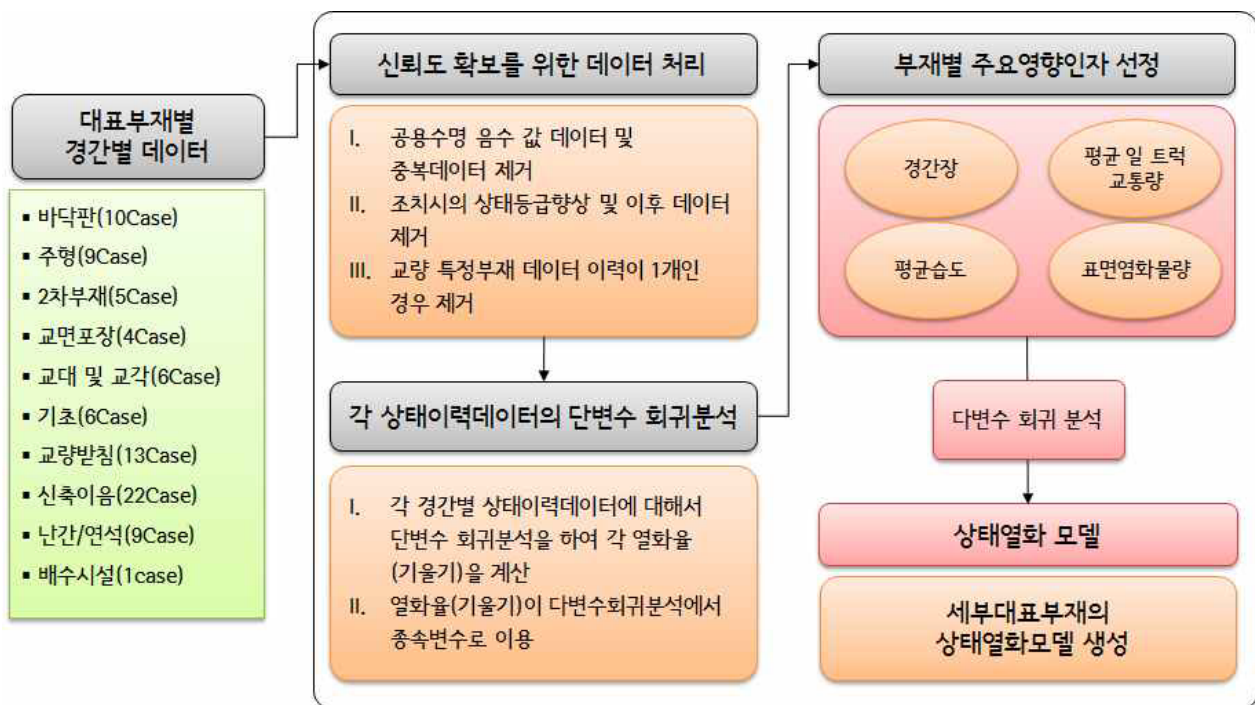


그림 2 상태 모델예측 개발 절차

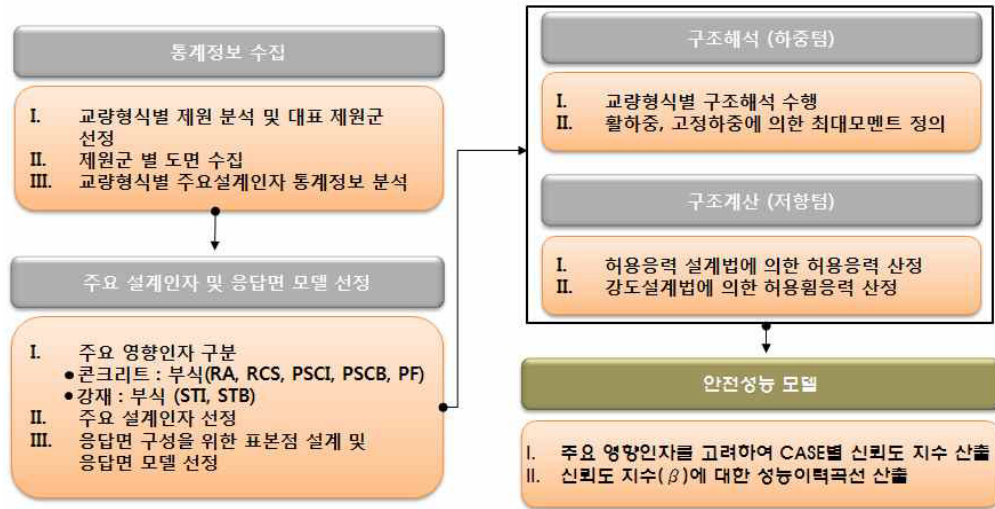


그림 3 성능 모델 개발 절차

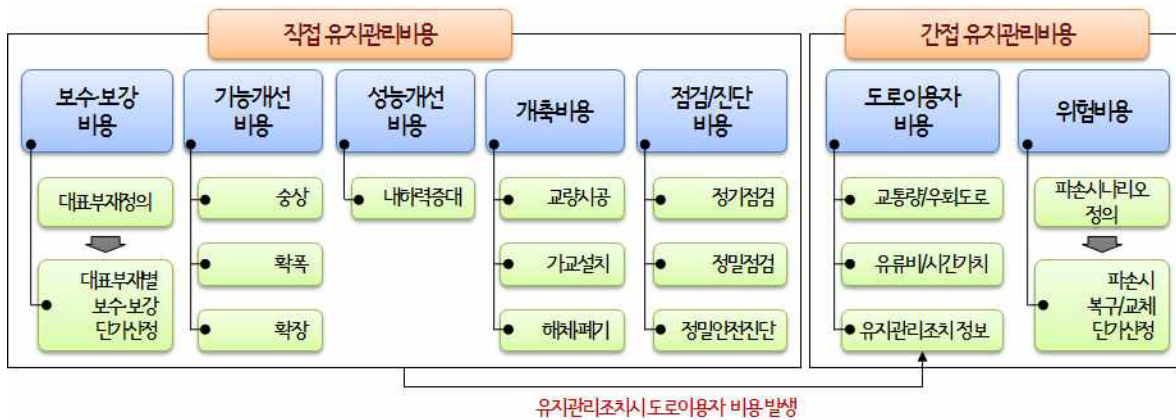


그림 4 교량 유지관리비용 항목

2.2 교량 생애주기비용 모델

교량의 생애주기동안 발생하는 생애주기비용을 산정하는 것은 교량관리시스템 구현을 위한 주요한 기능중의 하나이다. 생애주기비용 산정을 위해 일반적인 보수·보강부터 노후교량에 대한 개축, 내하력 증진을 위한 성능개선 등 유지관리조치별 비용을 추정하여야 한다.

교량 생애주기를 고려한 교량통합관리 시스템에서 공용 중 교량의 유지관리 계획 수립을 위하여 생애주기 동안의 유지관리비용을 예측하고 이에 따른 계획을 수립하기 위한 비용분석을 실시해야 한다. 비용분석을 수행하기 위해서는 유지관리비용 산정 시 고려되는 비용항목을 정의하여야 하고 각 항목별 비용 DB를 축적하고 관리하여야 한다. 그림 4는 유지관리비용 산정 시 고려되는 항목과 그 세부항목을 나타내고 있다.

2.3 교량유지관리 의사결정 알고리즘

교량의 성능 및 비용 모델이 개발되면 생애주기를 고려한 최적의 교량통합관리시스템 운영 방안을 고려할 수 있다. 교량통합관리시스템을 개발함으로써, 교량의 유지관리 업무 수행 시 교량의 기본적인 자원 정보와 성능에 대한 변화이력, 예산 대비 유지보수에 사용된 예산집행실적 등을 이용하여 교량통계 자료를 축적하여 최적의 유지관리 시나리오를 수립하는데 활용되고, 교량의 생애주기를 고려한 보수보강 시기를 예측하여 교량에 대한 예산배정 및 유지관리 업무의 의사결정에 중요한 참고자료로서의 역할을 수행할 것이다. 그림 5는 생애주기를 고려한 교량유지관리 의사결정 방안을 나타낸다.



그림 5 생애주기를 고려한 최적의 교량통합관리시스템

3. 국내 교량관리시스템

국토해양부에서는 교량을 과학적인 방법으로 유지관리하기 위하여 '96년부터 교량관리시스템(Bridge Management System ; BMS)을 구축하여 사업대상교량 선정, 현황조사 발간 등에 활용하고 있다. BMS의 기본기능인 인벤토리(inventory) 관리기능은 '03년에 도로관리통합시스템(Highway Management System ; HMS)에 통합되어 운영되었고, '05년부터는 건설 CALS(Continuous Acquisition & Life-cycle Support)의 시설물유지관리시스템으로 대부분의 기능이 흡수되어 운영 중이다. 현재 CALS 내 BMS의 실제적인 기능은 시설물유지관리시스템을 통해 입력되는 교량 기본자료, 점검 및 보수보강 현황자료를 축적하고, HMS를 통해 기본적인 현황자료를 자동 연계하여 조회하도록 하는 역할에 그치고 있다.

현재 국내의 BMS는 개발이후 일반적인 유지보수, 운영체계 변경 등만이 수행되어 왔으며 기본적인 기능은 크게 변화, 발전되지 않아 그 활용도 및 성능이 매우 제한적인 상태이다. 또한 '03년 타 시스템으로 통합된 이후 교량 전문가의 지속적인 참여가 이루어지지 않아, 축적된 데이터의 신뢰도 검증 및 활용을 위한 대안이 제시되지 못하였고 시스템의 기능 개선 및 추가가 이루어지지 않았다. 따라서 BMS 구축의 기본적이고 궁극적인 목적인 유지관리 의사결정을 위한 축적된 정보의 활용, 유용한 정보의 생성 및 제공은 이루어지고 있지 않다고 할 수 있다.

한국의 공용 중인 모든 교량은 그림 6과 같은 교량유지관리

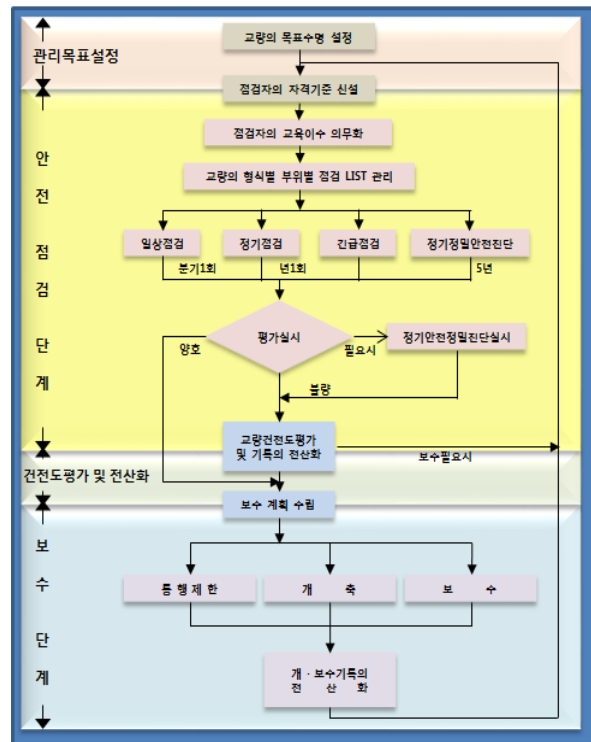


그림 6 한국의 교량유지관리 체계

시스템(BMS)의 의해 안전관리위주로 유지관리되고 있으며, 안전과 내구성이 함께 관리되고 있다.

향후, 한국의 교량관리체계는 기존의 임기응변식의 사후적 조치 관리시스템을 탈피하고, 개축, 개량, 보수·보강 등의 여부를 판단할 때, 생애주기분석 수행을 통한 경제적인 안전 및 유지관리가 필요할 것으로 판단된다. 교량의 안전 및 성능을 일정한 수준으로 확보하는 동시에 예방적 유지관리를 통해 장래 유지관리 비용의 합리적인 추정과 절감이 가능할 수 있도록 기존의 BMS를 전면 보완하여 새로운 교량 최적 유지관리체계의 개발이 필요하다. 또한 교량 생애주기 성능 및 비용 데이터의 확보를 통해 보다 합리적이고 객관적인 장래 유지관리 수요예측 및 의사결정 지원 기능 등 BMS의 기능향상이 필요할 것으로 전망된다.

4. 감사의 글

본 기획특집기사는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설기술A01)과 한국연구재단 중견연구자지원사업(2012R1A2A2A01047178)의 도움으로 수행되어 이에 감사드립니다. [R]

[섭외: 심성한 편집위원]