

준결정 시스템을 이용한 다면체 곡면 개발

Polyhedral Surface Development Using Quasicrystal System

김 승 덕*
Kim, Seung-Deog

이 경 수**
Lee, Kyoung-Su

Abstract

This paper is a study on Development of polyhedral surfaces Quasicrystal System. Quasicrystal is the quasi-crystalline material, which is the intermediate material of the crystalline material and non-crystalline material. Quasicrystal is a structures that is ordered but not periodic, the basic form is a rhombus. These studies in the field of chemistry will proceed actively studied, in the field of construction a situation that still insufficient research. Therefore, in this paper, we presents the analysis of Quasicrystal system, and the research on the applicability of as dome structures. This paper described some examples of polyhedron form, and method of applying Quasicrystal system.

Keywords : Quasicrystal, Quasicrystal system, Polyhedron, Dome structures

1. 서론

21세기의 시대는 삶의 질이 향상되고 첨단 기술의 발전으로 첨단 구조물 및 대공간 구조물에 대한 수요가 점차 늘어나고 있다. 우리의 삶을 담는 건축물도 단순히 기능과 구조 및 안전성만을 만족시키는 것이 아니라 건축물 내·외부의 디자인에 대해서도 더욱 많은 관심이 기울여지고 있는 실정이다. 최근 Quasicrystal system에 대한 연구자들의 관심이 커지고 있으며, 이를 건축물에 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

Quasicrystal은 사전적 의미로 준결정을 의미한다. 준결정이란 냉각된 액체 속의 입자에서 존재하는 결정 물질과 비결정 물질의 중간적인 물질을 의미한다. 준결정에 대한 기존의 연구는 1943년 미국의 화학자 Irving Langmuir가 물이 어는 점 이하에서도 준결정

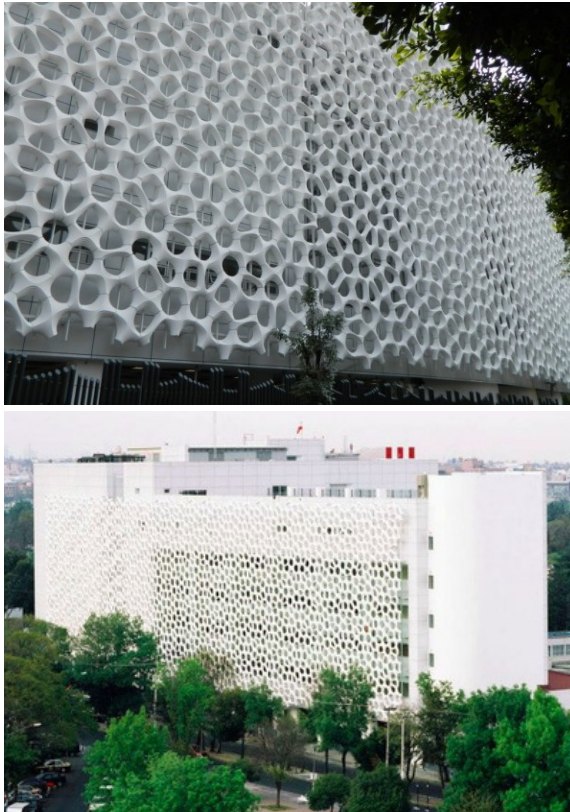
이 존재할 수 있다는 것을 언급하면서 시작되었으나 1982년 Daniel Shechtman에 의해 처음 발견되었다. 이후 Penrose tiling의 개념을 이용하여 준결정 시스템의 형태와 구조 및 개념에 대한 연구가 보고 되었다. 준결정 시스템의 구조는 화학 분야에서 발견되어 꾸준한 연구를 지속해 왔으며 건축 분야에서도 진행되고 있다. Penrose와 Quasicrystal 패턴의 건축적인 형태학에 대한 연구가 진행되고 있으며¹⁾, 건축 조형물²⁾ 및 파사드 제작에 관한 사례가 있다<Fig. 1, 2>.



<Fig. 1> Sculpture casts
(Tony Robbin, USA)²⁾

* 주저자, 중신회원, 세명대학교 건축공학과 정교수,
공학박사

Architectural Engineering, Semyung University
** 교신저자, 학생회원, 세명대학교 건축공학과 석사과정
Architectural Engineering, Semyung University
Tel: 043-649-7082 Fax: 043-649-7082
E-mail: leeks6753@gmail.com



〈Fig. 2〉 Manuel Gea Gonzalez Hospital facade (Mexico City)

이와 같이 건축분야에서 준결정 시스템에 대한 연구가 진행되고 있으나, 건축 구조로서의 적용에는 많은 어려움이 따르며 아직 명확한 연구 보고는 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 논문에서는 준결정 시스템을 건축 구조물로 이용하여 대공간 구조물의 그리드를 설계하며, 준결정 시스템 및 Penrose tiling 기법을 이용하여 디자인적 요소를 가미한 대공간 구조물의 형태를 확인하는 것을 목적으로 한다.

2. Basic concept

피보나치 수열은 기본적으로 불규칙한 장거리 질서를 나타내는 1D Quasiperiodic 구조의 예이다. 피보나치 수열은 대칭성을 가지고 있지 않은 2D 및 3D 준결정 구조에 일반화 할 수 있으며 중요한 특성을 보여준다. 2가지 요소 'L'(대)와 'S'(소)를 가지고 있다. 2가지 요소의 배열은 L에서 LS, S에서 L과

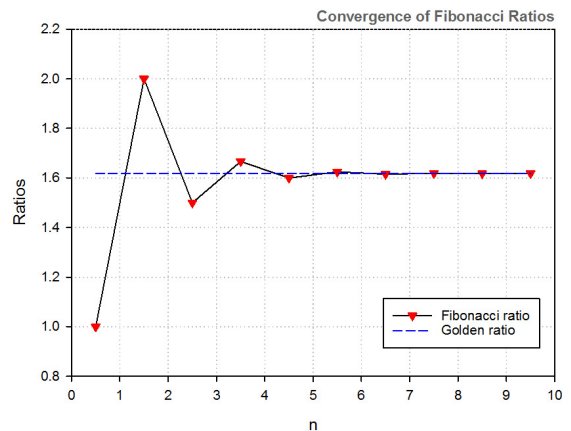
같은 규칙을 가진다〈Table 1〉.

〈Table 1〉 Fibonacci sequence of quasicrystal

Generation	Fibonacci sequence	Fibonacci number
1st	L	1
2nd	LS	2
3rd	LSL	3
4th	LSLLS	5
5th	LSLLSLSL	8
6th	LSLLSLSLLS	13
...

'L'과 'S'는 각각 수열의 진동수이며 연속 피보나치 수열의 비율은 황금 비율이다. 또한 황금 비율이 무한 피보나치 수열 길이의 한계이다.

황금 비율은 준결정 구조의 회절 패턴과도 같으며 그 값은 $2\cos\frac{\pi}{5}$, 약 1.618이다.

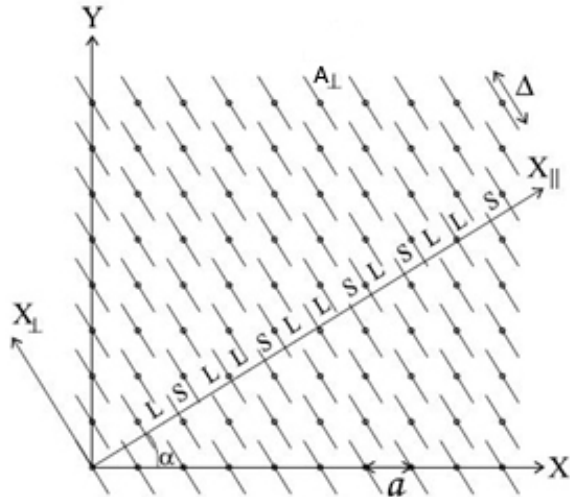


〈Fig. 3〉 Ratio of fibonacci sequence

〈Table 2〉 Fibonacci sequence

Fibonacci	1	2	3	5	8	13	21	34	...
Ratio	1/1	2/1	3/2	5/3	8/5	13/8	21/13	34/21	...

n 은 정수 지표이며, $n > 3$ 부터 황금 비율인 1.618에 근접하고 있다<Fig. 3>.



<Fig. 4> Fibonacci sequences

<Fig. 4>는 2차원 사각 격자에서 생성된 피보나치 수열을 나타낸다. α 는 각도, A_{\perp} 는 X_{\perp} 축의 격자 선분, Δ 는 $a(\cos \alpha + \sin \alpha)$ 로 선분 A_{\perp} 의 길이 그리고 a 는 격자 상수를 의미한다. 정사각형 격자의 축에 대하여 각도에 의해 회전된 한 세트의 X_{\perp} 와 X_{\parallel} 축을 2D 사각형 격자와 함께 고려해야 한다. 격자는 X_{\perp} 축 방향이며 Δ 의 길이를 가진 선분 A_{\perp} 으로 되어있다. 만약 X_{\parallel} 축의 경사가 황금비율의 역수인 경우 X_{\parallel} 축과 선분 A_{\perp} 의 교점은 피보나치 격자를 산출한다. 이러한 과정은 더 높은 차원에서 주기적으로 꾸며진 격자에서 준결정 구조를 얻는 섹션 방법이다.

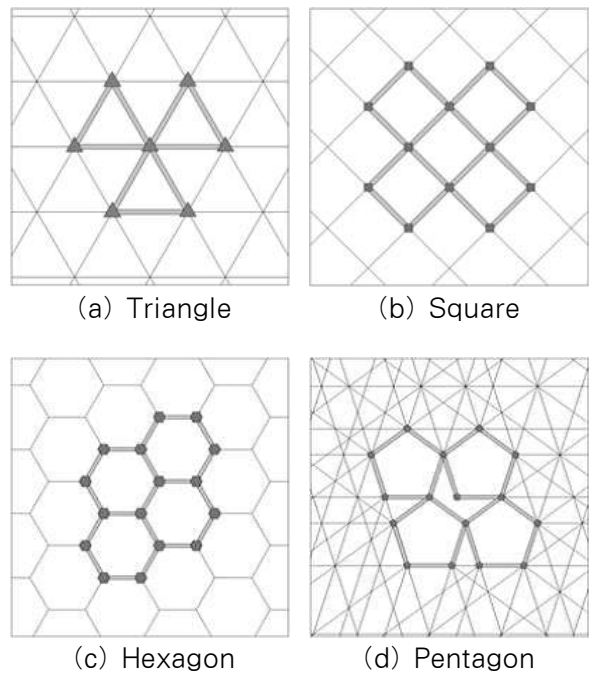
3. 준결정 시스템

3.1 Penrose tiling

준결정 시스템을 해석하기 위해서는 Penrose tiling에 대해 알아야 한다. Penrose tiling은 1973년 영국의 수학자 Roger Penrose에 의해 연구되었다. Penrose tiling의 의미는 크기가 같은 정오각형으로 균일한 평면을 만드는 것은 불가능하지만, 일정한

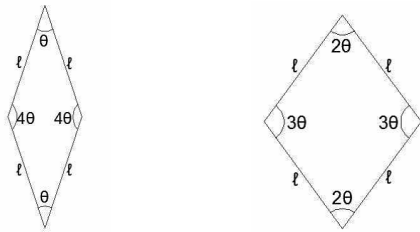
법칙에 따라 2개의 마름모를 배열하면 그 배열이 5회 대칭구조를 가지는 것을 말한다.

정삼각형, 정사각형, 정육각형의 형태를 일정하게 배열하면 균일한 하나의 평면을 가득 채우는 형태가 나타난다. 하지만 정오각형의 형태는 어떻게 배열하더라도 하나의 평면을 균일하게 채울 수 없으며 빈 공간이 나타난다. 또한 Penrose tiling을 이용하여 평면을 해석하면 정삼각형, 정사각형, 정육각형은 균일한 평면으로써, 각각 3회, 4회, 6회의 대칭구조를 나타내고 있지만, 정오각형은 균일한 평면을 생성할 수 없으므로 대칭구조도 나타나지 않는다 <Fig. 5>.



<Fig. 5> Array of polygon

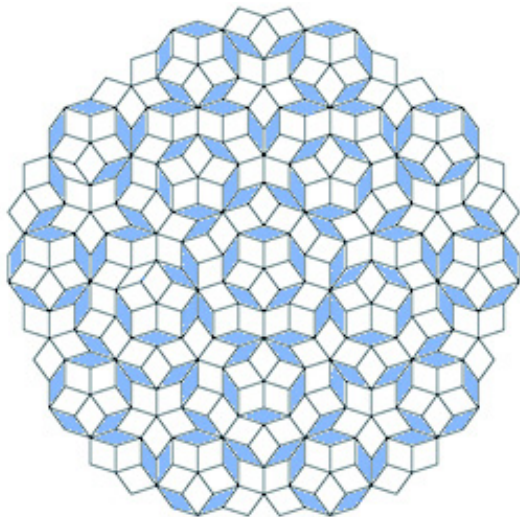
Penrose tiling을 이용한 다각형의 해석을 통해 하나의 평면에서 5회 대칭구조를 나타내기 위해 얇은 마름모와 두꺼운 마름모 2개의 마름모로 나타내어 배열하게 되면 균일한 평면을 나타낼 수 있으며 <Fig. 6>, 배열이 5회 대칭구조를 가지는 형태를 나타낸다<Fig. 7>.



(a) Thin rhombus (b) Thick rhombus

〈Fig. 6〉 Basic form of penrose tiling

정삼각형, 정사각형, 정육각형을 이용하여 나타낸 평면은 하나의 형태만 사용하여 배열한다. 그러나 5회 대칭구조만 2개의 마름모를 사용하여 평면의 형태를 배열한다. 이에 대한 내용은 준결정 시스템의 기본 형태를 나타내면서 다시 거론하기로 한다.



〈Fig. 7〉 Penrose tiling

2종류의 마름모만을 이용하여 5회 대칭구조를 가진 평면을 구성한 Penrose tiling은 일정한 규칙에 따라 평면을 디자인한다. 규칙은 다음과 같이 3가지가 있다.

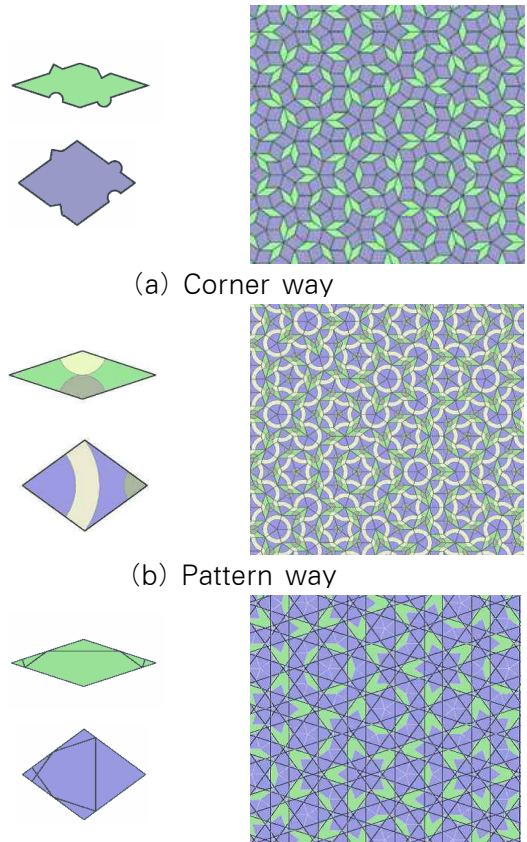
첫째, 마름모의 면에 표시를 하여 그 규칙에 따라 배열하는 방법

둘째, 마름모 안에 무늬를 넣어 배열하는 방법

셋째, Ammann bar를 표시하여 배열하는 방법

어떠한 규칙을 사용하여 배열하는가에 따라 배열

된 평면의 형태가 다르게 표현된다. 〈Fig. 8〉은 각각의 규칙을 사용하여 배열한 것으로 마름모는 주변의 다른 공간에 영향을 미치며, 일치하는 규칙은 부분적인 조건이지만 확장되어 가면서 전체적인 조건을 만족시켜 나간다.



(a) Corner way

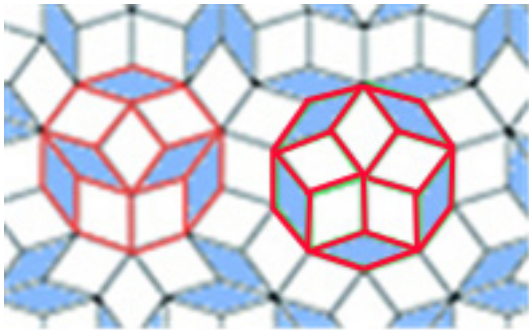
(b) Pattern way

(c) Ammann bar way

〈Fig. 8〉 Matching rule

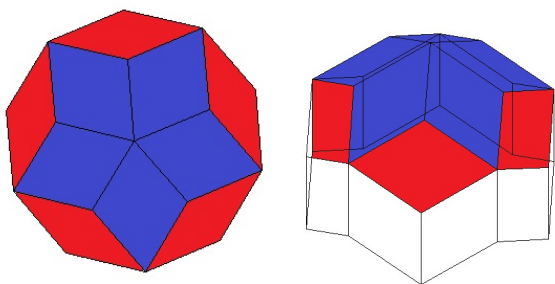
3.2 준결정 시스템의 기본형태

Penrose tiling의 규칙을 통한 Penrose tiling 평면을 준결정 시스템에 적용한다. 두 종류의 마름모를 이용하여 평면상에 Penrose tiling 패턴을 제작하고 규칙을 이용하여 입체 형태로 변형한다. 입체 형태로 제작하면 곡률이 발생하며 5회 대칭구조의 조건을 만족하기 위해 Penrose tiling을 형성한 2개의 마름모(얇은 마름모, 두꺼운 마름모)가 아닌 하나의 마름모가 생성된다. 곡률을 가진 입체 형태를 평면으로 보았을 때 하나의 마름모가 2개의 마름모로 표현된다.



<Fig. 9> Expand of penrose tiling¹⁾

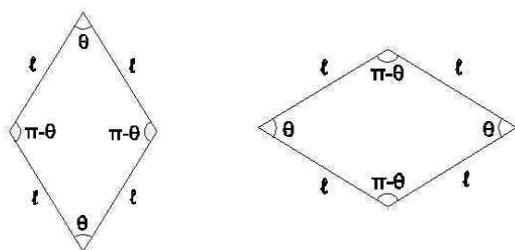
<Fig. 9>는 Penrose tiling의 일부분만을 나타낸 것이다. 두 종류의 마름모를 통해 나타낸 부분을 <Fig. 10>과 같이 나타내면 평면상에서 2종류의 마름모가 하나의 동일한 마름모로 나타나는 것을 확인할 수 있다.



(a) Floor plan (b) Bird's-eye view

<Fig. 10> Form of rhombus

이러한 마름모는 면의 길이와 각도는 서로 동일하지만, 기준이 되는 각도가 달라진다. 2개의 마름모의 기준으로 하나는 예각, 다른 하나는 둔각을 기준으로 한다.

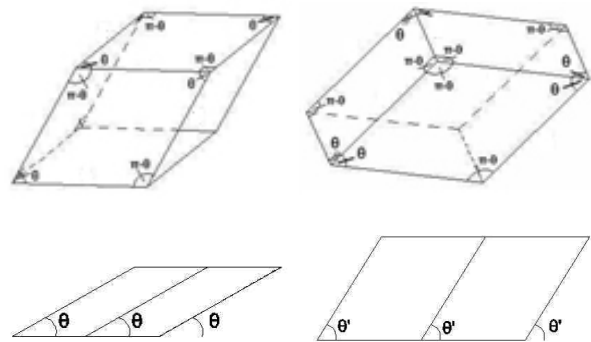


(a) Acute angle (b) Obtuse angle

<Fig. 11> The basic form of quasicrystal system

준결정 시스템의 입체 형태의 기본 형태는 <Fig. 11>에서 나타낸 각도의 기준을 가진 두 종류의 마름모를 사용하여 나타낸 육면체의 형태를 기본요소로 나타낸다.

준결정 시스템의 기본 형태로 나타낸 육면체의 모든 면은 동일한 마름모로 형성되어 있다. 또한 육면체의 형태는 모든 면이 동일한 마름모의 형태이지만 기준 각도의 차이로 인해 두 육면체의 형태가 달라진다<Fig. 12>.

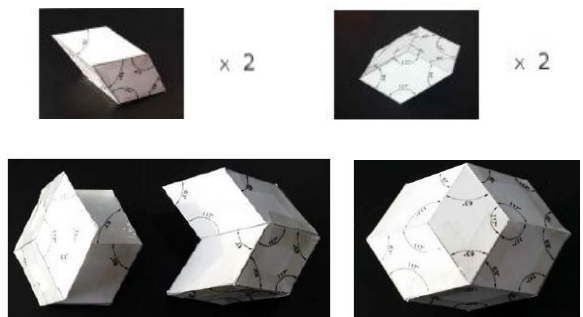


(a) Acute angle (b) Obtuse angle

<Fig. 12> Two types of cube

3.3 준결정 시스템의 다면체 제작

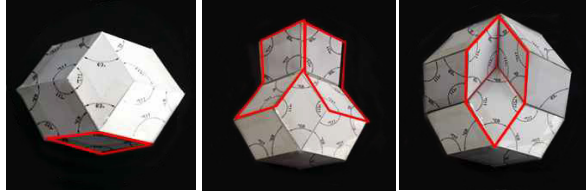
준결정 시스템의 기본요소로 제시한 두 육면체를 조합하여 12면체, 20면체, 30면체를 제작한다. 12면체는 두 육면체를 각각 2개씩을 사용하여 제작한다. 12면체의 제작과정을 <Fig. 13>에 나타낸다.



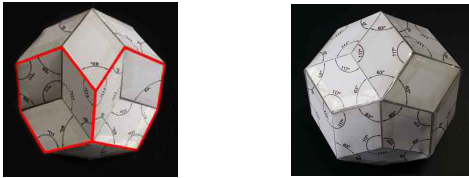
<Fig. 13> Production of the dodecahedron^{3),4)}

20면체의 제작은 두 육면체를 각각 5개씩 사용하여 제작한다. 또한 위의 <Fig. 13>에서 제작한 12면

체에서부터 제작이 시작되며, 제작 과정은 <Fig. 14>에 나타난다.



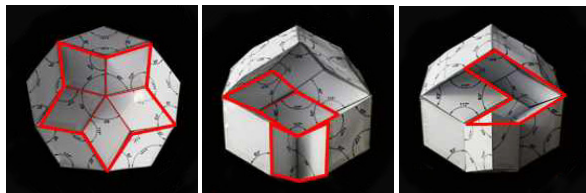
(a) Obtuse angle*1 (b) Acute angle*2 (c) Acute angle*1



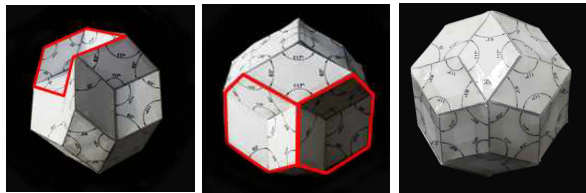
(d) Obtuse angle*2 (e) Icosahedron

<Fig. 14> Production of the icosahedron^(3),4)

30면체의 제작은 두 육면체를 각각 10개씩 사용하여 제작하며, <Fig. 14>의 20면체로부터 육면체를 추가하여 제작하게 되며, 제작 과정은 <Fig. 15>에 나타난다.



(a) Obtuse angle*2 acute angle*1 (b) Acute angle*2 (c) Acute angle*2

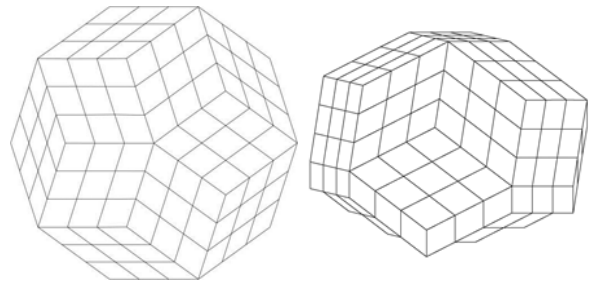


(d) Obtuse angle*1 (e) Obtuse angle*2 (f) 30-sided

<Fig. 15> Production of the 30-sided^(3),4)

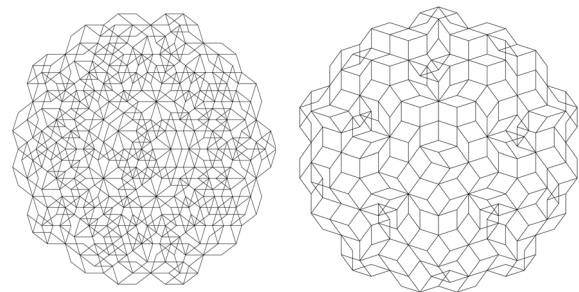
3.4 다면체 곡면 구조

준결정 시스템의 다면체를 제작하고, 다면체의 곡면을 통해 새로운 건축구조물로 나타내고, <Fig. 15>에서 나타난 30면체의 제작을 통해 그리드를 분석하여 Model을 제작한다<Fig. 16>.



(a) Plan (b) Bird's-eye view

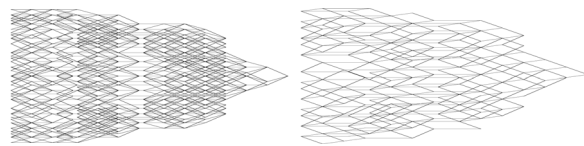
<Fig. 16> 30-sided expand



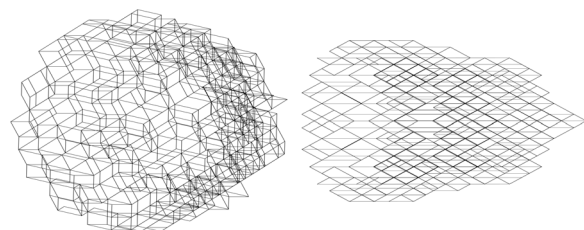
(a) Plan (b) Outside

<Fig. 17> Quasicrystal design grid dome I

<Fig. 17>은 <Fig. 16>의 형태를 응용하여 나타난 것이다. 외부 그리드의 형태는 30면체 형태에서의 확장 형태로 나타낼 수 있으며, 전체적인 그리드의 형태는 디자인적 요소를 포함하고 있다. 평면의 형태는 꽃잎과 같은 형태를 나타내며 준결정 시스템의 특징으로 인해 모든 그리드의 길이가 동일하며 5각 대칭구조를 보이는 형태이다.



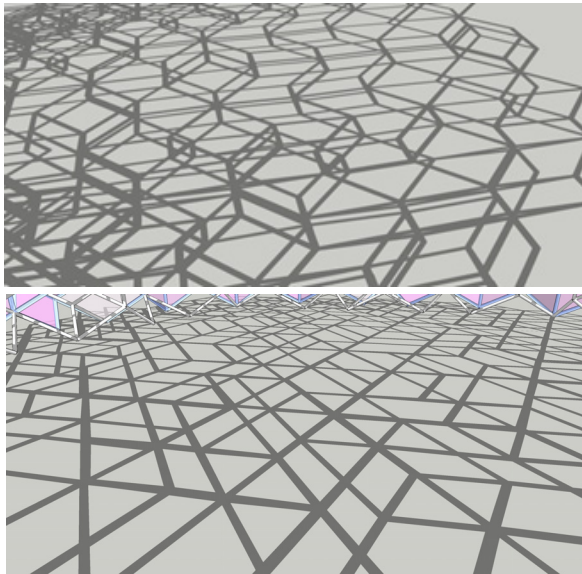
(a) Elevation



(b) Bird's-eye view

<Fig. 18> Quasicrystal design grid dome II

대공간 구조물의 미적 요소로 사용하기 위한 부재들은 <Fig. 18>과 같이 복잡해 보이면서도 정리되어 있고, 또한 보는 각도에 따라 일치하는 형태를 나타내기도 한다. 또한 <Fig. 19>와 같이 부재의 그림자를 통해 Penrose tiling의 형태를 나타낼 수 있는 효과를 가지고 있다.



<Fig. 19> Penrose tiling shadow

4. 결론

준결정 시스템은 Penrose tiling의 패턴을 통하여 표현이 가능하다. 평면상의 2종류 마름모를 통해 평행육면체를 제작하며, 평행육면체를 통해 다면체의 제작하였다. 이러한 다면체 제작을 통해 대공간 구조물의 가능성을 확인하였으며, 그리드는 구조물의 구조적 역할 및 미적 효과를 기대하기 위하여 배치하였다. 따라서, 본 논문에서 Quasicrystal design grid dome의 형태는 꽃잎의 평면을 보여주며 보는 각도에 따라 그리드가 일치한다. 또한, 모든 부재의 길이가 동일하며, 마름모 형태의 사각 그리드로 인해 2종류의 각도만 사용되었다. 미적 요소로 부재의 그림자를 통해 Penrose tiling의 형태를 나타낼 수 있는 효과를 가지고 있다.

감사의 글

이 논문은 2014학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임

References

1. Ture Wester, (2006), The Structural Morphology of Penrose and Quasicrystal patterns Part I, Adaptable2006, TU/e, International Conference On Adaptable Building Structures, July 3-5
2. Tony Robbin, (2013), The Visual and Structural Properties of Quasicrystals, Preceding of the First Conference, Transformable 2013, pp.287-290
3. Dov Levine and Paul Joseph Steinhardt, (1986), Quasicrystals. I. Definition and structure, Physical Review B, Vol. 34, No.2, pp.596-616.
4. Joshua E. S. Socolar and Paul J. Steinhardt, Quasicrystal. II. Unit-cell configurations, Physical Review B, Vol. 34, No.2, 1986, July 15, 617-647.

- Received : November 07, 2016
- Revised : November 30, 2016
- Accepted : December 04, 2016