Ubiquitous-BIM 기술 기반의 철도교량 유지관리 운영체계 구축 전략 및 타당성 평가

Development Strategies and Feasibility Evaluation of Maintenance Operation System for Railway Bridge Based on Ubiquitous-BIM Technology

문현석 · 김현승 · 강인석*

Hyoun-Seok Moon · Hyeon-Seung Kim · Leen-Seok Kang

Abstract Due to the issues such as omission of data, document based management, maintenance based on measurement data and wire-based network, it is difficult existing maintenance system for railway bridges to act to diverse characteristics of site and environmental changes in real time. With these reasons, there are many constraints in establishing active maintenance strategies for railway bridges. To solve these issues, this study suggests an integrated maintenance business model based on practical utilization and information management based on BIM technology to build a smart maintenance operation system based on ubiquitous computing for railway bridges. To secure its development and practical applications, a quantitative evaluation by questionnaire analysis was performed. Therefore, it is expected that the suggested model will be utilized as a framework model in order to build the smart maintenance operation system from collection of maintenance data to action for railway bridges.

Keywords : Ubiquitous, Railway bridge, Maintenance, U-BMIS, BIM (Building Information Model), IETM

초 록 기존의 철도교량 유지관리체계는 주로 정보누락, 문서위주 관리 및 유선기반의 정보수집 등으로 인하여 다양한 현장의 환경변화에 실시간 대응이 곤란하여 능동적인 철도교량 유지관리 전략 수립에 제약을 갖고 있다. 본 연구에서는 유비쿼터스 기반의 철도교량 유지관리 정보운영체계 구축을 위한 실무 활용모형과 건설 생애 주기의 통합 정보관리체계인 BIM (Building Information Modeling) 개념을 적용하여 유지관리 통합 운용모형을 제안하고 있다. 이의 개발 및 실무적 적용의 타당성 확보를 위해 설문분석에 의한 정량적 평가를 수행하였다. 최근 철도교량의 지능형 유지관리 운영체계가 확대될 것을 고려하면, 본 연구의 제안사항은 운영체계 구축을 위한 통합 프레임워크로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 유비쿼터스, 철도교량, 유지관리, U-교량유지관리정보체계, 건설정보모형, 전자매뉴얼

1. 서 론

철도교량 시설은 노반과는 달리 차량의 고속화와 지속적인 진동에 따라 발생하는 공용수명 감소의 문제점을 적시에 관리할 목적으로 다양한 IT 기반의 계측관리 기술들을 적용한 유지관리시스템을 운용하고 있다. 그러나 기존의 시스템들은 구조물의 장기화 및 환경변화에 따라 유선기반의 계측기에 의한 계측정보의 수집, 문서중심의 유지관리 및 객관적인 유지관리 의사결정 등에 문제점을 갖고 있다. 그러나 최근 철도교량의 지능형 유지관리 운영체계가 확대될 것을 고려하면, 실시간 통합 프레임워크를 갖춘 능동적인 철도교량 유지관리시스템이 필요한 시점이다.

기존 유지관리시스템 관련 연구들은 주로 도로교 중심의

계측센서 개발, 구조해석 차원에서의 계측정보 분석 및 정보체계 구축[1]에 중점을 두고 있다. 특히 유비쿼터스 기술의 건설분야 적용사례는 주로 RFID(Radio Frequency Identification) 기반 인력 및 자재관리[2], USN(Ubiquitous Sensor Networking)기반 사면붕괴 모니터링[3], 콘크리트 타설 모니터링[4], 구조물 화재 모니터링[5] 및 진도관리[6] 등의 시공 관리 및 모니터링 업무에 중점을 두고 있다.

본 연구에서는 기존의 교량유지관리 체계를 개선하고 능동적인 교량유지관리 업무환경을 구축하기 위하여 유비쿼터스 및 BIM 기술을 활용한 철도교량의 지능형 유지관리 운영체계(U-BMIS, Ubiquitous Bridge Maintenance Information System) 기반의 통합 전략모형을 제안하고 이의 실무적 적용성을 확보하기 위한 타당성을 평가하는데 연구 목적이 있다. 이를 위해 우선 도로교량의 유지관리시스템 현황 분석을 통한 현황 교량 구조물의 유지관리 및 정보 운영체계의 문제점을 분석한 후 개선방안을 제시한다. 이를 기반으로 유비쿼터스 및 BIM기술을 적용한 유지관리 세부 업무의 요구 기능에 의한 지능형 통합 교량유지관리 운영 모형을 제시하

*Corresponding author.

Tel.: +82-55-753-1713, E-mail : Lskang@gnu.kr

©The Korean Society for Railway 2012

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2012.15.5.459>

였다. 그리고 제시된 모형의 개발 및 실무적 적용성에 대한 타당성을 확보하기 위해 철도 시설관리 실무자들을 대상으로 설문분석에 의한 정량적 평가를 수행하였다.

2. 교량 유지관리 시스템 현황 분석

2.1 서해대교 유지관리시스템 분석

Fig. 1은 서해대교 유지관리시스템의 구성도를 도식화한 것이다. 본 시스템은 계측기에 의한 모니터링, 계측제어, 점검 메뉴얼 및 교통량 분석으로 분류된다. 또한 이력관리시스템이나 교량의 분석 및 평가를 담당하는 전문가시스템이 일부 연계되어 있다.

Fig. 1 Maintenance system of Seohae Bridge

유지관리 정보 수집을 위해서는 구조물 부위에 부착된 유선 계측기를 통하여 동적 변위에 관한 수치 정보를 수집한다. 점검사항, 보수이력 및 도면정보와 계측데이터를 기반으로 관련 정보의 기록 및 평가, 분석 등의 유지관리업무가 부분적으로 전산화되어 있다. 특히 3D모형의 부재 모델 관리와 2D 이미지에 의한 부재의 손상부위를 관리하고 있다. 본 시스템을 통해 각종 이력정보 조회 및 입력이 가능하고, 손상형태의 시각화를 통해 결함사항을 조회할 수 있다.

2.2 영종·방화대교 유지관리시스템 분석

Fig. 2는 영종·방화대교 유지관리시스템의 운영 절차 및 주요 화면을 구성한 것이다.

Fig. 2 An operation process of bridge maintenance system and functional modules

본 시스템은 기준정보관리, 점검 및 보수보강관리, 예산관리, 보고자료 관리, 매뉴얼관리, 시스템관리, 계측관리 및 VR (Virtual Reality) 기능으로 구성되어 있다. 유지관리 정보들은 DB(Database)에 저장·관리되며 해당 구조물의 점검과 손상 상태를 판단하고 이의 보수보강 여부를 검토한다. 또한 VR기반의 유지관리 정보를 DB와 연동되고 관련 유지관리 데이터들은 VR객체를 통해 제한적 접근 가능하다.

2.3 삼천포연륙교 유지관리시스템 분석

Fig. 3은 삼천포 연륙교의 계측시스템의 주요 화면을 나타낸 것이다.

Fig. 3 Main screen of measurement system for Samcheonpo suspension bridge

화면 왼쪽은 계측센서의 종류 및 위치를 나타낸 Tree구조 화면이고, 화면의 중간은 유선 계측센서로부터의 계측 수치의 시간 별 변동 상태를 그래프로 구현한 것이다. 오른쪽 화면은 CCTV를 통한 교량 감시 화면을 구성한 것이다. 이와 같이 교량의 동적 거동에 따른 계측업무는 계측 수치와 그래프 정보에 의존한다. 또한 유지관리 업무를 통한 보고서 작성 및 손상상태에 따른 등급의 평가는 수작업으로 이루어지고 있어 비전산화 기반의 제한적 유지관리 절차를 따르고 있다.

2.4 기존 교량유지관리시스템 운영체계 문제점 및 개선 요구사항

본 장에서는 기존 유지관리시스템 분석을 바탕으로 실무 운용성 측면에서의 문제점을 분석하였으며, 이를 기반으로 유지관리 체계의 개선방안을 제시한다.

1) 계측 수치데이터 중심 관리: 일부 교량에서는 계측이력 및 도면정보 등의 유지관리 업무 지원 정보들은 외부 시스템의 제한적 접근을 통해 수치나 책자형태로 관리되고 있다. 이로 인해 관련 정보의 신속한 확인이 곤란하며, 정보 누락의 발생으로 체계적인 유지관리가 어렵다. 또한 교량에 대한 계측정보의 수치 및 그래프 정보 중심의 손상상태 평가를 수행한다.

2) 지능화된 통합 유지관리 업무운영 체계 미흡: 교량 유지관리 업무 동안 발생하는 방대한 정보를 통합하고 타 교

량유지관리시스템과의 상호 연동을 위한 연계 시스템의 구축이 미흡하다. 특히, 기존 계측센서들은 인근센서를 관리하는 자율화된 제어 능력이 없어 센서간 통신 기능이 제한적이며, 스스로 센서정보를 판단하여 현재의 거동 상태에 따른 실시간 분석 및 평가를 위한 지능형 계측 체계의 구축이 미흡하다.

3) 네트워크 체계의 문제: 일부 대형교량은 광섬유를 이용한 계측센서를 통해 유선망으로 유지관리시스템과 연결되어 있다. 이로 인해, 장기간 외부 환경에 노출될 경우 배선의 단락, 부식 등의 영향으로 정밀한 계측데이터의 수집이 곤란하고 취득 데이터의 변동성으로 정확한 정보를 수집하기 어렵다. 특히 이러한 계측센서들은 대부분 고정식이어서 이동이 불가능하고 타 센서간의 통신이 어려워 고장이 발생할 경우 신규 센서의 교체가 어렵다.

4) 개선 요구사항: 이를 개선하기 위해 우선 기존 교량의 계측이력 및 도면정보 관리체계는 3차원 모델을 기반으로 운영될 필요가 있다. 이를 위해 3D기반의 유지관리 도면정보는 RFID나 부재의 GPS 위치정보를 활용하여 유지관리 대상 정보와 연동되어야 한다. 또한 3D모델뿐만 아니라 다양한 분산된 교량의 유지관리 정보들이 단일 BIM서버를 통해 관리될 수 있는 통합 운영체계의 구축이 요구된다. 그리고 기존 유선기반 계측 중심의 제한적 유지관리 업무를 개선하기 위해 차세대 무선네트워크 기술을 도입하고 인근 센서를 인식하고 계측정보의 자동적 수집 및 실시간 손상평가가 가능한 현장형 유비쿼터스 기반의 교량정보 관리체계의 구축이 요구된다[7]. BIM과 센서네트워크 기술을 연계하여 모든 계측 센서들 간 자율통신 및 능동형 제어가 가능한 스마트 계측관리 체계를 구축할 수 있다. 또한 BIM기반의 가상환경에서 부재의 위치, 점검 매뉴얼 및 유지·보수보강 지침 등의 정보들이 스마트기기를 통해 구현이 가능하도록 능동형 IETM(Interactive Electronic Technical Manual)형태로 제공될 필요가 있다. 이러한 정보들은 BIM 체계에서 관련 정보간의 능동적 상호 연동, 전자적 통합절차, 3차원 도면화 및 가상객체에 의해 접근될 수 있다. 이러한 개선사항은 단일 업무를 지원하는 독립기능이 아니라 모든 기술전략이 하나의 워크플로우로 운영되기 위한 통합 유지관리 모델로 구축된다.

3. 유비쿼터스-BIM 기술 기반 철도교량 유지관리 운영체계 개발 전략모형 구성

본 장에서는 분석된 교량 유지관리 문제점을 개선하기 위하여 기존 교량유지관리 운영체계를 유비쿼터스 기술과 BIM 기반의 운영체제로 전환하기 위한 전략 모형을 구성한다.

3.1 RFID-BIM 기술 기반의 유지관리 도면 정보 통합 운영 모형

본 절에서는 기존의 유지관리 도면관리체계를 개선하기 위해 2D기반의 디지털 도면 및 종이 도면관리 체계 구축에 RFID 기술을 활용한다. 그리고 이들 정보를 3차원 모델로

Fig. 4 An operation scenario for managing smart maintenance drawing data for railway bridges

구성하여 BIM환경에서 통합 운영 및 관리가 가능한 BIM 기반의 유지관리 도면정보 운영모형을 Fig. 4와 같이 제안한다.

Fig. 4에 의하면 공사 준공 후 CD로 제출된 2D 도면이나 종이도면은 RFID 태그 부착을 통해 EPC(Electronic Product Code)와 연계된다. 그리고 2D도면을 3D모델로 변환하여 BIM서버에 저장하고 각 부재의 3D 모델은 유지관리 부위의 분류코드와 EPC정보에 의해 상호 연동된다. 이렇게 연동된 2D/3D 도면, VR객체, 도면현황, 유지관리정보 등은 도면이나 부재에 부착된 RFID 태그의 EPC 코드의 접근을 통해 부재의 위치 등의 구조물 속성을 인식함으로써 BIM서버로부터 관련 모델정보가 매칭되어 실시간으로 관리자에게 제공된다. 또한 BIM시스템에 구현된 3D 모형의 Hot-Spot 링크 기능을 통해 해당 부위에 적합한 다양한 유지관리 정보들은 BIM서버를 통해 직관적으로 접근할 수 있다. 이들 BIM 객체정보는 유지 및 보수보강 대상으로 분류되어 구성되며, 스마트기기에 의해 RFID태그의 인식으로 해당 유지관리 도면정보를 BIM환경에서 무선 네트워크를 통해 실시간 조회가 가능하다. 이러한 BIM기반 도면관리 모델은 능동형 IETM의 3차원 부재관리 정보로 통합된다.

3.2 BIM-Smart Sensing에 의한 철도 교량 계측 운영 모형

본 절에서는 기존의 단일 교량에 대한 수치기반의 계측데이터 수집절차와 분산된 손상평가 방식을 개선하기 위해 유비쿼터스 기술(Sensor + Networking + Computing)과 BIM 기반의 계측 운영 기술을 적용한다. 이를 통해 다수의 교량에 대한 계측정보의 수집·분석·평가 등의 절차를 단일 BIM 기반의 유지관리시스템으로 통합하고 자동화된 계측을 위한 지능형 철도교량 계측 운영모형을 Fig. 5와 같이 제시한다.

단일 또는 다수의 교량에 부착된 계측센서들은 BIM서버에 저장된 3차원 모형과 코드를 통해 연동하고 교량 별 계측센서의 위치 및 고장사항 등은 3D모형을 기반으로 제공

Fig. 5 An operation scenario of smart measurement system for railway bridges

된다. 유지관리자는 스마트기기나 무선망을 통해 계측센서의 정보를 실시간으로 조회하고 부재의 3D모형을 통해 수집된 계측정보와 손상정보를 기반으로 데이터수집, 정보처리 및 손상평가의 절차를 능동적으로 수행한다. 교량에 대한 이상 징후 발생 및 계측 평가정보는 SMS나 실시간 알림 기능을 통해 통보하고 데이터 분석처리에 의해 보수보강 공법 선정 및 예산편성 등의 결과를 신속하게 유지관리자에게 전달한다. 특히 교량 별로 분산된 유지관리체계는 단일의 유지관리 절차로 구축된다. 이러한 절차에 따라 손상평가 및 보수보강 의사결정 과정이 단일의 BIM기반 유지관리시스템으로 통합되어 능동적 유지관리 업무 수행이 가능해진다.

3.3 철도교량 부재의 RFID 및 센서 모듈에 의한 BIM 기반 계측정보 관리 모형

본 절에서는 기존의 교량계측 센서의 잦은 고장, 데이터 수집 및 네트워크 등의 문제들을 해결하기 위해 교량 부재에 RFID 태그 및 센서이식에 의한 자동화된 정보의 취득과 BIM모형 기반의 계측정보 관리 운영 모형을 제시한다(Fig. 6).

기존 계측센서들의 고정된 부착위치, 비자율적 통신 및 수동적 제어 문제는 인근센서와의 자율적 통신을 수행하고 인접센서의 정보를 공유함으로써 제한된 센서탐지 범위 (Coverage)를 확장할 수 있는 SoC(System on Chip)형태의 스마트센서로 대체함으로써 개선될 수 있다. 또한 외부환경 노출에 대한 손상을 최소화하는 모듈형태의 탈 부착이 용이한 RFID기반의 계측센서를 부착함으로써 계측정보의 수집이나 관리 성능을 높일 수 있다. 우선 교량의 주요부재인 교각, 기초, 교대, 교좌장치, 트러스, 거더 및 슬래브 등에 센싱 기능이 탑재된 RFID형태의 칩이나 USN모듈을 이식한다. 이러한 부재에 부착된 센서들은 차량의 하중, 진동, 외부 환경 및 공용 수명에 따라 구조물에 직간접적으로 동적 거동의 영향에 반응한다. 이러한 센서들은 세부부재의 동적

Fig. 6 Management scenario of measurement data by BIM+RFID + Sensor networking

거동에 따라 교량 구조물 전체에 영향을 주는 다양한 형태의 손상평가 정보를 수집하여 신속한 보수보강 예측에 필요하기 때문에 모든 부재에 부착될 필요가 있다. 이러한 이식된 기기들은 개별 센서의 고유코드가 부여되고 이는 교량의 3차원 객체들과 연동된다. 유지관리자는 유지관리정보 열람을 위해 생체인증을 통해 태그를 인식하거나 3D모형의 Hot-Spot 기능에 의해 교량에 부착된 기기들의 위치, 종류 및 계측데이터 등을 탐색한다. 또한 유지관리 수행 경로는 LBS에 의한 관리자의 공간적 위치인식을 통해 VR환경에서 실시간으로 확인된다. 이는 스마트폰에 탑재된 GPS를 통해 현재 유지관리자의 위치를 파악하게 되고 해당 관리자의 메타정보를 이용해 어떠한 타입의 유지관리를 수행할 것인지 확인할 수 있다. 또한 그러한 업무타입과 현재 위치정보를 이용하여 해당 관리자의 유지관리 수행 경로의 위치를 스마트폰에 구현된 BIM기반 3차원 교량 모델에서 ID형태로 제공할 수 있다. 이러한 ID는 교량의 각 부재의 3D모델에 표현되며, 관리자는 그러한 ID를 위치정보로 인식하고 시각적 확인을 통해 순차적으로 유지관리 업무를 손쉽게 수행할 수 있다. 따라서 해당부재의 반복적 유지관리 업무가 수행될 경우 구글맵과 같은 디지털 지리정보 및 3D모델을 통해 경로의 자동 탐색으로 정확한 유지관리 위치와 최적화된 유지관리 정보들이 제공된다.

3.4 BIM기반 지능형 통합 유지관리전자매뉴얼(UM-IETM) 운영 모형

본 절에서는 기존의 유지관리 정보접근의 제약, 단편적 문서관리 및 정보누락 등의 문제점을 해결하기 위해 BIM기반의 가상객체 정보를 기반으로 최적의 정보만을 제공할 수 있도록 하는 지능형 유지관리전자매뉴얼 운영 모형을 Fig. 7과 같이 구성하고 있다.

교량유지관리센터의 BIM서버에는 계측센서의 현황정보,

Fig. 7 An operation scenario of smart IETM based on ubiquitous techniques

기기코드, 태그 및 계측정보, 위치정보, 업무절차 및 법규 등의 유지관리 절차정보와 유지관리 및 보수보강 이력정보, 멀티미디어 정보 및 3D 모형 등의 교량 유지관리 업무에 소요되는 다양한 통합 정보들이 저장되어 있다. 이러한 정보들은 표준화된 XML(eXtensible Markup Language) 문서 체계 구성을 통해 IETM의 연계정보들로서 통합될 수 있다. 우선 유지관리 업무 수행 메시지를 유지관리자에게 자동적으로 통보하고 BIM서버로부터 해당 유지관리 대상 시설의 2D

및 3D모델로의 신속한 접근을 통해 시각적으로 해당 부재 위치와 상세 유지관리 절차를 전자적으로 제공받는다. 센서 기능을 가진 RFID 칩과 자율형 계측센서의 인식과 3D모형의 Hot-Spot 접근으로 해당 부재의 계측 데이터, 유지관리 정보, 최적 업무 절차 및 유지관리 수행 경로를 스마트기기를 통해 무선(Wi-Fi, 3G, LTE)으로 제공 받는다. 이를 기반으로 스마트센서를 통해 계측정보를 실시간 수집하고 취득된 계측정보의 평가·분석에서 보수보강 공법 선정 및 예산 산정에 이르는 과정이 능동형 IETM 시스템 내에 통합된다. 최종 평가결과는 다양한 스마트 기기를 활용하여 BIM 기반의 능동형 전자매뉴얼[8]을 통해 실시간 제공된다.

3.5 Ubiquitous-BIM 기반 지능형 철도교량 유지관리 정보 통합 운영 모형

본 절에서는 앞서 제시된 개별 응용 모형을 통하여 Ubiquitous-BIM 기반 지능형 철도교량 유지관리 통합 운영 시나리오 모형을 구성하였다(Fig. 8).

본 절에서는 앞서 구성된 4가지의 개별적 유지관리 운영 모델을 단일의 통합 유지관리 정보운영모델로 구성한다. 우선 유지관리정보의 통합 Repository로서 BIM서버가 구축되고 여기에 다양한 유지관리 정보의 DB를 내장한다. 기존의 2D도면은 RFID 태그와의 연동 체계를 구축하고 3D모델로의 변환을 통해 구조물의 도면관리 및 유지관리 중심 모델로서 IETM의 주요 업무정보로 구성한다. 무선 네트워크를 통해 연계된 계측정보는 부재 코드를 활용하여 3D모델과 연동한다. 계측데이터들은 교량 부재에 부착된 RFID나 스마트

Fig. 8 An integrated scenario of maintenance business for railway bridges based on ubiquitous techniques with BIM

센서를 통해 실시간으로 수집되며, 이는 각 3D모델의 속성으로 저장된다. 이러한 정보는 IETM에 구성된 Workflow를 통해 지능형 손상평가 및 예측, 그리고 보수보강 공법 결정 등의 능동적 유지관리 업무를 지원하게 된다. 이러한 통합 유지관리 모형을 기반으로 수행되는 개선된 유지관리 정보 운영 및 관리 절차는 다음과 같다.

우선 유지관리 대상교량에 대한 업무 수행메시지를 받게 되면 유지관리 센터에서는 스마트 계측센서를 통해 정보를 수집하고 평가업무를 수행한다. 현장에서는 BIM기반 지능형 교량유지관리전자매뉴얼을 통해 해당부재에 적합한 최적의 유지관리 정보를 단계별로 제공받아 업무에 착수한다. 지능형 유지관리 업무는 부재에 부착된 RFID 태그, 센서모듈 및 3D객체의 접근을 통해 BIM서버의 DB에 저장된 정보를 기반으로 수행한다. 현장에서는 계측센서를 통해 정보를 수집하고 단일 센서의 접근만으로 타 센서의 정보까지도 동시 취득이 가능하다. 또한 계측센서의 코드와 연동된 해당 부재 모형의 접근을 통해 자동적으로 업데이트된 계측수치 정보와 이에 따라 결정된 계측결과 및 예측된 손상평가를 시각적으로 제공받는다. 수집된 정보는 BIM시스템의 3D모형과 연계코드를 통해 실시간 연동된다. 그리고 계측 분석시스템을 통하여 정보의 수집, 평가, 분석 및 공법선정 절차가 능동적으로 처리되어 최종 결과를 유관기관에게 즉시 통보하게 된다.

4. 개선된 지능형 유지관리정보 운영전략의 평가

4.1 개선 전략의 정성적 평가

본 절에서는 유비쿼터스+BIM 기반의 지능형 철도교량 유지관리 운영 전략 구축에 따른 활용도 측면 및 개발 측면에서의 정성적 적용효과를 Fig. 9와 같이 분석하였다.

Fig. 9 Qualitative effects of smart maintenance operation model for railway bridges

지능형 유지관리시스템은 분산된 유지관리 체계를 통합하고 최소의 인력과 비용으로 업무수행 절차의 자동화 및 시각화된 유지관리 정보의 분석이 가능하다. 특히 무선 계측선서를 통해 타 유지관리 센터와의 통합 운영체계의 구축이 가능하며, BIM환경에서 능동적 유지관리 업무 수행이 가능

하다. 기술 측면에서는 단일 센서에 계측+통신+지능을 가진 SoC (System on Chip) 형태의 무선기반 센서의 개발이 가능하다. 또한 계측 정보의 자동화된 수집을 위한 RFID 기술과 DB에 의한 정보관리 기술(BIM Server)이 구축될 수 있으며, 정밀위치탐색을 위한 LBS 기술이 개발될 수 있다. 특히 교량 유지관리 정보의 3차원 통합기술인 BIM기술을 개발하고 유지관리 3D객체 라이브러리와 같은 콘텐츠 개발 및 정보 서비스 모형을 구축할 수 있다. 또한 최적화된 시각화 정보 및 실시간 계측정보의 취득을 통해 정보수집에서 평가 및 분석에 이르는 절차 및 정보의 표준화가 전자매뉴얼 구축을 통해 가능하다. 보수보강 공법의 결정 및 예산편성의 업무의 실시간 수행이 가능하며, 모든 유지관리 관련 정보가 최적의 형태로 통합·관리될 수 있다.

4.2 개선된 전략의 정량적 타당성 평가

본 절에서는 연구에서 제시된 개별적인 유지관리정보 운영 기능 모델과 통합 모델의 실무적 적용성에 대한 타당성 및 적정성을 확인하기 위해 철도관련 실무자 15인을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 이를 위해 제시된 전략모델에 대한 기술개발 가능성, 전략모델의 철도 유지관리 분야 적정성, 개발 시스템의 운용성, 현장 적용성 및 유지관리 업무의 경제적 파급효과를 대분류 항목으로 구성하여 실시하였다. 총 30부를 배포하여 15부를 회수하였다. 설문방법은 5점척도를 활용하여 대분류의 5가지 항목에 대하여 AHP (Analytical Hierarchy Process)에 의한 중요도를 평가하였으며, 크론바흐(Cronbach)의 알파계수를 통해 설문지의 신뢰도를 검증하였다. Table 1은 개선된 전략의 타당성 결과를 정량적으로 분석한 결과를 나타낸 것이다.

우선 제시된 유지관리 운영 모델의 기술개발에 대한 AHP 중요도 평가 결과에서 ‘스마트 센서 이식’에 의한 BIM기반 계측정보 관리 모형이 0.298로 가장 높은 기술개발 중요도를 갖는 것으로 분석되었다. 그러나 BIM기반 지능형 유지관리전자매뉴얼 운영 모형은 0.137로 가장 낮은 기술개발 중요도를 가지는 것으로 나타났다. 또한 유지관리 단계적응성에서는 ‘스마트 센서 이식’에 의한 BIM기반 계측 정보 관리 모형이 0.300으로 가장 높은 실무 적용성을 가질 것으로 기대한다. 반면에 ‘RFID-BIM기술 기반의 유지관리 도면정보 통합운영 모형’은 그 중요도가 0.111로서 가장 낮은 적용성을 갖는 것으로 평가되었다.

Table 1에서 5가지 대분류 항목별 설문평가 결과는 다음과 같다. “1. 기술 및 시스템 개발 가능성”에 대한 세부평가 항목 중 ‘BIM기반 지능형 유지관리 운영 시스템의 개발 가능성’에 대해서 4.0점으로 높은 개발 가능성을 가지며, ‘텔레매틱스 기반의 철도교량 유지관리 정보 서비스 운영 시스템’은 3.29점으로 보통으로 평가되어 상대적으로 시스템 개발 가능성은 낮은 것으로 분석된다. “2. 전략모델의 적정성” 대분류 항목에서 ‘제시된 전략모델이 향후 유지관리 업무 지원에 충분히 활용도가 높은가?’에 대한 질문에서는 4.0점으로 높은 적정성을 가지며, ‘제시된 전략모델 상호 간에 유기적으로 잘 연계되고 통합되었는가?’라는 항목으로 보통수준의 적정성을 보이고 있다.

Table 1 Analysis results of survey for evaluating the improved maintenance strategies of railway bridges

평가항목	세부평가항목	평균	표준편차
1. 기술 및 시스템 개발 가능성	RFID-BIM기술 기반의 유지관리 도면 정보 통합 운영 시스템의 개발 가능성	3.64	1.08
	BIM-Smart Sensing에 의한 철도 교량 계측 운영 시스템의 개발 가능성	3.43	0.94
	스마트 센서 이식에 의한 BIM기반 계측정보 관리 시스템의 개발 가능성	3.36	0.93
	텔레매틱스 기반의 철도교량 유지관리정보 서비스 운영 시스템 개발 가능성	3.29	0.99
	BIM기반 지능형 유지관리전자매뉴얼 운영 시스템의 개발 가능성	4.00	1.04
2. 전략 모델의 적정성	제시된 기술이 유지관리 체계 개선을 위해 시기적으로 적절한가?	3.29	0.91
	제시된 전략모델이 사용자 요구기능 및 기술을 포함하는가?	3.43	0.85
	제시된 전략모델이 향후 타 기술 및 시스템 및 DB와의 연동이 용이한가?	3.43	0.94
	제시된 전략모델이 향후 유지관리 업무 지원에 충분히 활용도가 높은가?	4.00	0.78
	제시된 전략모델 상호간에 유기적으로 잘 연계되고 통합되었는가?	3.21	1.12
3. 개발 시스템의 운용성	RFID-BIM기술 기반의 유지관리 도면 정보 통합 운영 모형의 운용성	3.79	0.89
	BIM-Smart Sensing에 의한 철도 교량 계측 모형의 운용성	2.79	0.80
	스마트 센서 이식에 의한 BIM기반 지능형 계측정보 관리 모형의 운용성	3.43	1.02
	텔레매틱스 기술을 연계한 철도교량 유지관리정보 서비스 모형의 운용성	3.14	0.95
	BIM기반 지능형 유지관리전자매뉴얼 체계의 운용성	4.07	1.14
4. 개발 후 유지관리 현장 적용성	RFID와 3D모형을 연계한 유지관리 도면 통합관리 기능의 활용성이 높은가?	4.07	1.07
	스마트센서를 활용한 능동적 계측관리 및 지능적 손상평가가 가능한가?	3.50	1.02
	텔레매틱스 기술을 활용한 교량의 유지관리 정보서비스 제공이 가능한가?	3.14	1.03
	3D기반의 지능형 통합 유지관리전자매뉴얼의 활용성은 높은가?	3.71	1.14
	유지관리 및 보수보강 업무의 신속성과 능률향상에 높은 활용성을 갖는가?	4.50	0.52
5. 유지관리 업무의 경제적 파급효과	유지관리 업무 수행 비용측면에서의 효과는 어느 정도인가?	3.64	0.63
	유지관리 업무 수행 시간측면에서의 효과는 어느 정도인가?	3.93	0.92
	제시된 전략모델에 의한 유지관리자의 교육훈련에 따른 경제적 효과는?	3.21	0.97
	제시된 전략모델에 의한 철도교량의 품질 향상 효과는?	3.36	1.08
	제시된 전략모델에 시스템 개발 및 운영체계 도입 비용의 영향 정도는?	3.43	1.02

“3. 개발 시스템의 운용성”에서는 ‘BIM기반 지능형 유지관리전자매뉴얼 체계의 운용성’이 4.07점으로 높은 운용성을 갖는 체계로 분석되었으며, ‘BIM-Smart Sensing에 의한 철도 교량 계측모형의 운용성’은 2.79점으로 실무에서 낮은 운용성을 가질 것으로 파악되었다. 그리고 “4. 개발 후 유지관리 현장 적용성” 항목에서 ‘유지관리 및 보수보강 업무의 신속성과 능률향상에 높은 활용성을 갖는가?’에 대해서는 4.5점으로 실무자의 평가 결과에 따라 개발된 시스템의 높은 적용성을 기대할 수 있다. 그러나 ‘텔레매틱스 기술을 활용한 교량의 유지관리 정보서비스 제공이 가능한가?’라는 질문에서는 3.14점으로 본 기술이 제시된 타 기술에 비해 상대적으로 낮은 현장 적용성을 가질 것으로 기대한다. 마지막으로 “5. 유지관리 업무의 경제적 파급효과”에 대해 비용측면(3.64)보다는 시간측면에서의 유지관리 업무 수행 효과(3.93)가 있는 것으로 분석되었다. 그러나 본 개발전략을 통해 유지관리자의 교육훈련에 따라 경제적 대체 효과는 3.21점으로 타 효과에 비해 그 수준은 미흡한 것으로 분석되었다. 이러한 항목들의 응답결과 대체적으로 3.0이상으로 평가

되어 제시된 유지관리정보 전략 모델이 보통 수준 이상의 타당성을 가지는 것으로 평가되었다. 본 설문결과 크론바흐 알파계수가 0.654로 도출되어 신뢰할 만한 수준의 설문조사 결과로 분석된다.

5. 결 론

본 연구에서는 Ubiquitous+BIM기술 기반의 개선된 철도교량 유지관리 운영체계 구축 전략 수립을 위해 향후 발전 및 개발 가능한 기술응용 모형을 제안하였다. 이를 위해 기존 교량유지관리시스템의 현황 분석을 통해 유지관리 업무 및 정보관리 측면에서의 문제점을 분석하여 개선된 철도교량 유지관리 운영체계 구축을 위한 대안을 제시하였다. 이를 기반으로 3D 도면관리, 계측정보의 운영 모형, 유지관리 정보관리 모형 및 BIM기반 지능형 전자매뉴얼 체계의 실무응용 모형을 제시하였다. 또한 이러한 기술을 연계한 지능형 유지관리시스템 개발 프레임워크 및 통합 운영 모형을 구축하였으며, 지능형 철도교량 유지관리 운영체계의 정성적

효과를 분석하였다. 또한 제시된 통합 유지관리 전략의 개발 및 실무적 적용 타당성을 평가하기 위해 설문분석에 의한 정량적 평가를 수행하였다. 설문분석 결과 항목별로 3.0 이상으로 평가되어 제시된 유지관리 전략 모델이 보통수준 이상의 타당성을 갖는 것으로 분석되었다. 이를 통해 관련 기술 개발의 요구와 실무 적용성의 증대에 기여할 것으로 판단한다.

따라서, 제시된 모형은 철도교량 유지관리 업무체계 수행 시 유지관리정보의 취득에서 분석·평가에 이르는 일련의 절차를 통합하여 지능화된 유지관리업무를 수행할 수 있도록 하는 방법론 및 시스템 구축 프레임워크로서 제공된다. 특히 Ubiquitous+BIM기술의 적용으로 기존 유지관리 절차가 Workflow 기반으로 통합되어 3D모형 기반의 일원화된 유지관리 정보 및 문서관리, 업무수행, 보수보강 평가, 최적 유지관리 의사결정 수립 및 능동적 전자문서 제공 등이 가능해진다. 특히 계측센서의 3D모형 연동으로 실시간 계측정보의 취득 및 시각화 분석이 가능해진다. 따라서 Active BIM 기반 통합 유지관리시스템으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 나아가 기존 설계시공 중심의 BIM적용성을 FM (Facility Maintenance) 측면에서 BIM 체계로 확장될 수 있는 기반을 제공할 수 있다.

후 기

본 논문의 일부는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0016064).

참고문헌

- [1] H.K. Kim, H. Lee, J.H. Jang, S.K. Ro (2007) Development of Field-Measured Data-based Analysis Model of a Suspension Bridge, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 27(6A), pp. 829-836.
- [2] S.W. Yoon, S.Y. Chin (2011) An RFID and BIM based Simulator for Construction Material Logistics and Progress Management, *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, 12(5), pp. 46-54.
- [3] K.T. Kim (2010) Development of a USN-Based Monitoring Scenario for Slope Failures, *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, 11(6), pp. 122-130.
- [4] S.W. Moon, S.M. Hong (2007) Application of a RFID-Based Monitoring System for the Concrete Pour Process, *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, 8(3), pp. 142-149.
- [5] S.W. Moon, H.J. Seong (2011) u-Disaster Prevention System based Real-Time Fire Monitoring in a Building Facility, *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, 12(1), pp. 107-114.
- [6] S.Y. Chin, S.W. Yoon, C.H. Choi, C.Y. Cho (2008) RFID+4D CAD for Progress Management of Structural Steel Works in High-Rise Buildings, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 22(2), pp. 74-89.
- [7] H.S. Moon (2006) Frameworks of Advanced Model for Bridge Maintenance Information System by using Ubiquitous Information Technology, Dept. of Civil Engineering Gyeongsang National University, *Master's Thesis*.
- [8] L.S. Kang, H.S. Moon, and J.M. Kwak (2007) Procedure Development for Organizing Electronic Technical Manual of Construction Design Information and Applicability Analysis for Practical Project, *Journal of The Korean Society for Railway*, 10(2), pp. 102-111.

접수일(2011년 10월 27일), 수정일(2012년 2월 28일),
게재확정일(2012년 8월 18일)

Hyoun-Seok Moon : civilcm@gnu.ac.kr

Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University,
900 Gajwa-Dong, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea

Hyeon-Seung Kim : wjdchs2003@yahoo.co.kr

Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University,
900 Gajwa-Dong, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea

Leen-Seok Kang : Lskang@gnu.kr

Department of Civil Engineering, Engineering Research Institute,
Gyeongsang National University, 900 Gajwa-Dong, Jinju, Gyeongnam 660-701, Korea