

디지털건축공간에 나타난 위상기하학적 불변항의 표현특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Topological Invariant Expression in the Space of Digital Architecture

배강원* / Bae, Kang-Won
박찬일** / Park, Chan-Il

Abstract

The purpose of this study is to propose a topological design principles and to analyze the space of digital architecture applying topological invariant expressive characteristics. As this study is based on topology as a science of true world's pattern, we intended to explain the concepts and provide some methods of low-level and hyperspace topological invariant properties. Four major aspects are discussed. Those are connection theory, boundary concept, homotopy group, knot pattern theory as topological invariant properties. Then we intended to make understand topological characteristics of the Algorithms, turing machine, cellular automata, string theory, membrane, DNA and supramolecular chemistry.

In fine, the topological invariant properties of the digital architecture as genetic algorithms based on self-organization and heterogeneous networks of interacting actors can be analyzed and used as a critical tool. Therefore topology can be provided endless possibilities for architecture, designers and scientists intended in expressing the more complex and organic patterns of nature as life.

키워드 : 디지털건축, 위상기하학, 불변항

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

19세기 중반에 들어 수학자들이 새로운 기하학을 탐구하기 시작하면서 수학은 점점 더 추상화 되었다. 그것은 평행선을 만나게 하는 기하학이었고, 4차원 혹은 그 이상의, 무한 차원을 가진 공간의 기하학이었다.

위상기하학의 발생도 이러한 새로운 추상적 대상들의 급증 속에서 이루어졌다. 당시의 새로운 발전은 모든 세계관의 변화로 이어졌으며 그 변화는 수학의 산물로서 어디에나 존재하며 우리 삶의 많은 부분에 커다란 영향을 미치게 된다. 즉, 오늘날 신과학계분야를 비롯한 다양한 분야에서 우리는 근본적으로 의식전환이 동반된 위상기하학적인 우주 안에서의 위상학적인 삶을 살고 있다고 할 수 있다.

마르코스 노박(Marcos Novak)은 수학이 하는 일은 우리의 내적 세계를 타인과 공유할 수 있는 간명하고 정확한 방법을

제공하는 것이라고 했다. 또한 수학은 구조에 관한 것, 다시 말해 실현가능한 구조에 관한 것이며, 가상현실이란 그런 가능한 세계를 찾아가는 문제에 관한 것이라고도 언급하고 있다.

이와 같이 수학적 측면에서 바라보는 가상현실의 구조와 동일하게 디지털공간은 공간을 구축하고 기술하는 방식에 따라 그 외형은 얼마든지 변화 가능한 공간, 즉 종래의 사고와 체계 인식을 초월하는 구조적 체계 속에서 건축문화의 전면에서 등장하게 된다.

이제 테크놀로지는 도구가 아니라 오히려 환경이라 할 수 있다. 다시 말해 인간은 늘 새로운 환경을 만들어내고, 다시 이 새로운 환경에 적응하면서 진화하는 디지털의 세계에 살고 있다고 볼 수 있는 것이다. 디지털기술에 의해 설계된 공간은 새로운 형태의 의식으로 생물체처럼 발생·증식·성장한 후 후기 생물학적인 개념으로 재물질화 되어간다. 즉, 사용자와의 상호작용을 통해 사용자의 반응을 반영한 후 자신의 반응도 되돌려 줄 수 있는 인터랙티브한 공간이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 공간이란 그 시대의 수학, 그 시대의 기하학이 구현 해낸 것들이라는 관점으로부터 최근 디지털건축에서 두드러지게 나타나는 위상기하학적 불변항의 표현특성에 대

* 정희원, 건국대학교 건축전문대학원 실내건축설계학과 박사과정

** 정희원, 건국대학교 건축전문대학원 실내건축설계학과 조교수

한 분석과 고찰을 통하여 끊임없이 변화를 계속하고 있는 디지털건축공간에서 위상기하학적 변환에 의해 실현가능한 표현방법과 그 특성이 무엇인지를 밝히고 위상기하학의 조형적 특성과 디지털건축공간에서의 적용가능성에 대한 기초적 자료를 제시하는데 그 목적을 둔다.

12. 연구의 범위 및 방법

국가 경제의 성장을 시각적으로 표현하기 위해 위상기하학이라는 수학의 분야를 이용하는 .세계적인 경제학자인 그레이시엘라 치칠니스키(Graciela Chichilnisky)는 우리가 인간 역사에서 제4기의 시대로써 색다른 유형의 사회인 '지식사회'로 진입하고 있다고 했다. 또한 지금 우리가 겪고 있는 일대 전환은 '지식혁명'이라 부른다고 했다. 수학은 단지 진부한 규칙에 따라 기호를 조작하는 것이 아니라 실제 세상의 패턴을 이해하는 학문이다. 우리는 수학의 힘과 함축된 기호의 단순성을 이용해 컴퓨터 속에 상상의 세계를 창조할 수 있고, 복잡한 식을 계산해줄 기계를 설계하고 만들 수 있으며, 4차원 이상의 세계를 조사할 수 있고, 바이러스가 어떻게 인체를 공격하는지 탐구할 수 있으며, 보이지 않는 것을 볼 수 있는 방법을 제공할 수도 있다. 이와 같은 현대수학은 무한한 가능성을 내재하고 있다고 할 수 있으며 공간의 위상적 성질을 탐구하는 위상기하학은 그러한 현대수학의 중심에 있다고 할 수 있다.

본 연구는 연구의 배경과 분석을 위한 추론의 정립과정인 서론, 위상기하학의 개념과 불변항 특성을 이해하는 2장, 그리고 신과학에 나타난 알고리즘으로서의 수학과 물리학, 생물학, 화학에 위상기하학이 어떻게 응용되었는지에 대한 사례를 고찰하는 3장, 디지털 건축에서 나타나는 유전적 알고리즘으로서의 특성 및 창과 표피에 보여 지는 2차원 위상학적 불변항의 특성과 건축의 형태나 구조에 관계하는 고차원 위상기하학적 불변항의 특성을 고찰, 정리하고 그 개념을 설명하는 4장, 각 장의 내용을 종합적으로 정리 고찰하는 결론으로 구성되어 있다.

2. 위상기하학의 개념과 불변항 특성

2.1. 위상기하학의 발생배경과 개념특성

19세기 중반에 수학은 일종의 혁명을 겪게 된다. 대부분의 경우는 기존 수학에 대한 분석과정에서 등장하게 되는데, 이른바 "비유클리드 기하학"이라는 평행선이 서로 만나는 기하학과 "군 이론"이라 불리는 4차원 이상의 기하학, 차원이 무한히 많은 기하학, 도형의 대칭성을 나타내는 기호들을 사용하는 대수학이 있고, "명제논리학"이라는 논리적 생각을 나타내는 기호들을 사용하는 대수학이 있으며, "벡터 대수학"이라는 2차원

혹은 3차원 공간에서의 운동을 나타내는 기호들을 사용하는 대수학이 있었다. 그때 이후 수학은 점점 더 추상화되었고 위상기하학의 발생도 이러한 새로운 추상적 대상들의 급증 속에서 이루어졌다. 위상기하학적 공간은 연속적인 변형에 의해서는 파괴되지 않는 도형의 성질들을 연구하는 기하학을 개발하겠다는 발상에서 나왔다.

위상기하학은 일종의 "초기하학(ultra geometry)"이다. 2차원 위상기하학도 물론 있지만 위상기하학의 관심사는 대부분 3차원 이상의 대상들이다. 위상기하학적 공간에는 직선 개념이 없을 뿐만 아니라 고정된 모양 개념도 없고, 어떤 종류의 거리 개념도 없으며, 말할 수 있는 것은 오직 두 점이 상대적으로 서로 가까이 있는지에 대한 직관적인 개념여부뿐이다. 즉 위상기하학은 닫힘(closeness)과 위치의 패턴을 탐구하는 학문이다.

(1) 2차원에서 불변하는 위상기하학적 특성

'2차원 위상기하학'은 흔히 '고무판 기하학'이라고 불리며 도형을 완벽하게 탄성적인 고무판에 그린 후, 고무판을 비틀고 잡아 늘여도 그대로 유지되는 도형의 성질들을 연구한다. 따라서 선이 곧거나 굽었거나 어떤 특정한 모양을 가져야 한다는 조건을 부가하지 않는다면, 위상기하학에서도 여전히 선 개념은 존재한다. 또한 닫힌 고리¹⁾로서 완벽하게 탄성적인 고무판에 고리를 그린다면, 고무판을 마음대로 늘이고 줄이고 비튼다 할지라도 고리는 여전히 고리일 것이다. 즉 위상학적으로 동치인 모든 표면이 공유하는 성질을 위상기하학적 불변항이라고 한다.

① 오일러의 연결망 이론

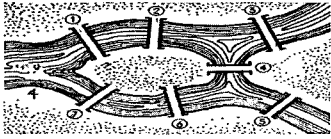
오일러의 연결망 이론은 연결망이 그려진 표면을 연속적으로 변형시켜도 연결망이 연결된 방식은 변하지 않으므로 오일러 특성 값²⁾도 불변한다는 것이다. 이 이론은 <그림 1>의 쾨니히스베르크 다리의 수수께끼 문제³⁾를 해결한 오일러의 착상으로부터 위상기하학의 주요 주제 중 하나로 생겨났으며 오늘날 통신망 분석과 컴퓨터 회로 디자인 등 여러 분야에서 응용된다.

<그림 2>는 연결망의 꼭짓점인 임의의 점들을 적당히 선들로 연결한 것이다. 모서리의 모양은 중요하지 않지만, 모서리들이

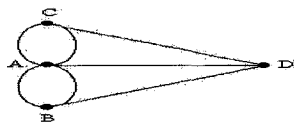
1) 자기 자신과 만나서 닫히는 선

2) 평평한 표면에 그려진 임의의 연결망에서, V가 꼭지점의 개수이고, E가 모서리의 개수이고, F가 면(두개 혹은 그 이상의 모서리들로 둘러싸인 구역)의 개수라면, $V-E+F=1$ 이고, 구면 위 연결망과 관련된다면 체에 적용된 공식은 $V-E+F=2$ 라는 오일러공식(Euler's theorem)이 성립한다.

3) 쾨니히스베르크에 한개의 다리로 연결된 두 섬이 있는데, 한 섬은 양쪽 강안과 각각 한 개의 다리로 연결되어 있고, 다른 섬은 양쪽 강안과 각각 두 개의 다리로 연결되어 있다. 모든 다리를 꼭 한 번씩 거치는 산책경로가 존재할까? 라는 수수께끼 문제에 오일러가 존재할 수 없다는 위상학과 관련해서 증명을 한 이론



<그림 1> 쾨니히스베르크에 있는 7개의 다리

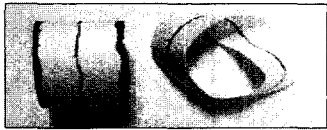


<그림 2> 쾨니히스베르크다리 연결망

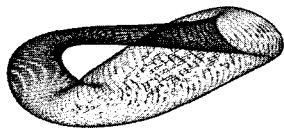
서로 교차하지는 말아야 하며 단 선의 끝에서는 교차할 수 있다. 또한 어떤 선도 자기 자신과 만나지 말아야 하며 이는 어떤 선도 닫힌 올가미를 만들지 않아야 한다는 것을 뜻한다. 그림에 나오지 않는 다른 한 가지 더 조건은 연결망이 연결되어 있어야 한다는 것인데, 다시 말해서 임의의 꼭짓점에서 임의의 꼭짓점으로 선을 따라 이동할 수 있어야 하는 연결망들을 보여 준다. 이와 같은 2차원 평면위의 연결망을 계산해보면 $V-E+F=1$ 라는 오일러의 공식을 얻을 수 있다.

② 측면의 개념

수학적 표면에는 '측면'(앞면 혹은 뒷면)이 없으므로 도형을 표면의 '한 측면'에만 그릴 수 없으며, 두께도 존재하지 않는다. 표면 '속'에서만 살아야 하는 2차원 존재자에게는 측면개념 자체가 무의미하다. 즉 측면 개념은 표면을 주위의 3차원 공간에서 관찰할 때만 그 의미를 찾을 수 있다.



<그림 3> 원통형 띠와 뒤틀린 띠



<그림 4> 클라인 병

오일러(Leonhard Euler) 이외에도 18세기 수학자들 중에서 위상학적 변환 개념을 명료하게 정의함으로써 오늘날 위상기하학이라 불리는 수학분야의 형성에 결정적인 계기를 마련한 대표적인 인물로 가우스의 제자 뒤틀린 띠(Augustus Mobius)와 리스팅(Johann Listing)이 있다. 뒤틀린 띠와 리스팅은 오직 한 측면만을 가질 뿐만 아니라, 오직 한 개의 경계를 가진 뒤틀린 띠를 발견했다. 정상적인 띠는 정향 가능⁴⁾하지만, 뒤틀린 띠는 정향 불가능하다.<그림 3> 정향 가능성은 표면이 지니는 전형적인 위상학적 특성이다. 원통형 띠는 정향 가능하고 뒤틀린 띠는 정향 불가능하므로, 이 두 표면은 위상학적으로 서로 동치가 아님이 분명하다. 따라서 위상학적 변환을 통해서 원통형 띠를 뒤틀린 띠로 변환하는 것이 불가능해야 한다.

측면 개념은 경계와 밀접하게 관련되어 있다. 대부분 수학자들은 경계가 없는 표면 즉 닫힌 폐곡면⁵⁾에 관심을 기울인다. <그림 4>는 뒤틀린 띠에 대응하는 닫힌 폐곡면인 클라인 병이다. 클라인 병은 그 표면을 발견한 독일의 수학자 펠릭스 클라인(Christian Felix Klein)에게서 나왔다. 클라인 병에는 경계

4)정향 가능하다는 말은 시계 방향과 시계 반대 방향이 분명히 구분되는 것, 혹은 오른손과 왼손이 분명히 구분된다는 것을 의미한다.
5)경계가 없는 면, 특히 무한히 뻗어있지 않고 범위가 한정된 면.

가 없으며, 내부도 외부도 없다. 이론적으로는 뒤틀린 띠 두 개를 서로 맞대어 께매면 클라인 병을 만들 수 있다. 오직 한 측면만을 가진다는 것에 대응하는 클라인 병의 위상학적 성질은 뒤틀린 띠와 마찬가지로 정향 불가능성이다.

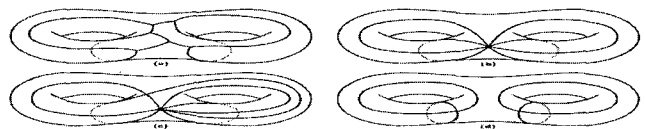
임의의 닫힌 표면은 3차원 이상을 필요로 한다. 구면이나 토러스를 구성하려면 3차원이 필요하고, 클라인 병을 구성하려면 4차원이 필요하다. 하지만 구면, 토러스, 클라인 병은 2차원적인 대상이다. 이들은 두께가 없으며, 원리적으로는 평평하고 완벽하게 탄성적인 고무판으로부터 구성할 수 있다.

(2) 3-다양체⁶⁾에서 불변하는 위상기하학적 특성

현재 물리학자들이 연구하는 수학적 물질 이론들은 우리가 사는 우주가 11차원을 가지고 있다고 간주한다. 그 이론들에 따르면, 11차원 중 3차원은 우리가 직접적으로 의식하고, 나머지 차원들은 전자기 복사와 같은 혹은 원자를 구성하는 힘들과 같은 다양한 물리적 특성들로 나타난다.

① 다양체의 호모토피 군 이론⁷⁾

푸앵카레(Henri Poincare)⁸⁾는 고차원 초구면의 초표면에서 폐곡선들이 다양체 속을 움직이거나 변형될 때 무슨 일이 벌어지는지를 연구하기 위해서 고차원의 호모토피 이론이라는 체계적인 방법을 개발했다. 표면에 그린 임의의 폐곡선을 점으로 줄일 수 있다는 것은 구면에게만 있는 위상학적 성질이다. 즉, 어떤 표면이 있는데 그 표면에 있는 모든 각각의 폐곡선이 표면을 떠나지 않으면서 점으로 줄어들 수 있다면, 그 표면은 위상학적으로 구면과 동치($V-E+F=2$)이다.<그림 5>



<그림 5> 다양체의 호모토피 군

오늘날까지 위상기하학에서 가장 중요한 미해결 문제 중 하나로 남아있는 푸앵카레(Henri Poincare) 추측은 '어떤 3-다양체가 3-구면과 동치가 아니면 폐곡선⁹⁾-줄이기 성질¹⁰⁾을 가질 수 있는 경우가 있을까?' 라는 자신의 질문에 대해 그렇다하는 추측을 함으로써 3-다양체에 대한 우리의 이해를 발전시키기 위해 넘어야 할 근본적인 문턱이 되었다.

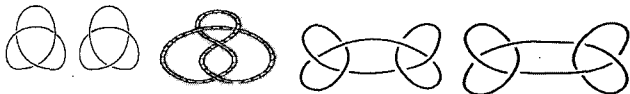
6)경계가 없는 콤팩트한 3차원 다양체, 표면의 3차원 변양태(초표면)와 구면의 3차원 변양태(초구면)를 말하며 이는 4차원 혹은 그 이상의 차원을 가진 공간에 존재한다.
7)한 경로에서 다른 경로로의 연속 변환은 호모토피라 불리며, 이 방식으로 얻어지는 푸앵카레 근본 군을 다양체의 호모토피 군이라 불린다.
8)고차원 다양체에 적용할 수 있는 위상학적 불변항을 탐구한 최초의 수학자들 중 한사람으로 대수 위상학이라 불리는 위상학의 한 분야를 정초하는데 기여했다.
9)한 곡선 상에서 한 점이 한 방향으로 움직여 출발점으로 되돌아오는 곡선, 평면을 내부와 외부로 갈라놓는 성질을 가진.
10)오일러 특성값 개념을 고차원으로 확장해서 얻는 개념의 호모토피군

② 매듭이론

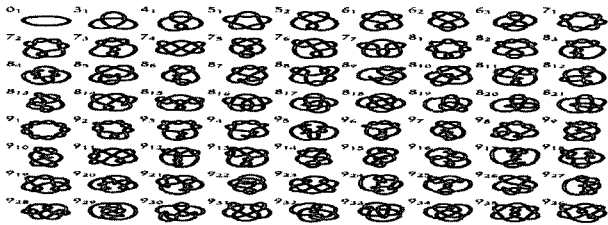
19세기 말 영국의 테이트(Peter Guthrie Tait)는 하나의 매듭으로부터 폐곡선을 유지하면서 연속된 변형에 의하여 얻어진 매듭은 서로 같다는 매듭형에 관한 엄밀한 정의를 세우고, <그림 10>처럼 교차점의 수에 따라 간단한 매듭에서부터 점점 복잡한 매듭을 중복 없이 모두 나열하려 시도하였다.

20세기에 들어서면서 매듭이론은 위상학적 구조를 이용하여 체계적으로 발전하기 시작한다. 특히 고차원 매듭의 경우에는 매듭의 거의 모든 정보를 매듭을 경계로 가지는 다양체로부터 추출해 내는 것이 가능하다. 매듭을 결정짓는 특징은 당연히 끈이 매듭지어지는 방식인 매듭패턴이다. 매듭 패턴은 매듭을 조이거나 느슨하게 하거나 개별 고리들의 모양을 바꾸어도 끈이 매듭지어진 방식은 변하지 않으므로 위상학적 패턴이다.

수학자들이 말하는 매듭은 3차원 공간 속에 있는 닫힌 고리이며 당연히 굵기도 없다. 매듭과 관련된 위상학적 변환은 매듭 자체만의 변환이 아니라 주변에 있는 3차원 공간 전체의 변환이다. 두 매듭이 위상학적으로 '같은 매듭'이라는 말은 3차원 공간에 적용되는 어떤 위상학적 변환이 있어서 그 변환을 통해 한 매듭을 다른 매듭으로 바꾸는 것이 가능하다는 뜻이다.



<그림 6> 트레포일 <그림 7> 4-매듭 <그림 8> 리프매듭 <그림 9> 그래니 매듭



<그림 10> 9 이하의 교차수를 가진 매듭을 나타낸 매듭 도안표

두 매듭을 구별하는 신뢰할 만한 방법인 매듭 불변항은 매듭에 임의의 합법적인 조작을 가해도 변하지 않는 성질이다. 복잡한 매듭의 구조를 이해하는 한 가지 방법은, 그 매듭을 여러 개의 보다 작고 단순한 매듭들로 분할하는 것이다. 예를 들어 리프(reef)매듭<그림 8>과 그래니(granny) 매듭<그림 9>은 둘 다 두개의 트레포일(trefoil)<그림 6>로 분할 될 수 있다. 그러나 여러 해 동안 언급된 매듭 불변항들은 존스 다항식¹¹⁾이 두 트레포일을 구별하기 전까지는 이 두 매듭을 구별하지 못하였다. 이 매듭이론이 그 자체의 의미 이상의 의미로 힘을 얻을 수 있는 것은 생물학과 물리학에 매우 흥미로운 방식으로 새롭게 응용되고 있기 때문이다.

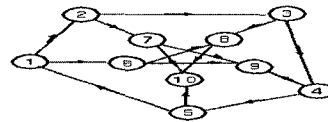
11)1984년 뉴질랜드 수학자 존스(Vaughan Jones)가 우연히 발견하였으며 두 매듭의 차이는 매듭을 이루는 두 트레포일이 서로에 대해 어떤 방향으로 있는지에 따라 두가지 방식으로 구분할 수 있음을 밝혀냈다.

3. 신과학계에 나타난 위상기하학적 특성

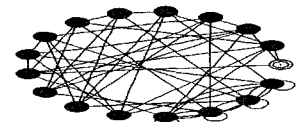
복잡하기만 한 자연을 깊이 이해하기 위해서는 과학을 분야별로 따로 연구하는 것보다 물리적인 측면 화학적인 측면 생물학적인 측면을 동시에 보면서 연구해야 한다는 것이 일반적인 관점이다. 물질의 전체 상태는 여러 가지 상태가 끊임없이 나타나는 동적구조를 갖게 된다. 동적 구조의 대표적인 보기인 생명체는 다양한 요소가 여러 가지 상호작용으로 만들어 내는 자기조직적인 현상이라 할 수 있다. 과거 한가롭던 시대에는 유클리드의 눈으로만 자연을 바라보아도 충분했지만 지금의 시대는 그것을 허락하지 않는다. 이에 자연에 대한 새로운 안목을 갖춘 사람들, 과학에 대한 새로운 방법론을 갖춘 사람들에 의해 새로운 과학혁명이 시작되고 있다.

3.1. 알고리즘적 세포자동자¹²⁾의 위상기하학적 특성

에드워드 프레드킨(Edward Fredkin)은 우주가 물질과 에너지로 이루어진 것이 아니라 정보가 그 본질이라고 말하고 있다. 한마디로 우주는 일종의 거대한 컴퓨터라는 것이다. 우주는 정보의 바다이고, 이 우주에 존재하는 모든 것들은 그 정보들 중에서 자기와 관련 있는 정보를 이용해서 자기를 변화시킨다. 또한 물리학자 막스 플랑크(Max Planck)는 에너지의 변화가 아주 작기는 하지만 불연속적으로 변한다는 것을 알아냈다. 우주는 연속적인 아날로그가 아니라 디지털적이라는 것이다.



<그림 11> 알고리즘



<그림 12> 튜링 기계에 나타난 알고리즘

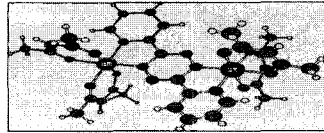
오래전부터 수학자들은 모든 수학문제를 기계적으로 풀이할 수 있는 어떤 '알고리즘<그림 11>¹³⁾'이 존재하는지를 알고 싶어 했다.

12)스스로 움직이는 세포모양의 것, 튜링기계를 하나의 세포단위로 생각하고 병렬로 연결해 놓은 것, 작은 세포들이 결합해서 생물체가 이루어진 것과 마찬가지로 개개 튜링기계의 동작에 의해 결정되는 것. 단순한 규칙으로부터 아주 복잡한 구조를 한순간에 창발 해 내는 능력이 마치 생물체의 행동이 너무나 흡사해 새로운 컴퓨터를 설계하는 기술일 뿐 아니라 새로운 운영체제를 설계할 이론이며 인공생체를 만드는 데도 이용되고 있음. 세포자동자라는 명칭은 노이만의 논문을 편집했던 버크스가 붙인 것.

13)알고리즘의 개념은 다른 말로 계산 가능한, 귀납적인, 효과적인 이라는 말로도 표현된다. 알고리즘은 유한회수의 절차인데 이것을 하나의 자연수에 대응(귀납적 함수)시키고 이 함수를 일반화시켜서 수학적으로 정식화하는 문제를 의미한다.



<그림 13> 세포자동차



<그림 14> 세포자동차 구조

컴퓨터의 이론적 토대를 마련한 수학자 튜링(A. M. Turing)이 고안한 튜링기계<그림 12>¹⁴⁾가 오늘날 컴퓨터의 기본원리가 되었으며, 오늘날 컴퓨터의 아버지라고 불리는 노이만(John von Neumann)은 이 튜링기계의 상태를 내부기억장치로 구현해 내어 오늘날의 기본적인 직렬처리 방식의 컴퓨터구조를 탄생시켰다.

그 당시 미세한 생명체도 나름대로 만능 튜링기계를 능가하는 컴퓨터를 갖추고 있다는 발견¹⁵⁾에 의해 노이만은 생명체를 일종의 기계로 보게 되었고 따라서 무기물인 기계로도 생명체와 똑같이 기계자신이 자신과 닮은 새끼 기계를 만들 수 있다고 생각하는 자기증식 기계를 설계하려고 했다. 이에 노이만은 자기 복제에 관한 비밀문서를 기록하였고 사후에 버크스(Arthur Walter Burks)가 완성하여 출판하였다.

이러한 노이만 이웃¹⁶⁾을 이용하여 변화하는 세포자동차는 인공적으로 생명현상, 즉 자기복제 현상을 구현하게 되는 인공 생명 인공지능 연구의 중요수단으로서 부상하기 시작하였다.

컴퓨터를 절대적인 도구로 하는 새로운 위상학적 수학인 세포자동차<그림 13, 14>는 튜링기계가 여러 개 연결되어 있기 때문에 전체 세포자동차의 변화는 이웃하는 세포와 상호 작용하여 매우 다양하게 되고 다음에 어떻게 변해 갈지 예측하기 어려운 것이다. 이러한 세포자동차의 규칙을 컴퓨터의 운영체제로 이용할 경우 컴퓨터는 훨씬 자율적이고 유연하게 되어 프로그래밍도 거의 필요 없이 자동으로 프로그래밍 되는 위상기하학적 인공지능형 컴퓨터가 탄생할 수도 있게 된다.

3.2. 물리학의 초끈이론에 나타난 위상기하학적 특성

위상학의 매듭이론이 물리학에 응용된 예로써 초끈이론이라는 것을 1974년 프랑스의 셰르크(J. Scherk)와 칼텍의 슈바르츠(John Schwarz)가 제안하고 1984년을 전후해서 슈바르츠와 런던대학 퀸 메리 칼리지의 그린(Michael Green)이 양자 중력의 단 하나뿐인 자기모순 없는 이론이라는 것을 증명했다.

초끈은 공간-시간속에 있는 미세하고, 매듭지어지고, 닫혀 있는 고리이며, 초끈의 성질은 초끈이 매듭지어진 정도와 밀접하게 연관된다. 이러한 끈들은 고정적이거나 결정적이지 않고

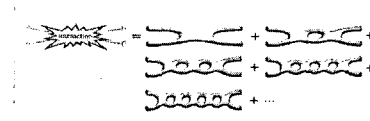
14)어떤 수학문제라도 푸는 상상속의 계산 기계.

15)1970년대 초 마취학자 스텐어트 하멜로프는 세포 속에 단백질로 이루어진 미세한 파이프가 열기설기 얽혀있는 것을 발견했다. 이 파이프를 미소관(微小管)이라고 부르는데, 이 미소관의 위상학적인 연결망이 단 세포생물의 정보처리 시스템이라는 가설.

16)가운데 있는 세포의 다음 상태는 위, 아래, 좌우의 네 개의 세포의 상태에 의해 결정된다.

위상기하학적으로 움직이며 상호작용하고 연결되고 재분할된다. 끈의 양끝은 떨어져 있거나, 서로 연결되어 고리를 이룰 수도 있다. 또 서로 다른 두 끈을 결합하여 단 하나의 고리를 이룰 수도 있다.<그림 15, 16> 초끈이론의 본질은 그것이 물질과 시공간의 본성을 설명할 수 있다는 것이다. 초끈이론은 모든 기본입자들을 닫힌 혹은 열린 끈의 특정한 모드로 보고 기술하는 것이다. 즉 한 종류의 끈으로 중력을 포함한 모든 물리현상을 설명하려는 일종의 통일 이론이 셈이다.

우주에 존재하는 입자들은 그 자체가 근본적인 것이 아니다. 초끈이론에 의하면, 어떻게 해서든 점 입자를 확대해서 본다면, 실제로는 작은 진동하는 끈을 보게 될 것이라는 것이다. 초끈은 10차원과 26차원에서만 자기모순 없이 진동 할 수 있다.

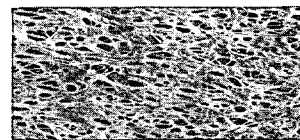


<그림 15> 초끈의 매듭 패턴



<그림 16> 초끈이론

하나의 끈이 시공간 안에서 움직이면, 그것은 복잡한 운동의 조합을 나타낸다. 다시 말해, 끈들이 진동하는 유형에 따라 입자마다 고유한 성질이 생기고, 우주를 영원히 성장과 수축을 반복하는 존재로 본다. 또한 우리가 살고 있는 우주 외에 수많은 다른 우주가 각각의 물리법칙에 따라 존재한다고 가정한다.



<그림 17> membrane theory



<그림 18> matrix theory

1985년 위튼(Edward Witten)은 이러한 여러 가지 초끈이론을 통합하려는 시도에서 위상기하학의 매듭이론을 사용하여 우주의 기본 구성요소는 끈이 아니라 얇은 막이고 필요한 차원은 11차원이라고 하는 M이론(Membrane or Matrix Theory)을 발견하게 되었다.<그림 17, 18>

따라서 모든 사물과 현상적으로 나타나는 시공간은 역동적이고 비 영속적인 무한한 망 속에서 서로가 서로의 조건이 되는 '순전한 가상들'¹⁷⁾로서 다양한 형태로 나타나는 끊임없이 변화하는 흐름 이외에 다른 것은 없다. 즉 현상들은 내부에 그 자체의 변화요인을 담고 있으며, 우주 공간은 어떤 불변의 실체도 담을 수 없다. 이에 따라 주체와 객체는 오직 하나로서 최근 물리학계의 실험에서 가상과 실제, 무생물과 생물, 의식과 물질 등을 가르는 장벽은 위상기하학적 특성처럼 원래 존재하지 않았음이 밝혀지고 있다.

17)고유한 실체 없이 상호의존적인 형상들에 근거를 둔 인과법칙에 따라 변화하는 비실재성.

3.3. 생물학의 DNA구조에 나타난 위상기하학적 특성

1970년대 이후로 위상수학의 매듭이론은 여러 방향으로 급격히 발전하게 되는데 이중 생물학의 DNA 구조연구에 자주 등장하게 되고, 그 응용가능성으로 인하여 사용할 수 있는 다양한 방법이 모색되고 있다.

생물체의 기본 구성물질인 DNA 분자는 아데닌(A), 구아닌(G), 시토신(C), 티민(T)이라는 염기와 인산, 당들의 결합체로서



<그림 19> DNA 이중나선구조



<그림 20> DNA 한 가닥의 전자현미경

ATGC 4종류의 염기가 인산 및 당과 결합되는 차례에 따라 그 순서가 정해지면서 길고 가는 사슬모양으로 세포 내부에 딱 맞도록 조밀하게 감겨있다.<그림 19> 이 한 가닥의 염기사슬은 다시 다른 한 가닥의 염기사슬과, A는 T와 G는 C와 연결되어 염기쌍을 이루며 사다리 형태의 이중나선구조를 갖으며 전체적으로 원 모양을 이룬다. 이때 <그림 20>에서 보이듯 DNA는 그 자체의 장력으로 인해 원 상태를 유지하지 못하고 꼬여서 뭉치게 된다. 유전정보를 담고 있는 DNA는 위상학적으로 상보적인 염기서열을 갖는 두 가닥의 폴리뉴클레오티드(Poly-nucleotide)가 수소결합에 의해 연결된 이중나선 구조를 이루고 있다. DNA 속에 배열되어 있는 염기의 순서는 각 생물체마다 다르므로 곧 개체의 특징과 직접 관련이 있으며 이 염기의 순서는 각 생물체마다 고유하게 정해져 있다. 즉 DNA정보는 디지털 정보이다. 최근에는 위상기하학적 매듭 패턴에 관한 수학적 연구가 바이러스를 정복할 수 있는 좀 더 나은 기술을 제공하는 것으로 현실에 적용되고 있다.

생물은 정보과학의 입장에서 본다면 하나의 정보 알고리즘이다. 각자 나름의 환경정보를 받아들이고 그것을 분석하고, 대응하며 새로운 정보를 만들어 내어 환경에 적응해 가는 정보처리 알고리즘으로 이 정보를 자기의 후손에게 유전이라는 알고리즘을 통해 전해준다.

정보가 생명체 내에서 어떻게 변형되어 가는지 연구하는 유전적 알고리즘으로서의 인공생명처럼 21세기의 과학자들과 소수의 디지털건축가들은 자신의 손으로 직접 생명체와 유사한 무엇인가를 만들어 내어 위상기하학적인 생명의 본질에 접근하려고 한다.

3.4. 초분자화학에 나타난 위상기하학적 특성

초분자화학은 그 역사가 30년 정도밖에 안 되는 학문이지만, 1987년 미국의 피더슨(Charles J. Pederson)과 크랩(Donald J. Cram) 그리고 프랑스의 렌(Jean-Marie Lehn) 교수가 이 분야

를 대동시킨 공로로 노벨화학상을 공동 수상할 만큼 이 분야의 중요성은 널리 알려져 있다.

전통적으로 화학은 분자를 다루는 과학이고 이러한 분자들은 원자들이 공유결합을 통해 연결된 집합체이다. 분자와 분자 사이에는 분자 자체를 구성하고 있는 공유결합보다는 약하지만 인력 또는 결합이 있다. 이에 둘 또는 그 이상의 분자가 상대적으로 약한 분자간의 인력 또는 결합을 통해 특정한 구조, 성질을 갖는 집합체로 존재할 때 이를 초분자라 하고, 이를 대상으로 삼는 화학을 초분자화학이라 한다. 즉 전통화학이 분자 자체에 초점을 맞춰 분자의 세계를 바라봤다면 초분자화학은 분자간의 관계를 통해 만들어지는 분자들 간의 위상학적 연결망 세계를 확인하고 분자의 범위를 넓힌 것이라 할 수 있다.



<그림 21> 다공성 결정물질¹⁸⁾



<그림 22> 로택산¹⁹⁾

초분자화학에서 핵심개념은 분자인지(molecular recognition)와 자기조립(self-assembly)이다. 분자인지는 분자가 특정한 상대와만 선택적으로 위상학적 상보적인 상호작용을 나타내는 것을 말한다. 또한 자기조립은 간단한 분자들이 자발적으로 모여 특정한 구조와 성질을 갖는 초분자를 형성하는 것이다. <그림 21, 22>에서 보듯 초분자화학은 원하는 모양을 마음대로 조립할 수 있기 때문에 최근 많은 주목을 받고 있다.

초분자화학은 비공유결합의 특성으로 주변의 조그만 변화에도 모양이 쉽게 바뀐다. 또한 초분자를 이루는 복합체의 형성과 구조 결정에는 한 가지 종류의 비공유결합력이 단독으로 작용하는 것이 아니라, 대부분의 경우 여러 가지 비공유결합력이 상호보완적으로 동시에 존재 한다. 따라서 이런 위상기하학적 연결망이론의 분자인지와 자기조립의 원리를 이용해 우리가 원하는 구조와 성질을 가진 인공분자체를 만드는 학문이 초분자화학이다.

원래 생물이 아날로그 정보 속에서 태어나듯 운동 아날로그 정보인 이 우주는 아주 강한 공유결합에서부터 수소결합, 반데르발스 힘, 그리고 바닷물의 온도와 출렁거림까지 아주 다양한 힘에 의해 다양한 화학반응이 일어났을 것이다. 이러한 화학진화로 단백질, 핵산 등의 여러 가지 고분자 유기물질이 생겨나고 이들이 생화학 진화를 거쳐 생물로 진화한다. 그 속에서 디지털 정보처리 알고리즘이 등장한다. 이것이 바로 생명체의 핵

18)다공성결정물질(porous materials)은 나노미터 크기의 구멍이 벌집처럼 뚫려있고 구멍이 원하는 분자만 선택적으로 인지하여 간단한 유기분자로부터 자기조립을 통해 손쉽게 제조할 수 있음

19)로택산(rotaxane)은 초분자로서 분자 스위치로 쓰일 수 있으며 양끝에 큰 마개가 달려있는 막대기에 고리가 꿰어 있는 모습

심이라는 DNA 유전정보 알고리즘이며 아마 지구에서 생명체의 역사상 처음 있었던 위상기하학적인 디지털 혁명의 시작이었을 것이다. 제2의 디지털 정보혁명이 일어난 것은 척추동물의 등장으로 시작되었다. 그리고 2000년의 인류 역사를 거쳐 다음 장에서 다루게 될 디지털 컴퓨터라는 제3의 디지털 혁명에 까지 이르게 된 것이다.

4. 디지털건축공간에 적용된 위상기하학적 방향의 표현 특성

4.1. 위상기하학적인 유전적 알고리즘으로서의 디지털 건축 공간

생명을 다루는 정보는 크게 디지털 정보와 아날로그 정보로 구분된다. 아날로그 정보는 연속적인 시간의 흐름과 밀접하게 관련되지만 디지털 정보는 불연속적이며 한마디로 공간적이다. 컴퓨터와 생물의 차이는 아날로그 정보에서 차이가 난다. 생물에게는 아날로그 정보는 매우 중요하며 잘 쓰이고 있지만 컴퓨터는 아날로그 정보는 전혀 쓰지 못한다. 생명체는 아날로그 정보와 디지털 정보를 함께 주고받는다.

앞장에서 살펴보았듯이 생명체는 스스로 필요한 부분을 구성해 가는 능동적인 자기조직 알고리즘이다. 그러나 컴퓨터는 사람이 프로그래밍 해주어야 움직이기 때문에 수동적으로 조직된 알고리즘이다. 우주의 본질이라는 정보는 환경과 알고리즘 사이의 관계에서 생각해야 한다. 알고리즘이 환경으로부터 정보를 얻는 과정은 무한과 연속이라는 환경으로부터 유한과 불연속이라는 알고리즘에 대응시키는 과정이다. 즉 환경에서 오는 무한한 정보를 유한개의 필요정보로 바꾸는 것이다. 즉 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸는 일과 같다.

이제까지 알고리즘은 환경을 인식하는데 주된 노력을 하였다. 하지만 알고리즘도 일종의 환경이므로 알고리즘 자신의 인식도 필요한 것이다. 자기인식은 논리적인 모순이다. 이 때문에 자기인식 알고리즘을 인공적으로 제작하는 것이 불가능하다고 대부분의 사람들은 믿어 왔다. 하지만 자기인식은 논리적인 모순일 뿐 현실적으로 존재할 수 없는 것은 아니다.

이처럼 비결정적, 역동적, 구조와 움직임의 상호인과관계로서 스스로를 조직하는 자기인식 알고리즘이 바로 가상현실이다. 과거 컴퓨터 발달사를 살펴보면 컴퓨터는 인공지능을 개발하는 방향으로 맹렬히 돌진했다. 하지만 곧 불확실성문제²⁰⁾라는 커다란 벽에 부딪혀 포기되었다. 그리고 컴퓨터 연구는 가상현실로 대신해 간다. 컴퓨터로 인공지능을 구현하기 어렵다면 그 가운데에 인간을 집어넣겠다는 의도처럼 디지털 공간에

서 컴퓨터가 만드는 모든 정보를 결국 인간에게 집중시킨다는 것이다. 즉 앞으로 발전될 위상기하학적인 자기인식 알고리즘은 정보를 창조하는 능력을 갖추게 되는 디지털 공간이 되리라 생각된다.

건축가 칼 추(Karl S. Chu)는 "존재는 가상공간 속의 연산의 한 형태이며, 따라서 수많은 문제에 직면하게 된 물리학과 화학, 수학은 변모하여 점차 생물학에 가까워지고 있다"고 언급하고 있다²¹⁾. 생명체와 인공생명체에 대한 여러 발견이 건축가에게 시사 하는 점은 디자인의 진화과정을 조정하는 역할 대신, 형태가 자연스레 진화할 수 있도록 씨를 뿌리는 역할을 건축가에게 요구한다는 것이다.

최근 종래의 새로운 사고체계와 인식체계를 요구하는 디지털 건축이 새로운 공간언어로 등장한 이후 급속히 그 입지를 넓혀가고 있다. 디지털 건축에서의 공간이란 정의할 수 없으며 오로지 이를 건축으로 구축하고 기술하는 방식에 의해 설정된다. 디지털 건축의 형태들은 방법론적인 측면에서 위상기하학적 형태변형을 적용한 디자인 프로세스에 의해 생성되어진다.

디지털 공간에는 기하학적인 차원뿐 아니라 시간과 지식의 차원, 그리고 중요한 인식의 차원이 있다. 디지털 공간에서의 작업이란 눈에 보이는 모니터의 영상은 2차원이지만 컴퓨터 윈도우를 통해 디자이너를 끌어들이는 공간은 무한개의 차원을 가지고 있다. 따라서 기하학과 수학을 진정으로 이해하는 디자이너는 지금까지 사용해왔던 디자인 방법론과는 다른, 컴퓨터를 이용한 아주 색다른 형태의 공간을 창조해낼 수 있다.

4.2. 디지털공간에서 창 개념에 나타난 연결망 이론

네덜란드건축가그룹 녹스(NOX)의 son-o-house<그림 23>, wetGRID<그림 24>와 함께 프랑켄(Bernhard Franken)의 Synworld<그림 25>에서 보여 지듯이 선으로 이루어진 추상적 시스템으로서의 열린 경계로써 창이라는 부분은 공간 전체를 포괄적으로 감싸는 닫힌 경계 없이 존재하지 못하고, 건축 공간 전체는 내·외를 연결시키는 열린 경계로서의 창 없이 존재하지 못하는, 건축공간의 주체와 객체가 서로를 형성하는 불가분의 의존관계를 표현하고 있다.

3장에서 설명하였듯이 선으로 연결되어 있는 생명체의 기본 구성요소는 임의의 꼭짓점에서 임의의 꼭짓점으로 선을 따라 이동할 수 있어야 하는 위상학적 연결망이라 할 수 있다. 이와 같은 연결망은 디지털 건축공간의 중요한 표현요소로 사용되어지고 있다. 즉 인간의 몸처럼 가소성, 유연성이 있는 상호연결 체계로 전체를 마치 매트릭스와 같이 구성하여 한 가지가 변하면 동시에 다른 것도 변하는 위상학적 연결망과 같은 시스템을 구축하고 있다, 이 시스템은 창을 구성하는 표면을 연속적으로

20)수학에서의 중요한 두 가지 조건인 1, 해의 존재가 보증된다(존재정리). 2, 해가 일의적으로 존재한다(해의 유일성과 알고리즘의 존재), 이 두 가지 조건을 만족하지 않는 문제.

21)<http://www.seoulforum.co.kr/main/korea/architect/n-go/9/karl.html>



<그림 23> NOX의 son-o-house

<그림 24> NOX의 wetGRID

<그림 25> bernhard franken의 Synworld



<그림 26> Greg Lynn의 Embryological House

<그림 27> NOX의 blow out

<그림 28> Deco의 UN 50th Anniversary Exhibition

변형시켜도 연결망이 연결된 방식은 변하지 않는다는 것과 그 의미를 같이한다.

그렉린과, 녹스, 데코이의 일련의 건축 작품에서 보여 지듯이 건축가들은 컴퓨터를 이용하여 인간의 신체적 성향을 파악하고 건축에 그러한 유연성을 직접적으로 표현하고자 수학자들의 알고리즘과 같은 상호간에 맞물린 단계의 기계적 과정을 도입하고 있다.<그림 26, 27, 28> 상기의 사례와 같이 선으로 연결되어 만들어지는 창으로서의 무한 반복적인 자기복제의 공간은 아무리 비틀리고 늘리고 구부러져 있어도 변하지 않는 본질적인 부분을 유지할 수 있기에 지극히 자연에 가까운 인공적 공간을 창출할 수 있는 것이다.

4.3. 디지털공간에서 표피에 나타난 측면 개념

녹스를 비롯한 많은 디지털건축가들은 우리가 우리를 둘러싼 자연적 인공적 환경을 모두 포함하는 보다 포괄적인 환경적 시스템에 대한 통찰을 통하여 장소나 공간에 제한받지 않는 경계로서 디지털공간을 창출하기를 원하였다. 이와 같은 표현특성을 그들의 작품에서 살펴보면 다음과 같다. <그림 29, 30, 31, 32, 33, 34>에서 보이듯이 외부와 내부의 확연한 구분을 삭제하여 한 측면에 경계를 가지지 않는 단한 표면으로써 정형 불가능한 무정형의 덩어리로서의 형태를 구성하고, 공간 그 자체에 내부적인 특성과 외부적인 특성 모두를 소거한, 물질과 물질의 거대한 흐름을 차단 혹은 형성하거나 이끌어가는 위상기하학적인 공간을 창출하고 있다.



<그림 29> NOX의 maison folie

<그림 30> NOX의 wetGRID

<그림 31> tristan d'estree sterk의 idea cloud



<그림 32> NOX의 d-tower

<그림 33> NOX의 beachness

<그림 34> Tomkovic의 WTC Building

이러한 건축공간들은 거주와 보호를 위한 전형적인 공간의 경계를 창조한다기보다는 개체들이 갖는 물질적·비물질적 속성에 의한 연속된 경계의 형태를 제시하는 작업에 가까운 것을 알 수 있다. 방법론적인 측면으로는 위상학적 측면개념의 변형 과정에 시간이라는 요소를 도입하여 표현하고 있다. 즉 불연속의 점들로 이루어진 구조의 계에서 연속적 측면을 기반으로 하여 물질과 비 물질을 갈라놓는 경계를 찾아 하나의 측면개념을 가진 건축으로 전이시키는 표현 방법이 두드러진다.

4.4. 디지털공간의 유체공간에 나타난 호모토피군 이론

질 들뢰즈(Gilles Deleuze)는 저서 '차이와 반복'에서 참된 모든 실제 자체는 n차원을 띠, 정의되어 있고 연속적인 '다양체들'이라고 서술하고 있다. 즉 가변적인 혹은 차원을 달리하며 변이 가능한 다양체라는 것으로 구조는 고정된 틀이 아니라 끊임없이 변화하는 관계를 이루고 있다는 것이다. 여기서 '다양체'는 그 개념과 의미에서 앞장에서 살펴 본 위상기하학의 고차원 호모토피군 이론과 극히 유사함을 알 수 있다.



<그림 35> Karl s. Chu의 x-phylum

<그림 36> kas oosterhuis의 H2O EXPO -6°C

<그림 37> kas oChu의 opera phlyox



<그림 38> Ben van Berkel의 요코하마 국제터미널

<그림 39> NOX의 청정수 파빌리온

<그림 40> kas oosterhuis의 H2O EXPO -6°C

탄생, 발생이 연이어 일어나는 생명체인 자연을 이해하기 위해서 위상기하학적인 형태변환의 개념은 필수적이다. 유체공간 속에서 건축은 거주하는 사람과 상호의존적으로 끊임없이 변화하고 유동하는 형태들을 갖는다. 이와 같은 특성은 <그림 35, 37>에서 보이듯 정적인 형태에 주목하는 것이 아니라 형태들이 상호적인 인과성에 의해 변이되어 가는 과정에 초점을 맞추어 다루고 있는 칼 추의 작품에서 잘 나타나고 있다.

상기의 사례<그림 36, 38, 39, 40>에서 보이듯 디지털건축들은 아날로그와 같이 각각의 개체들이 정체성을 가지고 존재하는 것이 아니고, 마치 액체가 액체를 담는 틀의 형태에 따라 그 형태를 변형시키는 연속적인 과정처럼 그 개체가 갖고 있는 개별성을 와해시키고 다양한 형태 변이를 통하여 생성되는 전혀 새로운 공간을 창출하고 있다. 이와 같은 표현방법은 다면체 오일러 특성값을 바탕으로 변이의 과정을 거쳐도 변하지 않는 위상공간 고유의 불변항인 호모토피군이 보여주는 형태변이

적 특성이라고 할 수 있으며 극단적으로 말하면 모든 생명체가 어떤 '원형'의 변형들일 수도 있다는 개념의 공간적 반영의 결과라고 할 수 있다.

4.5. 디지털공간의 움직임 형태구조에 나타난 매듭 이론

움직임은 존재와 무 존재 사이의 불연속성이 무너지고, 타자성의 경계가 허물어지면서 성립하는 것이다. 이와 같이 움직임, 변화는 절대적 모순이나 타자성이 허물어지면서 성립하는 '관계'라고도 할 수 있으며 관계란 타자들 사이의 불연속성이 허물어지면서 어떤 형태의 연속성이 생성될 때 성립한다. 이로써 본질적 실체는 무수한 다양성이자 부단한 움직임이라는 모순적인 결론이 나온다. 이 움직임 개념을 위상기하학의 매듭이론으로 살펴보면 3차원 다양체는 여러 개의 폐곡선으로 이루어진 매듭, 즉 고리의 근방을 잘라내고 새로 끼워 넣는 수술에 의하여 고차원 다양체가 얻어짐과 상통함을 알 수 있다.



마르크스 노박은 <그림 41, 42>에서 보듯이 다차원적인 구조를 갖는 가상의 환경을 창조하는 데 관심을 집중하고 있다. 그의 건축은 컴퓨터가 있기 때문에 가능한 끝없이 발전하고 언제든 수정될 수 있는 언제나 움직이고 변화하는 '진행 중인 공간'이다. 그는 또한 실재를 우리가 예상하는 것 이상의 에일리언(alien)²²⁾일 것이라 생각하고, 에일리언 영역으로의 뒤틀림, 인과에 의해 예측할 수 없는 개념적 공간으로의 진짜 변이, 그리고 실재의 완전히 새로운 상태로의 단계적 변이를 표현한다. 이는 하나의 끈이 시공간 안에서 움직이면, 그것은 복잡한 운동의 조합을 나타내듯 끈이 매듭지어진 방식에 따라 추상적 매듭패턴을 갖게 되고 그로 인해 매듭의 특성이 결정되어진다는 특징을 보여준다.

그렉 린은 <그림 45>에서 보이듯 매듭이론을 응용한 유전자복제와 같이 컴퓨터 알고리즘을 이용하여 단일개체의 생물학적 변형과정처럼 스스로 진화하여 나아가는 건축의 움직임을 보여주고 있다. 이것은 시간이 개입된 자연의 진화 과정과의 융합을 향하는 건축적 디자인 전략이라 하겠다. 또한 녹스와

아심토트는 <그림 43, 44, 46>에서 보이듯 복잡한 관계, 다각적인 벡터, 다양한 방향 내에서 서로 다른 층위를 가지고 공조하며 움직임에 의해 다변화되는 동적인 네트워크로써 매듭을 조이거나 느슨하게 하거나 개별 고리들의 모양을 바꾸어도 끈이 매듭지어진 닫힌 고리로서의 방식은 변하지 않는다는 위상학적 패턴의 구조적 성질을 표현하고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

디지털공간은 물리적 실체와 의식이 분리되기 이전 상태인, 비 실체의 장으로서 디자인하는 방식에 따라 그 외형은 얼마든지 변화가능한 공간이다. 본 연구에서는 이처럼 불확정적인 특성을 지닌 디지털 공간의 표현특성을 위상기하학적 불변항과의 관계를 통해서 밝혀내려고 하였다.

이상의 연구를 통해서 얻어진 디지털 건축공간에 나타난 위상기하학적 불변항의 표현특성을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 2차원 표면에 있어서 오일러의 연결망 이론은 디지털 건축공간에서 선으로 연결되어 만들어지는 열린 경계로서 창이라는 부분이 곧 닫힌 경계로서 공간전체를 결정지며 또한 부분, 전체가 서로를 형성하는 중요한 표현방법이 되고 있다.

둘째, 2차원 측면개념은 불연속에서 연속으로, 물질과 비 물질을 갈라놓는 경계를 찾아 경계가 없이 하나의 측면개념을 가진 비 정향적인 디지털 건축의 표피를 구축시키는 표현 방법에 적용됨을 알 수 있다.

셋째, 다면체의 호모토피군 이론은 사용자가 디지털 건축의 유체 공간과 총체적인 상호의존성 및 상호의 인과성 안에서 인과법칙을 따르는 다양한 형태 변이를 통해 시초 없는 변형의 연속으로 묘사된 유동적 공간의 표현특성으로 나타나고 있다.

넷째, 물질과 시공간의 본성을 설명해 주는 고차원의 매듭패턴은 디지털 건축에서 생명체가 환경변화에 쉽게 적응하기 위해 성장과 함께 변태와 탈피를 반복하여 몸의 구조가 크게 바뀌듯 전체 조직을 쉽게 재조직하는 종합적인 결합으로써 복잡하고 생동감 있는 움직임과 형태구조의 표현방법으로 나타나고 있다.

참고문헌

1. James steele, Architecture and computers, Laurence King, 2001
2. Gilles Deleuze, 차이와 반복, 김상환, 민음사, 2004
3. 케이스 데블린, 수학의 언어, 전대호, 해나무, 2003
4. 케이스 데블린, 수학의 밀레니엄 문제들 7, 전대호, 까치, 2004
5. 케이스 데블린, 수학으로 이루어진 세상, 석기용, 예코리브르, 2003
6. 미치오 가쿠, 초공간, 최성진 외, 김영사, 1997
7. 이정우, 접힘과 펼쳐짐, 거름, 2000
8. 장은성, 복잡성의 과학, 전파과학사, 1999
9. 김호기 외 52인 공동집필, 지식의 최전선, 한길사, 2002
10. 배강원·김문덕, 한국 전통건축 공간에 나타난 위상기하학적 특성에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집 제13권 6호 통권47호, 2004.12

22)가상과 현실이 만나면서 그 충돌로 생긴 변종이다.