

## IFC Property Set을 활용한 강박스교 구성요소의 의미정보 생성

이상호\* · 박상일\*\* · 박건영\*\*\*

Lee, Sang-Ho\* · Park, Sang Il\*\* · Park, Kun-Young\*\*\*

### IFC Property Set-based Approach for Generating Semantic Information of Steel Box Girder Bridge Components

#### ABSTRACT

This study ranges from planning phase to the detailed design phase of steel box girder bridge and proposes ways to generate semantic information of components through Industry Foundation Classes (IFC), a data model for Building Information Modeling (BIM). The classification of components of steel box girder bridge was performed to define information items required for identifying semantic information based on IFC, and spatial information items based on topology and physical information items based on functions of components were classified to create additional properties that does not support IFC by applying user-defined property set within the IFC framework. Steel box girder bridge information model based on IFC was implemented through BIM software and semantic information input interface, which was developed in this study to examine the effectiveness of the additionally created user-defined property. Furthermore, the quantity take-off of components was performed through information model of steel box girder bridge, and the applicability of the proposed method was tested by comparing the quantity take-off based on design document with the result.

**Key words :** Steel box girder bridge, Building Information Modeling (BIM), Industry Foundation Classes (IFC), IFC user-defined property set, Semantic information, Bridge information modeling

#### 초 록

본 연구는 강박스교의 기본계획 단계부터 실시설계 단계까지를 범위로 하여, Building Information Modeling (BIM)을 위한 데이터 모델인 Industry Foundation Classes (IFC)를 통해 구성요소의 의미정보를 생성할 수 있는 방안을 제시하였다. IFC기반의 의미정보 생성에 필요한 항목을 정의하기 위해 강박스교 구성요소의 설계 단계별 분류를 수행하였고, 이를 구성요소의 기능에 따른 물리적 표현요소와 위상에 따른 공간적 표현요소로 구분하여 IFC 프레임워크 내의 사용자 정의 속성집합을 활용하여 IFC에서 지원하지 않는 추가적인 항목을 생성하였다. 추가적으로 생성한 사용자 정의 속성의 유효성을 검토하기 위해 BIM 소프트웨어와 본 연구에서 개발한 강박스교 구성요소 의미정보 입력 인터페이스를 통해 IFC기반의 강박스교의 정보모델을 생성하였고, 이를 기반으로 하여 의미정보 질의를 통한 구성요소의 식별이 가능함을 확인하였다. 또한 IFC기반 강박스교 정보모델을 통해 구성부재의 수량 및 물량 산출을 수행하고, 설계도서를 통해 산출한 수량 및 물량 산출 결과 값과의 비교를 통해 본 연구에서 제안한 방법이 실제 업무에서도 활용할 수 있음을 확인하였다.

**검색어 :** 강박스교, Building Information Modeling (BIM), Industry Foundation Classes (IFC), IFC 사용자 정의 속성집합, 의미정보, 교량정보모델링

\* 정희원 · 교신저자 · 연세대학교 토목환경공학과 교수 (Corresponding Author · Yonsei University · lee@yonsei.ac.kr)

\*\* 정희원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사과정 (si@csem.yonsei.ac.kr)

\*\*\* 연세대학교 토목환경공학과, 현대건설 연구개발본부 대리 (ky.park@hdec.co.kr)

Received March 19, 2013/ revised May 9, 2013/ accepted December 3, 2013

## 1. 서론

Building Information Modeling / Model (BIM)은 건설 프로젝트 전 생애주기 동안 생성되는 정보들을 통합 관리하는 프로세스 또는 이러한 프로세스를 지원하기 위해 생성한 결과물을 의미하는 것으로, 정보공유의 효율성, 응용분야로의 확장성, 응용 모델 간의 연계성, 시공업무의 생산성 향상 등의 이점으로 인해 전 세계적으로 빠르게 도입되고 있다. 최근엔 국내에서도 주요 공공 프로젝트 및 민간 프로젝트에 BIM 적용을 의무화하며 이에 대한 도입이 급증하였고, 건축 분야에 이어 토목 분야에서도 BIM을 활용하여 시설물의 생애주기 동안 생성되는 정보를 통합관리하고 재활용하여 경제적 손실을 줄이고 이윤을 극대화하려는 시도가 증가하고 있다. 그러나 모델이 포함하고 있는 정보 공유가 원활하지 못한 상태에서 BIM을 도입하게 되면 정보의 관리 및 재활용이 어려워지고 오히려 추가적인 비용과 노력이 발생하게 된다. 표준 데이터 모델의 활용에 따른 정보모델의 생성은 언급한 문제점을 효과적으로 해결할 수 있게 하는 핵심요소이다. 이에 따라 buildingSMART International에서는 건설 프로젝트의 생애주기 동안 생성되는 정보의 상호운용성(interoperability)을 위한 공통 데이터 모델인 Industry Foundation Classes (IFC)를 제시하였다. IFC 데이터 모델은 1997년에 건축 분야를 중점으로 한 버전 1.0을 시작으로 하여 점점 범위를 확장시켜 나갔으며, 현재는 2013년 버전인 IFC4까지 개발된 상태이다.

그러나 IFC는 건물만을 대상으로 정의하고 있기 때문에 교량 구조물로의 적용은 매우 제한적이다. 특히, 교량을 구성하고 있는 각 세부부재의 명칭 또는 부재의 결합 등을 통해 나타내는 기능적 역할 등 의미정보의 표현은 거의 불가능하다. 이러한 점은 교량 구조물에 대한 BIM 활용 시 형상만을 다루며, 응용분야에서 모델을 재활용하기 힘든 결정적인 이유가 된다. 따라서 언급한 문제점을 극복하기 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 대표적으로 Lee and Jeong (2004), Lee and Jeong (2006)은 International Standard Organization (ISO) 10303 - Standard Exchange of Product model data (STEP) 자원을 이용하여 강교량의 설계정보 표현을 위한 데이터 모델을 형상정보, 물성정보, 구조해석정보 등으로 구분하여 제시하였고, Yabuki and Shitani (2003)는 IFC 자원을 활용하여 철근 콘크리트 및 프리스트레스 교량의 정보 표현을 위해 IFC 객체를 추가적으로 정의한 모델을 제시하였으며, Arthaud and Lebegue (2007) 및 Kim (2010)는 일반적인 교량의 설계와 관련한 정보를 활용하여 이에 대응하는 객체를 추가하여 IFC bridge model을 개발한 사례가 있다. 그러나 앞서 언급한 교량을 대상으로 개발한 데이터 모델들은 교량이 필요로 하는 새로운 속성 또는 객체의 추가로 인해 아직까지는 이를 지원하는 소프트웨어가 존재하지

않거나, 개발자의 연구차원으로만 존재하여 현재로서는 end-user의 실무 적용은 용이하지 않은 상황이다. 따라서 IFC 데이터 모델의 변형을 가져오지 않는 범위 내에서 필요한 정보를 추가할 수 있는 방법의 연구도 필요하다. 이러한 방식은 IFC의 틀을 그대로 사용하여 공통 데이터 모델로의 기능, 모델의 영속성, 기존 BIM 소프트웨어 환경의 활용 가능성 등의 IFC 이점이 그대로 유지된다.

IFC 프레임워크 내에서 외부 속성을 추가하기 위해서는 사용자 정의 속성집합(user-defined property sets)을 활용하는 방법이 있다. 건축분야에서는 Seo and Kim (2009)이 건축 설계 단계에서 설계지침정보를 공유하고 교환할 수 있도록 하기 위해 언급한 방법을 사용한 사례가 있으며, Ma et al. (2011)은 중국의 건설공사 기준에 근거하여 공사비 산정을 목적으로 IFC기반 외부 속성집합을 정의하였다. 그러나 이러한 사례는 모두 건축물을 중심으로 한 연구로, 교량과 같은 토목 구조물의 정보모델 생성과는 거리가 멀다.

따라서 본 연구에서는 IFC기반의 교량정보모델링을 위한 하나의 방법으로 IFC 사용자 정의 속성집합을 활용하여 강박스교를 대상으로 구성요소의 의미정보를 생성하는 방법을 제안하고, 이를 통해 강박스교 정보모델을 구현하여 제안한 방법의 활용성을 검토하였다.

## 2. IFC기반 정보 표현 방안

buildingSMART에서 개발한 IFC 데이터 모델은 Architecture, Engineering, Construction and Facility Management (AEC/FM) 산업에서 발생하는 정보의 호환을 위해 국제적으로 공동 개발되고 있는 것으로 현재 ISO/PAS 16739 (ISO TC184 SC4, 2005)로 지정되어 있다. IFC 데이터 모델은 ISO-STEP 표준 데이터 모델 기술(description)언어인 EXPRESS로 정의하기 때문에 EXPRESS가 포함하고 있는 객체 지향의 개념을 그대로 따르며, 따라서 서브타이핑(subtyping)을 통하여 하위 객체들을 추가하여 모델을 더 정교하게 만들고 특화시켜 나갈 수 있다(Eastman et al., 2008). 또한 IFC 데이터 모델은 정보모델에 기본 단위화된 구조(modular structure) 및 건설 산업의 여러 분야에서 정보를 공유할 수 있는 틀(framework)을 제공한다. 이러한 특징들은 현재 대부분의 BIM 프로젝트에서 IFC를 데이터 모델로 활용하는 근간이 된다.

IFC가 지원하지 않는 외부 정보를 사용자 정의 속성집합의 생성을 통해 기존 IFC 데이터 모델과 연결하여 스키마를 사용하는 방법은, Fig. 1과 같이 기존 IFC 데이터 모델에 변형을 주지 않아 이를 기반으로 이미 만들어져 있는 BIM 소프트웨어에서 그대로 활용할 수 있다. 외부의 추가속성은 의미정보(semantic information)를 갖는 요소들의 최상위 IFC 객체인 *IfcObject*와의 연결을 통해

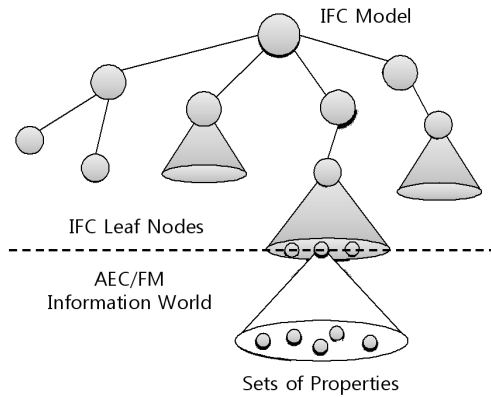


Fig. 1. IFC and Sets of Properties (Wix, 2009)

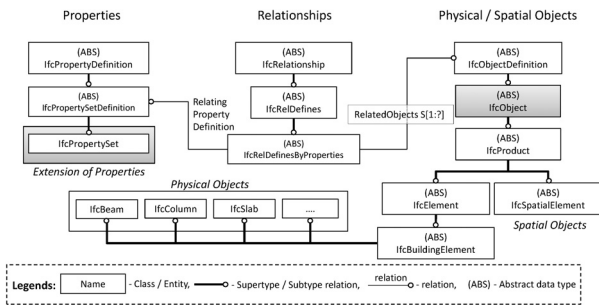


Fig. 2. Relationship Between *IfcPropertySet* and *IfcObject*

실제 정보로 나타나게 되는데, 이에 대해 IFC 데이터 모델 표현 언어인 EXPRESS-G로 나타낸 개념적 다이어그램은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 외부 속성들의 집합을 나타내는 *IfcPropertySet* 객체의 상위 *IfcPropertySetDefinition* 객체와 *IfcObject* 객체의 상위 *IfcObjectDefinition* 객체는 이들의 관계를 지어주는 *IfcRelationship* 객체의 하위 객체인 *IfcRelDefinesByProperties*에 의해 연결됨을 보여준다. 앞서 언급한대로 속성 트리 내에서 속성들을 보유하고 있는 컨테이너 클래스인 *IfcPropertySet* 객체는 동적으로 확장 가능한 외부 속성을 정의하며, 동일한 *IfcPropertySet* 객체는 여러 개체에 할당하는 것이 가능하다.

*IfcPropertySetDefinition* 객체의 상위 *IfcPropertyDefinition* 객체는 IFC 데이터 모델에서 존재하는 객체의 모든 속성을 일반화한 것으로 앞서 언급한 바와 같이 *IfcRelationship*의 subtype에 의해서 다른 객체에 할당된다. *IfcPropertySetDefinition* 객체는 IFC 데이터 모델에 사용 가능한 속성집합을 정의하며 *IfcPropertySet* 클래스를 통해 정적으로 정의된 속성집합과 동적으로 정의된 속성 집합으로 나누어진다. 정적으로 정의된 속성들은 IFC 데이터 모델 자체 내에서 정의된 속성들이며 각각의 정적으로 정의된 속성의 의미는 속성의 이름과 객체 타입에 의해 선언된다. 동적으로 정의된 속성들은 IFC 데이터 모델에 존재하는 속성들의 객체 정의 없이 IFC

데이터 모델이 제공하는 메타모델의 종류만을 정의한다. *IfcPropertySetDefinition*의 하위 객체인 *IfcPropertySet*은 외부 속성들의 집합을 포함할 수 있는 컨테이너 클래스로 각각의 속성집합들은 *IfcPropertySet*의 “Name” 내부 속성에 의해서 서로 구분된다. 속성집합에 포함되는 각각의 속성은 *IfcProperty*의 subtype을 활용하여 구체적으로 정의하는데, 단일 형식(*IfcPropertySingleValue*), 열거 형식(*IfcPropertyEnumeratedValue*), 경계 값 형식(*IfcPropertyBoundedValue*), 리스트 형식(*IfcPropertyListValue*) 및 표 형식(*IfcPropertyTableValue*)으로 구성된다. 앞서 살펴본 바와 같이 IFC 사용자 정의 속성집합 활용 방법은 정보모델을 구현하는데 있어 새롭게 표현하고자 하는 정보의 표현이 필요할 경우 사용할 수 있는 IFC 프레임워크 내의 방법으로, 본 연구에서 강박스교 정보모델 구성요소의 의미정보 생성에 활용하였다.

### 3. 계획 및 설계 단계에서의 IFC기반 강박스교 정보모델의 구성요소 의미정보 생성 방법

본 장에서는 현재 IFC를 활용한 BIM 프로젝트 수행 시 교량 모델의 구성요소의 의미정보를 생성할 수 있는 방법이 부채한 한계점을 극복할 수 있는 방법에 대해 서술하였다. 이를 위해 첫째, 교량의 설계 기준을 참고로 하여 계획 및 설계 단계별 강박스교의 구성요소를 정의하고, 둘째, IFC기반 사용자 정의 속성집합을 활용한 구성요소의 의미정보 생성 방안을 제시하였다.

#### 3.1 계획 및 설계 단계에서의 강박스교 구성요소 분류

강박스교를 구성하고 있는 구조요소에 대한 분류는 각 요소에 대한 의미적, 기능적 식별을 위한 것으로, 이는 교량의 설계 단계에서 생성되는 정보와 밀접하게 관련이 있다. 특히, 정보모델링은 3차원 형상에 형상 이외의 관련정보들을 추가시켜 모델을 완성하는 것으로, 형상의 표현이 차지하는 비중이 매우 크다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 교량 생애주기 동안 필요한 정보의 대부분을 생성하는 기본계획 단계에서부터 실시설계 단계까지를 범위로 하여, 각 단계별로 가장 핵심적인 업무에 따라 표현해야 하는 모델 형상의 표현 수준을 정하였고, 표현 수준 자체를 강박스교의 구성요소 분류로 활용하였다. 이때 전반적인 설계업무의 내용은 MLTMA (2012)에서 제시한 건설공사의 설계도서 작성기준을 참고로 하였다.

기본계획 단계에서의 주요 업무 범위는 최적 노선대를 선정하여 이를 제시하는 것이므로 기본계획 단계에서의 강박스교 정보모델 표현의 상세수준은 노선대를 나타내 줄 수 있는 개념적 형상 수준이다. 교량의 경우, 대략적인 형태, 총 길이, 위치 및 방향을 나타내는 전반적인 구성요소가 표현된다. 기본설계 단계에서는 교량, 터널 등 주요 구조물의 위치와 형식을 결정하는 것이 업무의 범위이므로,

Table 1. The Breakdown of Steel Box Girder Bridge in Planning and Design Phases

Project phase		Basic components Conceptual shape (Planning phase)	Main components Approximate geometric shape (Preliminary design)	Detailed components Accurate geometric shape (Detailed design)	
Component					
Super structure	Floor slab part	Slab	Pavement, Curb, Slab, Expansion joint, Median strip	Pavement	
				Curb	Outward, Reinforcement
				Slab	Outward, Reinforcement, Spacer, Chair block
				Expansion joint	Outward, Reinforcement, Pin bearing, Anchor bolt, Bolt, Nut, Steel plate, Rubber component
				Median barrier	Outward, Reinforcement, Steel pole, Bolt, Nut, Rivet, Steel plate
	Main member	-	Main girder, Rib	Main girder	Upper flange, Lower flange, Web, Vertical stiffener, Horizontal stiffener, Support stiffener, Jack-up stiffener, Splice plate, Bolt, Nut, Rivet
				Rib	Vertical rib, Horizontal rib, Horizontal rib plate
	Sub member	-	Diaphragm, Stringer, Cross beam, Bracket, Bracing, Joint bar	Diaphragm	Diaphragm plate, Vertical stiffener, Horizontal stiffener, Opening stiffener
				Bracing	Section steel, Flange, Web, Rib, Bracing stiffener
				Cross beam	Steel plate, Slab anchor
				Bracket	Bracket plate, Upper plate, Lower plate, Bracket stiffener, Vertical stiffener
				Joint bar	Joint bar plate, Bolt, Nut, Rivet
				Stringer	
	Bearing	-	Bearing concrete, Shoe, Sole plate	Bearing concrete	Outward, Reinforcement
				Shoe	Support, Steel plate, Bolt, Nut, Rivet
				Sole plate	Steel plate, Bolt, Nut, Rivet
Sub structure	Abutment part	Abutment	Abutment body	Outward, Reinforcement	
			Abutment wing	Outward, Reinforcement	
			Abutment parapet	Outward, Reinforcement	
	Pier part	Pier	Column part, Coping part	Column part	Outward, Reinforcement
				Coping part	Outward, Reinforcement
	Foundation	-	-	Outward, Reinforcement	
	Pile	-	-	Outward, Reinforcement, Steel plate, Steel pipe	
Facility	-	-	Hand rail	Outward, Reinforcement, Steel pole, Anchor bolt, Bolt, Nut, Rivet, Steel plate	
			Soundproof wall	Soundproof panel, Pillar, Steel plate, Rib, Bolt, Nut, Rivet	
			Drainage facility	Steel plate, Shape steel, Bolt, Nut, Spacer	
			Emergency shelter	Outward, Reinforcement, Spacer, Rhomb fence, Gate, Shape steel, Steel plate, Stiffener, Anchor, Sleeve, Bolt, Nut, Rivet	
			Inspection facility	Pillar, Handrail pole, Pipe, Foothold, Steel plate, Elbow, Sleeve, Anchor, Bolt, Nut, Rivet	
			Lighting facility	Street lighting, Fog lamp, Fixture	
			Road sign	Steel plate, Bolt, Nut, Rivet, Steel pole	
			Bridge nameplate, Sidewalk, Decoration		
Other components	-	-	Internal door	Steel plate, Shape steel, Bolt, Nut, Rivet, Round hole, Steel pipe	
			Ventilation	Steel plate, Stainless net, Bolt, Nut, Rivet	
				Scaffold, Catch basin, Staging, Staging ring, Stud	

기본설계 단계의 표현 상세수준은 교량의 형식을 나타내 줄 수 있는 수준으로 모델 요소들이 일반화된 시스템 또는 총 길이, 경간 길이, 교량 폭원, 수량, 위치, 방향을 갖는 집합으로 모델링되는 수준이다. 실시설계 단계에서의 업무 범위는 기본설계를 구체화하여 실제공사에 필요한 설계도서를 작성하는 것이므로, 정보모델의 표현 상세수준은 설계도서에 활용할 수 있는 수준으로 모델 요소들의 정확한 총 길이, 경간 길이, 교량폭원, 수량, 위치, 방향을 갖는 집합으로 모델링된다. 기본계획, 기본설계, 실시설계의 3단계로 정의한 표현 상세수준에 대한 구체적인 구성요소에 대한 항목 분류는 강도로교 상세부설계지침(KSSC, 2006) 및 교량계획과 설계(Oh, 2003)를 참고로 하였으며, 분석한 결과 각각의 구성요소를 기본요소, 주요요소, 보강 및 이음요소를 포함하는 상세요소로 분류하는 것이 가능하였다. 강박스교 구성요소들의 분류는 Table 1과 같다.

### 3.2 IFC기반 강박스교 모델 구성요소의 의미정보 생성 방안

본 절에서는 IFC 사용자 정의 속성집합을 통해 강박스교 구성요소의 의미정보를 생성할 수 있는 방안에 대해 서술하였다. 의미정보에 대한 내용은 속성집합에 저장하는 것으로 어떤 항목으로 속성집합을 구성하는지가 가장 중요한 사항이라고 할 수 있다. Kim and Lee (2011)는 IFC를 활용한 교량 데이터 모델을 구성할 때 교량의 선형적인 요소와 물리적 객체에 대한 부분을 추가해 주어야 한다고 설명하였다. 본 연구에서도 이러한 개념을 따라 교량 구성요소의 공간적 의미와 물리적 의미를 모두 포함할 수 있게 하였다.

강박스교 모델의 물리적 의미식별은 기본적으로 최종 결과물에 이르는 결합 절차를 고려하여 도출하였다. 이러한 방식은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 Lee and Jeong (2006)의 연구에서 나타나고 있는데, 강교량의 구성요소 항목을 계층에 따라 단품(part)과 조립품(assembly)으로 구분하여 활용하는 방식이다.

본 연구에서도 강박스교의 구성요소를 단품 속성인 Part와 조립품 속성인 Assembly로 구분하였으며, 조립품은 단품이 조립된 형태(parts assembly)와 조합된 부재가 조립된 형태(assembled assembly)로 구분하였다. 이때, 단품은 강박스 정보모델을 가장 상세히 나타내었을 때 표현되는 구성요소이다.

실제로 만들어진 요소의 기능적 역할에 따라 의미를 생성하는 것이 물리적 의미식별인 반면에, 요소의 공간적 의미식별은 요소가 차지하는 위치나 영역, 또는 위상에 대한 부분이다. 이러한 부분은 기본적으로 교량의 진행방향에 대한 구분, 진행방향과 수직방향에 대한 구분으로 나눌 수 있다. 이러한 개념은 Fig. 4에 나타내었는데, 교량 진행방향에 대해 구분해 줄 수 있는 Span 속성, 교량 진행방향

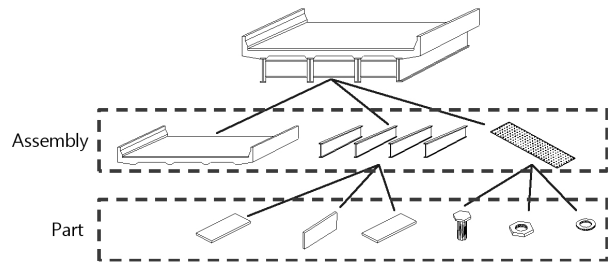


Fig. 3. Conceptual Breakdown of Steel Bridge for Physical Component Configuration (Lee and Jeong, 2006)

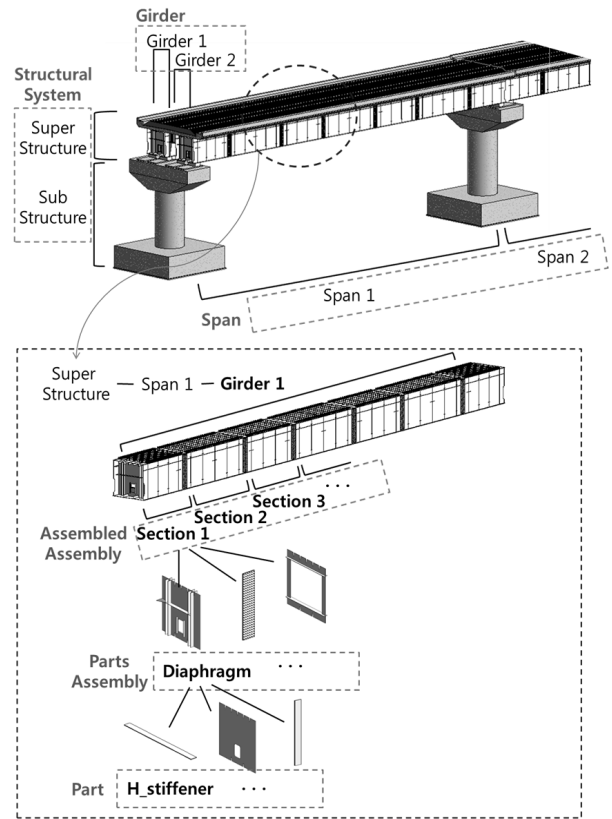


Fig. 4. Component Identification Concept of Steel Box Girder Bridge

과 수직방향에 대한 구분인 Girder 속성으로 이를 구분하였다.

Table 2는 전술한 내용에 대해 본 연구에서 제시하는 IFC 사용자 정의 속성집합으로, 공간적 의미생성을 위한 속성인 Structural System, Span, Girder와 물리적 의미생성을 위한 속성인 Assembled Assembly, Parts Assembly, Part, 그리고 모델의 기본적인 정보에 대한 속성인 Project Stage, Model Element Author, Description로 구성된다. 이때, 각 속성들의 속성 값 범위를 한정짓지 않기 위해 데이터 형식은 모두 IfcPropertySingleValue로 정의하였다.

속성들 중 Structural System, Span, Part는 실제 속성 값이

Table 2. User-Defined Property Set for Generating the Semantic Information of Steel Box Girder Bridge Components

PropertySet Name	<i>Pset_SteelBoxBridgeComponentIdentification</i>			
Applicable Entities	<i>IfcObject</i>			
Definition	A property set for generating the semantic information of steel box girder bridge components			
Name	Property Type	Data Type	Definition	Example
<i>Structural System</i>	<i>IfcPropertySingleValue</i>	<i>IfcLabel</i>	Classification of super-sub structure of bridge	Super structure
<i>Span</i>	<i>IfcPropertySingleValue</i>	<i>IfcLabel</i>	Longitudinal direction of bridge component	Span_1
<i>Girder</i>	<i>IfcPropertySingleValue</i>	<i>IfcLabel</i>	Horizontal direction of bridge component	Girder_1
<i>Assembled Assembly</i>	<i>IfcPropertySingleValue</i>	<i>IfcLabel</i>	An assembly of assemblies	Section_5
<i>Parts Assembly</i>	<i>IfcPropertySingleValue</i>	<i>IfcLabel</i>	An assembly of parts	Diaphragm_3
<i>Part</i>	<i>IfcPropertySingleValue</i>	<i>IfcLabel</i>	A product component	H_stiffener
<i>Project Stage</i>	<i>IfcPropertySingleValue</i>	<i>IfcLabel</i>	Information of construction phase	Design development
<i>Model Element Author</i>	<i>IfcPropertySingleValue</i>	<i>IfcLabel</i>	Author information of modeled product	Prime Designer (Hong, G.D.)
<i>Description</i>	<i>IfcPropertySingleValue</i>	<i>IfcLabel</i>	Informative text to explain the property	-

반드시 들어가야 하는 항목이며, *Girder*, *Assembled Assembly*, *Parts Assembly* 속성은 필요한 경우에만 입력할 수 있도록 하였다. 예를 들어 다이어그램을 구성하는 수평보강재의 경우에는 각각의 거더와 구간, 그리고 다이어그램 마다 수평보강재리는 동일한 명칭의 구성요소가 존재하기 때문에 *Girder*, *Assembled Assembly*, *Parts Assembly* 속성에 속성 값을 Table 2의 Example과 같이 구분이 가능한 형태로 입력하여 거더, 구간, 다이어그램을 구분할 수 있다. 반면에, 바닥판의 중앙분리대를 구성하는 철근의 경우에는 거더와 구간의 구분이 필요 없으므로 *Girder*, *Assembled Assembly* 속성 값의 입력이 필요하지 않고 *Parts Assembly* 속성 값에 중앙분리대, *Part* 속성 값에 철근을 나타내주는 속성정보를 입력할 수 있다. 또한, 세로보의 경우에는 *Assembled Assembly* 속성을 입력하여 구간의 구분을 해주어야 하지만, 세로보 자체가 단품이기 때문에 *Parts Assembly* 속성 값을 입력할 필요가 없다. 이러한 방식으로 최종 단품의 명칭이 입력되는 *Part* 속성에는 Table 1에서 가장 하위로 분류된 상세요소들의 명칭이 값으로 입력되고, *Parts Assembly* 속성에는 각 상세요소의 상위요소인 Table 1에서의 주요요소의 명칭이 입력된다.

언급한 방식으로 생성된 외부 속성들은 후술할 정보생성 사용자 인터페이스를 통해 2장에서 언급한 바와 같이 *IfcPropertySet*의 “Name” 내부 속성에 추가되며, *IfcObject* 하위에서 정의하는 객체들과 정보의 연결을 통해 Fig. 5와 같이 IFC에서 지원하고 있는 객체에 정보가 재할당되어 강박스교의 의미정보로 활용할 수 있다.

Fig. 6은 강박스교 정보모델링을 위한 기본 프로세스를 나타낸 것으로 질의(query) 인터페이스를 거쳐 IFC 데이터 파일을 생성하는 경우에는 점선 화살표를 따라 정보가 흐른다.

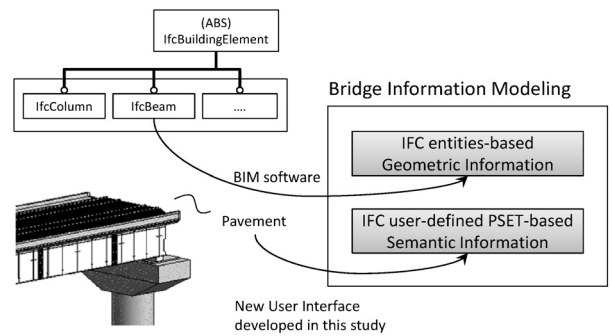


Fig. 5. Information Reassigning Concept for Bridge Information Modeling

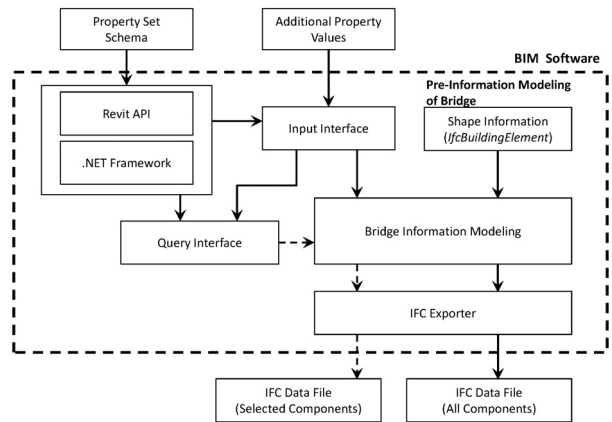


Fig. 6. Basic Framework for IFC-based Bridge Information Modeling Process

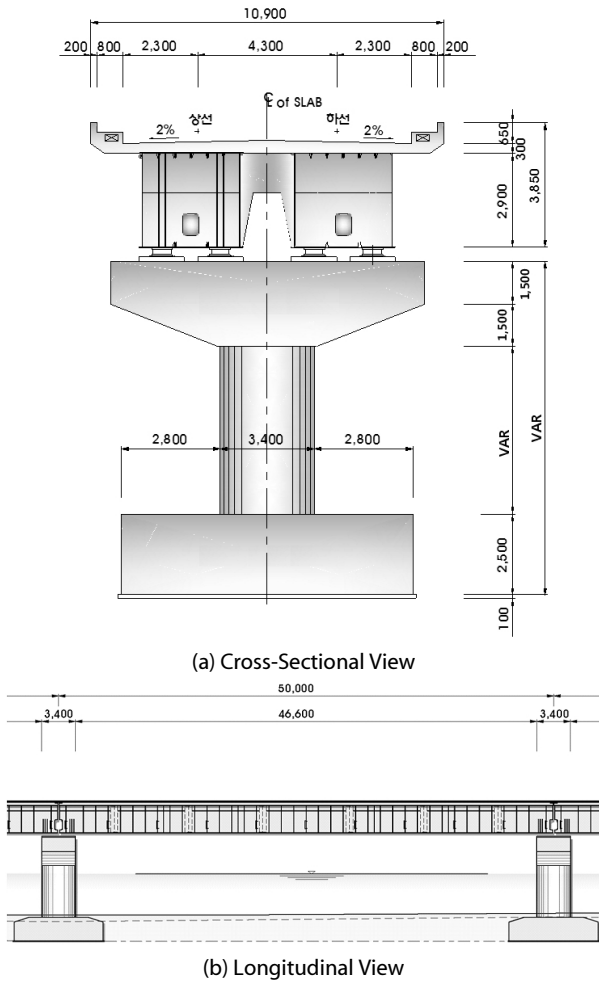


Fig. 7. Drawings of a Sample Steel Box Girder Bridge (Unit: mm)

#### 4. IFC기반 강박스교 정보모델링을 통한 데이터 유효성 및 활용성 검토

##### 4.1 강박스교의 사전 정보모델링

본 연구에서 제안한 방법을 활용했을 때 생성되는 IFC 데이터 파일의 유효성 및 IFC기반 강박스교 정보모델의 활용성을 검토하기 위해 Autodesk사의 Revit Structure 및 Revit Application Programming Interface (API)를 활용하여 본 연구에서 개발한 정보생성 인터페이스를 통해 강박스교 정보모델을 생성하였다. 대상교량은 총 경간 34경간에 총 길이 1,441 m의 교량으로 25.1 m길이의 10경간 PSC Beam교량과 45 m길이의 2경간, 50 m길이의 22경간은 강박스 형식이다. 하부 구조는 역 T형 교대와 원형 기둥의 T형 교각으로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 강박스 형식의 경간에만 초점을 맞추어 모델링을 수행하였다. 대상 교량 강박스 구간의 표준횡단면 및 종단현황은 Fig. 7과 같다.

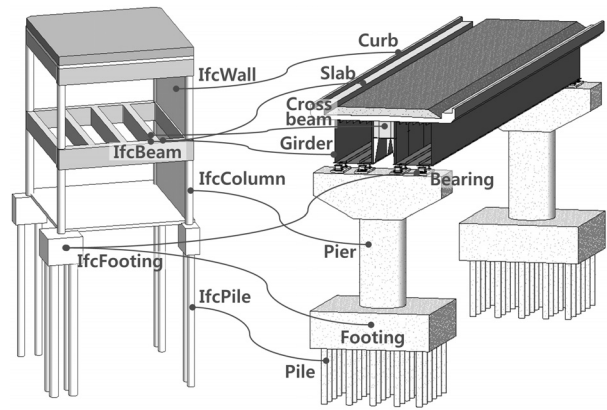


Fig. 8. IFC Entity (*IfcBuildingElement*) Mapping Between the Building and the Bridge Components

현재의 IFC기반 정보모델링 환경은 교량 구성요소의 의미정보 생성을 지원하지 않고 있으므로, Fig. 8과 같이 먼저 IFC 데이터 모델의 *IfcBuildingElement*의 하위 객체가 지원하는 건물의 구성요소와 강박스 교량의 구성요소를 비교하여 해당 구성요소의 역할 및 구조적 특성이 가장 비슷한 요소를 매핑하여 Revit Structure에서 구성요소의 의미정보가 없는 형상중심의 강박스교의 사전 정보모델링을 수행하였다. 상부 구조를 예로 거는 교각과 교각, 또는 교각과 교대 사이를 이어주는 주형 보를 말하며 건물의 기둥과 기둥 사이에서 하중을 지지하는 주부재인 보(골조)와 역할 및 구조적 특성이 유사하므로 보(*IfcBeam*)와 매핑하였다. 이 외에도 방호벽은 벽(*IfcWall*)으로, 슬래브 및 가로보는 보(*IfcBeam*)로, 상부 보강 및 이음요소들은 강판(*IfcPlate*)으로, 교량 받침 및 교대, 기초는 기초(*IfcFooting*)로, 교각은 기둥(*IfcColumn*)으로, 파일은 건물에서의 파일(*IfcPile*)로 매핑하였다.

##### 4.2 구성요소의 의미정보 생성을 통한 IFC기반 강박스교 정보모델링

Fig. 5에 나타난 바와 같이 강박스교 정보모델링을 위해서는 의미정보를 생성해 줄 수 있는 환경이 필요하다. Fig. 9는 이러한 의미정보 생성을 위해 본 연구에서 개발한 Revit API기반의 사용자 인터페이스로, Table 2 각각의 외부 속성을 교량의 각 구성요소마다 추가할 수 있다. 이때, 3.2절에서 언급한 바와 같이 *Girder*, *Assembled Assembly*, *Parts Assembly*의 정보는 체크박스를 활용하여 입력여부를 결정할 수 있도록 하였다.

Fig. 10은 전술한 절차에 따라 기본계획 단계, 기본설계 단계, 실시설계 단계에 해당하는 강박스교 정보모델을 나타낸 것이다.

입력한 데이터가 IFC 구조에 맞게 정확하게 생성되는지를 확인하기 위하여 IFC 파일로 export하여 강박스교 구성요소의 의미정보 관련 항목을 비교하였다. Fig. 11(a)는 수평보강재에 대한 입력

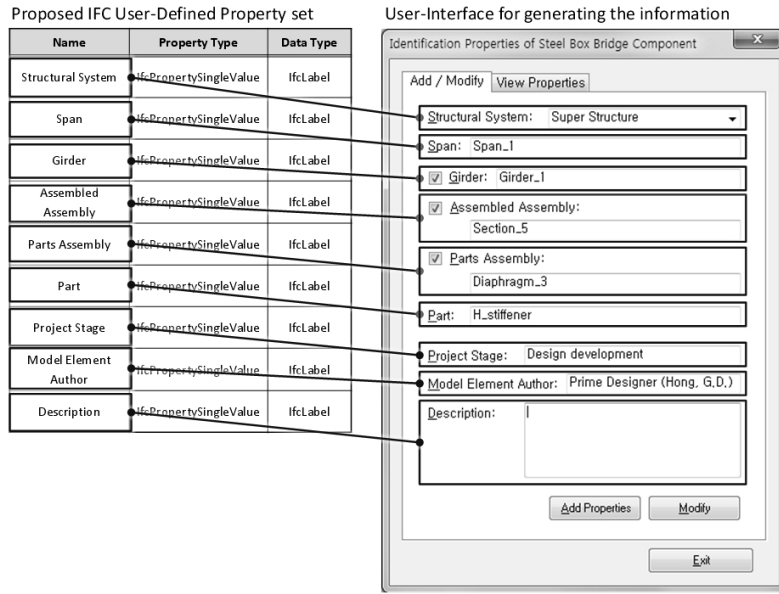


Fig. 9. Developed User-Interface for Generating the Semantic Information of Bridge Components

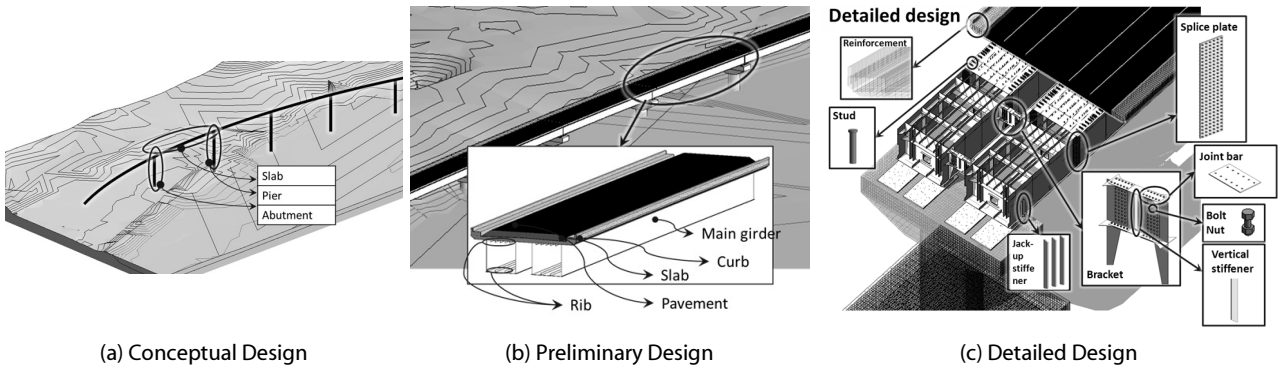


Fig. 10. Steel Box Girder Bridge Information Model Based on IFC and User-Defined Property Set

데이터 및 이에 따라 생성된 IFC 파일의 일부를 나타낸 것이고, Fig. 11(b)는 생성한 IFC 파일을 활용하여 Solibri Model Viewer 를 통해 모델을 가시화 했을 때의 정보를 나타내는 그림이다. 생성된 IFC 파일을 통해, 본 연구에서 정의한 속성집합 *Pset\_SteelBox BridgeComponentIdentification*을 구성하는 외부 속성이 모두 올바르게 나타남을 확인할 수 있었으며, 각각의 Property Type과 Data Type 또한 정확한 형태로 생성되어 있음을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서 IFC 파일 생성에 활용한 소프트웨어가 아닌 다른 IFC Viewer를 통해서도 추가한 외부 속성이 올바르게 표현됨을 확인할 수 있었다. 이는 본 연구에서 제시한 사용자 정의 속성집합 및 이를 활용한 의미정보 생성 인터페이스가 유효한 IFC 파일을 생성할 수 있음을 나타낸다.

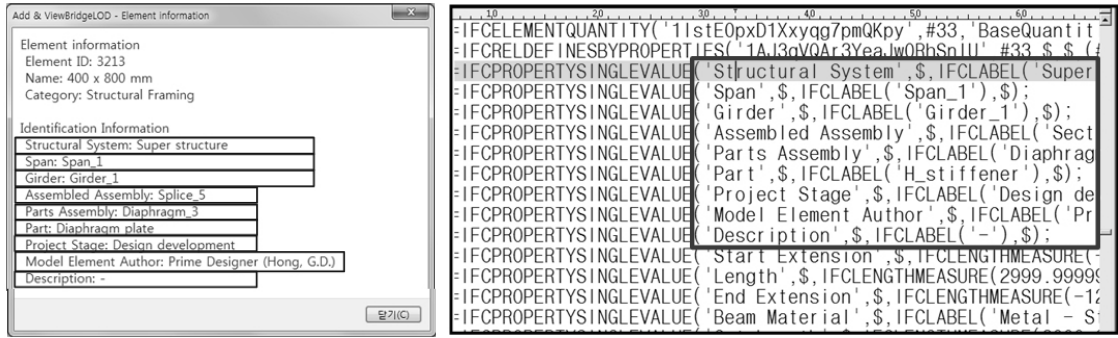
Fig. 12는 IFC 파일의 외부 속성으로 생성된 의미정보 활용하여

정보모델 구성요소를 검색할 수 있도록 본 연구에서 개발한 Revit기반 사용자 인터페이스를 나타낸 것으로, 필요한 부재에 대한 의미정보 기반의 질의를 통하여 해당 부재를 생성할 수 있음을 확인할 수 있었다.

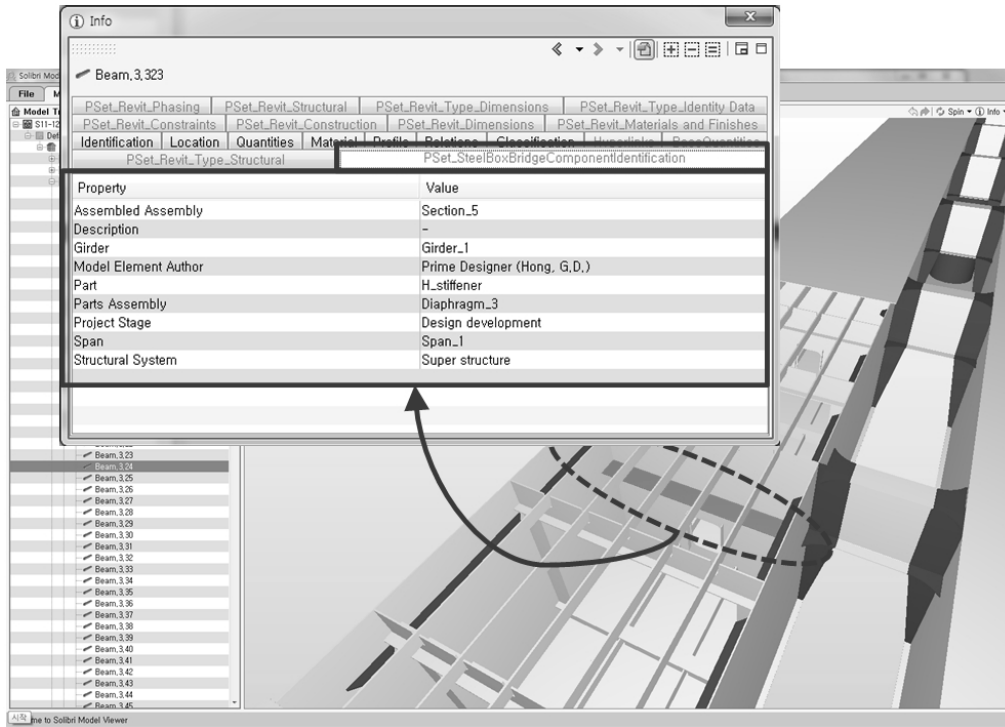
### 4.3 주요 구성요소의 수량 및 물량 산정을 통한 활용성 검토

IFC를 기반으로 생성한 강박스교 정보모델의 활용 가능성 여부를 검토하기 위하여 정보모델 기반의 수량 및 물량 산출과 설계도서를 기반으로 하는 수량 및 물량 산출 결과 값을 비교하였다. 이때 사용한 정보모델은 실시설계 단계의 것으로, 설계도서기반의 결과 값과 비교하기 위해 개별 요소에 대해서는 *Part* 및 *Parts Assembly* 속성을 이용하였으며, 그룹화된 결과 값을 도출하기 위해서는 *Structural System*, *Span*, *Girder*, *Assembled Assembly* 속성을 이용하여





(a) Input Data and the Generated IFC Physical File



(b) Model Implementation Based on the Generated IFC File

Fig. 11. Input Data and the IFC-based Bridge Model Including the Identification Information of Components

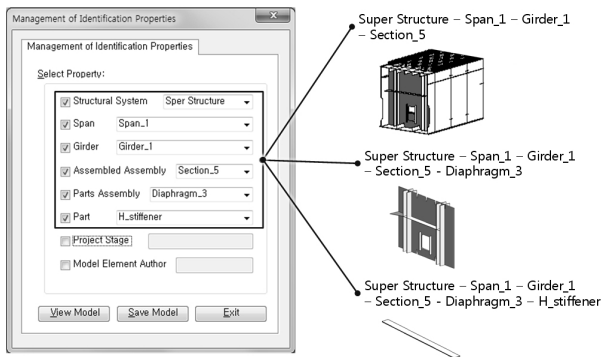


Fig. 12. Developed User-Interface for the Information Management of Bridge Components

설계도서에서의 경간, 거더, 이음부 구간에 대한 결과 값과 비교하였다(Table 3). 이때, Table 3(a)는 본 연구에서 개발한 모듈을 통해 산정한 결과 값을 나타내는 것이고, Table 3(b)는 설계도서에서 직접 산출한 결과 값을 나타내는 것으로, 각각 구분된 구성요소에 따라 수량과 물량 값이 동일하게 산출되었다. 예를 들어, “Diaphragm > Diaphragm plate”의 경우에는 Tables 3(a) and 3(b)가 동일한 형태로 산출 가능하였으며, Table 3(b)의 “Diaphragm > Horizontal stiffener”의 경우, Table 3(a)에서는 두 개로 구분되어 나타났으며, 결과 값은 동일하였다. Table 3(b)의 “Main girder > Web”의 경우 역시, Table 3(a)에서는 두 개로 구분되어 나타났으나 결과는 동일하였다. 본 연구의 사례에서는 교량 구성요소의 부재식별에

Table 3. Quantity Take-Off Test for Examining the Availability of Proposed Method

(a) Quantity Take-Off using IFC-based Bridge Information Model

Span	Girder	Assembled Assembly	Parts Assembly	Part	Count (EA)	Volume (m <sup>2</sup> )	
Span_1	Girder_1	Section_1	Diaphragm_1	Diaphragm_plate	1	0.1392	0.1392
				Horizontal_stiffener_1	1	0.0105	0.0210
				Horizontal_stiffener_2	1	0.0105	
				Opening_stiffener_1_left	1	0.0005	0.0010
				Opening_stiffener_1_right	1	0.0005	
				Opening_stiffener_2_left	1	0.0007	0.0014
				Opening_stiffener_2_right	1	0.0007	
			Main girder	Upper_flange	1	0.2569	0.2569
				Lower_flange_1	1	0.2145	0.2145
				Lower_flange_2	1	0.1384	0.1384
				Web_left	1	0.2328	0.4657
				Web_right	1	0.2328	
				Horizontal_stiffener_1_left	1	0.0017	0.0035
				Horizontal_stiffener_1_right	1	0.0017	
				Horizontal_stiffener_2_left	1	0.0020	0.0041
				Horizontal_stiffener_2_right	1	0.0020	
				Horizontal_stiffener_3_left	1	0.0048	0.0095
				Horizontal_stiffener_3_right	1	0.0048	
				Horizontal_stiffener_4_left	1	0.0048	0.0095
				Horizontal_stiffener_4_right	1	0.0048	
				Horizontal_stiffener_5_left	1	0.0048	0.0096
				Horizontal_stiffener_5_right	1	0.0048	
				...	...	...	...

(b) Quantity Take-Off using Design Documents

Span	Girder	Section	Component name	width (mm)	t (mm)	length (mm)	qty (EA)	V (m <sup>2</sup> )		
Span_1	Girder_1	Section_1	Diaphragm	Diaphragm plate	3000	16	2900	1	0.1392	
				Horizontal stiffener	292	12	3000	2	0.0210	
				Opening stiffener	80	10	680	2	0.0010	
				Opening stiffener	80	10	880	2	0.0014	
			Main girder	Upper flange	3200	14	5735	1	0.2569	
				Lower flange	3200	16	4190	1	0.2145	
				Lower flange	3200	28	1545	1	0.1384	
				Web	2900	14	5735	2	0.4657	
				Horizontal stiffener	180	20	482	2	0.0035	
				Horizontal stiffener	180	20	568	2	0.0041	
				Horizontal stiffener	180	20	1322	2	0.0095	
				Horizontal stiffener	180	20	1323	2	0.0095	
				Horizontal stiffener	180	20	1327	2	0.0096	
				...	...	...	...	...	...	...

초점을 맞추고 있는 것으로, 이는 본 연구에서 제안하는 구성요소의 의미정보를 활용하여 수량 및 물량 값을 각 구간별로 산정이 가능함을 나타내는 것이다.

## 5. 결론

본 연구에서는 IFC를 기반으로 강박스교의 정보모델링을 하였을 경우, 교량 구조물의 구성요소에 대한 의미정보생성을 지원할 수 없는 한계점을 극복할 수 있는 방법을 제시하였다. 이를 위하여 기본계획, 기본설계, 실시설계에서 활용하는 강박스교의 구성요소를 분류하였으며, 이를 활용하여 구성요소의 의미정보 생성에 필요한 항목을 선정하였다. 선정된 항목은 IFC에서 외부 속성 추가를 위해 제공하는 사용자 정의 속성집합을 통해 정보모델의 각 구성요소에 추가 정보가 생성될 수 있도록 하였다. 추가한 외부 속성 정보의 정보항목이 IFC 구조에 유효한 지를 제시한 방법에 따른 IFC기반의 강박스교 정보모델의 구현을 통해 확인하였으며, 제시한 방법의 실무 사용 가능성을 검토하기 위해 강박스교 정보모델을 기반으로 구성요소 단위의 수량 및 물량 산출 결과 값과 설계도서 기반의 수량 및 물량 산출 결과 값을 비교하여 그 정확성과 활용성을 검증하였다.

IFC 데이터 모델기반의 BIM은 정보 상호운용성에 있어 핵심이 되는 것이지만, IFC가 현재는 교량 구조물을 지원하지 않아, 진정한 의미의 정보모델을 구현하기에는 역부족이다. 궁극적으로는 교량 구조물 또는 토목 구조물 전체를 지원할 수 있는 데이터 모델이 개발이 되어야하고 관련 연구가 진행되고 있지만, 데이터 모델이 개발된다고 하더라도 이를 국제 표준으로 선정하는 과정과, 표준으로 선정된 데이터 모델을 기반으로 정보모델링 할 수 있는 소프트웨어 환경을 구축하기까지는 적지 않은 시간이 소요된다. 본 연구에서 제안한, IFC의 틀을 유지하며 외부 추가속성을 정의하는 방법은 현재의 BIM환경에서 강박스교의 정보모델링을 수행할 수 있도록 한 것으로, 이는 폭발적으로 증가하고 있는 현 시점의 BIM 요구에 효과적으로 대응할 수 있는 방안이 될 것이며, 특히, 동일한 방법론을 적용하여 강박스교 이외의 다른 토목 구조물에도 적용가능하다는 점에서 높은 활용 가치가 있는 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단(No. 2010-0024404)의 지원과 소방방재청 자연재해저감기술개발사업의 지원으로 수행한 ‘3차원 BIM 기술을 활용한 수방시설의 능동형 재난관리체계 구축’ [NEMA-자연-2012-57]과제의 지원을 받아 수행하였음.

## References

- Arthaud, G. and Lebegue, E. (2007). *IFC-Bridge V2 data model- Edition R7*, IAI.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., and Liston, K. (2008). *BIM handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley and Sons, Hoboken, NJ.
- IAI (2001). *IFC2x Property set development guide*, International Alliance for Interoperability.
- ISO TC184 SC4 (2005). *ISO/PAS 16739:2005 Industry foundation classes, Release 2x, Platform Specification (IFC2x Platform)*, ISO.
- Kim, B.-G. (2010). *Integration of a 3-D bridge model and structured information of engineering documents*, Ph. D. Dissertation, Yonsei University, Seoul, Korea.
- Kim, B.-G. and Lee, S.-H. (2011). “Enhancement of spatial and physical elements for IFC-based bridge data model.” *The 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC2011)*, Seoul, Korea, pp. 375-376.
- KSSC (2006). *Detailed design guide for steel bridge*, Ministry of Construction and Transportation (in Korean).
- Lee, S.-H. and Jeong, Y.-S. (2004). “Development of web-based application module by using database of steel bridge information.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 24, No. 4-A, pp. 721-730 (in Korean).
- Lee, S.-H. and Jeong, Y.-S. (2006). “A system integration framework through development of ISO 10303-based product model for steel bridge.” *Automation in Construction*, Vol. 15, No. 2, pp. 212-228.
- Ma, Z., Wei, Z., Song, W., and Lou, Z. (2011). “Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China.” *Automation in Construction*, Vol. 20, No. 2, pp. 169-204.
- MLTMA (2012). *Guideline for writing the design document in construction project*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korea (in Korean).
- Oh, J. T. (2003). *Plan and design of bridge*, Bansuk Tech (in Korean).
- Seo, J. and Kim, I. (2009). “Industry foundation classes-based approach for managing and using the design model and planning information in the architectural design.” *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Vol. 8, No. 2, pp. 431-438.
- Wix, J. (2009). *User defined property sets*, Industry Foundation Classes (IFC) Advanced Training Workshop, The Offices of the Engineer Research and Development Center, Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL, USA.
- Yabuki, N. and Shitani, T. (2003). “An IFC-based product model for RC or PC slab bridges.” *Proceeding of the CIB W78 2003 20th International Conference Information Technology for Construction*, Waiheke Island, Auckland, New Zealand, pp. 463-470.