

# 모듈 조합조건을 고려한 모듈러 강교량 상부구조의 정보모델 생성

서 경 완<sup>1</sup> · 박 준 원<sup>1</sup> · 권 태 호<sup>1</sup> · 이 상 호<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 토목환경공학과

## Generation of Information Model for Modular Steel Bridge Superstructure Considering Module Assembly Condition

Kyung-Wan Seo<sup>1</sup>, Junwon Park<sup>1</sup>, Tae Ho Kwon<sup>1</sup> and Sang-Ho Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Civil & Environmental Engineering, Yonsei Univ., Seoul, 120-749, Korea

### Abstract

This study proposes a method to create and combine a superstructure module by parametric modeling, in order to improve the production efficiency of information model for modular steel bridge superstructure that can be used in planning, design and construction phase. Compound classification was performed in order to derive elements to apply the parametric modeling, and according to assembly condition, the classified elements were grouped into 13 types. In addition, three assembly conditions were derived for production of stable superstructure through combination of superstructure module, which is a production unit for modular steel bridge factory. Parameter that reflects assembly condition in compound shape when producing superstructure module through parametric modeling was deducted. Superstructure module compounds were produced according to type and parameter using interface generation based on Building Information Model(BIM) software that was developed in this study. The superstructure module produced reflects information to combine into a superstructure. To verify this, information model based on Industry Foundation Classes(IFC) was built and confirmed the application in production of superstructure by identifying the reflected property information.

**Keywords** : module assembly condition, modular steel bridge superstructure, parametric modeling, information model generation

### 1. 서 론

모듈러 교량이란 제원이 정의된 표준 부재들을 사전에 공장에서 제작한 후, 수요가 발생하면 제작된 부재들을 현장에서 조립하여 빠르고 쉽게 목표한 성능의 교량을 건설할 수 있는 기술을 말한다(FHWA, 2005). 이를 통해 교량의 보수, 교체 및 시공 시 획기적으로 공기를 단축할 수 있으며, 노선 단절에 대한 사용자의 불편을 신속하게 해결할 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한 다양한 모듈 간의 조합을 통해 교량을 구성하기 때문에 현장 여건에 맞추어 구성이 가능하다.

국토해양부 모듈러 교량 연구단에서는 개발된 모듈러 교량의 전 생애주기 정보를 효율적으로 관리하기 위하여 Building Information Modeling(BIM) 기술의 적용 방안에 대한 연

구를 진행하였다. BIM은 구조물의 3차원 형상 모델에 모델의 구성 목적에 따라 형상과 함께 필요한 속성 정보를 가지고 있기 때문에 건설 프로젝트의 생애주기 동안 다양한 응용 분야에 적용되고 있다. 이를 통해 부재 간의 간섭체크, 가상 시뮬레이션, 2차원 도면 생성 등에 활용되어 설계 오류 감소, 공기 단축, 비용 감소 등의 경제적 효과를 보고 있으며, 이에 대한 효과가 건축 분야를 시작으로 건설 전반에 걸쳐 입증되고 있는 추세이다.

토목 분야에서의 BIM 적용 사례로서 Sacks(2004)는 프리캐스트 콘크리트 구조물에 3차원 모델을 활용하여 비용 감소, 공기 단축 및 오류 감소 등의 경제적 효과를 입증하였으며, Lee 등(2008)은 교량의 3차원 기반 표준정보모델을 활용하여 물량산출, 구조해석 등 다양한 응용분야에서의 적용

\* Corresponding author:

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

Received June 22 2015; Revised July 16 2015;

Accepted July 21 2015

©2015 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.

성을 검토하였다. 또한 Lee 등(2005)은 3차원 솔리드 모델을 기반으로 강교량에 대한 정보를 효율적으로 제공하는 방안을 제시하였으며, Kim 등(2011)은 토목 시설물을 대상으로 토목 공사의 종류별, 관리 분야별 3차원 기반의 BIM 활용방안을 제시하였고, Lee와 Kim(2011)은 교량, 터널, 도로를 대상으로 Industry Foundation Classes(IFC) 기반의 정보모델을 개발하여 이를 통한 도로 구조물의 원활한 정보공유 방법을 제시하였다. 이러한 연구들은 완성된 하나의 모델을 대상으로 그 활용성 및 적용성에 관한 연구가 주를 이루고 있다.

그러나 본 연구의 대상 구조물인 모듈러 강교량은 60m 이하의 길이의 중소교량을 표준화된 부재를 사전 제작하고, 사전 제작된 부재들을 현장 여건에 맞게 적용하기 위해 개발되었다. 표준화된 형상은 사용자의 요구나 현장 여건에 따라 변형이 필요한데, 이 때 상이한 모델을 생성해야 하는 번거로움으로 인하여 반복적인 모델 생성과정이 발생하게 된다. 따라서 시간과 인력의 소모를 줄이기 위해서는 모델 생성이 일회성에 그치지 않아야 하고, 추가 및 삭제 등의 설계 변경 시 모델의 재생을 통한 재사용 가능성의 향상이 필수적이다.

모델 사용성 향상을 위한 BIM의 핵심 기술요소 중 하나인 파라메트릭 모델링(parametric modeling)은 형상을 구성하는 변수들과 기하학적인 요소들 간의 관계를 정의하여 설계자가 원하는 형상으로 자동 변경시켜 줌으로써 3차원 모델의 효율적인 형상 생성과 수정을 가능하게 하는 기법이다. 파라메트릭 모델링 기법은 2차원 기반의 설계에 적용되었으나, 3차원 개념이 도입됨에 따라서 다양한 산업 분야에서 제품과 이를 구성하는 요소들의 설계에 널리 적용되고 있다.

토목 분야에서 파라메트릭 모델링 기법을 적용하기 위한 연구로서 교량의 T형 빔에 대한 파라메트릭 모델링 방법을 적용한 연구, FCM 교량을 대상으로 교량의 길이에 따라 박스 거더의 종방향 형상을 자동 조정하기 위한 연구, PSC 박스 거더의 반복적인 설계변경에 대한 신속한 설계의도를 반영하기 위한 연구, 콘크리트 기둥에 철근을 자동으로 배근하기 위한 연구, 콘크리트 박스교량 정보모델 구성 시 사용되는 철근의 형상을 정의하기 위한 연구 등 다양한 연구가 수행되었다(Weibing *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2010;2012; Cho *et al.*, 2010; Hong *et al.*, 2011).

또한 모듈러 교량에 파라메트릭 모델링을 적용한 연구(Lee and An, 2013)에서는 상부구조를 구성하는 세부 요소 생성을 범위로 하였는데, 요소 간의 조합조건이 고려되지 않아 교량으로 기능할 수 있는 전체 상부구조를 생성하기에는 한계를 갖고 있다. 본 연구에서는 이를 개선하기 위하여 단일 경간 상부구조의 길이별 정보모델 생성을 위하여 상부구조 구성 요소

간의 관계를 분석하고, 파라메트릭 모델링 기법을 사용하여 조합정보를 포함한 모듈러 강교량의 상부구조를 효과적으로 구성하기 위한 방법을 제시하였다.

## 2. 모듈러 강교량 상부구조 조합체계 정의

### 2.1 모듈러 강교량 상부구조 구성요소 분류

본 연구에서는 구성요소의 라이브러리와 사용자 맞춤 모델 생성 방법을 활용하여 기획단계, 설계단계 및 시공단계에서 사용가능한 모듈러 강교량 상부구조 정보모델을 구축하는 것을 목적으로 하였다. 모듈러 강교량은 설계 상세가 정해진 표준부재를 이용하기 때문에 단계별 정보 표현의 수준이 달라지는 일반 교량의 기획 및 설계단계와 달리 각 단계별 업무를 수행하는데 동일한 표준부재 라이브러리를 이용할 수 있으며, 업무 수행을 위해 표현해야 하는 부재들은 Table 1 과 같다. 부재들의 분류는 제작되는 장소에 따라 구분되는 모듈 및 요소들과 세부 요소들로 구성되어 있다.

대상 모듈러 강교량 상부구조의 구성은 폭이 도로 1차선 폭으로 사용되는 3m로 일정하고 길이가 다른 상부모듈들의 종·횡방향 조합으로 이루어져 있다. Fig. 1은 상부구조의 전체 형상을 상부구조를 구성하는 상부모듈과 상부모듈간 결합부로 나타낸 것으로 상부모듈, 상부모듈 간 종·횡방 연결부, 현장 타설 콘크리트(field casting concrete), 교면 포장(pavement), 가드레일(guard rail)까지를 포함하고 있다. Fig. 2는 상부구조를 구성하는 요소인 상부모듈을 나타낸 것으로 하위모듈인 슬래브(slab)모듈과 거더(girder)모듈의 상세 구성요소를 나타내었다. 슬래브모듈은 거더모듈과의 연결을 위한 전단 포켓부(shear pocket part)가 고려된 강재 플레이트, 플레이트 제작시 공장에서 타설되는 콘크리

Table 1 The breakdown of modular steel bridge superstructure

Component			Detailed components
Super structure	Factory	Girder-module	U-girder
			Shear stud
			Diaphragm
		Slab-module	Steel plate
			Module concrete slab
			Shear stud
	Joint	Shear pocket part	
		Bolt, Nut, Connecting plate	
	Facility	Guard rail, Drainage	
	Field	Superstructure concrete slab	
Pavement			

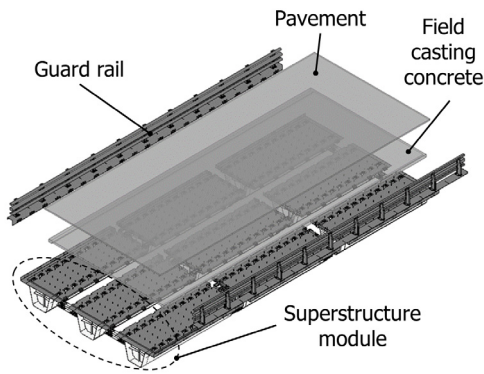


Fig. 1 Total shape of modular steel superstructure

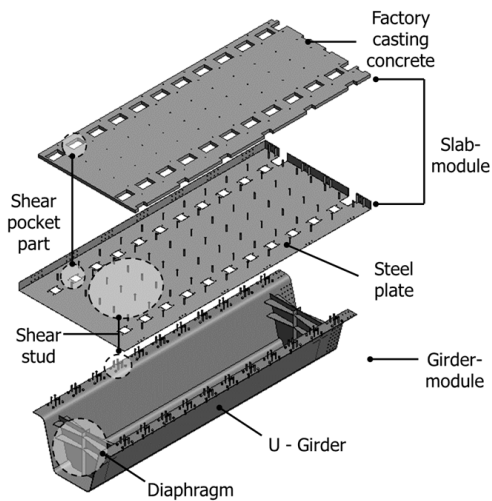


Fig. 2 Components of superstructure module

트, 플레이트와 콘크리트의 일체거동을 위한 스투드(stud)가 용접되어 있다. 거더모듈은 일정한 곡률 반경의 절곡부를 갖는 'U'자형 강재 주형에 슬래브모듈과의 연결을 고려한 스투드가 용접되어 있다. 상부모듈 간 연결 및 하위모듈 간 연결은 연결판을 이용한 볼트 결합 또는 볼트 결합으로 마찰접합되어 있다.

## 2.2 상부구조 생성을 위한 모듈 조합조건 정의

본 연구에서는 표준 형상의 부재를 효율적으로 조합 및 변형하여 60m 이하의 중소교량 상부구조를 생성하기 위해서, 확장에 사용되는 최소 개수의 상부모듈들로 조합된 상부구조의 형상을 통해 상부모듈의 종을 분류하고 조합조건을 정의하였다. Fig. 3은 단순지지, 단경간의 상부구조의 형상을 나타내었는데, 종·횡방향 중앙 모듈의 추가를 통해 다양한 폭과 길이로 확장이 가능한 최소 개수인 9개 상부모듈들을 슬래브모듈 간 결합과 거더모듈 간 결합으로 나타내었다.

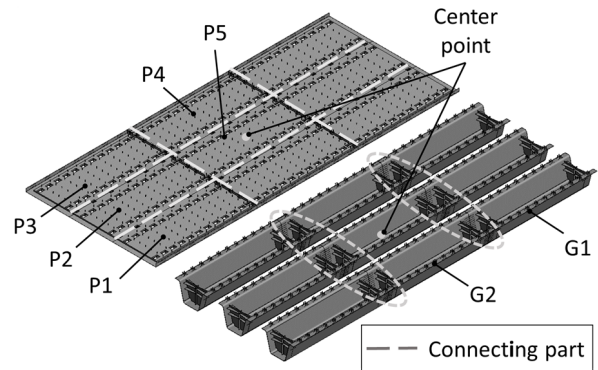


Fig. 3 Types of Connections among modules

상부모듈 구성요소인 슬래브모듈과 거더모듈의 종 분류는 모듈에 결합되는 면의 수에 따라 구분하였다. 슬래브모듈은 종·횡방향 2면 결합 4종, 3면 결합 4종, 4면 결합 1종으로 구성되지만, 각 종의 형상은 중앙점(center point)을 기준으로 180° 회전 대칭되기 때문에 2면 결합과 3면 결합을 각각 2종으로 묶어 총 5종으로 구분하였다. 거더모듈은 슬래브모듈과 달리 모듈 간 종방향 연결만 이루어지기 때문에 2종으로 구분하였다.

단일 상부모듈의 생성과 달리 상부구조를 조합하기 위해서는 추가적인 사항들을 고려해야 한다. 일반 교량은 교장 길이에 따라 요구되는 휨강성을 반영한 단면을 계획 및 설계하지만, 모듈러 강교량에서는 길이와 두께가 다른 주형을 이용하여 교장과 목표 성능에 맞는 상부구조 생성하였다. 개발된 거더모듈은 구조해석결과를 반영하여 교축 방향 길이에 따라 12mm, 18mm, 24mm 세 종의 두께를 적용하였다.

따라서 상부구조 생성을 위한 상부모듈 조합은 구조적 안전을 위해 거더모듈의 두께, 모듈 간 결합부의 경간 내 위치를 고려해주어야 한다. 우선 거더모듈 주형의 두께가 길이에 따라 12mm, 18mm, 24mm로 다르기 때문에 다른 길이의 거더모듈이 결합되는 경우 연속되는 거더 길이에 따라 두께차가 6mm 또는 12mm가 된다. 또한 길이가 다른 상부모듈이 결합되는 순서에 따라 경간내 연결부의 위치가 달라진다. 이처럼 조합되는 방법에 따라 접합부의 상세와 영향이 달라지는데, 다양한 조합방식 중에서 구조적 취약부인 상부모듈 간 결합부를 안정적으로 배치하기 위해서 세 가지 조합조건을 도출하였다. 첫 번째, 상부모듈 연결부가 단순지지 교량의 최대 모멘트 발생 지점인 중앙부에서 멀어지도록 한다. 두 번째, 하나의 경간을 만들기 위한 모듈 조합은 중앙부 대칭이 되는 것을 우선으로 한다. 마지막으로 구조안정성을 위하여 연속되는 거더의 두께차는 MLTM(2012)에서 제시한 6mm 이하가 되도록 한다. 교장에 따른 상부구조를 조합하는데 이 같은 조합조건을 활용하였다.

### 3. 조합조건을 고려한 모듈 파라메트릭 모델링

본 장에서는 조합조건을 반영한 상부모듈 생성을 위한 파라메트릭 모델링에 대해 서술하였다. 상부모듈의 모델은 Autodesk Revit 2015의 Application Programming Interface(API)를 활용하여 개발된 응용프로그램을 통해 생성되었다.

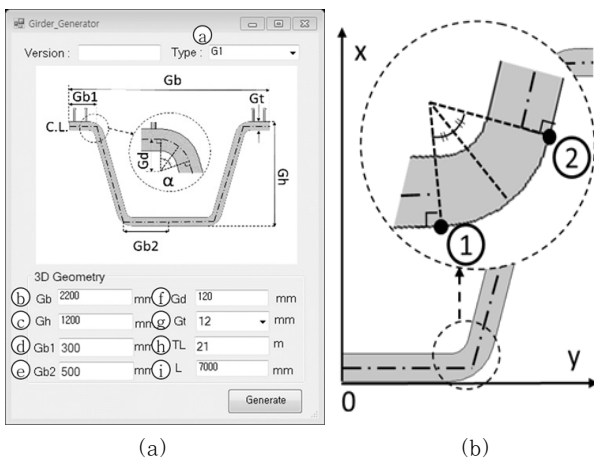
#### 3.1 거더모듈 파라메트릭 모델링

거더모듈의 형상은 거더 길이, 거더 단면 형상, 결합부 표현 방법에 대한 정보들을 통해 생성할 수 있는데, 이 정보들은 Fig. 4의 ㉑부터 ㉑에 나타내었다. Fig. 4(a)는 거더모듈 생성을 위한 프로그램 화면으로 사용자가 필요한 거더모듈에 대해 입력된 정보를 통해 상부모듈의 형상을 제어할 수 있도록 하였다. 거더 생성을 위해 사용된 정보들은 모듈 결합 종류인 ㉑를 통한 결합부 표현 정보, 거더 단면 생성을 위한 ㉒에서 ㉑까지의 단면 제원, 스타드 배치 간격 결정을 위한 교장 ㉒와 모듈길이 ㉑이다. 이 정보들은 Eq. (1)와 Eq. (2)에서 종속변수 도출을 위한 매개변수로 활용되었다.

$$\alpha = \frac{1}{2} \times \tan^{-1} \left( \frac{Gh - Gt}{Gb - Gb1 - Gb2} \right) \quad (1a)$$

$$(x_1, y_1) = (Gb2 - Gd \times \tan(\alpha), 0) \quad (1b)$$

$$(x_2, y_2) = (Gb2 - Gd \times \tan(\alpha) + 2(Gd + 0.5Gt)\sin(\alpha)\cos(\alpha), 2(Gd + 0.5Gt)\sin(\alpha)\sin(\alpha)) \quad (1c)$$



㉑: Type ㉒: Width ㉓: Height ㉔: Width1  
 ㉕: Width2 ㉖: Radius ㉗: Thickness  
 ㉘: Bridge length ㉙: Module length  
 ㉚, ㉛: Girder section point

Fig. 4 Generation interface of girder module

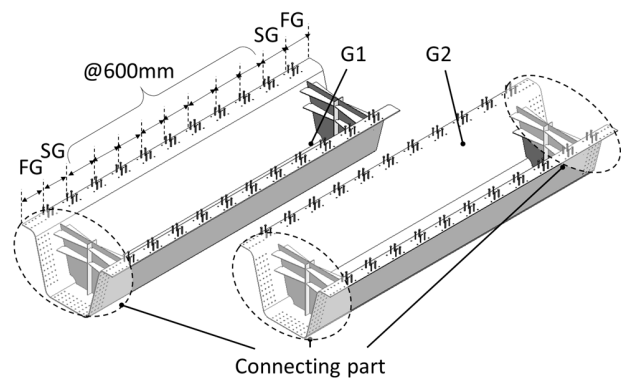
Eq. (1)은 거더단면 형상을 생성하기 위해 필요한 변수와 좌표에 대한 수식을 표현하였다. 여기서  $\alpha$ 는 거더 절곡부에 대한 회전각을 나타내는데, 회전각은 거더 단면의 두께( $Gt$ )와 높이( $Gh$ ), 폭( $Gb$ ),  $Gb1$ 과  $Gb2$ 에 대한 종속변수이다. 도출된 절곡부 회전각은 Eq. (1b)와 (1c)에서 각각 거더 단면의 절곡부와 직선부가 만나는 점 중 Fig. 4(b)의 ㉚, ㉛ 점 좌표를 결정하기 위한 종속변수로 활용되었다. 또한 거더 단면은 Fig. 4(b)와 같이 y축 대칭형으로 전체 거더 단면의 절곡부 곡선들은 ㉚, ㉛를 잇는 호와 닮은꼴이며, 따라서 거더 단면은  $Gb2$ ,  $Gd$ ,  $\alpha$ 에 의해 결정된다.

$$\begin{aligned} \text{case 1: if } ((L-2200) \bmod 600 = 0) \\ \text{FirstGap} = 520 \\ \text{SecondGap} = 580 \\ \text{PocketNum} = (L-2200)/600 - 1 \end{aligned} \quad (2a)$$

$$\begin{aligned} \text{case 2: else if } (L \bmod 600 = 0) \\ \text{FirstGap} = 600 \\ \text{SecondGap} = 600 \\ \text{PocketNum} = (L-2400)/600 - 1 \end{aligned} \quad (2b)$$

$$\begin{aligned} \text{case 3: else,} \\ \text{PocketNum} = (L - (L \bmod 600)) \text{ div } 600 - 4 \\ \text{FirstGap} = (L - 600(\text{PocketNum} + 3)) \text{ div } 2 \\ \text{SecondGap} = 600 \end{aligned} \quad (2c)$$

Fig. 2는 거더모듈에 전단 스타드를 배치하기 위한 조건식을 표현하였다. 전단 스타드의 배치는 최대 간격이 600mm 이하가 되어야 한다는 MLTM(2012)의 기준을 따르는데, 구조해석 결과 본 모듈러 강교량 모듈의 전단 스타드 간격은 600mm 이하가 될 필요가 없기 때문에 모듈 길이에 따라 전단 스타드의 배치 간격은 최대가 되도록 하였다. Eq. (2a), Eq. (2b), Eq. (2c)에 사용된 변수로는 거더 외측부에서



FG: FirstGap, SG: SecondGap

Fig. 5 Geometric component of girder module

스터드까지 첫 번째 간격인  $FirstGap$ 와 두 번째 간격인  $SecondGap$ , 나머지 부분에 생성되어야 하는 전단 스테드 배치 개수인  $PocketNum$ 가 있으며, 이를 통해 거더모듈의 길이에 따른 전단 스테드 배치 조건을 도출하고 모델 생성시 형상 생성에 반영하였다(Fig. 5). 이와 같이 표준형 외 추가적인 거더모듈을 개발된 인터페이스 내의 변수 입력을 통해 생성할 수 있다. 또한 생성된 거더모듈 연결부는 구조해석 결과를 반영하여 교장 30m를 기준으로 이하인 경우보다 이상인 경우가 연결부 폭이 더 넓어야 하는 조건을 반영하였다.

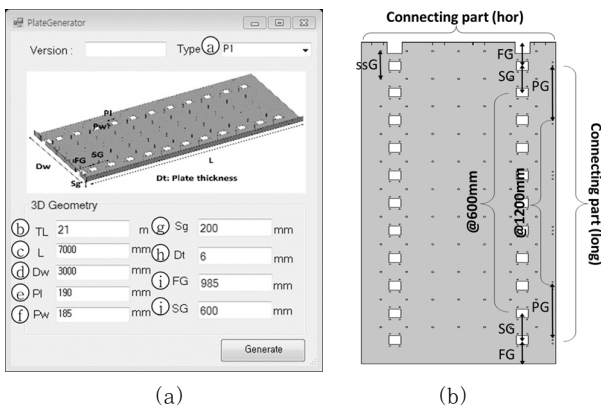
### 3.2 슬래브모듈 파라메트릭 모델링

슬래브모듈은 하부철판과 공장타설 콘크리트로 구성되며, 거더모듈 생성과 같이 단면의 제원과 결합부 표현 방법에 대한 정보를 통해 생성할 수 있다. Fig. 6은 하부철판 생성 인터페이스와 결합조건에 따른 변수를 나타내고 있다. Fig. 6(a)은 하부철판모듈 생성을 위한 프로그램 화면으로 ㉠부터 ㉡까지의 10개 변수가 해당 정보들이다. 하부철판 요소를 생성하기 위해서는 결합 종류인 ㉠를 통한 결합부 표현 정보와 전단 연결부가 고려되지 않은 형상을 표현하기 위한 ㉡에서 ㉢까지의 플레이트 면 제원, 스테드, 전단포켓, 하부철판 횡방향 연결부 배치 간격 결정을 위한 교장 ㉣와 요소 길이 ㉤가 필요하다. 이 변수들은 단면 생성과 하부철판 연결부 배치 간격 결정에 각각 사용되었다. 하부철판의 전단포켓은 거더모듈의 스테드와 하위모듈 간 조합시 결합되는 부분으로 배치 간격이 거더모듈의 스테드와 동일하다. 하지만 슬래브모듈은 Fig. 6(b)의 Connection part(long) 부분인 하부철판 횡방향 연결부를 고려해주어야 하며, 이때 첫 번째 간격  $PG$ 와 배치 개수  $CPNum$ 는 전단포켓 간격에 대한 변수

들( $FirstGap$ ,  $SecondGap$ ,  $PocketNum$ )에 종속되는 변수이다.

Eq. 3은 슬래브 모듈 하부철판의 전단 포켓부와 횡방향 연결부 배치 간격 결정을 위한 식을 나타내었다.

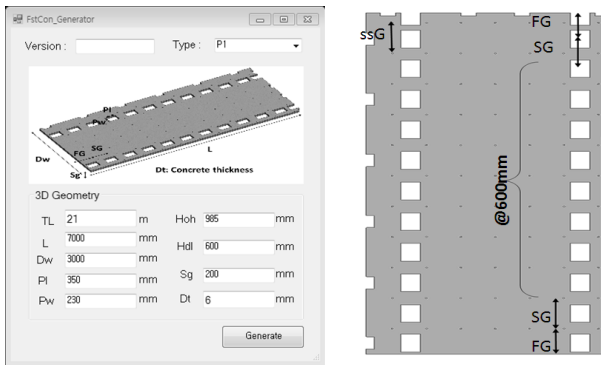
$$\begin{aligned}
 & \text{case 1: if } ((L-2200) \bmod 600 = 0) \\
 & \quad FirstGap = 520 \\
 & \quad SecondGap = 580 \\
 & \quad PocketNum = (L-2200)/600-1 \\
 & \quad \text{if } ((L-1040) \bmod 1200 = 0) \\
 & \quad \quad PG = 1200 \\
 & \quad \quad CPNum = (L-2200) \div 1200 - 1 \quad (3a) \\
 & \quad \text{else,} \\
 & \quad \quad PG = ((L-1040) \bmod 1200) \div 2 + 600 \\
 & \quad \quad CPNum = (L-1040 - 2 \times PG) \div 1200 - 1 \quad (3b) \\
 & \text{case 2: else if } (L \bmod 600 = 0) \\
 & \quad FirstGap = 600 \\
 & \quad SecondGap = 600 \\
 & \quad PocketNum = (L-2400)/600-1 \\
 & \quad \text{if } (L \bmod 1200 = 0) \\
 & \quad \quad PG = 1200 \\
 & \quad \quad CPNum = (L-3600) \div 1200 - 1 \quad (3c) \\
 & \quad \text{else,} \\
 & \quad \quad PG = ((L-1200) \bmod 1200) \div 2 + 600 \\
 & \quad \quad CPNum = (L-1200 - 2 \times PG) \div 1200 - 1 \quad (3d) \\
 & \text{case 3: else,} \\
 & \quad PocketNum = (L - (L \bmod 600)) \div 600 - 4 \\
 & \quad FirstGap = (L - 600(PocketNum + 3)) \div 2 \\
 & \quad SecondGap = 600 \\
 & \quad \text{if } ((L - 2 \times FG) \bmod 1200 = 0) \\
 & \quad \quad PG = 1200 \\
 & \quad \quad CPNum = (L - 2 \times FG - 2400) \div 1200 - 1 \quad (3e) \\
 & \quad \text{else,} \\
 & \quad \quad PG = ((L - 2 \times FG) \bmod 1200) \div 2 + 600 \\
 & \quad \quad CPNum = ((L - 2 \times (PG + FG)) \div 1200 - 1 \quad (3f)
 \end{aligned}$$



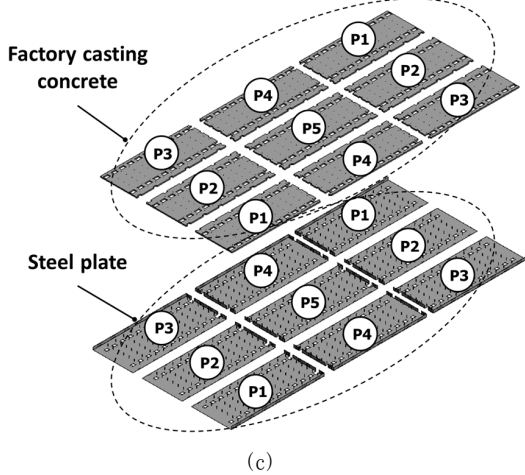
㉠: Type ㉡: Bridge length ㉢: Module length ㉣: Width  
 ㉤: Pocket length ㉥: Pocket width ㉦: Plate height  
 ㉧: Plate thickness ㉨: FirstGap ㉩: SecondGap

Fig. 6 Generation interface of plate module

하부철판 횡방향 연결부의 첫 번째의 간격의 길이는 구조 해석 결과인 이음부의 횡방향 단면력을 전부 부담할 수 있는 길이인 1,200mm를 적용하였다. Eq. (3a)부터 Eq. (3f)에 사용된 변수로는 Eq. (2)의 변수들과 하부철판 횡방향 연결부의 외측부 첫 번째 간격인  $PG$ , 나머지 부분에 생성되어야 하는 횡방향 연결부의 개수인  $CPNum$ 이 있으며, 이를 통해 슬래브모듈의 길이에 따른 횡방향 연결부 배치 간격을 도출



(a) (b)



(c)

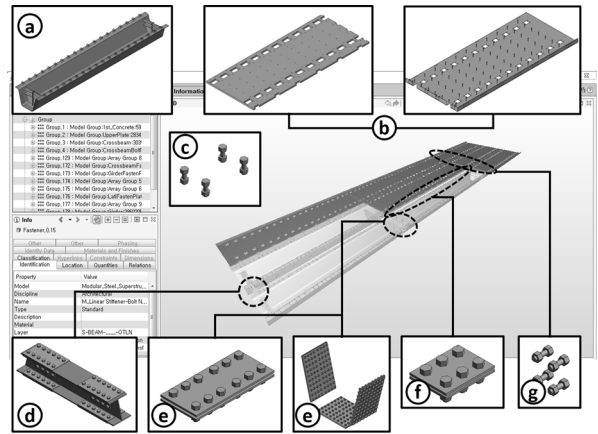
Fig. 7 Generation interface of concrete module and parts of slab module

하고 형상 모델 생성시 반영할 수 있도록 하였다. 하부철판의 종방향 연결부는 거더모듈과 마찬가지로 교장길이 30m를 기준으로 연결수가 늘어야 하는 조건을 반영하였다.

공장 타설 콘크리트의 형상은 결합의 대상이 되는 하부철판부의 생성 변수를 활용하여 Fig. 7(a)에 나타난 생성 인터페이스를 활용하여 철판의 평면 형상에 공장 계획 타설 깊이가 반영된 콘크리트 형상을 생성할 수 있도록 하였으며, Fig. 6(a)와 Fig. 7(a)의 인터페이스들을 통해 생성된 하부철판과 공장타설 콘크리트의 형상은 Fig. 7(c)와 같다.

4. 모듈러 강교량 상부구조 정보모델 생성

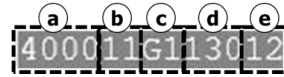
상부모듈 조합을 통해 상부구조의 정보모델의 생성을 위한 정보는 두가지 단계로 도출되는데, 우선 기획 및 계획 단계에서 현장 상황에 따른 요구사항을 도출한다. 다음으로 선정된 교장길이와 교폭에 따라 전술한 세가지 조합조건을 만족하는 상부구조 경간내 구성 모듈의 길이와 교축 방향 결합 순서를 결정한다. 본 연구에서는 교장 40m, 교폭 9m 조건을 만족하는 상부구조의 정보모델 생성을 수행하였다.



(a): Girder module (b): Slab module  
 (c): Connection part between (a) and (b)  
 (d): Lateral connection part between (a) and (a')  
 (e): Longitudinal connection part between (a) and (a')  
 (f): Lateral connection part between (b) and (b')  
 (g): Longitudinal connection part between (b) and (b')

Fig. 8 Information model of modular steel bridge superstructure

```
#163892= IFCPROPERTYSET('Family', $, IFCLABEL('Girder 7m 18 120 ltype: Girder
#163893= IFCPROPERTYSET('Family and name', $, IFCTEXT('Girder 7m 18 120 ltype: Girder
#163894= IFCPROPERTYSET('Type', $, IFCTEXT('Girder 7m 18 120 ltype: Girder 7m
#163895= IFCPROPERTYSET('Type Id', $, IFCTEXT('Girder 7m 18 120 ltype: Girder
#163896= IFCPROPERTYSET('AssemblyCondition', $, IFCTEXT('400011G113012'), $);
#163897= IFCPROPERTYSET('OmniClass Number', $, IFCTEXT(''), $);
#163898= IFCPROPERTYSET('SINGLEVALUE', $, IFCTEXT(''), $);
#163899= IFCPROPERTYSET('Type Name', $, IFCTEXT('Girder 7m 18 120 ltype'), $);
#163900= IFCPROPERTYSET('Family Name', $, IFCTEXT('Girder 7m 18 120 ltype'), $);
'AssemblyCondition', $, IFCTEXT('400011G113012'), $);
```



(a): Bridge length (b): Module position  
 (c): Module type (d): Radius (e): Thickness

Fig. 9 Generated IFC physical file

조합조건에 따른 길이 40m의 상부구조는 교축방향으로 12m, 16m, 12m의 상부모듈들로 결합될 수 있다. 상부구조의 생성을 위해 필요한 하위 모듈들은 G1 타입의 12m 거더모듈 6개, G2 타입 16m 거더모듈 3개, P1, P2, P3 타입의 12m 슬래브모듈 각각 2개, P4 타입의 12m 슬래브모듈 2개, P5 타입의 16m 슬래브모듈이 1개로 총 12개의 하위 모듈들로 구성된다.

Fig. 8은 생성된 40m 경간의 모듈러 강교량 상부구조로 상부모듈의 형상과 상부모듈 간의 결합부 표현과 조합조건 표현을 위한 형상을 나타내었다. 상부구조의 형상은 거더모듈(Fig. 8 (a))과 슬래브모듈(Fig. 8 (b))외에도 상부모듈 간 결합부분 표현을 위하여 하위모듈 간 결합을 위한 볼트연결부(Fig. 8 (c)), 거더모듈의 횡방향 가로보 간 마찰이음부(Fig. 8 (d)), 거더모듈 간 종방향 마찰이음부(Fig. 8 (e)), 바닥판모듈 횡방향과 종방향의 마찰이음부(Fig. 8(f), (g))를 조합상세에 따라 변하는 각 결합부 부품인 볼트, 너트, 연결

판과 채움판 라이브러리의 조합으로 표현하였다.

Fig. 9는 생성된 모델을 export한 IFC 파일의 일부를 나타낸 것으로, 상부모듈 조합을 위한 정보들이 반영되어 있음을 확인할 수 있다. IFC 파일 내 'Assembly Condition' 정보는 상부구조 정보모델 중 거더모듈 조합조건을 뜻하는데, 이 부분은 4,000mm의 교장(Fig. 9 ㉓) 중, 교량의 시점부 좌상단 모듈임을 뜻하는 1행 1열(Fig. 9 ㉔)에 위치한 G1 타입(Fig. 9 ㉕)의 거더 모듈로서 단면이 절곡부 곡률 반경(Fig. 9 ㉖)과 거더 두께(Fig. 9 ㉗)로 표현되어 있다는 내용 뜻한다. 거더모듈에 반영된 이와 같은 정보들을 통해 대상이 되는 상부구조의 교장에 따라 상부모듈을 배치할 결정하고, 이때 타입 정보를 통해 상부모듈의 모듈의 결합 방향을 결정할 수 있으며, 곡률 반경과 거더 두께 정보를 통해 결합부의 연결이 앞서 도출한 세 번째 조합조건을 만족 여부를 확인할 수 있다. 슬래브모듈에도 동일한 유형의 정보를 표현하였으며, 상부모듈들에 반영된 정보들을 통해 모듈러 강교량 상부구조의 정보모델 생성에 사용될 수 있음을 확인하였다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 국내 60m 이하의 중소 교량의 급속 시공 및 교체를 목적으로 개발된 모듈러 강교량의 상부구조 정보모델을 구성하기 위하여 변수와 요소 간의 관계를 통해 형상을 자동으로 생성할 수 있는 파라메트릭 모델링 기법을 활용하여 효율적으로 상부모듈을 생성하기 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해 모듈러 강교량의 상부구조 구성요소를 분류하고 구성요소 간의 조합조건을 정의하였으며, 파라메트릭 모델링 적용을 위한 변수를 도출하였다. 이를 통해 상부모듈을 생성하였고 이를 통해 상부구조 정보모델을 생성하였다. 생성된 정보모델의 IFC 파일을 통해 상부모듈 조합을 위한 정보를 사용할 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서 제시한 방법을 통해 모듈러 강교량의 상부구조 조립설계 시 사용자의 요구사항을 반영하여 정보모델을 즉시 생성할 수 있으며, 생성된 각각의 세부 모델에 포함된 조합정보를 통해 교량 정보모델의 구성이 가능하다. 이를 통해 단순 반복의 조립설계 작업의 시간 및 인력을 획기적으로 줄일 수 있으며, 모듈러 교량 이외의 구조물에 적용하면 설계 업무를 효과적으로 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연

구사업의 연구비지원(10기술혁신B01-직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준모듈 활용 조립식교량 기술 개발 연구단)에 의해 수행되었습니다.

## References

- An, H.J., Lee, S.-H. (2013) Parametric Modeling Method for 3D Assembly Design of Parts Composing Superstructure Module on Modular Steel Bridge, *J. Korean Soc. Civil Eng.*, 33(1), pp.35~46.
- Cho, S.-H., Park, J.-G., Lee, H.-M., Shin, H.-M. (2010) Implementation of 3D Object Model Considering Recycle Design of PSC Box Girder, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 23(3), pp.325~330.
- FHWA (2005) Prefabricated Steel Bridge Systems, DTFH61-03-R-00113, Federal Highway Administration, Washington, p.190.
- Hong, S.-U., Cho, Y.-S., Lee, J.-H., Hong, S.-C. (2011) The Study on Development of Automatic Reinforcement Placing System of Columns for RC Structures based on Parametric Technology, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 27(1), pp.11~18.
- Kim, S.-H., Lee, S.-H., Nam, S.-H., Sun, O.-Y (2011) A Study on the Construction Management Method based on BIM for Civil Engineering Project, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 24(4), pp.463~470.
- Lee, K.M., Lee, Y.B., Shim, C.S., Park, K.L. (2012) Bridge Information Models for Construction of a Concrete Box-Girder Bridge, *Struct. & Infrastruct. Eng.: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*, 8(7), pp.687~703.
- Lee, S.-H., An, H.J., Kim, B.-G., Eom, I.-S. (2010) A Parametric Modeling Method for Automatic Fitting of Longitudinal Geometry of Box Girder in FCM Bridge, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 23(4), pp.33~42.
- Lee, S.-H., Jeong, Y.-S., Kim, B.-G. (2005) Sharing of Steel Bridge Information using CAD System with ACIS Solid Modeler, *J. Korean Soc. Civil Eng.*, 25(4A), pp.677~687.
- Lee, S.-H., Kim, B.-G., Kim, H.-J. (2008) A New Strategy for IT-based National Asset Management of Civil Infrastructure in Korea, *The 3rd International Workshop on Lifetime Engineering of Civil Infrastructure(IWLCE'08)*, Japan, pp.41~55.
- Lee, S.-H., Kim, B.-G. (2011) IFC Extension for

- Road Structures and Digital Modeling, *Procedia Eng.*, 14, pp.1037~1042.
- MLTM** (2012) Korea Highway Bridge Specifications, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.
- Sacks, R.** (2004) Evaluation of Economic Impact of Three-Dimensional Modeling in Precast Concrete Engineering, *J. Comput. Civil Eng.*, 18(4), pp.301~312.
- Weibing, P., Liangliang, S., Guoshuai, P.** (2008) Solving Topological and Geometrical Constraints in Bridge Feature Model, *Tsinghua Sci. & Tech.*, 13(s1), pp.228~233.

---

## 요 지

본 연구는 기획단계, 설계단계 및 시공단계에서 사용가능한, 모듈러 강교량 상부구조 정보모델 생성의 효율성을 향상하기 위하여, 파라메트릭 모델링(parametric modeling)을 통해 상부모듈을 생성하고 이들을 조합할 수 있는 방안을 제시하였다. 파라메트릭 모델링을 적용하기 위한 요소 도출을 위하여 상부구조 구성요소 분류를 수행하였고, 분류된 요소를 결합 조건에 따라 13개의 종으로 구분하였다. 또한 모듈러 강교량 공장 제작 단위인 상부모듈의 조합을 통해 안정적인 상부구조 생성을 위한 세 가지 조합조건을 도출하였다. 파라메트릭 모델링을 통한 상부모듈 생성 시 구성요소 형상에 조합조건을 반영하는 변수를 도출하였다. 이를 본 연구에서 개발한 Building Information Model(BIM) 소프트웨어기반의 생성 인터페이스를 활용하여 타입과 변수에 따른 상부모듈 구성요소들을 생성하였다. 이때 생성된 상부모듈에는 상부구조로 조합하기 위한 정보를 반영하였으며, 이를 검증하기 위하여 Industry Foundation Classes(IFC) 기반의 정보모델을 생성하고, 반영한 속성정보를 확인함으로써 상부구조 생성에 활용할 수 있음을 확인하였다.

**핵심용어** : 모듈 조합조건, 모듈러 강교량 상부구조, 파라메트릭 모델링, 정보모델 생성