

부식을 고려한 판형교의 LCC 분석 데이터구조 설계

Data Structure Modeling for the LCC Analysis of the Plate Girder Bridge Considering Corrosion

김동현* · 김봉근** · 이상호***

Kim, Dong-Hyun · Kim, Bong-Geun · Lee, Sang-Ho

Abstract

Data structure was designed not only to estimate LCC but also to analyze time-variant reliability index of plate girder bridges. Information model for data structure was categorized into cost information, cost variable information, user cost information, and reliability analysis information according to the characteristic of data. EXPRESS language of STEP was adopted to describe the data structure for the electronic representation of LCC information. The suitability of the developed data structure was verified by estimating LCC and analyzing time-variant reliability index of a plate girder bridge considering corrosion on the basis of the constructed test database.

key words : Data structure, LCC, Reliability index, STEP, Corrosion, Plate girder bridge

1. 서론

교량붕괴의 주요인은 부식, 피로, 부적절한 설계, 바람, 토사의 침식, 지진, 홍수, 화재 등이며(Harik 등, 1990), 이러한 요인들로 인해 발생하는 교량붕괴는 정기적인 안전점검 및 유지관리를 통해 충분히 예방될 수 있다. 그래서 노후화되는 교량을 체계적이고 효율적으로 관리할 수 있는 방안으로 교량유지관리시스템(Bridge Management System; BMS)을 구축해오고 있으며, 설계단계 및 유지관리단계에서 투자비용의 효율성을 극대화하기 위해 생애주기비용(Life-Cycle Cost; LCC) 분석을 BMS 내에서 구현하기 위한 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 교량붕괴를 예방하기 위해 적정유지관리수준을 제시하고 네트워크 레벨에서 최적의 유지관리 대안을 결정하는데 이용될 수 있도록 판형교를 대상으로 프로젝트 레벨에서의 LCC 산정이 가능한 데이터구조를 설계하였다. 또한, 강재의 주 열화요인인 부식을 고려하여 시간에 따른 주부재의 신뢰도지수를 분석함으로써 교량별 주요부재에 대한 유지관리전략이 수립될 수 있도록 시간이력 구조신뢰성 해석이 가능한 데이터구조를 설계하였다. 데이터구조를 설계함에 있어서는 국제표준화기구(ISO)에서 제정한 제품정보의 데이터 교환에 관한 표준인 STEP(STandard for the Exchange of Product model data)을 데이터베이스 구조의 정의 수단으로 사용하여 국제적으로 통용될 수 있는 표준화된 데이터구조를 제공하였다.

2. 판형교의 LCC 분석을 위한 데이터구조 설계

판형교의 LCC 분석을 위한 데이터구조를 설계하기 위하여 LCC 분석에 필요한 데이터를 분석하고 데이터의 특성에 따라 분류하였다. LCC 분석을 데이터베이스에서 구현하는 방법론이 제시되고 있지만, 연구자들마다 주관적인 견해에 근거하여 데이터베이스 체계를 제시하고 있기 때문에 다른 시스템들과의 호환성이 떨어

* 학생회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목 · 환경공학전공 · 석사과정 · E-mail: kdh@csem.yonsei.ac.kr

** 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목 · 환경공학전공 · 박사과정

*** 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 토목 · 환경공학전공 · 정교수

진다. 따라서 본 연구에서는 국제표준화기구에서 추진하고 있는 제품정보의 데이터 교환에 관한 표준인 STEP이 제안하는 EXPRESS 언어를 사용하여 LCC 분석을 위한 데이터구조를 설계하였다.

2.1 데이터구조 설계를 위한 접근방법

LCC 산정과 신뢰도지수를 분석하는데 있어서 필요한 정보와 프로세스 분석에 의해 산출되는 정보요구사항을 추출하여 정보모델요소를 구성하고, 구성된 정보모델요소를 STEP 방법론에서 제시하는 서술방법에 의거해 정보들을 엔티티(entity)간의 관계설정을 통해 EXPRESS 언어로 표현하였다. EXPRESS 언어로 정의된 데이터 스키마는 ST-Developer를 통해 컴파일되고, 프로그래밍 라이브러리 파일로 변환되어 응용프로그램 개발에 사용된다. 그리고 ST-Oracle을 이용하여 데이터베이스에 정의된 데이터 스키마에 따라 테이블을 생성하게 된다. ISO/STEP의 방법론을 적용하여 데이터구조를 설계하게 되면, 동일한 방법론을 따라 개발된 기존의 정보모델과의 연계가 가능하고, 국제적으로 통용될 수 있는 데이터구조를 제공할 수 있다는 장점이 있다. 이상호와 정연석(2004)은 ISO/STEP의 방법론을 적용하여 강교량을 대상으로 구조물의 3차원 형상정보, 해석정보 및 설계정보를 전자적으로 표현할 수 있는 정보모델을 개발하였으며, 이상호 등(2006)과 Lee 등(2006)은 XML 기반의 엔지니어링 문서정보모델을 개발한 STEP 기반의 교량정보모델과 연계하여 통합정보모델을 구성한바있다. 본 연구에서는 정연석(2006)이 개발한 STEP기반의 강교량 정보모델과 연계하여 LCC 분석 데이터구조를 설계하였다.

2.2 LCC 분석을 위한 정보모델의 개발

데이터구조 설계는 데이터들의 사용성이 고려되어야 한다. 예를 들어, 시간에 관계없는 시간불변변수들과 시간에 따라 변하는 시간이력변수들을 구분하여 데이터베이스에 저장한다면, 시간이력변수들만을 관리하면 되기 때문에 훨씬 효율적일 수 있는 것이다. 그래서 LCC 분석에 필요한 데이터들을 사용성에 따라 분류하여 비용정보, 비용변수정보, 사용자비용정보, 신뢰성해석정보의 4개의 정보모델요소를 정의하였으며, 각 정보모델의 프레임은 그림 1부터 그림 4에 나타낸 바와 같이 EXPRESS-G 표기법에 따라 제시하였다.

비용정보모델(cost information model)은 LCC를 산정하는데 필요한 비용과 관련된 정보들을 포함하고 있으며, 그림 1과 같이 초기비용, 점검비용, 복구비용, 해체·폐기비용의 4가지 엔티티(entity)로 구성되어 있다. 그림 2의 비용변수정보모델(cost variable information model)은 LCC 산정에 있어서 비용정보를 제외한 데이터들의 집합이며, 비용항목을 산정하는데 있어서 조건에 의해 변할 수 있는 데이터들로 구성되어 있다. 예를 들어, 생애주기동안의 점검비용을 구하려면 1회 점검비용과 점검주기가 필요하게 되는데, 1회 점검비용은 비용정보에 포함되어 있으며, 점검주기는 비용변수정보에 저장되어 있다. 비용변수정보는 점검주기, 비율, 복구주기, 지역경제손실률, 분석주기, 할인율의 7개 엔티티로 구성되어 있다.

그림 3의 사용자비용정보모델(user cost information model)은 구조물의 파괴로 인한 직접적인 비용이 아닌 파급효과로 나타나는 비용이기 때문에 비용정보로부터 구분하여 구성하였다. 사용자비용 산정모델은 다양

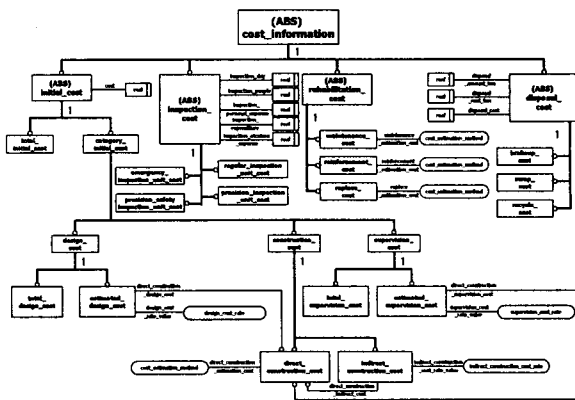


그림 1. 비용정보모델의 EXPRESS-G 다이어그램

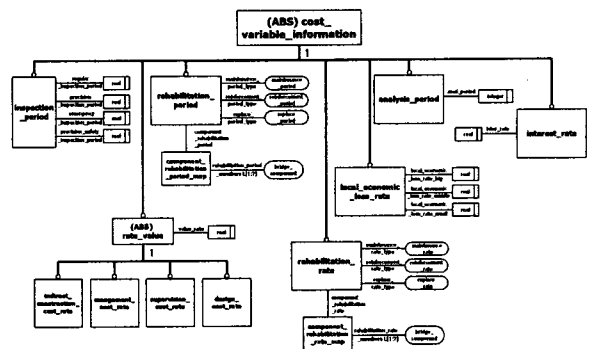


그림 2. 비용변수정보모델의 EXPRESS-G 다이어그램

한 모델이 있으며, 사용자에게 의해 계속적으로 보완될 수 있기 때문에 따로 분류하여 정보모델을 구성하는 것이 훨씬 효율적이다. 본 연구에서는 Ehlen과 Marshall(1996)의 비용 산정방식에 따라 사용자비용을 위한 데이터들을 7개의 엔티티로 나누어 구성하였다. 신뢰성해석정보모델(reliability analysis information model)은 신뢰성해석을 수행하여 시간에 따른 신뢰도지수를 분석하는데 필요한 데이터들의 집합이다. 신뢰성해석정보는 그림 4와 같이 6개의 엔티티로 구분되는데, 각 요소의 최대힘모멘트, 최대전단력 등을 포함하는 구조해석 정보가 있으며, 신뢰도지수를 구하는 데이터들 중에서 시간에 영향을 받는 부식개시시간이나 부식 깊이 등과 같은 시간이력변수, 부식을 매개변수나 부식계수와 같은 시간에 관계없는 시간불변변수, 그리고 실제 환경의 불확실성을 고려하기 위해 한계상태함수에 적용되는 불확실계수 항목 등으로 분류하였다.

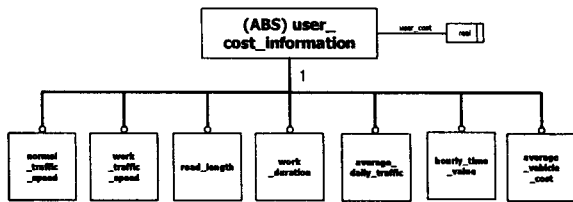


그림 3. 사용자비용정보모델의 EXPRESS-G 다이어그램

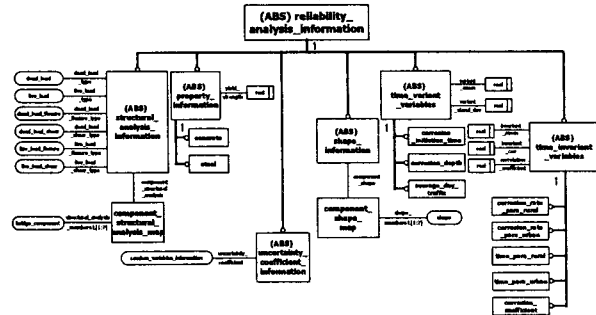


그림 4. 신뢰성해석정보모델의 EXPRESS-G 다이어그램

3. 설계된 데이터구조를 이용한 판형교의 LCC 분석과 신뢰도지수 분석

본 연구에서 개발된 데이터구조의 적합성을 검증하기 위해 판형교를 대상으로 설계된 데이터베이스에 시범 데이터베이스를 구축하여 LCC 분석을 수행하였다. 한국도로공사에서 LCC 분석을 수행했던 교량(한국도로공사, 2002)을 수정하여 예계교량으로 선정하였으며 그림 5와 같다. 구축된 시범 데이터베이스를 기반으로 LCC를 산정하였으며, 주거더의 강도에 대해 시간과 환경에 따른 부식과 활하중의 영향을 고려한 시간이력 구조신뢰성 해석을 수행하여 신뢰도지수를 분석하였다.

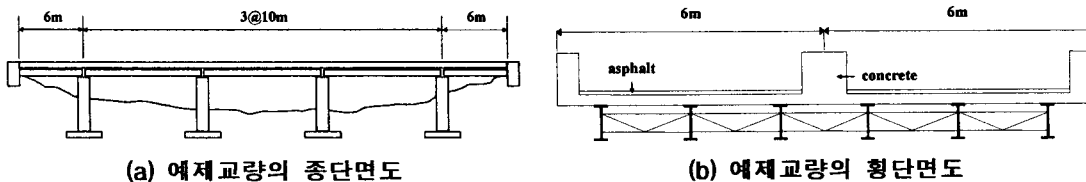


그림 5. 예계교량의 종단면도 및 횡단면도

구축된 시범 데이터베이스를 이용하여 산정된 LCC 결과를 NIST의 비용항목을 기초로 그림 6과 같이 초기비용, 관리비용, 점검비용, 직접복구비용, 간접복구비용, 해체·폐기비용의 6개 항목으로 구분하였다. 예계교량의 LCC는 2,644백만원으로 산정되었으며, 그림에서 보듯이 초기비용이 1,063백만원으로 LCC의 40.20%로 가장 큰 비율을 차지하는 것을 볼 수 있다.

시간에 따른 부식의 영향을 분석하기 위해 부식모델(Albrecht와 Naemi, 1984)과 활하중모델(Nowak, 1993)을 적용하여 그림 4의 데이터구조에 시범 데이터베이스를 구축하였고, 예계교량의 주거더를 대상으로 강도한계상태에 대해 시간에 따른 신뢰도지수의 변화를 분석하였다. 그림 7은 예계교량의 주거더 중에서 하나의 거더에 대한 휨강도와 전단강도의 시간에 따른 신뢰도지수의 변화를 보여주고 있다. 본 연구에서는 목

표신뢰도지수를 3.0(파괴확률=0.00135)으로 설정하였으며, 신뢰도지수가 3.0에 도달하게 되면 해당부재에 대한 복구조치가 이루어져야 하며, 혹은 그 시기가 되기 전에 사전예방유지관리가 이루어져야 한다.

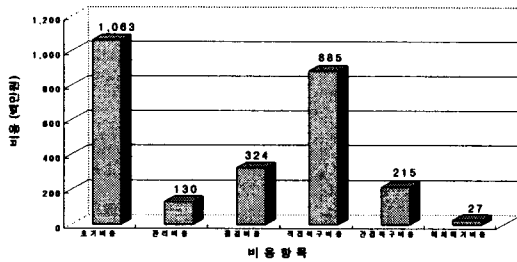


그림 6. LCC의 비용항목별 산정 결과

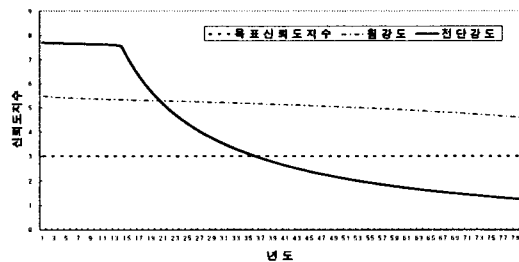


그림 7. 주거더의 신뢰도지수 분석

4. 결 론

본 연구에서는 판형교의 LCC 산정이 가능하고 부식을 고려하여 시간에 따른 주부재의 신뢰도지수를 분석할 수 있는 데이터구조를 설계하였다. 데이터구조 설계 시에는 STEP을 데이터베이스 구조의 정의 수단으로 사용하여 국제적으로 통용될 수 있는 LCC 분석 데이터구조를 제공하였다. 그리고 판형교를 대상으로 구축된 시범 DB를 기반으로 LCC를 산정하였고, 주거더의 강도한계상태에 대해 신뢰도지수를 분석함으로써 개발된 데이터구조의 적합성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 실시한 건설핵심기술연구개발사업(교량설계핵심기술연구단)의 연구비 지원을 받아 연구되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 이상호, 정연석 (2004) 강교량 데이터베이스 구축을 통한 웹기반의 응용모델 개발. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제24권, 제4A호, pp. 721-730.
2. 이상호, 정연석, 김봉근 (2006) 교량 유지관리 지원을 위한 CAD/CAE 정보와 엔지니어링 문서정보의 통합 데이터베이스. 한국CAD/CAM학회논문집, 한국CAD/CAM학회, 제11권, 제3호, pp. 183-196.
3. 정연석 (2006) *System integration framework through development of STEP-based information model for steel bridges*. 박사학위논문, 연세대학교.
4. 한국도로공사 (2002) *고속도로 교량의 구성요소별 생애주기비용(LCC)분석 연구*. 2002년도 연구보고서, 한국도로공사 기술심사실.
5. Albrecht, P. and Naeemi, A.H. (1984) *Performance of weathering steel in bridge*. National Cooperative Highway Research Program, Report 272, Transportation Research Board, Washington, D.C., USA.
6. Ehlen, M.A. and Marshall, H.E. (1996) *The economic of new technology materials: A case study of FRP bridge decking*. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA.
7. Harik, I.E., Shaaban, A.M., Gesund, H., Valli, G.Y.S. and Wang, S. T. (1990) United States bridge failures, 1951-1988. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, Vol. 4, No. 4, pp. 272-277.
8. Lee, S.H., Kim, D.H., Kim, B.G. and Jeong, Y.S. (2006) The Integrated Operation of Bridge Design Database Using the Open Standards. *Proceedings of International Conference on Bridge Engineering-Challenges in the 21st Century*, Hong Kong, CD Rom 1, pp. 208
9. Nowak, A.S. (1993) Live load model for highway bridges. *Structural Safety*, Vol. 13, No. 1-2, pp. 53-66.