

교량관리시스템과 연계된 실시간 교량 현장조사 프로그램 개발

박경훈^{1*}, 선종완¹

¹한국건설기술연구원 구조융합연구소

Development of Real-time Bridge Inspection Application connected with Bridge Management System

Kyung-Hoon Park^{1*}, Jong-Wan Sun¹

¹Structural Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT)

요약 공용중인 교량의 보다 안전하고 효율적인 유지관리를 위해서는 시간에 따른 교량 유지관리 정보의 수집과 분석이 중요하다. 교량관리시스템을 통한 안전하고 경제적인 관리를 위한 전략 수립의 기본이 되는 현장조사 정보의 신뢰도 및 획득의 편의성을 증진하기 위하여 교량 현장조사용 스마트폰 응용프로그램을 개발하고, 실 적용성을 확보하였다. 개발된 프로그램은 교량의 생애주기관리를 위한 교량관리시스템과 연계되어 유지관리 관련 정보의 조회, 수정, 전송 등이 실시간으로 가능하며, 현장조사 보고서의 자동 작성을 통해 업무를 크게 경감할 수 있을 것으로 판단된다. 본 프로그램을 이용한 점검은 편의성, 정확성 등의 향상, 정보의 지속가능성, 향후 활용성 등 직간접적으로 기대되는 가치향상 효과가 기존의 점검방법에 비해 매우 높을 것으로 기대된다.

Abstract It is important to the periodic collection and analysis of the maintenance and management information of bridges for a more safe and efficient management of the bridges. To enhance the reliability and ease of acquisition of the bridge inspection information that is the basis for a strategy for safe and economic management using the bridge management system (BMS), this study develops a smart phone application for bridge inspection and ensures the actual applicability of the application. The developed application that is linked with the BMS for life-cycle management of bridges is possible to real-time query, modify and transmit of the maintenance-related information, and the application is able to greatly relieve the time and cost for the bridge inspection through the automatic creation of site inspection reports. The proposed method using the application is directly or indirectly expected to be very high effects of value improvement, such as ease of use, improved accuracy, sustainability of information, and future utilization, compared to conventional inspection method.

Keywords : Bridge Inspection, Mobile Application, Bridge Management System, Real-Time

1. 서론

국토교통부에서 발간하는 ‘2015년 도로 교량 및 터널 현황조서[1]’에 따르면 국내 도로 교량의 평균 공용년수는 15.6년으로 미국, 일본 등 선진국에 비해 아직 낮은 수준이다. 교량의 노후도 증가와 예산의 부족으로 인해 교량이 폐쇄되어 도로가 단절되기도 하는 미국, 일본[2,

3] 등에 비하면 아직 양호한 수준이라고 할 수 있으나, 적절한 대응방안을 마련하지 않으면 같은 전철을 밟게 될 것이다. 최근 들어 국내에서도 노후화되어가는 사회 기반시설물의 효율적인 관리를 위하여 예방적관리 개념이 도입되고 있다[4][5]. 더불어 교량과 같이 붕괴, 파손 등으로 인한 사회경제적 피해가 막대한 구조물의 안전한 관리에도 많은 노력이 진행되고 있다.

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 2, 2015

Revised November 3, 2015

Accepted November 6, 2015

Published November 30, 2015

사회기반시설물에 대한 보다 효과적이고 합리적이며, 일관된 점검결과와 수집을 위하여 다양한 방법이 적용되어왔다. 국내외적으로도 육안점검을 통한 초기점검의 중요성은 강조되고 있으며, 이를 위한 다양한 방법과 매뉴얼 등이 제시되었다[6]. 하지만 보다 정확한 데이터의 입력 및 수집을 위한 기술적인 도구의 개발보다는 전자기계적인 도움을 통한 정보수집에 치우쳐왔다[7]. 미국의 주도로교통협회(American Association of State Highway and Transportation; AASHTO)에서는 일찍부터 현장조사에 대한 중요성을 인지하고 교량의 다양한 부재들에 대한 점검 매뉴얼(Manual for Bridge Element Inspection; MBEI)[8]을 개발하여, 교량관리시스템을 비롯한 정보시스템에 일관되고 합리적인 점검 데이터가 입력되도록 노력하고 있다.

교량의 현재 안전성을 모니터링하기 위하여 다양한 방법이 연구개발 되고 있지만[9], 상시모니터링을 위해서는 대부분 고가의 장비와 유지비가 소요되어 중요도가 높은 극소수 교량(현수교, 사장교, 아치교 등)에 제한적으로 적용되고 있다. 하지만 3만개에 육박[1]하는 국내 도로 교량의 현재 상태를 비교 판단하기 위해서는 모든 교량에 적용 가능한 동일한 기준이 필요하다. 교량의 안전관리와 관련된 도로법, 시설물안전관리에 관한 특별법(이하 시특별), 재난 및 안전관리 기본법(이하 재난법)에서는 모든 교량에 대해 연 2회(반기 1회) 정기점검을 수행하도록 규정하고 있다. 예방적 유지관리를 통해 수명을 연장하고 예산을 절감하기 위한 첫 걸음은 현장조사이며, 시특별의 하위 규정인 ‘정기점검 및 정밀안전진단 세부지침(이하 세부지침)[10]’에서도 정기점검은 모든 유지관리 활동의 기본이 된다. 하지만 교량 관리주체 담당자가 수행하도록 되어있는 정기점검은 인력 및 전문성의 부족으로 인해 합리적인 점검이 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 정기점검 등 교량의 초기 결함 조사의 신뢰성과 효율성을 증진시키기 위하여 스마트폰 응용프로그램(application, app.)을 개발하고 현장조사에

대한 적용성을 고찰하였다.

2. 교량 점검방법의 개선

2.1 시설물 점검 제도

국내의 시설물의 점검은 시특별, 재난법, 도로법에 근거하며, 공학적으로 의미 있는 점검은 시특별을 따르고 있다. Table 1과 같이 모든 점검의 시작은 육안점검에서 비롯되며, 통상적으로 육안점검을 통해 손상, 이상이 발견되면 보다 정밀한 점검과 진단을 실시하게 된다.

국내에서는 1990년대 중반 다중이용 시설물(삼풍백화점, 성수대교 등)의 연이은 붕괴사고 이후에 제정된 시특별에 따라 일률적으로 주기적인 점검을 규정하고 있다. 미국과 유럽의 여러 나라, 일본의 점검 체계 및 주기를 Table 1과 같은 국내의 3단계 점검 체계와 일대일로 비교하는 것은 어렵지만, 일반적으로 우리나라에 비해 주기가 길며, 대부분 육안점검을 통해 손상이 발견되면 추가적으로 정밀한 조사를 수행하는 방식을 적용하고 있다[11].

2.2 교량의 점검 방법 및 개선

교량의 점검을 위한 상세한 사항은 세부지침[10] 교량편에서 세부 요소(부재)별로 점검 기준을 설정하고 있다. 전자기기가 발전되기 전에는 교량 점검자는 점검 기준을 숙지하고 야장과 카메라 등을 이용하여 현장에서 점검 업무를 수행하고, 기록된 자료의 정리, 인화 작업을 거쳐 종이 문서형태로 보관하는 수준이었다. 이후 전자기술의 발전으로 태블릿(tablet) PC, 개인정보단말기(Personal Digital Assistant, PDA) 등이 점검 업무에 적용되었으나, 휴대성, 사용성 등의 문제로 인해 현장에 실제적으로 적용되지 못하였다. 정보통신기술의 발전으로 스마트폰의 대중화가 이루어지고 실시간 정보처리가 용

Table 1. Standard for inspection and diagnosis

Classification	General Inspection	Precision inspection	Precision safety diagnosis (In-depth inspection)
Target	All bridges	Type I* Type II*	Type I, Type II
Period	At least once in six months	•A grade : every three years •B/C grade : every two years •D/E grade : every year	•A grade : every six years •B/C grade : every five years •D/E grade : four years

* Bridge length over 500m & span length over 50m, ** Length over 100m

이해지면서 스마트폰을 활용한 점검활동의 기술적, 정서적인 제약이 해소되었다. 따라서 본 연구에서는 교량관리시스템(Bridge Management System; BMS) 메인 서버와 실시간으로 연계된 교량 현장조사 프로그램을 활용한 점검체계를 제안하고, 스마트폰 용 어플리케이션을 개발하였다. Fig. 1에서는 기존의 현장점검 방법과 새로운 방법을 비교하여 나타내었다. 새로운 방법은 사전준비작업이 필요 없으며, 실시간으로 체계적이고 안정적인 정보관리와 사후작업을 최소화하여 점검의 효율성을 극대화할 수 있다.



Fig. 1. Comparison of existing method and proposed method in bridge inspection

3. 교량관리시스템의 정보관리

3.1 교량관리시스템 개요

고도성장기에 집중적으로 건설된 교량들은 최근 공용년수 증가에 따라 보수보강, 개량 등이 필요한 대상 교량이 증대되고 있다. 또한 재정적 어려움으로 인해 유지보수 수요 증대가 예산에 적극적으로 반영되기 어려운 것이 현실이다. 따라서 보다 안전하고 경제적인 교량관리의 중요성이 대두되고 있으며, 이를 지원하기 위한 교량관리시스템이 개발되었다[12]. 최근의 교량관리 경향은

교량의 안전과 위험도에 대한 고려, 유지관리 조치에 대한 비용 모델과 열화 및 성능향상 모델, 예산과의 연계성 등 다각적인 인자들을 고려하여 최적 전략 수립을 지원할 수 있도록 발전되고 있다[13]. 또한 진보된 정보통신기술(Information and Communication Technology: ICT)의 도입을 통해 유지관리의 효율성과 합리성을 증진하고자 하는 노력이 병행되고 있다.

새로운 BMS는 교량 정보의 체계적 관리·분석을 통해 전(全) 생애 동안의 유지관리 전략, 계획 등 관리주체의 정책 수립을 지원하는 시스템으로, 생애주기 동안 발생하는 유지관리 조치와 비용을 고려하여 변화되는 교량 성능을 추정하여 관리주체가 요구하는 다양한 제약조건(관리수준, 예산 등)을 만족하는 맞춤형 전략을 제공할 수 있도록 개발되었다[5, 12].

3.2 객체기반 정보관리

새로운 BMS는 교량의 수명동안 발생하는 모든 비용 항목과 성능변화를 고려하며, 이러한 모든 정보들은 교량을 구성하고 있는 개별 부재에 기반하고 있다. 식 (1), (2)와 같이 각 부재별 결과들은 각각의 가중치를 고려하여 개별 교량수준(project level)으로 취합되며, 개별 교량들은 필요한 수준의 특정 교량 그룹(network level)으로 엮여 다양한 의사결정을 위한 지식정보를 제공하게 된다.

$$P_j = \sum_{i=1}^{M_j} w_i \cdot p_i \quad (1)$$

$$P_N = \sum_{j=1}^N W_j \cdot P_j \quad (2)$$

여기서 P_j 는 개별교량 j 의 성능수준, i 는 교량을 구성하는 부재, M_j 은 j 교량의 부재의 수, w_i 는 부재별 가중치, p_i 는 부재별 성능, P_N 은 네트워크 수준 성능, N 은 고려된 교량의 수, W_j 는 개별교량의 가중치를 나타낸다.

이러한 분석 결과의 신뢰도는 개별 부재수준의 정확한 정보에 기반을 두어야 한다. 초기 건설단계에서의 제원 등과 같은 정보들은 변동성이 매우 작고, 전문가의 일회성 검증을 통해 신뢰도를 확보할 수 있다. 하지만 유지관리단계에서 시간에 따라 변화하는 정보들은 현장의 불확실성으로 인해 직접 점검을 통해 입력하는 정보를 일

일이 검증하는 것에 한계가 있다. 또한 입력된 정보를 지속적이고 안정적이며 체계적으로 관리하기 위해서는 초기 입력 자체를 부재별 객체화된 정보 형태로 받아들이야 한다.

교량관리시스템에서 관리하고 정보는 초기 조건이 변하지 않는 정보와 시간에 따라 변화하는 정보가 있다. 특히 시간의존적인 점검진단 정보와 보수보강 정보는 교량의 현재 상태를 파악하는데 중요한 정보로 개별 부재수준에서 객체화 되어 입력되어야 한다.

4. 교량 현장조사 정보입력을 위한 모바일 프로그램

4.1 프로그램의 기본개념

산재된 다수의 교량에 대한 부재수준의 현장조사결과를 객체화된 정보로 받아들이기 위하여, BMS의 기본정보(경간 및 지점 정보 등)를 이용하여 사전에 해당교량의 부재구성을 객체화된 시각정보로 나타내었다. BMS에서는 교량을 구성하는 부재를 대표부재 10가지로 구분하고 있으며, 교량의 형식 및 경간·지점 구성에 따라 포함된 부재를 구분하여 데이터베이스를 구성하고 있다. 따라서 현장조사 또한 이러한 데이터 구조에 기반하여 입력받을 수 있도록 스마트폰을 이용한 시각적 효과를 고려하여 Fig. 2와 같이 교량의 대표부재 10가지를 구성하였다. 또한 대표부재는 총 82개의 세부형식들로 구성

되며, 각 형식들마다 빈번한 손상 유형(800건)과 해당 보수보강 공법(429건)을 정의하였다. 대표부재별로 정의된 대표적인 손상유형과 공법을 Table 2에 나타내었다.

4.2 프로그램의 기능

현장조사 정보의 정확한 입력을 유도하고 점검자의 편의성을 높이며, 실시간 정보관리로 점검의 효율성을 높여 보다 신뢰할 수 있는 정보 구축을 위하여 개발된 모바일 기반 현장조사 프로그램(Mobil App. for Bridge Inspection; MABI)은 교량관리 정보를 저장하고 활용하는 BMS와 연계되어 개발되었다. MABI는 BMS의 교량 정보를 조회하고, 현장에서 수행된 점검결과는 실시간으로 BMS 서버로 전송, 저장되어 특정한 보고서 형태로 출력할 수 있는 기능을 포함하고 있다. Fig. 3은 BMS를 중심으로 MABI의 데이터 연계 방법을 나타내고 있다.



Fig. 2. Component of representative members

Table 2. Relations of representative members, damage type, and repair & rehabilitation method

Representative members	Details members	Damage type	Repair & rehabilitation method
Deck	Concrete, Steel deck	Crack, Peeling, Efflorescence	Grouting, Filling, Surface treatment
Girder	RCT type, Steel I-type, PSC girder	Rebar exposure, Corrosion, leakage	Adhesion, Coating, External post tension
Crossbeam/Stringer	Concrete, Steel crossbeam	Netlike crack, Material exposure	Surface treatment, Crack prevention
Abutment/Pier	Concrete, Steel abutment/pier	Segregation, Rebar exposure	Grouting, Filling, Repair
Foundation	Spread footing, Pile foundation	Scour, Settlement, Pile damages	Scour prevention, Repair
Bearing	Plane, Line, Rubber	Crack, Failure, Corrosion, Snug	Body repair, Strut repair
Expansion Joint	Cutting, Finger, Dummy joint	Leakage, Delamination, Sedimentation	Non-shrinkage repair, Body repair
Pavement	Asphalt, Concrete	Crack, Port hole, Plastic deformation, Peeling	Surface treatment, Cutting overlay, Patching
Drainage	Outlets, Drain pipe	Leakage, Stagnant, sedimentation, Failure	Cleaning, Repair, Replacement
Guard-rail/Curb	Concrete, Steel handrail	Crack, Failure, Delamination, Corrosion	Guard-rail repair, Curb repair

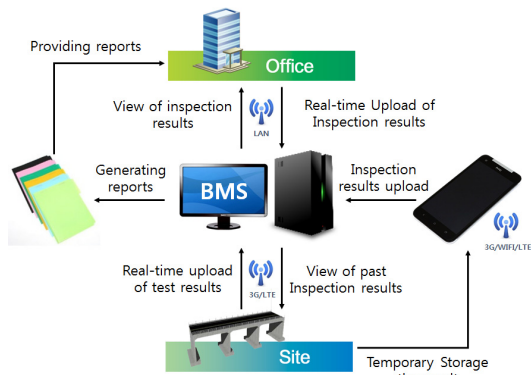


Fig. 3. Data network in field inspection

MABI의 주요 기능은 현장조사 대상교량을 검색하고 BMS 서버로부터 최신자료를 다운받아 정보를 갱신하는 기능, 교량위치를 조회하고 새로운 교량의 위치를 입력하거나 변경하는 기능, 교량현황정보를 조회하고 수정하는 기능, 교량 현장조사 수행 기능 등이 있으며, 각각은 기능은 서로 연계되어 있다. 가장 중요한 기능인 현장조사 수행기능은 교량수준 및 부재수준에서 상태등급을 변경하거나 사진 촬영 및 점검자의 의견을 반영할 수 있도록 하였다. 또한 문제(손상, 파손 등)가 있는 부분에 대한 등급을 변경하거나 손상사진을 촬영하거나 손상유형을 선택할 수 있도록 하였다. 이러한 작업은 텍스트의 입력을 최소화하고 터치에 의한 선택만을 통해 가능하도록 하였다. Table 3은 MABI의 세부 기능을 간략히 설명하고 있다.

Table 3. Function of MABI

Function	Contents
Searching	Searching the target bridge based on map and text
Information access	Inquiry specific information of the target bridge
Surveying	Surveying the conditions and damages, Selection of repair and rehabilitation
Location modifying	Modifying the location error on the map
Uploading	Optional uploading by realtime or communication environment
User authorization	Certification system connecting with BMS and smart device
Setting	Update cycle, Change password

4.3 프로그램의 개발환경

MABI는 안드로이드 OS(Android Operating System)를 기반으로 하였고, 개발환경은 Table 4와 같다. Fig. 4는 MABI를 구성하고 있는 논리적 데이터베이스 구성도

를 나타내고 있다. 조사대상 교량정보와 각 대상교량별로 존재하는 손상조사정보와 부재별 전경사진, 손상사진 등의 사진정보를 관리하기 위한 데이터베이스로 구성되었다. 또한 현장에서 통신상태의 불안정 등으로 BMS 서버와 실시간 연동될 수 없는 오프라인 상황에서도 현장조사를 할 수 있도록 스마트폰 단말기에 동일한 데이터베이스를 탑재하였다.

Table 4. Development environment of MABI

Classification	Used program or tools	Version
Tool	ADT package (Eclipse + Android SDK)	23.0.2
language	Java	1.6
SDK	Android SDK	24
BASE	Android Kitkat	4.4.2
Operating systems	Android Gingerbread ~ lolipop	2.3~5.0
Development equipment	Samsung galaxy note3	

Target Bridge

Plan Year	Project Number	Bridge Number	Extension Classification
Inspection Completion Status	Location Modifying Status	X-Coordinate	Y-Coordinate
Total Rating	Maintenance Urgency	Deck	Girder
Secondary Members	Abutment/Pier	Foundation	Bearing
Expansion Joint	Pavement	Drainage	Guardrail/Curb
Inspection Opinion	Inspection Classification	Inspector	Deck Inspection Opinion
Girder Inspection Opinion	Secondary Members	Inspection Opinion	Abutment/Pier
Foundation Inspection Opinion	Bearing Inspection Opinion	Expansion Joint Inspection Opinion	Drainage Inspection Opinion
Guardrail/Curb Inspection Opinion	Deck Countermeasure	Secondary Members Countermeasure	Abutment/Pier Countermeasure
Foundation Countermeasure	Bearing Countermeasure	Expansion Joint Countermeasure	Pavement Countermeasure
Drainage Countermeasure	Guardrail/Curb Countermeasure	Usage Status(Use or Not)	Input Date
Last Update	User ID	Modified IP	Etc.

Target Bridge Inspection

Plan Year(FK)	Project Number(FK)	Bridge Number(FK)	Extension Classification(FK)
Span Number	Detail Members	Damage Code	Damage Order
Damage Code Name	Damage Ratio	Damage Rating	Damage Opinion
Countermeasure Code	Countermeasure Code Name	Countermeasure Ratio	Maintenance Urgency Rating
Countermeasure Opinion	Inspection Classification	Usage Status(Use or Not)	Input Date
Last Update	User ID	Modified IP	Etc.
Span Number(FK)	Detail Members(FK)	Damage Code(FK)	Damage Order(FK)
Photo Number	Project Number(FK)	Bridge Number(FK)	Extension Classification(FK)
Management Agency	Management Office	Extension	Title
Inspection Classification	Usage Status(Use or Not)	Input Date	Last Update
User ID	Modified IP	Etc.	

Inspection Plan Photo

Fig. 4. Database configuration

5. 교량 현장조사 적용성 분석

MABI의 적용성을 고찰하기 위하여 실제 교량을 대상으로 다수의 현장조사를 수행하였다. 이를 통해 웹

(web) 상의 BMS와 모바일 상의 MABI의 연계성을 확보하고, MABI의 사용성을 개선하였다. Table 3에서 제시한 주요 기능에 따라 실교량의 적용 사례와 분석 내용을 기술하였다.

5.1 교량 정보 및 위치 검색

MABI는 BMS 서버와 통신하여 원하는 교량에 대한 기본 정보들을 조회할 수 있다. MABI의 초기화면(Fig. 5(a))에서 지도에 교량이 표출되도록 하거나(Fig. 5(b)) 텍스트 검색을 활용하여(Fig. 5(c)) 대상 교량을 선택한 후 관리정보, 기관/위치정보, 제원/설계/구조형식 정보 등을 조회할 수 있다(Fig. 5(d)). 따라서 현장조사를 수행하기 위하여 사전 정보 조사 등 준비 작업이 필요 없이 언제 어디서나 현장조사를 계획하고 시작할 수 있다.



Fig. 5. Search for information and location of bridges
(a) initial screen (b) map searching (c) text searching (d) inquiry bridge information

5.2 교량조사

5.2.1 조사교량 선택 및 조사이력 보기

지도 또는 텍스트 검색을 통해 현장조사를 수행하고자 하는 교량을 선택하면 아이콘이 반전되면서 해당교량의 기본정보를 확인할 수 있다(Fig. 6(a)). 기존의 수행된 해당교량의 조사이력을 조회하거나 불필요한 조사이력을 삭제할 수 있다(Fig. 6(b)).



Fig. 6. Target bridge selection and survey history check
(a) target bridge selection (b) survey history check

5.2.2 상태등급 및 손상 조사

MABI의 가장 중요한 기능인 조사수행은 현장의 상황에 적합하게 조사수준을 교량수준, 부재수준, 경간/지점별 부재수준의 3단계를 선택적으로 수행할 수 있다. 신규건설 등으로 인해 전반적으로 양호한 상태이면 교량의 대표등급을 결정하는 수준에서 점검을 수행한다. Fig. 7(a)와 같이 해당교량 전체 수준에서 등급을 선택하고 보수등급도(지속관찰, 보수계획, 보수시급, 즉시조치, 통행제한)를 결정한다. 한편 소규모 교량과 같이 경간구성이 단조로운 교량은 개별 경간별로 점검을 수행하기보다는 각 대표부재 수준에서 등급을 결정하고 조사의견과 조치방법을 결정하는 것이 합리적이다. 따라서 Fig. 7(b) 같이 부재별등급 메뉴를 두어 조사결과를 입력하도록 하였다.

정기점검을 위한 현장조사의 주목적이 손상의 발견에 있으며, 다경간 교량은 경간별 또는 지점별로 손상의 종류 및 대응방법이 다양하므로 경간 및 지점별로 세부적인 손상조사가 필요하다. 경간/지점별 조사는 Fig. 7(c)와 같이 해당 경간 또는 지점을 구성하고 있는 대표부재

만이 표시된다. 해당 교량은 라멘 형식의 교량으로 바닥판, 신축이음 등이 존재하지 않으므로 해당 부재는 반전되어 표시되지 않는다. 육안 점검을 통해 손상이 발견된 부재를 선택하면 Fig. 7(d)와 같이 손상조사를 수행할 수 있는 화면이 나온다. 선택된 부재의 Table 2에서 정의된 손상형식이 기본적으로 제공되어 선택할 수 있으며, 기타 의견을 입력할 수 있다. 또한 선택된 부재물량 전체에 대한 해당 손상의 비율을 입력할 수 있도록 하였다. 다음으로 해당손상별로 정의된 보수보강공법을 선택하고 비율을 입력할 수 있다. 입력된 보수보강 비율은 예산산정의 기초자료로 활용된다.

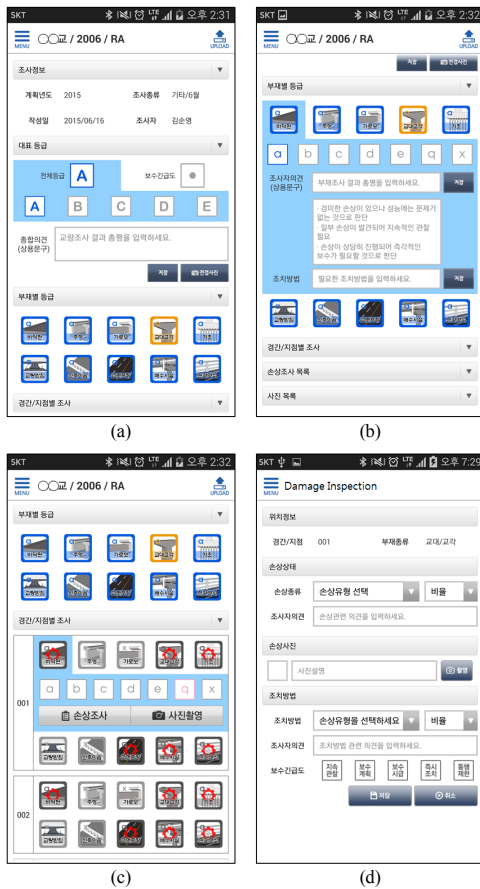


Fig. 7. Inspection of bridge condition and damage
(a) bridge-level inspection (b) members-level inspection (c) span and member selection (d) damage inspection in spans and members

Fig. 8(a)는 1경간 바닥판을 선택하고 찍은 하부 균열에 대한 손상사진을 나타내고 있으며, Fig. 8(b)는 전경

사진을 비롯해 해당사진이 객체정보와 연계되어 저장되고 있는 것을 알 수 있다. 사진뿐만 아니라 작성한 조사 의견들은 현장조사 보고서 출력 시에 반영 될 수 있도록 하였다.

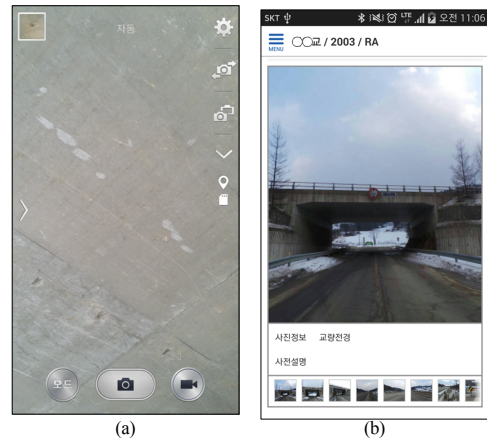


Fig. 8. MABI's functional implementation Cases
(a) photo of damaged area (b) objectified bridge photo information

5.3 현장조사 보고서 작성

MABI를 활용하여 수행한 조사결과는 인터넷기반 BMS 서버로 실시간 또는 사용자 업로드를 통해 저장된다. Fig. 9와 같이 개별 교량의 조사결과는 모바일 환경과 유사한 형태로 저장된다. 조사 결과는 조회, 편집, 다수결과의 통합 기능 등을 통해 모든 이력이 저장되며, 최종적인 보고서를 생성할 수 있다. 리포팅 툴을 이용하여 조사이력을 바로 출력하거나 한글, 엑셀, pdf 등 별도 문서파일로 저장하여 편집 후 출력이 가능하다.



Fig. 9. Field inspection report(on screen)

5.4 MABI 효율성 분석

MABI의 현장 적용성뿐만 아니라 기존방법 대비 효율성을 비교하기 위한 분석을 수행하였다. 실제 교량 점검 담당자 5인을 대상으로 기존방법에 따른 교량 개소(평균 연장 100m)당 소요시간에 대한 설문조사를 수행하였다. 개소당 평균 2.33시간이 소요되며, 내업과 외업으로 구분하면 57:43의 비율로 분석되었다. 응답자를 대상으로 MABI를 활용하여 점검을 수행한 후 동일한 설문조사를 수행하였다. 소요시간은 약 43%가 감소하였으며, 내업과 외업의 비율은 37:63로 내업의 감소 비율이 높은 것으로 분석되었다.

단순한 시간적 효율성을 넘어 MABI의 도입 전후 현장조사 방법의 변화에 따른 효과를 정량적으로 평가하기 위하여 담당자에 대한 의견조사를 통해 Table 5와 같이 총 5가지 평가 항목을 정의하였다. 또한 각 항목별 중요도를 선정하기 위해 AHP(Analytical Hierarchy Process) 분석을 통해 가중치를 결정하였다. 가중치 분석 결과 쌍대비교행렬을 통해 산정한 일관성비율(Consistency Ratio)은 0.004로 적합하며, 효율성이 100이라 가정했을 때 편의성은 61.7, 정확성은 37, 지속성은 22.5, 활용성은 13.9의 가중치를 갖는 것으로 분석되었다.

기존방법과 신규방법의 상대적 가치를 분석하기 위해 정량적인 평가가 가능한 효율성을 제외하고, 정성적인 평가만 가능한 나머지 항목은 기존방법을 보통(5점)으로 가정하였을 때 가치의 증감(0점~10점)으로 평가하였으며, Table 5 및 Fig 10과 같이 평가되었다. MABI를 이용한 새로운 방법이 직접적인 시간가치 측면에서는 43% 우수하며, 편의성, 정확성 등 다른 인자를 고려하는 경우 53%의 상대적 가치 향상 효과가 있을 것으로 기대할 수 있다.

Table 5. Weight & relative value of evaluation items

Item	Contents	Weight	Relative value	
			As-is	To-be
Effectiveness	Time savings	43	5	7.2
Convenience	Realtime, Usability, Satisfaction	26	5	8.6
Accuracy	Prevent data input error and omission	16	5	6.0
Durability	Prevent missing information	10	5	8.8
Utilization	Usage of big data analytics	6	5	9.8
Avg. of relative value		-	5	7.7
Relative proportion		-	1	1.53

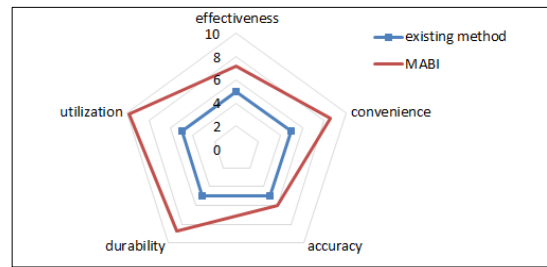


Fig. 10. Value comparison of existing and new method

6. 결론

교량의 안전하고 효과적인 관리를 위한 기본이 되는 교량 관리자의 현장조사 수행에 소요되는 비용 및 시간을 절감하고, 수집데이터의 신뢰성을 증진시키기 위하여 스마트폰 응용프로그램(MABI)을 개발하였다. 기존의 현장점검 방법의 한계와 문제점을 분석하여 실제적으로 가치 있는 정보의 수집·축적을 위하여 모든 정보가 교량 객체기반으로 구성되어 있는 교량관리시스템(BMS)과 실시간 연계하여 개발하였다.

점검하고자하는 교량의 기본정보와 위치를 조회·수정하고, 해당 교량의 선택된 부재에 대한 손상 종류를 연계하고 사진 정보를 획득하도록 하였다. 또한 해당 손상에 대응하는 보수보강 공법을 손쉽게 연계 선택할 수 있도록 하였다. 이러한 과정은 직관적인 사용자 인터페이스를 통해 이루어져 전문성이 미흡한 담당자도 정보의 체계적이고 신뢰도 높은 수집이 가능하도록 하였다.

점검 결과는 BMS의 서버와 연계되어 결과보고서가 자동 작성되도록 하여 현장조사 후 추가적인 내업이 불필요하도록 하는 등 업무의 시간을 현격하게 감소시켜 기존 방식 대비 약 43%의 시간 절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 편의성, 정확성 등의 향상, 정보의 지속가능성, 향후 활용성 등 직간접적으로 기대되는 상대적 가치향상은 53%에 이를 것으로 분석되었다.

또한 MABI의 활용을 통해 실제적인 현장 점검의 수행여부를 파악할 수 있고, 보다 효율적인 점검이 수행되도록 다양한 정보지원이 가능하여 교량 관리 수준 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다. 한편 MABI를 통해 체계적으로 축적된 정보를 바탕으로 향후 빅데이터분석을 통한 손상추정, 수명추정 등 보다 효율적인 교량 유지관리를 위한 정보 분석이 가능할 것으로 판단된다.

References

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), *Yearbook of Road, Bridge and Tunnel Statistics 2015*, 2015.
- [2] American Society of Civil Engineers (ASCE's), *2013 Report Card for America's Infrastructure*, 2013.
- [3] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), Infrastructure Development Council, *Recommendations on the Implementation of the Measures for Aging Road*, 2014.
- [4] Hoon Kim, Jong-Kwon Lim, Sang-Ro An, "It is Time to Take an Interest in Asset Management of Infrastructure", *The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 62, No. 4, pp.10-19, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2014.18.2.010>
- [5] Kyung-Hoon Park, Jae-Joon Song, Yoon-Koog Hwang, "Bridge Management System considering Life-Cycle Cost and Performance of Bridges", *The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 62, No. 6, pp.10-15, 2014.
- [6] Brent M. Phares, Glenn A. Washer, Dennis D. Rolander, Benjamin A. Graybeal, and Mark Moore, "Routine Highway Bridge Inspection Condition Documentation Accuracy and Reliability", *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, Vol. 9, No. 4, pp.403-413, 2004.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2004\)9:4\(403\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2004)9:4(403))
- [7] Je-Keun Oh, Giho Jang, Semin Oh, Jeong Ho Lee, Byung-Ju Yi, Young Shik Moon, Jong Seh Lee, Youngjin Choi, "Bridge inspection robot system with machine vision", *Automation in Construction*, Vol. 18, pp.929-941, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2009.04.003>
- [8] American Association of State Highway and Transportation (AASHTO), *Manual for Bridge Element Inspection*, 2013.
- [9] Eun-Jin Kim Soo-Jin Cho Sung-Han Sim, "A Recent Research Summary on Smart Sensors for Structural Health Monitoring", *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol. 19, No. 3, pp.10-21, 2015
DOI: <http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2015.19.3.010>
- [10] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), *Detailed Guidelines of Safety Inspection and Precision Safety Diagnosis*, 2010.
- [11] Korea Expressway Corporation, *Facility Inspection Manual*, 2013.
- [12] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT), *Development of Bridge Management System considering Life-Cycle Cost*, 2012.
- [13] Zanyar Mirzaei, Bryan T. Adey, Leo Klatter, and Jung S. Kong, *Overview of existing bridge management system*, Bridge Management Committee, IABMAS, 2012.

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 구조융합연구소 수석연구원

<관심분야>

교량공학, 기반시설생애주기관리

선 종 완(Jong-Wan Sun)

[정회원]



- 2004년 2월 : 한양대학교 대학원 토목환경공학과 (구조공학석사)
- 2010년 8월 : 한양대학교 토목공학과 (구조공학박사)
- 2008년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 구조융합연구소 연구원

<관심분야>

기반시설생애주기관리, 구조신뢰성