오피스 건물에 대한 BIM기반 구조설계 프로세스의 적용사례

Application Case Study on the BIM based Structural Design Process for Office Buildings

신 태 송¹⁾ · 엄 진 업²⁾
Shin, Tae Song · Eom, Jin Up

요약 : 본 연구에서는 가상건설시스템 개발 연구를 통해 구축된 BIM 기반 구조설계 프로세스와 개발 시스템을 적용하여 오피스 건물을 대상으로 사례 연구를 수행하였으며, 그 결과로부터 프로세스 및 개발 시스템의 적용에 따른 업무의 생산성과 경제성을 평가하였다. 사례 연구는 강구조를 주요 대상으로 하여, 구조해석모델 및 기본설계도서를 시작으로 기본설시모델과, 실시구조모델의 생성을 단계적으로 수행하였으며, 완성된 실시구조모델을 IFC를 이용하여 통합모델을 구축하여 다양한 BIM 설계도구와의 상호운용성을 검토하였다. BIM 프로세스를 구축하여 업무환경을 효율적으로 개선할 수 있었고, 접합부 모델링 자동화로 업무의 생산성을 향상시킬 수 있었다.

ABSTRACT : This paper studied the applicable case study on the BIM, based on a structural design process for office buildings. The design process and the applicable system are provided from the results of the research project on the system development of a virtual construction. The case study evaluated the work productivity and economic application of the process and the developed system. The study mainly takes steel structures into account. By using the structural analysis model and the basic design documents, it is able to create the basic construction model and the construction structural model. Likewise, the integrated model is built by IFC from the finished construction structural model. It checked the interoperability of the information among the various BIM design tools. The work environment was efficiently improved by establishing the BIM process, and work productivity could be increased with the help of the modeling automation for connections at the construction design stage.

핵심어 : BIM, 구조설계 프로세스, 오피스 건물, 실시설계모델, 상호운용성

KEYWORDS : BIM, structural design process, office buildings, construction model, interoperability

1. 서론

ACE산업에 BIM 설계의 출현으로 업무 통합 및 협업이 중요시되고 있다. 기존 2D기반의 설계와 다르게 BIM기반 설계는 3차원 설계이며 타 업무분야와 정보를 호환하여 정보의 활용을 극대화함으로써 업무의 생산성을 증대시킨다. 건축업무 전체과정을 통합하고 각 세부분야를 수행해야 하는 특징이 있어 전통적인 설계프로세스로는 수행이 불가능하므로 이를 보완하기 위한 BIM기반 설계 프로세스가 필요하다. 이에 가상건설시스템 개발 연구단에서는 성공적인 BIM 수행을 위하여 BIM 적용설계 가이드라인(가상건설시스템개발 연구단, 2011)을 발표하였으며, 건축분야의 공공 또는 민간부분의 기관이 각각 고

유의 목적과 환경 여건에 따라 활용할 수 있도록 하였다. BIM 가이드라인에 따르면 전공분야별 상세수준(Level Of Detail : LOD)에 따른 설계정보량이 다르기 때문에 설계 진행단계(계획설계, 기본설계, 실시설계)에 따라 세부 전공별(건축설계, 구조, 설비, 건적 등) 설계 프로세스를 구축하여야 한다. 이에 신태송 등(한국강구조학회, 2011)은 이를 기반으로 건축구조 측면에서의 3차원 BIM 기반 설계를 위한 구조설계 프로세스를 제안하였으며, 이를 효율적으로 수행하기 위한 BIM 기반의 구조설계 시스템을 구축하였다.

본 연구에서는 기존 연구를 통해 제안된 프로세스와 구축된 시스템에 대하여 전반적으로 소개하고, 오피스 건물을 대상으로 BIM 기반의 구조설계 프로세스를 적용한 사례 연구를 진

1) 교신저자. 동명대학교 건축공학과 교수

(Tel: 051-629-2461, Fax: 051-629-2459, E-mail: tsshin@tu.ac.kr)

2) 동명대학교 건축공학과, 박사과정(breadline@naver.com)

본 논문에 대한 토의를 2012년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

그림 1. 3차원 BIM기반 건축구조설계 프로세스

행하였다. 사례 연구는 강구조물을 대상으로 하였으며, 구조 해석은 완료된 것으로 가정하였고, 구조해석모델로부터 기본 실시모델과 실시구조모델을 단계적으로 완성하는 것까지를 연구의 범위로 하였다. 연구에서는 사례 연구 결과를 바탕으로 BIM 기반 구조설계 프로세스의 적용성 및 효율성을 기존 프로세스와 비교·분석함을 연구의 목적으로 한다.

2. BIM 기반 구조설계 프로세스

그림 1은 BIM 기반 구조설계 프로세스를 나타낸 것으로 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

BIM 기반의 구조설계에서는 개념설계 정보가 반영된 기본 건축모델의 정의로부터 설계 프로세스에 따라 기본설계와 실시설계를 수행한다. 기본설계 단계에서는 기본구조모델과 구조해석모델을 생성한다. 기본구조모델은 구조시스템, 부재의 치수 등 구조 기본설계 결과를 포함하며, 구조도면 등 기본설계 도서의 생성에 활용된다. 일반적으로 BIM 설계 도구에는 구조해석 패키지가 포함되지 않으므로, 구조해석 및 설계를 위한 구조해석모델이 요구된다. 구조해석모델은 구조계산서 등의 기본설계 도서의 생성에 활용되며, 해석 및 설계 결과는 다시 기본구조모델로 피드백 된다.

기본설계가 완료되면, 기본구조모델의 정보는 통합모델 구축을 위해 통합 기본모델로 피드백 되며, 검토 및 승인 과정을 거친다. 승인이 완료되면 구조 실시설계를 수행한다. 실시

설계 단계에서는 기본실시모델과 실시구조모델로 구분된다. 기본실시모델은 실시설계를 수행하기 위하여 기본구조모델의 정보로부터 생성된 것으로 기본구조모델과 속성 정보는 동일하다. 이후, 철골 접합부 및 철근 배근 모델을 추가 생성하고, 제작 및 설치(시공)와 관련된 정보를 더하여 실시구조모델을 완성한다. 실시구조모델은 공장제작도 및 배근도 등의 실시 설계 도서 생성에 활용되며, 통합실시모델로 피드백 되어 관련 업무 단계(전적, 설비 등)로 전달된다.

3. BIM기반의 구조설계 시스템 구축

3차원 BIM 기반 설계 프로세스를 효율적으로 수행하기 위해서는 이를 지원할 수 있는 새로운 설계 시스템이 필요하다. 가상 건설시스템 개발 연구를 통해 BIM 기반의 건축구조설계 시스템을 개발하였으며, 구축된 시스템의 주요 내용은 다음과 같다.

3.1 VA-STRUCTURES

통합건축구조설계 시스템으로 단위 구조설계업무 즉 기본설계와 실시설계 업무들 간의 모델 데이터를 직접 연결(direct link) 방법을 이용하여 양방향으로 호환 할 수 있는 Interface 시스템(천진호 등, 2011)이다. 주요 특징은 중앙데이터 베이스를 통하여 구조설계정보를 통합 관리하며, 설계 및 전적 등의 관련 업무 분야들과의 정보 교환을 고려하고 있다.

이중 소프트웨어 사이의 정보 교환 방식은 크게 IFC, CIS/2 등의 중립 파일을 이용하는 방식과 대상 소프트웨어들 사이의 데이터를 직접 교환하는 직접 연결(direct link) 방식으로 구분된다. 직접 연결방식은 대상 소프트웨어에서 'Third Party' 어플리케이션 개발을 위해 제공하는 API를 이용하거나, 대상 소프트웨어에서 읽고 쓰기가 가능한 파일 포맷을 이용하는 방법이 주로 사용된다. VA-STRUCTURES(이하, VA-STR.)은 직접 연결 방식을 적용하며, 연구에서 대상으로 하는 BIM 및 A&D 도구들과의 정보 교환 방식은 그림 2와 같다. Revit Structure (이하, RST)와 VA-STR.과의 정보 교환은 RST에서 자체적으로 제공하는 SDK(Software Development Toolkit)인 Revit API를 이용하여 RST에서 모델 정보를 읽고 쓰며, TEKLA와 VA-STR.과의 정보 교환은 TEKLA에서 제공하는 Tekla OpenAPI를 이용한다. MIDAS/ Gen(이하, MDAS)와 VA-STR.과의 정보 교환은 MIDAS에서 자체적으로 읽고 쓰기가 가능한 MGT 파일을 이용하여 모델 정보를 교환한다. Revit API와 Tekla OpenAPI는 모델 오브젝트 및 D/B를 제어할 수 있는 클래스로 구성된 DLL (Dynamic Library Link) 파일로 제공되며, 이는 .NET Frame work 환경에서 구동된다. 연구에서는 Microsoft사의 Visual Studio(Visual C#)를 이용하여 개발하였으며, DBMS(Data Base Management System)는 MS-SQL을 적용하였다.

그림 2. 통합 건축구조설계 시스템 : VA-STRUCTURES

3.2 ACS : Auto Connection System

강구조물의 실시설계단계에서 접합부 설계 및 모델링 자동화를 위한 시스템(엄진업 등, 2010)이다. 접합부 구조설계 결과를 디테일 표준화 원칙(표준접합 상세지침(한국강구조학

회, 2010), 표준접합 설계편람(한국강구조학회, 2010) 등]과 3D 모델링의 입력 변수를 고려하여 라이브러리 D/B로 구축하고, 이를 BIM 설계도구와 연동하여 철골 접합부의 설계 및 모델링 과정을 자동으로 수행할 수 있다. 주요특징은 OpenAPI를 통하여 접합부 라이브러리와 연계하여 단일 접합부 및 접합부 일괄생성이 가능하며 DB Manager를 이용하여 사용자 정의 DB를 추가 보완 할 수 있다(그림 3).

그림 3. 강구조 접합부 설계 및 모델링 자동화 시스템 : ACS

3.3 도면 및 물량 생성 자동화 프로세스 구축

실시설계 단계의 상용 BIM 도구를 활용하여 단품도, 조립도 등의 철골 제작도면을 자동 생성할 수 있는 Auto Drawing System(ADS) 프로세스를 구축(신태송 등, 2009)하였으며 표준접합 상세지침 및 도면작성기준 등이 반영되었다. 또한 부재의 위치 및 종류에 따라 물량을 산출 할 수 있으며 데이터를 전산화 하여 후속단계인 견적에서 활용 할 수 있다.

그림 4. 도면 및 물량 생성 자동화 프로세스 : ADS

3.4 BIM 프로세스에 따른 구축 시스템의 적용 범위

BIM기반 설계프로세스를 효과적으로 수행하기 위하여 개

발 구축된 구조설계 시스템의 적용범위는 그림 5와 같다.

그림 5. 구축 시스템의 적용 범위

구조설계 업무를 진행하는 동안 생산되는 설계정보를 효율적으로 관리하기 위한 통합구조설계 시스템인 VA-STRUCTURES를 통하여 기본설계 및 실시설계의 단위 상용 S/W 들 사이의 모델 정보를 양방향으로 호환할 수 있다. 또한 철골접합부 모델링 자동화 시스템인 ACS를 이용하여 반복적이고 노동집약적인 실시설계 업무의 효율성을 제고할 수 있다. 마지막으로 실시구조모델로부터 상용시스템을 활용한 자동화 프로세스를 구축하여 구조도면과 물량을 효과적으로 생성할 수 있다.

4. 사례 연구 대상 개요 및 범위

본 사례 연구는 미래형자동차 통합R&D센터로 지상 10층, 지하 4층 규모의 복합시설물을 대상으로 하며, 그 개요는 표 1과 같다. 사례 연구에서는 구조 기본설계는 완료된 것으로 가정하였으며(㈜삼우구조컨설턴트 수행), 기본설계 결과인 구조해석모델(Midas/Gen)과 기본설계 도서[구조도면(베이직 및 스탠다드), 구조계산서 등]를 시작으로 실시설계 프로세스에 따라 기본실시모델과 실시구조모델을 완성하기 까지를 사례 연구의 범위로 선정하였다. 사례 연구는 강구조를 주요 대상으로 수행하였지만, 철골과 철근콘크리트 부재의 관계를 고려하기 위하여 기본실시모델에는 철근콘크리트 구조를 포함하였으며, 구조실시모델에서는 철근콘크리트 배근 모델링은 제외하고 철골 접합부 모델링만 수행하였다. 수행 과정에서 구축된 BIM 기반 구조설계 프로세스를 바탕으로 개발 시스템을 적용하였으며, 적용성 및 활용성을 평가하였다.

표 1. 사례 연구 대상 개요

위치	경기도 성남시
규모	지상 10층, 지하 4층
연면적	22,810 m ²
구조 형식	중간모멘트골조를 가진 이중골조시스템
용도	업무시설
기초형식	MAT기초

그림 6. 사례 연구 대상 모델의 조감도

그림 7. 기준층(지상 2층) 구조평면도

사례 연구의 대상 구조물은 콘크리트 전단벽과 철골 모멘트 골조를 갖는 이중골조시스템으로 구성된다. 모멘트 골조는 SRC 기둥과 철골 보로 구성되어 있으며, 기둥과 큰보는 강 접합(모멘트 접합), 큰보와 작은보는 전단 접합되어 있다. 모멘트 접합과 전단 접합은 각각 WUF-B(Welded Unreinforced Flange-Bolted web), Fin Plate 접합부가 사용되었다. 그림 7은 기준층(지상 2층)의 구조평면도를 나타낸 것이며, 표 2는 부재 리스트를 나타낸 것이다.

표 2. 기준층(지상 2층) 부재 리스트

부호	단면 치수	재질	부호	단면 치수	재질
SB1	H-400×200×8×13	SM400	C1	H-350×350×13×21	SM490
SB2	H-600×200×11×17	SM400	C2	H-350×350×13×21	SM490
SG1	H-450×200×9×14	SM400	C3	H-350×350×13×21	SM490
SG2	H-450×200×9×14	SM400	C3A	H-350×350×13×21	SM490
SG3	H-350×175×7×11	SM400	C4	H-350×350×13×21	SM490
SG4	H-792×300×14×22	SM490	C5	H-350×350×13×21	SM490
SG5	H-582×300×12×17	SM490	C6	H-350×350×13×21	SM490
SG6	H-700×300×13×24	SM490	C7	H-350×350×13×21	SM490
SG7	H-692×300×13×20	SM490			
SG8	H-692×300×13×20	SM490			
SG9	H-692×300×13×20	SM490			
SG10	H-582×300×12×17	SM490			
SG11	H-600×200×11×17	SM490			

5. 기본실시모델 생성

5.1 Midas - Tekla Structures : 주골조 모델링

기본설계 단계의 구조해석모델(Midas/Gen,)(그림 9)로부터 통합건축구조설계 시스템인 VA-STRUCTURES(이하, VA-STR.)를 이용하여 실시설계를 수행하기 위한 기본실시모델(Tekla Structures)(그림 10)을 생성하였다. VA-STR.을 이용한 모델 데이터의 연동 방법은 다음과 같다. 구조해석모델인 MIDAS/Gen에서 모델 데이터를 내보내기(export) 위하여 텍스트 데이터 파일인 MGT 파일을 생성한다. VA-STR.에서는 가져오기(import) 기능을 이용하여 MGT 파일의 모델 정보를 중앙 D/B에 저장하며, 저장된 데이터를 내보내기 기능을 이용하여 Tekla Structures의 기본실시모델을 생성한다.

VA-STR.에는 이중의 소프트웨어에서 사용되는 상이한 모델 데이터를 효과적으로 전달/관리하기 위한 공통의 데이터 구조를 포함하고 있으며, 내장된 변환 알고리즘을 통하여 모델 데이터를 자동으로 변환하여 중앙 D/B에 저장한다. 저

장된 데이터를 내보내기 하기 위해서는 다시 변환 알고리즘을 이용하여 해당 소프트웨어에서 받아들일 수 있는 데이터 구조로 변환하여 내보낸다(그림 8).

그림 8. VA-STRUCTURES의 데이터 변환 흐름도

기본실시모델은 Midas/Gen으로부터 생성된 MGT 파일로부터 읽어 들인 정보를 이용하여 생성되기 때문에 근본적으로 구조해석모델과 속성 및 위치 정보가 동일한 모델이다.

그림 9. 구조해석모델 (Midas/Gen)

그림 10. 기본실시모델 (Tekla Structures)

5.2 기본실시모델 완성

VA-STRCUTURES를 통해 생성된 기본실시모델은 구조 해석모델과 동일한 속성을 가지므로 실시설계 업무를 진행하는 동안 몇 가지 사항이 추가되어야 한다. 일반적으로 구조 해석모델을 지원하는 설계 도구인 Midas/Gen에서는 기초와 바닥 슬래브는 주골조와 분리하여 설계하기 때문에 기본실시모델은 구조해석모델과 마찬가지로 기초와 바닥 슬래브는 포함되어 있지 않다. 따라서 구조 기본도면(베이직)을 참조하여 추가로 모델을 보완해야 한다(그림 11).

바닥 슬래브는 시공 단계에서 한 판으로 타설되더라도 BIM 모델 생성 시에는 부재의 간섭을 피하기 위하여 인접 부재와의 관계를 고려하여 분할해서 생성해야 한다. 예를 들면, 그림 12에서 슬래브는 기둥과 보의 간섭을 피하기 위해 3개의 슬래브로 모델링 되었으며, 기둥과 보의 안목 경계선을 따라 위치해 있다.

(a) 바닥 슬래브 생성 전

(b) 바닥 슬래브 생성 후

(c) 매트 기초 생성 전

(d) 매트 기초 생성 후

그림 11. 기초와 바닥 슬래브 추가 생성

그림 12. 바닥 슬래브 분할 모델링

다음은 부재의 수직 및 수평 정렬에 관한 것으로 일반적으로 구조해석모델은 중심 대 중심(center to center) 조건으로 모델링 되어 있으며, 바닥 레벨의 단차는 고려하지 않고 많은 부분을 단순화 시킨다. 실시설계 단계에서는 부재의 설치 및 제작 위치를 고려하여 모델링을 수행해야 하기 때문에 수직 및 수평으로 모델을 정렬해야 한다. 수직적으로는 바닥 레벨의 단차 정리, 수평적으로는 기둥의 편심, 벽체의 정렬 등을 예로 들 수 있다.

그림 13에서 노란색으로 표시된 외부 벽체의 중심은 기둥의 중심과 일치하도록 생성되어진다. 실시설계 단계에서는 부재의 실제 설치 위치를 고려하도록 되어 있기 때문에 벽체는 기둥의 외측 면을 따라 정렬해야 한다. 또한 그림 14에서처럼 거더 또는 보와 같은 수평재는 부재의 시작점과 끝점이 기둥의 중심 또는 거더의 중심에 위치해 있어 두 부재는 겹치게 되며 간섭이 발생하게 되는데 이를 해결하기 위해서는 거더와 보의 위치를 각각 기둥과 거더의 외측 경계면을 따라 정렬해 줄 필요가 있다.

그림 13. 벽체의 수평 정렬

그림 14. 기둥과 거더, 거더와 보의 간섭

그림 15. 수평 부재의 수직 정렬

그림 15는 수평 부재의 수직 정렬에 관한 것으로 위의 그림은 구조해석모델로부터 생성된 모델이며, 아래 그림은 슬래브의 단차 등 수평 부재의 수직 정렬을 완료한 모델이다.

이상의 단계를 거쳐 완성된 기본실시모델은 그림 16과 같

다. 기본실시모델의 완성은 구조해석모델로부터 생성된 주골조 모델에서 기초 및 바닥 슬래브를 추가하고, 수직 및 수평 정렬이 완료된 상태의 모델로, 철골 접합부 및 철근콘크리트 배근 모델이 추가되기 직전 단계의 모델을 완성 단계로 본 사례 연구에서는 정의하였다.

그림 16. 완성된 기본실시모델(3D뷰, X단면뷰, Y단면뷰)

6. 접합부 설계 및 모델링 자동화

일반적으로 강구조물의 실시설계는 업무의 전문성으로 구조 엔지니어와 디테일러(detailer)로 분리되어 진행된다. 구조 엔지니어는 기본설계 데이터를 바탕으로 디테일 설계를 수행하고, 그 결과를 도면(스탠다드) 형태로 디테일러에게 전달한다. 디테일러는 전달받은 도면 및 디테일 스케줄을 이용하여 실시구조모델을 완성한다. 본 연구에서는 디테일 설계는 완료된 것으로 가정하였으며, 설계 결과를 이용하여 기본실시모델에 접합부 모델을 추가 생성하여 실시구조모델을 완성하였다.

6.1 접합부 설계 Data 및 설계DB 관리

일반적으로 디테일 설계 데이터는 스탠다드 도면 형태로 디테일러에게 전달된다. 스탠다드 도면에는 접합부의 타입, 기본적인 형태 및 치수, 스케줄(schedule) 등이 포함되어 있다. 그림 17은 본 사례 연구에서 사용된 모멘트 접합부에 대한 스탠다드 도면 중 일부이다.

연구에서는 ACS를 이용하여 접합부 모델링을 수행하기 위하여 스탠다드 도면 데이터를 ACS의 접합부 라이브러리 DB 관리 기능인 DB Manager를 이용하여 라이브러리 DB로 구축하였다(그림 18). 구축된 라이브러리 DB는 WUF-B, (Welded Unreinforced Flange-Bolted web) FP(Fin Plate), BP(Base Plate), CS(Column Splice) 타입으로

그 결과는 그림 19와 같다. 그림은 ACS에 구축된 라이브러리 DB의 트리이며, SSC로 표기된 라이브러리가 이에 해당한다.

그림 17. 모멘트 접합부의 스탠다드 도면 및 스케줄

그림 18. ACS의 DB Manager 기능 실행 화면

그림 20은 구축된 라이브러리 DB의 데이터 중 일부로 SM400강재, F10T 고력볼트에 대한 것이다. 그림에서 db는 볼트의 지름, n/m은 각각 볼트의 행/열, tpl/bpl/hpl은 각각 플레이트의 두께/나비/높이, pc는 볼트의 피치, g는 볼트의 열 간격, ev/eh는 각각 볼트의 수직/수평 연단거리, gap은 기둥과 거더의 간격, weld는 거더의 용접 타입(site: 현장용접, workshop: 공장용접)을 나타낸다.

그림 19. ACS의 DB Manager를 통해 추가된 라이브러리 DB

profile	db	m	n	tpl	bpl	hpl	pc	g	ev	eh	gap	weld
H200-200-8-12	20	2	1	14	80	140	60	60	40	40	5	Site
H294-200-8-12	22	3	1	16	80	210	65	60	40	40	5	Site
H350-175-7-11	20	3	1	16	80	200	60	60	40	40	5	Site
H400-200-8-13	20	4	1	16	80	260	60	60	40	40	5	Site
H446-199-8-12	20	5	1	16	80	320	60	60	40	40	5	Site
H450-200-9-14	20	5	1	16	80	320	60	60	40	40	5	Site
H482-300-11-15	22	5	1	24	80	340	65	60	40	40	5	Site
H488-300-11-18	22	5	1	24	80	340	65	60	40	40	5	Site
H496-199-9-14	22	5	1	16	80	340	65	60	40	40	5	Site
H500-200-10-16	22	5	1	16	80	340	65	60	40	40	5	Site
H506-201-11-19	22	5	1	24	80	340	65	60	40	40	5	Site
H582-300-12-17	22	6	1	24	80	405	65	60	40	40	5	Site
H588-300-12-20	22	6	1	24	80	405	65	60	40	40	5	Site
H600-200-11-17	22	6	1	24	80	405	65	60	40	40	5	Site
H606-201-12-20	22	6	1	24	80	405	65	60	40	40	5	Site
H692-300-13-20	22	5	2	24	140	440	90	60	40	40	5	Site
H700-300-13-24	22	5	2	24	140	440	90	60	40	40	5	Site
H792-300-14-22	22	7	2	24	140	540	90	60	40	40	5	Site
H800-300-14-26	22	7	2	24	140	540	90	60	40	40	5	Site

그림 20. 모멘트 접합부(WUF-B)의 라이브러리 DB

6.2 접합부 모델링 자동화

ACS에서 접합부를 생성하는 방법은 단일 접합부 생성 기능인 Single과 모든 접합부를 일괄 처리하여 생성하는 Batch가 있다. 연구에서는 ACS Batch 기능을 이용하여 모델에 포함하는 모든 접합부를 일괄 생성하였다. 그림 21은 ACS Batch 기능의 실행 화면 및 UI를 나타낸 것으로, UI는 크게 TEKLA 모델과 데이터를 연동하기 위한 기능, 읽어온 모델 정보로부터 접합 조건(framing condition)에 따른 접합부를 자동 분류하고, 분류된 데이터를 출력하는 기능, 자동 분류된 접합 조건에 따른 사용될 라이브러리 DB를 설정하는 기능, 접합부를 자동 생성하는 기능으로 분류된다.

ACS Batch에 적용된 접합 조건(framing condition)은 기둥과 거더의 접합은 Web와 Flange로 구분하여 각각 BTCW, BTCF로, 거더와 보는 BTG로, 브레이스는 BRC, 보 이음과 기둥 이음은 각각 BS/CS로, 베이스 플레이트는 BSP로 정의하였다. ACS Batch에서는 읽어온 모델 정보로

부터 부재의 기하학적 정보, 부재들 간의 관계 및 속성으로부터 접합 조건을 검토하여 부재를 자동으로 분류한다. 또한 기둥과 거더(BTCW, BTCF), 거더와 보(BTG)의 경우 인접 부재와의 관계를 고려하여 스티프너의 두께, 및 위치를 자동으로 검토한다. 사례 연구에서 ACS Batch를 통해 읽어온 모델의 정보와 자동으로 분류된 접합부의 개소는 표 3과 같다.

그림 21. ACS의 Batch 기능 실행 화면

표 3. ACS Batch 기능을 통해 분류된 부재 및 접합부 개소

Part Info.		Classified Connection Info.	
ALL	836	ALL	1461
GIRDER	325	BTCW	322
BEAM	353	BTCF	331
COLUMN	104	BTG	704
BRACE	0	BRC	0
PLATE	0	BS	0
		CS	76
		BSP	28

ACS Batch의 스티프너 자동화에 대해 좀 더 자세히 언급하자면, 그림 22을 예를 들 수 있다. 그림은 기둥과 4개의 거더가 접합되는 것으로 BTCW 2개, BTCF 2개의 접합부가 어셈블리(assembly)되어 있다. ACS Batch를 통해 자동 분류된 접합부의 정보는 표 4와 같으며, 표에서 No.열은 거더 부재의 넘버(그림 22 참조), Pri./Sec.는 각각 기둥과 거더의 ID, TNS /TFS/BNS/BFS는 스티프너의 설치 위치 및 두께를 의미한다. 그림 23은 스티프너가 소속된 거더를 중심으로 어셈블리를 분리한 것이다. 그림에서 T는 Top, B는 Bottom을 나타내는 것으로 각각 플랜지 상부와 하부를 의미한다. NS와 FS는 Near Side, Far Side를 나타내는 것으로 각각 내측과 외측을 의미한다. 예를 들어, ①-TNS는 ①번 거더의 상부 플랜지 내측 스티프너를 의미한다. 거더의 치수는 각각 ①-H350×175×7×11, ②-H446×192×8×12, ③-H582×300×12×17, ④-H692×300×13×20이다.

그림 22. 기둥과 거더의 접합 어셈블리(assembly)

표 4. 기둥-거더 어셈블리에 대한 ACS Batch의 접합부 정보

No.	Type	Pri. ID	Sec. ID	TNS	TFS	BNS	BFS
①	BTCW	127732	128382	20	0	11	0
②	BTCW	127732	128287	20	0	12	12
③	BTCF	127732	128352	0	0	20	20
④	BTCF	127732	128357	0	0	17	17

그림 23. 거더를 중심으로 분리된 기둥-거더 접합부의 어셈블리

먼저, TNS, TFS부터 살펴보면, 4개의 거더는 모두 플랜지 상부면을 기준으로 아래로 정렬되어 있어 플랜지 상부 스티프너가 중첩된다. ACS Batch에서는 스티프너가 중첩될 경우, 거더의 웨브와 접합되는 플레이트의 용접을 고려하여 기둥의 웨브측 플레이트를 우선으로 배치한다. 따라서 ①, ②번 거더는 스티프너를 포함하며, ③, ④번 거더는 포함하지 않는다. 다음은 스티프너의 두께로 ACS Batch에서는 스티

프너가 중첩될 경우, 중첩되는 플랜지 중에서 가장 두꺼운 플랜지 두께를 스티프너의 두께로 기본 적용하였다. ①, ②, ③, ④번 거더의 플랜지 상부 두께는 각각 11mm, 12mm, 17mm, 20mm로 ①-TNS와 ②-TNS는 모두 20mm가 된다. TFS의 경우 4개의 거더는 중첩을 방지하기 위하여 모두 스티프너를 포함하지 않는다.

다음은 BNS, BFS에 대해 살펴보면, 웨브 측에 위치하는 스티프너를 우선으로 ①-BNS, ②-BNS가 위치하며, 거더의 춤이 모두 다르므로 ①-BNS, ②-BNS는 각각 거더의 플랜지 두께를 적용하여 11mm, 12mm가 된다. BFS의 경우, ①번 거더의 춤은 ②번 거더의 춤보다 작기 때문에 중첩을 방지하기 위하여 ①번 거더는 포함하지 않고, ②번 거더만 포함하며, 두께는 플랜지 하부 두께인 12mm를 따른다. 플랜지 측 하부 스티프너의 경우, 설치 위치가 웨브 측 플레이트 및 스티프너와의 간섭을 피하기 위해 웨브 측 하부 플레이트 아래쪽에 위치한 경우만 스티프너를 포함하도록 적용하였다. 그림에서 ③, ④번 거더는 모두 ①, ②번 거더의 하부 스티프너보다 아래쪽에 위치하며, 두 부재는 춤이 서로 달라 중첩되지 않으므로, 각각 BNS와 BFS를 포함한다. 두께는 거더의 하부 플랜지 두께를 적용하여 각각 20mm, 17mm를 따른다.

그림 24. ACS Batch로부터 자동 생성된 철골 접합부

ACS Batch에 의해 산출된 스티프너의 두께는 최소 두께를 기준으로 산출된다. 실제 설계에서는 제작사마다 가용한 강판의 두께가 상이하므로, ACS Batch에서는 옵션을 통해

사용자가 원하는 강판의 두께를 입력할 수 있도록 적용하였다. 예를 들면, 제작 공장에서 강판의 두께가 10mm 이상인 경우, 2mm 단위로 생산한다면, 사용자는 2mm 단위 즉, 10mm, 12mm, 14mm, 16mm 등의 옵션을 입력하며, ACS Batch에서는 이를 검토하여 11mm, 17mm 강판은 각각 12mm, 18mm로 자동적으로 분류하도록 적용할 수 있다. 이상으로 구축된 라이브러리 DB와 자동화 알고리즘을 통해 ACS Batch로부터 생성된 사례 연구의 접합부 모델은 그림 24와 같다.

7. 통합실시모델 생성

본 연구에서 적용하고 있는 BIM 기반 구조설계 프로세스에서는 설계 단계에 따른 전문분야별 모델(기본구조모델, 실시구조모델) 이외에 설계 정보의 통합을 목적으로 설계 단계별 통합 모델을 구축한다. 통합 모델은 일반적으로 건축설계 분야의 모델 코디네이터에 의해 수행되어지며, 건설 분야의 국제산업표준인 IFC(Industry Foundation Classes), 직접 연결(direct link) 등 다양한 방법이 적용되어질 수 있다. 개발 시스템인 통합건축구조설계 시스템(VA-STRUCTURES)은 단위 구조설계 업무들 간의 모델 데이터를 통합 관리하며, 양방향으로 연동할 수 있지만, 현재 주골조와 철근 배근 모델에 대한 상호운용성(interoperability)은 지원하나, 철골 접합부에 대한 부분은 추가로 개발되어야 한다. 따라서 사례 연구에서는 완성된 실시구조모델의 설계 정보를 IFC 파일로 생성하여, 건축설계 단계에서 주로 사용하는 BIM 설계도구 및 IFC Viewer를 통해 상호운용성을 검토하였다. 적용 대상은 다음과 같다. BIM 설계도구는 Autodesk사의 Revit Structure, GraphiSoft사의 ArchiCAD를 이용하였으며, IFC Viewer는 Constructivity사의 Constructivity Model Viewer, DDS사의 DDS-CAD Viewer를 이용하였다.

IFC를 이용한 상호운용성에는 정보 교환 과정에서 정보의 손실 및 변경 등 다양한 문제점들이 제기되어 왔으나(이주영 등, 2009, 임철우 등, 2011) 이는 건축 마감재, 개구부 및 창호가 포함된 복잡한 벽 등에 대한 경우가 대부분이다. 사례 연구의 모델에서와 같이 비교적 단순한 형태의 구조 모델에서는 이러한 문제점들의 발생 빈도가 현저히 낮은 것으로 보고된다. 또한 관련 협회 및 벤더에서 지속적으로 관련 기술을 보완하고, 개발하고 있어 최근에는 IFC를 이용한 정보 교환 방법은 품질과 안정성이 많이 개선된 것으로 확인되었다. 그림 25는 BIM 설계도구와 IFC Viewer를 통해 생성된 모델을 검토한 결과로 전반적인 부재의 손실 및 변경은 확인되지 않았다.

그림 25. 통합모델을 위한 상호운용성 검토

8. 업무 생산성 및 경제성 평가

본 연구에서는 사전 연구를 통해 구축된 BIM 기반 구조설계 프로세스와 프로세스의 효율적인 수행을 위해 개발된 시스템을 적용하여 복합 시설물을 대상으로 사례 연구를 수행하였으며, 이를 통해 적용된 BIM 프로세스와 개발 시스템에 대한 업무의 생산성 및 경제성을 평가하였다. 평가 방법은 철골 디테일 실무 업체 세 곳을 대상으로 사례 연구의 내용을 시연하였으며, 참여한 실무자들의 경험을 바탕으로 대상 프로젝트를 진행하는데 소요되는 대략적인 시간을 설문 방식으로 조사하였다. 프로젝트에는 초급 기술자 2명(사원급, 경력 2년 이하), 중급 기술자 1명(대리급, 경력 5년 이하)이 참여하는 것으로 가정하였다. 설문에는 기본설계도서에는 오류가 없는 것으로 가정하였으며, 오류로 인해 설계 및 제작 업체에 질의하고 답변 받는 과정은 제외하였다.

8.1 업무의 생산성 평가

개발 시스템의 기능과 연구 프로세스를 통해 생산된 결과 모델에 대한 신뢰성을 검증하기 위하여 조사에 참여한 실무자들에게 결과 모델의 검증을 의뢰하였으며, 피드백 된 사항을 바탕으로 신뢰성과 만족도를 정리하였다. 결과 모델의 품질(quality)에 대해서는 기본설계도서와 실시구조모델 모두 만족스럽다는 의견이 피드백 되었다. 실시구조모델의 경우 접합부가 누락된 곳이 없이 모두 안정적으로 모델링 되었으며, 특히 기둥과 거더, 거더와 보의 스티프너 자동화 부분에서 상

당히 만족도가 높은 것으로 파악되었다. 개발 시스템의 기능적인 부분에서도 만족스러운 결과가 피드백 되었다. 기존 프로세스의 경우 도면 등의 문서 데이터를 기반으로 수작업을 통해 모델을 생성하므로 모델링 과정에서 입력 오류 등에 의해 예기치 않게 모델을 재검토하는 과정이 수반되었으나, 개발 시스템의 경우 모델 데이터와 라이브러리 DB를 기반으로 모델링 과정을 자동화 하므로 속성 등의 값이 정확하게 누락 및 변경 없이 정확하게 입력된다. 접합부 모델의 경우에도 누락되거나 속성 값이 잘못 입력되는 경우가 없기 때문에 이에 따른 재검토 과정을 줄일 수 있어 업무의 생산성이 크게 향상 될 것으로 피드백 되었다.

8.2 업무의 경제성 평가

표 5는 설문 결과를 나타내는 것으로 기존 프로세스와 연구 프로세스의 모델링 소요시간을 검토한 결과이다. 기존 프로세스의 소요 시간은 업체 세 곳의 평균 소요시간을 적용하였다.

준비 단계에서는 기존 프로세스와 연구 프로세스에서 동일한 시간이 소요되었다. 주골조 모델링 단계에서 기존 프로세스에서는 베이직 도면을 참조하여 수작업으로 주골조 모델을 수행하기 때문에 도면 분석과 모델링 업무에서 대략 22시간이 소요되었지만, 연구 프로세스에서는 VA-STRUCTURES를 이용하여 구조해석모델로부터 주골조 모델을 자동으로 생성하기 때문에 도면을 통해 개략적인 구조물의 형상과 속성 정보를 파악하는 시간까지 포함하여 약 2시간 정도가 소요되었다. 제작 및 설치와 관련된 사항 반영과 도면과 비교 검토 업무의 경우 기존 프로세스에서는 대략 13시간 정도 소요되었지만, 연구 프로세스에서는 구조해석모델과 연동하여 모델을 자동으로 생성하기 때문에 개발 시스템에 대한 신뢰도가 바탕이 된다면 도면과 비교 검토 과정을 생략할 수 있기 때문에 그에 대한 시간을 절약할 수 있다. 다음은 접합부 모델링 단계로 기존 프로세스에서는 스탠다드 도면 분석으로부터 접합부를 모델링 하는데 약 54시간가량 소요되는 반면, 연구 프로세스에서는 스탠다드 도면 분석 결과로부터 접합부 라이브러리 D/B를 구축하는 시간을 포함하여 대략 1시간 정도 모델링을 완료할 수 있다. 기존 프로세스에서는 기본 접합부 모델을 생성하고, 기둥-거더, 거더-보 등의 접합부에 대해서는 인접 부재와의 관계를 고려하여 스티프너의 설치 위치 및 치수를 검토해야 한다. 이 과정은 수작업을 통해 이루어지며 모든 접합 개소에 대해 개별적으로 실시해야 하기 때문에 시간과 노력이 상당히 요구된다. 하지만, 연구 프로세스에서는 자동화 알고리즘을 통해 스티프너의 설치 위치 및 치수를 자

표 5. 기존 프로세스와 연구 프로세스의 소요시간 검토

단계	세부 액티비티(activity)		평균소요시간	
			기존	연구
준비	기본설계 도서 접수 및 분석	구조일반사항, 베이직/스탠다드 도면 등의 기본설계도서를 토대로 실시설계 업무와 관련된 사항을 정리	4	4
자재 (주골조) 모델링	베이직 도면 분석	베이직 도면의 정보를 토대로 부재의 속성 정보를 분석하고, 이를 이용하여 주골조 모델링을 수행	14	2
	주골조 모델링		8	0.1
	제작 및 설치 사항 반영	부재간 간섭 검토, 수직/수평 정렬 등	8	8
	도면과 비교 검토	도면과 주골조 모델의 일치 여부 검토 (부재의 위치, 속성 등)	5	-
접합부 모델링	스탠다드 도면 분석	스탠다드 도면의 정보를 토대로 접합 위치 및 타입, 스케줄을 확인하고, 이를 이용하여 접합부 모델링을 수행	14	1
	접합부 모델링		40	0.1
	스티프너 검토	기둥-거더, 거더-보 등의 접합에 대한 스티프너의 속성 및 설치 위치 확인	16	-
	어셈블리 및 크래시 검토	용접에 따른 조립 부재의 누락 여부, 부재간 간섭을 확인	16	-
계			125	15.2

동으로 검토하기 때문에 개발 시스템의 기능과 결과물에 대해 신뢰할 수 있다면 이 과정 역시 생략할 수 있으며, 어셈블리 및 크래시 검토 과정 또한 동일하게 적용된다.

이상의 데이터로부터 소요 시간을 비교하면, 연구 프로세스에서는 기존 프로세스 대비 약 87%(15.2H/125H) 정도 소요시간을 절약할 수 있는 것으로 나타난다. 이는 실시설계 업무 중에서 모델링 과정에 대한 것으로 이를 실시설계 전체에 대한 비율로 나타내면 다음과 같다. 연구에서 설문 조사한 결과 사례 연구의 대상과 같은 장방형의 비교적 단순한 구조물에서는 모델링과 도면화(drafting) 즉, 에디팅(editing) 업무의 비율이 약 3:7 정도의 비율로 구분할 수 있는 것으로 조사되었다. 이를 적용하여 실시설계 전체 업무에 대한 소요 시간을 환산하면 약 26%(307H/407H) 정도의 소요시간 단축효과가 있을 것으로 판단된다.

연구에서 산출한 수치는 설문에 참여한 실무자들의 경험을 바탕으로 한 평균 예상시간과 연구 프로세스의 소요시간에 대한 단순 비교이다. 또한 설문을 위한 표본이 세 곳으로 한정되어 있으며, 기존 프로세스에 대한 예상 소요시간은 설문 참여자들의 주관적인 판단에 근거하여 산출된 것이기에 이를 실무에 그대로 적용하기에는 다소 무리가 따를 것으로 예상된다. 그리고 사례 연구에서는 구조물의 형상 및 사용되는 접합부가 비교적 단순하여 개발 시스템에 대한 신뢰도 및 완성

도가 100% 만족된 경우로 가정하였으나, 실제 프로젝트를 진행하기 위해서는 적용 범위를 벗어나는 부분이 발생할 수 있으며, 그로 인한 시스템의 보완 및 D/B 확장이 필요시 될 수 있어 예상 소요시간의 증가가 불가피할 것이다. 하지만 BIM의 효율성을 제고하기 위해서는 BIM의 상호운용성이 반드시 수반되어야 하며, 반복적이고 노동집약적인 실시설계 업무의 효율성을 제고하기 위해서는 접합부 설계 및 모델링 업무에 대한 자동화가 요구되는 실정으로 미루어 연구 프로세스의 적용에 따른 경제적 효과는 일정 부분 확보될 것으로 판단된다.

9. 결 론

이상에서 BIM 기반의 구조설계에서 필요한 새로운 프로세스를 설정하고 오피스빌딩을 대상으로 적용성 및 업무의 효율성과 경제성을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기존의 2D 도면 위주의 설계방법과 달리, 상세수준에 의한 설계정보량의 차이 때문에 설계진행단계와 세부 전공분야를 고려한 합리적인 BIM 프로세스를 구축하였다.
- (2) 기본설계와 실시설계에서 사용되는 모델사이의 정보를 호환하는 체계를 개발하여 정보 상호운용성이 확보되어 업무환경을 효율적으로 개선하였다.
- (3) 반복적이고 노동집약적이며 에러발생 가능성이 높은 기존의 실시설계업무에 프로그램에 의한 모델 자동화로 업무의 생산성이 획기적으로 향상되었다.
- (4) BIM도구를 활용한 실시설계업무에서 기존업무방식 대비 자동화시스템은 시간단축 및 비용절감 효과가 우수한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 가상건설 시스템개발 연구단(2011) BIM 적용 설계가이드라인 [건축분야] Version3.0, 가상건설연구단.
- 신태송, 양종민(2009) 철골구조물의 시공도면 자동생성 프로세스 제안, 대한건축학회연합논문집, 대한건축학회, 제11권, 제4호, pp.267-274.
- 신태송, 엄진업(2011) C 학술정보관을 중심으로한 구조 BIM 프로세스 적용사례, 2011년도 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp.7-8.
- 엄진업, 신태송(2010) BIM의 철골접합부 모델링 자동화에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제1호, pp.99-108.
- 이주영, 서미란, 손보식(2009) IFC 포맷을 활용한 BIM S/W의 건물정보모델 교환 방법론 연구, 대한건축학회지, 제25권, 제3호, pp.29-38.
- 임철우, 유정호, 김창덕(2010) BIM 소프트웨어 간의 객체 정보 호환성 문제 유형 분석, 한국건축시공학회 2010년도 춘계 학술논문 발표대회 논문집, 제10권, 제1호, pp.257-260.
- 천진호, 신태송, 엄진업(2011) BIM 기반 구조 인터페이스의 적용성 검토, 2011년 한국전산구조공학회 정기학술대회 논문집, 한국전산구조공학회, pp.379-382.
- 한국강구조학회(2010) KBC-09 강구조기준에 따른 고력볼트 표준접합 설계편람, 구미서관.
- 한국강구조학회(2010) 건축강구조 표준접합상세지침, 구미서관
- Audodesk (2011) Autodesk Revit Structure 2011.
- MIDASIT (2011) Midas/Gen 7.8.5.
- TEKLA (2011) TEKLA Structures Releasenote 17.0.

(접수일자 : 2012. 02. 07 / 심사일 2012. 02. 20 /
심사완료일 2012. 06. 01)