

모듈 구조의 확장성과 공간 구성 전략 연구

A Study on the Expandability and Spatial Configuration Strategies of Modular Structures

○전 성 언*

Jeon, Sung-Eon

김 유 림*

Kim, Yu-Rim

조 유 진*

Cho, Yu-Jin

김 홍 민***

Kim, Hong Min

Abstract

In response to rapid urbanization, housing shortages, and the demand for sustainable architecture, this study explores the organic and expandable potential of modular design. Triangular, rectangular, and hexagonal floor plans were constructed under identical conditions and their spatial characteristics quantitatively analyzed. Using DepthmapX, based on space syntax theory, visibility graph analysis was performed with Connectivity, Integration, and Step Depth as indicators to evaluate circulation and usability. The findings present suitable modular configurations for residential, commercial, and office programs, contributing to data-driven spatial strategies in early design stages

키워드 : 모듈, 기하학적 평면, 가시성 그래프 분석, 확장성

Keywords : Module, Geometric plane, Visibility Graph Analysis, Expandability

1. 서론

1.1 연구의 목적

21세기 도시가 직면한 문제는 단순히 새로운 건축 유형의 도입을 넘어, 보다 유연하고 확장할 수 있는 공간 시스템을 요구한다. 이에 본 연구는 과거 메타볼리즘이 제시한 유기체적 성장과 확장성 개념을 현대적으로 재해석하여, 다양한 기하학적 모듈 평면이 공간 구성과 확장성 측면에서 어떠한 가능성을 지니는지를 탐구한다.

특히 본 논문은 하나의 모듈 단위에서 출발하여 더 큰 단지나 도시 구조로 확장되기 전 단계에서 수행되는 기초적 연구로, 삼각형·사각형·육각형 등 서로 다른 도형 모듈의 조합을 통해 나타나는 공간적 특성과 기능적 적합성을 비교·분석하는 데 초점을 둔다. 이를 통해 주거, 상업, 오피스 등 다양한 프로그램에 적합한 공간 전략을 수립하기 위한 기초적 근거를 마련하고, 향후 모듈 기반 건축의 확장 가능성을 실증적으로 뒷받침하는 데 의의가 있다.

* 국립공주대학교 건축학과 학사과정

*** 국립공주대학교 건축학과 부교수

2. 선행연구분석

2.1 모듈러 건축의 확장성과 메타볼리즘

건축에서의 확장성은 단순히 물리적 규모의 확대를 의미하는 것이 아니라, 다양한 프로그램과 기능을 수용하고 시대적 요구에 대응할 수 있는 유연한 공간 시스템을 지칭한다. 모듈러 건축은 이러한 확장성을 가장 직접적으로 구현할 수 있는 방식 중 하나로, 표준화된 단위를 반복적으로 조합함으로써 생산성과 경제성을 동시에 확보해 왔다 (Kim, 2014). 그러나 기존의 모듈러 건축은 주로 직육면체 형태에 집중되어 있어, 공간적 다양성과 프로그램별 적합성을 충분히 검토하기에는 한계가 있었다. 최근에는 이러한 한계를 극복하기 위해, 동일한 단위 모듈의 반복을 넘어 다양한 평면 조합과 변형을 통한 공간 실험이 시도되고 있으며, 이는 주거·상업·교육 등 프로그램별 요구에 맞춘 맞춤형 공간 구성의 가능성을 제시한다 (Shin, 2025).

한편, 1960년대 일본의 메타볼리즘 운동은 건축과 도시를 유기체적 관점에서 이해하고, 성장과 소멸, 재생이 가능한 시스템으로 설계하려는 시도를 전개하였다. 메가 스트럭처와 캡슐 모듈을 결합한 나카긴 캡슐타워, 해상 도시와 같은 제안들은 ‘핵심 구조체 + 가변적 모듈’이라는 개념을 통해 확장성과 유연성을 동시에 담아내려 했다 (Cho, 2021). 본 연구는 이러한 사상을 직접적으로 모방하기보다, 그 근간에 깔린 유기체적 성장과 확장성 개념을 현대적으로 재해석하여, 특히 가변적 모듈의 평면 조합과

확장성을 실험적으로 분석한다는 점에서 차별성을 가진다. 즉, 메타볼리즘이 제안한 이상적 비전이 구조체와 모듈의 결합에 있었다면, 본 연구는 동일 면적을 가진 다양한 기하학적 모듈 평면을 실험 대상으로 삼아, 그 공간적 성격과 프로그램 적합성을 검증하고자 한다.

2.2 DepthmapX 기반 공간 분석 연구

공간 구문론(Space Syntax)은 건축 및 도시 공간을 위상학적 관계와 가시성 구조로 해석할 수 있는 정량적 방법론으로, 공간 내 이동과 지각, 사회적 상호작용을 분석하는 데 널리 활용되어 왔다. 특히 VGA(Visibility Graph Analysis)는 평면을 일정한 격자로 분할한 후, 각 지점의 시각적 연결성을 평가함으로써 공간의 개방성, 중심성 등을 수치화할 수 있다.

DepthmapX는 이러한 공간 구문론 분석을 지원하는 대표적인 프로그램으로, 본 연구에서는 가시연결도(Visual Connectivity), 가시통합도(Visual Integration), 단계깊이(Step Depth)를 주요 지표로 활용한다. 가시연결도는 특정 지점에서 시각적으로 인지 가능한 다른 지점의 수를 의미하며, 가시통합도는 공간 전체에서 해당 지점이 가지는 중심성을 나타낸다. 단계깊이는 한 지점에서 다른 지점으로 도달하기 위해 거쳐야 하는 공간적 단계의 수를 의미하며, 공간의 위계성과 접근성을 분석하는 근거가 된다. 이러한 지표들은 단순한 물리적 형태의 평가를 넘어, 공간의 개방성과 중심성, 그리고 확장 방향성을 분석하는 데 활용될 수 있다.

국내의 여러 연구에서도 DepthmapX는 공간 분석의 유효성을 입증해 왔다. 예를 들어 박물관 전시 공간 분석에서는 전시 중반부 공간이 높은 통합도를 보이며 관람 동선의 중심적 역할을 수행함이 확인되었고 (Kim, 2019), 국립중앙박물관을 대상으로 한 연구에서는 미로형 평면이 낮은 가시연결도와 높은 단계깊이를 나타내어 관람객의 인지가 불리하다는 점이 지적된 바 있다 (Hong, 2014).

Table 1. 가시통합도 분석

선사고대관	
중근세관	

출처: Hong(2014).

또한 OMA가 설계한 싱가포르 공동주택 The Interlace를 대상으로 한 연구에서는 VGA 분석을 통해 수평적으로 확장된 단위 평면이 높은 연결성과 낮은 단계깊이를 나타내며, 다양한 공간 활용 가능성을 제공한다는 결과가 도출되었다 (Bae, 2016).

본 연구는 이러한 선행연구를 토대로, 동일한 면적을 가진 다양한 기하학적 모듈 평면(직사각형, 삼각형, 육각형)을 설정하고, 각 모듈 6개를 조합한 평면을 DepthmapX를 통해 분석한다. 이를 통해 각 조합이 가지는 가시성 지표의 차이를 확인하고, 주거·상업·업무 등 프로그램별로 어떠한 모듈 평면이 적합한지를 검증하고자 한다. 나아가 다양한 모듈 평면의 조합을 정량적으로 검증함으로써, 평면적 확장성에 따른 공간 구성 전략을 모색한다는 점에서 차별성을 가진다.

3. DepthmapX를 이용한 공간 구성 분석

3.1 모듈타입과 조합방식

Table 2. Module Type and Combination

Type	Square	Hexagon	Triangle
Basic Module			
Linear Module			
Mass-type Module			

Table 2는 확장 가능성을 내포한 다각형 형태를 기본 단위로 설정하고, 이들을 모듈화하여 조합하는 방식을 통해 공간이 확장되는 과정을 분석한다. 이때 동일 면적을 기준으로 하며, 입구의 위치를 시작점으로 설정하여 확장성을 검토하고자 한다.

첫째, Basic Module은 단일 모듈로서 최소 단위의 공간을 형성하고 사각형, 육각형, 삼각형을 기반으로 빗면에 접하는 입구를 기반으로 한다. 도형의 각도에 따라 입구의 위치가 달라지며, 모듈의 다각형 형상은 각 변과 각도에 따라 입구의 위치와 방향성이 달라지며, 이는 내부와 외부 사이의 연결 가능성을 규정한다. 개구부의 수와 배치, 그리고 내부-외부 관계의 밀도를 변화시키며 이는 메가 스트럭처에서 공간의 깊이와 빛의 유입 정도에 따른 가시성을 결정한다.

둘째, Linear Module은 배열될 경우 연속성과 방향성에 따라 직교적 확장에 용이한 조합이다. 도형의 빗면을 맞대어 조합하는 형식으로 선형적 모듈 타입을 제작하였다. 깊이가 얇은 선형 모듈 조합은 외부와의 시각적 교류와 빛의 투과에 용이하며, 기존 입구를 기반으로 한 복도가 생성될 경우 사적 공간을 창출하는 데 효과적이다.

셋째, Mass-type Module은 확장될 때 집합적 밀도와 중심성을 드러내며, 주변과의 연계성이 높아 다방향적 확산과 네트워크적 공간 구조를 형성한다. 메가 스트럭처 차원에서 군집형의 형태는 깊이에 따른 내부 공간의 빛이 제한되는 것에 대응하며 개방과 폐쇄를 동시에 조율할 수 있다.

3.2 공간 확장성 분석

Table 3에서는 사각형, 육각형, 삼각형 모듈을 대상으로 Depthmap을 활용한 시각적 분석을 실시한 결과값이다. 분석 지표는 Connectivity, Visual Integration (HH), Visual Step Depth로 설정하여, 각 모듈이 공간 확장 과정에서 어떠한 시각적·구조적 특성을 나타내는지 검토하였다.

Table 3. VGA Analysis by Module Type

Type	Square	Hexagon	Triangle
Connectivity			
Visual Integration [HH]			
Visual Step Depth			

Connectivity 결과에서 사각형 모듈은 비교적 균질한 연결성을 보이며, 내부의 네트워크가 단순하고 명확하게 형성되는 경향을 나타냈다. 반면 육각형 모듈은 주변과의 다방향적 결합을 통해 연결 지점이 다양하게 발생하여, 확장 시 네트워크 적 분산과 집약이 동시에 가능한 구조적 잠재성을 보여주었다. 삼각형 모듈은 반복적 배열을 통해 특정 축을 따라 강한 연결성이 집중되는 경향을 보이며, 선형적 확장에 유리한 특성을 드러냈다.

Visual Integration (HH) 분석에서는 육각형 모듈이 가장

높은 통합성을 나타내어, 중심부에서 외곽부로 이어지는 공간적 접근성이 우수함을 확인할 수 있었다. 이는 군집형(mass-type) 확장에 적합하며, 외부와 내부를 다층적으로 연결할 수 있는 가능성을 시사한다. 반면 사각형 모듈은 위계적으로 명확한 중심-주변 관계를 형성하여 공간 분리와 위계적 구성을 필요로 하는 프로그램에 적합하다. 삼각형 모듈은 국소적인 집중과 리듬감을 바탕으로, 소규모 단위가 반복적으로 결합하며 강한 시각적 흐름을 형성하였다.

마지막으로 Visual Step Depth 분석에서는 모듈의 형태에 따른 공간적 깊이의 차이가 뚜렷하게 드러났다. 사각형은 일정한 깊이를 유지하며 안정적인 내부-외부 관계를 제공하는 반면, 육각형은 다방향의 출입구를 통해 다양한 깊이감이 생성되어 공간의 개방성과 가변성을 높인다. 삼각형은 상대적으로 깊이의 차이가 극명하게 나타나며, 이는 내부 공간에서 외부로의 시야와 빛의 유입을 부분적으로 제한하거나 강조하는 효과를 만든다.

연결성, 시각통합도, 깊이감 부분에서 확장성과 집합적 구조 형성에 효율적인 모듈 타입의 배치는 육각형 군집형(Mass-type Module) 조합이다.

4. 결론

본 연구는 기하학적 모듈을 대상으로 Depthmap 분석을 수행하여, 모듈 형태에 따른 공간 확장성과 프로그램 적합성을 규명하였다. 분석은 가시연결도(Visual Connectivity), 가시통합도(Visual Integration), 단계깊이(Step Depth)를 중심으로 진행되었으며, 그 결과 각 모듈이 지닌 고유한 공간적 잠재력이 확인되었다.

우선 사각형 모듈은 균질한 연결성과 일정한 깊이를 바탕으로 안정적이고 위계적인 공간 구성을 제공하였다. 이는 복도형 배치와 결합할 경우 사적 공간을 창출하기에 용이하여, 오피스 및 주거와 같은 프로그램에 적합하다. 반면 육각형 모듈은 다방향적 네트워크와 높은 통합성을 보여주며, 중심성을 갖춘 집합적 공간을 형성하는 데 유리하였다. 이는 상업 및 공공 프로그램과 같이 개방성과 교류가 중요한 공간에 효과적이다. 마지막으로 삼각형 모듈은 선형적 연결과 국소적 집중성이 두드러져, 리듬감 있는 공간 흐름을 만들어내며 선형 상업 공간이나 소규모 주거 단위에 적합함을 확인할 수 있었다.

또한 Visual Step Depth 결과를 통해 모듈의 각도와 변의 수가 내부·외부 관계, 빛의 유입, 가시성 등에 직접적인 영향을 미침을 확인하였다. 이는 모듈의 형태가 단순한 기하학적 선택이 아니라, 실제 공간 경험과 프로그램 배치 전략을 결정짓는 주요한 변수임을 의미한다. 따라서 본 연구는 동일 면적을 가진 다양한 기하학적 모듈 평면을 조합하고 비교·분석함으로써, 주거·상업·업무 등 프로그램별 공간 전략은 물론, 모듈 구조의 확장 가능성을 검토하기 위한 기초적 근거를 제시한다는 점에서 의의를 가진다.

참고문헌

1. Hong, J. and Kong, S. (2014). A Study on Visibility Analysis Using Depthmap - Focused on Prehistory and Ancient history gallery of National Museum of Korea -. YOUTH FACILITIES AND ENVIRONMENT, 12(3), 225-235.
2. Konno, Y. and Chung, Y. (2018). The Ideological Aspects of Japanese Architectural Movement, Metabolism. Journal of Art and Technology, 14(3), 109-127.
3. Cho, H. and Park, B. (2021). The Metabolist Movement and Its Legacy in Japanese Architecture from the Perspective of the Anthropocene. The Korean Journal for the History of Science, 43(3), 531-556.
4. Kim, J. and Lee, J. (2014). A Basic Study on the Application of Modular Construction - Focused on the Analysis of Case Study -. Journal Of The Korean Housing Association, 25(4), 39-46.
5. Shin, Y. and Park, E. (2025). A Study on Improving the Design of Modular Architecture. Journal of the Architectural Institute of Korea, 41(1), 83-93.
6. Kim, Y. and Chae, J. (2019). An Analysis of Museum Exhibition Space using Space Syntax Theory. Journal of Korea Institute of Spatial Design, 14(2), 81-90.
7. Bae, H. & Jeon, B. (2016). A Study on the Unit Floor Plan Analysis of OMA's The Interlace in Singapore. Proceedings of the Architectural Institute of Korea Conference, 36(1), 57-58.