개폐식 지붕 입체트러스를 위한 파라메트릭 모델러의 설계와 구현

정진영¹ · 정보라¹ · 김치경^{1*} · 이시은² · 김시욱¹

¹단국대학교 건축공학과, ²백석대학교 정보통신학부

Design and Implementation of Parametric Modeler for Retractable Roof Three-Dimensional Truss

Jin-Young Jeong¹, Bo-Ra Joung¹, Chee-Kyeong Kim^{1*}, Si Eun Lee² and Si-Uk Kim¹

¹Department of Architectural Engineering, Dankook Univ., Yongin, 16890, Korea

²Department of Information & Communication System, BaekSeok Univ., Cheonan, 31065, Korea

Abstract

The purpose of this study is to implement modeling by applying the parametric technique to the atypical trusses of rigid retractable large space structures. The retractable large space structure requires a lot of time and skill in modeling nonlinear shapes or generating, interpreting, and reviewing many models by alternative. To solve these problems, we introduce firstly parametric modeling tool, secondly, we analyze the connection of atypical three-dimensional trusses of a rigid retractable large-space structure, and finally model it as parametric components of the developed trusses. Therefore, it is a future study to make effective modeling of the openable roof by developing the components that can realize the modeling of the truss classified by the opening and closing method, respectively.

Keywords : retractable structure, three-dimensional truss, parametric modeling

1. 서 론

1.1 연구의 배경

세계적인 대공간 건축물의 건설사례를 살펴보면 대다수의 나라에서 다양한 공간 활용성을 가지는 개폐식 대공간 건축물을 건설하고 있으며(Table 1), 기존의 정형화된 형태에서 벗어나서 비정형적인 자유로운 형상으로 전개해 나가고 있는 추세이다(Bradshaw *et al.*, 2016). 하지만 국내는 건설사례가 전무하고 초기 연구개발 단계에 있으므로 관련기술에 대하여 해외에 의존하고 있는 실정이다(Kang *et al.*, 2014). 국내에 개폐식 대공간 건축물의 수요를 살펴 볼 때 문화 및 체육시설로 지어진 대공간 건축물 중 노후화가 진행된 건축물들이 상당수 있다. 이 건축물들을 리모델링하거나 전전후 사용이 가능한 건축물로 신축을 한다면 이용자들에게 편리한 시설을 제공할 뿐만 아니라 복합문화시설로 사용 가능하므로 대중문화산업 활성화에

도움이 될 것이다.

본 논문에서는 개폐식 대공간 건축물의 구조설계를 위한 파라메트릭 모델러의 개발을 목적으로 사례 분석을 통해 구조 설계에 필요한 주요 고려사항들을 도출하고, 이에 대한 설계

Table 1 Representative examples of retractable structures

Classifications	Nation	Structures	Year	Seats
Horizontal roof sliding system	Brazil	Arena da Baixada	2014	30,000
	Sweden	Tele2 arena	2013	30,000
Cylindrical roof sliding system	USA	Marlins Park	2012	37,742
	USA	NRG Stadium	2002	71,795
Dome roof sliding system	Sweden	Friends Arena	2012	54,329
	England	Wembley Stadium	2007	90,000
Dome roof rotation system	USA	New Atlanta stadium	2017	71,000
	China	Qi zhong stadium	2015	13,779

* Corresponding author:

Tel: +82-31-8005-3760; E-mail: cheekim@dankook.ac.kr

Received August 1 2017; Revised August 23 2017;

Accepted December 4 2017

©2018 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.

기법을 제시하였다.

1.2 연구의 목적

개폐식 대공간 건축물의 경우 다양한 입체트러스로 구성된 곡면의 장 스펜 구조물이기 때문에 곡면 상에 위치하는 부재들은 3차원 공간상에 표현된다. 또한 특정 규칙성을 가지고 있는 입체트러스는 위치, 형상, 재질, 접합부 등을 고려하여 초기 설계단계에서는 수많은 형상 대안들을 생성해 내야 한다. 그러나 구조엔지니어가 절점의 좌표를 일일이 모델링하는 방법은 잦은 반복으로 생기는 작업특성상 많은 시간이 소요된다(Kim *et al.*, 2012). 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 모델링에 소요되는 시간을 단축하고, 수많은 대안에 대해 반복적으로 구조해석 및 결과를 검토하는 과정을 빠르게 수행해야 한다. 그리고 구조적 성능과 경제성이 우수한 설계안을 창출해 주는 최적설계 시스템을 개발하는 것이 필요하다.

기존의 대공간 건축물 골조 물량 최적화를 위한 파라메트릭 설계 프로세스 연구에서는 비정형 대공간 건축물을 대상으로 전체 형상을 파라메트릭하게 디자인하고, 구조 형상을 변경하면서 물량 변화를 관측하여 최적안을 도출하였다(Choi *et al.*, 2017). 선행 기술을 본 연구에 적용하되 개폐식 대공간 건축물에 초점을 맞추어 진행하였다. 일반 입체 트러스와 달리 개폐로 인한 지붕 입체트러스의 이동과 적용되는 설계하중의 가변성을 고려하여 정확한 형태를 만들어 내야 한다. 이러한 개폐식 지붕은 개폐에 따라 하중 조건이 변화하기 때문에 기존의 모델링 방법으로는 정확한 구조 해석이 어려운 한계가 있다. 또한 실제 구조물에서 하중과 변형이 해석 결과와 달라 시공 오차는 물론 구조적으로 문제가 발생할 수 있었다. 이러한 문제점을 해결하고자 제시하는 파라메트릭 기법은 고정된 수치 좌표가 아닌 변수를 매개로 설계의 규칙과 논리 관계를 정의하기 때문에 반복적인 패턴을 가지고 배치되는 입체트러스를 모델링하기에 매우 효율적이며 적합하다.

따라서 본 논문에서는 파라메트릭 설계가 가능한 전산도구에 관하여 소개하고, 사례분석을 통해 개폐방법에 따라 구조시스템 및 비정형 입체 트러스 모델의 특성을 분석을 한다. 궁극적으로 개폐식 대공간 건축물 설계시 필요한 컴포넌트를 개발하여 예제 건물에 대입함으로써 구조모델링 과정에 소요되는 시간을 단축해 주는 것을 목적으로 한다.

2. 본 론

이 장에서는 파라메트릭 디자인 도구와 개폐식 대공간 건축물 구조설계 프로세스를 소개한 후 개폐방식에 따른 입체트러스의

특성을 분석하고 구조설계 시 주요 고려사항 및 문제점을 도출한다. 그 다음 문제점을 개선할 컴포넌트를 개발하여 예제모델을 통해 구현해 보는 연구내용을 소개하고자 한다.

2.1 파라메트릭 디자인 도구의 소개

파라메트릭 설계(parametric design)는 설계 의도(design intent)와 그에 따른 설계 성과(design response) 사이의 연관성을 파라미터(parameter)와 규칙으로 표현하고 정보화하는 설계 패러다임이다. 이는 건축설계를 비롯하여 다양한 분야에서 복잡한 형상 또는 구조물을 표현하고 처리하기 위하여 활용되고 있으며, 점차 적용 범위도 확대되고 있다. 하지만 건축물 구조설계를 위한 관련 설계도구 및 기술은 상용화되지 않은 상황이며 엔지니어나 일부 프로젝트에 제한적으로 적용되고 있다. 구조설계 분야에서 파라메트릭 설계 도입이 활성화되지 않고 있는 것은 구조계획, 구조해석, 성능 검토, 부재 상세 설계 등 전문적인 구조설계 업무를 지원하는 설계도구 개발이 미진하기 때문으로 판단된다. 그러므로 파라메트릭 모델링과 최적설계 시스템 개발은 기존의 범용 구조설계 기술 환경을 기반으로 하여 적용하기 위한 필요한 요소기술들을 개발하여 파라메트릭 구조설계 프로세스를 구축하는 방법이 필요하다.

Fig. 1은 본 연구에서 개발한 파라메트릭 구조설계 시스템의 구성도를 보여준다. 3차원 형상 표현을 위한 그래픽 플랫폼으로 라이노 세러스(rhino)를 사용하였다. 라이노는 정밀한 3차원 곡면 모델링을 제공할 뿐만 아니라 강력한 인터페이스 API(application programming interface)를 통하여 3차원 형상과 모델링 기능을 활용한 추가 기능 개발이 가능하다(McNeel, 2006). 파라메트릭 모델링 엔진으로는 그래스하퍼(grasshopper)를 도입하였다. 그래스하퍼는 진술한 라이노에 플러그인 되어 동작하는 비주얼 프로그래밍 언어이다. 컴포넌트로 표현되는 설계요소간의 상관관계를 규정하는 방법으로 파라메트릭 모델링이 가능하다. 또한 SDK(software development kit)를 제공함으로써 추가적인 컴포넌트 개발과 이를 이용한 파라메트릭 모델링이 가능하다.

선행연구로 그래스하퍼를 이용하여 일반 건축구조물의 파라메트릭 모델링과 구조해석, 다양한 대안 창출 등의 최적설계를 위하여 필요한 기능들로 구성된 스트라우토(strauto)가 개발되었다(Kim *et al.*, 2010). 스트라우토는 구조체 형상을 제어하는 매개변수들을 관리하면서 해석모델을 생성, 변환해 외부의 구조해석 솔버로 보내고 그 해석결과를 실시간 피드백 받아 평가한다. 그리고 평가된 해석결과가 특정 목표치(최적값)에 도달할 때까지 새로운 파라미터 조합을 생성함으로써 해석모델을 진화시킨다(Choi, 2014).

본 연구에서 개발하는 RSAuto는 일반 건축구조물 대상의 StrAuto가 제공하는 컴포넌트와 설계 프로세스를 바탕으로 하여, 개폐식 대공간 건축물의 설계과정을 지원하는 특화된 기능을 추가적으로 개발함으로써 완성되었다(Fig. 1).

Fig. 1 Configuration of parametric structural design system

2.2 개폐식 대공간 건축물의 구조설계 프로세스

본 연구에 적용한 구조설계 프로세스는 Fig. 2와 같이 5단계의 절차로 수행된다.

1단계는 3차원 곡면을 가지는 입체트러스로 구성된 골조 및 개폐식 지붕 구조물을 모델링하고, 파라미터(설계변수)의 조절로 수많은 구조시스템 대안을 실시간 생성한다. 또한 설계하중 입력 등 서브시스템 단위의 모델링 기능을 제공한다.

Fig. 2 Process for parametric optimization

2단계는 범용 구조해석 프로그램과 실시간 연동하여 골조 모델에 변경이 생기는 경우 실시간으로 그 정보가 구조해석 프로그램에 전달되어 해석이 실행되고, 결과와 성능이 다시 모델러에 전달되도록 만든다.

3단계는 구조해석 프로그램과의 연동 기능을 이용하여 성능을 확인하면서 동시에 설계변수를 자동으로 변경하여 최적의 구조시스템 대안을 창출해낸다.

4단계는 수천의 디자인 대안들을 생성하고 그 성능을 평가하여 최적 안을 결정하는 과정은 컴퓨터에 의하더라도 많은 시간이 소요될 수가 있다. 대안들을 평가하는 작업을 다수의 컴퓨터들에 분배하고 할당함으로써 동시에 수많은 디자인 대안들을 평가하고 검토한다. 이는 기존의 설계방법에서 발전하여 단시간에 최적 설계가 가능하게 한다.

5단계는 개발된 컴포넌트를 예제건물에 적용하고 효용성 검증을 통하여 보완된 컴포넌트를 최종적으로 개발한다.

2.3 개폐방식에 따른 입체트러스의 분석

강성 개폐식 대공간 건축물은 지붕의 개폐방향, 축(axis), 형태에 따라서 구조시스템이 구분된다. Fig. 3과 같이 해외 사례를 통해 지붕의 개폐 유형에 따라 대표적인 예를 구분하였다. 개폐지붕형태는 지붕면이 직선 또는 곡면 트러스에 따라 개폐되는 시스템이기 때문에 개폐지붕 또한 지붕면과 같은 형태이다(Choi *et al.*, 216).

수평 지붕 슬라이딩 시스템(horizontal roof sliding system)은 개폐식 구조물 중 가장 기본적인 형태를 가지며 지붕면에 따라 수평방향으로 열리고 닫히는 시스템이다. 원통 지붕 슬라이딩 시스템(cylindrical roof sliding system)은 수평 지붕 슬라이딩 시스템에서 변형된 형태로 2~3개로 분할된 지붕면들이 같은 방향으로 이동된다. 돔 슬라이딩 시스템(dome roof sliding system)의 개폐방식은 수평 지붕 슬라이딩 시스템과 유사하나 곡률을 가지는 지붕면에 따라 열리고 닫히는 시스템이다. 돔 지붕 회전 시스템(dome roof rotation system)은 지붕의 축을 중심으로 회전 이동하면서 열고 닫는 방식이며, 돔 지붕 중앙부를 카메라 렌즈와 같은 방식으로 열고 닫는 방식도 있다.

2.4 요소 기술 도출

개폐식 대공간 건축물 설계에서 가장 고려해야 할 주요부분은 고정된 지붕 트러스와 개폐되는 지붕 트러스 간에 시공오차를 최소한으로 하는 것이다. 그러므로 엔지니어는 개폐상태에 따라 변화하는 구조물의 형상 및 지붕구조물의 자중, 활하중, 적설

(1) Horizontal roof sliding system

(2) Cylindrical roof sliding system

(3) Dome roof sliding system

(4) Dome roof rotation system

Fig. 3 Classification of retractable roof systems

하중, 이동하중 및 대차(bogies)장치의 구조적 구동메카니즘 등을 복합적으로 고려하여 설계가 이뤄져야 한다. 다음과 같이 개폐식 지붕 입체트러스를 위한 파라메트릭 모델러에 적용할 요소 기술을 도출해 보았다.

첫 번째, 비정형성 곡률을 가지는 개폐식 대공간 건축물은 구조적 역할에 따라 개폐되는 지붕 트러스, 개폐지붕을 지지하는 하부 주 트러스(primary runway truss), 보강역할을 하는 부 트러스(secondary truss) 등으로 구성되어 있다. 이러한 개폐식 대공간 건축물을 모델링의 효율성을 높이기 위해 트러스를 유형별로 생성하는 입체트러스 컴퍼넌트가 필요하다.

두 번째, 전체 구조물 거동 및 성능에 큰 영향을 미치는 트러스의 교차부(접합부)는 다양한 유형으로 이뤄진 입체트러스의 부재수와 각도에 따라 매우 복잡한 형태로 접합된다. 따라서 교차부에서 다양한 설계변수를 고려한 분석이 이뤄져야 하며, 파라메트릭 설계 기법을 적용이 가능하도록 교차부 자동 생성 알고리즘이 필요하다.

세 번째, 개폐되는 지붕트러스와 이를 지지하는 트러스 간에는 지붕이 개폐될 수 있도록 레일이 설치되어 있다. 두 트러스 간에 이격이 발생하는 이 부분에 구조해석 수행을 위해서는 개폐지붕의 하중이 하부 트러스부재로 전달될 수 있도록 구조적인 요소가 추가되어야 한다. 구조요소로는 탄성연결요소(elastic link)를 이용하여 두 절점을 강성으로 연결하였다.

Fig. 4 Relation between the retractable roof structure and the lower primary runway truss

그러나 지붕이 개폐되면서 지지되는 하부 트리스의 절점이 변화하게 된다. 수작업으로 모델링하는 방법으로 두 절점에 강성을 부여해 주는 방식은 작업의 효율이 매우 떨어진다. 위와 같은 문제를 파라메트릭 모델링 기법을 이용하여 개폐지붕 트리스의 절점과 가까운 하부 절점을 자동으로 찾아 두 절점 간을 탄성연결요소로 연결시키는 컴포넌트가 필요하다.

네 번째, 지붕의 개폐율에 따라 변화하는 설계하중(고정하중, 활하중, 적설하중, 풍하중)을 자동으로 산정하고 입력하는 모듈이 필요하다. 또한 탄성연결요소로 모델링 되어진 레일 부분에는 개폐되는 지붕의 특성에 따라 지붕트리스에 차륜하중이 이동하중으로 취급되어 더해진다. 수직하중으로 최대차륜하중과 충격력이 작용하며, 주행방향인 부재의 수평방향으로 제동력에 의한 하중이 하부 구조물에 전달된다. 또한 전체좌표계(global coordinate system)에 따라 입력되는 하중들은 구조물의 곡률이 변함에 따라 자동으로 요소좌표계(element coordinate system)로 치환하여 입력할 수 있어야 한다(Fig. 4).

2.5 파라메트릭 컴포넌트 개발

앞서 기술한 개폐식 지붕 입체트리스를 위한 파라메트릭 모델러에 적용할 요소 기술을 토대로 아래와 같이 컴퍼넌트를 개발하였다.

2.5.1 입체트리스 모델링 컴퍼넌트(3D truss component)

선(curve)의 양단 절점 정보를 불러와 사용자가 원하는 입체 트리스 형상으로 모델링할 수 있다. 입체트리스의 크기, 종류, 간격, 곡률, 부재의 속성을 파라미터(parameter)로 설정하였다. 또한 입체트리스 간의 교차부는 Fig. 5와 같이 교차부만 따로 생성 하여 접합부분에서 부재가 겹치는 문제점을 최소화하였다.

Fig. 5 Modeling of truss joints

2.5.2 링크 컴퍼넌트(link element component)

개폐지붕의 설계하중이 하부 트리스 부재로 전달될 수 있도록 지붕 트리스의 하부 절점과 가까운 절점을 자동으로 찾아 두

Fig. 6 Implementation of the link element component

절점 간을 탄성연결요소(elastic link)로 연결해 주는 기능을 가지고 있다(Fig. 6).

(a) Parameter1 - size of structure

(b) Parameter2 - curvature of structure

(c) Parameter3 - number of trusses

(d) Parameter4 - type of truss

(e) Parameter5 - area of design loads

(f) Parameter6 - direction of design loads

Fig. 7 Type of parameters

2.5.3 오버랩 컴퍼넌트(overlap component)

개폐됨에 따라 변화하는 하중을 자동 산정해주는 기능을 가지고 있으며, 지붕구조물을 선행으로 정적 해석 후 반력 값을 좌표에 맞게 자동 입력 해 준다.

위와 같이 개발된 컴퍼넌트는 파라메트릭 모델링을 통해 개폐식 대공간 건축물의 비정형 형상을 쉽게 재현할 수 있다. 또한 자동으로 산출된 하중 정보를 토대로 개폐됨에 따라 변화하는 구조물의 거동을 정확하게 예측할 수 있다.

다음 장에서 개폐식 대공간 건축물에 특화된 기능을 가지는 컴포넌트를 예제모델을 통해 구현해 보고자 한다.

2.6 예제모델을 통한 구현

2.6.1 설계개요

개발한 컴포넌트는 수평 지붕 슬라이딩 시스템을 가지는 예제모델을 통해 구현해 보았으며, 원안의 설정 값은 Table 2와 같다.

Table 2 Input data(original)

	Primary runway truss	Secondary truss	Moving roof truss
Length(m)	110	130	130
Number(ea)	2	8	6
Division(ea)	14	16	16
Curvature	1/3	1/5	1/5
Type	Pratt truss	Pratt truss	Pratt truss
Horizontal	P-1,280×40t	P-1,240×40t	P-860×22t
Vertical	P-1,240×28t	P-860×22t	P-720×12t
Diagonal	P-1,240×22t	P-860×22t	P-720×12t

2.6.2 설계하중

고정하중은 자중에 마감하중 1kN/m^2 을 추가하였고, 활하중 1kN/m^2 , 적설하중 0.5kN/m^2 으로 적용하였다. 풍하중은 기본풍속 30m/s , 지표면조도구분 C, 풍속고도분포계수 1.0, 지형계수 1.0, 중요도 계수 1.0으로 가정하였다. 지붕구조물의 주행에 따라서 수직방향으로 충격하중과 수평방향으로 제동력에 의한 하중이 작용한다. 건축구조기준에 따라 충격하중은 주행 속도가 60m/min 미만인 경우는 최대 차륜하중의 10%, 60m/min 이상인 경우에는 20%가 더해지며, 제동력에 의한 수평하중은 최대 차륜하중이 15%이다.

2.6.3 형상모델링 순서

아래 순서와 같이 RSAuto를 이용하여 예제모델의 형상을 모델링하였다. 먼저 XY평면에 전체 구조물의 크기로 사각형을 생성한 후 주 트러스(primary runway truss)에 해당하는 X축 방향으로 곡률(curvature)을 반영한 선(curve)을 만든다.

이 곡선을 트러스 간격에 따라 분할하고, 입체트러스 모델링 컴퍼넌트를 이용하여 트러스 생성한다. 주 트러스에서 절점들을 추출해 Y축 방향으로 선을 생성한다. 개폐구간에는 개폐지붕 트러스(moving roof truss), 그 외 부분은 부 트러스(secondary truss)가 된다.

Fig. 8 Modeling procedure using a RSAuto

2.6.4 구조해석 및 대안별 결과 비교

RSAuto는 외부 구조해석 프로그램인 SAP2000과 연동이 되며, Fig. 9와 같이 3단계로 구성된다. 해석에 필요한 건물의 정보를 입력하는 전처리(pre process)부분, 외부 구조해석 프로그램으로 정보를 넘겨 해석한 후 결과를 가져오는 해석(analysis)부분, 해석결과를 출력하는 후처리(post process)부분으로 나타낼 수 있다.

Fig. 9 Modeling process

위와 같은 구조해석 프로세스를 통해 구조시스템의 원안의 해석을 수행하였으며(Fig. 10), 최적안을 찾기 위해 설계하중 및 지지조건은 같으나 트러스의 개수 및 형상을 파라메터로 설정하여 원안과 처짐 및 물량을 비교해 보았다.

원안(Table 2)과 비교할 대안은 주 트러스와 부 트러스의 개수를 파라메터로 설정하였고, 비교한 결과 트러스의 개수와 물량 및 처짐의 상관관계에 따라 다음과 같은 결과 값을 나타냈다.

Fig. 10 Stress result of trusses(Original)

Table 3 Comparison of quantity and maximum deflection by number of trusses

	Ori.	Alt A	Alt B	Alt C	Alt D
Division of the Pri. truss(ea)	14	12	14	16	16
Division of the Sec. truss(ea)	16	14	14	16	18
Quantity(m ³)	3,409	3,103	3,232	3,550	3,721
Deflection(mm)	181	185	169	168	178

트러스의 개수에 따른 물량과 치짐을 비교해 본 결과 대안 B가 구조적인 성능이 우수하였다. 추가로 대안 B의 트러스 춤(수직재의 길이)을 500mm씩 늘려가며 4개의 대안을 생성하고 비교해 본 결과 대안 2를 최종안으로 정하였다(Table 4).

Table 4 Comparison of quantity and maximum deflection by length of vertical trusses

	Alt B	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4
Length of the Ver. truss(m)	6	6.5	7	7.5	8
Quantity(m ³)	3,409	3,258	3,260	3,265	3,271
Deflection(mm)	181	171	170	170	169

초기 원안과 최종안(대안 2)의 결과 값을 비교해 보면 물량은 약 4%, 최대 치짐량은 약 6% 감소하였다. 또한 Table 5는 트러스의 유형별로 구분하여 물량을 비교해 본 결과 값을 나타낸다.

Table 5 Comparison of quantity by type of trusses

Type of trusses	Original (m ³)	Alt 2 (m ³)	Reduction (m ³)	Reduction rate(%)
Ver.	2,434	2,336	- 98	- 4.0
Hor.	192	178	- 14	- 7.2
Dia.	783	746	- 37	- 4.7
Pri.	855	834	- 21	- 2.4
Sec.	1,848	1,743	- 105	- 5.6
Retr.	706	683	- 23	- 3.2

3. 결 론

본 논문은 개폐식 대공간 건축물의 구조설계를 위한 파라메트릭 모델러인 RSAuto의 개발에 관한내용이다.

우선 파라메트릭 설계에 필요한 전산도구 및 설계의 개념을 소개하였고, 선행으로 개발된 일반 건축구조물의 파라메트릭 모델링 및 최적화설계가 가능한 StrAuto를 바탕으로 연구를 진행하였다. 개폐식 대공간 건축물에 특화된 모델러 개발을 위해 사례분석을 통해 개폐방법에 따라 구조시스템 및 비정형 입체 트러스 모델의 특성을 분석하여 구조설계에 필요한 주요 고려사항들을 도출하였다. 필요한 요소기술을 토대로 컴포넌트를 개발하였으며, 개폐식 대공간 건축물의 비정형 형상 모델링 기능과 개폐에 따른 구조적 특성을 반영하여 구조물의 거동을 정확하게 예측하는 기능을 가지고 있다. 또한 상용 구조해석 프로그램과의 연동 모듈, 대안 생성 및 평가 모듈로 플랫폼을 구성하여 완성되었다.

개발한 RSAuto를 이용하여 수평 슬라이딩 개폐 시스템인 예제 모델을 구현해 보았다. 개폐식 지붕 구조시스템의 모델링을 설정된 파라미터들의 변경만으로 구조해석까지 가능하게 되어 구조해석 수행에 걸리는 시간을 단축할 수 있었다. 추후 개발한 기술을 다른 유형의 개폐식 시스템에 적용하여 검증하는 연구가 필요하다

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비 지원(16 AUDP-B100343-02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi, H.C. (2014) The Parametric Structural Optimization with StrAuto, *Rev. Archi. & Build. Sci.*, 58(2), pp.50~54.
- Choi, H.C., Lee, S.E., Kim, C.K. (2016) Development of a Parametric Design System for Membrane Structures, *J. Korean Assoc. Spat. Struct.*, 16(3), pp.29~36.
- Choi, H.C., Lee, S.E., Kim, C.K. (2017) Parametric Design Process for Structural Quantity Optimization of Spatial Building Structures, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 30(2), pp.103~110.
- Kang, J.W., Kim, G.C., Kim, H.S., Seok, G.Y. (2014) The Present and Future of Retractable Roof Structures, *J. Korean Assoc. Spat. Struct.*, 14(3),

- pp.24~31.
- Kim, C.K., Lee, S.S., Choi, H.C.** (2010) A Study on Parametric Modeler to Generate Structural Analysis Model, *Proc. Annual Conf. Computational Struct. Eng. Inst. Korea*, 23(1), pp.247~250.
- Kim, Y.M., Kim, C.K., Choi, H.C.** (2012) Selection of Optimal Structural System for Complex-shaped Super-tall Building Structural Systems Using Parametric Design Technique, *J. Archi. Inst. Korea Struct. & Constr.*, 28(1), pp.77~84.
- Kim, Y.M., Lee, S.G., Kim, C.K., Choi, H.C.** (2012) A Case Study on the Field Application of Parametric Design Technique for Optimization of Outrigger System High-rise Building Structures, *J. Archi. Inst. Korea*, 28(12), pp.45~52.
- Na, Y.M., Lee, J.H., Kang, J.W.** (2012) Interface Technique for Optimization of Free-form Structural System, *J. Korean Assoc. Spat. Struct.*, 12(1), pp.43~50.
- Park, K.G., Lee, D.W.** (2016) A Study on the Structural System of Retractable Large Span Cable Structures, *Proc. Korean Assoc. Spat. Struct. 2016 Spring Conf.*, 12(1), pp.61~62.
- Richard, B., David, C., Mousa, G., Amir, M., Patrick, T.** (2016) Special Structures: Past, Present, and Future, *J. Struct. Eng.*, 29(5), pp.447~454.
- Song, C.H., Kim, C.K., Lee, S.E., Choi, H.C.** (2016) Establishment of Rebar Quantity Estimation in BIM-based Initial Design Phase, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 29(5), pp.103~110.

요 지

본 연구의 목적은 강성 개폐식 대공간 건축물의 비정형 입체트러스를 파라메트릭 기법을 적용하여 모델링을 구현하는 데 있다. 개폐식 대공간 건축물은 비선형성 형상을 모델링하거나 다수의 모델을 대안별로 생성, 해석, 검토하는 과정에 많은 시간과 기술이 소요되는 것이 현 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 첫째로, 개발에 사용된 파라메트릭 모델링 전산 도구를 소개하고, 강성 개폐식 대공간 건축물의 비정형 입체트러스를 분석하며, 개발한 입체트러스의 파라메트릭 컴포넌트로 모델링을 구현하게 된다. 따라서 지붕이 개폐되는 방식으로 구분한 입체 트러스 종류의 모델링을 구현해 낼 수 있는 컴포넌트를 형상이나 기능에 따른 각각 대안별로 개발하여 효율적인 개폐식 지붕의 모델링을 가능하게 하는 것이 추후 연구사항이다.

핵심용어 : 개폐식 구조물, 입체트러스, 파라메트릭 모델링