Journal of the Korean Association for Spatial Structures
Vol. 6, No. 2 (통권 20호), pp. 107~114, June, 2006

건축구조 디자인 요소로서 다면체의 형태구성에 관한 연구

A Study on the Morphogenesis of Polyhedra as Design Sources of Architectural Structures

최 선 영* 박 선 우** 박 찬 수*** 최 취 경****
Choi, Sun-young Park, Sun-woo Park, Chan-woo Choi, Chui-kyung

요 약

본 연구의 목적은 건축물의 구조와 형상에 대한 접근방식을 다변화하는 매개로서 다면체를 탐구하고, 건축구조 디자인 요소로서 그 형태구성을 고찰하는 것이다. 따라서 자연계와 건축물에서 드러나는 다면체 형태를 살펴보고, 순수 래티스 다면체로 고찰 대상을 한정하여 그 형태학적 특성을 파악한다. 이를 토대로 건축구조 디자인 요소로서 다면체를 공간적 형태구성에 활용하는 방식을 제시한다.

Abstract

The purpose of this study is to explore the morphology of polyhedra as a tool diversifying the approach to structures and shapes, and to consider the way of the morphogenesis as structural design sources. First, through many examples in nature and styles used as the rhetorical representation of buildings, the shapes of which are based on one of polyhedra are shown. Secondly, the morphogenetic characteristics of polyhedra limited to pure lattice structure are investigated. Thereby the methodology of spatial morphogenesis of polyhedra as structural design sources are generated.

키워드 : 다면체, 형태구성, 공간 안정성, 수사적 표현
Keywords : Polyhedra, Morphogenesis, Spatial Stability, Rhetorical Representation

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

다면체의 매혹적인 세계는 예술과 과학 - 미술, 건축, 엔지니어링, 수학, 천문학 등 - 의 수많은 분야에서 오랜 역사와 다양한 배경을 가지고 탐구되었고, 이런 여러 분야들은 모두 다면체의 과학적이고 철학적인 개념으로부터 영향을 받아왔다.

사실 기하학 세계의 추상적 개념 및 상징들은 실제 공간을 구성하는 본질적 창조 도구 - 예를 들어, 공간을 창조하는 주요 수단들 중 하나인 면(또는 면을 제거한 래티스 형태) - 에 속하기 때문에, 다면체에는 많은 건축가와 엔지니어들이 공통으로 느낄 수 있는 보편적 호소력이 있다.

자연계에서는 이런 다면체 형태에 근거한 유기체나 결정체들의 예를 많이 볼 수 있고, 이것들은 매우 심미적이다. 건축물의 경우 또한 주의를 기울여보면, 인지하고 있던 것 이상으로 훨씬 더 많은 다면체 형태들이 실제로 사용되어 온 것을 알 수 있다.

그러나 대부분의 건축물들이 다면체 혹은 그 집합의 특성을 가지는 데 반해, 건축가가 형태를 창조하는 과정이나 엔지니어가 구조디자인 및 거동을 결정하는 과정에서 그 형태학적 특징을 제대로 인지하고 활용하는 경우는 드물다.

* 정회원, 충북대학교 건축공학과 박사과정
Tel : 02-965-1635
E-mail : suny-choi@hotmail.com
** 정회원, 한국예술종합학교 건축과 교수
*** 정회원, 충북대학교 건축공학과 교수
**** 정회원, 경원전문대학 건축과 교수

다면체가 건축물에 부여하는 형상의 가능성들은 이 사실이 완벽하게 인식되지 않은 상태에서도 다양한 방식으로 적용되어 왔고, 따라서 구조물의 디자인 과정에서 다면체가 형태학적 특성에 따라 테마나 주제의 일부로 도입된다면, 그것은 다소 생소하면서도 정연한 질서를 세우는 매개체로 기능할 것이다. 즉, 다면체 형태구성의 잠재성을 적절하게 사용하는 것은 외피나 내부분할 외에도 더 다양하고 흥미로운 접근방식을 유도하고, 건축적 조망은 형상과 구조면에서 보다 풍부해질 것이 분명하다.

이에 따라, 본 연구에서는 자연계와 건축물에서 드러나는 다면체 형태를 살펴보고, 그 형태학적 구성의 기본조건을 파악하며, 이를 토대로 건축구조 디자인 요소로서 다면체의 공간적 형태구성 방식을 논하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

고찰 대상인 다면체는 순수한 형태로는 면과 변으로 이루어져 있지만, 본 연구에서는 형태구성이라는 주목적을 보다 확연히 하기 위하여 이와 관련된 절에서는 면을 소거한 순수 래티스 다면체(이하 다면체)만으로 대상의 범위를 제한한다.

먼저, 다면체 혹은 그 일부에 기초한 형태를 가지는 자연계의 예들과 건축물에서 드러나는 상징적, 수사적 표현양식으로서 다면체를 살펴보고, 구조물에 투영된 현저한 다면체성(Polyhedrality)의 측면을 확인한다.

다음으로 형태학적 관점에서 기본 요소로서의 특성과 조건들을 파악한다. 이를 통해 형태학적 조건을 만족하는 다면체의 범위 내에서 건축구조 디자인 요소로서 기능할 수 있는 방법, 즉 공간상 형태구성 방식을 탐구한다. 이것은 다면체를 이용한 형태구성의 기초연구로 그 위상을 가진다.

게재된 사진들 중 일부는 참고문헌에서 인용하였다.

2. 표현양식으로서 다면체

2.1 자연계의 형태

지구의 환경에서 생존하는 많은 생명체들은 수백만 년에 거쳐 매우 복잡한 구조시스템을 개발해왔고, 이 자연계의 전략은 매우 창조적이고 효율적인 '최적화 생존(survival of the fittest)'으로 표현된다. 유기적 조직체는 건축물과 달리 성장하기 때문에, 그 본질적 속성은 인간에 의해 형성된 구조물보다 훨씬 정교하고 확인 또한 쉽지 않다. 그러나 외면을 통해 매우 정연하면서도 확실한 다면체 형태를 관찰하는 것은 그리 어렵지 않다.

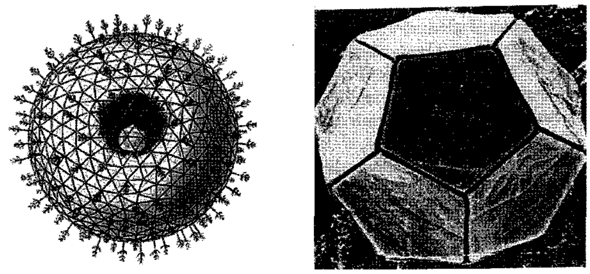
면 혹은 래티스 다면체 구조로 유형화될 수 있는 유기체들의 예로는 방산충류(radiolaria), 인편모조류(coccolithophore) 같은 플랑크톤, 해면 등을 들 수 있다.

다양한 플랑크톤 중 하나인 방산충류<그림 1(a)>[1]는 종종 등방성 구 또는 아름다운 다면체 형태의 구조를 보여준다. 플랑크톤 중 일부는 때로 다면체 골조로 된 클러스터(cluster)를 이루기도 하는데, 인편모조류는 리소포(lithophore)라 불리는 완벽한 12면체 형상의 콜로니(colony)<그림 1(b)>[2]를 형성한다.

해면은 정사각형인 기본 메시 위로 바둑판 패턴의 2차 메시가 교차하며 나선을 형성하고, 교차 메시 맨 위에서 반-8면체 형태를 이룬다<그림 2>.

이 외에도 무생물계의 벌집이나 자연발생적으로 생성되는 결정체들에서 다면체 형태를 쉽게 발견할 수 있다. 벌집은 전형적인 6각 프리즘<그림 3(a)>, 결정체들은 4면체, 6면체, 마름모형 12면체와 같은 다양한 다면체 형태를 띠고 있다. <그림 3(b)>의 석영결정체는 피라미드형 두부(頭部)를 가진 프리즘과 유사하다.

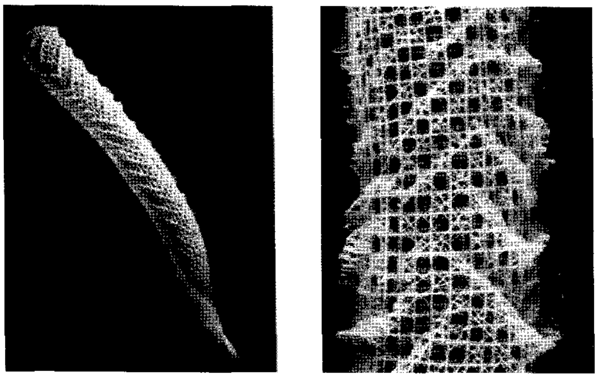
이러한 자연계의 광범위한 형상들이나 결정체들



(a) 방산충류 (b) 리소포

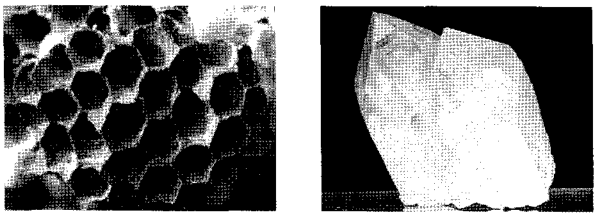
〈그림 1〉 플랑크톤

1) Ernst Häkel, Challenger Monograph, 1987
2) Coccolithophores, Amos Winter & William G. Siesser, eds. Courtesy of Cambridge University Press.



(a) (b)

〈그림 2〉 해면



(a) 벌집 (b) 석영

〈그림 3〉 프리즘 형태

을 통해서 다면체의 존재와 기하학적 형태를 쉽게 인지할 수 있다.

2.2 건축물의 수사적(修辭的) 표현

완벽한 기하학적 형상의 소공간을 구성하는 다면체는 이미 고대 그리스에서부터 인식되고 있었다. 그리스인들은 도형과 다면체 사이의 관계에 대한 이론을 세우기 시작했고, 다면체 탐구의 전형은 도표, 그림 혹은 모델링을 아우르는 과학적 결과들의 '혼합된 심상(mental image)'가 되었다. 이로 인해 다면체는 난해한 속성을 가지는 것으로 여겨지고, 그 분야는 형이상학적 고찰의 대상이 되기도 했다.

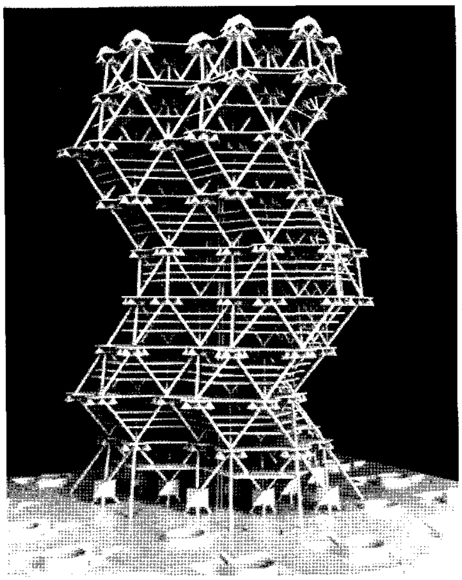
순수하고 완벽한 다면체는 개념적으로 수학의 범주에 속한다. 따라서 잘 규정된 상징과 추상, 관념의 집합인 기하학상의 공간은 일반적으로 건축적 공간과는 다르고, 건축과 기하학이 인과(因果)의 관계인 경우는 드물다.

그러나 기하학과 수학은 대상을 디자인하거나 그 초안을 고안할 때 필수불가결한 풍부한 인식, 개념, 규칙 및 관념적 진행절차를 제공해왔고, 건축가와 엔지니어는 이런 개념작용을 통해 무형의 영역에서 구조물의 최종결과를 예상하고 지적 상상력의 잠재성을 자유롭게 개발할 수 있었던 만큼, 두 분야는 깊은 관련을 가지고 있다.

1950년대 풀러(B. Fuller)와 같은 동시대의 작가들이 3차원 구조의 기술, 경제적 장점에 주목한 반면, 칸(L. I. Kahn)은 공간, 구조, 형식적 잠재성에 보다 큰 관심을 보였다. 그는 다면체를 이용한 공간골조라는 건축적 언어를 진지하게 탐구하였고, 일련의 필라델피아 재개발 중 구상한 고층 복합단지인 시티 타워 프로젝트(City Tower Project)에서 그 시도는 극에 달하게 된다.

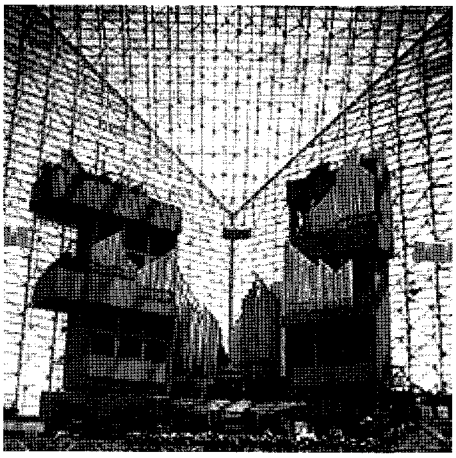
거대한 자체-브레이싱 콘크리트 나선 형태인 최종안<그림 4>[3]은 주공간과 부속공간이 계층적으로 통합된 공간골조이고, 층을 이루는 공간골조 트러스와 보-기둥-브레이스 구조에 형태학적 대안을 제공하였다.

존슨(P. Johnson)과 버기(J. Burgee)의 가든 그로브 커뮤니티 예배당(Garden Grove Community Chapel)은 당시의 보다 독특한 건물 중 하나이다<그림 5, 6>. '크리스털 대성당'으로 더 잘 알려진 이 건물의 특징은 목적, 형태 및 표현방식만이 아니라, 퍼즐같은 의도와 다면체 구조의 극한 거동을 포함하는 건물의 비틀린 형상에 의해 '공간구조'로 언급되는 구조시스템의 시

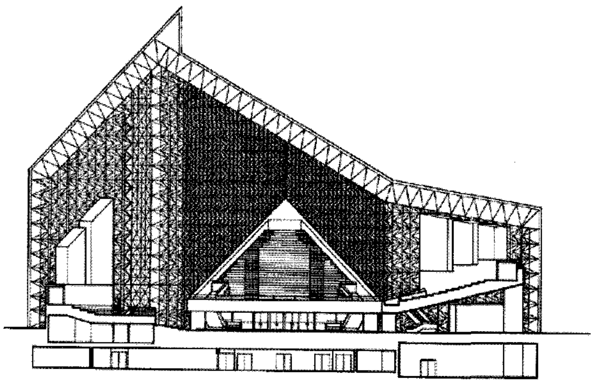


〈그림 4〉 시티 타워 프로젝트

3) Louis I. kahn Collection, University of Pennsylvania



〈그림 5〉 크리스털 대성당 내부



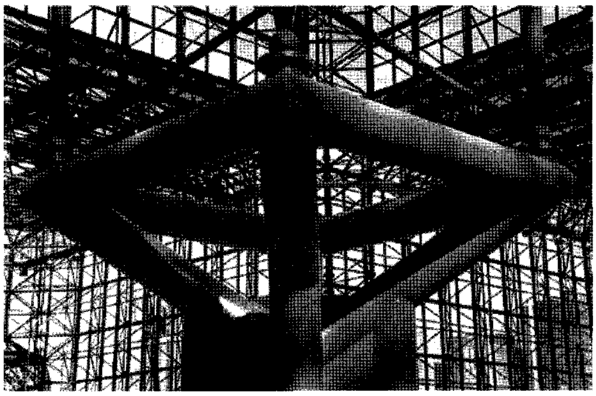
〈그림 6〉 크리스털 대성당 단면

각적 변형성을 유발한다.

대부분의 건축가와 엔지니어들은 공간구조를 묘사하는데 기하학과 관련한 명백한 언급을 하는 경우가 드물다. 그러나 광범위한 인식으로부터 '공간구조'는 스스로 엄밀한 기하학적, 수학적 논리와 배열을 내포하고, 이것은 크리스털 대성당에서처럼 건물에 대한 표현양식이 물리적 형체로 드러나는 출발점이 되기도 한다.

<그림 7>의 자빗 센터(Javit Center)는 뉴욕 맨해튼 해안지구의 9 ha 부지에 자리한 단일 건물로는 세계에서 가장 큰 전시 공간 중 하나이다.

이 건물의 전체 디자인에서 가장 도전적인 문제 중 하나는 다양한 건물의 기능을 시각적, 공간적 리듬의 본질적 패턴으로 통합하는 구조시스템을 고안하는 것이었다. 흥미로운 것은 해법을 이끌어내는 과정이다. 시작에서부터 다양한 형태를 함께 연결하



〈그림 7〉 자빗 센터 내부기둥

기 위한 유기적 접근이 추구되었는데, 작은 단위의 '순수한 사면체 형태'를 침해하지 않으면서 강재 파이프와 공간의 절점들이 조합되어 수평면을 덮고 있다. 여기서 부재들이 다루어지는 방식은 조립 부재의 조합에 대한 상상력을 자극한다.

많은 건물들에서 기하학적 형태인 다면체들은 쉽게 인식할 수 있고, 적용될 수 있는 상징적 형상과 대상으로 대체되는 경향을 보이고 있다. 언급한 건물들은 이렇게 기하학과 수사적 표현의 관계에서 절충된 대표적 예들이다.

3. 구성요소로서 특성 및 조건

현대의 건물형상에 가장 보편적으로 사용되고 있는 다면체 형태는 6면체와 프리즘이고, 4면체나 8면체는 공간골조의 구조요소(트러스, 기둥, 지붕 등)로, 20면체는 구면의 세분화를 위한 시점(始點)으로 자주 선택된다.

그러나 이것은 매우 제한된 선택을 의미하고, 이 외의 다양한 다면체와 그로부터 구성된 형태의 가능성들은 거의 무한하다고 할 수 있다. 이 절에서는 이를 위해 다면체의 형태 및 구성에 관한 기본 특성을 기술한다.

3.1 기하학적 공간 안정성(Spatial Stability)

다면체는 힘의 흐름 관점에서 공간(3차원) 구성요소로 다루어져야 한다. 정역학에서 공간 안정성은 구조물의 하중-지지능력과 함께 공간형태를 결정하는 가장 중요한 조건의 하나이다.

공간 안정성의 이해를 위한 대상으로 5개 정다면체를 살펴보면, 각 면이 삼각형을 이루는 3개(4면체, 8면체, 20면체)만이 본질적 안정 형태이고, 6면체와 12면체는 불안정 형태이다. 이 두 다면체가 공간 안정성을 확보하기 위해서는 부재 혹은 판을 추가하거나, 절점의 휨강성이 필요하다.

순수 래티스 다면체로 이루어진 구조에서는 절점에 작용하는 외력(하중과 반력)만이 유효한 것으로 간주되므로, 개별 다면체의 모든 절점이 평형상태에 있다면, 전체 구조물 역시 평형상태에 있다. 따라서 이것은 부재와 절점의 상호배열과 디자인이 골조의 역학적, 형태적 특성을 결정한다는 것을 의미한다.

공간상 안정된 다면체의 부재와 절점은 식(1)과 같은 관계[4)]를 가지고, 정정구조가 된다.

$$3g = n+6 \tag{1}$$

여기서 g=절점 수, n=부재 수를 나타낸다. 한편, 식(1)이 내포하는 것은 필요조건이지만 충분조건은 아니다. 이것은 형태구성 요소로서 다면체 혹은 그 변형은 부재의 적절한 배열을 전제로 공간 안정성을 유지해야 한다는 것을 의미한다.

또한 <그림 8>의 8면체 예와 같이 부재의 잉여와 부족에 따라 공간 안정성과 정정도는 변하게 되고, 부정정이나 불안정 상태에 이른다. 이것은 다음 식 (2)와 (3)으로 나타낼 수 있다.

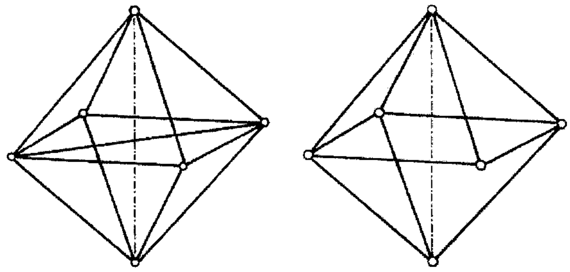
$$3g < n+6, \quad u = n+6-3g \tag{2}$$

$$3g > n+6, \quad f = 3g-n-6 \tag{3}$$

여기서, u와 f는 각각 잉여 및 유실 부재의 수이다. 이 식으로부터 1차적으로 대상 다면체가 공간 안정성을 확보하기 위한 부재와 절점을 확인할 수 있다.

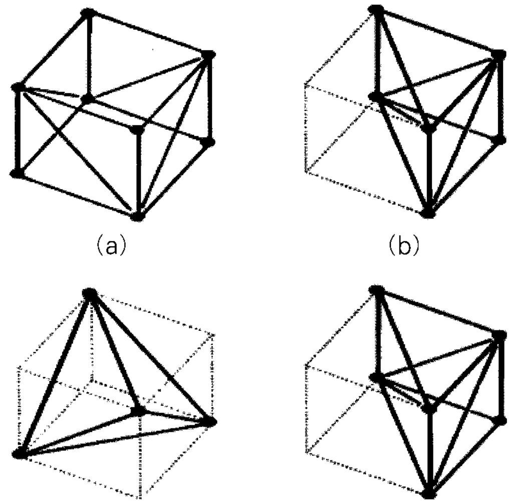
<그림 9>는 6면체로부터 유도한 다면체들의 예로, 위 식에 의해 (a)와 (d)는 각각 $f=2$, $f=1$로 공간 안정성을 확보하기 위해 부재를 추가할 필요가 있다는 것을 알 수 있다.

4) F. Stüssi's Baustatik I(Birkhäuse Verlag Basel and Stuttgart, 1962, p.159



(a) 부정정 (b) 불안정

〈그림 8〉 8면체의 공간 안정 및 정정도



(a) (b) (c) (d)

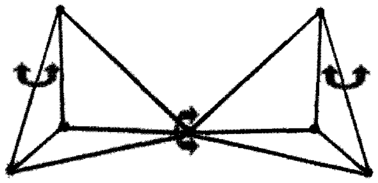
〈그림 9〉 다면체의 유도

3.2 접합부의 연결

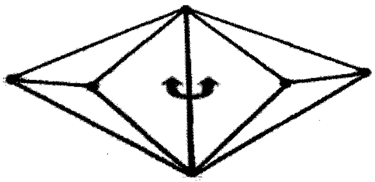
다면체로 구조물의 형태를 구성하기 전에 고려해야 할 또 다른 한 가지 조건은 계획한 전체 형상에 적합한 두 다면체의 연결방식이다. 임의로 다면체를 연결하고 조합하는 것이 불가능한 것은 아니지만, 보다 규칙성을 가지는 방법들이 있다.

여기서는 다면체의 정점, 변, 면을 이용하는 6가지 방법을 다룬다. 첫 번째 방법은 <그림 10(a)>와 같이 정점끼리 연결하는 것(이하 V-to-V)이다. 절점을 유연하게 구성하면 힌지처럼 서로에 대해 회전할 수 있고, 이것은 절점을 강접하거나 케이블 혹은 부재를 추가하여 막을 수 있다. 또는 형태가 고정될 때까지 다면체를 추가할 수도 있다.

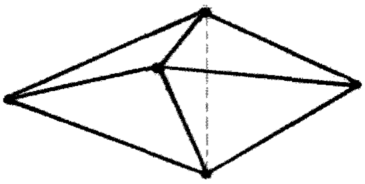
두 번째 방법은 변끼리 연결(E-to-E)하는 것이다 <그림 10(b)>. 이 방법 역시 접합부가 유연하다면 두 다면체는 독립적으로 회전할 수 있고, 이런 회전



(a) V-to-V (Vertex to Vertex)



(b) E-to-E (Edge to Edge)



(c) F-to-F (Face to Face)

〈그림 10〉 다면체의 연결

은 첫 번째와 같은 방식으로 제어할 수 있다.

다면체를 연결하는 가장 확실한 방법은 면 대 면으로 연결하는 것(F-to-F)이다. 이 방식은 그 연결부를 떼어내지 않는 이상 회전이 불가능하다.

다른 세 방법은 위 방식들의 변용이라 할 수 있는데, 두 다면체가

- 공유하는 테두리를 형성할 때까지 한 다면체의 정점을 다른 것에 관통시키는 것
- 적절한 공유 면을 만들 때까지 한 다면체의 모서리를 다른 것에 관통시키는 것
- 공유 면을 찾을 때까지 한 다면체의 면을 다른 것에 관통시키는 것

이다. 다면체들이 후자의 세 방식으로 연결되면 내부의 면들이 소거될 수 있기 때문에, 경우에 따라 상당히 유용하게 이용된다. 이 외에도 다면체의 연결에는 임의 방식들이 이용될 수 있다.

4. 다면체의 형태구성

연결방식을 결정한 다면체 혹은 그 변형은 형태구성의 기본 조건을 만족하고, 다음 몇 가지 기본 방식과 이들 조합 혹은 변형을 통한 공간상 형태구성이 가능하다.

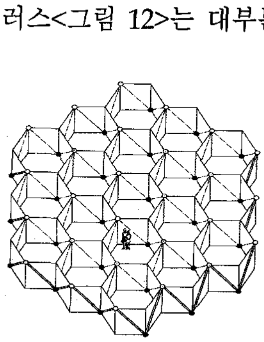
4.1 조밀-배열(close-packing)

공간골조를 위한 구성방식으로 적절한 조밀-배열은 자연계의 벌집형태와 같이 간단하면서도 통일성을 가지는 평면을 형성하고, 다면체 사이에 전혀 틈이 생기지 않는 형태구성 방식이다<그림 11>.

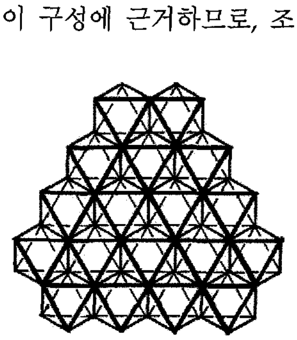
한 다면체만으로 조밀-배열하기에 가장 간단한 것은 프리즘으로, 공간 형성 및 분할에도 용이하게 사용된다. 프리즘이 공간의 기본 구조유닛으로 사용되면 <그림 11(a)>[5]와 같이 '빌딩 블록'으로 사용될 수도 있다. 안티프리즘을 F-to-F 연결로 조밀-배열하면, 상당히 흥미로운 기하학적 형태를 형성하고, 새로운 형태구성의 근간으로 응용될 수 있다.

이 외에 정다면체 중 6면체, 준정다면체 중 잘린 8면체가 그 자체만으로 조밀-배열이 가능하다. 그러나 조밀-배열로 형태를 구성하기 위해 반드시 다면체가 동일해야 할 필요는 없다. <그림 11(b)>와 같이 4면체와 8면체 조합 등 이형(異形)의 다면체를 이용한 형태구성 역시 가능하다. 한편, 조밀-배열이 가능하도록 비정형 혹은 변형 다면체를 재창조할 수 있다는 사실 역시 다면체의 형태구성 가능성 측면에서 고려될 수 있다.

이렇게 이루어진 면 형태는 모두 안정된 삼각형 네트워크로 규정되므로, 다면체가 이룬 형태구성은 쉽게 인지된다. 공간골조로 불리는 지붕의 공간 트러스<그림 12>는 대부분 이 구성에 근거하므로, 조



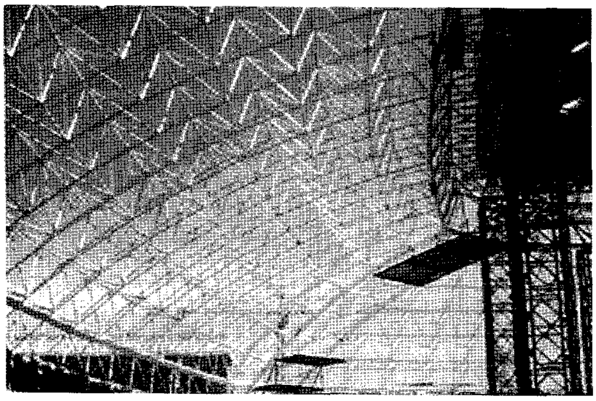
(a) 프리즘 구조유닛



(b) 4면체와 8면체 배열

〈그림 11〉 조밀-배열

5) J. F. Gabriel, "Space Frames: The Space Within-A Guided Tour", International Journal of Space Structures, Vol. 1, 1985, pp. 3-12



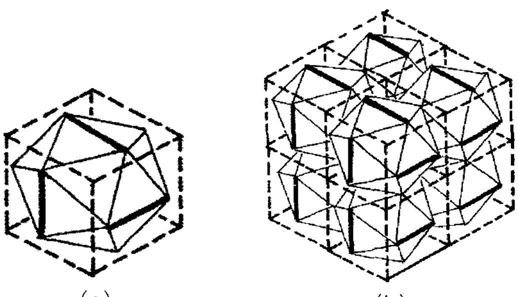
〈그림 12〉 조밀-배열 공간 트러스

밀-배열은 가장 기초적인 형태구성의 한 방식이라 할 수 있다.

4.2 가상블록(Imaginary Block) 배열

다면체 건물이나 지붕 유닛은 변형과 시행착오, 그리고 형상선택에 대한 직관과 같은 합리적 절차를 통해 다양한 형상이 유도된다. 일반적으로 힌지 평면이나 공간 유닛이 서로 90°가 아닌 각으로 구성된 구조는 3차원 관점에서 다루어져야 한고, 이런 형상은 조밀-배열로부터 전개될 수 없는 경우가 다수이다.

이 경우 <그림 13(a)>와 같이 형태구성 대상인 다면체를 먼저 가상의 다면체 블록 내에 배치한 후, <그림 13(b)>처럼 가상블록을 공간상(3차원)으로 배열하는 것이 가능하다. 이 방법으로 앞서 조밀-배열로 다룰 수 없었던 다면체의 3차원 공간형태를 형성할 수 있다. 예를 들어, 20면체는 그 테두리가 가상의 6면체 각 면에 닿도록 배치할 수 있고, 이런 일련의 가상 6면체를 F-to-F로 연결할 수 있다<그림 13>. 이렇게 연결된 개별 20면체들은 정연한 공간형태를 이룬다.



(a) (b)

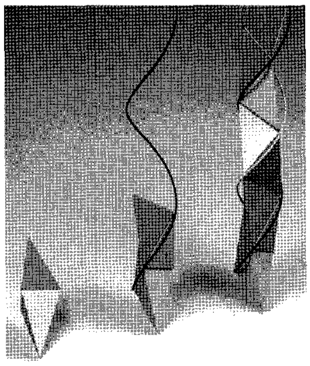
〈그림 13〉 20면체의 가상블록 배열

6면체 외에도 여러 다면체를 가상블록으로 이용할 수 있고, 이 방식을 따르면 단일 다면체뿐만 아니라 다면체 그룹의 비대칭성이 강한 공간 형태구성이 가능하다. 이 방식에 의한 다면체의 배열은 새로운 공간모듈의 디자인에 적용성이 크고, 보다 흥미로운 공간형상을 도출할 수 있다.

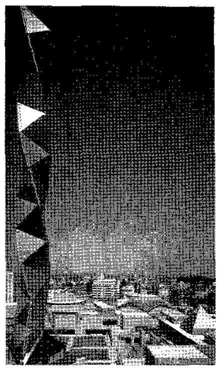
4.3 나선형(Helical) 배열

나선을 이루듯이 다면체를 연결하면 비틀린 선형상을 얻을 수 있고, 길이는 다면체 수에 따라 조절할 수 있다. <그림 14(a)>는 사면체를 F-to-F 연결한 나선형 배열 모델로 종종 사면나선(tetrahelix)으로 언급되며, <그림 14(b)>[6]은 이를 적용한 미토 아트타워(Mito Art Tower)이다. 사면나선은 이 방식 중 가장 간단한 것으로, 다른 많은 다면체 나선형 배열<그림 14(c)>의 기본이 된다.

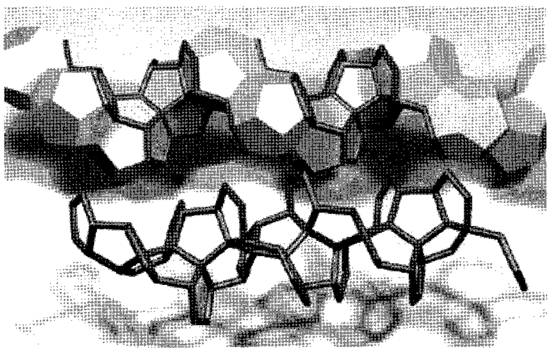
직접 연결하여 나선형 배열을 이루기 어려운 다



(a) 4면체 배열



(b) 미토 아트타워



(c) 12면체 나열

〈그림 14〉 나선형 배열

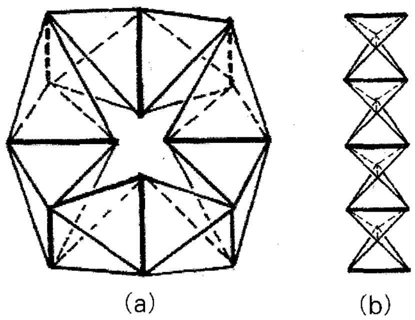
6) Mito Arts Foundation, Mito-shi, Ibaraki-ken, Japan

면체의 경우는 가상블록의 개념을 이용할 수 있다. 즉, 4면체 등 가상블록 면에 닿도록 임의의 다면체를 배치하고, 이것을 나선으로 연결하는 방식을 이용하는 것이다. 이렇게 가상블록 내에 다면체 클러스터를 형성하면 매우 복잡한 다면체 집합의 나선 형태를 전개할 수도 있다.

4.4 원형 배열

4면체와 같이 90°인 대변(對邊)을 가지는 다면체와 그 조합은 쉽게 원형 배열을 이룰 수 있다. <그림 15>의 4면체 원형은 8개 대변을 E-to-E 연결로 얻을 수 있고, 접합부가 강접이 아닌 경우는 서로에 대해 회전이 가능하다. 만일 한 접합부를 끊으면 4면체 열을 형성한다.

90°의 대변을 갖지 않는 다면체 역시 원을 형성할 수 있는데, 예를 들어 16개 8면체는 E-to-E 방식으로 원을 형성한다. 이는 건축구조에서 크게 주목받지 못하고 있는 다른 많은 다면체 형태로부터 역시 가능하다.



〈그림 15〉 4면체 원형 배열

5. 결 론

다면체가 건축구조 디자인 요소로 가지는 가치는 우선 본질적인 기하학적 형태미가 그 하나이고, 무한한 시각적, 공간적 질서가 다른 하나이다.

본 연구에서는 건축구조 디자인의 요소로서 다면체를 살펴보고, 그 형태학적 구성의 기본조건을 토대로 공간적 형태구성 방식을 전개하여, 다음과 같은 결과들을 확인할 수 있었다.

1) 자연계의 예들과 건축물에서 드러나는 다면체성(Polyhedrality)의 측면은 다면체의 상징적, 수사적 표현양식으로서 이용될 수 있다.
2) 형태학적 관점에서 공간 안정성을 확보할 수 있는 개별 다면체의 형태는 거의 무한하고, 이것들은 모두 적절한 연결을 통해 구성요소로 기능할 수 있다.
3) 이런 다면체(혹은 그 집합)를 이용하는 공간의 형태구성은 제시된 방법과 그 조합들을 통해 매우 다양하게 표출될 수 있다.

수십 년간 건물과 그 요소의 형태들은 놀라울 정도로 성장해 왔고, 여기에 기하학적 접근법을 더하는 것은 건축구조 디자인의 새로운 형태 탐구에 일조할 것이다.

참고문헌

1. Anthony Pugh, Polyhedra ; a visual approach, University of California Press, Berkely and L. A, 1976.
2. Anthony Pugh, An introduction to tensegrity, University of California Press, Berkely, 1976.
3. Wolfgang Schueller, Horizontal-span building structures, John Wiley & Sons, New York, 1983.
4. J. Francois Gabriel, Beyond the cube; the architectural space frames and polyhedra, John Wiley & Sons, New York, 1997.
5. Peter R. Cromwell, Polyhedra, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
6. Alexander Tzonis, Santiago Calatrava's creative process part I : fundamentals, Birkhäuser, Switzerland, 2001.