

교량 유지관리 지원을 위한 CAD/CAE 정보와 엔지니어링 문서정보의 통합 데이터베이스

정연석*, 김봉근**, 이상호***

An Integrated Database of Engineering Documents and CAD/CAE Information for the Support of Bridge Maintenance

Jeong, Y.-S.*, Kim, B.-G.** and Lee, S.-H.***

ABSTRACT

A new operation strategy, which can guarantee the data consistency of engineering information among the various intelligent information systems, is presented for engineering information of bridges, and construction methodology of integrated database is developed to support the strategy. The two core standard techniques are adopted to construct the integrated database. One 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. The former enables structural engineers to handle the structural details with three-dimensional geometry-based information of bridges, and ACIS solid modeling kernel is employed to develop AutoCAD based application modules. The latter can make document files into data type for web-based application modules which assist end-users to search and retrieve 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 are also developed, and a case study subjected to the Han-Nam bridge is presented at the end of the paper to illustrate the use of the developed application modules.

Key words : Bridge, Engineering information, Data consistency, Application flexibility, Operation strategy, STEP, XML

1. 서 론

지능형 모니터링체계^[1], 생애주기비용관리체계^[2], 자산관리체계^[3], 방재 및 안전관리체계^[4]와 같은 각종 의사결정지원 정보시스템을 구축하기 위한 연구가 교량, 터널과 같은 교통망을 구성하는 도목 구조물을 대상으로 활발히 수행되고 있다. 이러한 각 정보시스템의 의사결정체계에서 필요한 정보는 구조물의 도면정보, 구조해석모델링 정보, 상태 및 성능평가 정보와 같은 구조공학적 정보와 연계되기 때문에 교량 설계정

호 운용체계 또한 다양한 시스템 체계에서 공통적으로 활용될 수 있도록 개선되어야 한다. 최근 주요 공공기관에서 구축된 설계도서관리체계^[5-7]는 설계정보를 문서파일 또는 도면파일 단위로 관리하기 때문에 각종 의사결정 지원을 위한 정보시스템에 직접 정보를 전달하기에는 부적합하다. 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.

건설정보의 통합운영을 위한 연구는 Wright^[8]가 공통의 정보모델을 이용한 Computer Integrated Construction(CIC) 개념을 제시하면서부터 큰 틀이 형성되

*정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부

**학생회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부

***교신저자, 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부

- 논문투고일: 2005. 09. 13

- 심사완료일: 2005. 12. 12

었다. 이와 같은 CIC 개념은 Sanvido와 Medeiros^[9]가 제조산업과 건설산업의 프로세스를 비교하여 Computer Integrated Manufacturing(CIM) 개념을 건설산업에 접목하면서 보다 구체화되기 시작하였으며, 특히 이들은 CIM 분야에서 사용하는 공통 CAD 데이터베이스 개념을 CIC 구축에 사용가능한 핵심적인 둘의 하나로 선택하였다. 또한 Tatum^[10]은 건설 프로젝트 참여자간의 명확한 의사 전달 도구로 3차원 CAD 시스템의 중요성을 설명하였으며, Teicholz와 Fischer^[11]는 3차원 모델링 정보가 2차원 도면정보보다 설계변경시 유연하게 대처할 수 있도록 지원하기 때문에 경제적인 측면에서 더 많은 이점이 있는 것으로 기술하고 3차원 CAD/CAE 객체정보를 가지는 제품 모델을 CIC 기술 프레임워크의 핵심적인 위치에 두었다. 이와 같이 구조물 설계정보의 통합운영에 있어서 3차원 형상정보를 기반으로 한 정보모델의 중요성은 지속적으로 강조되어 왔다. 최근에 Faraj *et al.*^[12] 및 Chen *et al.*^[13]은 건설분야 정보모델의 하나인 IFC (Industry Foundation Class)를 이용한 웹 기반 정보 운영체계를 구축하여 3차원 CAD 정보를 기반으로 하는 정보모델이 다양한 업무분야에 연계되어 활용될 수 있음을 보였다. 그러나 전통적으로 3차원 형상정보를 기반으로 하는 건설분야의 정보모델에 관한 연구는 플랜트나 빌딩 구조물을 대상으로 진행되어 왔으며, 교량을 대상으로 한 연구는 최근에서야 수행되기 시작하였다.

교량 정보모델을 기반으로 수행한 연구들은 대부분 STEP(Standard for the Exchange of Product model data) 또는 IFC에서 제공하는 표준 정보모델을 확장하거나 정보모델의 일부를 모듈화하여 활용하는 방법론을 채택하고 있다. Mikami *et al.*^[14]은 STEP AP203^[15]을 이용하여 교량의 형상정보를 데이터베이스로 구축하였으며, Yabuki와 Shitani^[16]는 IFC 모델을 확장하여 콘크리트 슬래브교를 대상으로 정보모델을 구성하고 철근배근의 간섭체크와 같은 설계업무에 적용하였다. 또한 IAI^[17]에서는 IFC2x2를 기반으로 확장한 교량 데이터모델 개발 1단계 작업을 완료하여 IFC BRIDGE 모델을 공개하였다. 이와 같은 연구들은 표준 정보모델을 근간으로 하여 기존 자원을 활용함으로써 정보모델 개발의 효율성을 높일 수 있고 기본적으로 3차원 형상정보지원이 가능하다는 장점은 있지만 모두 CAD/CAE와 관련한 정보에만 초점이 맞추어져 왔으며, 엔지니어링 문서정보에 대한 고려가 미흡하여 엔지니어링 문서정보와 통합된 데이터베이스체계를 구축하는 것이 어렵다.

국내의 경우 이상호와 정연석^[18,19]과 Lee와 Jeong^[20]이 STEP을 기반으로 한 교량량 정보모델 개발 및 응용에 관한 연구를 수행하여 교량 구조물의 CAD/CAE 정보를 통합운영 할 수 있는 기반을 마련하였다. 또한 Lee 등^[21]은 XML 기술을 이용하여 IFC 기반 제품정보모델이 연계된 엔지니어링 문서정보모델의 프레임워크를 제시하였으며, 양영애 등^[22]은 스키마매칭기법을 이용하여 교량설계 실무에서 작성된 문서와 표준화된 문서정보모델간의 유사성을 측정 한 사례를 보임으로써 실무에서 작성된 엔지니어링 문서정보를 표준화된 데이터베이스에 저장하는 과정을 자동화할 수 있는 기반을 제공하였다.

본 연구는 교량 유지관리 단계동안 일관성 있는 엔지니어링 정보체계를 유지하면서 타 정보시스템에서 활용 가능한 정보운영체계를 설계하고 이를 지원할 수 있는 통합 데이터베이스를 구축하기 위한 방법론을 제시하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 본 연구에서는 선행연구결과^[20,21]를 바탕으로 STEP 기반의 교량정보모델과 XML 기반의 엔지니어링 문서정보모델을 확장개발하고 이 둘을 연계한 통합정보모델을 구성하였으며, 구축된 정보모델에 따라 3차원 형상을 포함하는 CAD/CAE 정보와 실무에서 작성한 문서정보를 데이터베이스로 구축할 수 있는 응용 모듈들을 각각 개발하였다. 또한 개발된 응용모듈을 이용하여 한강상의 교량인 한남대교를 대상으로 시범 데이터베이스를 구축함으로써 그 적용성을 검증하였다.

2. 통합운영체계 설계 및 요소기술

교량의 유지관리에 사용되는 다양한 정보시스템을 효과적으로 지원하기 위해서는 개방형 표준체계를 기반으로 한 엔지니어링 데이터베이스의 설계와 이를 구현하기 위한 방법론의 정립이 선행되어야 한다. 본 장에서는 교량의 유지관리를 위해 사용되는 각종 지능형 정보시스템에서 엔지니어링 정보를 통합운영하기 위해 본 연구에서 제시한 프레임워크에 대하여 설명하였다. 그리고 이를 구현하기 위해 필요한 핵심적인 요소기술로서 본 연구에서 개발한 통합 엔지니어링 정보모델, ACTS 커널을 이용한 교량의 형상정보 운용방법 및 데이터베이스를 구축하는 방법에 대하여 설명하였다.

2.1 엔지니어링 정보 통합운영을 위한 프레임워크

교량의 유지관리를 위한 정보시스템은 교량관리시

스텐, 교량모니터링시스템, 교량 LCC분석시스템 등 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 Fig. 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 업무수행과정에 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 STEP 표준과 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.

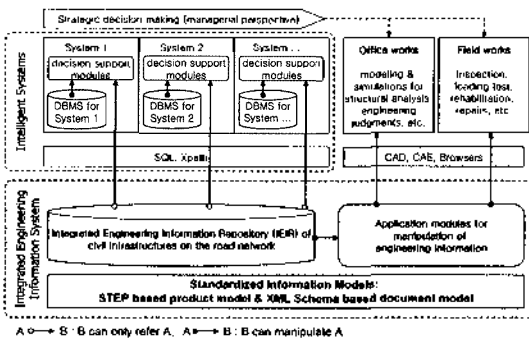


Fig. 1. 엔지니어링 정보 통합운영 개념도.

2.2 통합 데이터베이스 구축을 위한 정보모델

본 연구에서는 CAD/CAE 정보와 엔지니어링 문서정보를 표현하기 위해 앞서 수행된 강교량정보모델^[10]과 설계문서정보모델^[11]에 관한 연구결과를 확장·개발하고 두 개의 정보모델을 통합하였다. 특히 본 연구에서는 교량의 슬래브와 교각 등 일부 정형화되지 않는 형상을 모델링하기 위한 엔티티를 추가함으로써 기존의 강교량정보모델을 확장하였다. 또한 기존에 제시된 설계문서정보모델은 설계문서정보를 웹을 통해 운용하기 위한 문서정보모델의 프레임워크 차원에서 필요한 요소들을 제시한 것으로서 세부적인 엔지니어링 문서항목에 대하여서는 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 통합응용 체계를 구축하고자 하였다. CAD/CAE 정보와 문서정보의 통합응용사례는 4.3절에 설명하였다. Fig. 2는 교량정보모델과 문서정보모델이 통합된 최상위레벨에서의 정보모델을 나타낸 것이다.

교량정보모델은 Fig. 2에 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. 여기서 Bridge Member에서 참조하는 유한요소해석 정보모델은 STEP Part 104^[21]를 이용하였으며, 부재의 Shape & Section Property에서 참조하는 3차원 기하형상정보는 STEP Part 42^[22]를 이용하였다. Joint System은 구조물의 접합부를 표현한 것으로서 용접에 의한 접합방법과 볼트와 같은 기계적 접합방법에 의한 정보를 포함한다. 그리고 Material은 구조물의 부재에 사용되는 재료의 특성을 정의하는 모델로서 강재와 콘크리트 및 사용자 정의에 의한 재료의 물성값을 표현한다.

설계문서정보모델은 크게 3개의 서브모델로 구성하였다. Representation Item은 문서정보를 웹 브라우저에 표현하기 위한 속성정보를 정의한 것이며, Common Document Information은 문서의 일반정보

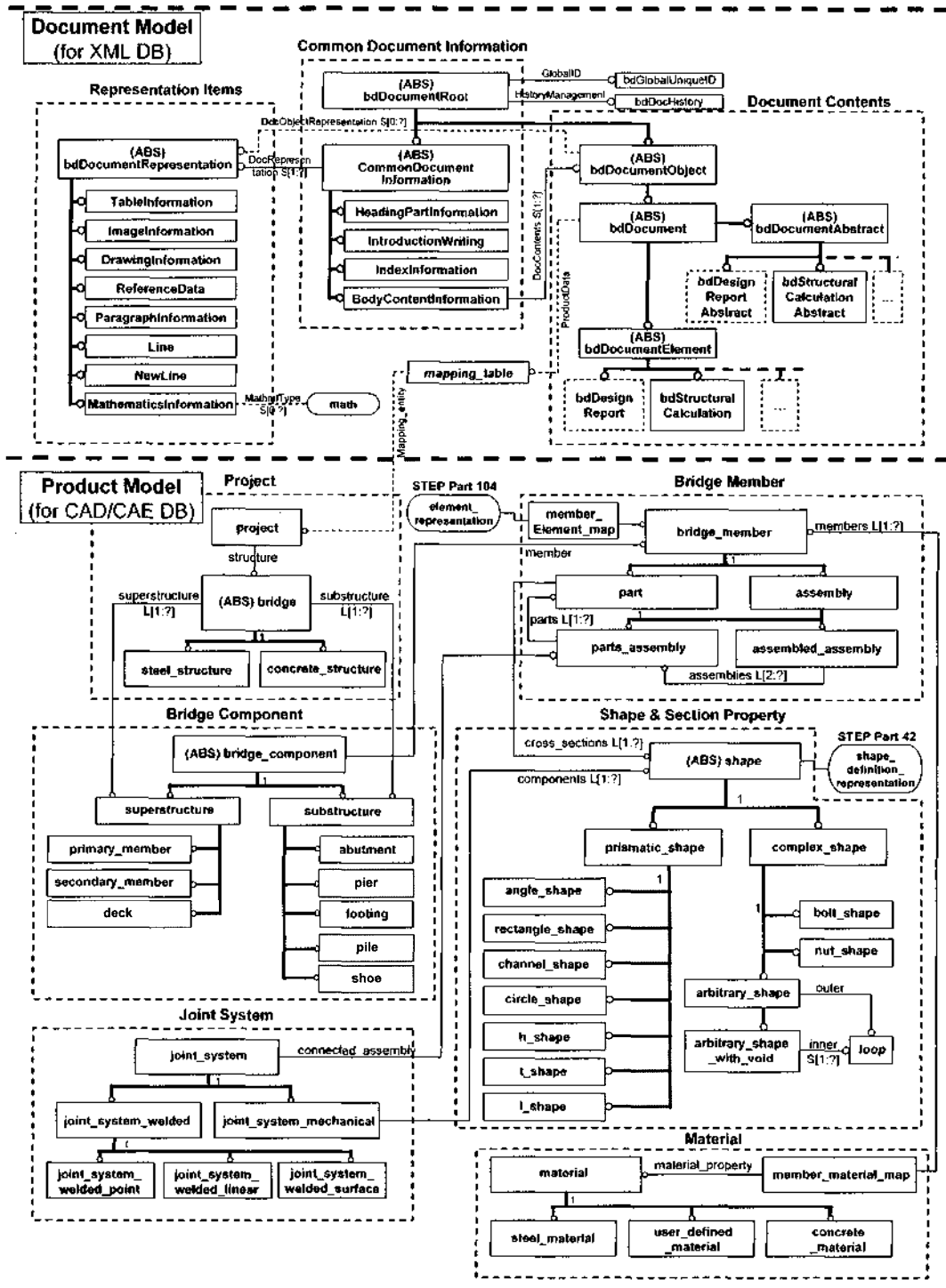


Fig. 2. 교량 엔지니어링 통합 정보모델의 최상위 레벨.

와 그 구성체계에 대한 정보를 표현한다. Document Contents는 각 문서의 내용을 정의한 것으로서 설계실

무에서 작성된 여러 문서구조를 bdDocumentElement 하위로 객체화하여 문서별로 구성할 수 있도록 하였다.

Table 1. 구조계산서 문서정보모델과 교량정보모델 간의 매핑관계

semantic terms	XML Schema based Document Model		ISO/STEP based Bridge Information Model	
	element name	subelement name/ (attribute name)	entity name	attribute name
bridge name	CommonDocument Information	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

본 연구에서는 이와 같이 CAD/CAE 정보와 문서 정보를 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 효율적으로 진행하기 위해 하나의 정보모델이기는 하지만 별도의 데이터베이스 체계로 구축하였으며, 이에 대해서는 3.1절에 설명하였다. 이에 따라 Fig. 2에 나타난 바와 같이 CAD/CAE 정보와 설계문서정보는 mapping table에 의해 연계될 수 있도록 하였으며, mapping table의 구성은 Table 1과 같다. Table 1에 나타난 바와 같이 본 연구에서는 위계모듈을 개발하는데 있어서 설계문서모델의 요소와 교량정보모델의 엔티티사이엔에 연관성을 나타내는 정보로 교량명, 구조시스템, 교량의 구성요소 및 부재에 관한 정보를 정의하였다. 두 정보모델간의 연계를 위한 응용모듈 개발 알고리즘은 4.3절에 보다 자세히 설명하였다.

2.3 ACIS 커널을 이용한 교량 형상정보 운용

교량정보모델은 구조물의 3차원 형상정보와 설계정보를 연계하여 표현하였기 때문에 기하학적 형상정보를 응용모듈 상에서 효과적으로 다루기 위해서 본 연구에서는 ACIS 솔리드모델에 따른 기하형상의 표현 방식을 채택하였다. ACIS는 CAD 시스템이나 3차원 형상을 다루는 응용프로그램 개발자를 위해 복합 다양체(non-manifold) 모델을 다룰 수 있는 모델링 커널을 지원하며, 현재 많은 CAD 시스템에서 모델링 커널로 채택되어 사용되고 있다. ACIS는 커널과 부가적인 허스크(husk)들로 구성되어 있는데, ACIS 라이브러리의 커널부는 솔리드모델의 데이터 구조를 직접 처리하는 부분이고, 3차원 볼킷에 해당하는 허스크 부

분은 곡선이나 곡면 그리고 솔리드의 생성을 위한 함수와 좌표계에 대한 함수를 제공하여 사용자와의 상호작용을 지원하는 기능을 제공한다. 또한 데이터의 위상관계의 처리나 사용자 정의 속성을 포함하는 데이터의 생성 및 복원등에 관련된 기능을 제공한다.

실제로 ACIS의 솔리드모델 데이터 구조와 본 연구에서 사용한 STEP에 의한 솔리드모델의 데이터 구조는 매우 유사하므로 STEP 표준을 기반으로 본 연구에서 제시한 교량정보모델에 포함된 기하학적 형상정보는 쉽게 ACIS 솔리드 모델링 커널을 통해 가시화될 수 있다. 그리고 AutoCAD는 3차원 솔리드모델을 다루기 위해서 ACIS 형상 툴킷을 장착하고 있으면서, 건설산업의 CAD 시장에서 시장 점유율이 가장 크기 때문에 본 연구에서는 AutoCAD 프로그램에서 구동이 가능한 CAD/CAE 응용모듈을 개발하여 기존의 AutoCAD 사용자들이 비교적 쉽게 3차원 형상을 기반으로 하는 교량의 설계정보를 다룰 수 있도록 하였다.

2.4 데이터베이스 구축 방법

응용프로그램에서 생성되는 정보는 2.2절에서 언급된 정보모델을 기반으로한 STEP 물리적 파일이다. 본 연구에서는 이러한 STEP 파일을 관계형 데이터베이스 시스템(RDBMS)으로 업로드 하여 데이터베이스를

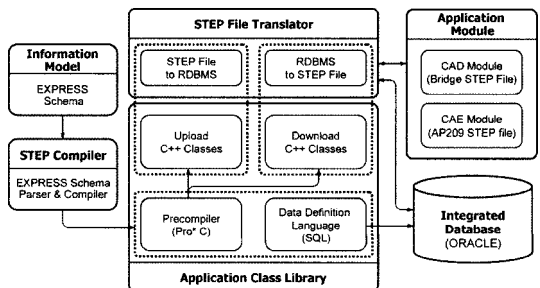


Fig. 3. 데이터베이스 구축을 위한 시스템 아키텍처.

구축하기 위해서, Steptools사에서 제공하는 툴인 ST-Oracle^[25]을 이용하여 변환기를 개발하였다. Fig. 3은 각 응용영역별 정보모델을 데이터구조로 가지는 STEP 파일을 Oracle DBMS로 변환하기 위한 과정을 도식화하였다.

변환기를 개발하기 위해서는 EXPRESS Schema로 표현된 정보모델을 필요로 한다. 각 Schema는 ST-Developer와 같은 STEP Compiler에 의해 컴파일되어 수행되어 각 스키마에 대한 구조를 가지는 메타데이터로 생성된다. 생성된 메타데이터는 RDBMS에서 테이블 및 관계를 정의하는 DDL(Data Definition Language) 구문을 정의할 때 직접적으로 사용되며, STEP 파일을 RDBMS로 업로드하고 다운로드하기 위한 인터페이스 즉 변환기 개발 시에도 사용된다. 본 연구에서는 정보를 관리하고 운영할 RDBMS로 ORACLE을 사용하였기 때문에 Precompiler로 Pro*C를 이용하여 업로드 및 다운로드가 가능한 변환기를 개발하였다. 이렇게 개발된 변환기는 응용영역별 CAD/CAE 프로그램에서 생성되는 STEP 파일을 ORACLE로 저장할 수 있도록 지원하며, 또한 ORACLE로부터 필요한 데이터를 추출할 수 있도록 지원한다.

3. 엔지니어링 정보 통합운영을 위한 응용모듈의 구성

본 연구에서는 엔지니어링 정보를 크게 CAD 정보영역, CAE 정보영역 및 엔지니어링 문서정보영역으로 구분하고 각각의 정보를 데이터베이스에 저장하고 재활용하기 위해 필요한 응용모듈을 개발하였다. CAD 응용모듈은 3차원 형상정보와 함께 교량의 설계정보를 모델링하여 데이터베이스에 저장하고 이를 다시 활용하는데 사용할 수 있으며, CAE 응용모듈은 3차원 프레임모델로 교량의 해석정보를 모델링하여 데이터베이스에 저장하고 재활용하는데 사용할 수 있다. 문서정보 운용을 위한 응용모듈은 교량 구조계산서 정보를 데이터베이스에 저장하고 CAD 정보와 함께 웹 브라우저를 통해 교량의 설계정보를 제공하는 기능을 가진다. 본 장에서는 이와 같이 2장에서 제시한 교량의 엔지니어링 정보 통합 프레임워크를 구현하기 위해 본 연구에서 개발한 응용모듈의 구성에 대하여 설명하였다.

3.1 통합운영 시범 시스템의 구성

본 연구에서 구축한 시범 시스템의 주요구성은 Fig. 4와 같다. 교량의 설계정보를 저장하는 저장소는 크게

문서정보를 저장하고 운용하기 위한 데이터베이스와 CAD/CAE 정보를 저장하고 운용하기 위한 데이터베이스로 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^[26]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 2.4절에서 기술된 바와 같이 Oracle을 이용하였다. 각각의 데이터베이스에 저장된 엔지니어링 정보는 SQL과 XQuery를 통해 접근할 수 있다.

구조물의 엔지니어링 정보를 이용하는 사용자는 웹 브라우저를 통해 문서정보에 접근할 수 있으며, 3차원 형상정보를 기반으로 하는 교량설계정보 또는 구조해석정보는 시범 응용모듈인 AutoCAD 기반의 CAD 응용모듈 및 CAE 응용모듈을 통해 데이터베이스에 직접 접근할 수 있다.

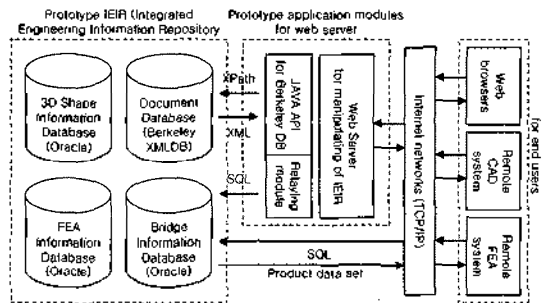


Fig. 4. 엔지니어링 정보 통합운영을 위한 아키텍처.

3.2 설계정보 운용을 위한 CAD 응용모듈의 구성

교량설계정보 생성과 운용을 위한 CAD 응용모듈의 요소는 Fig. 5와 같이 AutoCAD에서 기본적으로 제공하는 시스템 내장 데이터베이스(Built-in System Data-base)와 시스템 내장 기능(Built-in System Functions)이 있으며, 본 연구에서 개발한 시스템 확장 데이터베이스(Expanded System Database)와 시스템 확장 기능(Expanded System Functions)으로 구성된다.

시스템 내장 데이터베이스는 AutoCAD가 제공하는 점, 선, 면 및 솔리드와 같은 기하형상과 관련한 엔티티들과 레이어, 색깔 및 문자등과 같은 엔티티들을 저장하고 관리하는 부분으로서 기본적으로 AutoCAD가 이미 보유한 고유의 데이터베이스를 의미한다. 본 연구에서는 교량의 기하형상을 ACIS 라이브러리를 이용해 경계표현 방식에 따른 솔리드 요소로 생성하고 시스템 내장 데이터베이스에 등록시킴으로써 AutoCAD를 통해 기하형상을 가시화하고 수정 및 편집할 수 있도록 하였다.

시스템 내장 기능은 AutoCAD에서 기본적으로 제공하는 명령어들이며 점, 선, 면을 생성하거나 글자를 입력할 수 있도록 지원하는 기능을 나타낸다.

시스템 확장 데이터베이스는 교량정보모델에 따라 명시한 정보를 AutoCAD에서 운용할 수 있도록 프로그램 인터페이스를 제공하는 부분으로서 로컬 데이터베이스에 해당된다. 즉, AutoCAD의 시스템 내장 데이터베이스에서 다루는 기본적인 데이터 이외에 본 연구에서 정의한 교량정보를 저장하고 관리할 수 있도록 AutoCAD의 데이터베이스를 확장하여 개발한 데이터베이스를 의미한다. 이와 같은 시스템 확장 데이터베이스를 개발하기 위해서는 교량정보를 표현한 EXPRESS 엔티티를 C++ 클래스로 변환하는 과정이 요구되는데 본 연구에서는 STEP Tools사의 ST-Developer에서 제공하는 ROSE 라이브러리를 이용하였다. ROSE 라이브러리를 통해 생성된 C++ 클래스는 EXPRESS 엔티티에서 표현된 속성정보를 데이터 필드로 표현하고 각 속성값을 획득하거나 지정할 수 있는 메소드를 포함함으로써 교량정보가 AutoCAD에서 생성되고 운용될 수 있다.

마지막으로, 시스템 확장 기능은 대상 교량과 관련한 프로젝트의 개요정보 생성, 설계부재의 단면 설정, 각 부재간의 조합을 통해 부재를 그룹화하고 설계시 부여된 명명체계에 따라 레이블링을 수행하는 기능 등 교량정보모델에 따른 정보항목을 입력하거나 수정할 수 있는 사용자 인터페이스 역할을 수행한다. 이와 같은 사용자 인터페이스는 마이크로소프트사의 MFC(Microsoft Foundation Class) 라이브러리에서 제공하는 다양한 클래스들을 이용하여 개발되었다.

본 연구에서는 이와 같은 4가지 부분을 통합하기 위해서 AutoCAD와 통신할 수 있는 ObjectARX^[28] 개발 환경을 사용하였다. ObjectARX 개발환경은 AutoCAD 프로그램 사용자의 개별 요구사항을 만족시킬 수 있도록 기능을 확장시켜 주는 C++ 객체지향 프로그래밍 인터페이스이며, AutoCAD를 구성하고 있

는 시스템 구성요소들에 상응하는 클래스들로 이루어진 ObjectARX 라이브러리를 포함한다. ObjectARX를 통해 개발된 응용모듈은 AutoCAD의 내부 명령어와 동일하게 실행된다. 따라서 사용자는 AutoCAD 상에서 기존 명령어를 사용하듯이 교량정보를 다루기 위해 본 연구에서 개발한 모든 응용모듈을 사용할 수 있다.

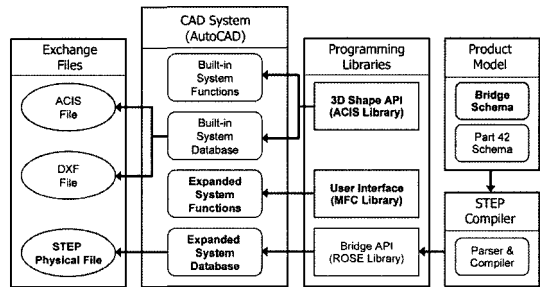


Fig. 5. 교량설계정보 운용을 위한 CAD 모듈 구조.

3.3 해석정보 운용을 위한 CAE 응용모듈의 구성

교량의 해석정보를 운용하기 위한 CAE 응용모듈은 CAD 모듈과 같이 4개의 요소로 구성하였다. 시스템 내장 데이터베이스와 시스템 내장 기능은 AutoCAD가 가지는 고유한 기능이므로 CAD 응용모듈과 동일하다. 그러나 시스템 확장 데이터베이스와 시스템 확장 기능은 CAD 응용모듈과 다르게 개발하였다.

시스템 확장 데이터베이스는 Fig. 6에 나타난 바와 같이 교량정보모델 이외에 ISO/STEP의 Part 104에서 표현된 유한요소해석 모델을 사용하여 교량설계정보와 구조해석정보를 함께 다룰 수 있도록 개발하였다. 시스템 확장 기능은 기존 구조해석 프로그램의 전/후 처리기에서 제공하는 기능들에 해당하는 부분을 개발한 것으로서, 절점, 요소, 재료, 단면, 경계조건 및 하중을 생성하는 기능과 구조해석 결과에 따른 절점의 변위와 회전값을 AutoCAD에서 가시화하는 기능을 가진다. 본 연구에서는 교량의 구조해석을 수행하기 위한 솔버로 Berkeley 대학의 FEAP^[29]을 이용하였다. FEAP은 교육 및 연구용 유한요소해석 프로그램으로서 무상으로 제공되며, 선형 및 비선형구조해석을 지원하고 1차원 요소에서부터 3차원 솔리드 요소까지 구조해석에 사용되는 대부분의 요소들을 제공한다. 시스템 확장 기능은 FEAP의 입력 데이터 파일을 생성하고 출력 데이터 파일을 다시 CAE 모듈로 입력하는 기능이 포함되어 있다. 이러한 입/출력 데이터 파일에 포함된 정보는 CAE 응용모듈 내에서 시스템 확장 데

이터베이스로 변환되어 ROSE 라이브러리에 의해 운용된다. 따라서 구조해석정보는 ISO 10303의 물리적 저장 방식인 STEP 파일로 저장될 수 있으며, 인터넷 통신망을 통해 데이터베이스 서버로 바로 저장할 수도 있다.

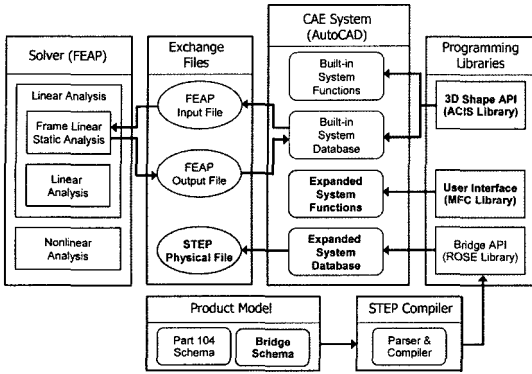


Fig. 6. CAD 시스템을 이용한 구조해석모델 구조.

3.4 문서정보 운용을 위한 응용모듈의 구성

구조계산서 문서정보 운용을 위한 응용모듈은 Fig. 7과 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 통합서버 페이지(Integrated Server Pages)로 구성하였다.

XML 문서 생성기는 설계실부에서 작성된 엔지니어링 문서정보를 본 연구에서 정의한 문서정보모델에 따른 XML 문서파일로 변환한다. 실제 설계실부에서는 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 2장의 Table 1에서 정의한 매핑 테이블 정보를 이용하여 구조계산서에 명시된 각 부재의 단면정보와 CAD 응용모듈을 통해 생성된 형상정보를 연계시키는 알고리즘을 함수로 구현한 매핑 라이브러리를 개발하였다. 개발된 알고리즘은 4장의 응용모듈 구현사례에서 보다 자세히 설명하였다. SQL 구문 생성기는 매핑 라이브러리가 CAD/CAE 데이터베이스의 정보를 조회하기 위한 SQL 구문을 생성하는 함수이다.

통합웹서비스는 사용자 인터페이스를 위한 응용모듈로서 사용자 인증 및 관리, 문서정보의 검색 및 조회, 엔지니어링 문서파일 원본의 저장 및 다운로드, 문서정보와 관련된 CAD/CAE 객체정보 검색 및 조회 등 교량정보 웹 서비스를 위한 응용모듈들로 구성되어 있으며, ASP(Active Server Page)를 이용하여 개발하였다.

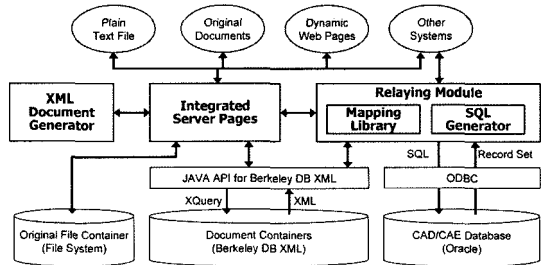


Fig. 7. 웹 서비스를 이용한 문서정보 운용모듈 구조.

4. 엔지니어링 정보 통합운영을 위한 응용모듈 구현 사례

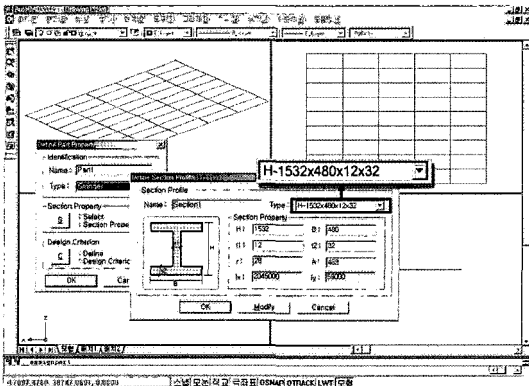
본 연구에서는 앞서 제시한 정보모델 및 교량정보의 통합운영을 위한 프레임워크와 이를 지원하기 위해 본 연구에서 개발한 응용모듈의 적용성을 검증하기 위해 한남대교를 대상으로 시범 데이터베이스를 구축하였다. 본 장에서는 한남대교의 NMI 구간에 대하여 CAD 응용모듈을 이용하여 3차원 형상정보를 기반으로 교량 설계정보를 모델링한 사례와 CAE 응용모듈을 이용하여 3차원 프레임 모델로 구조해석 모델링을 수행한 사례 그리고 구조계산서를 데이터베이스로 저장한 사례를 설명하였다. 그리고 한남대교 설계정보의 통합운영 사례로서 CAD 응용모듈을 이용한

어 데이터베이스에 저장된 설계정보와 실무 구조계산서 정보를 자동으로 추출하여 데이터베이스에 저장된 설계정보 사이의 일치성을 검토한 예를 설명하였다.

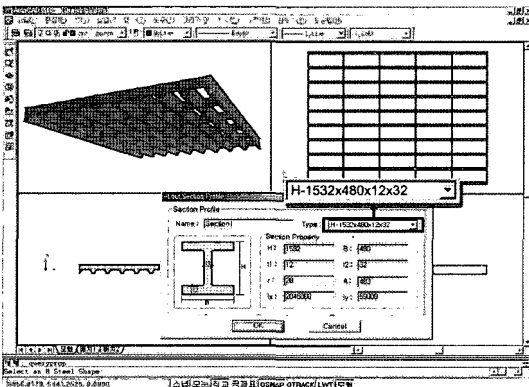
4.1 CAD 응용모듈의 구현 사례

교량 설계정보를 다루기 위해 개발된 CAD 응용모듈은 프로젝트 개요 및 대상 교량의 개요정보 생성과 조작, 세로보 및 가로보와 같은 설계부재의 정보 생성과 조작, 개별 부재간 연결관계 설정을 통한 정보의 생성과 조작, 설계부재의 3차원 기하형상 표현을 위한 솔리드모델 생성과 조작, 워져지 데이터베이스로의 교량정보 입/출력 및 STEP 파일 입/출력을 위한 기능들을 제공한다.

Fig. 8은 본 연구에서 개발한 설계정보 생성 기능을 이용하여 한남대교를 모델링한 사례를 나타낸 것이다. Fig. 8(a)는 사용자가 선요소로 설계부재의 단면특성을 H-1532*480*12*32로 설정하는 과정을 나타낸 것으로서 이와 같은 선요소들은 AutoCAD 프로그램



(a) 설계부재의 단면정보 정의 및 생성 과정



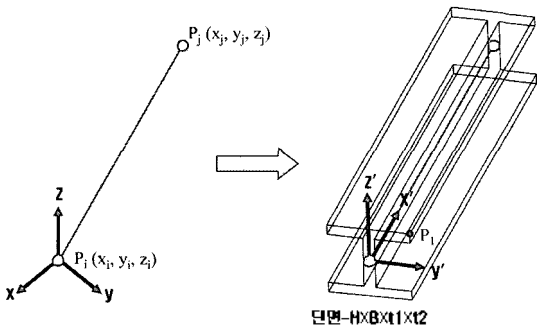
(b) 생성된 설계부재의 단면정보 조회 사례

Fig. 8. 한남대교 환경교 구간의 교량설계정보 생성 및 조회 사례

상에서 시스템 내장 기능 중에서 선(LINE) 엔티티를 생성하는 명령을 통해 모델링되고 시스템 내장 데이터베이스에 저장이 된다. 그리고 이와 같이 모델링된 선요소는 시스템 확장 기능에서 제공하는 명령을 통하여 단면특성값이 정의된다.

이러한 과정을 통해 설정된 교량의 부재별 단면 정보는 시스템 확장 데이터베이스에 저장된다. Fig. 8(b)에서 나타난 바와 같이, 선요소로 모델링된 요소는 사용자가 설정한 단면의 특성을 반영하여 3차원 솔리드 모델로 자동생성된다. 여기서 생성된 설계부재의 3차원 솔리드모델 형상은 단면의 특성을 반영하여 ACIS 솔리드모델로 생성되고 본 연구에서 정의한 교량정보 모델의 기하형상정보로 매핑된다.

Fig. 9는 구조설계 부재의 단면 상세를 반영한 3차원 솔리드모델을 자동으로 생성하는 과정을 나타낸다. Fig. 9(a)에서 나타난 바와 같이 구조설계 부재 모델링을 위해서 전역 좌표계 상에서 선 엔티티를 생성함으로써 선의 양 끝점인 P_i 점과 P_j 점에 대한 위치벡터값을 획득할 수 있다. 획득된 두 위치벡터의 $P_j - P_i$ 값의 단위벡터는 국부 좌표계의 X' 축 방향벡터로 사용된다. 설계부재의 단면에 대한 회전이 없다는 것을 가정하여 (0,0,1)인 벡터와 X' 축 방향벡터의 외적을 구하여 국부 좌표계의 Y' 축 방향벡터를 구하고, 마지막으로 X' 축 방향벡터와 Y' 방향벡터의 외적을 구하여 국부 좌표계의 Z' 축 방향벡터를 결정한다. 이러한 국부좌표축은 단면형상을 생성하기 위해서 사용된다. Fig. 9(b)의 H형강을 예로 들면 P_i 의 좌표값은 $P_i + Y' \times B/2 + Z' \times H/2$ 으로 구할 수 있다. 같은 방식으로 H형강의 나머지 좌표값을 구하여 경계표현 방식에 따른 솔리드모델로 생성할 수 있다. 이러한 과정을 통해 자동으로 생성된 교량의 설계부재에 대한 솔리드모델은 시스템 내장 데이터베이스에 저장



(a) 전역 좌표계

(b) 국부 좌표계

Fig. 9. 단면정보에 따른 3차원 솔리드모델 자동생성.

됨으로써 AutoCAD에서 운용될 수 있다.

4.2 CAE 응용모듈의 구현 사례

본 연구에서 구조해석을 지원하기 위해 개발한 CAE 응용모듈은 AutoCAD에서 사용자의 호출에 의해 시작되며, 공개 유한요소해석 프로그램인 FEAP과 연계하여 프레임 요소에 대한 선형 정적해석을 지원한다. 본 연구에서는 절점 및 프레임 요소의 생성, 절점의 경계조건 및 절점 하중 정의, 재료 성질 및 단면 특성 정의, FEAP의 입력파일 생성 및 출력파일 접근, FEAP 구동, 절점의 변위 표시, STEP 파일 입/출력 및 원격지 데이터베이스로의 입/출력 기능을 제공하는 응용모듈을 개발하였다.

Fig. 10은 Fig. 8에서 모델링한 부분을 CAE 응용모듈을 이용하여 구조해석 모델링을 수행한 사례를 나타낸 것이다. Fig. 10(a)는 사용자가 시스템 확장 기능을 이용하여 한남대교의 첫번째 구간인 NM1의 주부재와 부부재를 프레임 요소로 정의하고 절점에 경

계조건을 설정하는 과정을 나타낸다. 정의된 정보는 교량성도모델에 포함된 유한요소해석 모델의 정보체계를 따라 AutoCAD 내의 시스템 확장 데이터베이스로 저장되며, FEAP과 연동하기 위해서 FEAP의 입력 파일로도 생성된다. Fig. 10(b)는 AutoCAD에서 솔버 프로그램인 FEAP을 구동시킨 화면으로서 FEAP을 통한 구조해석 결과 파일은 다시 본 연구에서 개발된 CAE 응용모듈을 통해 AutoCAD로 읽어 들여져 해석 결과를 사용자에게 제공한다.

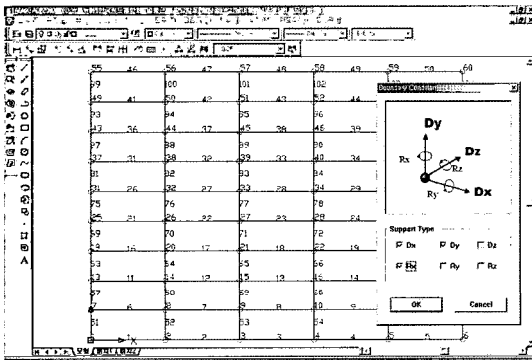
이와 같은 구조해석을 위한 정보는 Fig. 11에 나타난 바와 같이 STRUCTURAL_ANALYSIS_DESIGN 스키마를 가지는 AP209기반의 STEP 파일로도 생성된다. Fig. 11의 STEP 파일은 해석모델을 구성하는 정보 가운데 주요한 요소인 노드, 엘리먼트, 단면특성 및 경계조건만을 나타내었다.

4.3 문서정보 운용모듈의 구현 사례

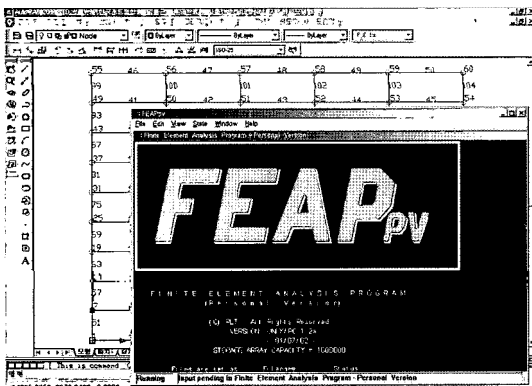
본 절에서는 앞서 설명한 CAD/CAE 응용모듈 구현 사례와 같이 한남대교를 대상으로 구조계산서 정보를 데이터베이스로 구축하기 위한 응용모듈의 구현 사례와 한남대교 구조계산서에서 정의된 교량부재의 단면정보와 CAD 응용모듈로 모델링된 단면정보의 일치성을 자동으로 체크하는 응용모듈의 구현사례를 설명하였다. 교량 엔지니어링 문서정보의 운용모듈은 웹서버를 통해 사용자에게 제공된다. 따라서 사용자는 인터넷이 연결되는 곳에서는 시간과 장소의 구애를 받지 않고 교량의 문서정보를 데이터베이스로 저장하고 필요시 검색·조회할 수 있다.

Fig. 12(a)는 3.4절에서 설명한 탭플릿 표기과정을 거친 한남대교 구조계산서의 설계정보와 해당 목차정보를 자동으로 추출하는 XML 문서 생성기의 구동화면으로서 한남대교 NM1 구간 바닥판 중앙에서의 활하중에 의한 휨모멘트값을 나타낸다. XML 문서 생성기를 통해 추출된 구조계산서의 세부 문서정보는 XML 파일로 저장되며 Berkeley DB XML에서 제공되는 라이브러리 함수를 이용하여 데이터베이스에 저장된다. Fig. 12(b)는 이러한 과정을 거쳐 데이터베이스에 저장된 구조계산서의 요약정보가 통합서버페이지를 통해 HTML 형식의 문서정보로 가공되어 사용자에게 제공되는 사례를 나타낸 것이다.

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 Table



(a) 구조해석의 입력정보 생성 화면



(b) FEAP을 이용한 구조해석 수행 화면

Fig. 10. 한남대교 판형교 구간의 구조해석 입력정보 생성 및 해석수행.

```

FILE_SCHEMA (('STRUCTURAL_ANALYSIS_DESIGN'));
ENDSEC;
DATA;
#10=CALCULATED_STATE('Calculated Default', 'Static Subcase');
#11=FREEDOMS_LIST((ENUMERATED_DEGREE_OF_FREEDOM(X_TRANSLATION)));
#14=NODAL_FREEDOM_ACTION_DEFINITION(#225,#208,#237,#11,
(CONTEXT_DEPENDENT_MEASURE(100)),APPLIED_LOADS.);
#17=FEA_MATERIAL_PROPERTY_REPRESENTATION(#25,#23,#19);
#19=DATA_ENVIRONMENT('DATA_ENV','AMBIENT',());
#21=FEA_LINEAR_ELASTICITY('FEA_ISOTROPIC_SYMMETRIC_TENSOR4_3D((21000000,0.3));
#22=FEA_LINEAR_ELASTICITY('FEA_ISOTROPIC_SYMMETRIC_TENSOR4_3D((30000000,0.3));
#23=REPRESENTATION('(#21),$);
#25=MATERIAL_PROPERTY('Material Property Definition',#27);
#27=CHARACTERIZED_OBJECT('MATERIAL','HOMOGENEOUS MATERIAL');
#29=ELEMENT_MATERIAL('21','SWS400, 2400kg/cm^2',(#17));
#31=CURVE_3D_ELEMENT_REPRESENTATION('1',$,($,#160,#161),$,#220,#135,$);
#32=CURVE_3D_ELEMENT_REPRESENTATION('2',$,($,#161,#162),$,#220,#135,$);
#135=CURVE_3D_ELEMENT_PROPERTY('2',$,$,$);
#136=SINGLE_POINT_CONSTRAINT_ELEMENT_VALUES($,#148,$,());
#148=SINGLE_POINT_CONSTRAINT_ELEMENT('1',(),#160,$,($230,#231,#232),$);
#149=SINGLE_POINT_CONSTRAINT_ELEMENT('2',(),#161,$,($230,#231,#232),$);
#160=NODE('1',(#241),$,#229);
#161=NODE('2',(#242),$,#229);
#162=NODE('3',(#243),$,#229);
#220=CURVE_3D_ELEMENT_DESCRIPTOR(LINEAR,'Curve Linear',
((ENUMERATED_CURVE_ELEMENT_PURPOSE(AXIAL),
ENUMERATED_CURVE_ELEMENT_PURPOSE(Y_Y_BENDING)),
(ENUMERATED_CURVE_ELEMENT_PURPOSE(Z_Z_BENDING),
ENUMERATED_CURVE_ELEMENT_PURPOSE(TORSION))));
#221=CONTROL_LINEAR_STATIC_ANALYSIS_STEP(#228,'Default 1',#224,'default subcase',#222);
#222=CONTROL_LINEAR_STATIC_LOAD_INCREMENT_PROCESS('1','Linear static load',#223);
#223=STATE('Default','Default');
#224=SPECIFIED_STATE('State_1','INITIAL UNLOADED STATE - STRESS FREE');
#228=CONTROL(#229,'Frame 1','1-BUILDS','Analyzed by FESA solver',$,$);
#229=FEA_MODEL_3D('Fea_model_1',$,$,'1-BUILDS','Yonsei University','ver.1.0','PC','Windows2000',
'ANALYSIS MODEL','Linear Static');
#230=FREEDOM_AND_COEFFICIENT(ENUMERATED_DEGREE_OF_FREEDOM(X_TRANSLATION),
CONTEXT_DEPENDENT_MEASURE(1));
#236=ALIGNED_CURVE_3D_ELEMENT_COORDINATE_SYSTEM('Element Coordinate System',#237);
#237=FEA_AXIS2_PLACEMENT_3D('FEA_BASIC_COORDS_SYSTEM',#240,#238,#239,CARTESIAN,
'FEA_BASIC_COORDS_SYSTEM');
#241=CARTESIAN_POINT($,(0,0,0));
#242=CARTESIAN_POINT($,(5500,0,0));
#243=CARTESIAN_POINT($,(11000,0,0));
ENDSEC;
END ISO 10303-21;

```

Fig. 11. AP209를 기반으로 한남대교 NMI 구간의 구조해석모델을 표현한 STEP 파일

1의 매핑 테이블과 ST-Oracle을 통해 생성된 oid_mapping 테이블을 이용하여 다음과 같이 구현하였다.

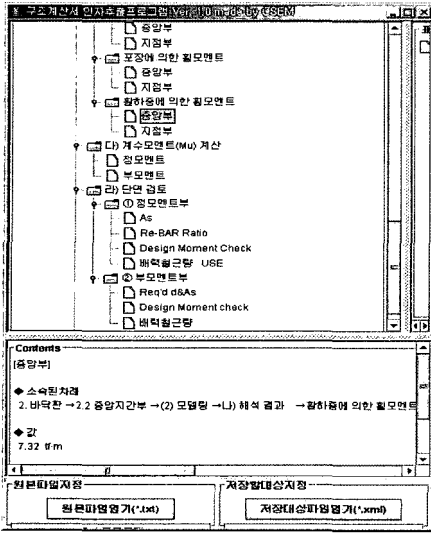
① 문서정보의 CommonDocumentInformation 요소의 BridgeName에 정의된 교량명과 교량설계정보의 bridge_outline에 정의된 bridge_name을 비교하여 해당교량에 대한 bridge_id를 취하고 이와 매핑되는 교량설계정보의 oid_key를 oid_mapping 테이블에서 취한다.

② ①에서 취한 oid_key를 조건으로 oid_mapping 테이블의 entity_type중 bridge_component와 관련된 oid_key를 취하고 이를 조건으로 문서정보의 Index-Information 요소의 StructuralSystemName에서 정의

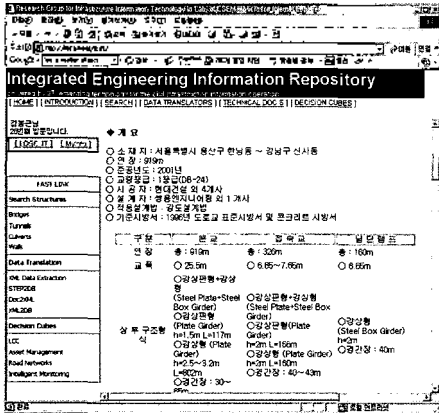
된 구조시스템명과 교량설계정보의 bridge_component의 name에 정의된 구조시스템명을 비교하여 일치되는 bridge_component_id를 다시 취한다.

③ ②에서 취한 bridge_component_id를 조건으로 문서정보의 StructuralComponents 요소의 속성인 ComponentType에서 정의된 교량 구성요소명과 oid_mapping 테이블의 entity_type을 비교하여 일치되는 oid_key를 취한다.

④ ③에서 취한 oid_key와 매핑되는 bridge_component_id를 조건으로 bridge_component에 정의된 member_id를 찾고 이와 매핑되는 part_id를 취한다. 그리고 문서정보의 bdStructuralCalculation 하위요소



(a) 구조계산서의 문서정보 트리생성 사례



(b) 자동 추출 및 DB로 저장된 한남대교

Fig. 12. 문서정보 자동 추출 및 조회 사례.

인 SectionProperties의 SectionName에 정의된 부재의 단면명과 앞서 취한 part_id를 가지는 part_name을 비교하여 일치되는 part_id를 다시 취함으로써 문서정보에 정의된 단면정보와 교량설계정보모델에서 정의된 단면정보의 연계가 마무리된다.

Fig. 13은 앞서 설명한 방법에 따라 데이터베이스에 구축된 한남대교의 주형단면에 대한 구조계산서 정보와 4.1절에서 설명한 과정으로 데이터베이스에 구축된 3차원 형상정보의 일치성을 비교한 사례를 나타낸 것이다. Fig. 13(a)는 앞서 설명한 알고리즘과 SQL 생성기를 통해 최종적으로 작성된 구조계산서의 단면제원정보와 교량설계정보 데이터베이스에 저장된 형상정보를 검색하는 SQL 구문을 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 13(b)는 Fig. 13(a)를 통해 생성된 SQL 구문

```

select * from h_shape where H_SHAPE_ID in
(select SHAPE_ID from ListOfShape where LISTOFSHAPE_ID in
((select COMPONENTS_ID from part where PART_ID in
(select OID_KEY from oid_mapping where ENTITY_TYPE
='part' and DESIGN_ID = 0 and PART_NAME='단면1')
))
)

```

(a) 증계모듈에서 생성된 SQL 구문 사례



(b) 문서정보와 CAD 정보 비교결과 사례 화면

Fig. 13. 증계모듈을 통한 구조계산서정보와 CAD 정보 비교 사례.

을 이용해 3차원 형상기반 교량설계정보 데이터베이스에서 검색한 단면정보와 문서정보의 값을 비교한 결과를 나타낸 것으로서 구조계산서에서 정의한 정보와 CAD에서 정의한 정보의 상호 일치성을 효과적으로 비교할 수 있다. 실제 교량설계 실무에서는 일반적으로 구조계산서가 작성된 이후 시공을 위한 설계도면을 작성하는데 이때 설계도면을 생성하는 작업자의 오류로 인하여 설계도면이 잘못 생성될 수도 있으며, 앞서 설명한 알고리즘은 이러한 오류를 최소화하는데 활용될 수 있다.

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 데이

터베이스 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 인계함으로써 각각의 정보형태에 적합한 응용 프로그램을 모듈화할 수 있었다.

둘째, 3차원 형상정보를 기반으로 하는 CAD/CAE 정보를 사용자에게 제공하기 위해 본 연구에서는 ACIS 커널을 이용하였으며, 이를 통해 건설산업에서 일반적으로 사용되는 AutoCAD에서 CAD/CAE 정보를 생성·저장·수정·갱신할 수 있는 응용모듈을 효율적으로 개발할 수 있었다. 이러한 개발방법은 응용프로그램 개발시에 심각하게 대두되는 그래픽 처리 문제를 기본적으로 해결할 수 있으며, 사용자는 개발된 응용모듈을 플러그인함으로써 부가적인 환경설정을 필요로 하지 않는 이점이 있다.

셋째, 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 지원과 2005년도 첨단융합건설기술개발사업(C105D1010001-05D0101-0010)의 부분지원에도 감사드립니다.

참고문헌

1. Rcdá, M. M. and Lucero, J., "Damage Identification for Structural Health Monitoring Using Fuzzy Pattern Recognition", *Engineering Structures*, Vol. 27, No. 12, pp. 1774-1783, 2005.
2. 한국시설안전기술공단, 교량 생애주기비용 분석을 위한 사용자비용 산정프로그램 개발, 한국시설안전기술공단, 2004.
3. Stewart, M. G., Rosowsky, D. V. and Val, D. V., "Reliability-based Bridge Assessment Using Risk Ranking Decision Analysis", *Structural Safety*, Vol. 23, No. 4, pp. 397-405, 2001.
4. Uddin, N. and Engi, D., "Disaster Management System for Southwestern Indiana", *Natural Hazard Review*, Vol. 3, No. 1, pp. 19-30, 2002.
5. 건설교통부, 도로 및 하천공사의 설계·준공도서 전자납품 편람(V1.0), 건설교통부, 2004.
6. 한국도로공사, 전산설계도서 작성지침서, 한국도로공사, 2001.
7. 한국시설안전기술공단, 설계도서 등의 사본작성 및 관리지침, 한국시설안전기술공단, 2004.
8. Wright, R. N., "Computer Integrated Construction", *IABSE Proceedings*, P-123/88, Zurich, Switzerland, pp. 17-25, 1988.
9. Sanvido, V. E. and Medeiros, D. J., "Applying Computer Integrated Manufacturing Concepts to Construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 116, No. 2, pp. 365-379, 1990.
10. Tatum, C. B., "Integration: Emerging Management Challenge", *Journal of Management in Engineering*, Vol. 6, No. 1, pp. 47-58, 1990.
11. Teicholz, P. and Fischer, M., "Strategy for Computer Integrated Construction Technology", *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 120, No. 1, pp. 117-131, 1994.
12. Faraj, I., Alshawi, M., Aouad, G., Child, T. and Underwood, J., "An Industry Foundation Classes Web-based Collaborative Construction Computer Environment: WISPER", *Automation in Construction*, Vol. 10, No. 1, pp. 79-99, 2000.
13. Chen, P.-H., Cui, L., Wan, C., Yang, Q., Ting, S. K. and Tiong, R. L. K., "Implementation of IFC-based Web Server for Collaborative Building Design Between Architectures and Structural Engineers", *Automation in Construction*, Vol. 14, No. 1, pp. 115-128, 2005.
14. Mikami, I., Tanaka, S., Kubota, S. and Ishii, Y., "Database of Highway Bridges Product Data Models Using STEP", *Proceeding of the 7th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction*, Kochi, Japan, Vol. 2, pp. 590-601, 1999.
15. ISO TC184/SC4, *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 203: Application Protocol: Con-*

figuration Controlled 3D designs of Mechanical Parts and Assemblies, ISO, 1994.

16. Yabuki, N. and Shitani, T., "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, 2003.
17. IAI, IFC-BRIDGE Version 1, <http://www.iai-france.org/bridge/>.
18. 이상호, 정연석, "강교량 데이터베이스 구축을 통한 웹기반의 응용모델 개발", *대한토목학회 논문집*, 제 24권, 제4호, pp. 721-730, 2004.
19. 이상호, 정연석, "강교량 설계정보 표현을 위한 데이터모델 개발", *한국전산구조공학회 논문집*, 제17권, 제2호, pp. 105-117, 2004.
20. Lee, S.-H. and Jeong, Y.-S., "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, 2006.
21. Lee, S.-H., Kim, B.-G., Jeong, Y.-S. and Kang, H. T., "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, 2004.
22. 양영애, 김봉근, 이상호, "강박스교 구조계산서 XML 시맨틱 모델의 스키마 매칭 기법 적용", 2005년 한국전산구조공학회 봄 학술발표회 논문집, 제18권, 제1집, pp. 680-687, 2005.
23. ISO TC184/SC4, *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 104: Integrated Application Resource: Finite Element Analysis*, ISO, 2000.
24. ISO TC184/SC4, *Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 42: Integrated Generic Resources: Geometric and Topological Representation*, ISO, 1994.
25. Loffredo, D., Karama, R. and Raphvan, V., *ST-Oracle Version 7.0 Manual*, STEP Tools, Inc., 1999.
26. Sleepycat Software, *Getting Started with Berkeley DB XML for Java*, Sleepycat Software, 2005.
27. Hardwick, M. and Loffredo, D., *ROSE Library Reference*, STEP Tools, Inc., 1997.
28. Autodesk, Inc., *ObjectARX Developer's Guide*, Autodesk, Inc., 2001.
29. Taylor, R. L., *A Finite Element Analysis Program Version 7.5 User Manual*, Berkeley University, 2005.



정 연 석

1997년 울산대학교 건축공학과 공학사
 1999년 울산대학교 건축공학과 공학석사
 2006년 연세대학교 토목공학과 공학박사
 관심분야: 진산구조, STEP 기반의 제품 모델, CAD/CAE, 시스템 통합, 사회기반시설물 정보화



김 봉 근

1999년 홍익대학교 토목공학과 학사
 2001년 연세대학교 토목공학과 석사
 2001년~현재 연세대학교 토목공학과 박사과정
 관심분야: XML 기반 문서표준화, 사회기반시설물 정보화, 방재안전관리, 소프트웨어컴퓨팅



이 상 호

1984년 연세대학교 토목공학과 공학사
 1986년 연세대학교 토목공학과 공학석사
 1994년 Northwestern Univ., Dept. of Civil Engineering, Ph.D.
 1995년~현재 연세대학교 토목공학과 교수
 관심분야: Computational Fracture, Meshfree Method, Extended Finite Element Method, 해석-실제 통합화, 사회기반시설물의 정보화 유지관리 및 방재 정보화, 구조물 D/B 표준화