

# 교량정보모델 기반의 설계정보와 XML 기반의 문서정보 통합

## Integration between XML-based Document Information and Bridge Information Model-based Structural Design Information

정연석\* · 김봉근\*\* · 정원석\*\*\* · 이상호\*\*\*\*

Jeong, Yeon-Suk · Kim, Bong-Geun · Jeong, Won-Seok · Lee, Sang-Ho

### ABSTRACT

This study provides a new operation strategy which can guarantee the data consistency of engineering information among the various intelligent information systems. We present the strategies for the operation of bridges engineering information and the construction methodology of integrated database. The two core standard techniques are adopted to construct the integrated database. One of these standards is the Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP) for CAD/CAE information and the other is the Extensible Markup Language (XML) for engineering document information. This study can transform a document file into a data type for web-based application modules which assist end-users in searching and retrieval of engineering document data. In addition, relaying algorithm is developed to integrate the two different information, e.g. CAD/CAE information and engineering document information. The pilot application modules for management and maintenance of existing bridge are also developed to show application of the strategy.

**Keywords:** bridge, engineering information, data consistency, operation strategy, STEP, XML

### 1. 서론

지능형 모니터링체계, 생애주기비용관리체계, 자산관리체계, 방재 및 안전관리체계와 같은 각종 의사결정지원 정보시스템을 구축하기 위한 연구가 교량, 터널과 같은 교통망을 구성하는 토목 구조물을 대상으로 활발히 수행되고 있다(Reda와 Lucero, 2005; Stewart, 2001; Uddin과 Engi, 2002). 이러한 각 정보시스템의 의사결정체계에서 필요한 정보는 구조물의 도면정보, 구조해석모델링 정보, 상태 및 성능평가 정보와 같은 구조공학 정보와 연계되기 때문에 교량 설계정보 운용체계 또한 다양한 시스템 체계에서 공통적으로 활용될 수 있도록 개선되어야 한다. 최근 주요 공공기관에서 구축된 설계도서관리체계는 설계정보를 문서파일 또는 도면파일 단위로 관리하기 때문에 각종 의사결정 지원을 위한 정보시스템에 직접 정보를 전달하기에는 부적

\* 정희원 · 연세대학교 토목공학과 박사 후 과정 E-mail: ysjstep@csem.yonsei.ac.kr

\*\* 정희원 · 연세대학교 토목공학과 박사과정 E-mail: bgkim@csem.yonsei.ac.kr

\*\*\* 연세대학교 토목공학과 석사과정 E-mail: 132jws@csem.yonsei.ac.kr

\*\*\*\* 정희원 · 연세대학교 토목공학과 교수 E-mail: lee@yonsei.ac.kr

합하다. 따라서 지능화된 여러 시스템에서 필요한 교량의 엔지니어링 정보를 공통으로 활용하기 위해서는 가장 핵심이 되는 CAD/CAE 정보와 엔지니어링 문서정보를 교량의 공용기간 동안 일관성을 유지하면서 운용할 수 있는 전략수립과 이를 지원하는 데이터베이스 및 응용시스템이 개발되어야 한다.

교량 정보모델을 기반으로 수행한 연구로, Yabuki와 Shitani(2003)는 IFC 모델을 확장하여 콘크리트 슬래브교를 대상으로 정보모델을 구성하고 철근배근의 간섭체크와 같은 설계업무에 적용하였다. 또한 IAI에서는 IFC2x2를 기반으로 확장한 교량 데이터모델 개발 1단계 작업을 완료하여 IFC BRIDGE 모델을 공개하였다. 국내의 경우 Lee와 Jeong(2006)이 STEP을 기반으로 한 강교량 정보모델 개발하고 응용하기 위한 연구를 수행하여 교량 구조물의 CAD/CAE 정보를 통합운용 할 수 있는 기반을 마련하였다. 또한 Lee 등(2004)은 XML 기술을 이용하여 IFC 기반 제품정보모델이 연계된 엔지니어링 문서정보모델의 프레임워크를 제시함으로써 실무에서 작성된 엔지니어링 문서정보를 표준화된 데이터베이스에 저장하는 과정을 자동화할 수 있는 기반을 제공하였다.

본 연구는 교량 유지관리 단계동안 일관성 있는 엔지니어링 정보체계를 유지하면서 다 정보시스템에서 활용 가능한 정보운영체계를 설계하고 이를 지원할 수 있는 통합 데이터베이스를 구축하는 방법론을 제시하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 본 연구에서는 선행연구결과를 바탕으로 STEP 기반의 교량정보모델과 XML 기반의 엔지니어링 문서정보모델을 확장개발하고 이 둘을 연계한 통합정보모델을 구성하였으며, 구축된 정보 모델에 따라 3차원 형상을 포함하는 CAD/CAE 정보와 실무에서 작성한 문서정보를 데이터베이스로 구축할 수 있는 응용모듈들을 각각 개발하였다. 또한 개발된 응용모듈을 이용하여 한강상의 교량인 한남대교를 대상으로 시범 데이터베이스를 구축함으로써 그 적용성을 검증하였다.

## 2. 통합운영체계 설계 및 요소기술

### 2.1. 엔지니어링 정보 통합운영을 위한 프레임워크

교량의 유지관리를 위한 정보시스템은 매우 다양하며, 이들의 근간을 이루는 데이터베이스 스키마는 각각의 의사결정 지원체계에 이용되는 이론적 배경에 매우 의존적이므로 새로운 이론 및 기술개발에 따라 가변적일 수밖에 없다. 반면 교량의 설계정보는 각 정보사이의 상관관계가 매우 복잡하기는 하지만 표준화를 통해 일정한 범위 안에서 대상 시설물에 대하여 명확한 데이터체계를 가질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 교량 유지관리를 위한 정보체계를 그림 1과 같이 지능형 정보시스템체계와 엔지니어링 정보체계로 분리하여 엔지니어링 정보체계는 독립적으로 개발·운영될 수 있도록 하였다.

지능형 의사결정모듈은 해당 도메인에 대한 분석기법의 합리성을 높이기 위해 각 시스템 도메인에 대한 데이터베이스를 수정·갱신할 수 있으나 엔지니어링 정보는 참조만 할 수 있으며, 수정·갱신 등의 권한은 가질 수 없도록 설정하였다. 대신 교량의 설계정보는 구조물의 점검, 진단, 보수, 보강 등 대상 구조물 자체의 정보가 업데이트되거나 변경되는 업무수행결과에 따라 수정·갱신할 수 있다. 교량 설계정보 운용체계는 CAD/CAE 정보 및 엔지니어링 문서정보를 저장하는 저장소와 저장소의 정보를 생성·수정·갱신하기 위한 응용 모듈로 구성하였다. 이들은 모두 전체 시스템의 유연성과 세부 응용모듈의 독립성을 확보하기 위해 개방형 표준기술을 기반으로 개발되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 STEP과 XML을 각각 CAD/CAE 정보와 엔지니어링 문서정보를 위한 표준기술로 선택하였다. 이는 많은 상용 CAD/CAE 프로그램이 STEP 표준을 지원하고 있으며, XML은 플랫폼에 독립적이면서 DTD의 단점을 상당부분 개선하여 객체지향 응용모듈 개발과 웹 기반 문서정보 운용에 효과적이기 때문이다.

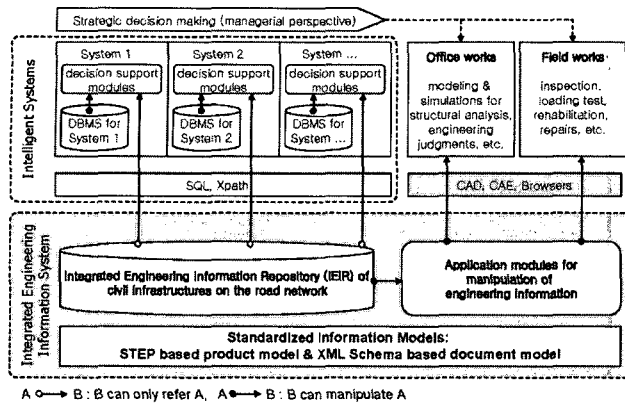


그림 1 엔지니어링 정보 통합운용 개념도

## 2.2. 통합 데이터베이스 구축을 위한 정보모델

본 연구는 CAD/CAE 정보와 엔지니어링 문서정보를 표현하기 위해 앞서 수행된 강교량정보모델(Lee와 Jeong, 2006)과 설계문서정보모델(Lee 등, 2004)에 관한 연구결과를 확장·개발하고 두 개의 정보모델을 통합하였다. 특히 교량의 슬래브와 교각 등 일부 정형화되지 않는 형상을 모델링하기 위한 엔티티를 추가함으로써 기존의 강교량정보모델을 확장하였다. 또한 기존의 설계문서정보모델은 설계문서정보를 웹을 통해 운용하기 위한 문서정보모델의 프레임워크 차원에서 필요한 요소들을 제시한 것으로서 세부적인 엔지니어링 문서 항목에 대하여는 그 스키마가 구축되지 않았다. 그러나 본 연구에서는 구조계산서의 정보와 CAD/CAE 정보의 연관성이 매우 높기 때문에 구조계산서를 시범 적용 대상으로 선택하여 세부 요소를 추가로 정의하고 시범적인 통합운용 체계를 구축하고자 하였다. CAD/CAE 정보와 문서정보의 통합운용사례는 4장에 설명하였다. 그림 2는 교량정보모델과 문서정보모델이 통합된 최상위레벨에서의 정보모델을 나타낸 것이다.

교량정보모델은 그림 2의 하단에 나타난 바와 같이 6개의 서브모델로 구성되어 있다. Project는 프로젝트의 일반적인 개요정보와 교량의 개요정보를 표현한다. Bridge Component는 교량 구조물을 구성하는 주요한 설계요소를 정의한다. 주요한 설계요소는 크게 휨, 전단 및 압축에 주로 저항하도록 설계된 주부재 요소와 주부재간의 브레이싱을 위한 요소로 구성되며 두개의 각 요소가 세분화되어 구조물의 부재정보를 표현한다. Bridge Member와 Shape & Section Property는 각각 요소별로 세분화된 부재들의 상세설계정보와 기하형상을 포함하는 부재의 단면특성들을 나타낸다. Joint System은 구조물의 접합부를 표현한 것으로서 용접에 의한 접합방법과 볼트와 같은 기계적 접합방법에 의한 정보를 포함한다. Material은 구조물의 부재에 사용되는 재료의 특성을 정의하는 모델로서 강재와 콘크리트 및 사용자 정의에 의한 재료의 물성값을 표현한다.

설계문서정보모델은 그림 2의 상단과 같이 크게 3개의 서브모델로 구성하였다. Representation Items는 문서정보를 웹 브라우저에 표현하기 위한 속성정보이며, Common Document Information은 문서의 일반정보와 그 구성체계에 대한 정보를 표현한다. Document Contents는 각 문서의 내용을 정의한 것으로서 설계실무에서 작성된 여러 문서구조를 bdDocumentElement 하위로 객체화하여 문서별로 구성할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 이와 같이 CAD/CAE 정보와 문서정보를 정보모델 차원에서 하나로 통합하였으나 실제로 상호간의 정보가 이용되는 특성은 서로 다르다. CAD/CAE 정보의 경우 실무에서는 CAD/CAE 응용 프로그램 수준에서 정보가 운용되지만 문서의 경우 사용자가 직접 정보를 작성하고 수정하는 등 명시적 형태로 운용된다. 따라서 본 연구에서는 CAD/CAE 응용모듈과 문서정보 운용을 위한 웹 기반 응용모듈 개발을 효율

적으로 진행하기 위해 하나의 정보모델이기는 하지만 별도의 데이터베이스 체계로 구축하였다. 이에 따라 그림 2에 나타난 바와 같이 CAD/CAE 정보와 설계문서정보는 mapping\_table에 의해 연계될 수 있도록 하였으며, mapping\_table의 구성은 표 1과 같다. 표 1에 나타난 바와 같이 본 연구에서는 연계모듈을 개발하는데 있어서 설계문서모델의 요소와 교량정보모델의 엔티티사이의 연관성을 나타내는 정보로 교량명, 구조시스템, 교량의 구성요소 및 부재에 관한 정보를 정의하였다. 두 정보모델간의 연계를 위한 응용모듈 개발 알고리즘은 4장에 보다 자세히 설명하였다.

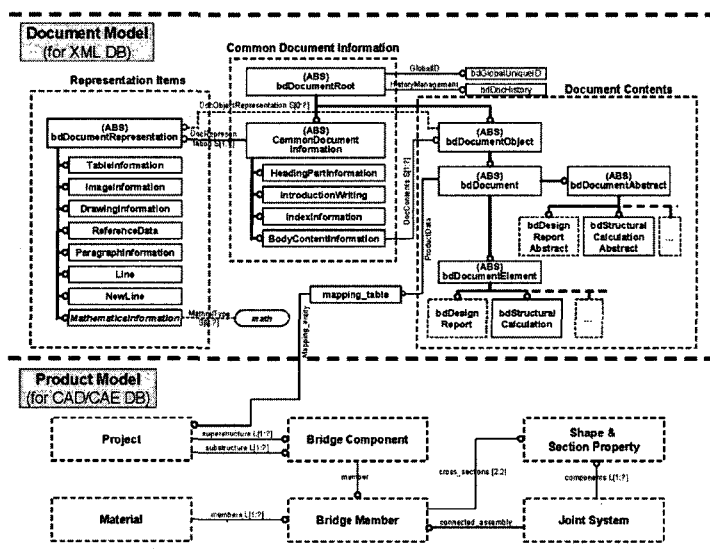


그림 2 교량 엔지니어링 통합 정보모델의 최상위 레벨

표 1 구조계산서 문서정보모델과 교량정보모델 간의 매핑관계

semantic terms	XML-based Document Model		STEP-based Bridge Information Model	
	element name	subelement name/ attribute name	entity name	attribute name
bridge name	CommonDocumentInformation	BridgeName	bridge_outline	bridge_name
structural system	IndexInformation	StructuralSystemName	bridge_component	name
bridge components	StructuralComponent	(ComponentType)	bridge_member	structural_type
bridge members	SectionProperties	(SectionName)	shape	name

### 3. 통합운영체계 설계 및 요소기술

#### 3.1. 통합운영 시범 시스템의 구성

본 연구에서 구축한 시범 시스템의 주요구성은 그림 3과 같다. 교량의 설계정보를 저장하는 저장소는 크게 문서정보를 저장하고 운용하기 위한 데이터베이스와 CAD/CAE정보를 저장하고 운용하기 위한 데이터베이스

이므로 구분된다. XML 문서정보는 문서파일 자체를 데이터베이스와 같이 프로그램에서 활용할 수 있으나 본 연구에서는 보안성과 접근성 측면에서 보다 효과적인 데이터베이스 형태로 운영하는 방식을 채택하였다. 또한 XML 문서정보를 데이터베이스 형태로 운영함에 있어 본 연구에서는 XML 구조체를 유지하면서 문서정보를 운용할 수 있는 Berkeley DB XML(Sleepycat Software, 2005)을 선택하였다. Berkeley DB XML은 native XML DB 엔진으로서 응용모듈에서 XML 데이터의 생성, 수정 및 갱신 등과 같은 문서정보운용을 위해 필요한 라이브러리를 제공하며, Sleepycat Software사의 홈페이지에서 무상으로 제공된다. 교량의 CAD/CAE정보를 저장하는 데이터베이스는 Oracle을 이용하였다. 각각의 데이터베이스에 저장된 엔지니어링 정보는 SQL과 XQuery를 통해 접근할 수 있다.

구조물의 엔지니어링 정보를 이용하는 사용자는 웹 브라우저를 통해 문서정보와 3차원 형상정보를 기반으로 하는 교량설계정보 또는 구조해석정보에 직접 접근할 수 있다.

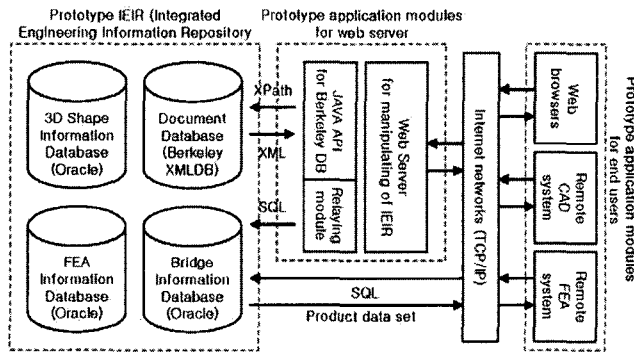


그림 3 엔지니어링 정보 통합운영을 위한 아키텍처

### 3.2. 문서정보 운용을 위한 응용모듈의 구성

구조계산서 문서정보 운용을 위한 응용모듈은 그림 4와 같이 XML 문서 생성기(XML Document Generator), 문서정보와 CAD/CAE 정보를 연계하기 위한 중계모듈(Relaying Module) 그리고 이 둘의 자원을 이용하여 문서정보의 웹 서비스를 총괄하는 통합서버페이지(Integrated Server Pages)로 구성하였다.

XML 문서 생성기는 설계실무에서 작성된 엔지니어링 문서정보를 본 연구에서 정의한 문서정보모델에 따른 XML 문서파일로 변환한다. 실제 설계실무에서는 일반적으로 워드프로세서나 스프레드시트와 같은 문서작성 프로그램을 이용해 왔기 때문에 새로운 XML 정보모델에 따른 XML 문서작성이 용이하지 않다. 따라서 본 연구에서는 설계문서 원본의 목차와 주요 설계변수 및 해당 값에 [a], [b]와 같은 템플릿을 표기하여 텍스트 형식으로 저장한 파일을 서버에 업로드 하는 과정만으로 XML 문서를 생성할 수 있도록 하였다.

중계모듈은 문서정보모델의 요소와 교량정보모델의 각 엔티티 간의 관계를 정의한 매핑 라이브러리(Mapping Library)와 관계형 데이터베이스에 저장된 CAD/CAE 정보를 검색·조회하기 위한 SQL 구문 생성기(SQL Generator)로 구성된다. EXPRESS 언어로 정의된 교량정보모델을 ST-Oracle을 이용하여 데이터베이스 스키마를 구축하는 경우 교량정보모델의 각 엔티티와 관련된 테이블들 이외에 oid\_mapping 테이블이 생성된다. 이 oid\_mapping 테이블은 Oracle 데이터베이스 내에 저장된 전체 엔티티에 대한 고유 id 번호를 가지는 oid\_key 필드와 해당 엔티티명을 값으로 가지는 entity\_type 필드를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 oid\_mapping 테이블의 정보와 표 1에서 정의한 매핑 테이블 정보를 이용하여 구조계산서에 명시된 각 부

제의 단면정보와 CAD 응용모듈을 통해 생성된 형상정보를 연계시키는 알고리즘을 함수로 구현한 매핑 라이브러리를 개발하였다. SQL 구문 생성기는 매핑 라이브러리가 CAD/CAE 데이터베이스의 정보를 조회하기 위한 SQL 구문을 생성하는 함수이다.

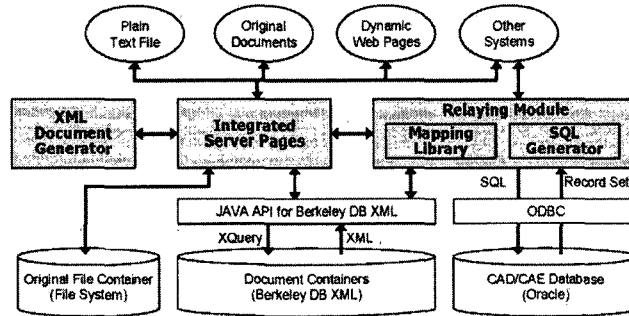


그림 4 웹 서비스를 이용한 문서정보 운용모듈 구조

#### 4. 엔지니어링 정보 통합운용을 위한 응용모듈 구현 사례

본 장에서는 한남대교를 대상으로 구조계산서 정보를 데이터베이스로 구축하기 위한 응용모듈의 구현사례와 한남대교 구조계산서에서 정의된 교량부재의 단면정보와 CAD 응용모듈로 모델링된 단면정보의 일치성을 자동으로 체크하는 응용모듈의 구현사례를 설명하였다. 교량 엔지니어링 문서정보의 운용모듈은 웹 서버를 통해 사용자에게 제공된다. 따라서 사용자는 인터넷이 연결되는 곳에서는 시간과 장소의 구애를 받지 않고 교량의 문서정보를 데이터베이스로 저장하고 필요시 검색·조회할 수 있다.

그림 5(a)는 3.2절에서 설명한 템플릿 표기과정을 거친 한남대교 구조계산서의 설계정보와 해당 목차정보를 자동으로 추출하는 XML 문서 생성기의 구동화면으로서 한남대교 NMI 구간 마다판 중앙에서의 활차중에 의한 휨모멘트값을 나타낸다. XML 문서 생성기를 통해 추출된 구조계산서의 세부 문서정보는 XML 파일로 저장되며 Berkeley DB XML에서 제공되는 라이브러리 함수를 이용하여 데이터베이스에 저장된다.

특히, 본 연구에서 개발한 문서정보 운용모듈은 설계실무에서 작성된 엔지니어링 문서정보에 기입된 단면제원과 교량정보모델을 기반으로 한 CAD 정보를 연계하여 상호 정보의 일치성 여부를 검토하는 기능을 부가적으로 제공한다. 이를 위한 알고리즘은 표 1의 매핑 테이블과 ST-Oracle을 통해 생성된 oid\_mapping 테이블을 이용하여 다음과 같이 구현하였다.

① 문서정보의 CommonDocumentInformation 요소의 BridgeName에 정의된 교량명과 교량설계정보의 bridge\_outline에 정의된 bridge\_name을 비교하여 해당교량에 대한 bridge\_id를 취하고 이와 매핑되는 교량설계정보의 oid\_key를 oid\_mapping 테이블에서 취한다.

② ①에서 취한 oid\_key를 조건으로 oid\_mapping 테이블의 entity\_type중 bridge\_component와 관련한 oid\_key를 취하고 이를 조건으로 문서정보의 IndexInformation 요소의 StructuralSystemName에서 정의된 구조시스템명과 교량설계정보의 bridge\_component의 name에 정의된 구조시스템명을 비교하여 일치되는 bridge\_component\_id를 다시 취한다.

③ ②에서 취한 bridge\_component\_id를 조건으로 문서정보의 StructuralComponents 요소의 속성인 ComponentType에서 정의된 교량 구성요소명과 oid\_mapping 테이블의 entity\_type을 비교하여 일치되는



## 5. 결 론

본 연구에서는 교량 유지관리를 위한 여러 시스템을 효과적으로 지원하기 위한 데이터베이스 기반의 교량 설계정보 운영체계를 설계하였다. 그리고 이를 지원하기 위한 STEP 기반의 교량정보모델과 XML 기반의 엔지니어링 문서정보모델을 연계한 통합 데이터베이스 구축 방법론과 응용모듈을 개발하였으며, 한강에 위치한 한남대교의 설계정보를 데이터베이스로 구축하여 개발된 응용모듈의 적용성을 검증하였다. 본 연구 수행을 통한 결론은 다음과 같다.

첫째, 교량의 설계정보는 크게 컴퓨터 응용 프로그램 수준에서 묵시적인 형태로 다루어지는 CAD/CAE 정보형태와 사용자에게 명시적으로 표현하기 위한 문서형태로 활용된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 각각의 정보형태를 효과적으로 지원하기 위해 CAD/CAE 정보형태는 STEP 기반의 교량정보모델을 이용하였으며, 문서정보형태는 XML 기반의 엔지니어링 문서정보모델을 이용하였고 이 둘 사이의 매핑관계를 설정하여 연계함으로써 각각의 정보형태에 적합한 응용 프로그램을 모듈화할 수 있었다.

둘째, 본 연구에서 구축한 통합 데이터베이스는 교량의 CAD/CAE 정보와 엔지니어링 문서정보가 별도의 형태로 운영되나 이 둘의 매핑관계 설정만으로 정보의 일치성을 비교할 수 있는 시범 응용모듈을 개발할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 설계한 데이터베이스형태로 운용되는 설계정보 운용체계가 데이터에 접근이 어려운 파일형태로 관리하는 체계보다 설계정보의 활용성 확보 측면에서 우수함을 알 수 있다. 따라서 교량 유지관리를 지원하기 위해 구축되는 여러 지능형 정보시스템에서도 표준기술을 기반으로 본 연구에서 구축한 설계정보체계와의 인터페이스 모듈설계만으로 교량설계정보를 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 실시한 건설핵심기술연구개발사업(교량설계핵심기술연구단)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- Lee, S.-H. and Jeong, Y.-S. (2006) A system integration framework through development of ISO 10303 based product model for steel bridges, *Automation in Construction*, Vol. 15, No. 2, pp. 212-228.
- Lee, S.-H., Kim, B.-G., Jeong, Y.-S., and Kang, H.T. (2004) The bridge design process with web-based documents, *Proceedings of the Third International Conference on Advanced in Structural Engineering and Mechanics*, Seoul, Korea, CD-ROM paper, pp. 1198-1204.
- Reda, M.M. and Lucero, J. (2005) Damage identification for structural health monitoring using fuzzy pattern recognition, *Engineering Structures*, Vol. 27, No. 12, pp. 1774-1783.
- Sleepycat Software (2005) *Getting started with Berkeley DB XML for Java*, Sleepycat Software.
- Stewart, M.G., Rosowsky, D.V., and Val, D.V. (2001) Reliability-based bridge assessment using risk ranking decision analysis, *Structural Safety*, Vol. 23, No. 4, pp. 397-405.
- Uddin, N. and Engi, D. (2002) Disaster Management System for Southwestern Indiana, *Natural Hazard Review*, Vol. 3, No. 1, pp. 19-30.
- Yabuki, N. and Shitani, T. (2003) An IFC-based product model for RC or PC slab bridges, *The 20th CIB W78 Conference on Information Technology*, Waiheke Island, New Zealand, pp. 463-470.