

2024년 춘계학술발표대회 : 대학생부문

토요 이토의 센다이 미디어테크 건축 사례에서 나타나는 공간과 구조의 관계 분석

- 파라메트릭 구조 엔지니어링 툴 카람바 분석을 중심으로 -

An Analysis on the Characteristics of Relationship Between Space and Structure in
Toyo Ito's Architectural Design Sendai Mediatheque
- Focused on Parametric Structural Engineering Tool Karamba3D Analysis -

○이 정 원* 정 태 종**
Lee, Jeong-Won Jeong, Tae-Jong

Abstract

Previous studies on Sendai Mediatheque are mostly qualitative research that study the meaning of relationships between architectural elements and the concept of emerging grid. Due to the relative lack of analysis of the building itself, which was the realization of the architectural concept mentioned by Toyo Ito, we conducted research on the connection between space and structure at Sendai Mediatheque through 3D models, parametric tools, and Karamba3D, a structural analysis program. After the 90s, parametric tools began to be used as tools in architectural design. Since it can function not only as an algorithmic tool but also as a structural review, the scope of architects' design use has expanded, and through this, concerns about structure can be resolved. The purpose is to determine how the structural analysis program can be used to maximize design concepts and whether it is effective.

키워드 : 토요 이토, 이머징 그리드, 파라메트릭 건축, 공간과 구조 관계, 카람바3D

Keywords : Toyo Ito, Emerging Grid, Parametric architecture, Relationship between Space and Structure, Karamba3D

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

토요 이토의 건축은 House U에서 내적 상상력이라는 개념을 중심으로 외부와 단절된 내부 중심의 건축을 진행하였고 그 이후에는 파오: 도쿄 유목민, New Media와 같은 현대 사회의 특성에 맞는 고민들을 통해 내부 중심이 아닌 도시적인 건축을 고민하였다. 2000년대 이후에 센다이 미디어테크를 분기점으로 삼아 근대 건축의 한계를 극복하기 위한 그리드에서 벗어난 새로운 질서인 이머징 그리드 개념을 생성해나갔다. 이머징 그리드에서 생성되는 질서는 구조적 요소였던 기둥이 불륨을 얻음으로서 공간과의 위계가 동일해진다는 점에서 구조와 공간의 관계된 사고가 시작된다. 이 시기부터 그는 본격적으로 근대 건축과 같이 공간/구조/외피라는 요소를 분리하는 것이 아니라, 건축의 요소로서 공간/구조/외피의 관계를 연관지어 하나의 일원적인 생각으로 풀어내고자 하였다. 특히 센다이 미디어테크에서는 구조/공간의 관계를 지어 건축을 이

끌어 나갔고 구조에 대한 고민을 현실화시키기 위해 무즈로 사사키와의 동업이 시작되었다.

센다이 미디어테크에 관한 앞선 연구들은 건축 요소들의 관계에 관한 의미, 이머징 그리드라는 개념에 대해 연구하는 정성적인 연구들이 다수를 이루고 있다. 토요 이토가 언급하는 건축적 개념이 현실화되어 나타난 건축물 자체에 대한 분석이 상대적으로 부족하여 3D 모델과 파라메트릭 도구, 구조 분석 프로그램인 카람바를 통해 센다이 미디어테크에서의 공간과 구조의 연계에 대한 연구를 진행하고자 한다. 90년대 이후 파라메트릭 도구를 사용하여 건축 디자인의 도구로서 활용하기 시작하였다. 알고리즘적 도구뿐만 아니라 구조 검토의 기능 또한 할 수 있게 되므로 건축가의 디자인적 활용 범위가 넓어졌고 그를 통해 구조에 대한 고민을 해결 할 수 있게 된다.

이 연구의 목적은 센다이 미디어테크에 적용된 이머징 그리드의 개념, 공간과 구조를 구조 분석 프로그램인 카람바를 통해 확인하고, 구조 분석 프로그램이 디자인 개념을 극대화하기 위해 어떻게 사용될 수 있는지와 효용이 있는지 확인하는 것에 목적을 둔다.

* 단국대학교 건축학부 학부과정

** 단국대 건축학부 조교수, 공학박사(Corresponding author :
Dankook University, Department of Architecture,
12200482@dankook.ac.kr)

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구 방법은 먼저 토요 이토의 건축 개념과 파라메트릭 도구의 디자인, 구조적 적용에 대한 연구들을 고찰한다. 센다이 미디어테크의 건축적 배경, 공간적 특성과 구체적인 도면을 수집한다. 다음으로 앞서 언급한 개념들이 센다이 미디어테크에 어떻게 적용되었는지를 고찰한다. 세 번째로 파라메트릭 도구인 카람바3D로 건축물을 구조적 분석을 진행한다. 그리고 이토의 건축 개념에 따라 구조적인 안정성을 유지하면서 디자인을 극대화시킬 수 있는지 실험하며, 구조 분석 프로그램으로서의 파라메트릭 도구가 디자인적 도구로서 효용을 갖는지 고찰한다.

2. 이론적 배경

2.1 토요 이토의 건축 철학(Blurring Architecture)

이토의 대표적인 건축 철학인 Blurring Architecture는 어떠한 역사적 분석이 아닌 하나의 이미지라는 언급을 한다. “Blurring Architecture는 내가 마음속에 두고 있는 하나의 이미지이며, 아직 명확한 형태로 정의할 수 없는 유연한 이미지의 건축이다”¹⁾ 그의 고민은 연속되는 실체로서의 의미가 없어진 현대의 건축은 어떠한 의미를 가지는가? 근대적 시공간의 의미가 퇴색된 현대 도시의 현상을 어떻게 건축의 구축적 언어로 표현하는가?에 대한 고민을 지속하였다. 고민들의 서로 관계를 맺고 근대 건축에 대한 극복이라는 목표를 고민하게 되는 과정 속에 이머징 그리드라는 생각이 탄생하였다.

2.2 Emerging Grid

센다이 미디어테크 이후 2002년의 2개의 파벨리온을 구상할 때 생각한 다이어그램을 통해 근대 그리드 체계의 변형에 대해 실험하였다. “How to make a box with no column?”을 기본으로 다양한 구조적 실험을 실시하며 그것이 Emerging Grid의 시작이 되는 다이어그램으로 볼 수 있다.

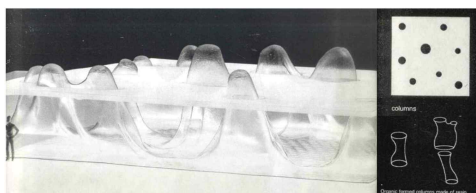


그림 1 "How to make a box with no column?"

이 다이어그램은 센다이 미디어테크의 판과 기둥이 2가지 언어로 나뉜 것과 달리 바닥과 기둥이 일체화하여 기둥 없는 박스형 공간을 만들고 있다.

이 모델은 대표적으로 2가지 문제점이 있었고, 해결을 위해 그리드 모델이 채택되었다. 문제 중 첫 번째는 기둥의 질서가 보이지 않았다. 이러한 문제는 다양한 볼륨을 가진 기둥은 그리드 안에서 상호 간의 관계를 갖는 질서를 가지게 되므로 해결된다. 두 번째는 새로운 공간의 의미 부재이다. 그리드를 통해 성격이 규정되지 않았던 기둥과 공간은 Emerging Grid 생

1) Toyo Ito, “Blurring Architecture”, Toyo Ito/Blurring Architecture, CHARTA, p.58

성 프로세스를 통해서 기존의 공간과 같은 언어로 새롭게 정의된다. 즉 새로운 프로세스에 의해서 발생한 2개의 맞물린 공간으로서 기존의 공간과 위계 상 같은 위치를 갖게 된다.²⁾ 이러한 일련의 근대 그리드 체계에 대한 도전적 실험 과정에서 그리드 체계를 활용한 새로운 디자인 매체로서 유동적이고 생성적인 가능성을 갖는 Emerging Grid가 만들어진 것이다.

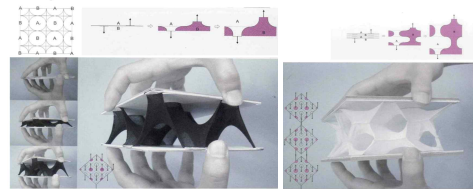


그림 2 Emerging Grid 생성 프로세스

Emerging Grid의 생성 프로세스는 먼저 규칙적인 격자에 내접한 원들을 위치시키고 격자에 원들이 채워진다. 격자의 역할은 내접한 원들이 대체하게 되며, 근대 그리드에서 구조가 세워지던 수직벡터의 정사영이었던 격자의 교차점과 모듈로서 공간을 통제하던 단위 격자는 그 기능을 하지 않는다. 원들은 교대로 다른 수직적인 방향을 갖는다. 원들에 매겨진 'A'와 'B'의 넘버링 수직벡터의 방향을 표시한 뒤 2차원적인 판에 만들어진 새로운 그리드 패턴은 각기 다른 방향을 가지고 3차원으로 변화시킨다. 이때 새로운 공간들이 만들어지고, 공간을 구분하는 넘스(NURBS)화된 면은 수평적 판에 새롭게 생긴 원들의 외각선이 입체적으로 펼쳐진 것이다. 면에 의해서 구분된 두 개의 연속된 공간은 서로 다른 방향으로 당겨진 원들의 내부와 주변이 3차원적으로 변화하면서 생긴 것이다.

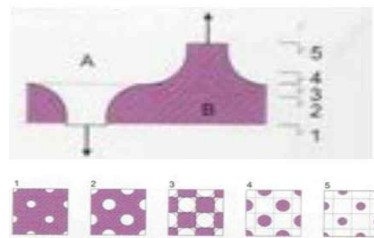


그림 3 기둥내부 공간과 주변공간의 지속적인 위상 역전

이제 격자의 교점은 면으로서 새로운 위상을 갖게 된다. 근대 그리드의 판에서 격자의 교점은 수직 요소인 기둥의 자리로 존재하였다. 판과 넓이를 갖지 않는 점은 2차원적인 수평 공간에서 위상의 차이를 가지고 있었으나, Emerging Grid에서 점은 면적을 갖게 되어 두 요소는 동등한 위계를 갖게 된다.

점이 면적을 획득하는 것은 센다이 미디어테크에서부터 시작된 과정으로 볼 수 있다. Emerging Grid 생성 프로세스에서는 기둥내부의 공간과 주변 공간의 차이가 사라진다.

그림 3에서 보듯이 Emerging Grid에서 3차원 상에서 곡면의 형태로 이어지는 새로운 패턴은 기둥내부의 공간과 주변 공간과의 관계를 계속 역전시키면서 기존의 그리드가 내재하던 이분법적인 질서를 분해한다.

2) 박현철. 이토 토요의 Emerging Grid 연구, 서울대학원 석사학위논문, 2009. p.63

2.3 센다이 미디어테크 공간 분석

센다이 미디어테크는 외부에서 오는 힘에 대한 고려를 통해 해초라는 흔들리는 기둥을 이미지화하여 디자인되기 시작하였다. 기둥은 5mm의 강관 여러 개로 엮인 듯한 모습을 하며 그 속에 있는 공간은 계단, 엘리베이터, 채광등의 여러 기능을 담당하고 있다. 기둥이 지지하고 있는 판은 외부공간을 상상하며 공원과 같이 산책할 수 있는 장을 만들고자 하였다. 수직적 공간과 수평적 공간 곧 판과 기둥은 두 가지의 장을 만들고 서로에게 영향을 주며 섞인다는 개념을 가지고 있다. 이머징 그리드라는 개념이 완성되기 이전에 시작된 센다이 미디어테크에서는 모든 공간이 하나의 장으로서 존재하는 것은 아니므로 한계를 가지고 있지만 하나로 이루기 위한 가능성을 볼 수 있다.

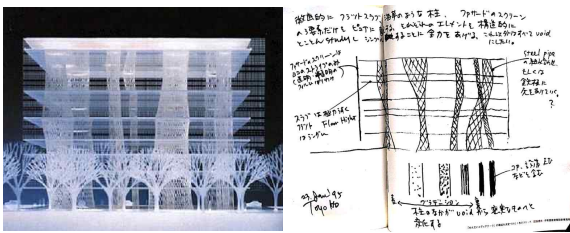


그림 4 센다이 미디어테크 모델 및 스케치

2.4 파라메트릭 도구의 디자인적 이용

센다이 미디어테크는 기존에 사용되지 않은 방식의 기둥 작업의 진행을 위해 구조 설계자의 개입은 필수적이였다. 건축가 자체적으로 디자인의 구조 작업을 진행할 수 있었다면 건물의 디자인이 기존 것과 다른 가능성도 존재할 수 있다. 그러므로 건축가의 구조적 이용과 디자인적 이용을 위한 파라메트릭 도구를 검토하고자 한다.

파라메트릭 도구의 디자인적 이용은 세가지 시기로 나눌 수 있다. 첫째, 초기 파라메트릭 건축에서 매개변수는 건축가의 관념적 해석에 의하여 정의되고 심미적 형태실험을 위하여 일방적으로 통제되었다. 건축의 장소성과 맥락(context)은 건축의 은유적 표현으로 대체되었다. 둘째, 중기이후의 파라메트릭 건축에 적용된 매개변수는 장소성과 맥락(context)을 바탕으로 구체적이고 공학적으로 정의된다. 건축가는 엔지니어와 이 매개변수를 공유하여 양방향 수평적 소통을 하고 데이터의 공유와 간섭을 통하여 그 흐름을 관리한다. 셋째, 중기 이후 현대의 고도화된 BIM설계기법에서의 매개변수는 관련 전문분야에서 파생된 것으로 각 분야의 시뮬레이션을 위하여 세부적으로 정의된다. 건축가는 이 복합적이고 다층적인 데이터의 흐름상에서 건물의 형태와 배치를 바탕으로 개별 매개변수에 간섭하고 건물을 총체적(building as a whole)으로 분석함에 있어 관리자의 역할을 수행한다.³⁾

Karamba3D는 여기서 두 번째 시기와 유사함을 갖는다. 또한 장점 중 하나는 기존의 수치를 측정하여 판단하는 Midas와 다르게 하중 값을 다르게 변형하면서 판단할 수 있어 디자이너 자체적으로 구조 검토와 디자인을 병행할 수 있다.

3) 신동욱, 이원수. 파라메트릭 건축의 기술적 변화에 따른 디자이너의 역할. 한국공간디자인학회 논문집 16(4). 2021. p.129

3. 센다이 미디어테크를 통한 카람바의 디자인적 활용

3.1 Karamba 3D

Karamba 3D는 Rhinoceros용 Grasshopper의 비주얼 스크립팅 환경을 위한 대화형 구조 디자인 플러그인으로 2010년에 출시되었다. 프로그램의 초기 계산 코어는 비엔나 응용 예술 대학의 '복잡한 Spaceframes의 알고리즘 생성' 연구 프로젝트 중에 Clemens Preisinger에 의해 개발되었고, 연구 프로젝트가 완료되자 Bollinger+Grohmann과의 협업을 통해 초기 코드 기반이 추가로 개발한 뒤 정식 출시되었다.⁴⁾

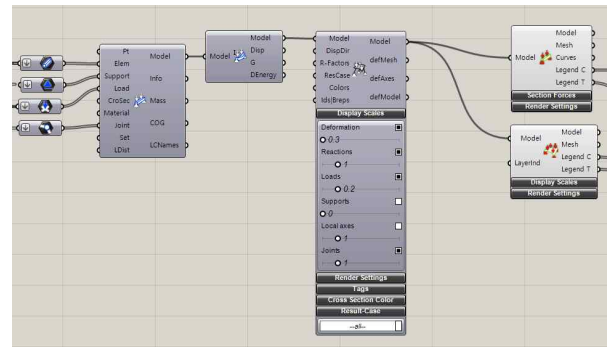


그림 5 Karamba3D 인터페이스 창

Karamba 3D는 FEA(Finite Element Method Analysis, 유한 요소 분석)를 사용하여 구조 분석을 제공하는데 FEA는 엔지니어링에서 대규모 시스템을 유한 요소라고 하는 더 작은 부품으로 나누어 문제를 해결하는 데 사용된다. 주로 사용되는 분석은 수직 하중 혹은 수평 하중을 설정하여 부재의 인장력과 압축력을 색으로 확인하고, 하중에 따라 건축물이 어느 정도 변형되는지 구조로 확인한다.

3.2 디자인적 활용 방법

Karamba 3D를 통해서 기존의 센다이 미디어테크의 경우와 근대 그리드의 개념으로 설계되었을 경우와 센다이 미디어테크에 극대화시켰을 경우에 대한 세 가지 구조 분석을 진행한다.

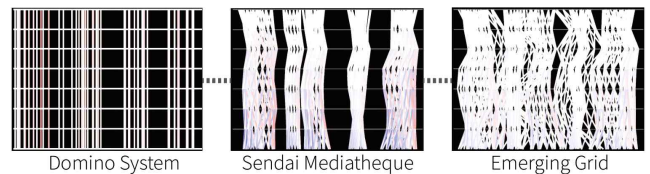


그림 5 도미노 시스템 - 센다이 미디어테크 - 이머징 그리드

디자인 개념의 극대화를 위해 이머징 그리드 개념에서 생성된 원형의 기둥 내부 공간을 넓히고자 한다. 프로세스로서 첫 번째는 라이노에서 기존의 센다이 미디어테크에서 기둥이 접하는 부위를 넓힌다. 다음으로 카람바를 통해 구조에 가해지는 수직 하중과 변형도를 조절하면서 구조로서 역할을 수행할 수 있는지 확인한다. 두 가지 순서를 진행하면서 최대한 넓어질 수 있는 범위를 파악한다.

4) Preisinger.C, (n.d), "Karamba3D Company", Karamba3D, <https://karamba3d.com/company/>

3.3 근대 그리드(도미노 시스템) 분석

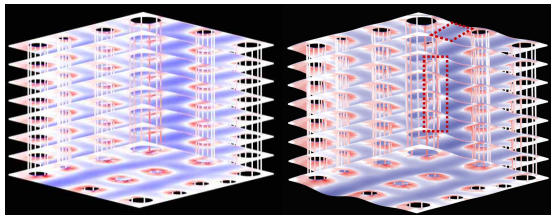


그림 7 근대 그리드 카람바 분석

기존의 사선으로 꺾여서 기둥을 이루고 있던 강관 다발을 그리드에 맞춰 수직 기둥으로 바꿔 구조 분석을 진행하였다. 첫 번째로 기울어진 기둥들과 다르게 수직 기둥으로서 인장력에 비해 큰 압축력을 받고 있다. 변형도를 조정해주었을 때 상대적으로 작았던 인장력 부위가 육안으로 확인된다. 원통 안에 있는 기둥 중 1~2개 정도가 휘어지는 모습이 확인된다. 다음으로 판은 가로 축은 상대적으로 기둥 사이의 간격이 넓어 다른 부위에 비해 큰 인장력을 받는다. 변형도를 주었을 때에도 휘어짐이 더 발생하고 있다. 세로 축은 상대적으로 적은 인장력을 받고 있다.

3.4 샌다이 미디어테크 분석

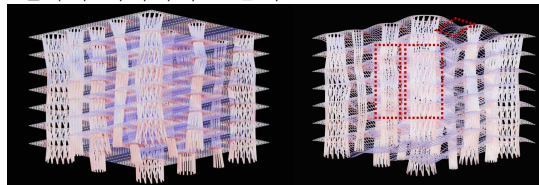


그림 8 샌다이 미디어테크 카람바 분석

샌다이 미디어테크의 구조 분석을 진행했을 때 판, 모서리 기둥, 그 외의 기둥으로 분류해서 해석하였다. 먼저 판은 기둥이 위치하지 않은 부위들은 인장력이 발생하고 기둥이 위치한 곳은 압축력이 발생한다. 그림 8와 같이 변형도를 주었을 때 같이 기둥과 접하지 않은 부분들이 휘어지면서 쳐지는 모습을 볼 수 있다. 다음으로 모서리에 위치한 기둥들은 강관 다발로 트러스 구조같이 인장력과 압축력을 받고 있다. 판과 45도에 가까운 각도를 가지고 있는 부위는 인장력을 90도에 가까울수록 압축력을 크게 받고 있다. 그 외의 기둥들은 강관 다발들이 수직적인 모양에서 작은 각도로 기울어져 있어 기울어진 정도에 따라 인장력과 압축력이 크게 발생한다.

3.5 Emerging Grid 분석

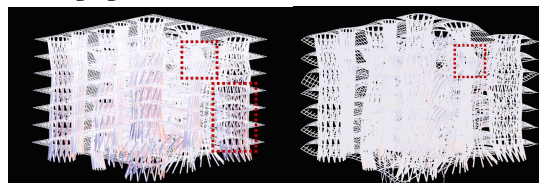


그림 9 Emerging Grid 카람바 분석

확장과 구조 검토의 반복 작업을 통해 최대한의 크기로 기둥 공간을 넓혔다. 그 결과 두 가지의 변화가 일어나게

된다. 첫 번째로 기둥 전체의 꺾임의 정도가 증가함으로 모든 기둥들의 기울기가 증가하였다. 기존의 샌다이 미디어테크의 구조보다 더 강한 세기의 인장력과 압축력을 받음을 확인 할 수 있다. 두 번째로 넓어진 공간을 통해 판의 모서리에 위치한 강관이 엮여있는 기둥들 중 인장력을 받는 다발들의 기울기가 증가하였다. 그로 인해 다발들의 인장력도 증가하였다. 변형도를 증가시켰을 때 판 부위 중 기둥 간격이 벌어진 곳에서 변형이 크게 일어난다.

3.6 소결

세 가지 경우를 파라메트릭 도구를 이용하여 인장력과 압축력, 변형도를 통해 구조 분석을 진행하였다. 샌다이 미디어테크에서는 판은 기둥의 위치에 따라 변형의 정도가 달라졌고, 기둥은 트러스 구조처럼 수직 부재는 압축력을 사선 부재는 인장력을 받으며 하중을 분산시킨다. 근대 그리드 분석에서는 기둥이 압축력을 크게 받고 있으며, 변형도를 주었을 때 기둥의 휘어짐으로 인장력을 받고 있는 부위를 확인할 수 있다. 이머징 그리드 모델 분석은 기둥의 크기가 커지므로 판에 가해지는 하중이 줄어들었으나 강관의 배열이 넓어지므로 부재들에 변형도를 주었을 때 상대적으로 변형의 정도가 커지는 것을 확인할 수 있다.

디자인적 활용 면에서 이머징 그리드라는 개념을 샌다이 미디어테크 내의 판과 기둥이라는 근본적인 구조체계가 이분법적으로 나뉜다는 한계 내에서 기둥 공간의 확장을 통해 개념을 극대화했다. 이때 카람바를 통해 기둥 공간이 최대한으로 확장되었을 때 구조의 한계가 명확해지므로 디자인적으로 조정할 수 있다. Karamba3D 프로그램은 디자이너 자체 구조 검토의 의미에서 디자인 도구로서 가능성을 확인할 수 있다.

4. 결론

이 연구에서는 샌다이 미디어테크에 대한 연구를 전반적으로 검토 후 파라메트릭 도구로서 Karamba3D의 분석을 진행하였다. 이를 통해 샌다이 미디어테크의 구조적 한계 내에서 이머징 그리드라는 개념을 극대화시키고자 하는 시도를 파라메트릭 도구인 카람바를 이용해 구조 분석을 통해 하중의 흐름과 안전성을 파악하였고, 그로 인해 구조와 공간의 관계 사이에서 Karamba3D 프로그램이 디자인적 도구로서 효용을 증명하였다.

참고문헌

1. 김종진. 이토 토요의 건축에 나타난 자기완결적 3차원 조직체의 특성에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집 26(2). 2017
2. 박현철, 김진균. “토요이토의 Emerging Grid 연구.” 대한건축학회 학술발표대회 논문집. 2008
3. 장용순. 이토 토요 건축에 나타난 구조/표피/공간 개념에 대한 연구. 대한건축학회 논문집 31(12), 2015
4. 정태중. 토요 이토 건축에서 구조체계 변화에 따른 공간구성의 유형 분석, 한국문화공간건축학회논문집 73. 2021