

# 3D 엔지니어링 설계 도구를 활용한 비정형 건축물의 외장제작 도면화 개발에 관한 연구

최정민\*, 권순호\*, 고기웅\*\*, 김대옥\*\*\*, 옥종호\*

\*서울산업대학교 건축공학과, \*\*고기웅사무소, \*\*\*디오펜 코리아  
e-mail : cjm8230@naver.com , ockjh@snut.ac.kr

## A study on the Development of the Building Facade Panelizing Technologies in use of Architectural Geometry Control

Jeong-Min Choi\*, Soon-Ho Kuea\*, Ki-Woong Ko\*\*,  
Dai-Ock Kim\*\*\*, and Jong-Ho Ock\*

\*Dept of Construction Engineering, Seoul National University of Technology  
\*\*office kokiwoong , \*\*\*Diopan Korea

### 요 약

국내의 비정형 건축물은 현재 도입기로, 동대문디자인파크, 전곡선사박물관, 부산국제영화센터 등이 건설 계획되어지고 있지만 대부분이 실시설계 또는 착공단계에 머물고 있고, 아직까지 구체적인 시공단계에 이른 건축물이 없는 실정으로 비정형외장재의 이중곡률 (Non-Uniform Rational B-Splines)을 반영한 프로토타이핑(Prototyping), 패널화(Panelizing), 현장조립 시 기하학 통제기법, 시공오차 측정기법, As-Planned 도면과 As-Built 도면의 비교를 통한 준공도면의 작성기법 등에 대한 준비가 절실히 필요한 상황이다. 그러나 현재 비정형 건축물의 설계는 초기계획(Concept Design) 단계에서 건축가와 구조기술자의 협업 중요성만 강조되고 있고, 건축물이 비정형화됨에 따라 기하학적으로 설계 및 시공되어야 하는 건축물의 외장재에 대한 설계방법과 시공단계에서 시공품질 확보방안, 시공하자를 유발시키는 다양한 변수에 대한 대응방안 등은 아직까지도 그 중요성을 인식하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 비정형 건축물의 설계에 사용되는 Architectural Geometry Control 도구 중 그 활용성이 부각되어지고 있는 Bentley 사의 Generative Components를 활용하여 비정형 건축물의 이중곡률 곡면외장재의 부재생산을 위한 패널화, 제작도면 추출에 관한 연구를 수행하고자 한다.

### 1. 서 론

#### 1.1. 연구의 목적

최근 세계 각국에서 건축되고 있는 비정형 건물은 과학적, 기술적, 경제적, 예술적 수준을 대표하는 랜드마크로서의 의미를 가진다. 건축물의 비정형화는 국내외 건축계의 화두로서 앞으로 이러한 추세가 지속될 것으로 전망된다. 비정형건축물 건설기술의 보유 여부는 결과적으로 국제화되어진 건설시장에서 기업의 성장에 중요한 영향을 미치게 된다. 대부분 상업건물은 경제성과 효율성을 추구하고 기능적인 측면에서의 우수성으로 건축물의 가치를 판단

하지만 비정형 건축물은 화폐가치로 따질 수 없는 많은 부가적인 효과를 제공한다.

현재 국내에서 추진되고 있는 비정형 건축물을 살펴보면 동대문디자인파크, 전곡 선사유적지, 부산 국제영화센터, 인천국제공항 교통센터 등을 들 수 있으며, 수원의 Complex Geometry 와 같은 프로젝트가 수행되기도 했다. 비정형건축 외관디자인의 경우 국내 대형 설계사에서도 수행하고 있으나 외관 디자인에 그칠 뿐, 비정형 외장재의 프로토타이핑 (prototyping)<sup>1)</sup>과 패널화(Panelizing)<sup>2)</sup>를 고려한 외

1) 프로토타이핑은 유사한 곡률 또는 변화를 가지고 있는 영역들을 묶어서 그룹화 하는 과정으로 생산단가와 공정관리를 줄이기 위해

장재 실시설계, 외장재 공장생산도면, 시공정밀도 검측을 위한 시공관리기술 등은 걸음마 단계에 머무르고 있다.

아직까지 구체적인 시공단계에 이른 건축물이 없는 실정으로 비정형외장재의 이중곡률을 반영한 프로토타이핑(Prototyping), 패널화(Panelizing), 현장조립 시 기하학 통제기법, 시공오차 측정기법, As-Planned 도면과 As-Built 도면의 비교를 통한 준공도면의 작성기법 등에 대한 준비가 절실히 필요한 상황이다.

현재 착공준비중인 동대문디자인파크의 경우, 게리 테크놀로지(Gehry Technology) 라는 해외 회사에 수십억의 컨설팅 용역비를 주고 3D 건설정보모델링 (Building Information Modeling) 작업을 진행하고 있으며 앞으로 국제건설시장에서 비정형건축물 외장재 설계 및 시공관리 기술격차가 점차 커질 것으로 예상되는 점을 감안할 때, 국내 건설산업의 기술력 확보가 시급하다.

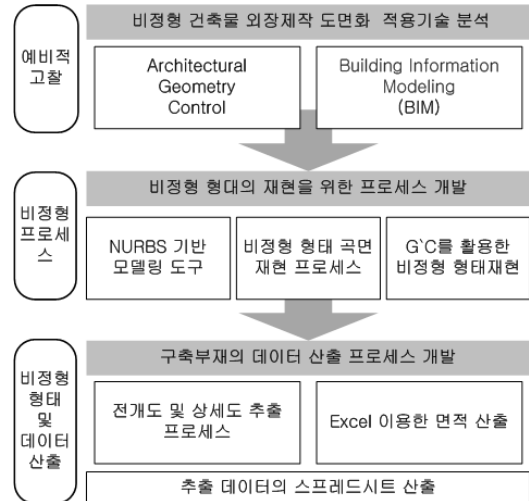
본 연구에서는 비정형 건축물의 3D엔지니어링 설계 도구를 활용한 비정형 건축물의 외장제작 도면화를 위한 NURBS곡면 데이터를 추출하여 BIM 데이터와 기술의 적용해 정형화할 수 있는 프로세스를 제안하고자 한다.

### 1.2. 연구의 방법과 범위

본 연구의 진행과정을 살펴보면 다음 그림 3과 같다. 비정형 건축물의 재현을 위한 설계단계에 사용되는 건축기하학관리 (Architectural Geometry Control) 도구의 특징을 분석하고 데이터를 활용한 시공단계 재현기술들을 살펴본다.

비정형 건축물의 큰 특징인 Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS)<sup>3)</sup> 기반 엔지니어링 설계 도구를 분석하고 비정형 설계의 대표적인 툴인 Bentley 사의 Generative Components<sup>4)</sup>를 사용하여

비정형 형상을 재현하고 프로세스를 제안한다. 구축된 비정형 형상을 이용하여 시공을 위한 전개도면화할 수 있는 프로세스를 도출하고 스프레드시트로 추출을 통하여 연구의 효용성을 확인하는 순서로 진행한다.



[그림 1] 연구진행 순서

## 2. 비정형 건축물의 BIM 기술 적용

비정형 건물의 확산은 3차원 파라메트릭 (Parametric) 모델링<sup>5)</sup>을 중심으로 한 Building Information Modeling (BIM) 기술의 혁신적인 발전에 힘입어 가능해졌다.

비정형건축물들은 동대문디자인파크처럼 건물외관 뿐만 아니라 건물내부에도 전체 건축물 형태를 그대로 끌어들이 매우 복잡하게 설계, 시공하는 추세이다. 비정형 설계 도면화 기술 있어야 건물의 외장 부재의 도면 산출이 가능하기 때문이다 이러한 3D재현에 있어서 엔지니어링 Tool을 활용한 Building Information Modeling (BIM)<sup>6)</sup> 구축기술이 요구된다.

서는 반드시 수반되어야 하는 과정이다. 다양성은 유지하되 생산성을 높이는 방법론을 말한다.

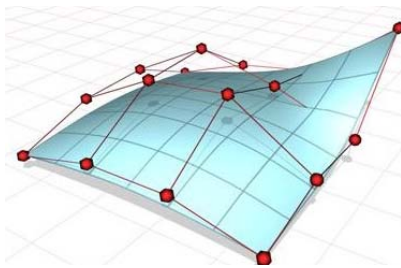
2) 비정형건물의 복잡한 외피를 시공하기 위해서는 외피덩어리를 작은 조각으로 잘라주어야 하며 이러한 작업을 패널화라고 한다.  
3) NURBS는 상용 CAD/CAM 시스템에서 가장 많이 사용하는 곡선/곡면을 표현하는 방법 중의 하나로 제어점(Control Points)과 강도(Weight), 결절 (Knots) 값들을 조절함으로써 특정형태로 만들어지게 된다. 마지막 약어인 S를 뜻하는 'Spline' 복잡한 곡면들의 여러 가지 양상을 표현할 수 있는 직접적인 비유의 맥락에서 수학자들이 차용한 개념이다.  
4) Bentley Systems 지원을 받은 Smart Geometry Workshop의 AEC분야 전문가가 Robert Aish, Hush Whitehead, Lars Hesselgren 그리고 Jay Parish의 수년에 걸친 리서치를 거쳐 최근(2007년 7월 정식버

전) 출시된 G-C는 수평적으로 연결되어 상호작용이 가능한 4개 모듈을 지원한다. : Manual geometry modeling, 모델링 토폴로지 사이의 연결 관계를 정의하고 수정해주는 Associativity editing, 디자인 프로세스 과정을 기록하고 스크립트로 저장할 수 있는 Design history, C#기반의 지원해주는 Scripting 이 그것이다.  
5) BIM에서 파라메트릭(Parametric)이란 기하학적인 정의와 연관된 데이터와의 규칙으로 구성되어 있는 것을 말한다. 예를 들어 파라메트릭 객체가 건물모델에 삽입되거나 연관된 다른 객체가 수정되었을 때, 해당 객체와 관련된 파라메트릭 규칙들에 의해 연관된 기하학 정보가 자동으로 수정된다. 또한 변경사항이 발생했을 때, 변경사항이 객체의 크기, 생산성 등과 관련하여 객체의 타당성에 위배됐는가를 객체규칙에 의해 식별할 수 있다.  
6) BIM이란 건설프로젝트의 전 생애주기 동안 발생되어지는 정보 (3차원 객체정보 + 관련된 모든 데이터)와 프로세스를 통합관리하는



[그림 2] 동대문디자인파크 내·외부

비정형건축물은 Non-Uniform Rational B-Spline (NURBS) Curve 라 불리는 이중곡률 건축 내·외장 곡면부재를 포함하게 된다.



[그림 3] 2방향 곡률의 형태

### 2.1 비정형 건축 Geometry Control 특징

현대건축 디자인에 있어서 비정형적인 건축형태로의 흐름은 디지털 매체의 급속한 발전으로 인해 작가의 창의력을 마음대로 발휘할 수 있는 여지를 마련하며, 디지털 매체를 활용한 형태변형 디자인을 통해 우연성에 기인한 창의적 건축형태를 추출해낼 수 있다는 가능성을 가진다는 점을 특징으로 한다.<sup>7)</sup> 비정형건축물을 구성하는 2방향 곡률을 갖는 NURBS는 2차원 도면으로는 구현하는데 한계가 있기 때문에 3차원 모델공간에서 도면이 완성되어야 한다.

비정형건축물의 설계 및 시공과정은 정형건축과 달리

기하학의 설정과 공유과정에 근본적인 차이점이 있으며 그런 과정에 대한 전반적인 이해에 바탕을 둔 설계와 시공의 협업 없이는 설계의도의 변질, 공기 지연, 공사비증가 등의 문제점이 발생하게 된다.

비정형 건축물의 설계와 시공과정의 협업형태는 크게 두 가지로 정리할 수 있다. 첫 번째 형태는 건

축가의 3차원 모델이 설계계약문서로서 설계자가 모델 Coordinator로서의 중추적인 역할을 하면서 기하학을 관리하는 방식 (Digitally-mediated geometry control process) 이며, 두 번째 방식은 건축가의 3차원 기하학을 시공자가 2차원 도면상의 기하학적 규칙이나 좌표 값으로 변환하여 시공자 책임 하에 모델을 재구축하는 방식 (Geometric rule-based control process) 이다. 어떠한 형태의 협업방식에 참여하든 시공자 (일반건설업체나 전문건설업체)는 비정형건축물의 구현을 위해 도면생성, 패널화 (Panelization)<sup>8)</sup>, 현장조립 및 시공 (Fabrication), 측량 및 비정형 건물선의 수평, 수직, 적정 각도유지 검증, 준공도면의 작성 등을 수행하여야 한다.<sup>9)</sup>

### 2.2 비정형 건축 재현의 문제점

비정형 건축물 재현의 문제점을 살펴보면 첫 번째로 설계단계에서 2방향 곡률을 갖는 NURBS로 이루어진 특성 때문에 도면의 작성 및 표현에 기술적 문제가 발생하게 된다. 이중 곡률을 갖는 형태는 3차원 모델 공간 재현되고 모든 도면이 만들어져야 문제없이 실현이 가능하다. 결국 비정형 건축의 설계프로세스는 대단히 많은 시간과 비용이 든다는 것이다.

두 번째 문제는 비정형적 형태와 규격화 되지 않은 건축요소 및 부재의 제작으로 인하여 건축물의 기밀, 수밀, 단열, 내풍압, 열적성능 등 질적 성능에 대한 문제가 야기된다. 또한 외장재와 구조체의 효율적 배치와 관련된 구조적 안전성에 대한 문제가 발생하게 된다.

세 번째 문제는 자재특성 및 시공 기술자의 한계로 3차원 모델공간에서의 설계가 되었다 하더라도 각 사용 부재들을 제작할 수 있는 기술과 시공할 수 있는 능력, 공사 관리 할 수 있는 기술력 등이 마련 되어있지 않아 제작과 공사비의 한계에 부딪히게 된다.<sup>10)</sup>

다음 표는 비정형 건축물 사례의 특성과 설계·시공에 있어서의 기술적 어려움을 나타낸 표이다.

환경을 제공함으로써 건설프로젝트의 효율증가, 팀워크 증진, 프로젝트 비용절감 및 공기단축에 따른 수익성 증가 등의 효과를 제공하는 개념을 말한다.

7) 박정근, 비정형건축에 있어서 BIM(Building Information Modeling)의 적용방안에 관한 연구, 대한건축학회 2008학술발표대회, 2008.10.24~25

8) 비정형건물의 복잡한 외피를 시공하기 위해서는 외피덩어리를 작은 조각으로 잘라주어야 하며 이러한 작업을 패널화라고 한다.

9) 구기홍, 3차원 기하학의 효과적인 통제를 위한 설계협업 전략, 대한건축학회지, pp. 28-31, 2008. 4월

10) 박정근, 비정형건축에 있어서 BIM(Building Information Modeling)의 적용방안에 관한 연구, 대한건축학회 2008학술발표대회, 2008.10.24~25

[표 1] 비정형건축 재현의 기술적 문제

| 프로젝트 명                   | 기술적 문제   |
|--------------------------|--|
| 동대문 디자인파크                | <ul style="list-style-type: none"> <li>칸틸레버로 이루어진 비정형 메가 트러스의 시공관리</li> <li>외장재의 도면화를 위한 3D 기술의 한계</li> </ul>                  |
| Guggenheim Museum        | <ul style="list-style-type: none"> <li>평면·입면·단면의 2D표현</li> </ul>   |
| Beijing CCTV headquarter | <ul style="list-style-type: none"> <li>칸틸레버로 이루어진 불안정한 구조계획과 연계한 디자인의 한계</li> <li>사선현상의 구조부재와 불규칙한 마감재의 제조와 시공의 어려움</li> </ul> |

본 장에서 살펴 본 비정형 건축물 설계·시공과정에서 발생하는 기술적 문제의 해결방안은 다음과 같다. 우선 3D기반과 객체기반의 특성을 가지며 자유로운 형태의 모델링이 가능한 NURBS 기반 엔지니어링 모델러를 활용한 BIM을 적용함으로써 해결될 수 있다. 모든 형태의 구현이 3차원 공간에서 이루어 질수 있다.

두 번째로 BIM 을 통한 정보모델링 구현으로 각 부재에 속성이나 특성 등 관련정보들이 입력되어 서로 유기적인 해석이 가능한 형태로 제작이 되어야 하며, 세 번째로 NURBS 기반 엔지니어링 툴의 활용으로 비정형 형태의 파라메트릭에 의한 효율적인 재현이 가능해짐으로 비정형 재현의 문제점들이 해결될 것이다.

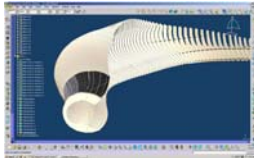
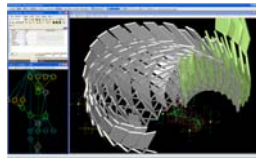
### 3. 비정형 형태의 디지털 도구를 이용한 곡면재현 프로세스

비정형 건축물의 설계에 사용되고 있는 Architectural Geometry Control 도구로는 CATIA<sup>11)</sup>, Generative Components 등의 프로그램들이 있으나 대부분 고가이고, 기존 건설 분야에서 사용해 오던 CAD기반의 프로그램들과는 사용방법이 다를 뿐 아니라 사용의 어려움이 있다.

다음은 대표적인 3D 엔지니어링 툴인 CATIA와 G'C를 비교한 표이다. 본 연구에서는 Bentley 사의 Generative Components (이하 G'C)를 중심으로 연구를 진행 하였다.

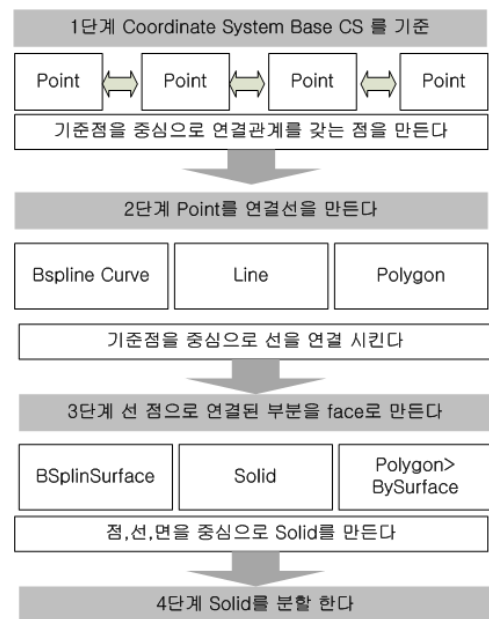
11) CATIA 는 Solid Modeling을 기반으로 3차원형상을 생성할 수 있을 뿐만 아니라 3차원 디지털 데이터로부터 직접적으로 2차원 도면정보에 대한 추출이 가능하다.

[표 2] NURBS기반 엔지니어링 모델러

| CATIA  | Generative Component   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>자동 도면생성</li> <li>곡면형상의 3D 재현</li> <li>곡면형상의 부재제작과 현장 시공에의 편의성</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>모델링을 생성하는 과정을 기록가능</li> <li>파라메트릭값설정에 의한 디자인 적용</li> <li>각요소들의 관계형 시스템 연계</li> <li>스크립트에 따라 디자인 형성가능</li> </ul>  |

### 3.1 비정형 곡면 재현 프로세스

다음은 비정형 곡면을 재현하기 위해 본 연구에서 제안한 프로세스를 나타낸 것이다.



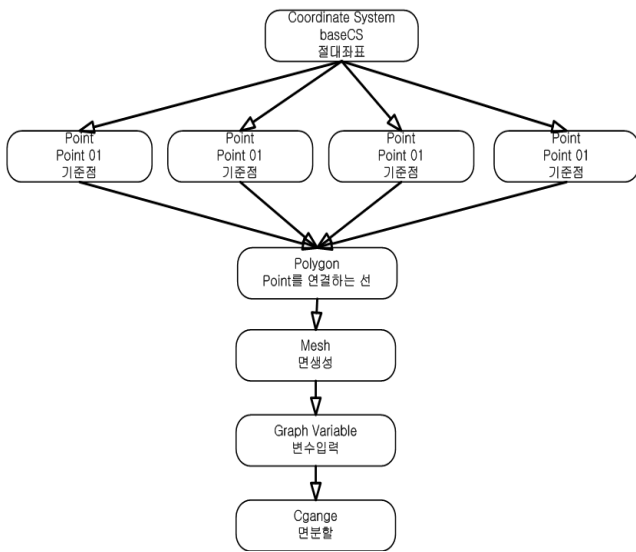
[그림 4] G.C 프로세스

모델의 재현 절차를 살펴보면 우선 첫 번째로 Coordinate System base<sup>12)</sup>에서 만들어 지는 좌표 Point을 이용하여 공간상의 위치를 지정한다. Coordinate System base는 절대 좌표로 공간상에

12) Coordinate System base은 수학적적인 정의로 데카르트 좌표계를 말한다. 직선·평면·공간에서 점의 위치를 나타내는 수의 짝을 가리킨다. 예를 들어, 해석기하학에서는 보통 원점 O에서 직각으로 만나는 두 좌표축(X축과 Y축)을 사용해서 X축에 내린 수선의 눈금이 X, Y축에 내린 수선의 눈금이 Y에 해당하는 점 P의 위치를 P(x,y)로 나타낸다.

서 기준점이 된다. 이렇게 나열된 Point들은 Line으로 연결되며, 각각의 Point는 Line과의 관계에 의해 Parameter가 생성된다. 다음으로 Line과 Line의 관계에 의해 Surface와 Solid가 생성되고, 생성된 요소들을 매개변수 방정식에 의해 U, V 좌표계에 따라 분할하게 된다. 이렇게 분할된 면을 기준으로 면적 산출과 좌표점 추출을 하게 된다.

G. C를 기반으로 모델링을 한 결과 위와 같은 알고리즘이 완성 되었으며, 각 부재 간 관계를 확인할 수 있다. 모든 부재의 관계가 사용자가 정의하는 Parameter의 속성을 가지게 된다.



[그림 5] 면 분할

### 3.2 Generative Component를 활용한 곡면 재현

앞 절에서 제시된 알고리즘에 따라 비정형 형상을 재현하고 이런 요소들은 하나의 부재로 지울 수 없기 때문에 패널화 과정을 거치게 된다. 2중 곡면의 정확한 재현을 위해 선행 되나 하는 것이 곡면부재를 몇 개의 패널로 나누어 시공하는 것과 3D 곡면부재를 제작할 수 있는 도면산출이 시공에서 핵심요인이 된다.

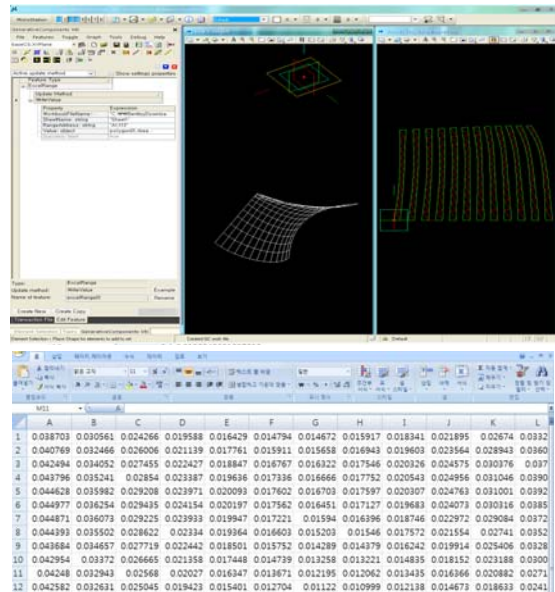
G. C에서 곡면부분의 면 분할을 아래의 그림에서처럼 나눌 수 있다. 곡면부체는 사용자가 정의에 따라 자유롭게 분할이 가능하다.



[그림 6] 3D상 변동 2D호환

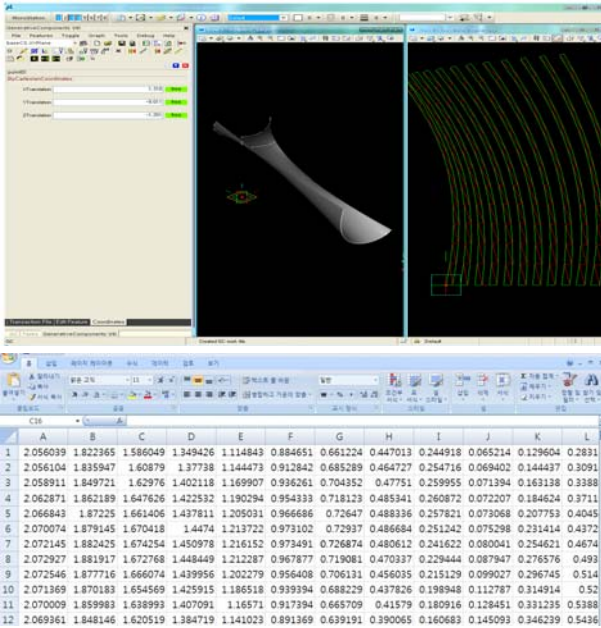
### 3.3 Generative Component 면적 산출 재현

비정형 NURBS 곡면을 2D로 전개시킬 수 있는 프로세스를 거침으로써 도면산출 엔지니어링 해석이 가능해진다. 또한 G·C에서 각 평면 요소의 면적을 스프레드시트<sup>13)</sup>에 추출하는 프로세스를 거친다.



[그림 7] 전개 도면화 (변경 전)

13) Microsoft사의 'excel'을 이용하였음. G·C는 엑셀과 직접 연동이 가능한 명령어를 지원하고 있다.



[그림 8] 전개 도면화 (변경 후)

위의 그림 10과 같이 각각의 요소들은 처음 정의된 parameter 에 의해 외형이 변경되면 스프레드 시트 상의 면적 또한 자동 변경되어진다.

#### 4. 결론 및 기대효과

본 연구에서는 국내 비정형 설계와 시공기술에 관하여 고찰하고 설계단계의 비정형 재현을 위한 프로세스를 제안하였다. 제안된 프로세스를 바탕으로 NURBS 기반의 비정형 설계도구인 Generative Components 를 활용하여 재현 하였으며, 제조 및 시공을 위한 전개도추출과 좌표추출 프로세스를 제안하였다. 이를 통하여 비정형 부재의 재현기술을 확인할 수 있었다

본 연구에서 제안한 비정형 부재의 재현 프로세스의 기대효과는 다음과 같다.

비정형건축 기술보급을 통한 건설산업 전반의 기술력 향상을 도모할 수 있다. 다양한 형태와 규모의 비정형건축물이 증가함에 따라 비정형건축기술이나 BIM 기술지식이 빈약한 다양한 규모의 설계자와 시공자들이 비정형건축시장에 새로이 참여할 것으로 예상되는 바, 비정형건축 구축에 필수적인 첨단기술의 적용방법을 개발하여 우리나라 건설산업 전반의 경쟁력 강화에 기여 할 것으로 기대된다.

향 후 제안된 프로세스와 비정형 재현기술을 이용하여 비정형부재의 제작 및 시공 파일럿 테스트를

통한 오차를 확인하고 실제 프로젝트에 적용할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] 이강, 비정형 건축시공 문제점들, 건축, 대한건축학회지, pp.63-64, 2008.4월
- [2] 박정근, 이명식, “비정형 건축에 있어서 BIM(Building Information Modeling)”, 2008대한건축학회 학술발표대회 논문집 제 28권 제 1호, 2008.10.24~25
- [3] C. Eastman, P. Teitholz, R. Sacks, K. Liston, "BIM HANDBOOK", Wiley, 2008
- [4] 구기홍, “3차원 기하학의 효과적인 통제를 위한 설계협업 전략”, 대한건축학회지, pp. 28-31, 2008. 4
- [5] 동대문디자인플라자 &파크 건설 사업관리(CM) 용역제안서
- [6] 김찬중, 다품종 소량생산을 위한 콤포넌트 개발, 대한건축학회지, pp.24-27, 2008.4월
- [7] 박정대, “ ‘비정형’ 형상의 디지털 재현” 대한건축학회지, pp.36-38, 2008.4월