

교량 구성요소의 기능적 특징을 고려한 PLIB 기반 제품 분류체계 - 형상 정보모델링을 중심으로 -

이 상 호^{1*} · 이 혁 진¹ · 박 상 일¹ · 최 규 원¹ · 권 태 호¹

¹연세대학교 토목환경공학과

A PLIB-based New Bridge Breakdown System Considering Functional Properties - Focused on Geometric Modeling -

Sang-Ho Lee^{1*}, Hyuk Jin Lee¹, Sang I. Park¹, Kyou-Won Choi¹ and Tae Ho Kwon¹

¹School of Civil & Environmental Engineering, Yonsei Univ., Seoul, 03722, Korea

Abstract

It has problems to use the existing construction information classification system as the bridge breakdown structure due to lack of relationships between element classes. In this study, we proposed the bridge breakdown system for supplementation of above-mentioned classification system. The proposed system, for geometric information modeling, was based on international standards of methodology for structuring part families namely PLIB Part 42. In particular, the breakdown system, considering of the functional classification for the semantic information of the elements is included. In addition, we proposed a basic framework for actual modeling using bridge breakdown system and showed that it can be used in practice.

Keywords : bridge breakdown system, PLIB, geometric modeling

1. 서 론

건설 산업에 IT기술이 적용되면서 정보를 쉽고 빠르게 전달하고 교환할 수 있게 됨에 따라 전체 프로젝트에 참여하는 담당자나 기관들 사이에 설계정보를 공유 및 교환하는데 있어 각종 건설 정보의 전달 및 표현 방식에 따른 표준화의 중요성이 증가하게 되었다. 이러한 환경 하에서, 건축 분야에서는 Building Information Modeling(BIM)을 도입함으로써 건축물 생애주기 동안 생성되는 정보를 통합관리하고 재활용하여 경제적 손실을 줄이고 이윤의 극대화를 시도하고 있다 (Welle *et al.*, 2011; Eadie *et al.*, 2013; Yalcinkaya and Singh 2015). 토목분야 역시 Lee와 Jeong(2006),

Yabuki(2009) 및 Ji(2013) 등이 토목구조물에 특화된 모델 표현 및 정보공유를 위한 데이터 모델을 제시하여 3차원 모델을 통한 정보의 원활한 공유를 위한 노력을 기울이고 있다. 그러나 정보모델을 시각적으로 표현하기 위한 3차원 형상 정보 구성체계와 관련된 합의된 표준없이 시설물을 3차원으로 모델링할 경우 설계자 혹은 3차원 모델링 어플리케이션의 종류에 따라 그 부품체계가 상이하게 달라지거나 정보누락 현상이 발생할 수 있다. 일반적으로 교량의 정보모델을 시각적으로 표현하기 위한 3차원 형상 정보 모델링 단계에서는 교량을 구성하는 요소 및 객체의 개념을 구체화하여 객체의 기능, 구성, 다른 객체간의 관계, 치수 및 간단한 형상들을 정의한 후, 검증 작업을 통해 가장 최적화된 3차원 설계 방법을

* Corresponding author:

Tel: +82-2-2123-2808; E-mail: lee@yonsei.ac.kr

Received June 21 2016; Revised July 21 2016;

Accepted July 22 2016

©2016 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

확정하게 된다. 이때, 제작된 최종 객체들은 교량을 구성하는 하나의 부품 역할을 하게 되고, 여기에는 각 부품에 관한 정보를 담게 되는데, 이에 필요한 부품 정보의 데이터 전달체계는 3차원 설계를 담당하는 실무자에 따라 상이하게 표현될 수 있는 것이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 자동차, 항공기와 같은 기계 산업분야에서는 3차원으로 설계된 부품간의 결합체계가 국제표준으로 제시되어 사용 중에 있으나, 교량과 같은 사회 기반시설물의 3차원 설계응용프로그램에서는 설계자의 개별적인 관점에 따라 단순 Bill of Materials(BOM) 형태로 그 체계가 제작되어 3차원 설계 도면간의 정보전달과 구조해석 어플리케이션, 사용자 인터페이스 등의 기본적인 데이터 전달에도 한계를 보이고 있다(Cho *et al.*, 2006).

따라서 본 연구에서는 3차원 교량 구조물을 구성하는 부품들 간의 관계성 표준화 작업에 필요한 교량의 제품 분류체계를 구축하여 각종 3D 설계 프로그램에 활용 가능한 표준을 제시하고자 한다.

2. 건설정보 분류체계와 PLIB Part 42

2.1 건설정보 분류체계의 부위별 요소 분류체계 및 한계

통합건설정보 분류체계는 과거 건설교통부(현 국토교통부)에서 제안한 분류체계인데 이는 건설 분야에 발생하는 모든 항목들을 체계적인 기준으로 분류하여 고유 식별번호를 부여한 것으로, 표준분류체계의 중요성에 따라 대두된 관리체계의 통합에 적극적으로 활용할 수 있다. 건설정보 분류체계는 시설물(facility), 공간(spaces), 부위(element), 공중(works), 자원(resources)의 5단계의 계층적 구조로 각각의 특성에 따른 분류체계시스템으로 구성되어 있다(KICT, 2006). 이러한 시스템은 모든 건설정보의 흐름을 구성요소분석, 행위분석, 비용구조분석을 통해 제작된 것으로 각 주제별로 분류면(facet) 중심의 합성분류체계 방법을 제공한다. 그러나 건설정보 분류체계를 교량 구조물에 그대로 적용하기에는 객체간의 관계성 표현이 어렵다는 한계점을 갖는다. 예를 들어 '사장교의 주탑부분'과 같이 복합적인 요소의 부분을 나타낼 때의 '주탑부분'은 사장교의 전체-부분의 관계로 나타내는 것이 적절하다. '부위'라는 분류면을 정의하여 주탑을 교량의 인스턴스(instance)로 나타낼 수는 있겠지만 '교량의 하부구조'와 같이 동일한 분류면에 속한 복수의 단위로 조합될 경우 단순한 인스턴스를 통한 종속적인 관계가 아닌 부분과 전체를 표현하는 관계성 개념으로 나타내는 것이 필요하다. 비슷한 예로 파일(pile)을 표현함에 있어 '교각의 기초부분의 말뚝부분'으로

Table 1 Assembling elements of construction information classification system

Level 1		Level 2		Level 3		Level 4	
Code	Title	Code	Title	Code	Title	Code	Title
0	Ground and substructures	...	...	...	...	...	...
		4	Pile foundations	9	Other pile foundations	...	...
	
1	Civil engineering	...	...	...	...	...	...
		3	Bridge element	1	Bridge substructure	30	Piers
	
2	Primary structures	...	...	...	...	...	...
		2	Columns	2	Concrete columns	...	...
	

표현하면서 전체에서 부분으로 세분화를 시켜 진행함에 따라 복수의 분류면이 등장하게 되고 기초와 말뚝간의 계층구조를 표현할 방법이 없는 것이다. 건설정보 분류체계에 따르면 전술한 내용에 대한 표현을 Table 1과 같은 규칙에 따라 부위 분류면의 코드번호인 13130, 049, 222와 같은 방법으로 밖에는 표현할 방법이 없고, 이러한 점은 종속 관계를 포함하는 다양한 분류면들 간의 관계를 나타내기 위해서는 객체를 다룰 수 있는 다른 분류방법을 도입에 대한 필요성을 나타내는 것이다.

2.2 PLIB Part42를 이용한 분류방법

제품은 일반적으로 이를 구성하는 부품들로 구성되어 있기 때문에 설계, 제조, 유지보수 전 과정에 걸쳐 발생하는 모든 정보에는 그 제품을 구성하는 부품의 정보를 포함해야 한다. 여기서 제품을 구성하는 부품들이 제품과 분리되어 정의 된다면 부품에 관한 정보들은 제품과 독립적으로 구성될 수 있고, 이는 제품 정보를 공유하는 주제들 간의 상이한 어플리케이션, 데이터시스템 등에 영향을 받지 않게 된다. PLIB Part 42(ISO-TC184/SC4 2010)는 이러한 각 주제들 간의 정보교환 및 사용을 목적으로 부품라이브러리 제작에 필요한 메커니즘을 제공하는데 그 의의가 있다. ISO TC175/SC4에서는 이를 위해 PLIB를 전산 해석이 가능한 부품 라이브러리 데이터의 교환과 표현에 관한 국제 표준으로 제정하였다(ISO-TC184/SC4 2001). PLIB는 부품군의 계층 형성 방법에 대해 Table 2와 같이 8가지 기본 규칙과 이들 부품의 속성 서술에 대한 방법을 담고 있다(ECIF, 2001). PLIB는 현재 그 활용범위가 매우 넓어 여러 국가에서 제품의 분류

Table 2 Basic Rules for composing the classification system of parts proposed by PLIB Part 42

Rule number	Rule content	
Rule 1	Field covered by the hierarchy	
Rule 2	Classification	
Rule 3	Instantiation Rule	
Rule 4	Homogeneity of simple family of parts	
Rule 5	a	Maximum applicability
	b	Class valued properties
	c	Class valued assignment level
Rule 6	Choice of properties	
Rule 7	Semantic identification	
Rule 8	Applicability of inherited properties	

체계를 만들 때 국제 표준으로 자주 사용되고 있는데, 일본의 ECALS Dictionary나 로제타넷(RosettaNet)의 Electronic Component Technical Dictionary(ECTD) 등이 그 대표적인 사례라고 할 수 있다(Yendluri, 2000; ECAGA, 2004).

2.3 교량에 대한 PLIB Part 42 분류체계의 적용성 검토

본 연구에서는 PLIB Part 42에서 제시한 분류 방법론을 기반으로 교량의 분류체계를 제작하였다. 그러나 이러한 PLIB Part 42의 기본규칙만으로는 단일 복잡한 구조물에 대한 분류는 매우 비효율적이다. 구체적인 이유는 다음과 같다.

첫째, 객체 지향개념인 상속의 원리가 모든 부품에 대해 적용되기 힘들다. 교량 구성요소의 경우 일반 기계적인 부품(볼트, 너트 등)을 제외하고 상위에서 하위 클래스로 분류될 때 부위에 따른 단순 분할 형태로 이루어지기 때문에 상위 부품의 속성이 하위 부품의 속성으로 상속되는데 어려움이 많다. 이는 Table 2의 Rule 5c에서 정의한 바와 같이 클래스 가치 할당 수준에 위배되지 않도록 Rule 8에서 언급한 가지 특성만으로 구성요소를 정의하는 방법을 통해 극복할 수도 있지만, 토목구조물의 유일성에 비추어 볼 때 다양한 형상에 대한 능동적 대처가 매우 힘들다. 예를 들어 볼트, 너트, 베어링은 상위 분류에서 형태와 특성, 매개변수를 정의해 주면 하위분류에서 그 속성을 그대로 상속받아 사용이 가능하다. 그러나 교량에 있어서 강관형 거더의 경우 강관형 거더와 이에 속한 I형 강관, 브레이싱, 격막, 리브 사이에는 단순 결합 관계만이 존재한다. 만일 상위 분류에서 강관형 거더의 형태, 특성을 정의하여 하위분류에서 그대로 상속받아 사용한다면 수많은 형태의 단면과 각 부품의 3차원적 위치정보를 상위 분류에서 매개변수를 사용하여 빠지지 않게 정의해주어야 한다.

그러나 교량과 같이 외부 조건에 따라 변화가 심한, 정형화 되지 않은 단일한 구조물에서는 거의 불가능한 작업이라 할 수 있고, 자칫 상위 분류에서 매우 복잡하고 비대한 속성정보를 갖게 되어 분류체계가 그 의미를 잃어버릴 수 있다.

둘째, 교량을 구성하는 부품요소들은 PLIB에서 정의하는 기계·전자 부품과는 달리 교량설계 기준에 따라 분류하기에 구조적으로 형상을 중요한 특성으로 가지는 부품이 많다. 콘덴서, 트랜지스터와 같은 전자 부품의 경우 전압, 저항 등의 속성을 갖는 반면, H형강이나 박스형강과 같이 대략적으로 정형화가 가능한 형상을 제외한 바닥판, 주탑, 교각 등에 사용되는 콘크리트 주형체의 경우 콘크리트의 형상과 철근의 배치 등을 중요속성으로 갖는다. 따라서 교량의 '구조물'적인 특성을 다룰 수 있는 분류체계를 제작할 필요가 있다. 이에, 설계자의 관점, 또는 목적에 따라 가변적인 기하학적 정보의 관점에서 제시된 분류체계를 살펴볼 필요가 있다.

PLIB Part 42를 통한 분류체계 대표적인 제작 사례는 ESPRIT PIPPIN Project(european strategic programme for research in information technology, pilot implementation of process plat lifecycle project)에서 사용한 분류방법이다. ESPRIT PIPPIN에서는 PLIB Part 42에서 제시하고 있는 공통사전 스키마에 따라 정의된 분류체계를 따르고 있다. 분류체계를 부품 클래스를 기능을 기준으로 한 분류체계(functional classification)와 물리적 특성이 기준으로 적용된 분류체계(physical classification)로 구분하고 있다(European Commission, 1998). 본 연구에서는 PLIB Part 42에서 제시하는 기본적인 방법론을 따르되, 해당 방법론을 적용하기 어려운 교량의 구성요소에 대해서는 ESPRIT PIP-PIN Project에서 제시한 기능적 분류의 방법을 도입하여 3차원 모델링을 위한 보다 효과적인 분류체계를 제시하였다.

3. 기능적 특징을 고려한 PLIB 기반 교량 구성요소 분류체계

3.1 객체화를 위한 교량 구성요소의 분석 및 최소단위 부품 라이브러리 구현

본 연구에서는 교량을 구성하고 있는 구성요소의 분류체계를 제시하는 것으로, 교량을 구성하는 요소들에 대한 정보를 수집하기 위하여 각 교량 형태별로 3종의 준공도서, 3종의 설계도서 및 도로교설계기준(KRA, 2015)이 포함하고 있는 내용을 바탕으로 연구를 수행하였다.

교량의 형상 정보를 표현할 때 주안점을 두어야 할 사항은

다양하고 복잡한 요소들 간의 결합관계를 정의하는 것이다. 따라서 분류체계를 제작할 때 위와 같은 다른 요소들의 조합으로 표현될 수 있는 요소 중 3차원 형상으로 제작 가능한 요소를 추출하여 최소단위를 가지는 요소들 간의 집합군을 생성할 필요가 있다. PLIB Part 42를 기준으로 집합군을 생성할 때는 Table 2의 Rule 3에 따라 일반적 트리 구조인 BOM 방식으로 하위 부품을 표현할 수 있다. 그러나 Rule 4에 따르면 하나의 하위 집합군에 정의된 속성은 같은 상위 집합군을 갖는 같은 위상의 집합군과 같이 분류되어야 한다. Fig. 1은 거더와 케이블을 구성하는 부품(Fig. 2)을 Rule 3에 따라 트리 구조로 분류한 것으로 Rule 4에서 제시된 동일 위상의 범칙에 의해 strand는 다른 객체들과 같은 집합군으로 정의할 수 없음을 보여준다. 따라서 이러한 경우 strand를 객체가 아닌 strand의 개수를 wire의 속성으로 정의해야 한다.

본 연구에서는 전술한 설계기준 분석 내용과 특징을 고려하여 부품의 사용목적에 따라 교량에서 구조적인 역할을 하는 부분(기계부품, 교량에서 필요한 부품)과 향후 사용성 및 유지관리를 위해 필요한 부분으로 나누어 형상표현을 위해 필요한 최소 단위의 부품일람을 Table 3과 같이 구성하였다.

교량을 구성하는 시설물은 일반적인 공업규격을 가진 부품으로 구성하기는 어렵고, 그 조합관계가 매우 다양할 뿐만 아니라 형상적으로 중요한 요소를 가지는 경우가 많아 표준화된 형상을 정의하기 어려움이 따른다. 따라서 다양한 조합관계를 가지는 시설물 중 객체로 판단할 수 있는 수준을 결정해야 하고, 시설물 요소를 표현할 때 사용되는 표준화된 형상을 가질 수 있는 부품과 그렇지 않은 부품에 대한 구분은 필수적이다. 이러한 관점에 비추어 볼 때, 교량과 같이 다양한 형태의 콘크리트 주형체를 포함하는 경우에는 주형체를 부품의

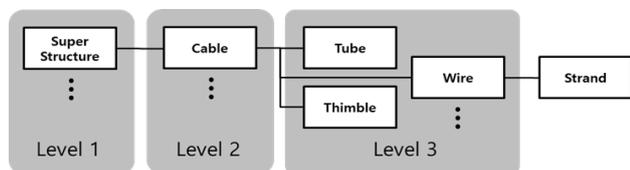


Fig. 1 Tree structure classification against the rule of same phase

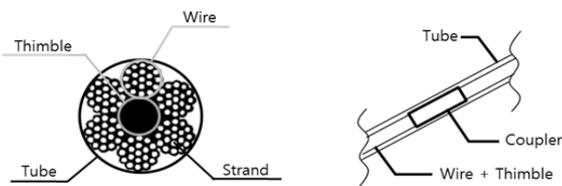


Fig. 2 Components of birdge cable

Table 3 Part for shape representation

Classification	Part
Generic bridge member part	Web, Flange, Steel_Bar, Wire, Stiffener, Diaphragm, Rib, Steel_Plate, Thimble, Sheath, Pivot_Bearing, Expansion_Bearing, Pin_Bearing, Sliding_Bearing, Sub Entities of Pavement(Asphalt, Impervious_Layer, Insulating_Layer, etc.)
Mechanical part	Bolt, Nut, Rivet, Spring, String, Clip, Mech_Plate, Mech_Bearing, Steel_Tube, Polyethylene_Tube, Turn, Buckle, etc.
Facilities unit and part	Pipe, Pump, Fan, Electric_Line, Vibration_Sensor, Crack_Sensor, Displacement_Sensor, Computer, Video_Recorder, Bulb, Data_Logger, Roadlamp, Fog_Lamp, Flight_Obstruction_Lamp, Illuminator, Traffic_Sign, Traffic_Delineator, etc.

개념으로 다룰 수 있도록 콘크리트나 강재의 대표단면을 사용자가 매개변수 모델로 디자인 가능한 라이브러리로 제작할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 주형 요소를 위한 라이브러리의 형상을 초기에 지정하여 요소 라이브러리로써 활용 가능하도록 하였다. Table 4는 교량 형상을 모델링함에 있어 주로 활용되는 주형체 목록을 나타낸 것으로, 본 연구에서는 크게 정형화된 주형체와 불규칙한 형태의 주형체로 구분하고, 정형화된 주형체는 이를 구성하는 재료에 따라 하위 요소로 재분류 하였다.

앞서 정의한 부품리스트는 실제 3차원 모델을 구현하는데 있어 기본 라이브러리로 직접 활용이 가능하다. Table 5은 본 연구에서 제시하는 교량의 객체 요소 결합을 통한 부품

Table 4 Part for member shape & user shape representation

Classification	Part
Concrete member shape	Concrete_I_Shape, Concrete_T_Shape, FCM_Cylinder_Shape, PSC_Box_Shape, Concrete_Cube_Shape, Concrete_Open_Caisson_Shape, Concrete_Pneumatic_Caisson_Shape, Concrete_Floating_Caisson_Shape, Concrete_Box_Caisson_Shape, Concrete_Trapezoid_Shape
Steel member shape	Steel_I_Shape, Steel_T_Shape, Steel_Box_Shape, Steel_Channel_Shape, Steel_Angle_Shape, Steel_Cylinder_Shape, Steel_Sheet_Shape
Mechanical part shape	User_Bolt_Shape, User_Nut_Shape, User_Bearing_Shape, User_Rivet_Shape, ...
Generic shape	Spherical_Shape, Polygonal_Shape, ...

Table 5 Bridge Part Library by assembling objects

Library	Class	Part
General part library	Generic member part class	Generic bridge member part (Table 3)
	Mechanical part class	Mechanical part (Table 3)
	Facilities unit and part class	Facilities unit and part (Table 3)
Standard shape type library	Concrete member shape class	Concrete member shape (Table 4)
	Steel member shape class	Steel member shape (Table 4)
	Mechanical part shape class	Mechanical part shape (Table 4)
	Generic shape class	Generic shape (Table 4)

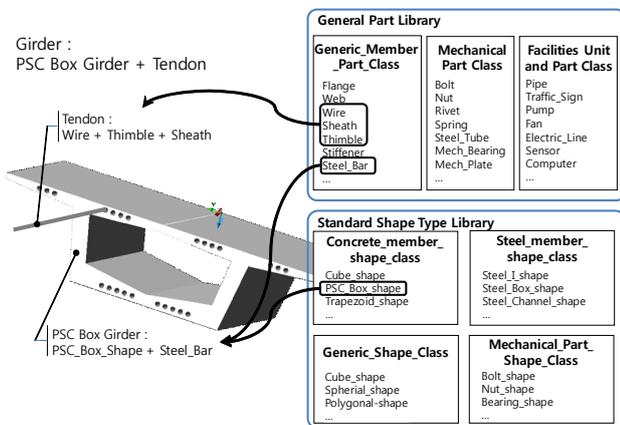


Fig. 3 The method for assembling PSC Box Girder's objects

라이브러리의 구성을 나타낸 것이고, Fig. 3은 Table 5을 이용한 PSC Box Girder 하나의 세그먼트에 대한 조합 방안 예시를 나타낸 것이다.

Fig. 3의 PSC Box Girder는 Tendon을 포함하고 있는 형태의 것으로 Girder의 기본 주형체는 Standard Shape Type Library의 'PSC_Box_shape'을 활용하였으며, Girder가 포함하는 철근은 General Part Library > Generic Member Part Class의 'Steel_bar'를 통해 표현 하였다. 또한 Tendon은 Generic Member Part Class의 'Wire', 'Sheath', 'Thimble'의 조합을 통해 구성 가능함을 보여주고 있다.

3.2 3차원 형상 모델링을 위한 부품 라이브러리의 조합 방안

3.1절에서 제시한 부품 라이브러리는 교량 형상을 표현하기 위한 최소한의 단위로 이러한 라이브러리가 포함하고 있는

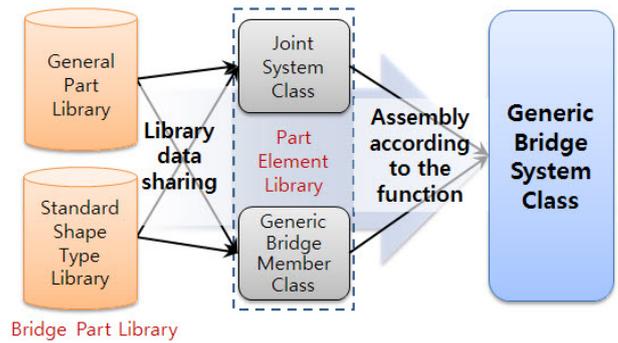


Fig. 4 Relation between part libraries and bridge classes

정보는 단순한 형상차원에만 머무르고 있어 교량을 구성하고 있는 요소가 내포해야 하는 의미적 정보는 포함하고 있지 않다. 이러한 점은 모델 자체를 구현하는데 있어서는 큰 어려움이 없지만, 동일한 모델을 구현하는데 있어서 일관되지 못한 모델 생성 가능성을 내포하고 있기 때문에 표준화된 모델의 생성이 불가능하며, 이러한 점은 다른 업체간 모델의 공유 및 재활용에 있어 큰 장애물로 작용한다. 따라서 앞서 제시한 부품 라이브러리의 활용을 통한 의미요소의 라이브러리 생성은 일관된 모델생성에 있어 필수적인 부분이라고 할 수 있는데, Fig. 4는 본 연구에서 제시하는 의미요소의 포함을 위한 교량 구성요소 조합관계와 기능적 특징을 고려한 조합관계를 나타낸 것이다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 의미정보의 포함은 최소단위 부품 라이브러리와 부분 요소 라이브러리(part element library) 사이의 데이터의 공유과정에서 가능한 것이며, 기능적 요소를 고려한 부품의 조합은 부분 요소 라이브러리와 교량 구성요소 객체(generic bridge system class) 사이에서 이루어진다. 각 과정에 대한 세부적인 설명은 세부 절로 나누어 후술하였다.

3.2.1 최소단위 부품 라이브러리의 조합을 통한 부분 요소 라이브러리의 구현

부분 요소 라이브러리(part element library)는 3차원 교량 형상 정보 모델링 시 필수적으로 고려되어야 할 교량의 구성요소에 관한 라이브러리로, 전술한 바와 같이 최소단위 부품 라이브러리가 단순한 형상에 관한 정보만을 포함하고 있는 것이라고 한다면, 부분 요소 라이브러리는 해당 구성 요소가 교량에서 활용될 때의 의미적 정보까지 포함하고 있는 것이라 할 수 있다. 의미적 정보의 중요성은 다음의 예와 같이 Standard Shape Type Library > Steel Member Shape Class에 속해있는 Steel_I_Shape의 경우를 생각할 때, 이를 사용하는 위치에 따라 Girder의 구성요소가 될 수도 있고,

Table 6 Objects of Part Element Library

Class	Object			
Generic bridge member class	Approach_Slab	Deck_Plate	Median_Barrier	Sewer
	Arch_Rib	Deck_Slab	Other_Drainage_Equipment	Side_walk
	Bottom_Slab	Diagonal_member	Other_Inspection_Equipment	Sign
	Brace	Ditch	Other_Monitoring_Equipment	Spandrels
	Bridge_Cable	Door	Other_Safety_Equipment	Stair
	Bridge_Tie	Fender	Parapet	Stringer
	Bulkhead	Girder	Pavement	Strut
	Buttress	Guard_Fence	Pile	Tendon
	Caisson	Handrail	Pipe_Equipment	Tower
	Collecting_Well	Jaw_Plate	Power_Generator	Traffic_Indicator
	Column	Ladder	Power_Supplier	Upper_Chord
	Coping	Lane_Change_Restrictor	Pulley	Upper_Slab
	Crossbeam	Lighting_Equipment	Recording_Equipment	Waling
	Culvert	Lower_Chord	Scaffolding	Wall
	Curb	Man_Hole	Sensor_Equipment	Wing_wall
Joint system class	Anchorage	Coupler	Expansion_Joint	Shoe
	Backing_Strip	Damper	Gusset	Sole_Plate
	Buckle_Plate	Elastite	Saddle	Splice_Plate

Table 7 Representation of Part Element Library using Bridge Part Library

Class	Object	Bridge Part Library
Generic bridge member class	Brace	Steel_I_Shape, Steel_Box_Shape, Steel_Angle_Shape, Steel_T_Shape, Flange, Web, Stiffener, Rib
	Girder	Concrete_I_Shape, Concrete_T_Shape, FCM_Box_Shape, PSC_Box_Shape, Steel_I_Shape, Steel_Box_Shape, Steel_Bar, Steel_Angle_Shape, Steel_T_Shape, Flange, Web, Stiffener, Rib, Diaphragm
	Upper_Chord	Steel_I_Shape, Steel_Box_Shape, Steel_Angle_Shape, Steel_T_Shape, Flange, Web, Stiffener, Rib

Joint system class	Damper	Rub, Mech_Bearing, Bolt, Nut, Rivet, Spring, String, Mech_Gear, Buckle
	Gusset	Gusset_Plate, Steel_Plate, Bolt, Nut, Rivet

Brace의 구성요소도 될 수가 있음에서 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 일관된 형상 모델링의 절차에 활용 가능한 부품 라이브러리의 제안을 위해 부분 요소 라이브러리를 제안한 것이다. 부분 요소 라이브러리의 경우 매개변수를 포함하고 있는 최소단위 부품 라이브러리의 조합을 통해 구현 가능하고 PLIB Part 42에서 정의하는 규칙에 위배되지 않기 때문에 본 연구에서 제안한 방법 그대로 활용 가능하다. 부분 요소 라이브러리는 교량을 구성하고 있는 기본적인 특성에 따라 기본 요소 부분(generic bridge member class)과 연결 요소 부분(joint system class)의 두 가지로 구분하였다. 기본 요소부분은 교량에서 구조적인 역할을 하는 기본적인 요소를 의미한 것으로, 이들은 연결 요소를 통해 더욱 확장된 상위 요소로 표현 가능하다. Table 6은 본 연구에서 제시하는 기본 요소 부분과 연결 요소 부분의 객체 라이브러리 일람을 나타낸 것으로 Table 6이 포함하고 있는 요소들은 Table 7과 같이

최소단위 부품 라이브러리의 조합을 통해 구현 가능하다.

3.2.2 기능에 따른 부분 요소 라이브러리의 조합을 통한 교량 구성요소 객체의 구현

전술한 바와 같이 교량을 구성하고 있는 요소들은 상속의 원리가 적용 가능한 부품의 조합을 통한 새로운 상위 등급의 구성요소를 생성해 낼 수 있는 반면에, 상위 등급의 구성요소와 하위 등급의 구성요소가 단순 전체-부분의 관계로만 정의될 수 있는 요소들도 많다. 교량에 있어서 이러한 부분은 기능에 따라서 분류되는 구조적 시스템이 해당된다고 할 수 있는데, 교량은 일반적으로 상·하부 구조 시설물과 유지 관리를 위한 시설물로 구분할 수 있다. Table 8은 교량을 구성하고 있는 요소들을 기능에 따라 분류한 것을 나타낸 것으로, 이는 Fig. 4에서 부분 요소 라이브러리(part element library)의 기능적 조합을 통해 구현 가능하다.

Table 8 Subsystem of Generic Bridge System Class and object

System		Object	
Structural system	Superstructure system	Deck system	Buckle_Plate, Deck_Plate, Pavement, Bridge_Tie, Damper, Elastite, Expansion_Joint, Jaw_Plate
		Support member system	Arch_Rib, Backing_Strip, Brace, Crossbeam, Diagonal_Member, Girder, Spandrels, Stringer, Strut, Upper_Chord, Lower_Chord, Gusset, Sole_Plate, Splice_Plate
		Cable system	Bridge_Cable, Tendon, Anchorage, Coupler
	Substructure system	Abutment system	Shoe, Approach_Slab, Buttress, Parapet, Wall, Wing_Wall
		Pier system	Shoe, Coping, Upper_Slab, Column
		Foundation system	Bottom_Slab, Caisson, Pile, Waling
		Pylon system	Shoe, Bottom_Slab, Coping, Column, Tower, Saddle
Facilities system	Usability system	Lightening system	Lighting_Equipment
		Safety system	Bulkhead, Curb, Fender, Guard_Fence, Handrail, Median_Barrier, Sidewalk, Lane_Change_Restrictor, Other_Safety_Equipment
		User guide system	Sign, Traffic_Indicator, Other_Guide_Equipment
	Management system	Electric power system	Power_Supplier, Power_Generator
		Drainage system	Culvert, Ditch, Collecting_Well, Sewer, Pipe_Equipment, Other_Drainage_Equipment
		Monitoring system	Sensor_Equipment, Recording_Equipment, Other_Monitoring_Equipment
		Inspection system	Ladder, Door, Stair, Manhole, Pulley, Scaffolding, Other_Inspection_Equipment

Table 9 Proposed bridge breakdown system

Library	Table number
General part library	Table 5
Standard shape type library	Table 5
Generic bridge member class	Table 7
Joint system class	Table 7
Generic bridge system class	Table 8

3장에서 제시한 교량 구성요소 분류체계를 Fig. 4와 연결지면 Table 9와 같이 정리가 가능하다.

4. 제안한 분류체계를 활용한 교량의 3차원 형상 모델링 방안

4.1 형상 데이터 전달 체계와 부품정보의 공유

분류체계를 지원할 수 있는 형상 정보를 포함하는 부품 라이브러리 또는 전체 모델 제작 시 주의해야 할 사항은 구현 분류체계가 객체를 표현함에 있어 필요 형상을 모두 지원할 수 있어야 한다는 점과 동일한 매개변수를 가진 부품 정보를 공유함으로써 분류체계의 일반성을 확보해야 한다는 것이다. 이는 PLIB Part 42의 Rule 5a에서 규정한 부품 속성의 최대 적용성이 존재하도록 구성해야 한다는 사항과 Rule 6에서 규정한 모든 하위 부품군의 부품 검색이 가능한 계층이 필요하다는 사항에 해당한다. 이는 기본적으로 정형화된 형상의 생성 및 이를 변형할 수 있는 매개변수의 정의를 통해

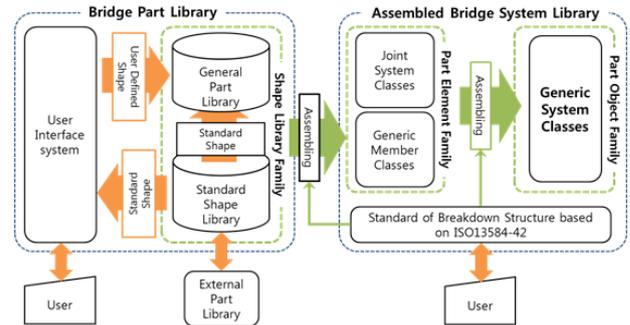


Fig. 5 The Framework for the classification system of bridge based on PLIB Part42

가능하다. 또한 외부에서 정의된 다른 시설물 및 부품 정보 라이브러리의 활용 가능성을 열어둠으로써 다른 시설물로의 분류체계 확장성을 제공할 수 있다. 여기서 데이터의 전달은 객체에 필요한 기초적인 형상 정보의 매개변수와 조합관계 매개변수를 사용자가 직접 입력함으로써 가능하게 된다. 따라서 사용자에게 정보전달을 위한 인터페이스를 제공하여 각 계층 집합군의 생성 모듈이 필요하다. Fig. 5는 부품과 객체 간의 계층 및 조합, 데이터 전달체계와 정보전달 인터페이스의 관계를 나타낸 전체 프레임워크이다. 부품 라이브러리와 시스템 라이브러리로 구성된 이 프레임워크는 'Bridge Part Library'와 'Assembled Bridge System Library'의 독립적인 두 개의 라이브러리로 구성되어 있다. 따라서 PLIB Part 42를 기반으로 다른 시설물을 분류하였을

경우 동일한 부품 라이브러리를 사용할 수 있게 하여 다른 시설물로서의 확장성을 제시한다. 즉, 조사되지 않은 시설물에 대한 추가적인 부품 형상과 'Part Object Family'의 정의를 통한 다 시설물과의 호환성을 가질 수 있는 것이다.

4.2 제안한 교량 시설물 분류체계를 활용한 교량의 3차원 형상 모델링

기존 교량의 3차원 형상모델링에서는 실제 교량에서 사용되는 CAD/CAE 시스템에서 사용할 수 있는 요소적인 분류체계가 명시되어 있지 않고, 요소 생성에 필요한 데이터에 관련한 부분만 조작 가능토록 되어있어 매개변수를 활용한 객체 지향적인 시설물 요소를 만드는데 많은 어려움이 있다. 또한 교량을 구성하는 요소들을 시각적으로 생성하는데 주목적으로 수많은 교량의 요소들을 하나의 인스턴스로 표현하기 때문에, 자칫 비대한 정보량에 의해 사용자가 개인의 시스템으로 접근하기 어렵다는 단점이 있다. 본 연구에서는 객체지향 모델링을 통해 교량을 구성하는 시설물의 요소

정보를 선택적으로 조회 및 사용할 수 있는 교량 부품의 라이브러리를 제안하여 기존 형상모델링으로부터 검토되지 못하였던 철근, 케이블과 같은 교량의 상세부품까지 설계가 가능함을 확인하였다.

형상모델링 검증을 위해 선정된 교량은 금강1교로, 100m의 양단 접속구간과 180m의 3경간으로 총 경간은 740m이고 함형식 교대와 말뚝기초로 구성된 FCM 공법의 일주식 V주탑 Extra-dos교이다. 교량의 횡단구성은 3.5m 폭의 왕복 6차선도로와 좌·우측 난간, 중앙분리대 등을 포함한 총 29m 폭원으로 설계되어 있다.

Fig. 6는 기본 거더의 모델을 나타낸 것으로, Standard Shape Type Library > Concrete Member Shape Class의 FCM_Box_Shape과 Generic Part Library > Generic Member Part Class의 Steel_bar를 통해 표현하였으며, 반복적 철근의 배근 CAD 소프트웨어의 매크로 기능을 활용하였다. 기능적 특징이 포함되어 있는 Deck System은 Pavement와 Expansion_Joint로 구성하였으며, Support Member System은 Crossbeam, Girder, Gusset, Splice_

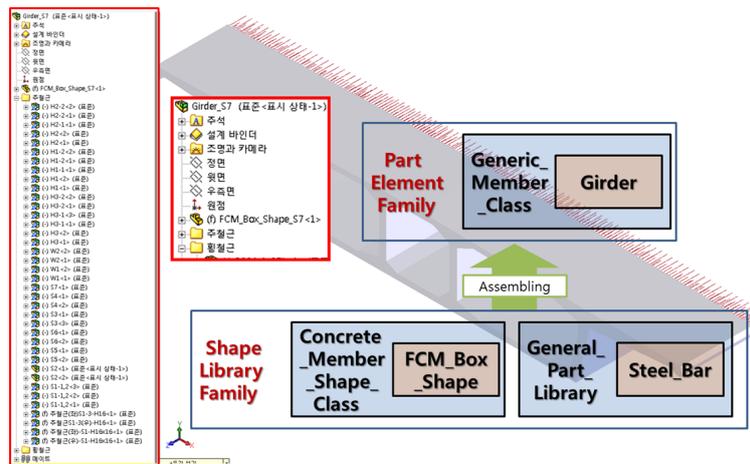


Fig. 6 Generation of middle class from assembling lower components

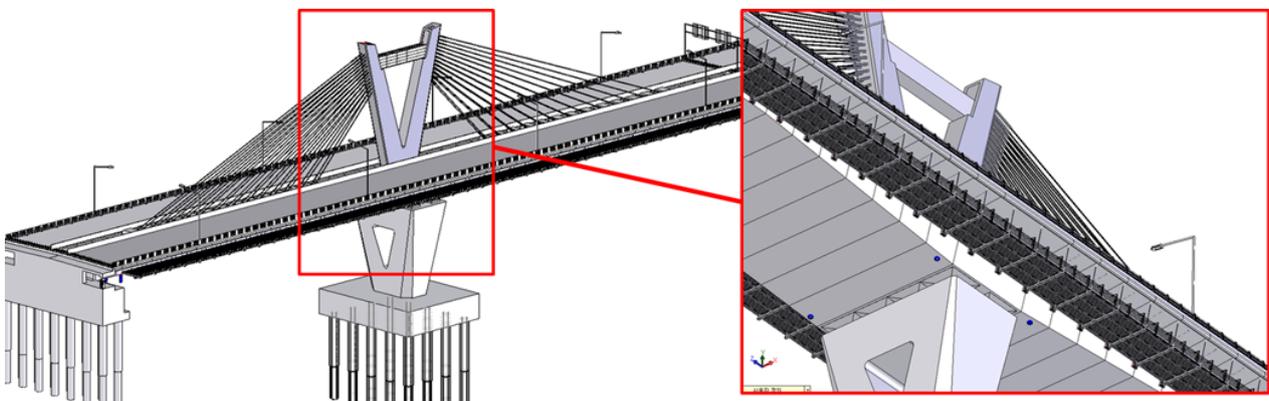


Fig. 7 The 1st Keumkang bridge model based on the proposed classification of bridge

Table 10 Part Object Library used for modeling 1st Keumkang bridge(focusing on structure)

Class		Object	Part Element Library
Superstructure System	Deck system	Pavement	Pannel, Epoxy_Layer, Silica_Layer, Urethane_Layer, Asphalt, Surface_Layer, Prime_Coating, Tack_Coating, Impervious_Layer, Insulating_Layer
		Expansion_Joint	Pin_Bearing, Anchor_Bolt, Nut, Bolt, Usertype_Concrete_Shape, Steel_Bar, Steel_Plate, Usertype_Steel_Shape, Mech_Rubber
	Support member system	Gusset	Steel_Trapezoid_Shape, Anchor_Bolt, Nut
		Crossbeam	Steel_I_Shape, Flange, Web, Stiffener
		Girder	FCM_Box_Shape, Steel_Bar, Flange, Web, Stiffener, Diaphragm, Steel_I_Shape
		Splice_Plate	Steel_Plate, Steel_Angle_Shape, Bolt, Nut
	Cable system	Bridge_Cable	Wire, Polyethylene_Tube, Steel_Tube
		Tendon	Sheath, Wire
		Anchorage	Usertype_Concrete_Shape, Steel_Bar, Formwork_Tube, Mech_Plate, Bolt, Nut, Buckle, Steel_Channel_Shape, Socket
		Coupler	Steel_Tube, Pin_Bearing, Bolt, Nut
Substructure system	Abutment system	Approach_Slab	Concrete_Cube_Shape, Steel_Bar
		Parapet	Concrete_Cube_Shape, Steel_Bar
		Wall	Concrete_Box_Shape, Steel_Bar
		Shoe	Bolt, Nut, Steel_Plate, Sliding_Bearing
	Pylon system	Tower	Usertype_Concrete_Shape, Steel_Box_Shape, Flange, Web, Rib, Steel_Trapezoid_Shape, Diaphragm, Stiffener, Steel_Bar
		Column	Usertype_Concrete_Shape, Steel_Bar
		Coping	Usertype_Concrete_Shape, Steel_Bar
		Shoe	Bolt, Nut, Steel_Plate, Sliding_Bearing
	Foundation system	Bottom_Slab	Concrete_Cube_Shape, Steel_Bar
		Pile	Concrete_Cylinder_Shape, Steel_Bar, Spacer, Waling_Steel_Bar

Table 11 Part Object Library used for modeling 1st Keumkang bridge(focusing on user and management)

Class		Object	Part Element Library
Usability system	Lightening system	Lighting_Equipment	Road_Lamp
	Safety system	Curb	Concrete_Cube_Shape, Steel_Bar
		Median_Barrier	Usertype_Concrete_Shape, Steel_Bar
		Guard_Fence	Steel_Plate, Rib, Steel_Pipe, Wire, Bolt, Nut, Anchor_Bolt, Usertype_Steel_Shape
Guide system	Sign	Usertype_Concrete_Shape, Concrete_Cube_Shape, Steel_Bar, Steel_Pipe, Bolt, Nut, Steel_Plate	
Management system	Drainage system	Cover_Plate	Steel_Plate
		Pipe_Equipment	PVC_Pipe, Anchor_Bolt, Nut
		Coupler	Steel_Cylinder_Shape, Steel_Plate, Bolt, Nut
	Monitoring system	Sensor_Equipment	Anemometer, Extensometer, GPS_Sensor, Tension_Meter, Displacement_Sensor
	inspection system	Ladder	Steel_Bar
		Door	Steel_Door
		Stair	Steel_Plate, Anchor_Bolt, Bolt, Nut
electric power system	Power_Supplier	Electric_Line	

Plate로 표현하였다. Cable System은 Bridge_Cable, Tendon, Anchorage, Coupler 객체의 조합으로 완성하였다. 하부구조는 Abutment System과 Pylon System, Foundation System으로 구성하였고, Facility System 역시 Usability System과 Management System의 하위 부품의 조합으로 완성하였다. Fig. 7은 3차원 형상 모델을

완성한 금강 1교의 모습을 나타내며, Table 10과 Table 11은 금강 1교를 구성하고 있는 하위요소 부품체계를 나타낸 것이다. 이러한 모델의 생성은 구성요소의 체계의 일관성을 가질 수 있으며, 제작된 라이브러리의 재사용성을 향상시켜 줄 수 있음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존 건설정보 분류체계가 가지고 있는 문제점을 분석하고, 이를 개선하여 교량 구조물에 적합한 구성요소의 분류체계를 제안하였다. 본 연구에서 제안한 분류체계는 교량의 3차원 형상 모델링에 초점을 맞춘 것으로, 분류체계에 관한 국제표준인 ISO 13584-42(PLIB Part 42)에 근거하여 기본 최소단위 부품 라이브러리를 구축하였으며, ISO 13584-42가 제공하지 못하는 교량 구성요소의 기능적 특징에 대해서는 ESPRIT PIPPIN Project가 제공하는 분류 방법을 적용하여 완성하였다.

최소단위 부품 라이브러리는 국제표준을 기반으로 하고 있어 형상 모델을 구현함에 있어 향후 재사용성을 용이하게 하며, 협업에 있어 데이터의 공유에 필수적인 정보의 호환성을 보장한다. 또한 교량 구성요소에 기능적 특징을 고려한 조합 방식을 제안함으로써 하위 부품 요소로부터 상위 부품 요소로 이어지는 단순 정보의 전달체계를 탈피한 교량의 특정 부위만이 갖는 의미적 정보에 대한 내용이 표현 가능하도록 하여 교량의 전체 모델링 과정에 있어 부품의 의미적 일관성을 유지할 수 있도록 하였다. 특히 본 연구에서는 제안한 분류체계에 따른 정보교환 방식의 프레임워크를 제시하고 이를 활용하여 실제 교량 모델을 생성함으로써 분류체계의 실무 활용성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-003 0040).

References

Cho, J., Han, S.H., Kim, H. (2006) Meta-ontology for Automated Information Intergrateion of Parts libraries, *Computer-Aided Design*, 38(7), pp.713~725.

Eadie, R., Browne, M., Odeyinka, H., McKeown, C., McNiff, S. (2013) BIM Implementation throughout the UK Construction project Lifecycle: An Analysis, *Autom. Constr.*, 36, pp.145~151.

ECAGA (2004) *ECALS STEP-P21 Format Dictionary Detailed Explanation*, JEITA (Japan Electronics

and Information Technology Industries Association) / EC Center.

ECIF (2001) *Library System Standard and Guidance Related to STEP Part Library* (ECIF 9:2001) (in Korean).

European Commission (1998) *Projects in The 'Product and Process Data Modelling'*, In: ESPRIT Integration in Manufacturing.

ISO-TC184/SC4 (2001) *ISO 13584-1:2001 Industrial Automation Systems and Integration - Parts Library - Part 1: Overview and Fundamental Principles*.

ISO-TC184/SC4 (2010) *ISO 13584-42:2010 Industrial Automation Systems and Integration - Parts Library - Part 42: Description Methodology: Methodology for Structuring Parts Families*.

Ji, Y., Borrmann, A., Beetz, J., Obergrießer, M. (2013) Exchange of Parametric Bridge Models using a Neutral Data Format, *J. Comput. Civil Eng.*, 27(6), pp.593~606.

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT) (2006) *The Information Classification Manual for The Construction Industry* (in Korean).

Korea Road Association(KRA) (2015) *Design Guide for Road Structure* (in Korean).

Lee, S.-H., Jeong, Y.-S. (2006) A System Integration Framework through Ddevelopment of ISO 10303-based Product Model for Steel Bridges, *Autom. Constr.*, 15(2), pp.212~228.

Welle, B., Haymaker, J., Rogers, Z. (2011) Thermal Opt: A Methodology for Automated BIM-based Multidisciplinary Tthermal Simulation for use in Optimization Environments, *Build. Simul.*, 4, pp.293~313.

Yabuki, N. (2009) Representation of Caves in a Shield Tunnel Product Model, *The 7th European Conference on Product and Process Modelling*, Sophia Antipolis, France, pp.545~550.

Yalcinkaya, M., Singh, V. (2015) Patterns and trends in Building Information Modeling (BIM) research: A Latent Semantic Analysis, *Autom. Constr.*, 59, pp.68~80.

Yendluri, P. (2000) *RosettaNet Implementation Framework (RNIF) 2.0*. RosettaNet.

요 지

기존의 건설정보 분류체계는 객체들 간의 관계성 표현 제한으로 인해 교량 구조물에 그대로 적용하기에는 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 분류체계 기술의 국제표준인 PLIB Part 42를 활용하여 이종의 도메인 간 정보공유의 기본이 되는 형상 정보모델링에 특화된 교량 구성요소의 제품 분류체계를 제시하였다. 특히, 제안한 분류체계는 교량 구성요소의 기능적 특징을 고려한 부품의 의미적 정보가 포함 가능하도록 하였다. 또한 본 연구에서 제안한 분류체계를 실제 모델링에 활용하기 위한 기본 프레임워크를 제안하고 이를 활용한 교량 모델을 생성함으로써 제안한 분류체계가 실무에서 활용 가능함을 보였다.

핵심용어 : 교량 구성요소 분류체계, PLIB, 형상 정보모델링