

강교 부재의 상세 설계정보 표현을 위한 IFC기반의 데이터 모델 확장

An Extended Data Model based on the IFC for Representing Detailed Design Information of Steel Bridge Members

이진훈* 이지훈** 김효진*** 이상호†
Lee, JinHoon Lee, Ji-Hoon Kim, Hyo-Jin Lee, Sang-Ho
(논문접수일 : 2008년 6월 8일 ; 심사종료일 : 2008년 6월 18일)

요 지

IAI의 IFC를 기반으로 강 교량을 구성하는 부재의 상세 설계 정보를 표현하기 위한 방안을 제시하였다. 이를 위해 먼저 강교 부재 상세 설계와 관련한 설계기준, 구조계산서, 상세설계도면을 분석하여 실무에서 다루어지는 설계 데이터 항목과 이들의 표현방식을 분류하였다. 설계 항목을 기존 IFC 모델로 표현 가능한 것, 추가 모델이 필요한 것으로 나누었고, 보강재, 격벽, 현장 연결부, 그리고 전단연결재를 보다 체계적으로 표현하기 위한 속성 및 위상관계를 정립하였다. 마지막으로 본 연구를 통해 제시된 데이터모델을 기반으로 설계 정보 입력을 위한 프로그램을 구현하였다. 테스트용 교량에 적용하여 물리적 STEP 파일 생성함으로써 제시한 데이터 모델의 논리성을 확인하였다.

핵심용어 : 강교 부재, 상세 설계정보, IFC, 데이터모델

Abstract

Extension of IFC data model for steel bridge members is proposed to represent detailed design information. First of all, the design data items and their representation method are classified by analyzing primary references such as design specification, structural calculation documents and shop drawings. Some of the classified items are enough to be represented by the existing IFC model. However, the need of additional model is noted to systematically represent the design information for other items such as stiffener, diaphragm, joint system, and shear connector. An inheritance relations and properties for added model are also defined. The application program based on the proposed data model is developed. In the end, by loading the application program on the AutoCAD 2002 program, end-users can input the design information of steel bridge members. The applicability and efficiency of the proposed data model and the program are verified by checking the section area, intervals, and interferences.

Keywords : steel bridge members, detailed design information, IFC data model

1. 서 론

건설 산업은 하나의 프로젝트에 대하여 계획에서부터 설계, 시공, 공용, 폐기의 단계를 거치면서 다양한 직종의 사람들이 수많은 정보를 다룬다는 특성이 있다. 많은 담당자들이 협업을 통해서 복합적인 업무를 수행하면서 다양하고 방대한 정보들이 발생하고 참여자들 상호간에 정보 유통이 빈번하게 이루어

지기 때문에, 이러한 정보들을 체계적이고 효율적으로 관리할 필요가 있다. 그러나 각 단계에서의 실무 부서들은 여전히 독립된 작업환경 속에서 보고서, 2차원 CAD(Computer Aided Design) 도면, 구조 계산서 등의 문서 정보를 이용하여 정보 교환을 하고 있는 실정이고 이러한 과정에서 정보 불일치나 정보 손실과 같은 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 정보의 효율적인 관리와 상호 교환을 위한 표준화의 필요성

* 책임저자, 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수
Tel: 02-2123-2808 ; Fax: 02-364-5300
E-mail: lee@yonsei.ac.kr

* 학생회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 연구원

** 학생회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정

*** 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 연구교수

· 이 논문에 대한 토론을 2008년 8월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2008년 10월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

이 요구되었다. 최근 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어의 급속한 발전에 힘입어 시설물 정보 통합에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있고, 시설물의 전 생애주기 동안 발생하는 정보들을 CAD 시스템을 기반으로 통합·운영하는 협업 체계를 구축하고 있다(Chen 등, 2005). 국내에서도 건설 CALS/EC 계획(건설교통부, 1998; 2003)을 통해 건설 산업 전 과정에서 발생하는 정보를 발주기관, 건설 관련 업체들이 전산망을 통해 교환·공유할 수 있는 통합 정보 시스템 구축을 시도하고 있으나 국내·외적으로 실제 정보화가 이루어지고 있는 대상은 빌딩 구조물이 대부분이며, 토목 시설물은 그 사회적 중요성에 비하여 연구가 미흡한 실정이다.

한편, Faraj 등(2000), Marir 등(1998), Sadeghpour 등(2004)이 건설 산업의 다양한 분야에서 AutoCAD 프로그래밍 환경을 이용한 연구개발을 활발히 진행하였다. 또한, 전 생애주기 각 단계별 이해관계자의 상호 정보 호환성을 증대하기 위해 형상 기반의 정보모델 개발이 활발히 이루어지고 있는데, 그 대표적인 예로 다양한 빌딩 구조체와 그 부속물에 집중되어 있는 정보를 정의내릴 수 있는 빌딩 제품 모델(building product model)이 있다(Eastman, 1999; Rivard and Fenves, 2000). 그리고 건축 분야를 중심으로 새로운 국제 표준을 연구하고 있는 국제건설정보표준연맹(IAI, International Alliance for Interoperability)의 IFC (Industry Foundation Classes)는 토목 분야의 표준에 관한 연구를 시작하였는데 Lebegue(2005)은 IFC-BRIDGE V2에서 일반적인 교량의 설계와 관련된 표준을 연구하고 있으며, Yabuki and Shitani(2003), Yabuki and Zhantao(2006), Yabuki 등(2006)은 IFC 모델 기반의 철근 콘크리트 및 프리스트레스 교량의 표준에 대하여 연구하고 있으나 강 교량의 설계 정보를 표현하기 위한 연구는 매우 부족한 실정이다. 국내에서는 이상호와 정영석(2004a, 2004b), 이상호 등(2005a, 2005b)이 국제 표준인 ISO(International Standards Organization) 10303의 STEP(STandard Exchange of Product model data) AP(Application Protocol) 203과 AP 209를 이용하여 강 교량에 대한 형상정보, 물성정보, 구조 해석정보 등을 표현하여 교량에 대한 표준화된 정보모델을 제시하였다. 하지만 공간 요소의 구성이 미리 정의되어 있어 사용자 정의에 의한 공간요소의 식별에 대한 유연성이 떨어진다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 국가 기간 시설물 중 하나인 강 교량을 대상으로 표준시방서, 설계기준, 설계지침 등의 도서와 실제 구조계산서를 분석하여 강 교량의 설계 과정 및 설계 정보를 분석하고, 도출된 정보를 기존 IFC 모델과 비교 분석하여 적용 가능한 요소와 수정이 필요한 요소, 그리고 추

가적으로 필요한 요소로 구분하였다. 요소 구분을 바탕으로 강 교량 부재의 설계 정보 표현을 위한 IFC 기반의 데이터 모델을 구축하고 3차원 솔리드 모델을 이용한 프로그램을 개발하여 데이터모델의 적합성을 검증하고자 한다.

2. IFC 2X3 및 IFC-BRIDGE V2 모델 고찰

2.1 IFC 2X3 모델 분석

교량의 설계정보를 기존 IFC 모델에 적용하고 추가모델을 개발하기 위해 IFC 모델 중에서 교량의 설계정보에 적용이 가능한 부분과 새로운 추가모델이 필요한 부분에 대해서 검토하였다. 본 절에서는 교량의 설계정보와 기존 IFC 모델의 검토 결과를 비교 분석하여 IFC 모델의 핵심 구조인 객체, 특성, 관계성, 자원의 개념에 따라 분류하였다.

2.1.1 객체 개념이 적용되는 교량 설계정보

공간적 구조 요소와 물리적 구성 요소 부분에 객체 개념이 적용된다. 공간적 구성 요소에 해당하는 부분은 교량의 전체 형상 및 위치 정보를 나타내는 선형이 있으며 IfcSpatial-StructureElement의 하위 타입으로 적용된다. 물리적으로 존재하는 구조물의 구성요소는 주형, 가로보, 현장 이음, 보강재, 전단연결재 등이 있으며 IfcElement의 하위 타입으로 적용된다.

2.1.2 특성 개념이 적용되는 교량 설계정보

교량의 객체 정보에 각각 할당된 속성 정보들에 특성 개념이 적용된다. 즉, 각각의 객체 별로 적용되는 특성 정보는 각 객체가 갖게 되는 속성 정보에 해당하는 내용이다. 이들은 IfcPropertyDefinition의 하위 객체인 IfcPropertySet을 통하여 정의된다.

2.1.3 관계성 개념이 적용되는 교량 설계정보

관계성(relationship)은 객체, 특성, 자원들 간의 관계를 형성하는 개념으로 이에 따라 교량 설계정보 검토결과에서 관계성 개념이 적용되는 교량 설계정보를 구분할 수 있다. 여기에는 구조물 객체에 재료 정보를 할당하는 관계, 공간 구조 및 구조물 객체에 특성 정보를 할당하는 관계, 공간 구조 객체 간에 계층적 포함 관계, 공간 구조 객체에 구조물 객체를 할당하는 관계가 있다.

2.1.4 자원 개념이 적용되는 교량 설계정보

교량 공간 및 구조물 객체의 위치, 형상, 속성, 물성 정보

등을 표현하기 위한 기초적인 구성요소를 제공하기 위해 자원 개념이 적용되게 된다. 교량 설계정보에서 자원 개념이 적용되는 정보를 정리하면 각각 객체의 형상 정보는 `IfcGeometricModelResource`, `IfcGeometryResource`, `IfcTopologyResource`, `IfcRepresentationResource`, `IfcProfileResource`, 위치 정보는 `IfcGeometryConstraintResource`, 속성 정보는 `IfcPropertyResource`, `IfcMaterialResource`에 의해 적용된다.

2.2 IFC-BRIDGE V2 모델 분석

IFC-BRIDGE V2에는 총 22개의 객체와 8개의 형태(type)가 있다. 이들은 주로 콘크리트 교량에 대한 것이므로, 강 교량의 상세 설계 정보를 표현함에 있어 필요한 요소들을 제안할 필요가 있고 이들 중 일부는 기존 IFC의 객체 명칭이나 상속 관계 정의와 어긋나므로 수정이 필요하다. IFC에서 정의 내리는 위상관계나 상속관계에 적합하지 않은 객체에 대한 해결 방법으로 첫 번째는 가장 최신 버전인 기존 IFC 2X3 모델에서 정의된 객체들과 비교하여 적절한 위치와 그 성격이 유사한 곳에 배치하는 것이고, 다른 방법은 교량에 관련된 객체들을 따로 모아 자원 계층에 교량을 위한 별도의 스키마를 만드는 방법이 있다. 후자는 교량과 관련된 객체들만을 따로 모아 뚝으로써 쉽게 찾고 쓸 수 있으며, 교량만을 위한 독립성을 유지할 수 있다는 장점이 있으나 다른 토목 구조물을 위한 정보모델을 개발할 때마다 새로운 자원을 추가하여야 하며, 그것들 사이에서 비슷한 내용의 객체들을 중복 정의하게 되는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 수정이 필요한 객체들을 기존의 IFC 2X3 모델의 성격과 구조에 맞도록 재배치한다. 그리고 IFC의 명명 규칙에 어긋난 것, 속성 집합 정의에서도 오류가 보이기에 각각 수정안을 제시하고자 한다.

2.2.1 부적절한 위상관계의 재정립

우선 위상관계가 맞지 않는 대표적인 것으로 `IfcRoot`의 하위 객체로 정의 되어있는 `IfcBridgeFibre`, `IfcBridgeReferenceLine`, `IfcBridgeSection`, `IfcBridgeTechnologicalEdge`가 있다. 모든 IFC 객체의 최상위 객체인 `IfcRoot` 하위에는 `IfcObjectDefinition`, `IfcPropertyDefinition`, `IfcRelationship`의 단 세 개의 객체만 존재한다. 이들은 객체 정보, 속성정보, 관계성정보를 대표하는 객체로서 그들만을 위한 최상위 의미를 지니고 있다. 하지만 IFC-BRIDGE V2에서는 위의 네 개의 객체와 같이 구체적인 정보를 담을 수 있는 객체를 `IfcRoot` 하위에 위치시키는 오류를 범하고 있기에 기존의

IFC 2X3의 다른 객체와 성격이 비슷한 곳에 위치시키는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

`IfcBridgeFibre`는 IFC-BRIDGE V2에 따르면 각주모양의 축방향 부재로 정의된다. 이는 폐합하는 파이버(enclosing fibre)의 물질을 대체하는 기본적인 파이버를 구성하지 않으면 하나의 물질로 구성된다. 파이버의 반대 의미는 단면(section)에 속한 `IfcBridgeProfile`의 의미로부터 정의된다. 파이버는 `IfcRelAssociatesMaterial` 관계에 의해 정해진 물성 정보를 갖는다. IFC 2X3에 존재하는 이와 비슷한 의미를 갖는 객체로는 `IfcBridgeElement` 하위에 있는 `IfcBridgeSegment`, `IfcBridgePrismaticElement`, `IfcBridgeElementComponent`가 있다. 따라서 객체 이름을 `IfcBridgeFibreElement`로 바꾸고 `IfcBridgeElement` 하위에 둔다. `IfcBridgeReferenceLine`은 각주모양 부재의 위치와 방향을 확정하는 3차원 개념의 기하 곡선이다. 이는 구조물의 일반적인 기준 틀(reference frame)안에서 기하적으로 정의되며 시작점과 끝점을 갖는 직선이다. 축의 기준점은 축위치(Axis-Placement)와 겹치는 참조 선(reference line)의 한 점으로 결정된다. IFC 모델에 존재하는 이와 비슷한 의미의 객체로는 `IfcGeometryResource` 자원 계층에 있는 `IfcCurve` 하위에 있는 `IfcLine`, `IfcBoundedCurve` 등이다. 따라서 `IfcBridgeReferenceLine`도 이 위치에 있어야 하겠다. `IfcBridgeSection`은 하나 또는 그 이상의 프로파일에 의해 제한되는 평평한 표면 요소이다. 단면은 파이버의 외부 프로파일을 사용하여 묘사된다. 외부 프로파일과 기술적 모서리(technical edge)의 두 속성을 갖는데, 기술적 모서리는 두 기하학적 모서리 사이의 겹치는 선이며 파이버의 외부 프로파일들의 부분들 사이에서 1차원적 연결을 확신할 수 있도록 해준다. 이 객체 역시 자원 계층 중 형상정보를 표현해주는 `IfcGeometryResource`의 `IfcCurve` 하위에 있는 연속된 접선방향 벡터를 갖는 무한 곡선인 `IfcLine`, 시종점이 있는 유한 호 길이의 곡선을 의미하는 `IfcBoundedCurve`와 비슷하므로 그곳에 위치시킨다. `IfcBridgeSection`은 하나 또는 그 이상의 프로파일에 의해 제한되는 평평한 표면 요소로서 그 단면은 파이버의 외부 프로파일을 사용하여 묘사된다. 속성으로 외부 프로파일과 기술적 모서리(technical edge)를 갖는데 그 중 기술적 모서리는 두 기하학적 모서리 사이의 겹치는 선을 의미하며, 파이버의 외부 프로파일들의 부분들 사이에서 1차원적 연결을 확신할 수 있도록 해준다. 이 객체 역시 `IfcBoundedCurve` 하위에 있는 `IfcCompositeCurve`, `IfcPolyLine` 등과 비슷한 성격이므로 그곳에 위치시키도록 한다. 마지막으로 `IfcBridgeTechnologicalEdge`는 각각 각주 모양 부재 단면 외곽선의 기하 묘사를 가능하게 해준다. 이는 구분되는 교량

프로파일의 두 부분 사이의 접속 관계를 말하며 이를 통해 프로파일의 두 부분을 연결해준다. 따라서 이 역시도 IfcBridgeSection과 같이 IfcBoundedCurve 하위에 둔다.

2.2.2 상속관계 없는 객체의 재정립

다른 위상관계가 맞지 않는 경우로는 전혀 상속관계가 정의되어 있지 않는 객체들이다. IFC 모델에서 자원 계층의 객체들은 상속관계가 없이 독립적으로 다른 계층에 참조되거나 사용될 수 있다. 그러나 여기서 언급하고자 하는 다섯 개의 객체들, IfcBridgeAxisPlacement, IfcBridgeProfileDef, IfcBridgeSectionOrientation, IfcBridgeSingularInternalPoint, IfcBridgeSubPartProfileDef은 각각 기존 모델에서 유사점을 갖는 객체들이 존재하므로 이들을 BridgeResource와 같이 자원 계층에 따로 모아두지 않고 기존 모델에 성격에 맞도록 재배치하였다. IfcBridgeAxisPlacement는 교량 참조 선을 따라 생성된 틀의 위치를 정의하며 IfcBridgeSectionOrientation는 교량 참조 선을 따라 생성된 교량 단면의 방향을 의미하므로 둘 다 위치 정보를 표현해주는 IfcPlacement 하위에 둔다. 또한 IfcBridgeSingularInternalPoint는 각주 모양의 부재 내부에 존재하는 특별한 점으로써 일부 기술적인 교량 특징들을 묶어주는 데 사용되므로 역시 IfcPlacement 하위에 둔다. IfcBridgeProfileDef와 IfcBridgeSubPartProfileDef는 교량 설계에 대한 구체적인 프로파일 및 교량 단면의 특별한 하위 부분 프로파일 정의를 말하며 이는 IfcProfileDef 하위에 둔다.

2.2.3 부적절한 객체 이름의 변경

그 외에 객체 이름을 변경해야 할 것으로는 IfcBridgeStructureIndicator가 있는데 이는 복합재료인지, 단일재료인지 등을 열거해주는 형태로서 IfcBridgeStructureIndicatorType처럼 type 형태의 이름으로 바뀌어야 하겠다. IfcBridgeTendon에서 정의하고 있는 속성 집합에서 기존의 IFC 2X3 모델에서 정의 내리는 것과 상이한 형태로 정의 내린 '적용가능성(applicability)'과 '적용 가능 클래스(applicable classes)'도 수정이 필요하다. IFC 모델 속성 집합 정의에는 '적용 가능성'이란 항목은 존재하지 않으며 보통 적용가능 클래스도 속성 집합 이름을 통해 밝히는 객체를 지원하게 된다. 따라서 IfcBridgeTendon의 속성 집합에 있는 적용가능성은 삭제하며, 적용가능 클래스는 IfcTendon에서 IfcBridgeTendon으로 수정한다.

2.2.4 강교 부재 세부 설계 요소의 표현을 위해 필요한 객체

기존의 스키마는 콘크리트 교량을 중심으로 개발이 되었기 때문에 강재 주형을 사용하고 있는 교량에는 적용할 수 없다는 단점이 있다. IFC-BRIDGE V2를 통해 강 교량의 주 단면 즉 상부 플랜지, 하부플랜지, 웹, 리브 등의 형상 표현은 가능하지만 보강재(종방향, 축방향), 격벽(Diaphragm), 전단연결부의 속성 표현은 불가능하거나 가능하다 하더라도 그 속성까지 자세하게 표현할 수 없다는 한계점이 있다. 따라서 이들을 표현하기 위한 객체인 IfcBridgeStiffener, IfcBridgeDiaphragm, IfcBridgeShearConnector, IfcBridgeJointSystem을 IfcBridgeElementComponent 하위에 정의 내린다. 또한 교량의 공간적 구성요소를 정의 내리기 위한 IfcBridgeSpace를 IfcSpace 하위에 새로 만든다. 자세한 설명은 3.2절에 나타내었다.

3. 강교 부재 표현을 위한 IFC 데이터모델 확장

본 장에서는 교량 데이터 모델 개발을 위한 기존 IFC 모델 분석 결과와 교량 설계정보의 분석 결과에 따른 IFC 모델 구조에 부합하는 강 교량 설계정보 표현을 위한 IFC 기반 데이터 모델을 제안한다. IFC 모델은 객체 정보를 기준으로 특성, 자원 정보가 관계성에 의해 객체 정보에 할당되는 개념이기 때문에 교량 설계정보를 위한 IFC 기반 정보모델은 객체 정보를 기준으로 개발하였다. 따라서 교량의 공간적 구조 요소와 구조물의 구성요소를 표현하는 객체 모델을 제시하고 이러한 객체 모델을 기준으로 해당 객체에 할당되는 특성 모델과 자원 모델을 구성하고 객체에 특성과 자원을 할당하는 관계성 모델을 구축하였다.

3.1 강교 부재의 설계 과정 분석 및 정보 도출

강 교량의 설계 과정 및 설계 정보 분석을 위해 크게 세 종류의 도서를 분석하였다. 첫 번째로는 도로교통표준시방서(건설교통부, 2005)의 제2장 강교, 도로설계편람Ⅲ(건설교통부, 2001)의 506 강교, 토목공사표준일반시방서(대한토목학회, 1996)의 제 5 장 일반 강구조물 공사, 도로교 설계기준(한국도로교통협회, 2000)의 제3장 강교편을 분석하였다. 두 번째로는 도로설계요령 제3권 교량(한국도로공사, 1992), 강도로교 상세부설계지침(한국강구조학회, 2006), 최신교량공학(황학주, 1999) 등을 분석하였으며 마지막으로 실제 설계 도서인 구조계산서를 분석하였다.

우선, 설계과정을 분석하여 각 과정에서 필요로 하는 제품의 정보들을 다루게 된다. 분석 내용에 따르면, 첫 단계인 설계 조건을 확정하는 단계에서는 건설할 교량의 위치, 선형,

형식, 연장, 폭원, 설계하중 등을 결정하게 되며 이는 위치, 형상, 물성, 속성 정보의 한 가지로 분류될 수 있다. 이후 표준 단면을 가정하는 단계에서는 주형 개수와 사용하게 될 주형의 크기, 교량 주형 폭, 바닥판 두께, 교폭 등을 정한다. 각 부재를 상세 설계하는 단계에서는 바닥판, 주형, 가로보, 이음, 보강재 및 전단연결재 등에 대하여 위치, 크기, 제원 등을 결정하며 처짐, 피로를 검토하고 신축량을 산정하여 교량의 안정성을 판단한 후 설계를 마치게 된다. 설계 과정에서 도출되는 요구 정보들을 간추려서 객체로 설정하고 이에 필요한 속성을 정의하는 프로덕트(product) 모델링을 수행한다.

3.2 IFC 기반 강교 부재 설계정보 데이터모델

3.1절의 수행 결과 도출된 객체를 IFC 모델에 부합하도록 하기 위하여 다음과 같이 공간적 구조요소와 구조물 구성요소로 분리하였다.

3.2.1 공간적 구조 요소

공간적 구조 요소(IfcSpatialStructureElement)는 "공간배열에 따라 프로젝트 모델을 다루기 쉬운 서브집합으로 분할"하는 것이다. 기존의 IFC 모델에서 공간적 구조 요소는 그림 2와 같이 건설 프로젝트가 완공되는 토지를 의미하는 대지(IfcSite), 거주자 또는 내부 물건들에게 안식처를 제공하며 한 장소에 존재하는 구조물을 의미하는 건물(IfcBuilding), 표고를 갖고 수직적으로 묶인 공간에서 거의 수평적인 집합을 표현해 주는 건물의 층(IfcBuildingStorey), 그리고 그 층 안에서 더 세밀한 부분을 의미하는 공간(IfcSpace)의 4가지 개념으로 구성되어 있다. 하지만, 건설 프로젝트에서 가장 큰 공간의 의미를 갖는 대지에서부터 건물, 층, 공간의 네 가지 개념 중 IfcBuilding, IfcBuildingStorey, IfcSpace는 그 정의가 건축물에 한정되어 있다. 따라서 교량의 설계정보를 적용하기 위해서는 그에 적절한 객체의 수정 또는 새로운 객체의 정의가 요구된다.

대지 위에 건설된 객체를 의미하는 빌딩은 그에 관한 일반적인 속성 집합, 물 공급을 위한 속성 집합, 부동산 환경에 대한 속성 집합, 이웃 빌딩에 관한 사용정보 등을 속성 집합으로 갖고, 표고와 주소 등이 객체 속성으로 정의되어 있다. 하지만 교량 설계 시에는 이러한 속성보다 교량의 위치, 선형, 형식, 연장 등의 설계 조건이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 그림 2와 같이 IfcBuilding의 위치에 IfcConstruction을 제안하고 그 하위에 IfcBuilding과 IfcBridge를 배치한다. 빌딩과 교량의 공통 요소라고 할 수 있는 참고 표

고와 주소 등을 IfcConstruction의 속성으로 모으고 나머지는 각각의 속성으로 둔다. IfcBridge의 속성으로 정의된 구조 형식은 박스주형, 아치, 현수교, 사장교, 주형교, 슬라브교 등의 분류를, 구조 지표(StructureIndicator)는 합성, 방수, 균등질 등의 분류를 나타낸다.

빌딩에 귀속되며, 몇 개의 연결된 층에 걸쳐 퍼져 있을 수 있고 또는 복합층을 의미할 수도 있는 빌딩의 층은 교량 구조물에서는 기초, 하부구조, 상부구조로 대비될 수 있다. 일반적인 건물의 층에 적용되는 속성 집합과 선택적 속성인 표고, IfcRelDefinesByProperties에 의해 첨부되는 빌딩 층과 관련된 양들인 총 높이, 바닥 면적 등은 교량에 바로 적용할 수 없다. 따라서 IfcSpatialStructureElement의 하위에 IfcConstructionStorey를 새로 제안하고 그 하위에 기존의 IfcBuildingStorey와 교량에 적용될 IfcBridgeStorey를 둔다. IfcBridgeStorey의 속성에는 기초 깊이, 거더 높이, 교폭 등의 속성들이 적용되어야 하겠다.

마지막으로, 가장 작은 공간을 의미하며 빌딩의 층 내에서 어느 기능을 하는 IfcSpace 역시 건축적 의미만 내포하고 있다. 주차 공간, 주차공간용 복도, 화재 안전 요구를 위한 공간 등의 속성 집합과 건물의 내장 또는 외장을 위한 공간, 본 공간의 층의 높이 등을 속성으로 갖는데 그 중 각 층의 표고를 의미하는 속성 외에는 교량에 공통적으로 적용할 수 있는 속성이 없다. 따라서 IfcConstructionSpace를 제안하고 그 하위에 기존 IfcSpace에 있는 건물에 대한 내용을 담을 수 있는 IfcBuildingSpace에 두고 교량의 최소 공간 단위를 의미하는 IfcBridgeSpace를 만드는 것이 필요하다고 본다.

이러한 공간적 구조 요소의 하위 형태들은 분해 관계성의 하나인 IfcRelAggregates에 의해 IfcProject에 포함되게 된다. IfcObject의 하위 형태인 IfcProject는 데이터베이스 모델에서 공유, 교환되는 모든 정보의 최상위 컨테이너이며 해당 데이터베이스 모델에서 단 한 개의 인스턴스(instance)만 생성 가능하다. IfcProject는 프로젝트의 제목 및 프로젝트의 현재 상태, 공통으로 사용되는 단위, 좌표계, 공간차원 등에 관한 정보를 객체의 속성 정보로서 표현한다. 그림 1에서 IfcBridge는 표 1의 교량 설계정보에서 본선 선형에 해당하는 공간적 구성요소로서 교량의 선형을 포함한 교량 전체의 공간적 형상 정보 및 위치 정보와 교량 자체에 대한 특성 정보를 제공하기 위해 사용된다.

• IfcBridge의 형상 정보

개발된 교량의 형상을 표현하기 위해 그림 2와 같이 IfcProduct의 표현 속성에 의해 구현된다. 이는 객체의 형상

표현을 위한 IfcProductDefinitionShape을 하위 객체로 가지며, IfcProductRepresentation의 Representations 속성은 객체의 복합적인 표현을 위해 적용된 형상 표현 아이템들을 담기 위한 컨테이너인 IfcRepresentation 하위의 IfcShapeRepresentation을 가진다. IfcGeometricRepresentationItem의 Items 속성은 IfcSectionedSpine에 의해 구현된다. IfcSectionedSpine에는 IFC 모델에서는 세 가지가 있었는데 IFC-BRIDGE모델에서 한 가지를 더 추가하여 네 가지가 되었다. IfcBridgeSection은 하나 또는 그 이상의 프로파일에 의해 제한되는 평평한 표면 요소로서 단면(CrossSections)이 특정 기준선(SpineCurve)을 따라 기준선의 정해진 위치 (CrossSectionPositions)에 적용되는 형상 표현 개념이다. 교량을 포함한 토목 구조물과 같이 중심선의 방향으로 같은 단면 혹은 유사한 단면을 가진 제품의 형상 정보를 표현하는데 가장 적합하다.

• IfcBridge의 단면 정보

IfcBridge의 형상 정보를 IfcBridgeSectionedSpine으로 표현하기 위해 IfcProfileDef 하위에 IfcBridgeProfileDef를 정의하고 단면 정보를 입력할 수 있도록 하였다. 프로파일(profile) 정의 속성은 IfcProfileDef, 하위 성분(subpart)은 IfcBridgeProfileDef, 두 하위 성분 사이의 기술적 모서리(technological edge)는 IfcBridgeTechnologicalEdge, 파이버(fibre)는 IfcBridgeFibreElement를 사용한다.

• IfcBridge의 위치정보

개발된 IfcBridge의 위치 정보 표현은 그림 3과 같이 IfcProduct의 ObjectPlacement 속성에 의해 구현된다. 이는 다른 객체의 지역 좌표 시스템을 정의하는 IfcLocalPlacement를 사용하게 되는데 그 중 PlacementRelTo 속성이 갖는 다른 객체의 또 다른 IfcObjectPlacement를 통한 좌표축을 기준으로 IfcLocalPlacement의 RelativePlacement 속성이 갖는 IfcAxis2Placement를 해당 객체의 좌표축으로 적용하는 것이다.

• IfcBridge의 특성 정보

IfcBridge의 특성 정보 표현은 IfcBridge의 특성들을 각각 표현하는 IfcProperty의 하위 타입들을 정의하는 것에서 시작된다. 그림 4에서와 같이 특성들의 집합을 포함하는 컨테이너인 IfcPropertySet을 정의하고, IfcRelDefinesByProperties의 RelatingPropertyDefinition 속성을 IfcPropertySetDefinition으로 정의하여 특성 집합인 IfcPropertySet을 참조하게 한다. 한편 IfcRelDefines의 Related-

표 1 주형 설계에 필요한 정보 분석

요소	구성 속성	분류
위치	지역 좌표 원점, 교축 방향, 참조선의 시종점	위치 정보
H형 강의 계원	복부판 높이, 복부판 두께, 복부판 길이, 플랜지 폭, 플랜지 두께, 플랜지 길이	형상, 속성정보
강재 물성 계원	단면적, 단위중량, 단면2차모멘트, 강도	속성정보
충격 계수	교량 총 길이	속성정보

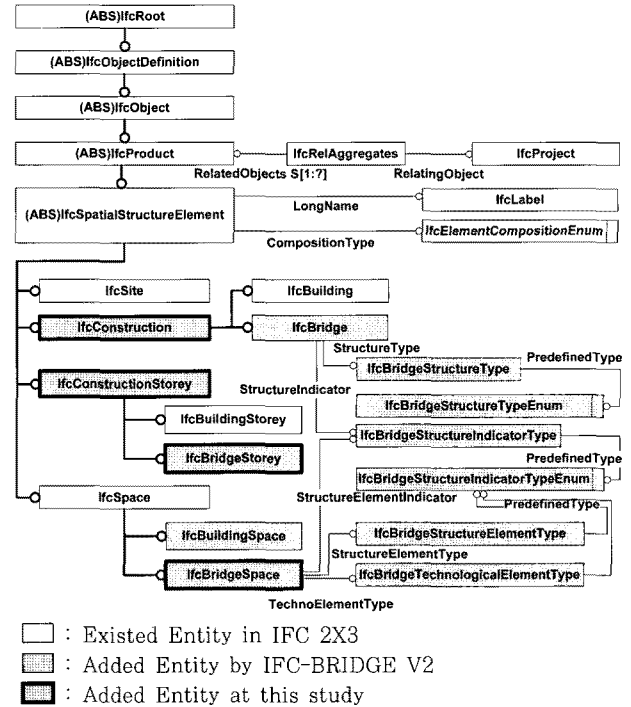


그림 1 추가된 IfcSpatialStructureElement의 하위 객체

Objects 속성이 IfcObject를 참조하게 함으로써 IfcBridge를 참조하게 된다. 결국 IfcBridge는 IfcRelDefines 관계성에 의해 특성집합과 연결이 된다.

3.2.2 구조물 구성 요소

IfcElement는 건설 산업 분야의 생산품을 구성하는 모든 구성요소들을 일반화한 요소이다. IfcElement는 각종 구조물 및 구멍과 같이 비어있는 요소를 포함한 물리적으로 존재하는 모든 객체를 의미하며 그림 5에서처럼 IfcRelContainedInSpatialStructure 관계성을 이용하여 공간적 구조요소(IfcSpatialStructureElement)의 계층적 구조의 특정 부분에 포함되게 된다. IFC 모델에는 IfcElement의 하위 타입으로 IfcBuildingElement, IfcFurnishingElement, IfcElectricalElement, IfcDistributionElement 등이 있으며 대부분 빌딩 프로젝트에서만 적용이 가능한 모델이기 때문에 그림 5와 같이 교량과 관련된 추상 상위타입인 Ifc-

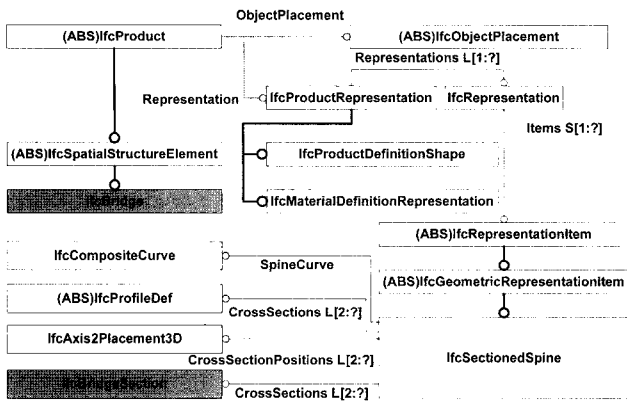


그림 2 IfcBridge의 형상 정보 표현

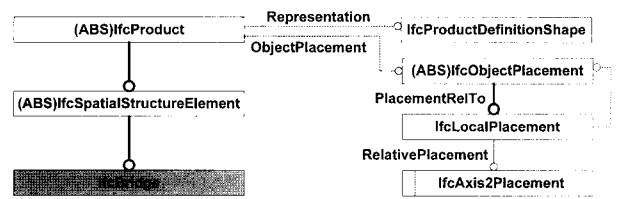


그림 3 IfcBridge의 위치 정보 표현

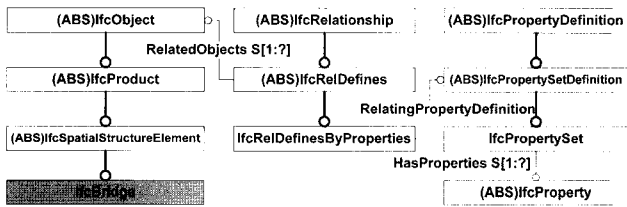


그림 4 IfcBridge의 특성 정보 표현

BridgeElement를 만들고 그 하위 타입으로 IfcBridgeSegment, IfcBridgePrismaticElement, IfcBridgeFibreElement, IfcBridgeElementComponent를 만든다.

IfcBridgeSegment는 기술적 정보들을 지원하는 참조선의 세그먼트로서 건설 단계에서 결합될 수 있다. IfcBridgeSegment의 속성으로는 교량 세그먼트 타입을 결정해주는 SegmentType(IfcBridgeSegmentType), 정의된 세그먼트의 참조선을 의미하는 ReferenceLine(IfcBridgeReferenceLine) 등이 있다. PrismaticElement는 전체 길이를 따라 고정된 속성을 갖는 요소들을 말하지만 IfcBridgePrismaticElement는 단면 변화를 고려한 요소도 포함이 된다. 속성으로는 IfcBridgeSegment와 마찬가지로 타입을 결정해주는 PrismaticElementType(IfcBridgePrismaticElementType)과 참조선을 의미하는 ReferenceLine 그리고 기술적 세그먼트 등을 갖는다. IfcBridgeFibreElement는 교축 방향 요소로서 각주 모양 요소에 포함이 된다고 할 수 있다. 속성으로는 또 다른 파이버를 참조할 수 있도록 IncludedFibres를 가지며, 폐합 파이버와 접촉 유형을 말하

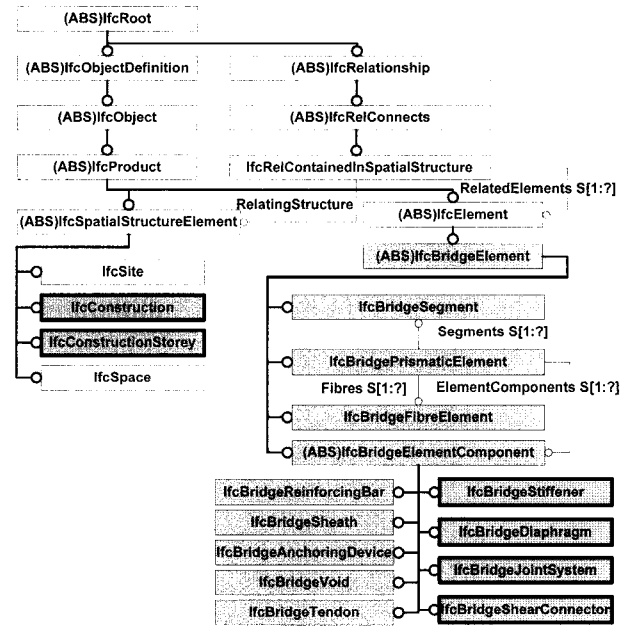


그림 5 추가된 IfcElement의 하위 객체

는 선택적 속성인 ContactTypeWithEnclosingFibre(IfcBridgeContactType)을 갖는다. IFCBRIDGE V2에서는 위 세 가지 객체를 기본으로 하여 대부분의 교량 구조물을 표현하고자 하였으나 일부 부속품들은 그 특성상 따로 분류하여야 할 필요가 있어 IfcBridgeElementComponent를 만들어 그 하위 타입으로 두게 되었다. IfcBridgeElementComponent 하위 타입에는 IfcBridgeReinforcingBar, IfcBridgeSheath, IfcBridgeAnchorainDevice, IfcBridgeVoid, IfcBridgeTendon이 있었으며, 본 연구를 통해 특히 강 교량에 필요한 보강재, 현장 이음, 격벽, 전단연결재 등 교량 구조물을 위한 교량 요소를 제안하게 되었다. 이들은 추상적 상위타입인 IfcBridgeElementComponent의 하위 타입으로 각각 IfcBridgeStiffener, IfcBridgeJointSystem, IfcBridgeDiaphragm, IfcBridgeShearConnector로 제안하게 되었다.

IfcBridgeElement의 형상 정보 및 단면 정보, 위치 정보, 특성 정보의 표현 원리는 근본적으로 공간 구조 요소인 IfcBridge와 동일하다. 그 이유는 IfcBridge와 IfcBridgeElement가 모두 IfcProduct의 하위 타입이며 형상 정보 및 단면 정보, 위치 정보는 IfcProduct의 속성에 의해 표현되고 특성 정보는 IfcObject의 속성에 의해 구현되기 때문이다. 일부 형상정보는 최종적으로 IfcShapeRepresentation의 Items 속성에 할당된 IfcRepresentationItem의 하위 타입에 의해 표현하였지만 대부분은 IfcBridge와 같으므로 동일하게 적용하였다.

• IfcBridgeStiffener

복부판에 생기는 응력 중 주로 압축력 때문에 복부판이 좌굴되는 경향을 갖는데 이에 대비하기 위해 복부판에 어떤 간격으로 보강재를 넣어 강성을 증대시키게 된다. 이를 위해 IfcBridgeStiffener 객체를 제안하였으며, 이 형상 정보는 IfcSectionedSpine에 의해 구현된다. 교량 보강재에 관한 정보를 표현하기 위해서 그림 6에서와 같이 IfcBridgeStiffenerProfileDef을 IfcParameterizedProfileDef의 하위 타입으로 추가하였다. IfcBridgeStiffenerProfileDef의 속성에는 가공방법, 절단방향, 표면처리방법, 부재의 운송·보관 및 관리, 제작치수 허용오차, 정밀도가 있으며, 소요강비, 좌굴 계수, 보강판의 형상비, 한계형상비, 단면적비가 기존의 단면 정보로부터 파생되어 나오는 속성으로 정의되게 된다.

• IfcBridgeJointSystem

구조, 부재 혹은 그를 구성하고 있는 재료는 재료 그 자체에 작용하고 있는 응력 또는 변형이 서로 전달되는 경우를 서로 이음되어 있다고 말하고, 부재내의 접합을 이음(splice), 부재와 부재와의 이음을 연결(connection)이라 하며 이를 총칭한 구조부분에 이음(joint)라고 한다. 이음 방법에는 리벳(rivet) 이음, 볼트(bolt) 이음, 핀(pin) 이음, 용접(welding)에 의한 이음 등이 있으며 용접이음은 다음의 EXPRESS 표현과 같이 종류별로, 구조적 기능별로 나눌 수 있다. 따라서 IfcBridgeJointSystem은 다시 IfcBridgeWeldingJoint와 IfcBridgeBoltJoint로 나눌 수 있다. 그림 6에서 IfcBridgeBoltJointProfileDef의 속성에는 이음효율, 볼트 축력, 와셔, 너트 회전 방법, 토크 계수, 틈새, 채움재, 작용력에 대한 정보들을 담을 수 있도록 하였으며, IfcBridgeWeldingProfileDef의 속성에는 용접치수, 용접금속, 용접길이, 용접방법, 용접봉, 용접순서 등의 정보들을 담을 수 있도록 정의하였다.

```

TYPE IfcBridgeWeldingJointVarietyTypeEnum = ENUMERATION OF
(SHIELD_METAL_ARC_WELDING, SPOT_WELDING,
SUBMERGED_ARC_WELDING, CO2_ARC_WELDING,
STUD_WELDING, ELECTRO_SLAG_WELDING,
NOTDEFINED);
END_TYPE;
    
```

```

TYPE IfcBridgeWeldingJointStructuralTypeEnum = ENUMERATION OF
(GROOVE_WELDING, FILLET_WELDING, NOTDEFINED);
END_TYPE;
    
```

• IfcBridgeDiaphragm

하중 작용 시 박스형 단면은 원래의 형상을 유지하지 못하고

비틀림을 받게 된다. 이로 인해 단면변형이 생길 수 있는데 이를 방지하고 박스 주형의 강성을 유지하거나 작용력의 전달을 원활하게 하기 위해 격벽을 적당한 간격으로 배치한다. IfcBridgeDiaphragm은 IfcBridgeElementComponent의 하위 타입으로 아래 EXPRESS 표현과 같이 강지보재의 재료 형상에 따른 구분을 표현하였고, 그림 6의 IfcBridgeDiaphragmProfileDef에서는 격벽의 간격, 강성, 단면 변화 계수, 허용 휨응력, 수정강성을 담을 수 있도록 정의하였다.

```

TYPE IfcBridgeDiaphragmTypeEnum = ENUMERATION OF
(BOX_TYPE, K_TYPE, X_TYPE, NONDEFINED);
END_TYPE;
    
```

• IfcBridgeShearConnector

콘크리트와의 합성구조에서 양자 사이의 전단 응력 전달 및 일체성 확보를 위해 전단 연결재를 설치하고 있다. 그림 6의 IfcBridgeShearConnectorProfileDef에서는 스티드에 작용하는 최대 전단력, 허용 전단력, 피로강도, 제작 오차의 정보를 담을 수 있도록 정의하였다.

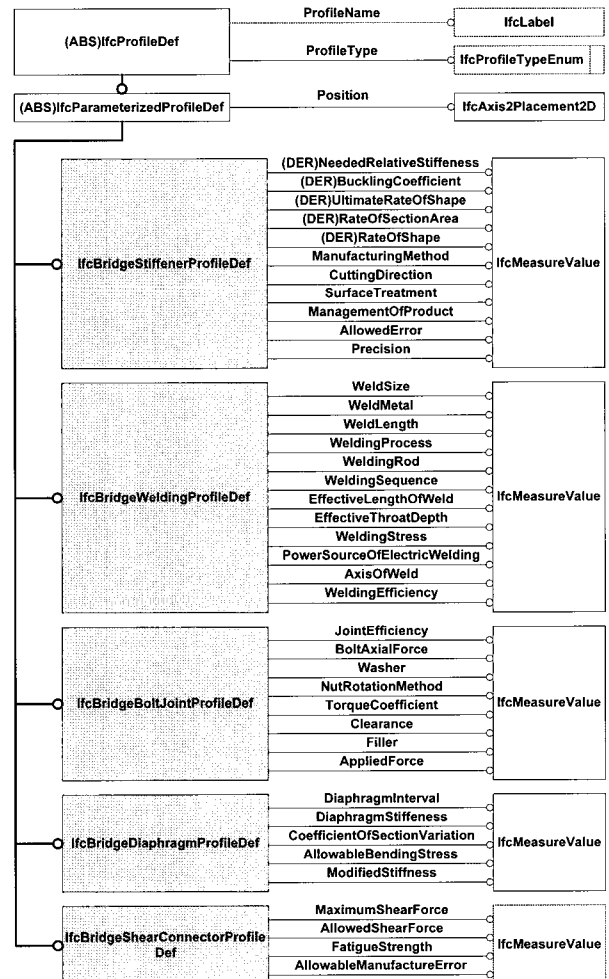


그림 6 제안한 객체들의 Profile Definition 다이어그램

4. 설계정보 검토 모듈

4.1 개발 환경 및 모듈 알고리즘

앞 장에서 제안한 강 교량의 IFC 기반 데이터 모델을 바탕으로 3차원 솔리드 형상 기반의 설계 정보를 표현 할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 이를 위하여 두 개의 상용 프로그램과 네 개의 library를 이용하였다. 국내 대부분의 교량 설계 도면은 AutoDesk사의 상용프로그램인 AutoCAD를 사용하여 2차원으로 작성하고 있다. 새로 개발될 모듈도 AutoCAD 기반으로 개발된다면 기존 도면과의 호환성과 확장성에 이점이 있으므로 사용자 인터페이스를 AutoCAD 2002로 하였다. 개발된 명령을 실행하게 하는 ObjectARX 2000 library, 3차원 솔리드 모델링을 위한 ACIS modeler 4.0 library, IFC 2X3에서 제공하는 library에 본 연구에서 추가된 것을 합친 수정된 IFC 2X3 library, 최종적으로 물리적 STEP 파일 생성을 위해 필요한 ROSE library를 이용하였으며 개발 프로그래밍 언어는 Microsoft Visual C++ 6.0를 이용하였다.

본 연구에서 개발된 프로그램은 원시 데이터가 세 단계의 모듈을 거쳐 최종 정보로 변환시킨다. 첫 번째 모듈은 대화상자를 통해 설계 정보를 입력하는 것이고 이어서 입력 받은 데이터를 바탕으로 3차원 형상을 구현하는 모듈, 마지막으로 설계 정보를 ISO 국제 표준을 기반으로 한 중립형태의 물리적 STEP 파일로 저장하는 모듈이다.

4.1.1 설계 정보 입력 모듈

개발한 프로그램의 첫 번째 단계는 설계 정보 입력 단계로서 사용자가 대화상자에 직접 설계 정보를 입력함으로써 프로그램을 시작하게 된다. 강 교량 프로젝트에 대한 기본적인 프로파일 설명에서부터 강 교량 및 부재들의 위치정보, 형상정보, 물성정보, 속성정보가 3차원 형상기반 구축 모듈로 입력된다. 공간적 구조 요소의 경우에는 요소가 포함되게 되는 상위 공간 요소에 연결되며 구조물 구성 요소는 구조물이 속한 요소에 연결된 후 연결된 공간에서의 위치 정보가 입력된다.

4.1.2 형상 표현 모듈

형상 표현 단계에서는 첫 번째 단계에서 입력 받은 위치정보와 형상정보, 속성정보를 바탕으로 ACIS 라이브러리를 통하여 3차원 객체를 생성한다. 우선 입력된 참조선(reference line)의 시점과 중점 정보에 입력된 단면정보를 입력하여 Boundary representation, sweep solid, skinning 중 적절한 방법으로 3차원 솔리드 객체를 생성한다. 단면적과

부피 계산을 통해 솔리드 생성 검증을 수행하며, 최종적으로 생성된 솔리드를 AutoCAD상에 등록하여 사용자가 다룰 수 있도록 한다. STEP 데이터와 연결하여 사용자가 AutoCAD 기반에서 솔리드 객체를 통한 STEP 데이터를 조회하고 수정할 수 있도록 하였다.

4.1.3 STEP 파일 생성 및 저장

마지막 단계는 생성된 STEP 데이터를 관리하고 저장하는 역할을 수행한다. 생성된 데이터를 새로운 STEP 파일 공간을 만들어 저장하거나 기존에 있던 STEP 파일 공간에 덧붙여 저장한다. 새롭게 갱신된 파일은 최종 사용자가 쉽게 조회하고 수정할 수 있다. STEP 파일은 ISO 국제 표준 기반 중립 형태의 물리적 파일로서 확장성과 호환성이 뛰어나므로 본 연구를 통해 개발된 데이터 모델을 이용한 프로그램이 건설산업의 표준화에 기여할 수 있으리라 기대된다. 이상에서 살펴본 4.1.1절에서 4.1.3절까지의 단계를 종합하여 그림 7에 나타내었다.

4.2 개발한 모듈의 강 교량 적용 및 검토

3장에서 제안한 데이터 모델은 개발한 프로그램을 통하여 물리적 STEP 파일을 생성함으로써 검증하였다. 본 장에서는 테스트용 강 교량 부재를 대상으로 개발된 프로그램을 이용하여 표현함으로써 그 적용성을 살펴보았다. 테스트용 강교는 지간 13.5m, 폭원 7.9m인 강판형주형교(steel plate girder bridge)로서 주형은 808×302×16×30 제원의 H형강 다섯 개가 1.7m 간격으로 배치되었다. 현장이음은 일반적으로 6m 간격으로 하지만 본 테스트용 교량은 중간부분인 시점부터 6.75m지점 한 곳에 배치하였다. 지점 가로보는 600×200×12×17 제원의 H형강을 사용하였다. 테스트용 교량의 횡단면 및 지점부 가로보는 그림 8과 같다. 바닥판을 제외한 강 교량의 설계 순서에 따라 주형, 가로보, 현장이음, 보강재 등의 순서로 3차원 모델링을 수행하였다. 그림 9는 프로그램을 통해 테스트용 교량의 가로보와 현장 이음부 모델링 과정을 보여주며 그림 10에서 모델링 후 최종 상세 3차원 형상을 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서는 강교의 설계정보를 IFC에서 정의한 데이터 모델에 따라 분석하고, 필요한 정보 요소들을 추출하였다. 건축 분야 중심이지만 광의에서 건설의 국제 표준이라고 할 수 있는 IFC 모델을 바탕으로 강교 설계정보 표현에 필요한 요

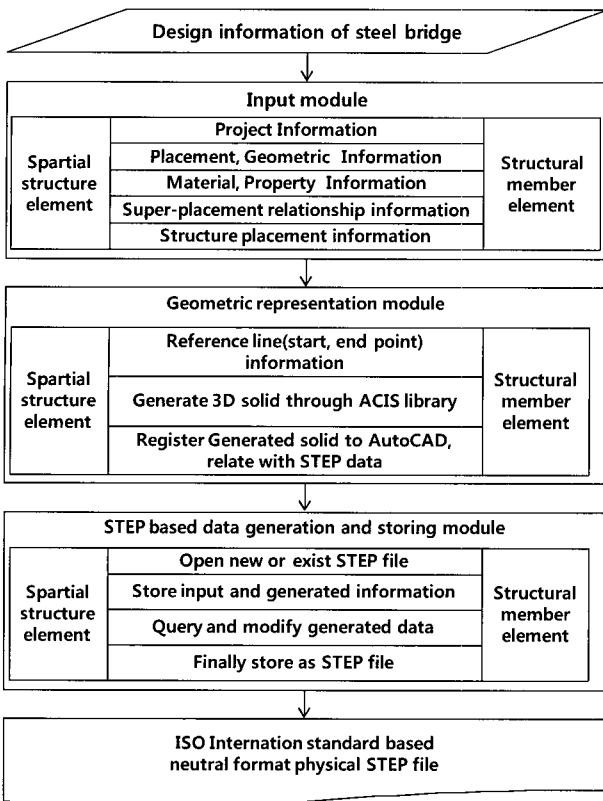
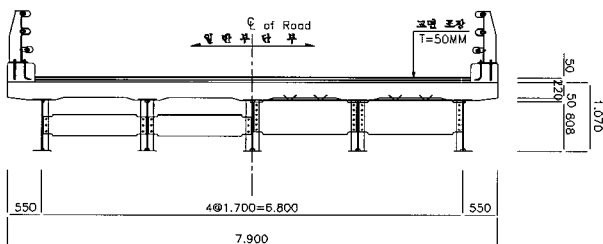


그림 7 개발 알고리즘의 순서도



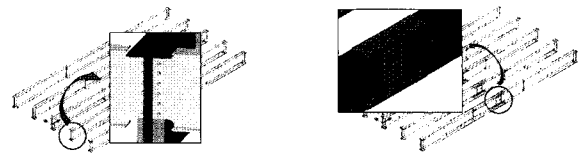
(a) 단면도

(b) 보강재의 단면도

그림 8 대상 교량의 단면도 및 보강재의 단면도(단위: mm)

소를 제시하고, CAD 시스템에서 3차원 솔리드 모델 구현이 가능한 프로그램으로 구현하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

(가) 기존의 정보 모델들을 비교·분석한 결과, 표준으로서 호환성과 확장성에 더 유연한 IFC 모델을 바탕으로 강교 부재의 상세 설계 정보 표현을 위한 확장 모델을 제시하였다.



(a) 단부 가로보

(b) 현장 이음부

그림 9 각 설계 단계에 따른 상세 설계 정보 모델링

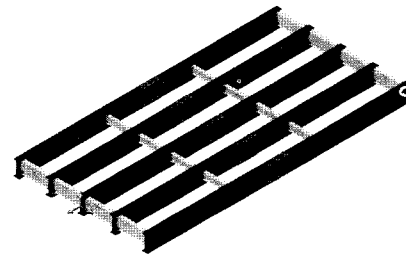


그림 10 모델링 완성 후 최종

(나) 도서 분석을 통해 추출한 요구 정보를 IFC 2X3 모델과 비교, 분석하여 기존 모델에 의해 적용 가능한 요소와 수정이 필요한 요소, 추가적으로 필요한 요소로 구분하였다.

(다) 빌딩 위주의 IFC 2X3 모델 구조에 토목 구조물 개념을 덧붙이기 위해 IfcSpatialStructureElement 하위에 IfcConstruction, IfcConstructionStorey를 제안하고 그 하위에 IfcBuilding, IfcBridge와 IfcBuildingStorey, IfcBridgeStorey를 각각 배치하였고 IfcSpace 하위에 IfcBuildingStorey, IfcBridgeStorey를 제안하였다.

(라) IFC-BRIDGE V2에서 부적절한 상속관계를 갖는 것, 상속 관계가 정의되어 있지 않은 것, 명명이 기존의 IFC 2X3 모델에서 정의내린 것과 다른 객체를 수정 제안하였다.

(마) 강교 부재의 표현을 위해 IfcBridgeElementComponent 하위에 IfcBridgeStiffener, IfcBridgeJointSystem, IfcBridgeDiaphragm, IfcBridgeShearConnector를 제안하였으며, 각각의 속성을 더 자세히 표현할 수 있는 프로파일 정의를 위해 IfcBridgeStiffenerProfileDef, IfcBridgeWeldingProfileDef, IfcBridgeBoltJointProfileDef, IfcBridgeDiaphragmProfileDef, IfcBridgeShearConnectorProfileDef를 제안하였다.

(마) AutoCAD 기반의 프로그램 개발을 통해 강 교량 부재의 설계정보를 3차원 솔리드 모델로 표현할 수 있었다.

(마) 본 연구에서 제시한 데이터 모델은 기존 IFC 모델을 적절히 활용하고 필요한 요소들을 IFC에서 제안하는 방법론에 충실하여 개발하였으므로, IFC의 새 버전에서 공식적인 확장모델로 등록될 때 국제적 표준 기반의 상호운용성 및 확장성을 가질 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2006 건설핵심기술연구개발사업(과제번호 06 건설핵심B05) 지원에 의하여 연구되었으며, 이 논문의 일부는 2007년도 교육인적자원부 BK21 사업의 일환인 연세대학교 사회환경시스템공학부 미래사회기반시설 산학연공동사업단의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (1998) 21세기 건설정보화 추진을 위한 건설 CALS 기본계획(1998~2005), 건설교통부.
- 건설교통부 (2001) 도로설계편람(III), 건설교통부.
- 건설교통부 (2003) 건설 CALS/EC 기본계획, 건설교통부.
- 건설교통부 (2005) 도로교표준시방서, 건설교통부.
- 대한토목학회 (1996) 건설교통부제정 토목공사표준일반시방서, 대한토목학회.
- 이상호, 정연석 (2004a) 강교량 데이터베이스 구축을 통한 웹 기반의 응용모듈 개발, 대한토목학회 논문집, 24(4-A), pp.721~730.
- 이상호, 정연석 (2004b) 강교량 설계정보 표현을 위한 데이터 모델 개발, 한국전산구조공학회 논문집, 17(2), pp.105~117.
- 이상호, 정연석, 김봉근 (2005a) ACIS 솔리드 모델러 기반의 CAD 시스템을 이용한 강교량 정보의 공유체계, 대한토목학회 논문집, 25(4-A), pp.677~687.
- 이상호, 정연석, 김봉근 (2005b) 교량 유지관리 지원을 위한 CAD/CAE 정보와 엔지니어링 문서정보의 통합 데이터베이스, 한국CAD/CAE학회 논문집, 11(3), pp.183~196.
- 한국강구조학회 (2006) 강도로교 상세부설계지침, 한국강구조학회.
- 한국도로공사 (1992) 도로설계요령 제3권 교량, 한국도로공사.
- 한국도로교통협회 (2000) 도로교 설계기준, 한국도로교통협회.
- 황학주 (1999) 최신교량공학, 동명사.
- Chen, P. H., Cui, L., Wan, C., Yang, Q., Ting, S.K., and Tiong, R.L.K. (2005) Implementation of IFC based web server for collaborative building design between architectures and structural engineers, *Automation in Construction*, 14(1), pp.115~128.
- Eastman, C.M. (1999) *Building Product Model: Computer environments supporting design and construction*. CRC Press, Boca Ration.
- Faraj, I., Alshawi, M., Aouad, G., Child, T., Underwood, J. (2000) An industry foundation classes Web based collaborative construction computer environment: WISPER, *Automation in Construction*, 10(1), pp.79~99.
- IAI (2007) *IFC2x Edition 3*, www.iai-international.org.
- Lebegue, E. (2005) *IFC-BRIDGE V2 Data Model*, IAI French Chapter.
- Marir, F., Aouad, G., Cooper, G.S. (1998) OSCON-CAD: A model based CAD system integrated with computer applications, *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 3, pp.26~46.
- Rivard, H., Fenves, S.J. (2000) A representation for conceptual design of buildings, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14(3), pp. 151~159.
- Sadeghpour, F., Moselhi, O., Alkass, S. (2004) A CAD based model for site planning, *Automation in Construction*, 13(6), pp.701~715.
- Yabuki, N., Shitani, T. (2003) An IFC based Product Model for RC or PC Slab Bridges, *CIB W78 2003 20th International Conference Information Technology for Construction*, pp.463~470.
- Yabuki, N., Lebegue, E., Gual, J., Shitani, T., Zhantao, L. (2006) International Collaboration For Developing The Bridge Product Model 'IFC-BRIDGE', *Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering*, pp.1927~1936.
- Yabuki, N., Zhantao, L. (2006) Development of new IFC-BRIDGE data model and a concrete bridge design system using multi agents, *Intelligent Data Engineering and Automated Learning - IDEAL 2006*, pp.1259~1266.