

모듈러 교각의 BIM 기반 정보 모델 인터페이스 모듈 개발

Development of BIM Based Information Model Interface Module for a Modular Pier

김동욱¹⁾, 이광명²⁾, 남상혁³⁾
Kim, Dong-Wook¹⁾ · Lee, Kwang-Myong²⁾ · Nam, Sang-Hyeok³⁾

Received March 2, 2015 / Accepted March 3, 2015

ABSTRACT: Modular technology has become a major issue of the construction industries to enhance their productivity. Modular bridge construction generally requires the data exchange between the contractors, designers, fabricators and constructors. Therefore, a readily accessible information model interface module based on BIM technology is essential for their communication during a project life-cycle. In this study, BIM based information model interface module for a modular pier was developed. For the information models, the PBS(Product Breakdown Structure) and LOD(Level of Development) were defined. Next, all components of a modular pier were conducted by the parametric modeling technique, and then 3D cell library interface was developed. An nterface module was also developed using VBA(Visua basic Application) for exchanging a data from 3D model library to other softwares such as Microstation, AutoCad and Excel and was connected with MS Access database. The developed information model interface module would improve the design quality of the modular pier and reduce the time and cost for design. Updated 3D information models could be utilized for the fabrication, assembly, and construction process for modular piers.

KEYWORDS: BIM, Modular Pier, Parametric Modeling, Model Library, Interface Module. Database

키워드: BIM, 모듈러 교각, 파라메트릭 모델링, 모델 라이브러리, 인터페이스 모듈, 데이터베이스

1. 서론

최근 건설 산업의 생산성 향상과 공기 단축을 위하여 부재를 표준화하여 제작함으로써 급속 시공 및 교체를 가능하게 하는 모듈러 기술이 개발되어 현장에서 활용되고 있다. 이러한 표준화된 모듈을 오류 없이 현장에 설치하기 위해서는 설계자, 제작자, 시공자의 간의 정확한 정보를 교환하는 것이 매우 중요하다(Kim *et al.*, 2012). 모듈러 기술과 더불어 최근 국내외 건설 프로젝트에서 BIM(Building Information Modeling)기술이 많이 적용되고 있으며, 3차원 정보 모델을 통하여 참여자간에 원활한 의사소통이 가능하게 되었다(Sacks *et al.*, 2011). 또한 건설프로세스별로 필요한 정보들을 자동으로 추출, 저장, 관리할 수 있는 인터페이스 모듈에 관한 기술이 많이 발전하고 있으며 이를 통

하여 정보를 가공하여 다양한 프로젝트에 재사용할 수 있게 되었다(Eastman *et al.*, 2011). 그러나 최근 개발되고 있는 BIM기술을 활용한 정보 모델은 업무별로 사용되는 범위가 달라 부분적으로만 사용되고 있으며, 또한 다른 프로그램과 정확한 정보 교환이 이루어 지지 않아서 효율적으로 활용하는데 한계를 가지고 있는 실정이다(Alwis *et al.*, 2012).

이러한 한계를 극복하기 위하여 BIM 기술을 활용한 다양한 연구들이 국내외에서 진행되고 있다. Hong(2014)은 RC구조물의 기초부재를 대상으로 Open API를 이용하여 형상정보와 구조 정보를 생성하고 이를 상세 배근도 및 물량 산출에 활용하였다. Kim *et al.*(2013)은 브레이스 접합부의 구조설계 인터페이스 모듈 개발을 통하여 자동적으로 BIM 모델을 생성하고 타 프로그램과 호환이 가능하도록 하였다.

¹⁾학생회원, 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과 석사과정 (id88wooga@skku.edu) (교신저자)

²⁾정회원, 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과 교수, 공학박사 (leekm79@skku.edu)

³⁾정회원, (주)두컴스엔지니어링코리아 대표이사, 공학박사 (ducoms@yonsei.ac.kr)

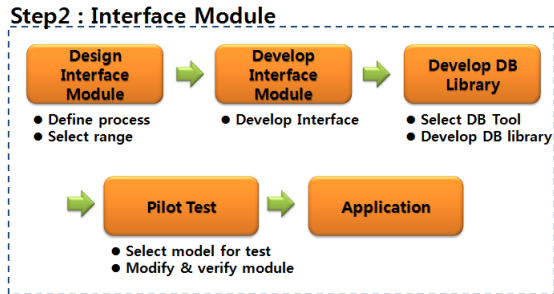
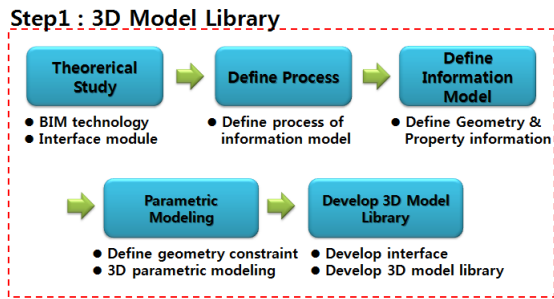


Figure 1 Process of 3D Model Interface Module

본 연구에서는 설계 단계에서 3D 모델 간의 정보 교환을 원활하게 수행하고 3D 모델 라이브러리를 활용하여 모델 정보를 지속적으로 관리할 수 있는 인터페이스 모듈 개발을 목표로 하였다. Figure 1과 같이 3D 모델 라이브러리 구축을 위하여 프로세스를 세분화하였으며 형상, 속성, 조합정보를 정의하고 파라메트릭 모델을 생성하였다. 생성된 파라메트릭 모델을 통하여 Part 모델의 라이브러리를 구축하였다. 인터페이스 모듈 개발을 위하여 데이터 변환 범위를 선정하고 모듈을 설계하였으며 Microstation의 VBA(Visual Basic Application)를 활용하여 사용자가 쉽게 모듈을 이용할 수 있도록 UI(User Interface)를 개발하였다. 인터페이스 모듈은 4단계에 거쳐 전체 조합 모듈을 생성하고 데이터 교환이 가능하도록 하였으며 DB 라이브러리 구축을 통하여 정보를 생성, 저장 할 수 있게 하였다. 최종적으로 Pilot Test를 통해 전체 시스템을 검증하고 보완하였다. 이를 통해 모듈러 교각의 표준화와 품질을 향상시키고, 효율적인 의사소통을 통해 설계 업무 프로세스의 효율성을 높이고자 하였다.

2. 모듈러 교량 시스템

2.1 모듈러 교량 기술

모듈러(Modular) 기술은 표준 부품의 조합에 의해서 하나의 완성품을 생산하고 다양하게 결합할 수 있는 부품을 설계, 제조하여 최소 종류의 부품으로 최대 종류의 제품을 생산하는 방식이다. 모듈러 교량은 소프트웨어, 기계/자동차 및 플랜트와 같은 공학의 여러 분야에서 사용되어 오던 모듈러 기술을 건설 분야에 적용한 신형식 교량으로, 표준화된 모듈을 이용한 건설 기술

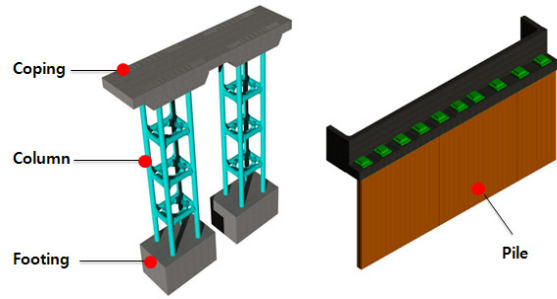


Figure 2 Substructure of Modular Bridge

이다(Jo *et al.*, 2012). 모듈러 교량 기술은 Lego와 같이 사전에 제작된 표준 부재들을 조합하여 전체 시스템을 구성하며 모듈의 교체로 시스템에 부가기능을 부여하거나 성능 업그레이드가 가능하다. 이러한 모듈러 교량은 다양한 현장 조건을 반영할 수 있으며, 구조적 안정성, 기능성, 요구 수명 등을 확보할 수 있다. 또한 선제작, 후설계 프로세스를 통해 미리 필요한 부품을 제작하고 조합 설계를 수행함으로써 비용과 시간의 경제성까지 확보할 수 있다.

2.2 모듈러 교량의 하부구조

모듈러 교량의 하부구조는 교대, 교각, 기초로 이루어지며 교량 설계 시 교각은 위치에 따른 설계 조건의 변동성에 의하여 교각 높이, 기초 크기 등이 달라지며 이러한 반복적인 작업을 효율적으로 수행하기 위하여 BIM기술 적용이 요구된다. 교각의 폭은 4차선을 기준으로 상부 구조에 대한 제한 범위를 설정하였으며, 적용 지간은 20~60m를 기준으로 하고 교각 높이는 30m 이내로 제한하였다. 모듈러 교각은 Figure 2와 같이 코핑(Coping), 기둥(Column), 기초(Footing)로 이루어져 있으며, 이들을 조합하여 시공된다. 모듈러 교각의 주요 부재는 콘크리트 블럭과 기둥 부재이다. 기둥 부재는 원형 CFT(Concrete Filled Tube) 단면으로 압축에 강하고 휨 저항 성능도 뛰어난 특징이 있다(Ma *et al.*, 2012).

3. 3차원 정보 모델 구축

3.1 정보 모델 구축 프로세스 정의

BIM기반 정보 모델을 구축하기 위해서는 사전에 단계별 명확한 프로세스 정의가 필요하다(Lee *et al.*, 2012). 따라서 본 연구에서는 모듈러 교각에 대한 정보 모델 구축 절차를 단계별로 체계적으로 분석하여 문제점을 해결함으로써 향상된 정보모델 구축 프로세스를 제시하였다. 프로세스 구축을 위하여 IDEF(Integration Definition)의 IDEF ϕ 기능 모델링 방법(Function Modeling Method)을 활용하였다. 기능 모델링을 이용하여 하부

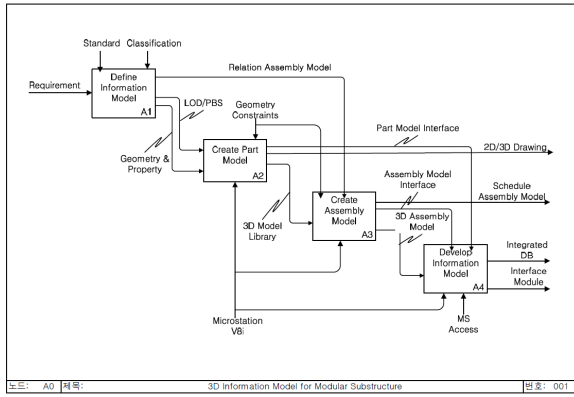


Figure 3 Information Model Process Diagram

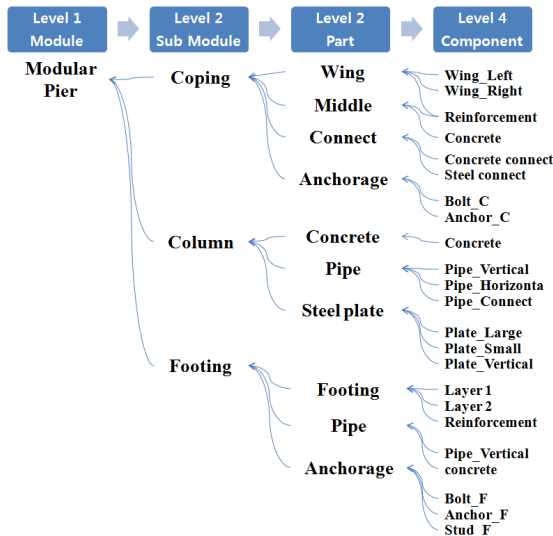


Figure 4 PBS for Modular Pier

구조 정보 모델 프로세스를 Figure 3과 같이 정의하였다. 최상위 레벨을 하부구조 정보 모델 구축(A0)으로 정의하였고 이를 정보 모델 정의(A1), Part 모델 생성(A2), Assembly 모델 생성(A3), 통합 정보 모델 구축(A4)으로 분해하였다. 각각의 Activity 들은 하위 단계로 세분화하였으며 총 3단계의 계층구조로 나누었다. 이러한 프로세스 분석을 통하여 정보의 누락과 조직적, 절차적 오류를 찾아 수정하였으며, 정보 모델 구축 전체 흐름을 쉽게 확인할 수 있었다. 또한 하나의 기능을 수행하기 위하여 요구되는 소프트웨어, 정보, 기준 등을 명확하게 제시하였다.

3.2 모듈러 교각의 분류 체계

3D BIM 모델을 구축하기 위해서는 구조물의 형상을 체계적으로 분류하고 공통된 용어의 정의가 사전에 규정되어야 한다 (Jo *et al.*, 2012). 따라서 PBS(Product Breakdown Structure) 정의를 통하여 구조물을 구성하는 부품들을 Tree 구조 형식으로 세분화하고 부품간의 모자관계(Parent-Child Relationship)

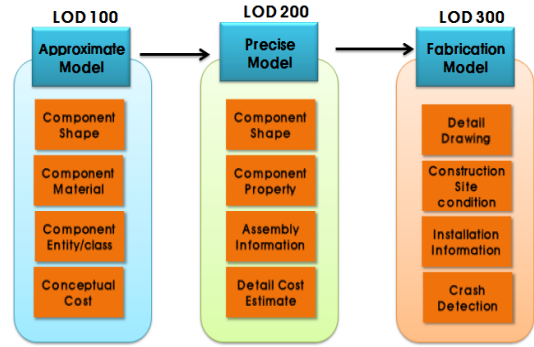


Figure 5 LOD for Modular Pier

를 정의하였다. 또한 3D 모델의 활용 정도에 따라 포함된 정보의 수준을 명확하게 하기 위하여 정보의 상세 수준을 나타내는 LOD(Level of Development)를 고려하여 모델링하였다.

모듈러 교각의 분류는 Figure 4에서 정의한 바와 같이 Module, Sub Module, Part, Component level로 세분화 하였으며 각각의 표준 모듈 분류체계는 구조성능, 조합관계 등을 고려하여 정의하였다. 또한 LOD는 AIA Document E202-2012 기준을 바탕으로 Figure 5와 같이 LOD 300 수준까지 활용되도록 정의하였으며, 모듈러 교각의 정보 모델을 형상, 속성, 조합, 개략적인 비용을 포함하는 수준으로 구축하였다.

3.3 모듈러 교각 정보 정의

3.2절에서 정의한 PBS와 LOD를 바탕으로 부재별 형상 정보를 정의하였다. 형상 변수는 크게 독립변수와 종속변수로 구분하였으며, 독립변수는 입력된 값을 독립적으로 받아들여 형상을 구축하고 종속변수는 다른 변수와 연관되어 일정한 관계식에 구축된다. 변수 이름은 건설분류체계 적용기준을 참고하였으며 Figure 6과 같이 명명 순서를 정의하였다. 명명 순서는 PBS를 기준으로 'Module_Sub-Module_Part&Component_Variable(Type)' 순서로 변수 이름을 결정하였다. 모든 부재들의 변수를 정의하였으며, 변수를 최소화하기 위하여 상관관계를 도출하였다.

속성 정보는 level, 재료, 강도, 물량 등으로 정의하였다. PBS를 바탕으로 level을 결정하였으며 철근을 추가하였다. 재료는 크게 콘크리트, 강재, 철근으로 나누고 각각의 특성을 고려하여

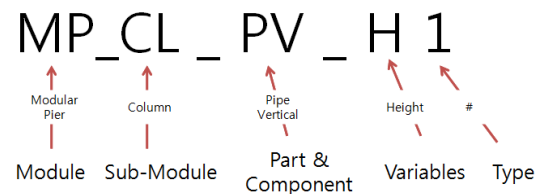
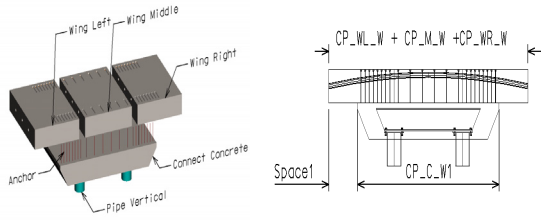
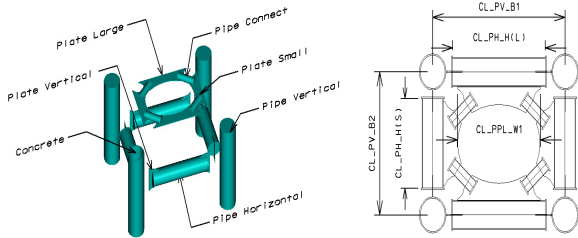


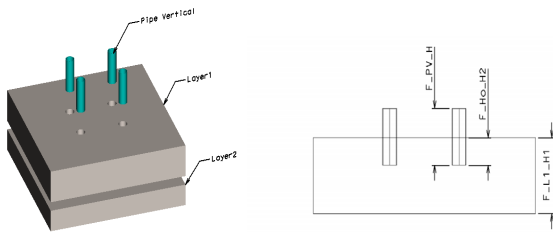
Figure 6 Naming of Geometry Information



(a) Coping Module



(b) Column Module



(c) Footing Module

Figure 7 Defining Assembly of Sub-Module Level

분류하였다. 또한 앞서 정의한 형상 변수를 통하여 물량 산출식을 결정하였다. 이러한 변수 정의와 계산식을 통하여 설계된 재원에 따라 수량을 산출하고 별도의 절차 없이 간단하게 물량을 확인할 수 있게 하였다.

하부구조의 조합 모델을 구축하기 위하여 우선 Sub-module 별 조합관계를 정의하였다. Figure 7(a)는 Coping 모듈의 조합관계를 나타낸 것으로 Wing left, Wing Right, Middle, Connect, Pipe Vertical, Anchor 요소의 조합을 나타내고 있다. 다음으로 Figure 7(b)와 Figure 7(c)는 각각 Column과 Coping의 조합관계를 나타내고 있다.

Sub-Module 단위로 조합관계를 정의한 후에 최종 Module 단위의 조합관계를 정의하였다. Figure 8처럼 교각의 높이 (Pier_Height)가 정해지면 이에 맞게 Column 모듈의 개수(N)는 독립변수인 Coping의 WingLeft 높이(CP_WL_H)와 Connect의 높이(CP_C_H), Column의 Pipe Vertical(CP_PV_H)에 의해 결정된다. 종속변수인 Footing의 Pipe Vertical 길이(F_PV_H)는 독립변수 Pier_Height, 와 Figure 7(b),(c)의 CL_PV_H, F_Ho_H 길이에 의해 결정된다.

$$N = \text{Int} \left[\frac{\text{Pier_Height} - (\text{CP_WL_H} + \text{CP_C_H} + 1000)}{\text{CL_PV_H}} \right]$$

$$F_PV_H = \text{Pier_Height} - (\text{CL_PV_H} \times N + \text{CP_PV_H}) + F_Ho_H$$

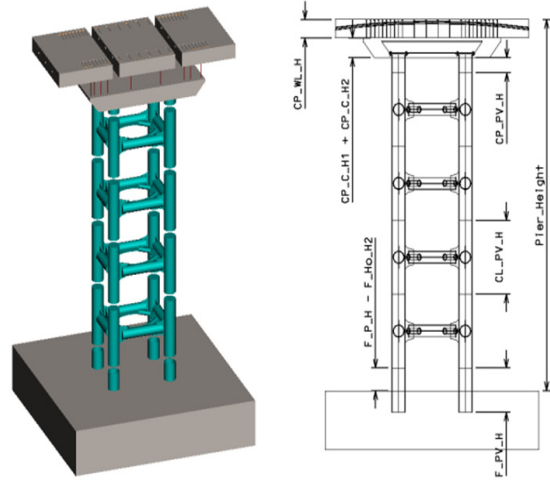


Figure 8 Assembly of Pier Module

3.4 Part 모델의 라이브러리 구축

3D Model 또는 관련 정보들을 쉽게 재사용이 가능하고 수정이 용이하게 하기 위해서는 모델 라이브러리 구축이 필요하다. 이러한 기술은 설계 경력이나 능력에 편차를 줄일 수 있으며 양질의 설계를 빠른 시간에 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 모듈러 하부구조의 Part 모델의 라이브러리는 Figure 9와 같이 모델

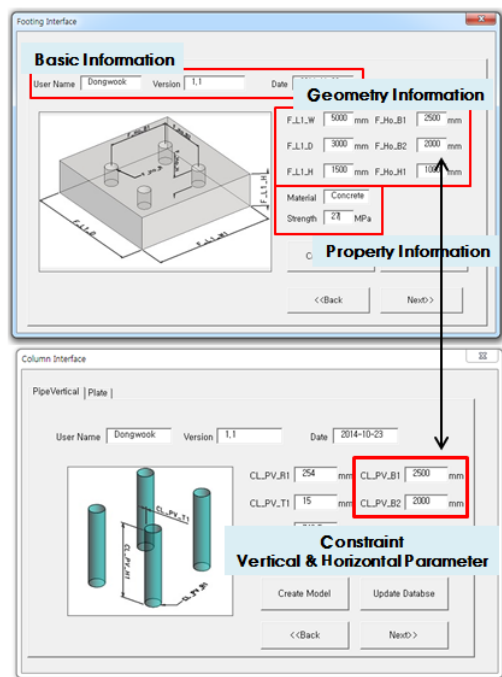


Figure 9 Interface of Part Model Library

생성 인터페이스를 통하여 구현하였다. 인터페이스는 User, Version, Date 등의 기본 이력 정보 입력과 형상 치수를 입력할 수 있는 창으로 구성되며, 추가적으로 속성정보를 입력할 수 있도록 개발되었다. 점(Point)을 기반으로 부재가 정의되고 이를 기준점으로 선(Line)과 면(Face)으로 정의되며 최종적으로 솔리드(Solid)로 표현하여 파라메트릭 모델이 생성된다. 앞에서 정의한 형상 변수들 간의 구속조건을 통하여 Figure 9에서처럼 Footing layer1 부재의 F_Ho_B1, F_Ho_B2의 값은 Column Pipe Vertical 부재의 CL_PV_B1, BL_PV_B2와 같은 값을 가지게 되도록 변수를 구속하였다.

4. 인터페이스 모듈 개발

4.1 인터페이스 모듈 설계

정보 모델 인터페이스 모듈은 BIM 소프트웨어와 다양한 포맷의 데이터의 정보 교환을 위한 인터페이스 기능을 수행하는 프로그램을 의미하며 Figure 10과 같이 설계하였다. 정보 모델 인터페이스는 Part 모델 라이브러리의 3D 모델을 인터페이스를 통하여 Microstation으로 불러오고 모델의 정보들은 다시 Excel, AutoCAD에 활용될 수 있는 데이터로 변환하는 역할을 한다. 이러한 정보 흐름을 바탕으로 사용자가 쉽게 프로그램을 사용할 수 있도록 GUI기반으로 인터페이스를 개발하였다.

4.2 인터페이스 모듈 개발

인터페이스 모듈은 라이브러리에 저장된 Parametric Model과 Database간의 중간자 역할을 한다. 인터페이스 모듈은 Microstation V8i의 VBA를 활용하여 개발되었으며, 기본 설계 단계에서 활용 가능하도록 Figure 11(a)와 같이 인터페이스를 구성하였다. 또한 설계단계에서 필요한 교량 기본 정보와 3D 조합 모델을 생성할 수 있으며, 생성된 모델의 형상 데이터를 바탕으로 부분적으로 단면 검토가 가능하도록 하였다. 최종적으로 생성된 모듈의 도면을 자동으로 추출하는 기능을 포함하고 있다.

인터페이스 모듈은 크게 4단계로 이루어지며 각 단계는 다음과 같은 기능을 수행한다.

① 1단계는 Figure 11(b)와 같이 교량의 기초 정보인 교량등급,

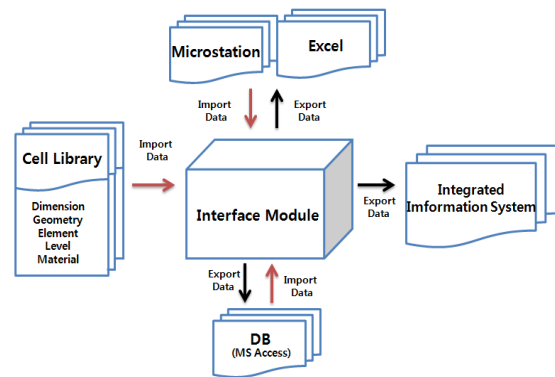


Figure 10 Design of Interface module

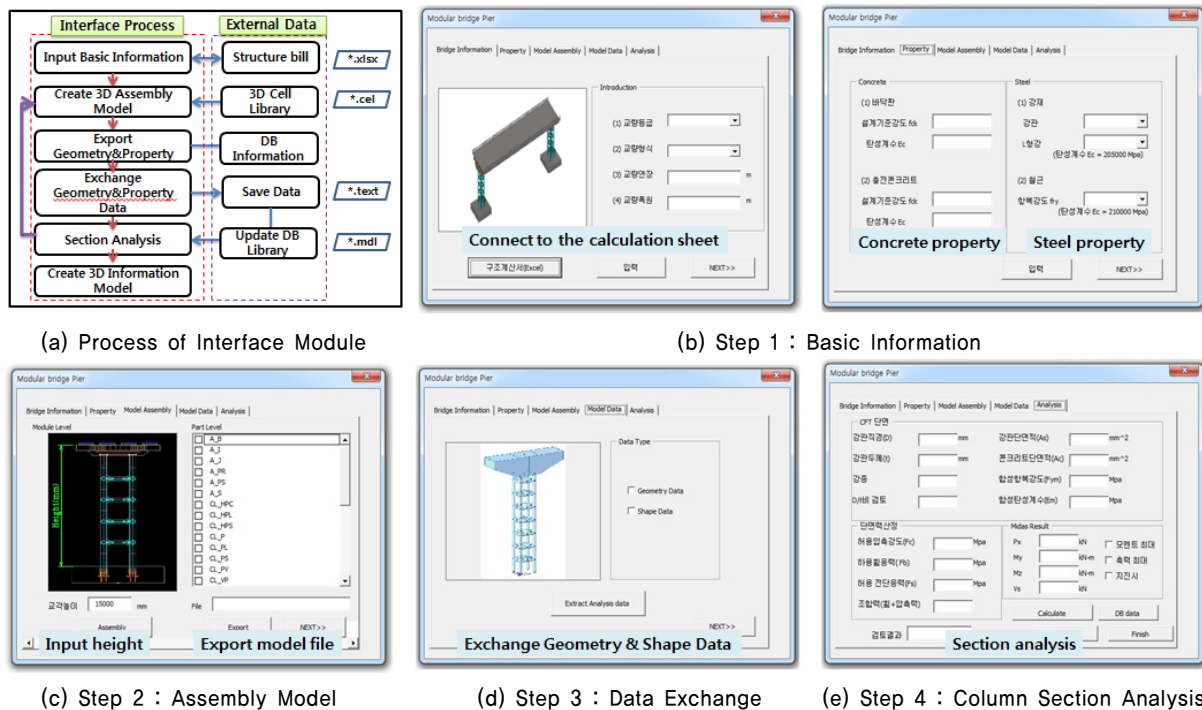


Figure 11 Interface Module for Modular Pier

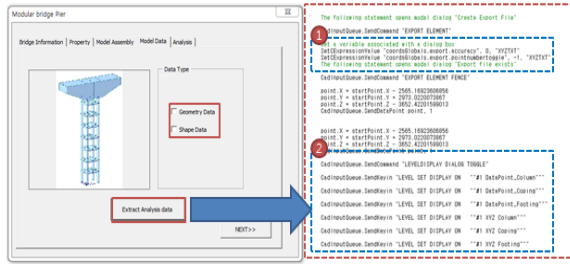


Figure 12 Data Exchange with Interface Module

형식, 연장, 폭원을 입력할 수 있는 창과재료들의 기본적인 속성을 입력할 수 있는 창으로 구성되며, 기초 정보 입력 값은 Excel Sheet와 연동되어 자동 저장된다.

- ② 2단계로 Cell 라이브러리 파일을 Import하여 3D 모델을 생성하는 인터페이스 창을 Figure 11(c)와 같이 구현하였다. 기본적으로 Cell 파일에 저장되어 있는 Level, 형상 등의 정보와 함께 3D 모델을 생성할 수 있으며, 모델의 조합은 Pier_Height 값을 인터페이스 창에 입력하면 앞서 정의한 조합식에 의하여 전체 교각 모듈이 생성된다. 생성된 모듈은 왼쪽 Part level창에 Component 단위로 Level이 생성되고 각각의 모델을 *.dng, *.dwg파일로 변환하여 활용할 수 있다.
- ③ 3단계는 생성된 교각 모듈의 필요한 데이터를 변환하는 창이다. 본 연구에서는 데이터 변환 범위를 기하학적 위치 정보(Geometry data)와 형상 정보(Shape data)로 제한하였다. Figure 11(d)와 같이 기하학적 위치 정보는 모델의 주요 절점들을 Text파일로 자동 추출하고 Database에 저장된다.
- ④ 마지막으로 생성된 모듈의 단면을 검토하는 단계이다. 단면 검토는 허용응력 설계법을 기준으로 하였으며, Figure 11(e)와 같이 인터페이스 내의 단면 검토 식을 활용하여 허용응력을 산출한다. 이를 구조계산서 내의 해석프로그램인 Midas에 의한 해석 결과값과 비교, 검토할 수 있다.

4.3 통합 DB 라이브러리

BIM기반 정보 모델의 핵심은 정보의 저장, 관리, 활용에 있다. 따라서 본 연구에서는 Database를 활용하여 인터페이스 모듈에서 생성되는 형상, 속성, 기하학적 위치 데이터 등을 DB에 저장하여 프로젝트 참여자 누구나 쉽게 확인할 수 있고, 설계와 제작단계에서 재사용이 가능하도록 통합 DB를 구축하였다(Kim et al., 2014). 하부구조의 DB는 사용자의 활용과 관리가 쉽고, Microstation과 호환성이 좋은 Microsoft사의 MS Access를 이용하였다. Figure 12와 같이 인터페이스 모듈에서 생성된 기하학적 위치 데이터는 ASCII파일 형태로 변환하여 DB에 저장된다. 교각 절점의 xyz 좌표값은 자동 선택하여 추출할 수 있게 하였으며 추출된 절점 좌표들은 *.txt파일로 export하여 DB에 저장된다. 또한 모듈 라이브러리 인터페이스에서 생성된 모델의 형

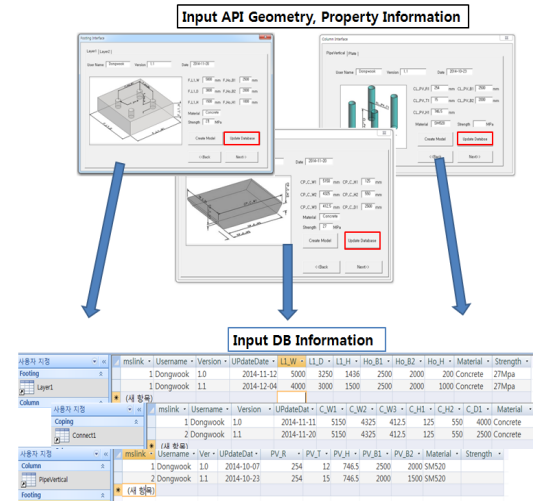
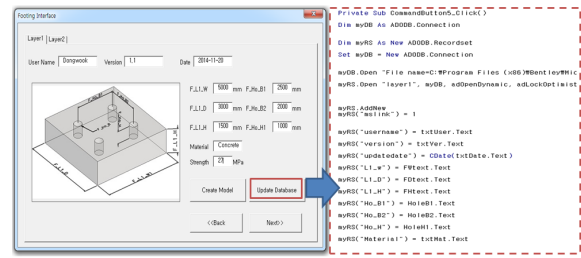


Figure 13 Update Database with Part Model Library

상 및 속성 정보들은 DB에 자동 업데이트된다. Figure 13과 같이 모델의 형상 및 기타 정보를 입력한 후 'Update Database' 버튼을 클릭하면 Textbox에 입력된 값들이 DB에 자동 저장된다.

4.4 인터페이스 모듈 Pilot Test

최종적으로 구축된 정보 모델 인터페이스 모듈을 Pilot Test를 통하여 검증하였다. 대상 구조물은 프리캐스트 콘크리트 모듈러 교량의 높이 15m의 모듈러 교각이다. 먼저 모듈 라이브러리 인터페이스를 통해 필요한 교각 모듈을 부재별로 생성하였으며, 이를 활용하여 15m 높이 교각의 조합 모델을 생성하였다. Figure 14와 같이 라이브러리의 모델을 Interface Module을 통

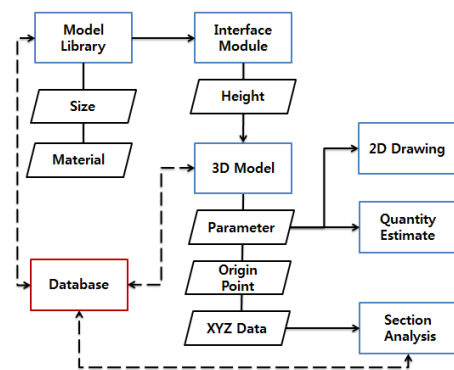


Figure 14 Dataflow of Pilot Test

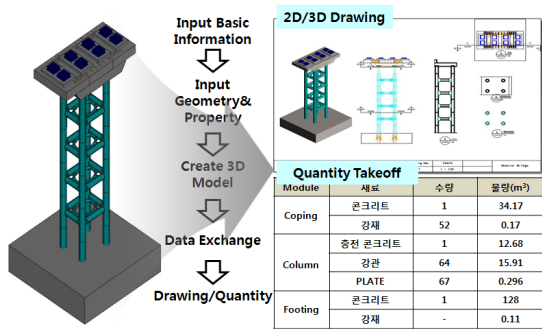


Figure 15 Results of Pilot Test

해 Import하여 3D 조합모델을 생성하였으며 조합 모델의 Parameter와 x, y, z 좌표 데이터를 활용하여 Figure 15와 같이 도면과 물량을 산출하였다. Pilot Test를 통하여 정보 교환의 정확도와 활용성을 확인하였으며 형상 정보 간 DB 연동성을 점검하였다.

5. 결론

본 연구에서는 모듈러 교량의 교각을 대상으로 BIM 기반의 정보모델을 구축하고 설계단계에서 활용 가능한 인터페이스 모듈을 개발하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 정보 모델 구축을 위하여 3차원 형상 변수들을 정의하고 변수들의 구속조건을 부여하여 입력 값을 최소화하였다. 이를 통하여 3차원 파라메트릭 모델을 생성하였으며, 생성된 모델의 속성과 조합관계를 정의하고 최종적으로 다양한 프로젝트에 활용 가능한 모델 라이브러리를 구축하였다.
- (2) 정보 모델 인터페이스 모듈 개발을 통하여 Excel, AutoCAD, Microstation 등의 이종 소프트웨어와 데이터 교환이 가능케 하였다. 데이터 교환뿐만 아니라 설계에 필요한 단계를 포함하는 모듈을 개발하여 교각 전체 모델을 생성하였으며, 단면 검토, 도면, 물량산출 기능을 추가하여 활용성을 높였다.
- (3) 통합 Database 구축을 통하여 정보들을 저장, 관리하고 이력을 확인할 수 있었으며 데이터의 중복을 최소화하고 일관성을 확보할 수 있었다. 또한 데이터의 통합 관리를 통하여 설계뿐만 아니라 시공과 유지관리 단계에서 활용 가능할 것으로 사료된다.
- (4) 본 연구를 통하여 향후 시공과 유지관리 단계에서 활용 가능한 정보 모델 인터페이스 모듈을 개발할 수 있는 기반을 마련하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연

구사업의 연구비지원(10기술혁신B01-직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준모듈 활용 조립식교량 기술개발 연구단)에 의해 수행되었으며, 본 연구를 가능케 한 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원에 감사드립니다.

Reference

- Alwisy, A, Al-Hussein, M and Al-Jibouri, S (2012), "BIM Approach for Automated Drafting and Design Modular Construction Manufacturing", *Computing in Civil Engineering*: pp. 221-228.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R, and Liston K. (2011), *BIM Handbook: A Guide to building information Modeling for Owner, Managers, Designers, Engineers and Contractor*, (2nded.) JohnWiley&Sons.
- Hong, S-H (2014), *The Study on the modeling of automatic foundation re-bar placement based on open API and BIM*, Masters Thesis, Hanyang University.
- Jo, J-H, Lee, K-M, Nam, S-H (2012), "Parametric Modeling of Modular Bridge Pier", *Proceedings of KIBIM Annual Conference*, Vol. 1, No. 1, pp. 59-60.
- Kim, D-W, Lee, K-M, Nam, S-H (2014), "Development of Information Model Interface Module for Modular Bridge Substructure" *Proceedings of KIBIM Annual Conference*, Vol. 4, No. 1, pp. 21-22.
- Kim, D-W, Chung D-K, Shim, C-S (2012), "Development of 3D Parametric Models for Modular Bridge Substructure", *Journal of KBIM*, Vol. 2, No. 2, pp. 37-45.
- Kim, T-H, Shin, T-S. (2013) "Interface Module Development of Structure Design for Brace Connection on based BIM" *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 25, No. 2, pp. 197-207.
- Lee, K-M., Lee, Y-B, Shim, C-S. (2012), "Bridge information models for construction of a concrete box-girder bridge", *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 8, No. 7, pp. 687-703.
- Ma, H-W, Oh, H-C, Kim, D-W, Kong, D, Shim, C-S, (2012), "Evaluation of Flexural Behavior of a Modular Pier with Circular CFT", *Journal of Korean Society of Steel Construction*, Vol. 24, No. 6, pp. 725-734.
- Sacks, R. (2004) "Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete", *Automation in Construction*, Vol. 13, pp. 291-312.