

비정형 구조물의 시공성을 고려한 3차원 디지털 설계 최적화 프로세스

3D Digital Design Optimization Process Considering Constructability of Freeform Structure

류 한국*

Ryu, Han-Guk

Abstract

Nowadays the widely used media in architecture include visualizations, animations and three-dimensional models. 3D digital methods using active CAM(Computer Aided Manufacturing) and CNC(Computerized Numerical Control) imaging have been developed for accurate shape and 3D measurements in freeform buildings. In contrast to a conventional building using auto CAD system and others, the proposed digital optimization method is based on a combination of 3D numerical data and parametric 3D model for design and construction.

The objective of this paper is therefore to present digital optimization process for constructability of freeform building. The method can be useful in the effective implementation of an error-proofing process of freeform building during design and construction phase. 3D digital coordinate data can be used effectively to identify correct size of structural and finish members and installation location of each members in construction field.

In addition, architects, engineers and contractors can evaluate design, materials, constructability and identify error-proofing opportunities. Other project participants can also include representatives from all levels of management, departments as well as workers and key subcontractors' personnel, if necessary. The 3D digital optimization process is therefore appropriate to serious variations in freeform shape. For future study, the developed digital optimization method is necessary to be carried out to verify the robustness and accuracy for constructability in construction field.

Keywords : *Digital Mock-Up, Freeform Architecture, Design Process, Optimization*

1. 서론

1.1 연구의 배경

비정형 건축물의 대표 작품으로 1973년에 완성된 시드니오페라 하우스는 총공사비가 102백만달러로 초기 예상 공사비인 7백만불에 비하여 14배가 초과되었으며 공사기간은 14년이 소요되어 10년이 증가하였다. 쉘 구조 최적화 설계에는 12번의 형태 검토로 지름 75m 구형의 형태를 도출하는 데 7년이 소요되었다. 그러나 최근에

는 상당기간과 공사비를 최소화할 수 있는 비정형 건축물의 설계와 시공이 새로운 기술로 구현되고 있다. 이는 비정형 건축물의 최적화 설계와 부재화를 통한 공장 생산 시스템과 현장 조립 및 설치 기술로 가능하다.(Guzik 2009)

표 1과 같이 비정형 건축물의 구현을 위한 연구가 진행되어 왔으나 여전히 비정형 건축물 시공은 설계오류와 시공자의 도면이해 부족, 시공경험 및 공법의 부재 등으로 인하여 시공 품질과 공기, 공사비 증가 등의 잠재적 리스크를 포함하고 있다.(Ryu and Kim 2012)

* 중신회원, 국립창원대학교 건축공학과 조교수, 공학박사(교신저자), hgryu@changwon.ac.kr

Kloft, H.(2009)는 Dynaform(2001), Kunsthaus Graz(2003), the MARTa(2005) 등 비정형 건축물에 대한 건축가의 설계 프로세스와 기술 및 제작 방법 등에 대하여 고찰하였으며 이외 다수의 연구들이 비정형 건축물의 설계와 제작 기술의 실현성에 대하여 연구하고 실무에 적용하고 있다.

표 1. 비정형 건축물의 BIM 관련 기존 연구

연구자	연구내용
최승용, 김진균 (2009)	디지털마스터모델의 개념과 구축 정보모델의 특징을 분석하고 전 생애주기의 BIM 적용을 위하여 지능형 정보체계로의 변환이 필요함
박정욱 외 3인 (2009)	국내외 BIM 사례를 비교 검토하여 국내 BIM적용의 문제점과 해결방안 제시
김선호 외 4인(2007)	BIM의 적용이 건물 생애주기의 전 단계를 고려하지 못하고 단계별·부분별로 적용이 되고 있어 정보가 단절됨. 비정형 건축물의 경우 데이터의 호환이 어려움으로 협의 및 조정이 어렵고 이로 인한 이해부족과 계약관리의 미비로 클레임 발생우려가 큼.
박정근, 이명식(2008)	비정형 건축의 형태적인 측면에서의 특성과 BIM적용 가능성 제안
문상덕 외 2인(2009)	비정형 건축물의 시공관리를 위한 레이저 스캐닝 기술의 실험적 적용
안지연 외 3인(2009)	비정형 건축물의 공사관리를 위한 시각화 기술을 적용하여 증강현실 기반의 공사관리 방법 제시
전유창(2009)	건축 설계와 시공의 최적화를 위한 도구로서의 파라메트릭 디자인을 제시하고 설계와 시공의 협력관계 증진과 생산 과정의 명확화를 통한 통합적 이해 강조. 또한 디지털 디자인 도구를 통해 다양한 방식의 구조, 형태적 디자인 시뮬레이션 등을 통한 균형적 사고 강조
윤수원 외 3인(2009)	BIM적용 사례를 통해 현재 시공현장에서 고민하고 있는 BIM 기술 도입의 필요성과 적용 기술과 가능성을 제시. BIM도입을 위한 사례 모색으로 디큐브 시티의 BIM적용 및 추진과정을 소개하며 BIM 적용을 통한 시공 및 공정/진도 계획 등의 기능을 검증하고 기대 효과로는 설계 검토의 오류 최소화 및 4D CAD & 시뮬레이션을 활용한 공정, 3D 모델과 연계한 도면 산출과 3D기반의 Shop DWG 제공으로 협력업체 등과의 커뮤니케이션 증진이 있으며, 이에 대한 시사점 제시
이 강(2008)	비정형 건축물 프로젝트의 시공 문제점에 관해 도면 자동생성의 표현법에 대한 지적과 패널화에 시공의 기술적 지원 그리고 부품 제조상의 어려움 및 건축물의 측량에 대한 기술적 문제를 지적
최정민 외 4인(2009)	건축물의 외장재에 대한 설계방법과 시공단계에서 시공품질 확보방안, 시공 하자를 유발시키는 다양한 변수에 대한 대응방안 등의 중요성이 부족한 실정이며, 비정형 건축물의 설계에 사용되 는 Architectural Geometry Control 도구 중 그 활용성이 부각 되는 Bentley 사의 Generative Components를 활용하여 비정형 건축물의 이종곡률 곡면외장재의 부재생산을 위한 패널화, 제작도면 추출에 관련 제안
박정대(2009)	비정형형상의 구축에 이용한 선적면(ruled surface)의 생성과 양방향 (bidirectional) Parametric & Associate Modeling에 대한 필요성과 이슈를 제시하고 디자인 영역에서 생성인자와 생성결과물 간의 역공학 적 상관관계 중요성 제시

이와 같이 비정형 건축 디자인에 대한 실무와 연구가 진행되고 있으나 다양한 가능성을 제시하고 있으나 여전히 복잡한 기하학적 형상을 건축 패널 시스템으로 구현하여 실무적으로 적용하는 것은 매우 어려운 실정이다.¹⁾

특히 철골조 비정형 건축물은 구조설계와 시공 방법이 기존

의 정형건축물의 방법과 다르지 않아 엄청난 시공오차 및 후속 공정의 물량증가, 공기지연 등이 발생하며 이는 건축물의 품질 저하와 시공비 상승으로 직결된다.

비정형 건축물의 시공품질 향상과 공기단축 및 시공비 상승의 문제점을 해결하기 위한 3D 디지털 설계와 제작 기술을 적용하는 것이 중요하다. 특히, 비정형 건축물의 외피 시스템은 비정형의 구조체의 형상위에 외피를 덧씌우는 형태를 띠우므로 비정형 구조체와 함께 외피 시스템을 구현하는 것이 중요하다.

1.2 연구의 범위 및 목적

기존 비정형 패널은 설계는 가능하나 제작상의 문제로 평면 일방향 곡면 형태로 제작하여 시공하였으나 5축 가공 기술 등의 다축 가공형 쾌속 조형(Rapid manufacturing)기술을 활용하여 설계와 설계데이터의 제조 기기로의 전송 및 제작 기술이 가능하여 건설 부품화 생산이 가능하였다.²⁾ 즉, CAM(Computer Aided Manufacturing)과 CNC 로 디지털 제어 기술이 가능한 프로그램과 구현 장비로 디지털 좌표 정보를 근간으로 3차원 물체의 생산이 가능하다.³⁾ 따라서 본 연구는 비정형 건축물을 구현한 사례를 살펴보고 디지털 설계 프로세스와 적용 프로그램을 살펴본다. 비정형 건축물의 설계도의 3D 디지털 데이터 구축과 디지털 최적화 구현 사례로 4대강 대표 물문화관(The ARC)을 중심으로 설계단계에서 적용된 최적화 기법을 순차적으로 분석하여 비정형 건축물의 3차원 좌표제어에 대한 방법론을 제시한다. 이에 본 연구는 비정형 구조물의 시공성을 고려한 3차원 디지털 설계 최적화 프로세스를 제안한다. 궁극적으로 본 연구는 비정형 구조물의 구조검토, CNC(Computerized Numerical Control) 가공에 의한 부재의 정밀제작, 설치, 시공의 오차관리로 최적 시공의 근간이 되는 비정형 건축물 외피 시스템 구현을 위한 최적화 설계 프로세스를 제시한다.

2. 비정형 건축물의 설계 프로세스와 도구 분석

2.1 비정형 외피시스템의 디지털 설계 프로세스

일반적으로 비정형 외피시스템의 구현을 위한 업무 프로세

1) Eigensatz M, Kilian M, Schiftner A, Mitra N, Pottmann H, Pauly M, Paneling Architectural Freeform Surfaces, Proceedings of Association for Computing Machinery Transactions on Graphics, 2010 July; 29(4), New York (USA): Association for Computing Machinery; 2010. Article 45.

2) Buswell RA, Thorpe A, Soar RC, Gibb AGF. Design, data and process issues for mega-scale rapid manufacturing machines used for construction. Automation in Construction, 2008; 17: 923929.

3) Schodek D, Bechthold M, Griggs K, Kao KM, Steinberg M. Digital design and manufacturing CAD/CAM application in architecture and design, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.; 2005. 13p.

스는 프로그램의 특징에 따라 비정형성을 구현할 수 있는 적합한 도구를 활용한다. 설계 단계는 Revit, CATIA, RHINO, TEKLA 등의 3D 엔지니어링 프로그램으로 외피의 2차원과 3차원의 기하학적 최적화와 구조시스템 분석을 통한 상세 설계를 개발한다. 또한 비정형 구조 시스템과 파사드 공사비를 견적한다.

시공 단계에서는 구조 설계 검토, 협력업체의 3차원 관리, 시공 중첩 확인 등이 이루어진다. 구조 설계 체크를 수행하고 여러 참여업체와의 3차원 기반 설계 검토와 시공성을 분석하며 중첩 체크를 실시한다.

비정형 건축물 구축을 위한 공법을 결정하고 가상 시공모형을 검토하여 시공 가능성을 파악한다. 비정형 건축물의 골조와 마감 비용을 산정한다. 실제 시공시에는 현장 시공 mock-up으로 다시 한번 시공성을 파악한다.

2.2 비정형 건축물의 디자인 도구 분석

비정형 외피시스템 구현을 위한 프로세스는 계획 설계, 기본 설계, 실시 설계, 시공단계로 구분할 수 있으며 그에 따라 적용되는 3차원 엔지니어링 프로그램 또한 다르게 적용된다. 단계별 3D 엔지니어링 프로그램의 활용 현황과 내용은 다음과 같다.

1) 계획 설계 단계에서는 MAX, MAYA, SKETCHUP 등으로 렌더링과 애니메이션의 시각화에 중점을 두고 비구조적이고 비수학적인 형태 디자인을 제시한다.

2) 기본 설계 단계에서는 RHINO, CATIA 등으로 비정형 설계 기준을 설정하고 기하학적 최적화를 통한 3차원 데이터를 도출한다. 비정형 곡면 분석에 의해 1방향, 2방향, 평면(X1, X2, X3)으로 디자인을 재구축한다.

또한 비정형 곡면에 유형 따라 콘크리트, 금속패널, 슈트 등의 재료를 검토한다. 그리고 비정형 구조시스템으로 주구조재(Main structure)와 부구조재(Sub structure)로 구현할 수 있는 방안을 제시한다. 이 단계에서는 공사비, 공사 품질, 공사기간 등을 종합적으로 판단하여 고려한다.

3) 실시 설계 단계는 RHINO, CATIA, TEKLA 등으로 3차원 구조 형태, 내외부 마감의 기하학적 형태, 외부 마감과의 상관 관계에 의한 구조 형식과 단면 형상을 확정한다.

또한 비정형 곡면 전개 방법에 의한 외부 디테일과 재료, 내부 디자인에 따른 비정형 곡면 디자인의 내부 전개 방식 과 재료 결정과 상세도를 작성함으로써 3차원 기하형태를 최종적으로 결정한다.

4) 시공 단계는 CATIA, Digital Project, TEKLA, NAVIS WORKS 등의 프로그램을 활용하여 전문 시공 업체별 3차원

설계 검토, 간섭 체크 등 BIM 설계와 시공 관리를 수행한다. 특히, 비정형 건축물에서는 기하형태가 중요하므로 RC, 철골, 마감 등의 기하형태를 현장에서 실측과 설치가 가능하도록 통제하여야 한다. 이는 3차원 시공도를 정확하게 작성하고 부재의 정밀한 공장 제작과 현장 설치와 조립이 수치정보에 기반하여 통제되도록 하여야 한다.

비정형 건축물 설계에 다수 사용된 CATIA는 파라메트릭 컴포넌트 기반 모델링 도구로 자유 곡면이 많은 자동차와 항공 산업에 많이 사용되고 있다.

프랭크 게리가 설계한 Guggenheim Museum, Weatherhead School of Management, Walt Disney Concert Hall, Center for the Performing Arts, The Lou Ruvo Center는 CATIA 기반의 Digital Project로 설계하였으며 자하디드가 설계한 동대문 디자인 플라자 등에 사용되었다. 이와 같이 비정형 건축물의 설계는 기존 정형건축물의 설계 및 시공 프로세스와 다르게 진행된다. 비정형 건축물의 설계는 기존의 정형적인 길이, 각도, 깊이 등과 같은 정형의 수치 정보 대신에 유연한 비정형의 형태를 설계한 이후에 수치 정보의 파라미터를 파악할 수 있다.

비정형 건축물의 시공성 검토는 2차레에 걸쳐 진행된다. 첫째로 도출한 수치 정보에 기반하여 수많은 부재들을 가상 시공 모델(Virtual Construction Model)로 구현하여 시공성을 검토한다. 둘째로는 수치 정보에 기반하여 정밀하게 설계 제작하고 실물 모형(Construction Mock-Up Model)을 구축하여 시공성을 검토한 후 현장에서 설치하고 조립한다.

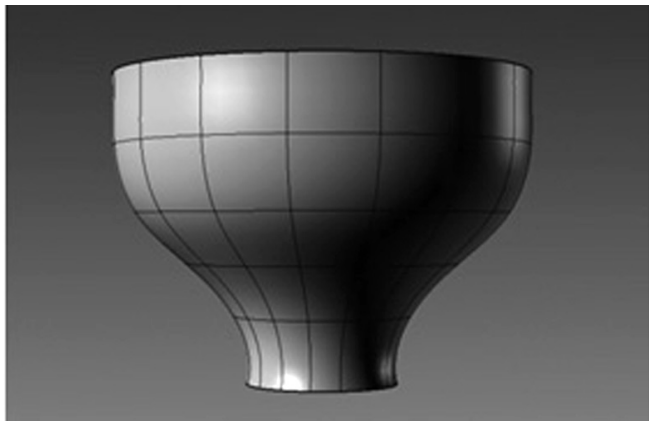
3. 비정형 건축물의 3D 디지털 수치 데이터 도출 방법

3.1 비정형 구조체의 최적화 데이터 도출 방법

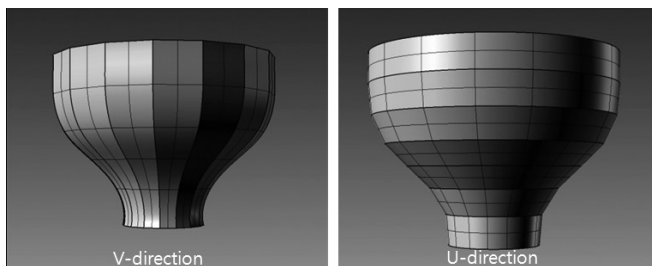
비정형 건축물은 외피의 비정형이 구조체(RC와 철골)와 일체 여부에 따라 일체형과 구조체와 외피의 분리형으로 구분할 수 있다. 일체형은 비정형 구조체에서 일정한 이격공간을 두고 외피가 설치되는 시스템으로 정의할 수 있으며 분리형은 구조체의 형상과는 무관하게 단순히 외피의 비정형 형상을 나타내기 위하여 외피 시스템을 구축하는 것이라고 정의할 수 있다.

일체형은 공사비와 공사기간 단축의 효과를 기대할 수 있으나 재료와 시공의 어려움으로 거의 적용이 되지 않고 있다. 대부분의 비정형 건축물은 분리형으로 설계와 시공이 되고 있으나 구조체와 외피의 일치 여부에 따라 기술력의 차이가 있다고 판단할 수 있다.

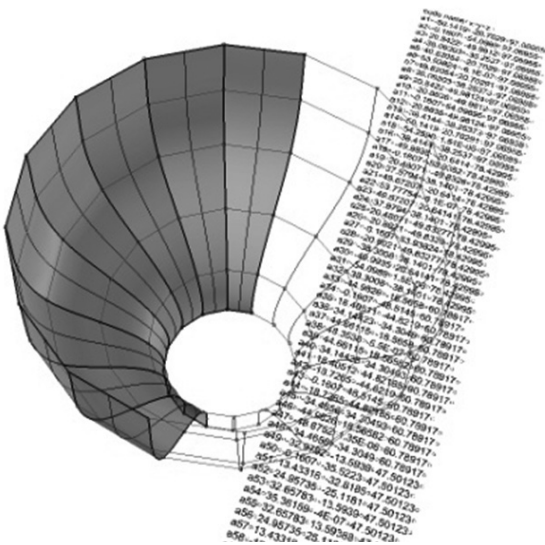
비정형 건축물의 설계는 비정형 외피 구현을 위한 구조체 설계와 내외장 마감을 위한 설계로 구분된다. 비정형 건축물의 구조체 설계 최적화 프로세스는 그림 1과 같이 일반적으로 개념 설계에서 2방향 곡면의 외피를 V방향과 U방향으로 곡면을 1방향 곡면으로 재정의 하고 3차원 가상시공 모델을 완성한다.



(a) 2방향(V와 U 방향) 곡물의 개념 또는 계획 설계의 디자인 형태 예시



(b) 2방향 곡물을 V방향 또는 U 방향 곡물로 재정의 예시



(c) 3차원 시공 지오메트리 완성 예시

그림 1. 비정형 건축물의 골조 설계의 수치정보 도출을 위한 디자인 최적화 프로세스 예시

가상 시공 모델을 구축함으로써 확보된 디지털 수치 데이터를 바탕으로 부재 제작과 시공 정보로 제공된다. 디지털 수치 데이터는 비정형 구조체를 구성하는 부재를 공장에서 생산하기 위한 제작 부재의 수치 정보를 제공하고 시공시에는 현장에 설치할 수 있는 3차원 공간 정보를 제공한다.

3.2 비정형 건축물 내외장 마감 외피의 최적화 데이터 도출 방법

비정형 건축물의 내외장 마감 외피의 설계 최적화 프로세스도 구조체 설계 프로세스와 유사하다. 다만 2방향 곡면의 외피를 곡면 분석을 통하여 곡면을 재정의하는 데, 곡면의 특성에 따라 1방향, 2방향, 평면으로 분할 패넬들을 생성한다. 물론 이 경우에도 디지털 정보를 제공한다. 비정형 외피의 내외장 설계 최적화 프로세스는 그림 2와 같다.

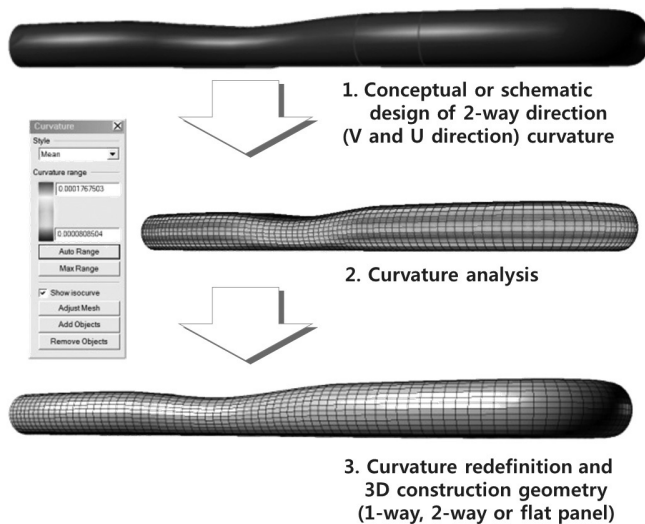


그림 2. 비정형 건축물의 내외장 마감 최적화 설계 프로세스 예시

개념 또는 계획 설계에서 디자인에 중점을 둔 외피를 형성한다. 자유롭게 비정형의 형태를 형성하므로 2방향 곡면이 도출된다. 도출된 2방향 곡면 분석(curvature analysis)을 통하여 곡면 스타일을 결정하고 범위를 자동 또는 최대로 조정한다. 곡면 분석은 곡률을 생상도로 표현한다. 빨간색에 가까울수록 양각 곡면(positive curvature)을 나타내며 파란색은 음각 곡면(negative curvature), 녹색은 평면을 나타낸다.

등경곡선(isocurve)를 생성하여 곡면을 재정의한다. 결과적으로는 3차원 시공 지오메트리를 1방향, 2방향 또는 평면 패넬로 생성하여 부재별 디지털 수치 정보를 제공한다. 따라서 비정형 건축물의 디지털 수치 데이터는 부재의 공장생산과 시공

의 정확성을 확보하기 위한 매우 중요한 정보가 된다.

4. 비정형 건축물의 3차원 디지털 최적화 설계 프로세스 적용

4.1 디지털 설계 프로세스 최적화 적용 사례

본 장에서는 앞서 기술한 내용을 바탕으로 비정형 건축물의 최적화 설계를 구현하고 3차원 디지털 수치 데이터를 활용하고 시공성을 고려한 프로세스를 기술한다. 적용 사례로는 그림 3의 대표 물문화관(The ARC)의 실시 설계도면과 3차원 디지털 데이터를 기반으로 분석을 실시하였다.

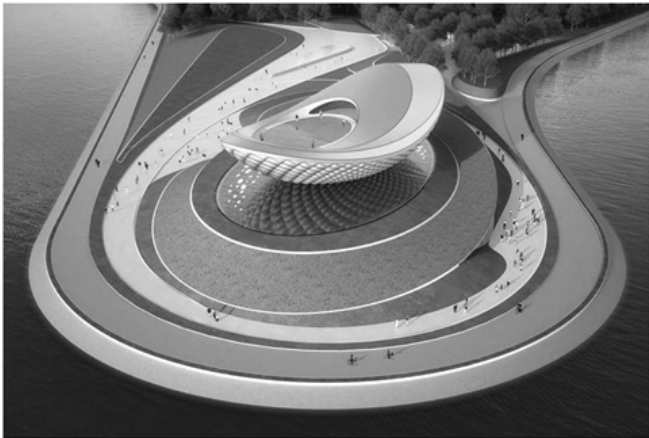


그림 3. 대표물문화관(The ARC) 조감도

대표 물문화관(The ARC)의 개요는 다음과 같다.

Architect : Asymptote Architecture

발주처: 한국 수자원 공사

공사기간: 2011.11~2012.9

위치: 대구광역시 달성군 다사읍 죽곡리 806

연면적: 5,966.42m²

건물용도: 문화 및 집회 시설

규모: 지하1층, 지상3층

높이: 19.8m

구조: 철골구조

마감: ETFE + AL,PANEL

대표 물문화관(The ARC)의 비정형 건축물의 최적화 설계 프로세스는 그림 4와 같다.

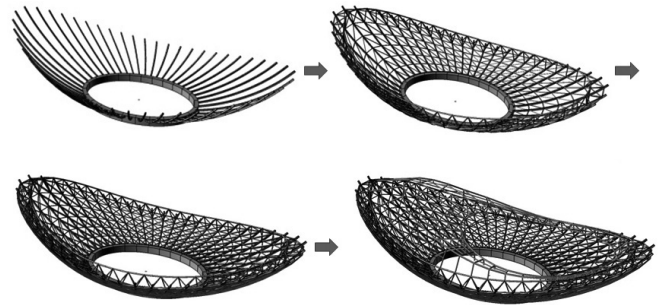


그림 4. 대표 물문화관의 구조 지오메트리 도출을 위한 최적화 설계 프로세스

계획 설계 단계에서 결정된 초기 구조 설계는 그림 5와 같이 전체가 곡면 파이프로 현장 용접하는 것이었다. 구조는 원형 파이프를 2방향으로 bending 후 용접하여 형상을 구현하는 방법이다. 그러나 현재 국내 기술로는 2방향 파이프를 bending 하는 것은 부재 생산과 가공의 정밀도 확보와 품질 보증에 문제점이 있고 짧은 공사기간 내에 제작하고 설치하기에는 어려운 공법이다.

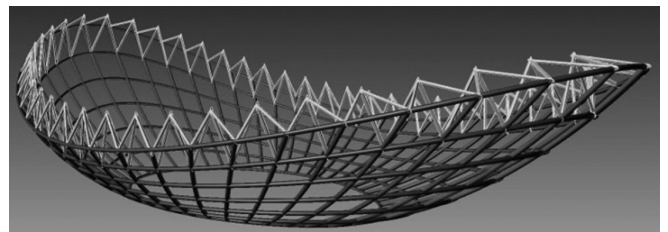


그림 5. 개념 설계 단계의 초기 구조 설계 안

따라서 구조 최적화 설계 과정을 거쳐 수직 구조 부재는 그림 6과 같이 CNC Twisted Tube로 하고 수평 구조 부재는 원형 파이프로 볼트 조립 후 현장 용접하는 구조로 결정되었다. CNC Twisted Tube는 CNC로 제작된 부재들을 좌표제어용 결속물로 결합시킨 비정형 철골 구조부재이다.

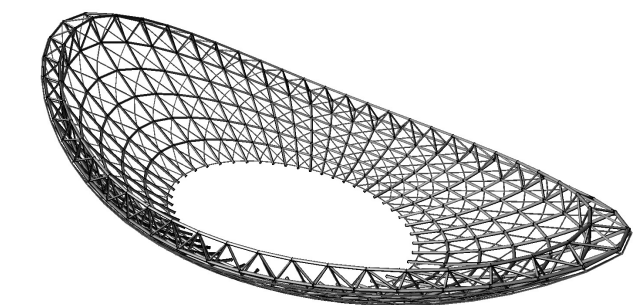


그림 6. 비정형 건축물 설계의 3차원 구조 모델

대표 물문화관의 실시 설계도면과 3차원 디지털 데이터를 기반으로 분석을 위한 Parametric 3D Model을 구축하고 접합부 및 가공방법에 대한 결함 및 시공성을 분석하였다. Parametric 3D Model은 수치 좌표 정보를 부재가 갖고 있는 3차원 모델이다.

4.2 3D 디지털 데이터에 기반한 비정형 모델 구축

The ARC의 3D 디지털 데이터에 기반한 비정형 모델을 구축하기 위하여 2방향 bending 원형 파이프를 생산하고 가공하여야 한다. 이를 위해서 통합적인 3차원 디지털 좌표를 실시 설계 시에 도출하고 시공 단계에서는 이를 적용하고 관리·통제할 수 있어야 한다.

따라서 비정형 패널 설치의 바탕이 되는 철골 구조의 2방향 bending 원형 파이프를 생산하고 공사 기간 내에 이를 정밀하게 정확한 위치에 설치 및 조립하기 위하여 3차원 좌표 수치제어가 가능한 CNC Twisted Tube 공법을 적용하였다.

CNC Twisted Tube 공법의 적용 프로세스는 부재의 제작, 조립, 설치로 구분된다. 부재와 제작을 위한 방법은 첫째, 그림 7과 같이 구조체가 외피를 지지할 수 있도록 마감면(surface)의 2방향 곡률을 설정한다.

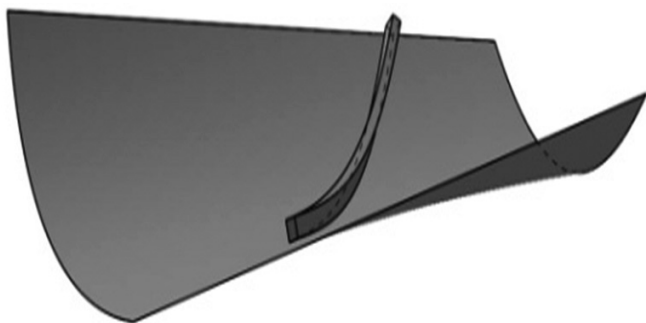


그림 7. 외피에 접한 2방향 곡률 구조체

둘째, 그림 8과 같이 설정된 2방향 곡면에 투영된 3차원 좌표점(3D coordinate data)들에 평행한 곡면 2개(parallel to the surface)를 구성한다. 즉, 투영된 마감면과 동일한 곡률(normal to the surface)을 가진 구조체를 만들어 부재의 3차원 좌표를 제어한다.

셋째, 3차원 좌표 데이터를 기반으로 구성된 상부과 하부 평행 곡면 플레이트와 측면 2개 플레이트를 CNC로 공장에서 제작하여 구조 부재를 그림 9와 같이 제작한다.

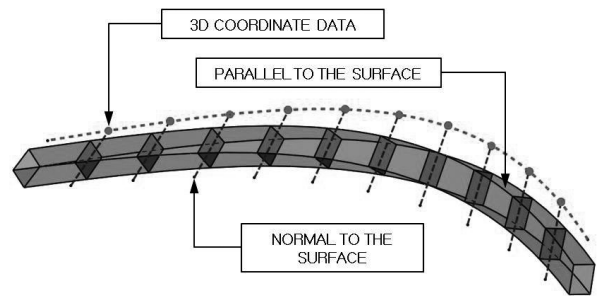


그림 8. CNC Twisted Tube의 제작 개념도

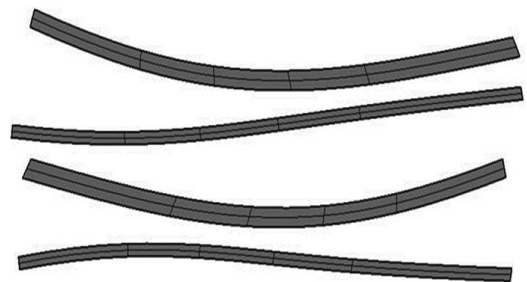
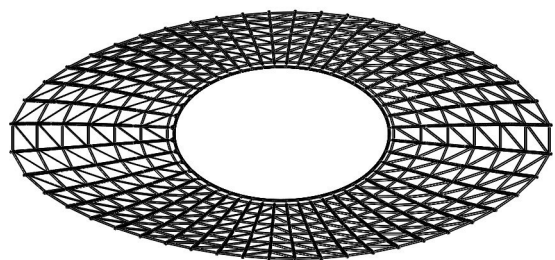


그림 9. CNC Twisted Tube의 제작을 위한 부재 전개도

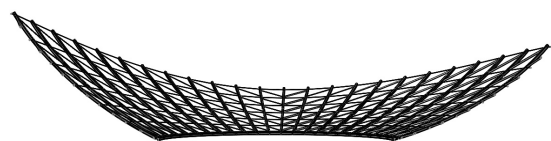
그림 9와 같이 철골 부재량을 최적화하여 손실을 최소화할 수 있다. 그림 8에서 빨간 실선이 실제 마감(ETFE와 AL Panel) 곡면이며 이에 평행하게 CNC Twisted Tube를 제작하고 설치할 수 있도록 한다.

넷째, 설계도의 지오메트리(geometry)를 유지하면서 CNC Twisted Tube 공법을 적용한 3D 구조 Modeling은 Parameter를 이용한 3D application을 통하여 그림 10, 11와 같이 최적의 형태로 구축된다.



※ 출처: 디지털 건축연구소 위드웍스

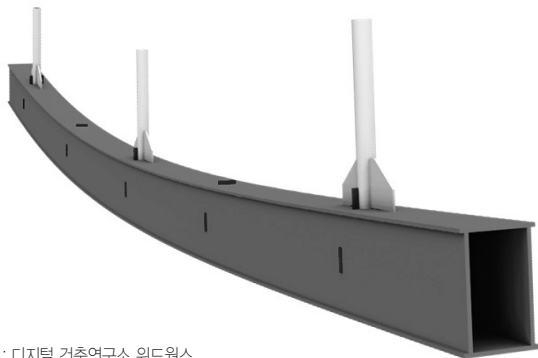
그림 10. 수정된 3차원 골조 모델 (지붕도)



※ 출처: 디지털 건축연구소 위드웍스

그림 11. 수정된 3차원 골조 모델 (전면도)

그림 12는 본 구조체에 연결된 CNC Twisted Tube의 모델링 결과를 나타낸다.



※ 출처 : 디지털 건축연구소 위드웍스

그림 12. CNC. Curved Tube의 조립도

이와 같이 철골 구조의 시공품질 향상과 후속공정의 3차원 좌표를 통합 관리하면 정확한 접합이 가능하게 할 수 있어 비정형 건축물의 형상구현에 적합하다.

4.3 디지털 실물 모형

접합부의 상세부분까지 모델링된 3D model을 이용하여 시공 순서 및 접합부 시공과정 중 발생할 수 있는 문제점 등을 사전에 파악하기 위하여 그림 13, 14, 15와 같이 Digital Mock-up을 실시하였다.

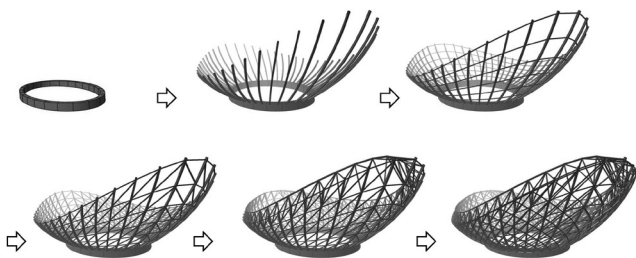


그림 13. Digital mock-up의 시공 프로세스

제작-가공용 3D Model은 디지털 최적화 단계에서 구축된 3D Model의 좌표를 기반으로 정밀 모델링되며, 두 3D Model을 대조 검토를 통하여 오차를 수정한다.

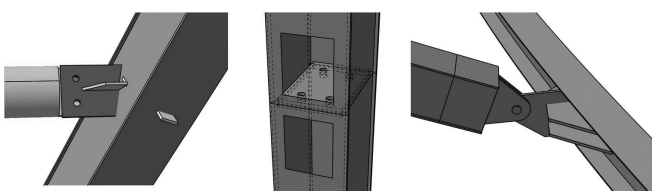


그림 14. Digital Mock-up의 3차원 상세 조립도

Digital Mock-up을 통하여 발견된 문제점들은 부재 크기 변경, 상세도 수정 등의 문제점을 보완하여 최종 3D model로 완성된다.

완성된 3D model은 통합 3차원 디지털 좌표를 생성하게 되고 이는 부재 제작과 검측의 기본 좌표 데이터로 사용된다. 통합 3차원 디지털 좌표 데이터는 공정관리, 구조체 설치와 검측 등 시공 전 단계에서 유용하게 활용된다.

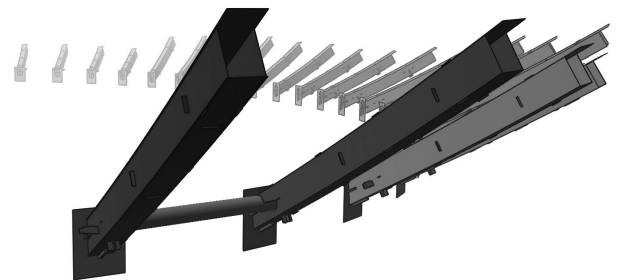


그림 15. 공장생산된 CNC Twisted Tube의 골조 부재 조립의 3차원 모델

5. 결론

비정형 건축물의 외피 시스템의 구현을 위한 디자인과 이를 구현하기 위한 구조설계, 부재의 제작과 시공 방법이 기존의 정형건축물의 방법과 다르다. 따라서 기존의 정형 건축물에 적용된 설계 프로세스와 시공 방법은 시공 하자, 재작업, 부재 손실 물량 증가, 공기 지연 등이 발생한다.

이러한 비정형 건축물의 시공품질 향상과 공기단축 및 시공비 상승의 문제점을 해결하기 위하여 비정형 건축물에 적합한 설계 최적화 기술이 필요하다. 이를 기반으로 3D 디지털 설계와 제작 기술을 적용하는 것이 중요하다.

이에 본 연구는 비정형 외피시스템의 구현을 위한 업무 프로세스를 살펴보고 비정형 건축물의 설계 및 시공 프로세스는 프로그램의 특징에 따라 비정형성을 구현할 수 있는 프로그램 도구들을 살펴보았다.

또한 비정형 건축물의 3차원 디지털 최적화 설계 프로세스 적용하여 비정형 건축물의 3D 디지털 수치 데이터 도출 방법을 고찰하였다. 본 연구에서 제안한 내용을 실제 사례인 대표 물문화관(The ARC)의 실시 설계도면과 3차원 디지털 데이터를 기반으로 분석을 위한 Parametric 3D Model을 구축하고 시공성을 검토하였다.

본 연구에서 제시한 최적화 설계 프로세스는 디지털 데이터에 기반한 Digital Mock-up이 가능하게 한다. 이는 시공성을 검토함과 동시에 시공시에 발생할 수 있는 문제점을 사전에 파악하고 수정할 수 있다. 완성된 3D model은 3차원 디지털 좌표를 생성하게 되고 부재 제작과 검측의 기본 좌표 데이터로 사용됨으로써 비정형 건축

물의 정밀한 시공이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2012-0001970)

참고문헌

김선효 · 김선효 · 박광호 · 박원호 · 백준홍 (2007). “BIM의 시공단계로 확대방안”. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제27권 제1호, pp. 785~788

문상덕 · 이상진 · 옥중호 (2009). “비정형 건축물의 시공관리를 위한 Laser Scanning 기술의 실험적 적용”. 정기 학술발표대회 논문집, 제9권, 한국건설관리학회, pp. 795~798

박정대 (2009). “건축정보모델로써 디지털마스터모델의 건축 적용특성에 관한 연구”. 대한건축학회논문집 계획계, pp. 99~106

박정근 · 이명식 (2008). “비정형 건축에 있어서 BIM(Building Information Modeling)의 적용방안에 관한 연구”. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제28권 제1호, pp. 209~212

박정욱 · 김상철 · 이상수 · 송하영 (2009). “사례분석을 통한 국내 BIM 적용 문제점 및 대안 도출에 관한 연구”. 한국건축시공학회 논문집, 제9권 제4호, pp. 93~102

안지연 · 최정민 · 권순호 · 옥중호 (2009). “비정형 프로젝트 공사관리를 위한 증강현실 기반의 디지털 콘텐츠 개발”. 정기학술발표대회 논문집, 제9권, 한국건설관리학회, pp. 778~784

윤수원 · 박광호 · 최철호 · 진상운 (2009). “국내 대형 시공현장의 BIM 도입 사례 및 시사점: 디큐브 시티 프로젝트”. 대한건축학회, pp. 52~55

이강 (2008). “비정형 건축의 시공 문제점들”. 대한건축학회, pp. 63~65

전유창 (2009). “건축 설계와 시공의 최적화를 위한 도구로서의 파라메트릭 디자인”. 대한건축학회, pp. 22~26

최순용 · 김진균 (2009). “건축정보모델로써 디지털마스터모델의 건축 적용특성에 관한 연구”. 대한건축학회논문집 계획계, 제25권 제4호, pp. 99~106

최정민 · 권순호 · 고기용 · 김대옥 · 옥중호 (2009). “3D 엔지니어

링 설계 도구를 활용한 비정형 건축물의 외장제작 도면화 개발에 관한 연구”. 한국산학기술학회 춘계 학술발표논문집, pp. 565~570

Guzik,A (2009). Digital fabrication inspired design: Influence of fabrication parameters on a design process. [master's thesis]. [London]:University College London; p. 71

Kloft,H (2009). “Fabricating architecture(selected readings in digital design and manufacturing)”. New York(USA): Rinceton Architectural Press, p. 111

Ryu,HG Kim,SJ (2012). “Case study of concrete surface design and construction method for freeform building based on BIM”. Journal of the Korean Institute of Building Construction, 12(3), pp. 347~357

논문제출일: 2013.01.02
 논문심사일: 2013.01.04
 심사완료일: 2013.03.07

요 약

최근 상당기간과 공사비를 최소화할 수 있는 비정형 건축물의 설계와 시공이 새로운 기술로 구현되고 있다. 이는 비정형 건축물의 최적화 설계와 부재화를 통한 공장 생산 시스템과 현장 조립 및 설치 기술로 가능하다. 비정형 건축물의 구현을 위한 연구가 진행되어 왔으나 여전히 비정형 건축물 시공은 설계오류와 시공자의 도면이해 부족, 시공경험 및 공법의 부재 등으로 인하여 시공 품질과 공기, 공사비 증가 등의 잠재적 리스크를 포함하고 있다. 비정형 건축물의 시공품질 향상과 공기단축 및 시공비 상승의 문제점을 해결하기 위한 3D 디지털 설계와 제작 기술을 적용하는 것이 중요하다. 이에 본 연구는 비정형 구조물의 시공성을 고려한 3차원 디지털 설계 최적화 프로세스를 제안한다. 궁극적으로 본 연구는 비정형 구조물의 구조검토, CNC(Computerized Numerical Control) 가공에 의한 부재의 정밀제작, 설치, 시공의 오차관리로 최적 시공의 근간이 되는 비정형 건축물 외피 시스템 구현을 위한 최적화 설계 프로세스를 제시한다. 본 연구는 비정형 건축물을 구현한 사례를 살펴보고 디지털 설계 프로세스와 적용 프로그램을 살펴본다. 비정형 건축물의 설계도의 3D 디지털 데이터 구축과 디지털 최적화 구현 사례로 4대강 대표 물문화관(The ARC)을 중심으로 설계단계에서 적용된 최적화 기법을 순차적으로 분석하여 비정형 건축물의 3차원 좌표제어에 대한 방법론을 제시한다.

키워드 : 디지털 실물 모형, 비정형 건축물, 설계 프로세스, 최적화
