

국내 비정형건축의 디지털 기술적용에 관한 연구

유정원^{1*}

¹선문대학교 건축학부

Digital Technologies for Freeform Building in Korea

Jeong-Won Ryu^{1*}

¹Division of Architecture, Sun Moon University

요약 본 논문은 최근 국내 비정형 건축설계에 적용된 디지털 기술들과 기술 적용과정에서 도출된 문제점 등을 분석함을 그 목적으로 하며, 이를 위하여 세 개의 국내 비정형 건축 사례를 선정하여 전문가 인터뷰와 문헌조사를 통하여 비정형 설계 및 시공을 위하여 적용된 디지털 기술들을 분석하였다. 그 결과 비정형 곡면을 위한 패널 최적화의 필요성, 파일 호환성 확보의 중요성, 비정형 건축의 복잡한 형상으로 인한 시공성 확보의 어려움, 패널 부재제작시 3D 데이터 수용의 어려움이 발견되었으며, 도출된 문제점에 대한 사례별 해결방안을 분석하여 보았다.

Abstract Digital technologies and raising problems in freeform building design and construction in Korea were examined in this paper. Three Korean building cases were researched by having interviews with experts and documentary survey for this purpose. The following problems and important points were drawn from this research. The necessity of panel optimization, significance of the secure file conversion, difficulties in securing constructability of freeform building and using of 3D data for manufacturing panels.

Key Words : Digital technology, Freeform building, Panel optimization, File conversion

1. 서론

1.1 배경 및 목적

비 유클리드 기하학의 등장과 함께 건축 공간에 대한 건축가의 사고가 선형적 공간 사고에서 비 선형적 공간 사고로 전환되면서 시작된 비정형 건축은 건축적 형태 생성 논리로서의 재현과 건축적 생산 논리로서의 구축을 위하여 많은 발전을 하여 왔다. 1980년대 이후 디지털 기술의 급속한 발전과 함께 비정형 건축은 그 실현가능성을 높여 왔으며, 과거에는 구축이 불가능하여 형태 생성에만 그쳤던 비정형 건축들이 오늘날 구축에 많은 성공을 거두면서 더욱 복잡하고 거대한 규모의 비정형 건축물들에 도전하고 있다. 또한 비정형 건축의 시공성과 경제성 확보가 더욱 가능해 지면서 국내에서도 그 시공

사례가 많아지고 있다. 그러나 국내에서는 비정형 건축의 역사가 오래되지 않았으며, 특히 완공된 사례는 아직까지 드문 상황이며 국내 비정형 건축의 디지털 기술도입은 그 사례나 기술을 해외에 많은 부분 의존하고 있다. 본 연구에서는 최근 들어 급증하고 있는 국내 비정형 건축 사례를 통하여 비정형 건축의 설계 및 시공단계에 적용된 디지털 기술들의 종류와 도출된 문제점들, 그리고 해결방법들을 분석함을 목적으로 하며, 이는 향후 국내 비정형 건축에의 디지털 기술 도입에 기초자료로서 큰 의미를 가질 것으로 생각된다.

1.2 연구 방법 및 대상

본 연구에서는 분석 대상 사례로 두 개의 완공된 프로젝트와 현재 공사가 진행 중인 세 가지 프로젝트를 선정

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(과제번호 2011-0024459)"

*Corresponding Author : Jeong-Won Ryu

Tel: +82-41-530-2310 email: jwryu@sunmoon.ac.kr

접수일 12년 04월 13일

수정일 (1차 12년 07월 10일, 2차 12년 08월 01일)

게재확정일 12년 09월 06일

하였다.

첫 번째 사례는 플로팅 아일랜드(Floating Island)로서 2011년 5월 완공되었으며, 한강 반포대교 남단 서래섬과 잠수교 사이에 꽃을 형상화하여 조성된 3개의 인공섬으로 구성된 수상 복합문화 레저시설로서 시공성과 경제성 확보가 필요하였던 프로젝트이다. 두 번째 사례는 화성종합운동장(Hwaseong Stadium)으로 경기도 화성시에 있는 스포츠 경기장 종합 단지로서, 2011년 10월 1일에 완공되었다. 주 경기장과 실내체육관의 상이한 높이와 구조 시스템을 갖는 두개의 매스를 연결하는 하나의 비정형 지붕을 성공적으로 해결해야 했던 프로젝트이다. 세 번째 사례인 자하하디드의 동대문 디자인 플라자(DDP)는 서울 중구 홍인문로에 위치한 동대문 운동장 부지에 설립될 디자인산업 전문 종합 지원시설이며, 2013년 7월 완공, 2014년 3월 개관될 예정이다. 이 건물은 거대한 한 판의 비정형 곡면 지붕의 디자인 원형을 유지하는 성공적인 시공과 동시에 경제적인 공사비와 합리적인 패널 제작비를 확보해야 하는 과제를 안고 있는 프로젝트이다.

이러한 특징을 가지는 세 가지 사례에 대한 연구방법은 프로젝트에 참여한 설계 전문가 인터뷰와 문헌연구를 통하여 조사 및 분석하였다.

2. 비정형 디지털 건축기술의 발전[6]

비정형건축에의 디지털 기술적용에 대한 국내 사례를 살펴보기 이전에 세계의 디지털 기술 경향을 역사적으로 간단히 파악해 보기 위해서 본 연구의 선행연구에서 조사된 비정형 건축에 적용되어 온 디지털 기술들의 시대적 특징들과 사례를 디지털 기술이 도입된 1990년대 초반부터 현재까지 살펴보면 다음과 같다.

[표 1] 디지털 기술의 시대적 특징과 적용사례
[Table 1] History and Cases of Digital techniques for Freeform Architecture

	주요경향	사례
1990년대 초반	- 디지털기술이 적용된 비정형 건축 작품 출현 - 대부분 건축가들이 건축 형태생성을 위해 사용	- Columbus Convention Center(1993), 피터 아이젠만의 접기와 펼치기 기법(Fold & Unfold)으로 완성 - Citron House(1994), Port Authority Gateway(1995), 그렉린의 파티클(Particle)과 프랙탈(Fractal), 블럽(Blob) 기법으로 완성
1990년대	- 형태생성기법에 적용 - 실물모형의 디지털테	- Walt Disney Concert Hal(1987-2003), 자동 CNC

후반	이터로의 변환 - 시공을 위한 디지털 데이터 구축 등에 일부 사용- 3D CAD시스템과 더불어 3D스캐너, CNC 장비 등도 사용	milling기법으로 CAD/CAM 기법이 최초로 적용됨 - Guggenheim Museum In Bilbao(1997), CATIA를 사용하여 비정형 설계의 과학적인 계산이 가능했음.
2000년대 초반	- 비정형 디자인의 시공 구축을 위한 기술의 한계를 극복하기 위한 시공 기술의 발전 - 건축가의 3D 디지털모델 데이터가 구축된 후 시공까지는 연계되어 사용되지 못함(시공자가 필요에 따라 전체 모델 또는 부분 모델을 재구축)	Experience Music Project(2000-2004), 3D 디지털모델을 사용하여 곡면 프레임(철제빔)을 제작 - 'Kunsthau Gras(2002), 3D 디지털모델 데이터가 외부 스킨의 철구조 최적 모델 생성 및 분석과 외피재료의 생성 및 제작에 사용됨 - MIT Stata Center(2004), 3D 설계모델을 최초로 시공자와 직접 공유.
2000년대 후반	- 설계 디지털 데이터가 시공까지 연계됨 - 형태생성에 있어서는 파라메트릭 기법을 도입한 다양한 유선형태의 건축 디자인 사례가 많아짐 - 유선형태 부재들의 제작을 위한 CNC가공 등이 적극적으로 도입 - 비정형 설계기술, 시공 기술, 구조해석기술, 부재생성기술 등에 있어서도 상당한 발전이 이루어짐	- Water Cube (2008) - Guangzhou TV tower (2010) - Hessian Cockpit in Acoustic Barrier (2005) - MARTa Museum of Future (2005) - Mercedes Benz Museum (2006) - EPFL학습센터 (2008) - BMW Welt (2007) - Zlote Tarasy, Jerde Team (2007) - Beijing National Stadium (2008) - CCTV headquarter (2008) - Infinity Tower (2009)

표 1에서 언급된 다양한 디지털 기술들 즉, 형태생성, 부재 제작, 패널 최적화, 시공, 구조계산, 협업 등을 위한 디지털 기술들의 발전은 비정형 건축물의 실현을 가능케 하였으며, 현시점에서 이러한 기술들이 국내에서는 어떻게 적용되고 있으며, 대두되고 있는 문제점들은 무엇이며, 어떠한 해결방법을 사용하고 있는지 다음과 같이 세 가지 국내 적용사례를 통하여 살펴보았다.

3. 디지털 설계기술 적용 사례

국내 비정형 건축 시공 사례인 플로팅 아일랜드, 동대문 디자인 플라자, 화성종합운동장 사례를 조사한 결과 이들 프로젝트가 비정형 건축을 설계 및 시공하는 과정에서 공통적으로 대두되었던 문제점들과 이를 해결하는 프로젝트별로 적용된 상이한 해결 방법들을 자세히 살펴

보면 다음과 같다.

3.1 패널 최적화

조사한 사례들의 가장 큰 공통적인 문제점 중의 하나는 비정형 곡면 패널의 최적화 작업의 필요성이었다. 패널 최적화 작업은 비정형 곡면의 부재제작 용이성, 시공 용이성, 공사비 절감 등을 확보하기 위해서 비정형 곡면이 분할되어 생성된 패널들을 목적에 부합하는 합리적인 형태와 수량의 패널로 대체하는 작업을 말한다. 즉 비정형 건축은 금속, 유리 등의 재료를 이용하여 구축하기 위해서는 비정형 곡면의 분절과정을 거쳐 패널화를 시켜야 하는 특징이 있으며 이러한 패널화 과정상에서 패널 생산과 시공 비용의 문제는 가장 큰 문제가 되기도 한다. 그 이유는 비정형 곡면의 분할된 패널들은 대부분 이중 곡률 곡면의 패널로 구성되게 되는데, 이때 이러한 이중 곡률 패널을 생산하려면 금속의 경우는 적게는 평면 패널 생산의 12배 이상, 유리의 경우는 40배 이상이 들게 되므로[1] 공사비 절감을 위해서는 패널의 최적화 과정을 거쳐야 하는 것이다. 이러한 패널 최적화 방법은 그 목적에 따라 구현방법에 있어서 프로젝트마다 차이점을 보인다.

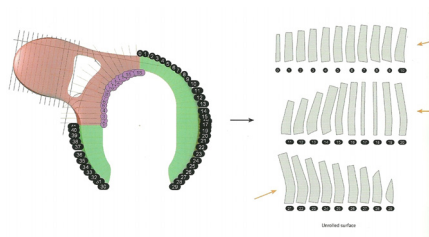
플로팅 아일랜드의 경우는 이중 곡률 곡면의 시공성과 경제성 확보를 위하여 평판 유리 패널로의 변환작업을 통하여 패널 최적화가 이루어 졌으며, 화성 종합운동장은 가전면(전개가능면)으로 비정형 곡면을 최적화한 사례이다. 반면에 동대문디자인플라자(DDP)는 비정형 지붕의 원형 곡면을 유지하면서도 패널 생산비를 최대한 감소시키기 위하여 지붕의 이중 곡률 곡면 외장패널의 비율 감소를 위한 최적화 작업을 진행하였으며, 유리공사를 위해서는 이중 곡률 유리를 단일 곡률 유리패널로의 보정화 작업을 통해 유리 패널 최적화가 이루어졌다. 프로젝트마다의 구체적인 적용방법은 다음과 같다.

플로팅 아일랜드(Floating Island)는 많은 부분이 비정형으로 이루어졌기 때문에 NURBS 곡면 설계가 용이한 모델링 소프트웨어인 Rhino가 개념설계에서 부터 사용되었으며 구축된 모델링 데이터는 명확한 시공비 절감이라는 목표에 부합하기 위하여 디자인 된 비정형 곡면을 평판 유리 패널로 재분할하는 과정을 거쳐 완성되었다. 이를 위하여 3D 모델이 시공성이 확보되는 도면으로의 변환하는 과정이 필요하였다.

플로팅 아일랜드 프로젝트에서 계획 설계 초기 Rhino에서 구현된 3D 모델은 외부 곡면 형상이 이중 곡률 곡면 형태로 구성되었으며, 이는 부재의 균일화가 불가능한 형태이므로 다양한 부재의 구성으로 인한 시공의 어려움

과 공사비의 증가가 예상되었다. 이를 해결하기 위해서 제1섬(Vista)의 경우는 이중 곡률 곡면(double curve)을 단일 곡률 곡면(single curve) 또는 사변형(quadrilateral)으로 변환하는 과정을 거쳐 최적화 작업을 진행하였다. 즉, 이중 곡률 곡면으로 형성된 곡면을 분절된 호(arc)와 직선구간으로 분할하여 이를 이용한 곡면을 재생성 하였으며, 이때 분절구간의 크기는 재료의 특성에 따라 폭과 높이가 결정되었다. 제2섬(Viva)의 경우는 평면적으로는 타원의 형상을 가지므로 같은 반경을 가지는 영역별 중심점이 각각 설정되었으며, 이를 이용한 필요 패널사이즈를 확보하는 등각의 분할이 이루어 졌다. 즉 이중 곡률 곡면의 곡선은 등분된 직선의 집합체로 변환된 후 이들을 수직으로 연결하여 평판 유리 패널을 생성하는 최적화 과정을 거쳐 완성된 것이다.

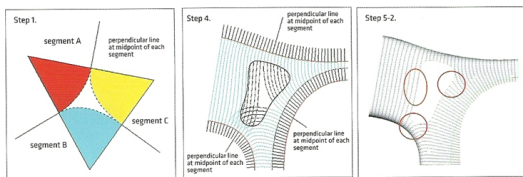
화성종합운동장(Hwaseong Stadium) 프로젝트에서는 지붕 마감재의 제작 및 시공 오차를 최소화하기 위해서 지붕의 이중 곡률 패널들의 가전면(전개가능면, Developable Surface)으로의 변환을 위한 조정이 수행되었다. 이중 곡률 곡면의 가전성이 확보되게 되면 패널을 제작하는데 있어서 절단작업 이후 힘작업을 통하여 제작이 가능한 금속 같은 재료인 경우 생산용이성이 확보되기 때문에 중요한 의미를 갖는 것이다. 곡률의 재조정 작업은 각 전개도에서 이루어 졌으며, 전개도 기준선은 곡면을 이루는 아이소 커브 등을 패턴의 기준으로 삼았다.[3] 즉, Gutter 및 골방향에 대해서 전개도상에서 급격한 곡률이 조정 되었으며, 2D에서 조정하여 3D에 반영하는 방식으로 진행되었으며[5], 이러한 가전성의 확보는 지붕재료의 정확한 제작과 시공성을 확보하게 된 것이다.



[그림 1] 지붕곡면의 전개도[3]
[Fig. 1] Unrolled Surfaces

화성종합운동장은 또한 14m정도의 높이 차이를 가지는 주 경기장과 실내체육관이 하나의 연속적인 지붕 형상으로 연결되며 연결지붕은 비정형의 형상을 이루고 있다. 이러한 형상의 지붕을 원형을 바탕으로 시공성이 확보되는 자연스러운 지붕형태로 재구성하는 작업이 이루어

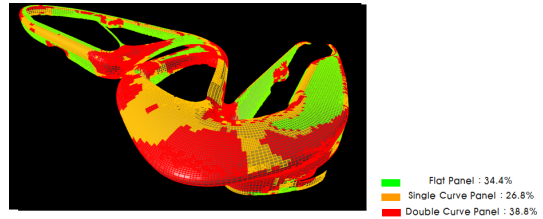
어졌으며, 이를 위해서 평면과 단면 기준을 동시에 고려한 합리적인 규칙에 의한 형태로의 수정 및 보완작업을 통해 지붕의 형상이 완성되었다. 즉 주 경기장과 실내체육관의 지붕이 연결되는 비정형 부분에 패턴의 방향이 자연스럽게 연결되지 않기 때문에 삼각형의 절개부분을 이용하여 그림 2에서와 같이 패턴 기준이 정리되었다. Step1에서 면 삼각형 절개부분의 각 변을 기준으로 지붕면을 세 개의 영역으로 나누었으며, step4에서 각 변은 삼각형 각 변의 길이 비율로 등분되었고, 나뉜 등분선은 인접한 지붕 외곽선으로 연결하여 자연스럽게 균등 분할된 패턴 기준선을 만들었다. 마지막으로 Step5-2에서 절개부분은 새로운 패턴 기준선에 맞추어 다시 조정되었다.[3]



[그림 2] 삼각형 절개를 이용한 비정형부분 패턴정리[3]
[Fig. 2] Pattern arrangement by triangle incision

동대문 디자인 플라자(DDP) 프로젝트의 진행에 있어서 해결해야 할 가장 큰 난제는 거대한 한판으로 이루어진 비정형 곡면 지붕의 패널화(Panelizing) 작업이었다. 이를 위해 자하하디드가 작업한 Rhino 모델링을 기반으로 디자인 요구사항에 따라 Evolute(패널 컨설팅업체)가 Rhino에서 패널 분할과 최적화 과정을 수행하였다. 이때 사용된 패널 최적화 방법은 다양한 이중 곡률 곡면 패널들을 제작비를 좀 더 절감할 수 있는 유사한 정형화된 패널들(평면, 원주면, 포물면, 고리면, 삼차곡면 등)로 대체하는 방법이다.[1] 그러나 워낙 굴곡이 심한 비정형 지붕이 하나의 판으로 연결되어 있는 관계로 최적화 과정 이후 패널 사이가 서로 일치하고 않고 들뜸 현상이 심하게 나타나게 되었으며, 이러한 문제점을 해결하는 과정에서 DDP의 BIM팀은 이를 Rhino 시스템의 한계로 규정하고 Digital Project(NURBS 곡면을 정밀하게 다룰 수 있는 CATIA 플랫폼을 기반으로 Gehry Technology 사에서 건축설계 지원 도구로 개발한 3D CAD 시스템)를 도입하여 오류를 수정하기로 결정하였고 자하하디드사무소(ZHL)에 의해 패널 수정작업이 진행되었다. 이때 Digital Project에서 3D 패널 데이터를 구축하기 위해서는 처음부터 Digital Project에서 모든 패널을 재모델링 할 것인지, 라이노에서 구현된 데이터를 이용하여 Digital Project에서 수정작업 할 것인지 두 가지 가능성이 있었으며, 이

중 후자를 선택하여 진행하였다. 후자를 선택하게 된 이유는 각 패널에 대한 형상정보와 다른 필요한 데이터들(패널 번호, 위치 및 지리정보, 곡률, 이름, 색상, 조명 유무, 타공 유무, 점검구, 보강여부 등)이 라이노에 이미 모두 내포되어 있었기 때문이었다.



[그림 3] 다양한 곡률의 패널 최적화[2]
[Fig. 3] Curvature optimization

또한 DDP 유리공사의 경제성을 확보하기 위한 유리 최적화작업은 다음과 같이 이루어졌다. 최초의 설계에 따르면 유리 1면당 R값을 4개씩 가졌던 이중 곡률 유리패널을 유리 1면당 R값을 1개씩 가지는 단일 곡률 유리패널로의 보정화 작업이 진행된 것이다. 이로써 모든 유리패널은 단일 곡률 곡면으로 대체되었고 부재제작의 용이성과 경제성을 확보하게 되었다.



[그림 4] 유리커브패널 보정작업[2]
[Fig. 4] Glass curvature modification

3.2 파일 상호 호환성 확보

성공적인 비정형 건축 구축을 위해서는 복잡한 3차원 형상의 2D 도면화 또는 시공성 확보를 위한 설계, 구조, 설비 등에서 사용하는 상이한 소프트웨어들 간의 파일 상호 호환성이 확보되어야 하며 이러한 파일 호환성 확보 여부가 비정형 건축의 구축에 있어서 성공여부를 결정짓는 중요한 요소 중의 하나임이 드러났다. 실제로 상이한 소프트웨어들 간의 파일 호환이 되지 않거나 불완전한 호환으로 인해 다른 소프트웨어에서 재작업을 하는 비효율적인 경우가 많이 발생하곤 한다. 이는 프로젝트 전체 업무의 효율성 저하뿐만 아니라 정확한 데이터 전이의 확보가 이루어지지 못함으로 인해서 정확한 시공을 보장하지 못하는 결과를 초래하기도 하는 것이다. 이러한

중요성 때문에 조사된 세 개의 프로젝트 사례에서는 모두 상이한 시스템들간의 파일 호환을 확보하기 위한 인 프라 구축에 힘쓰고 있었으며, 그 방법은 사용하는 CAD 시스템의 종류에 따라 차이점을 보이고 있었다. 플로팅 아일랜드와 화성 종합운동장은 데이터의 호환과 공유의 문제 해결을 위해 Dwg, Dxf 파일을 사용하였으며, DDP는 Dwg, Iges, Sat를 그 호환 포맷으로 사용하였다. 프로젝트마다의 구체적인 적용방법은 다음과 같다.

플로팅 아일랜드(Floating Island) 프로젝트는 기본설계에서 실시설계까지 각 분야별 상이한 소프트웨어들의 사용으로 인한 데이터의 호환과 공유의 어려움을 해결하고 3D 모델링 데이터의 산업생산까지의 연속성을 확보하기 위하여 처음부터 Dwg 또는 Dxf를 공유파일 형식으로 지정하여, 공유 포맷으로의 변환이 가능한 소프트웨어를 k여 사용하도록 하였다. 즉, 건축과 구조모델링을 위해서는 Rhino, 구조해석을 위해서는 Midas, 구조객체 모델링을 위해서는 TEKLA가 사용되었다. 구조해석을 위해서는 Rhino에서 형성된 3D 모델링 데이터를 기반으로 3D 기본구조요소 모델링이 이루어졌으며, 이때 구조해석을 위한 최소한의 부재 구조 중심선 모델이 형성되었다. 형성된 모델은 구조해석프로그램에서 인식하기 위해서 Dwg(Dxf)로 변환작업이 이루어졌으며, 이 공통포맷을 사용하여 TEKLA와 Midas에서 구조모델링 재생성과 구조해석 작업이 진행되었다. 이때, HTML파일을 이용한 온라인 뷰어로 구조디테일 협의의 진행하였으며, TEKLA를 이용하여 3D 철골구조 객체 샵드로잉을 작성하였다.

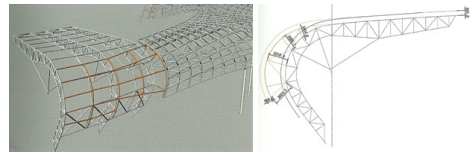
동대문 디자인 플라자(DDP) 프로젝트에서는 건물 모델링, 수정 및 조율작업을 위해 3dm(Rhino), 2D CAD 도면을 위해서는 Dwg(AutoCAD), 3D 모델링을 위해서는 Digital Project(CATPart)가 사용되었으며, 상이한 프로그램 간의 상호 파일호환을 위해서는 Rhino와 AutoCAD 간에 Dwg, Rhino와 Digital Project간에 Iges, AutoCAD와 Digital Project간에 Sat 파일형식이 사용되었다. 즉, 지붕 패널화 작업과정에서 Rhino에서 구현된 각 패널을 Iges로 Digital Project에서 import한 후 패널 사이가 일치하는 않는 들뜸 현상은 시공단계에 각 패널별로 수정작업이 이루어 졌다.

3.3 3D 디지털 모델을 활용한 시공성 확보

비정형 건축은 그 복잡한 형상으로 인해 시공, 구조 등을 위한 정확한 형상의 이해와 검토에 어려움이 있었으며, 이로 인한 시공의 난해함은 가장 큰 문제점 중의 하나로 드러났으며, 복잡한 형상을 이해할 수 있는 시각적

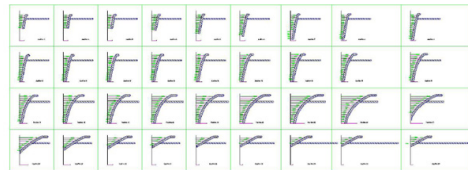
인 자료나 충분한 도면 제공의 필요성이 대두되었다. 이를 위하여 조사된 프로젝트들은 모두 3D 디지털 모델을 활용하여 그 해결점을 찾으려고 노력하였으며, 이는 디자인 전개와 정확한 형상의 이해와 검토, 설계 오류발견 등에 활용되었으며, DDP에서는 가상시공 시물레이션, 4D 시물레이션을 통한 공사진도 관리, 노출콘크리트 거푸집 단면도 생성 등에 활용되었다. 프로젝트마다의 구체적인 적용방법은 다음과 같다.

화성종합운동장(Hwaseong Stadium)의 주 경기장은 켈틀레버형 트러스 구조 시스템이 적용되었고, 실내체육관은 무주공간을 만들기 위한 스페이스 프레임 구조 시스템이 적용되어 서로 이질적인 구조부재의 접합부분은 각기 다른 곡률과 기준을 가지게 되며, 시공 이전에 이러한 부분의 정확한 형상의 이해와 검토, 설계 오류발견 등이 필요하였으며, 이를 위해 3D 디지털 모델이 사용되었다.



[그림 5] 이질적인 구조부재의 접합부분[3]
[Fig. 5] The joint between different structure

동대문 디자인 플라자(DDP)에서는 복잡한 형상과 불충분한 2D 도면으로 인해 정확한 시공을 할 수 없었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Digital Project를 사용하여 3D 디지털 모델을 구축하였으며, 이를 이용하여 설계단계의 3D 모델링 분석 및 업데이트를 통한 기본 모델 완성, 건축, 구조, 기계, 전기/통신, 조명, 소방, 토목, 조경 분야 3D 모델링, 가상시공 시물레이션 및 4D 시물레이션을 통한 공사진도 관리 등이 이루어 졌다. 또한 비정형 곡면 노출콘크리트벽을 시공하기 위해서는 일반적인 거푸집 도면으로는 시공이 불가능 하였으므로 3D 디지털 모델에서 30cm간격의 단면도를 추출하여 거푸집 2D shop 도면(dwg)을 생성하였으며, 이를 통해 비정형 곡면벽의 시공이 가능할 수 있었다.[4]



[그림 6] 3D 디지털 모델을 이용한 거푸집 생산도면 산출[4]
[Fig. 6] Mold sections by BIM technique

3.4 패널 부재 제작

비정형 곡면의 패널 최적화를 거쳐 완성된 패널들은 부재 제작사로 그 데이터 또는 도면이 전달되어 제작과정을 거치게 된다. 그러나 설계에서 작성된 3D 패널 데이터는 실제로 부재 제작사에서 직접 전달받아 생산까지 이어지지 못하는 한계점이 있었다. 즉 부재제작사의 3D 데이터 수용이 현실적으로 어려운 경우가 많은 것이다. 이러한 한계를 극복하기 위한 프로젝트마다의 구체적인 해결 및 적용방법은 다음과 같다.

부재제작을 위해서 먼저 플로팅 아일랜드와 화성 종합운동장은 부재 생산을 위한 2D 전개도가 작성되었으며, 전달된 전개도를 이용하여 부재가 제작되었다. 이는 플로팅 아일랜드의 경우는 평판 패널, 화성 종합운동장은 가전면 패널이었기 때문에 가능한 방법이였다. 좀 더 구체적인 플로팅 아일랜드에서의 적용방법은 다음과 같다. 패널, 철골 등의 건축 부재 생산을 위해서 Rhino에서 구현된 3D 모델을 모두 2D 도면화 하는 과정이 필요하였으며 이는 이론적으로는 3D 데이터로부터 직접적으로 부재 생산이 가능함에도 불구하고 부재 생산 공장의 생산과정에서 아직까지는 3D 데이터를 수용하지 못하는 기술적 한계 때문이었다. 이러한 이유로 패널 최적화 과정을 거쳐 작성된 시공성이 확보된 패널들은 Rhino의 3D 모델에서 전개도를 추출한 후 Dwg 또는 Dxf로 변환되어 부재 생산 공장으로 전달되었다. 또한 기울어진 곡면 철골기둥들은 각 층마다 상이한 기둥중심을 갖게 되므로 Grasshopper 기술(Rhino의 플러그인)을 활용한 기둥중심 3차원 좌표를 추출하는 모듈을 작성하여 구조해석과 구조 샵드로잉을 위한 디지털 데이터가 확보되었다.

동대문 디자인 플라자(DDP)에서는 패널 분할과 최적화 과정을 거쳐 완성된 정형화된 패널들 중 평판 패널과 단일 곡률 패널은 이에 적합한 제작기법을 적용하여 생산되었으나 이중 곡률 패널의 경우는 패널제작의 난해함과 고가의 제작비 때문에 많은 조사와 mock-up 과정을 거쳐 하이드로 포밍 (Hydro Forming, 철이나 폴리아미드 재질 등으로 만든 형틀에 금속판을 대고 수압으로 밀어내서 만드는 방식) 기법에 의해 생산하기로 결정되었다. 즉 패널의 3D 기하학 디지털 데이터를 CNC milling 기계에 직접 연결하여 부재를 제작하는 방법인 CNC 기법에 의해 패널을 제작하였다. 이 방법은 고가의 제작비용을 필요로 하지만 정확한 형상의 곡면 패널을 제작할 수 있는 방법이다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 비정형 건축설계 디지털 기술 적용 사례를 살펴본 결과 다음과 같은 문제점들이 도출되었으며 그에 대한 각 사례별 해결방법은 다음과 같이 분석되었다.

첫째, 비정형 곡면은 그 규모와 형태적 특성상 정형적인 건축의 공사비보다 월등히 높은 비용을 필요로 한다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 세 개의 사례에서 비정형 곡면 패널의 최적화 작업은 적극적으로 도입되고 있었으며, 또한 프로젝트의 목적, 즉 경제성 또는 심미성(원형곡면의 유지)에 따라 그 방법이 다르게 적용되고 있었다. 즉 부재제작의 용이성과 공사비 절감에 가장 큰 목적을 둔 플로팅 아일랜드의 경우는 이중 곡률 곡면을 평판 유리 패널로 변환하는 최적화 작업을 통하여 그 경제성을 확보하고 있었으며, 화성 종합운동장은 전개가능한 패널 재료의 사용과 더불어 패널의 가전면화로 비정형 곡면을 최적화하여 경제성을 확보하고 있었다. 이와는 다르게 동대문디자인플라자(DDP)는 디자이너의 의도와 심미성에 비중을 크게 두어 디자인된 비정형 곡면의 원형을 최대한 유지하면서 패널의 형태를 생산비를 절감할 수 있는 패널로 대체하는 최적화 방법을 사용하고 있었다. 즉 생산비 절감을 위한 평판 패널로의 대체 보다는 최대한 원형곡면에 가깝게 곡면 패널들을 정형화된 패널들로 대체하는 작업을 시도하였으며, 그 결과 처음에는 이중 곡률 곡면 패널이 상당 부분이었던 것이, 평판 34%, 단일 곡률 패널 27%, 이중 곡률 곡면 패널 39%로 최적화될 수 있었다. 즉 앞의 두 사례만큼 경제성을 확보할 수는 없었지만, 디자인된 원형곡면을 최대한 유지하면서 패널 생산비를 최대한 절감하려는 최적화 방법의 적용사례라고 할 수 있겠다.

둘째, 파일 호환성 확보 여부가 비정형 건축의 구축에 있어서 성공여부를 결정짓는 중요한 요소 중의 하나임이 드러났다. 상이한 소프트웨어들 간의 불완전한 데이터 호환은 프로젝트 전체 업무의 효율성을 저하시키며 정확한 데이터 전이를 확보하지 못함으로 인해서 정확한 시공을 보장하지 못할 수 있기 때문이다. 이러한 중요성 때문에 조사된 세 개의 프로젝트 사례에서는 모두 파일 호환에 대한 중요성을 인식하고 상이한 시스템들 간의 파일 상호 호환성 확보를 위하여, 모두 프로젝트 초기부터 통합하여 시행하였으며, 이러한 점은 이들 프로젝트들이 성공적으로 시공될 수 있었던 요인 중의 하나로 파악된다. 그러나 건축 산업 전반에 걸쳐 사용되는 모든 소프트웨어

들이 모두 완벽히 호환될 수는 없기 때문에 중립포맷을 통하여 소프트웨어 간 데이터 호환을 확보할 필요성이 대두되고 있으며 이에 대한 연구가 개방형 BIM(Open BIM) 연구 분야에서 활발히 진행되고 있다.

셋째, 비정형 건축은 그 복잡한 형상으로 인해 시공, 구조 등을 위한 정확한 형상의 이해와 검토 또는 설계 오류의 발견이 어려운 문제점이 있었으며, 이를 위하여 플로팅 아일랜드와 화성 종합운동장의 경우는 3D 디지털 모델을 활용하여 해결하였으며, 시공의 난해함과 콘크리트 공사를 위한 거푸집 도면작성의 어려움이 발생된 DDP의 경우 3D 디지털 모델을 활용한 가상시공 시뮬레이션 작성과 3D 디지털 모델로부터의 자동 노출콘크리트 거푸집 단면도 생성 기능을 활용하여 이러한 문제점을 해결하였다.

넷째, 부재제작사의 3D 데이터 수용이 현실적으로 어려운 경우가 많다는 한계점이 발견되었다. 즉 3D로 설계가 이루어지고 3D 디지털 마스터 모델이 작성되더라도 3D 데이터를 사용하여 부재제작이 가능한 업체가 아직은 드물다는 점이다. 이러한 한계점 때문에 부재제작을 위한 방법으로 플로팅 아일랜드 프로젝트에서는 Rhino에서 3D 모델을 작성 후 2D도면을 생산하여 제작업체로 전달하였으며, 화성 종합운동장 프로젝트에서는 가전패널의 전개도를 작성하여 제작업체로 전달하였다. 이와는 다르게 DDP의 경우는 이중 곡률 곡면 패널을 생산하기 위해서는 2D로 전환한 데이터로는 패널제작이 불가능한 경우였으며, 이를 해결하기 위하여 패널의 3D 기하학 디지털 데이터를 CNC milling 기계에 직접 연결하여 부재를 제작하는 방법인 CNC기법에 의해 패널을 제작한 사례이다.

이상으로 국내 비정형 건축 사례를 통하여 비정형 건축의 설계 및 시공단계에 적용된 디지털 기술들의 종류와 도출된 문제점들, 그리고 해결방법들을 분석하여 보았으며, 이는 앞으로 비정형 건축을 시도하려는 많은 건축가와 시공사들에게 문제점에 대한 사전 인식과 해결방안에 대한 기초자료로서 큰 의미를 가질 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 제시된 문제점들에 대한 다양하고 효율적인 해결방법에 관한 후속 연구를 통해 더욱 효율적인 비정형 건축 설계 및 시공 기술의 확보가 가능해 질 수 있을 것이다.

References

- [1] Eigensatz, M and Deuss, M and Schiftner, A and Kilian, M and Mitra, N and Pottmann, H and Pauly, M, “Case Studies in Cost-Optimized Paneling of Architectural Freeform Surfaces”, In: (Proceedings) Advances in Architectural Geometry, 2010
- [2] Han Gyusang, “Dongdaemun Design Plaza and Park”, buildingSMART Forum, 2009
- [3] Junglim Architecture(NUDL), “Design Document Series_37”, pp. 126-137, Damdi, 2011
- [4] Kim Hyunho, “Finding Solution for Construction of Non-Formal Designed Building through BIM”, Journal of the Architectural Institute of Korea (Planning & Desing) v53, n12, p92, 2009
- [5] No Hwi, “3 matrixes for 3 projects”, 6th buildingSMART Korea Workshop, 2009
- [6] Ryu Jeong-Won, “The Transition of Digital Technologies for Irregular Shaped Buildings”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.12, No.9, 2011

유 정 원(Jeong-Won Ryu)

[정회원]



- 1990년 2월: 한양대학교 건축학과 (공학사)
- 1995년 12월 : University of California, Los Angeles 대학원 석사 (Master of Arts, MA)
- 2012년 8월 : 서울대학교 건축학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 건축학부 교수

<관심분야>

건축설계 및 계획, BIM(건축정보모델링), 디지털건축