

# 3차원 디지털 설계를 통한 비정형 콘크리트 구조물의 구현기술 개발

## Development of the Free-formed Concrete Structure Construction Technologies using 3D Digital Design

박 영 미\*

조 성 준\*\*

김 성 진\*\*\*

Park, Young-Mi Jo, Seong-Joon

Kim, Sung-Jin

### Abstract

Recent the free-formed architecture is smearing as a trend with the development of the digital equipment and technologies. The development of new method based on digital technology is required for the free-formed structure, because the conventional construction methods are limited to shorten the construction period and to ensure the construction quality. Particularly, the development of the new method for the free-formed concrete structure is important. In this study, the developed method of the T-shape lightweight steel fabricated using CNC can control the geometries of the free-formed concrete structure based on the digital design. Also, new method is effective to ensure the precision of the construction and economic than the conventional construction methods.

키 워 드 : 비정형 콘크리트, 3D 디지털 설계, 시공법

Keywords : free-formed concrete, 3D digital design, construction method

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

최근 건축디자인이 정형에서 자유로운 형태로 급변화하고 있으며, 국내에서는 비정형 디자인이 설계 트렌드로 인식되어 현상설계, 턴키 등 설계 당선을 위하여 자주 적용되고 있다. 그러나 일반 건축물에 비해 비정형 건축물의 시공은 설계오류에 대한 다수의 잠재적인 리스크를 포함하고 있으며, 복잡한 형태에 대한 이해와 실제 시공 경험 부족에 따른 공기지연으로 인한 공사비의 증가와 품질저하를 가져온다.<sup>1)</sup>

특히, 비정형 콘크리트 시공에서는 구조체 형성을 위한 가설과 거푸집 설치 등 시공방법들이 우선적으로 검토되어야 하며, 대부분의 프로젝트들은 실제 크기의 모델을 제작하거나 테스트하는 등 프로젝트 그 자체에 의존적인 시공방법을 적용하고 있다.

그림 1과 같이 비정형 콘크리트 거푸집 시스템은 80년 전이나 지금까지도 목재 거푸집이 가장 일반적으로 고려되고 있다<sup>2)</sup>. 그러나 형상이 복잡한 비정형의 경우에는 형상 구현에 대한 제작비가 높아져 경제성이 떨어지므로, 철재 거푸집 또는 특수한 시공법을 적용하고 지오메트리 정보를 이용하여 형상을 정밀하게 제어하게 된다. 그러나 기존의 비정형 콘크리트 시공법들은 지오메트

리 정보를 갖고 있더라도 일회성 거푸집 및 가설재로 인하여 비경제적이고, 현장시공에 의한 시공오차, 품질확보의 한계가 존재한다.

본 연구는 3D 디지털 설계를 바탕으로 지오메트리 통제가 가능한 CNC 가공된 T형 경량철골 부재를 정확한 형태로 공장제작하여 현장시공함으로써 비정형 콘크리트 구조물의 품질확보가 가능하고, 시공성이 우수한 시공기술을 개발하여 기존 시공법들이 갖고 있는 문제점을 개선하고자 하였다.

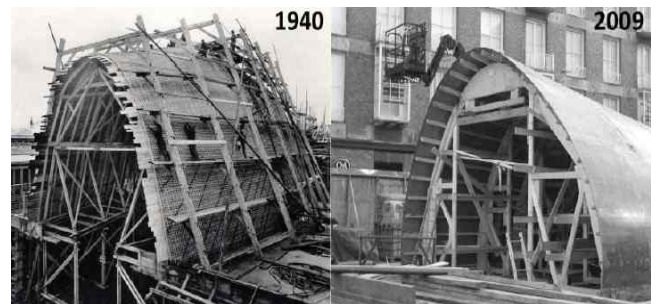


그림 1. Cement Hall (좌)과 Bicycle Parking Facility (우)의 거푸집 작업

## 2. 기존의 비정형 콘크리트 구축 공법

### 2.1 철근 트러스 월 공법

철근 트러스월 공법은 그림 2와 같이 현장에서 철근을 용접 가

\* 두산건설 기술연구소 과장, 교신저자 (youngmi.park@doosan.com)

\*\* 두산건설 기술연구소 소장

\*\*\* (주)디지털연구소 위드웍스 연구소장

공하여 트러스 형태로 구축한 후 철망거푸집 사이에 콘크리트를 타설하여 비정형 콘크리트 구조체를 만드는 방법이다. 여기서, 철망거푸집은 PE망, 메탈라스, 와이어매쉬 3층 망으로 구성된다.

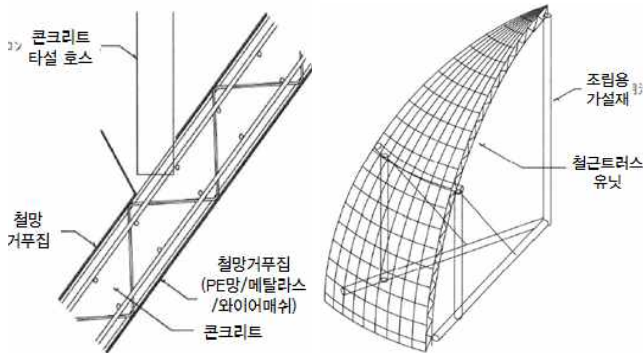


그림 2. 철근 트러스 쉘의 구성

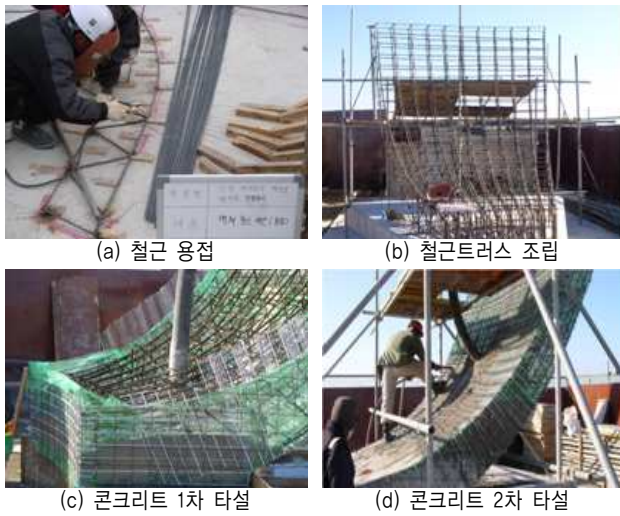


그림 3. 철근 트러스 쉘 공법 (인천 엑스포 기념관, 2010)

철근 트러스 쉘 공법은 인천 엑스포 기념관의 콘크리트 구조체 형상을 구현하기 위하여 초기에 고려된 공법으로, 현장에서 직접 조립되기 때문에 전체 지오메트리 관리가 쉽지 않고 시공오차가 다소 크게 발생하는 단점이 있다. 그로 인하여 인천 엑스포 기념관의 경우, 외피 마감패널의 경우 시공오차가 심해 수평, 수직줄눈의 위치, 패널의 평활도 문제 등이 발생하여 공법 변경이 이루어졌다.

돔과 같이 곡면이 정형일 때는 유리하고, 목재거푸집 작업이 없으므로 공기가 단축된다. 그러나 곡면 형상이 복잡한 경우 철근 가공이 쉽지 않지 않고, 규모가 크거나 복잡한 비정형 형태는 시공 정밀도 및 경제성이 떨어진다.

## 2.2 CNC 가공된 섹션 거푸집 공법

그림 4의 Meiso no Mori (Forest of Meditation) Funeral Hall(Japan, 2006)<sup>3)</sup>은 CNC(Computer Numeric Controlled)

가공된 목재 섹션 거푸집 공법이 적용된 대표적인 건축물이다. 이 방법은 3D 디지털 모델에서 추출된 수치 값으로 목재를 CNC 가공하여 디자인 형상을 정확하게 구현, 시공성을 개선하였다. 가장 보편적으로 비정형 CON'C를 시공할 수 있는 방법이나 CNC 가공된 섹션 폼을 재활용 할 수 없으므로 비경제적인 단점이 있다.



그림 4. CNC 가공된 섹션 거푸집 공법

## 2.3 EPS 거푸집 공법



그림 5. Zollhof Tower (Dusseldorf, 2000)

그림 6. DG Bank (Berlin, 2000)

EPS(Expanded polystyrene) 거푸집 공법은 CNC milling 장비를 이용하여 3D 디지털 모델의 데이터를 넘겨받아 비정형 곡면으로 성형된 EPS 거푸집을 만들어 콘크리트를 타설하게 된다.



그림 5의 Frank O. Gerhy는 Zollhof Towers의 콘크리트 곡면 형상의 외벽을 구축을 위하여 스티로폼(EPS)을 이용하여 최초의 디지털 거푸집을 제작하였다. 비정형 외벽의 콘크리트 구조체를 구축하기 위하여, CNC milling 장비로 스티로폼 거푸집을 만들고 철근배근과 콘크리트를 타설하여 355개의 콘크리트 패널을 제작하여 시공하였다. 그림 6의 DG Bank의 대회의실을 시공하기 위하여 CNC milling 장비로 성형된 EPS 거푸집을 이용하여 다시 주철 스테인레스 강판을 압축 성형하여 복잡한 곡률의 패널을 제작하여 시공하였다.<sup>4)</sup>

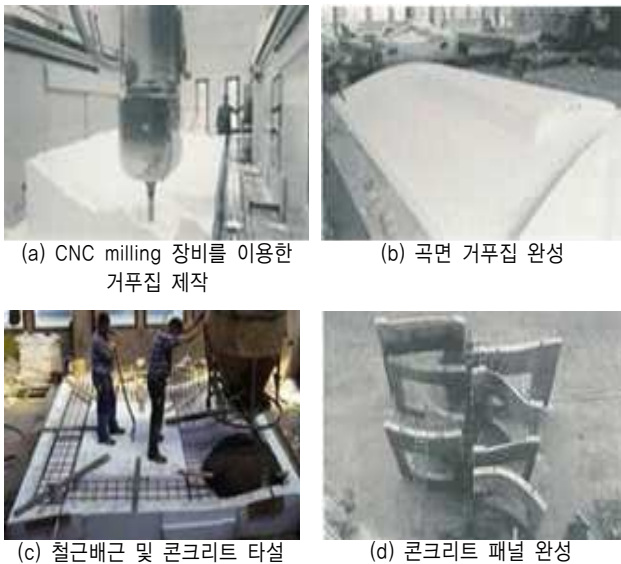


그림 7. Neue Zollhof Building(Germany, 1999)의 RC 곡면 형상 외벽 구축을 위하여 스티로폼 거푸집 형상<sup>5)</sup>

그러나 국내의 경우 CNC milling 장비가 매우 고가이고, 대형 비정형 프로젝트에 적용에 필요한 성능을 만족시키는 장비가 존재하지 못하기 때문에 현재까지는 활성화되지 못한 상황이다.

#### 2.4 철골철근콘크리트(SRC) 구조체+EPS 거푸집 공법

대부분의 비정형 프로젝트들은 보편화된 시공법으로 해결하기 어려운 경우가 많아 프로젝트 그 자체에 의존적인 시공방법을 개발하여 적용하는 경우가 대부분이다.

그림 8의 House of Music and Music Theatre in Graz (by UNStudio, 2008)<sup>6)</sup>는 기존의 시공법을 응용하여 적용한 사례이다. 건축물의 중심축을 이루는 회전계단을 시공하기 위하여 철골 구조체를 뼈대로 하여 EPS 거푸집을 설치하고 철근을 배근하여 콘크리트를 타설하여 완성하였다.

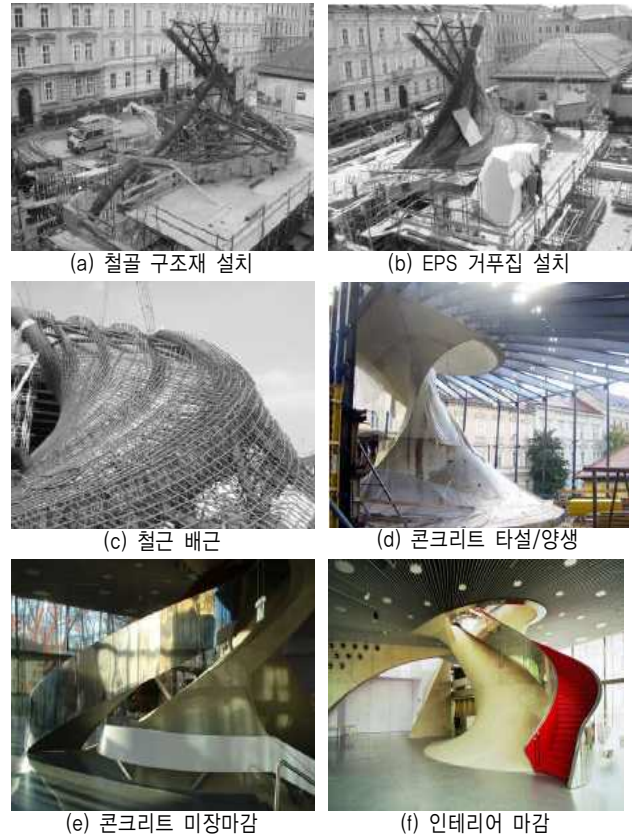


그림 8. SRC 구조체 + EPS 거푸집 공법

### 3. CNC 가공된 T형 경량철골을 이용한 비정형 콘크리트 시공법 개발

최근 비정형 형태의 콘크리트 구조물은 2장에서 살펴본 바와 같이 기존 시공방법 및 시스템으로는 시공비 절감, 공기단축, 품질확보 등에 한계가 있으며, 3차원 디지털 설계를 바탕으로 한 신공법 연구 및 개발이 요구된다.

본 연구는 3차원 디지털 설계를 바탕으로 한 CNC 가공된 T형 경량철골을 이용한 비정형 콘크리트 공법을 개발하여, 비정형 콘크리트 분야의 시공성, 경제성 및 기술력을 확보하고자 하였다<sup>7)</sup>.

개발된 CNC 가공된 T형 경량철골을 이용한 시공법은 비정형 건축물의 비정형 형태에 따라 CNC로 가공된 T형 경량철골 틀(수직 및 수평 부재 조립)을 설치한 후 그 지오메트리를 기준으로 철근 배근하여 콘크리트를 타설하는 공법이다. 이 공법은 목재 거푸집을 사용하지 않고 철근 트러스 월 공법과 동일하게 철망거푸집(PE망/메탈라스/와이어매쉬)을 이용하여 콘크리트를 타설하게 된다(그림 9).

CNC 가공된 T형 경량 철골은 지오메트리 관리를 위한 가설재 및 구조재의 역할을 겸할 수 있고, 3차원 디지털 기술에 의해 설계, 제작, 설치되기 때문에 기존의 현장제작공법들보다 시공정밀도와 경제성을 확보할 수 있다.

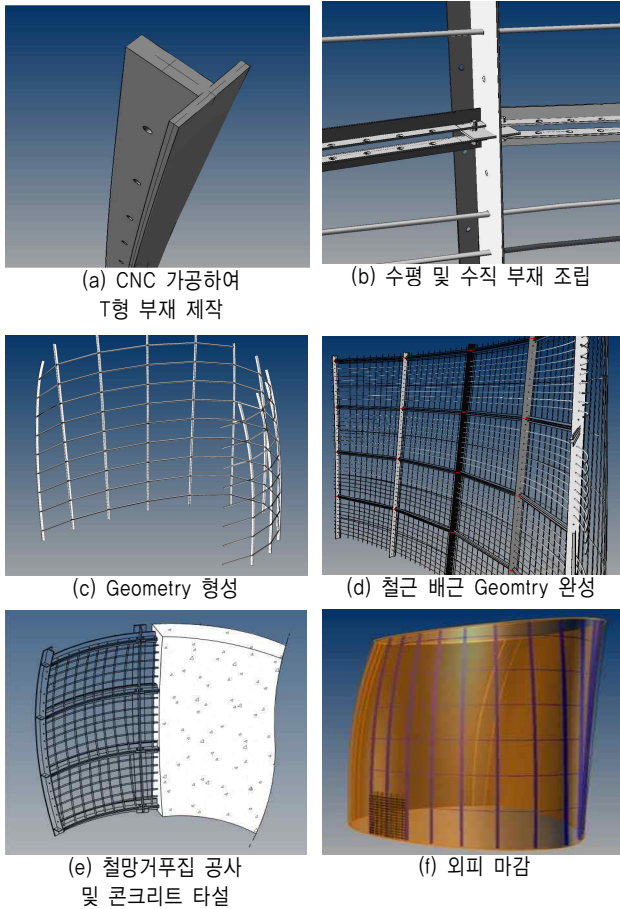


그림 9. 경량 SRC 비정형 곡면 콘크리트 시공법

기존 목재거푸집 및 CNC 가공된 섹션 거푸집 공법은 1회 사용 후 재사용이 불가하므로 비경제적이나, 본 연구에서 개발된 공법은 기존 공법이 갖는 단점을 해결할 수 있다.

## 6. 결 론

최근 건축디자인이 급속한 디지털 장비 및 기술을 바탕으로 정형에서 자유로운 형태로 급변화하고 있다. 그러나 기존 시공방법 및 시스템으로는 비정형 건축물의 시공비 절감, 공기단축, 품질확보 등에 한계가 있으며, 디지털 기술을 바탕으로 한 신공법 연구 및 개발이 요구된다.

특히, 비정형 콘크리트 형상을 구현하기 위한 경제적이고 합리적인 시공 공법을 개발하여 시공성, 경제성 및 시공품질을 확보할 필요가 있다.

본 연구에서 개발한 비정형 곡면 콘크리트 구축을 위하여 CNC 가공된 T형 경량철골을 이용한 시공법은 3차원 디지털 기술에 의해 설계, 제작, 설치가능하기 때문에 기존의 현장제작 공법에 비하여 공기단축이 가능하고 시공정밀도를 높일 수 있는 효과적인 방법이다. 또한 비정형 형태 구축을 위한 일회성 가설재가 필요 없고, 지오메트리 통재가 가능한 T형 경량철골은 구조재를 결합

수 있기 때문에 전체 재료비에 대한 절감이 가능하여 경제성 측면에서도 우수한 것이 특징이다.

## 참 고 문 헌

1. 두산건설, (주)건축사사무소 위드웍스, 비정형 콘크리트 구조물 시공을 위한 철골구조체 및 이를 이용한 비정형 콘크리트 구조물 시공방법, 특허출원 No.10-2011-0109469
2. 류호창, 디지털 디자인 프로세스에 의한 자유형태적 구조의 구축유형에 따른 특성분석, 한국디자인포럼 제25호, pp. 225-236, 2009. 11
3. 이강, 비정형 건축의 시공 문제점들, 대한건축학회지 제 52권 제 4호, pp.63~65, 2008.4
4. Bruce Lindsey, Digital Gehry, Material Resistance Digital Construction, Birkhauser, 2001
5. P. Mandl, P. Winter, V. Schmid, FREEFORMS IN COMPOSITE CONSTRUCTIONS The new House of Music and Music Theatre "MUMUTH" in Graz, EUROSTEEL, Austria, 2008. 9(c)
6. R.W.A. Verhaegh, Free Forms in Concrete fabric, Eindhoven University of Technology, MS thesis, 2010.8
7. Toyo Ito & Associates, Meiso no Mori Crematorium Gifu, 2006