

컴퓨터를 이용한 디자인 프로세스에 있어서 형태패턴의 스키마적
표현을 이용한 건축형태의 유사성 판단에 관한 연구

Recognition of Shape Similarity using Shape Pattern Representation
for Design Computation

차 명열 (Cha, Myung Yeol)

배재대학교 건축학과

본 연구는 2001학년도 배재대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임

1. 서론

2. 형태의 유사성

- 2-1. 유사성의 종류
- 2-2. 형태에 있어서 유사성
 - 2-2-1. 다양한 형태의 유사성
 - 2-2-2. 공간관계의 유사성
 - 2-2-3. 형태패턴에 있어서 유사성

3 동등형태의 인지

4 공간관계의 인지

5 동등한 형태패턴의 인지

6 건축 디자인에 나타나는 유사한 형태패턴

- 6-1. 건축형태에 있어서 유사성
- 6-2. 건축 디자인에 나타나는 형태패턴에 있어서 유사성

7. 결론

참고문헌

(要約)

디자인 지식의 습득, 저장, 검색 및 응용과 같은 컴퓨터를 이용한 디자인 과정에 있어서, 창조적이며 디자인 요구에 적당한 결과물을 생산하는데 필요한 디자인 지식을 인지하고 습득하는 과정은 매우 중요하다 하겠다. 특히 인간의 인지능력과 유사한 기능을 갖고 중요한 형태 디자인 지식을 습득하는 것은 필수적이다. 형태의 물리적인 속성에 의하여 인지되는 1차원적인 형태 지식이 아닌, 이들로부터 형성되는 2차원 또는 그 이상의 차원에서 인지되는 형태 디자인 지식을 인지해야만 한다. 지식의 인지 및 습득은 기억 장치에 저장되어 있는 지식과 인지되는 지식을 비교하여 동일하거나 유사한 경우 그 디자인 지식이 습득된다. 이때 1차원적인 디자인 지식은 형판 매칭과 속성 매칭에 의하여 그 유사성이 쉽게 인지되지만, 2차원 이상의 디자인 지식에 대해서는 인간은 쉽게 인지하나 컴퓨터를 이용한 인지에는 어려움이 많다. 본 연구는 컴퓨터에 이러한 능력을 부여하기 위하여 형태패턴 표현을 이용한 형태의 유사성을 판별하는 방법에 대하여 설명하였다.

(Abstract)

Among many design processes such as learning, storing, retrieving and applying , the process that learns design knowledge is very important for producing creative results that solve design purposes in design computations. The computer should have the ability similar to human in learning design knowledge. It should recognize not only physical properties but also high level design knowledge constructed from the first level physical properties. The high level design knowledge are recognised in terms of isometric translation relationships. This paper explains properties of isometric translation and methods how the computer can recognize high level shape design knowledge using shape pattern representation.

(Keyword)

Design Computation, Shape Similarity, Architecture, Schema Representation, Shape Pattern.

1. 서론

구성 아이디어로서의 형태패턴에 대한 인지는 컴퓨터를 이용한 디자인 과정에 매우 중요한 원천을 제공한다. 컴퓨터를 이용한 디자인 프로세스는 크게 3개의 과정으로 나누어진다. 첫 번째로 기존의 디자인 작품으로부터 유익한 디자인 지식을 습득하는 과정과, 두 번째로 습득된 디자인 지식을 나중에 유용하게 활용하게 할 수 있도록 컴퓨터의 기억 시스템에 저장하는 것, 그리고 끝으로 저장된 디자인 지식을 검색하고 응용하여 디자인 목적에 맞는 결과물을 창출해내는 과정이다. 이러한 과정의 초기인 디자인 지식의 습득에 있어서 정확하고 유용한 디자인 지식을 습득한다는 것은 매우 중요하다. 디자인 지식의 하나인 형태패턴은 형태들이 미적으로 구성되는 방법이며, 개개 형태들의 구성, 위치, 크기와 같은 물리적인 형태뿐만 아니라, 이들 형태들이 구성하고 있는 구성 방법 즉 형태들간의 공간관계(Spatial relationship) 그리고 더 나아가 유사한 공간 관계 사이에 나타나는 고차원적인 공간 관계도 포함된다. 형태패턴은 인간의 시각으로는 손쉽게 이해되고 인지되지만, 유사한 형태라도 물리적으로 상당한 차이가 있으며 또한 형태 특성의 차이로 인하여 컴퓨터를 이용한 이들의 유사성을 판단한다는 것은 매우 어렵다. 특히 서로 다른 저장원의 형태로부터 구성되는 유사한 형태를 기존의 형판 매칭(Template matching)이나 특성 매칭(Feature matching)의 방법으로 그 유사성을 판단할 수가 없다. 형태의 구조 특성에 대하여 기술하는 형태패턴 표현의 이용은 이러한 문제를 해결할 것이다.

예를 들자면 그림 1에서 두 형태사이의 유사성 판단에 있어서 물리적인 특성만을 비교하면 이들은 서로 다른 형태로 인지될 것이다. 그림 1-1의 형태는 타원 또는 곡선으로 이루어져 있으며, 그림 1-2의 형태는 삼각형 또는 직선으로 이루어져 있다. 이 두 형태는 물리적인 속성의 비교에 있어서 어떤 공통점을 찾을 수 없다. 그러나, 구조적 특성을 이용한 패턴 인지 시스템은 두 형태에서 유사성을 발견할 수 있다. 두 형태 모두 네 개의 부속형태로 이루어져 있으며, 이들은 90° 각도로 회전되고 있다. 비록 두 형태는 서로 다른 부속형태를 갖고 있지만 부속형태의 구성 방법이 똑같으므로 이들은 유사한 형태로 간주된다. 형태에 있어서 구조적 특성을 기술하는 형태패턴 표현은 형태패턴 인식 시스템에 불변의 지식을 제공하며, 그 시스템을 좀더 폭넓게 적용할 수 있도록 한다. 같은 형태의 반복에 의하여 형성되는 형태패턴은 쉽게 인식되지만, 복잡한 형태에 있어서 서로 다른 저층부의 형태로 이루어지는 패턴은 쉽게 인지되지 않는다. 복잡한 형태에 나타나는 패턴을 인식하기 위해서는 공간 관계사이의 유사성에 고려하여야 한다. 본 논문은 형태의 물리적 속성의 유사성이 아닌 공간 관계 또는 패턴사이의 유사성에 대하여 연구하였다.

본 연구의 목적은 기존의 건축 도면으로부터 형태패턴을 인지할 수 있는 능력을 컴퓨터에 부여하기 위한 기초를 마련하는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위하여, 형태의 구조적 특성에 의한 유사성에 대하여 설명하였고, 구조적 형태패턴을 이

용한 형태패턴 인식의 방법에 대하여 논하였다.

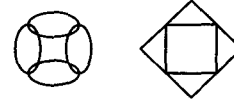


그림 1-1 그림 1-2

그림 1. 물리적 속성에 의해서는 다른 형태로 구분되지만, 공간 관계에 의해서는 유사한 형태패턴을 나타내고 있다.

2. 형태의 유사성

우리 인간은 새로운 사실을 배우고 이를 구분하기 위하여 특별한 지식을 인식하는 능력을 가졌다. 일련의 관찰로부터 질서를 발견하거나 또는 여러 개의 사실로부터 일반성을 추출하기 위한 우리 인간의 인지 작용에 있어서 유사성의 구별은 가장 근본적인 능력 중의 하나이다. Olson과 Bialystok(1983)에 의하면, 사물에 대한 인지는 인지하는 사물에 대한 설명이 메모리에 저장되어 있는 구조적 설명과 일치할 때 일어난다고 하였다. 이러한 두 설명의 일치는 정확한 매칭뿐만 아니라 두 설명의 유사성에 의해서도 성립된다. 인간의 사물에 대한 인지 능력의 이해는 지식을 중심으로 하는 인공지능 시스템의 발전에 매우 중요하다. 형태사이의 유사성 또는 패턴사이의 유사성은 이들 형태와 패턴의 서술적 표현으로부터 시작한다. 하나의 형태 또는 패턴의 표현으로부터 다른 형태 또는 패턴의 표현을 비교하여 그들의 유사성이 결정된다. 만일 하나의 형태 또는 패턴이 다른 형태 또는 패턴과 비교되어 유사성 조건을 만족하면 그들 모두를 유사한 형태 또는 패턴으로 간주한다.

2-1. 유사성의 종류

Vosniadou와 Ortony(1989)에 의하면 유사성은 표면적 유사성(Surface similarity)과 내면적 유사성(Structural similarity)으로 나누어진다고 하였다. 표면적 유사성은 일차적인 인식에 의한 것으로 쉽게 설명되어질 수 있으며, 계열화와 같은 인지학적 기능을 설명하는데 사용되어질 수 있다. 내면적 유사성은 좀더 중심적이고, 개념의 핵심적인 속성에 관한 것이다. Gentner(1989)에 의하면 사물을 설명하는 데에는 사물의 속성과 관계성을 이용하여 설명할 수 있다고 하였다. 표면적 유사성은 공통적으로 나타나는 사물의 속성에 의하여 결정되며, 내면적 유사성은 구조적인 유사성으로서 관계 구조사이의 유사성에 의하여 판단된다. 상기의 두 유사성을 기본으로 하여 상사(Analogy), 단순유사, 정확한 유사성(Literal similarity) 그리고 은유와 같은 다양한 유사성을 설명할 수 있다. 상사에 있어서는 유사성을 판단하는 기준으로 상관 관계만을 고려하며, 단순 유사에서는 사물의 속성이 중요하다. 정확한 유사성에서는 상관 관계와 사물의 속성 둘 다 중요하며, 은유에 있어서는 상관 관계 및 속성도 중요할 뿐만 아니라 인지 활동시 주변 환경도 고려되어야 한다(Falkenhainer et al, 1989/90).

2-2. 형태에 있어서 유사성

심리학에서 설명하는 형태의 유사성 인지: 인간두뇌의 장기 메모리에 저장되어있는 형상과 인간의 망막에 자극되는 형상이 일치할 때 유사한 형태가 인지되는 것이다(Pinker, 1985).

본 연구는 배재대학교 신진교수 교내 연구비 지원으로 수행되었음.

일반적으로 형판 매칭, 특성 매칭 그리고 구조적 매칭의 세 가지 형태에 대한 유사성 매칭 모델이 있다(Lindsay and Norman 1977). 형태에 의하여 투사되어 망막을 자극하는 패턴의 형상은 장기 메모리에 저장되고, 후에 형판 매칭을 위하여 검색된다. 수평선, 수직선, 곡선, 각도, T형태와 같은 간단한 기하학적인 특징은 기억장치에 저장되었다가 특성 매칭을 위하여 인지되는 형태와 비교된다. 구조적 매칭에 있어서는 형태들 사이의 공간 관계만이 비교되어 유사성을 판단한다.

2-2-1. 다양한 형태의 유사성

외형에 의한 유사형태 : 동일한 형태속성을 공유하는 형태를 외형에 의한 유사형태라 한다. 형태속성은 색, 재질, 선의 유형 등과 같이 형태를 구성하는 모든 요소를 말한다. 만일 유사한 색으로 이루어진 형태들이 시각적으로 다른 색의 형태와 구별되어 인지된다면, 그들의 유사성은 색에 의하여 판별된다. 외형에 있어서 유사형태의 판별은 형태속성의 함수 표현(Predicate calculus)을 사용하여 구별할 수 있다. 예를 들면, 노란색의 창문은 **색 창문, 노란색**으로 기술되고, 노란색의 출입문은 **색 출입문, 노란색**으로 기술된다. 상기의 두 함수 표현에 있어서 각 개체는 똑같은 색을 즉 노란색을 공유하고 있으므로 두 형태는 색에 의하여 유사한 형태로 간주된다.

동등형태 : 토폴로지(Topology)와 기하학적인 구조특성이 같은 두 개의 형태를 동등형태라 한다. Jun과 Gero(1998)에 의하면 선으로 구성된 두 개의 형태에 있어서, 선의 수, 꼭지점의 수 그리고 선의 기하학적 속성이 동일하고 길이에 대한 비례가 일정할 때 두 형태를 동등하다고 한다. 그림 2에서 모든 그룹형태는 원, 마름모와 같은 부속 형태로 이루어져 있으며, 각 그룹형태에 있어서 상치되는 부속 형태들은 같은 물리적 구조를 갖고 있기 때문에 이들 부속 형태는 동등형태로 간주된다. 그리고 각 그룹형태의 부속 형태는 같은 배열 방법에 의하여 구성되었으므로 그룹형태도 또한 동등형태이다. 그러므로 그림 2의 모든 형태는 같은 물리적 구조로 이루어져 있으며, 그들의 차이는 위치, 방향, 크기 그리고 속성 등이 다를 뿐이다.

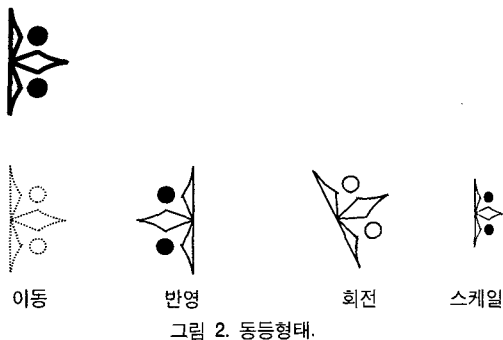


그림 2. 동등형태.

연속변형형태 : 연속변형형태에 있어서 모든 형태의 내부 구조는 동등하나, 각 부재들의 길이에 대한 비례는 다르다. 형태의 일부분에 뒤틀림이 생겨도 구성적인 특성만 변하지 않으면 이는 본래 형태로부터 연속변형된 형태이다. 길이의 비례에 의한 형태의 구분에 있어서 연속변형형태는 불완전하면서 규범적인 뒤틀림이 아니지만, 시각적으로 동등한 형태로 인지된

다. 그림 3에서 생물학자 Thompson(1952)은 길이의 뒤틀림에도 불구하고 일정한 구조적 속성을 유지한 형태는 시각적으로 유사한 형태가 된다는 것을 보여주고 있다.

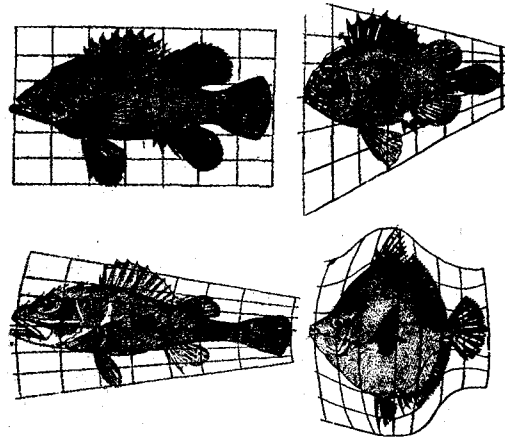


그림 3. 연속변형형태에 있어서 유사성.

상사형태(Analog Shape) : 다수의 부속 형태로 이루어진 그룹 형태에 있어서, 두 그룹형태를 구성하는 부속 형태들이 똑같은 방법으로 배열되지만, 각기 서로 다른 부속 형태로 이루어졌을 때 이를 상사형태라 한다. 그림 4에서 각 형태는 제질, 물리적 구조, 크기, 위치 등 모든 속성이 틀리지만, 네 개의 부속 형태가 90°의 회전으로 이루어진 구조로 되어있어 모두 동일한 공간 관계를 하고 있다.



그림 4. 상사형태.

2-2-2. 공간 관계의 유사성

공간 관계에 있어서 유사성의 판단은 형태 및 공간 관계의 논리적 표현을 이용하며, 이러한 논리적 표현은 Gero 와 Cha (1997)의 논문에 설명이 되어있어 자세한 설명은 본 논문에서 생략한다. 형태는 부속형태로 나누어지며, 형태요소(e_i) 및 변수(a_i)를 갖는 공간관계(τ_i)로 표현된다. 그 표현은 다음과 같다.

$$S = \prod_{i=1}^n \tau_i(e_i, a_i) \quad (1)$$

형태들 사이의 구조적 유사성은 위의 함수적 표현으로부터 판단된다. 각 형태의 구조적 관계를 비교할 때 형태 요소로서 부속 형태(e_i)의 속성은 무시되어 단순히 일반화된 독립 변수로 간주된다. 유사성은 서술부(τ_i)와 변수(a_i)에 의하여 판단된다. 그림 1의 형태 S_1 과 S_2 를 비교하여 유사성을 판단하여 보자. 두 형태에 있어서 표면적 유사성을 비교하여 보면 어떤 공통된 속성도 발견할 수 없다. 형태 S_1 는 곡선 또는 타원으로 구성되어져 있고, 형태 S_2 는 직선, 삼각형 또는 정사각형으로 이루어져 있다. 그러나 이 두 형태를 분석하여 함수적으로 표현한다면, 유사성을 알아낼 수 있을 것이다. 그림 5에 있어서 형태 S_1 은 90° 회전을 하고있는 네 개의 타원으로 구성되

어져 있으며, 이는 $\prod_{i=1}^n \tau_2[\text{타원}i, (90^\circ, a_5)]$ 로 표현된다. 또한 그림 5의 형태 S_6 는 90° 회전을 하고있는 네 개의 삼각형으로 구성되어 있으며, 이는 $\prod_{i=1}^4 \tau_2[\text{삼각형}i, (90^\circ, a_5)]$ 로 표현된다. 두 형태 표현을 비교해 볼 때 같은 서술부(τ_2)와 같은 변수($90^\circ, a_5$)를 공유하고 있어, 비록 그들이 부속 형태의 물리적 속성은 다르지만 공간 관계에 의하여 유사한 형태라고 할 수 있다.

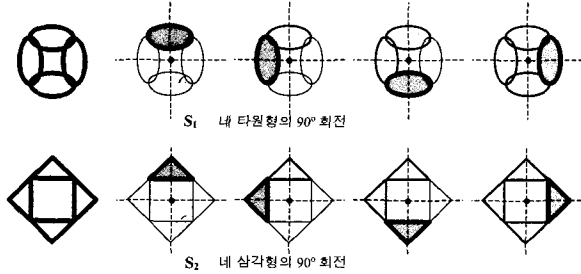
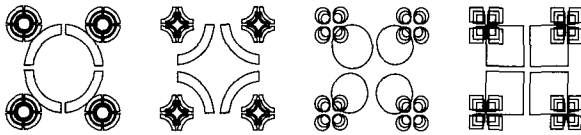


그림 5. 형태 S_1 과 S_2 에 있어서 동일한 90° 회전관계.

2-2-3. 형태패턴에 있어서 유사성

위계트리구조로 표현되는 형태패턴에 있어서 저층부로부터 상층부까지 동일한 공간 관계와 동일한 변수를 갖고 있다면 비록 그들이 서로 다른 부속 형태로 이루어졌음에도 불구하고 동등한 형태패턴으로 간주될 수 있다. 그림 6에 있는 형태패턴은 서로 다른 부속 형태로 이루어져 있으나 이들은 동일한 회전 패턴과 스케일 패턴으로 구성되어 있다. 이들의 형태 표현에 있어서 서술부와 변수는 일치하므로 이들 형태패턴은 유사한 패턴으로 간주된다.



$\prod_{i=1}^n \tau_2(\prod_{j=1}^m \tau_4(\prod_{k=1}^p \tau_2[e_{k,j,i}, (a_2, a_5)], a_4), (a_2, a_5))$
그림 6. 서로 다른 복잡한 형태에 있어서 패턴의 유사성.

3 동등형태의 인지

Uhr (1973)에 의하면 사물의 인식은 한 그룹의 다양한 모든 사물로부터 다수 대 하나(many-to-one)의 매핑을 통하여 특정한 것을 구별해내는 인지과정이라 하였다. Many-to-one 매핑은 두 사물간의 유사성을 기본으로 한다. 유사성의 판별에 있어서 두 개의 사물에 공통적으로 나타나는 속성들은 매우 중요하다. 문자 인식, 언어 인식, 단순한 그림 인식에 있어서 형판 매칭, 특성 매칭 그리고 구조적 매칭을 이용하여 패턴 인식 시스템 연구에는 많은 성공적인 결과를 보였다. 디자인 분야에 있어서 Gross와 Do (1996)는 손으로 그려진 그림을 인지 해석하고, 관리하는 시스템을 형태 상사(Shape analog)를 이용하여 개발하였다.

형태 사이의 동등성은 구조적 또는 물리적인 속성에 의하여 판별된다. 하나의 형태가 다른 형태와 토폴로지(Topology) 또는 기하와 같은 구조적 특성에 있어서 일치한다면 두 형태는

동등한 형태로 간주될 수 있다(Jun과 Gero, 1998). 구조적 속성을 비교하기 위하여 형태는 폐쇄된 선으로 이루어져야 한다. 폐쇄된 선은 첫 번째 꼭지점으로부터 마지막 꼭지점까지 일정한 방향성을 갖고 있어야 한다. 형태의 동등성 판별을 위해서는 비교되는 모든 형태의 첫 번째 꼭지점이 선정되어야 한다. 동등하지 않은 형태는 상이한 구조로 이루어져 있기 때문에 첫 번째 꼭지점을 선정하여 일치시킬 수 없다. 동등성의 판별은 선분의 수, 꼭지점에서의 각도 그리고 연속된 두 선분의 비례에 의하여 이루어진다. 다음은 위의 방법으로는 동등성 판별이 어려운 반영형태의 동등성을 판별하는 방법이다. 각 꼭지점의 순서는 반영되는 두 형태의 동등성을 파악하는데 매우 중요하다. 그림 7-1의 두 형태는 반영되는 동등형태이다. 두 형태의 꼭지점을 반 시계 방향으로 따라 비교하면 두 형태는 동등한 형태로 볼 수 없다(그림 7-3), 그러나 하나의 형태를 시계 방향으로 비교하면 그들의 동등성은 밝혀질 것이다(그림 7-4).

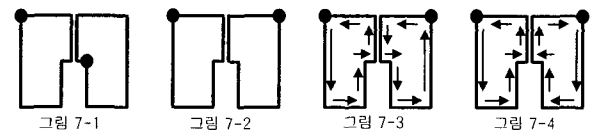


그림 7. 꼭지점 순서에 의한 두 형태 사이의 동등성 판별.

4 공간 관계의 인지

공간 관계는 부속형태와 저층부의 공간 관계로부터 파악된다. 동등하거나 유사한 형태 또는 패턴은 일정하게 배열되어 공간 관계를 특정 지운다. 동등형태로부터 이루어지는 저층부의 공간 관계는 만일 이들이 유사성을 갖고 있고 일정한 방법으로 배열되어 있다면, 이들은 다시 상층부의 공간 관계를 한정한다. 또다시 이들 상층부의 공간 관계는 모여서 더 높은 상층부의 공간 관계를 반복적으로 특정 지운다. 다음은 동등한 아이소메트릭 공간 관계에 있어서 유사성을 파악하고 상위 계층의 공간 관계를 한정하는 방법에 대하여 설명하였다.

이동 공간 관계는 동등한 형태가 그림 8과 같이 수평으로 이동되었을 때 인지된다 (그림 8-1).

회전 공간 관계는 두 형태의 정 중앙을 관통하는 중앙선(cl) 상에 위치하는 회전중심을 발견하는 것으로부터 인지된다(그림 8-2). 중앙선은 상치되는 임의의 두 꼭지점을 지나는 선분(l)의 중심을 지나며 직각인 선이고, 회전 중심(a_5)은 두 개의 각 θ_1 과 θ_2 를 비교하여 찾을 수 있다. 만일 두 개의 각 θ_1 과 θ_2 가 같고 두 선분 l_1 과 l_2 의 교차점이 중앙선(cl)위에 놓이면 그 교차점이 바로 회전중심(a_5)이 되고, θ 는 회전 각(a_2)이 된다.

반영 공간 관계는 선으로 구성되는 두 형태의 상치되는 두 조의 꼭지점으로부터 인지될 수 있다. 두 꼭지점 v_1 과 v_1' 사이의 중심과 v_2 과 v_2' 사이의 중심을 지나는 선이 반영 패턴의 축(a_3)이 된다 (그림 8-3).

스케일공간관계는 두 형태의 상치되는 선분의 길이의 비례에 의하여 판단된다.

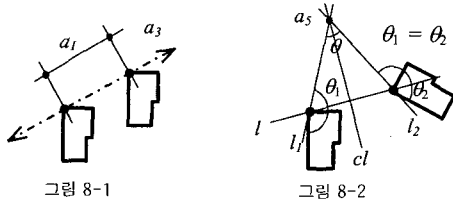


그림 8-1

그림 8-2

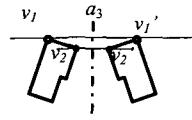


그림 8-3

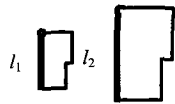


그림 8-4

그림 8. 변형 공간 관계 표현 및 인지

지금까지 동등한 형태 사이의 공간 관계와 이들의 인지에 대하여 기술하였다. 더 나아가 이들 공간 관계 사이에 동등한 공간 관계가 있고 일정한 방법으로 배열된다면 이들은 또한 상위 계층의 패턴으로 구성된다. 동등한 형태패턴의 인지에 대하여 다음 장에서 알아보기로 한다.

5 동등한 형태패턴의 인지

형태패턴사이의 유사성은 구조적 유사성을 기본으로 하며, 형태패턴 표현으로부터 판단할 수 있다. 패턴을 분별하여 계열화하는 데에는 두 가지의 방법이 있다. 통계를 이용한 패턴인식과 구조적 특성을 이용한 패턴 인식이다(Jain, 1987). 통계를 이용한 패턴 인식에 있어서 패턴들은 미리 설정된 형태 특성에 대한 범위의 값에 의하여 분류된다. 분류를 위한 형태 특성의 선택과 범위의 값을 결정하는 것이 패턴 인식 시스템의 중요한 관건이다. 매우 복잡한 패턴에 있어서 이러한 형태 특성의 선택과 범위의 값을 결정하는 것은 쉽지 않으며, 그리고 복잡한 형태에는 통계학적 접근으로는 직접적으로 인지하기 어려운 많은 불규칙한 요소들이 있다. 피상적인 요소만을 이용한 유사성 인지의 방법은 형태 패턴 인지에서 매우 중요하게 여기는 구조적 특성은 인지하지는 못한다.

형태패턴은 소규모의 부속 패턴으로 구성되어진 것으로 간주된다. 복잡한 패턴은 소수의 초기 형태, 부속 패턴, 구성 방법을 이용하여 기술될 수 있다. 형태패턴의 표현 및 인지에 있어서 패턴은 기호와 숫자로 표현된다. 첫 번째로 형태패턴은 구조적 특성에 의하여 분류되고, 그리고 저층부의 분류는 길이 및 크기와 같은 물리적 속성의 의하여 분류된다. 구조적 특성을 이용하여 아이소메트릭 변형에 대한 패턴인지 시스템은 이미 개발이 되어있다.

이동패턴 : 이동패턴은 이동거리 (a_1)와 이동축 (a_3)을 사용하여 표현한다. 그림 9의 두 형태 S_a 와 S_b 는 정사각형과 원의 이동패턴이다. 그리고 각기 $S_a = \prod_{i=1}^n \tau_a\{e_{ai}, (a_{a1}, a_{a3})\}$ 와 $S_b = \prod_{i=1}^n \tau_b\{e_{bi}, (a_{b1}, a_{b3})\}$ 로 표현된다. 저층부에 있는 부속 요소들의

속성은 다르다. 그러나 이들은 동일한 형태패턴을 구성하고 있다. 만일 두 형태패턴의 서술부가 모두 같은 이동패턴($\tau_a = \tau_b = \tau_1$), 같은 타입의 이동 축($a_{a3} = a_{b3}$), 같은 이동 거리($a_{a1} = a_{b1}$) 그리고 같은 수($m = n$)의 부속 요소를 이루고 있다면 두 패턴은 동등한 패턴이라 할 수 있다.

회전패턴 : 회전패턴은 회전 중심(a_5)과 회전 각도(a_2)로 표현된다. 그림 9의 두 형태패턴 S_a 와 S_b 는 회전패턴으로, $S_a = \prod_{i=1}^n \tau_a\{e_{ai}, (a_{a2}, a_{a5})\}$ 와 $S_b = \prod_{i=1}^n \tau_b\{e_{bi}, (a_{b2}, a_{b5})\}$ 로 표현된다. 만일 두 패턴 S_a 와 S_b 사이에 같은 서술부($\tau_a = \tau_b = \tau_2$), 같은 수($m = n$)의 부속 요소 그리고 같은 회전 각도($a_{a2} = a_{b2}$)를 갖고 있다면 이들은 동일한 회전패턴을 갖고 있다고 할 수 있다.

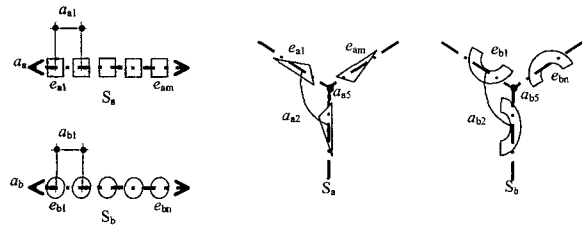


그림 9. 동등한 이동패턴과 회전패턴.

반영패턴 : 반영패턴은 반영 축(a_3)을 사용하여 표현된다. 그림 10에 있는 형태패턴 S_a 와 S_b 는 반영패턴으로, 이의 함수를 이용한 표현은 $S_a = \prod_{i=1}^n \tau_a\{e_{ai}, a_{a3}\}$ 와 $S_b = \prod_{i=1}^n \tau_b\{e_{bi}, a_{b3}\}$ 이다. 만일 두 패턴 S_a 와 S_b 사이에 같은 서술부($\tau_a = \tau_b = \tau_3$)와 같은 타입의 반영 축($a_{a3} = a_{b3}$)을 갖고 있다면 이들은 동등한 반영패턴이라 할 수 있다.

스케일패턴 : 스케일패턴은 스케일 팩터(a_4)를 사용하여 표현된다. 그림 10에 있는 형태패턴 S_a 와 S_b 는 스케일패턴으로, 이의 함수를 이용한 표현은 $S_a = \prod_{i=1}^n \tau_a\{e_{ai}, a_{a4}\}$ 와 $S_b = \prod_{i=1}^n \tau_b\{e_{bi}, a_{b4}\}$ 이다. 만일 두 패턴 S_a 와 S_b 사이에 같은 서술부($\tau_a = \tau_b = \tau_4$), 같은 수($m = n$)의 부속요소 그리고 같은 스케일 팩터($a_{a4} = a_{b4}$)를 갖고 있다면 이들은 동일한 스케일패턴을 갖고 있다고 할 수 있다.

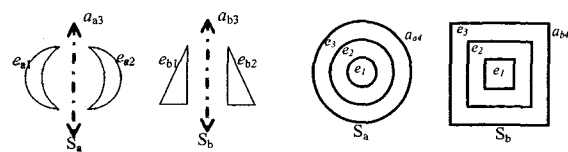


그림 10. 동등한 반영패턴과 스케일패턴

복합패턴 : 복잡한 형태패턴사이의 유사성 판단은 형태패턴을 표현하는 기술문의 위계트리 구조에 있어서 상위 계층의 서술부와 변수의 값을 비교로 시작하여 점차 저층부로 내려간다. 만일 두 개의 형태패턴에 대한 기술문이 서로 같은 상위 계층의 서술부와 변수의 값이 동일하면, 이들 두 개의 형태패턴은

공간 관계에 의한 유사한 형태패턴이라 할 수 있다. 여기서 이들 저층부의 속성은 중요하지가 않고 일반화된다.

그림 11의 형태는 똑 같은 상층부의 패턴을 공유하고 있지만, 저층부는 서로 다른 부속 형태와 공간 관계로 이루어져 있다. 그림 11-1은 원으로 구성된 패턴이고, 그림 11-2는 L모양의 단위 형태로 이루어진 패턴이다. 그림 11-1에서 세 개의 원은 스케일 팩터 a_4 에 의하여 크기가 증가되는 스케일 패턴을 이루고 있으며 $\prod_{i=1}^3 \tau_4(e_i, a_4)$ 로 표현된다. 또한 네 개의 스케일패턴은 회전 중심 a_5 를 기점으로 회전 각도 a_2 만큼 회전한다. 이러한 회전패턴은 $\prod_{j=1}^4 \tau_2(x_j, (a_2, a_5))$ 로 표현되는데 x_j 는 저층부의 패턴을 나타내며 이는 스케일패턴 $\prod_{i=1}^3 \tau_4(e_i, a_4)$ 를 대신한다. 마지막으로 세 개의 동등한 회전패턴은 이동 축 a_3 를 따라 이동거리 a_1 만큼 이동되어 배열되며, 이의 함수적 표현은 $\prod_{k=1}^3 \tau_1(x_k, (a_1, a_3))$ 이다. 이러한 형태패턴은 위계적트리 구조로 이루어져 있다.

그림 11-2에서 두 L모양의 형태는 반영 축 a_3 를 기준으로 반영되며, 이는 $\prod_{i=1}^2 \tau_3(e_i, a_3)$ 로 표현된다. 이러한 네 개의 반영패턴은 동등하고 회전 중심 a_5 를 기점으로 회전 각도 a_2 만큼 회전하며 $\prod_{j=1}^4 \tau_2(x_j, (a_2, a_5))$ 로 표현된다. 또한 세 개의 동등한 회전패턴은 이동 축 a_3 를 따라 이동 거리 a_1 만큼 이동되어 배열된다 ($\prod_{k=1}^3 \tau_1(x_k, (a_1, a_3))$).

비록 저층부의 형태와 패턴이 다르더라도, 상층부 패턴의 비교로부터 패턴의 동등성을 판단할 수 있다. 그림 11-1의 최상층 패턴은 이동패턴이고, 그림 11-2의 상층부 패턴도 또한 이동패턴이다. 그러므로 이 두 개의 패턴은 세 개의 부속 패턴으로 이루어진 동등한 이동패턴으로 간주된다. 이러한 두 동등한 형태패턴 내부의 부속 형태패턴들은 네 개의 낮은 형태패턴들의 회전에 이루어졌다. 회전패턴들도 또한 동등하다. 그러나 최하층의 형태패턴 및 형태들은 다르다. 어떤 패턴은 위계트리 구조에 있어서 상층부로부터 저층부까지의 공간 관계와 독립 변수의 값이 동일하고, 단지 최저층부의 물리적인 형태만이 다르다.

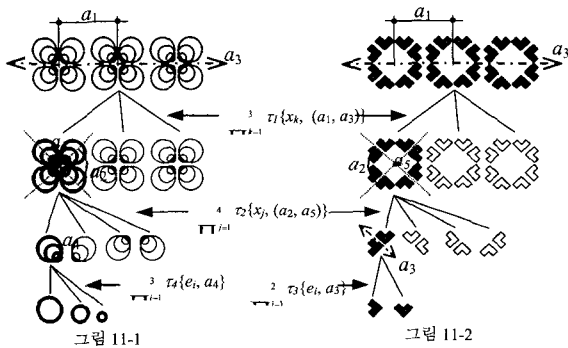


그림 11. 상층부 공간관계에 의한 형태패턴의 유사성.

6 건축 디자인에 나타나는 유사한 형태패턴

6-1. 건축 형태에 있어서 유사성

어떤 특정 형태는 개인, 한 시대 또는 지역적 작품에 공통적으로 나타나 있다. 이러한 형태는 계열화된 한 그룹의 작품 특성을 한정하기도 한다. 한 계열에 속해있는 작품에 나타나는 형태들은 언제나 물리적으로 동일하지는 않다, 다만 그들은 시각적으로 비슷하다고 느껴질 뿐이다. 형태의 길이 또는 크기와 같은 물리적 속성들은 다르기도 하고 어떤 부분은 변형이 되어있지만, 형태들의 내부 구조는 같을 수도 있다.

Botta는 많은 그의 작품에서 키홀 형태를 사용하였다. 그림 12에서 Botta가 디자인한 건물에서는 다양한 키홀 형태가 명백하게 인지된다. 그들은 단지 비례적으로 변화되거나, 구조적 특성을 상실하지 않고 변형되었을 뿐이다.

키홀 형태에 대한 가능한 기술은 다음과 같다. "키홀형태는 두 개의 이웃한 직사각형으로 이루어져 있다. 두 직사각형은 하나의 커다란 직사각형과 상대적으로 작고 기다란 직사각형으로 이루어져 있다." 이와 같은 설명문으로부터 키홀 형태에 대한 스키마는 일반화될 수 있다. 다시 말하면, 키홀 형태는 커다란 직사각형과 상대적으로 작고 기다란 직사각형으로 이루어져 있다. 이러한 키홀 형태의 스키마에 있어서 각각의 형태들은 다른 형태로 대체되거나, 크기의 변화를 통하여 다양한 키홀 형태를 만들 수 있다. 키홀 형태에 있어서 커다란 직사각형을 반원으로 대체하면 그림 12-4의 키홀 형태가 된다. 그림 12-2와 3의 키홀 형태는 길이의 변환에 의하여 만들어진 것이다. 하나는 수평적으로 늘어난 것이고 (그림 12-2), 다른 하나는 수직적으로 늘어난 것이다 (그림 12-3). 그림 12-5와 6에 있어서 커다란 직사각형은 변형되어 흥미 있는 키홀 형태를 만들어 냈다. 그림 12-5에서는 커다란 직사각형의 한쪽 모서리가 오목하게 들어갔으며, 그림 12-6에서는 커다란 직사각형의 양쪽 모서리가 각각 만입되어 또 다른 키홀 형태가 되었다. 이러한 형태들은 형판 매칭에 의해서는 유사한 형태로 보여지기 힘들지만, 형태공간의 관계성에 의하여 이들은 시각적으로 유사한 형태로 인지된다.

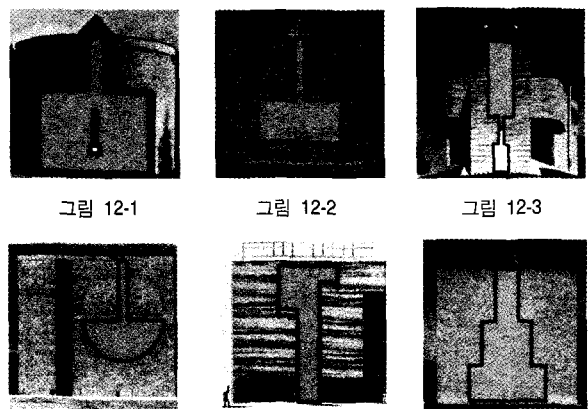


그림 12. Botta 디자인에 있어서 유사한 키홀 형태

6-2. 건축 디자인에 나타나는 형태패턴에 있어서 유사성

패턴에 있어서의 유사성은 저층부에 있는 형태의 상이함으로 인하여 항상 명백하게 인지되지는 않는다. 형태를 처음 보는 순간 형태들은 서로 다른 형태로 보이지만 그들은 유사한 숨어있는 구조 패턴을 갖고 있는 경우가 있다. 패턴에 있어서 유사성 판별 프로세스는 형태패턴 표현의 비교로부터 시작한다. 형태패턴의 비교 프로세스는 두 패턴간의 구조적 일치점을 찾기 위하여 패턴에 대한 기술문을 비교하는 것이다. Gentner와 Markman(1994)에 의하면 구조적인 일치를 위해서는 평행적인 연속성과 1 대 1 매핑의 조건을 만족해야 한다. 평행적인 연속성 조건은 두 패턴 기술문 사이에 서술부와 독립 변수가 일치되어야 한다는 것이다. 1 대 1 매핑 조건은, 하나의 패턴에 속한 부속 요소는 다른 패턴의 상치된 부속 요소와 상관관계를 갖고 있어야 한다는 것이다. 패턴의 유사성 비교 프로세스에서는 부속 요소의 일치보다는 구조적 속성의 일치가 더 중요하다.

이동패턴 : 칸(Kahn)은 그의 디자인에서 많은 형태패턴을 사용하였다. 그림 13의 세 건축물에서는 똑같은 이동패턴 $\prod_{i=1}^3 \tau_i(e_i, (a_1, a_3))$ 을 나타내고 있다. Erdman Hall 기숙사에서는 세계의 마름모 모양의 형태가 반복되어 이동 축(a_3)을 따라 일정한 간격 (a_1)으로 배열되어있다. Richards 의학연구건물에서는 직사각형 또는 키홀 형태가 반복되어 이동패턴을 구성하고 있다. 또한 Tribune review 건물에서도 세 개의 키홀 형태가 이동패턴을 이루고 있다. 그들은 똑같은 이동패턴의 서술부를 갖고 있으며, 독립 변수도 일치한다. 단지 일치하지 않는 것은 부속형태들이다. 그러므로 세 건축물은 내재된 패턴에 의하여 유사하다고 할 수 있다. 세 건축물에 공통적으로 나타나는 패턴은 세 개의 부속 형태로 이루어진 이동패턴이다.

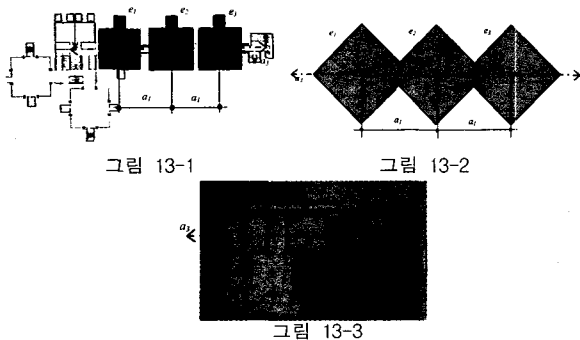


그림 13. 칸(Kahn)의 디자인에 나타나는 유사한 이동패턴:
(1) Richards 의학연구건물 (2) Erdman Hall 기숙사
(3) Tribune Review 건물.

한 그룹의 유사한 이동패턴은 축을 따라 배열되고 그리드(Grid)라는 고차원적인 이동패턴을 한정한다. 그리드 패턴은 많은 건축물 디자인에 사용되어왔다. 그림 14에서 볼 수 있는 세 개의 그리드 패턴은 각각 다른 디자인에서 나타나지만, 구조적 패턴을 비교하면 유사한 패턴으로 간주될 수 있다. 귀납적 프로세스를(Cha and Gero, 1987) 거쳐서 세 개의 형태로부터

터 그리드 패턴이 일반화되고, 이의 함수를 이용한 기술은 $\prod_{i=1}^3 \tau_i \prod_{j=1}^3 \tau_j [e_{i,j}, (a_1, a_3)], (a_1, a_3)$ 이다.

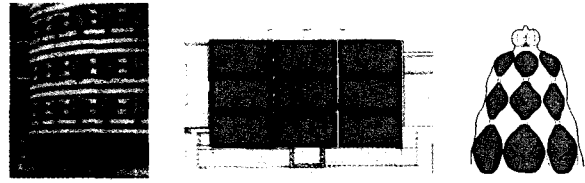


그림 14-1 그림 14-2 그림 14-3

그림 14. 건축 디자인에서 볼 수 있는 유사한 그리드 패턴:

- (1) Mediatheque (Mario Botta), (2) Kimbell 미술관 (Louis I. Kahn),
(3) Casa Mila의 지붕 디자인 (Antonio Gaudi).

회전패턴 : 회전패턴에서는 형태가 한 점을 중심으로 반복되는 것이다. 회전패턴은 약간의 변화를 주어 spiral, pinwheel, central 등과 같은 다양한 패턴을 만들 수 있다. 이러한 패턴은 Leonardo의 교회평면, Palladio의 주택평면, Michaelangelo의 Campidoglio 그리고 Serlio의 교회평면과 같은 르네상스시대 건축물에 나타나는 특징적인 유형이다 (그림 15). 일반화된 central 평면은 가운데 점 a_5 를 중심으로 부속 요소 e_i 가 회전되는 것으로 설명될 수 있으며, 이의 함수적 표현은 $\prod_{i=1}^4 \tau_2(e_i, (a_2, a_5))$ 이다.

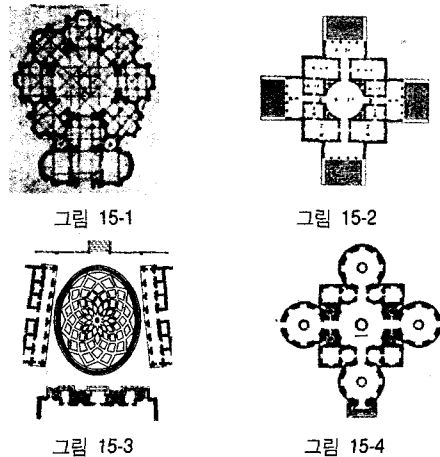


그림 15-1

그림 15-2

그림 15-3

그림 15-4

그림 15. 르네상스 건축물에 나타나는 회전패턴: (1) Leonardo의 교회,
(2) Palladio의 Rotunda, (3) Michaelangelo의 Campidoglio광장,
(4) Serlio의 교회 평면.

그림 16의 모든 건축도면에서 공통적으로 회전패턴이 나타나며, 형태패턴의 독립 변수도 또한 일치한다. 도면에 나타나는 회전패턴에는 네 개의 요소가 반복되며, 중심점을 기점으로 90°회전한다. 그러므로 네 개의 형태는 동등한 회전패턴을 갖고 있으므로 유사한 형태라 할 수 있다. 그림 16-1에서 인지되는 패턴은 네 개의 부속 패턴인 반영패턴으로 이루어진 회전패턴이다. 다른 두 회전패턴은 물리적인 원형 형태(Primitive shape)로부터 구성된다 (그림 16-2, 3). 그림 16-4의 패턴은 축으로 이루어진 네 개의 건축물군으로부터 형성된다. 비록 이들 회전패턴은 시각적으로 다른 요소들로 구성되어져있지만, 패턴들은 공통적으로 동일한 패턴으로 간주

된다. 네 개의 모든 형태패턴은 다음과 같이 표현된다.

$$\prod_{i=1}^4 \tau_2(e_i, (90^\circ, a_5))$$

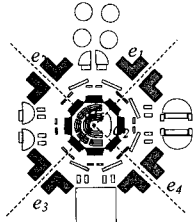


그림 16-1

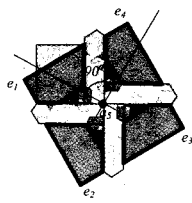


그림 16-2

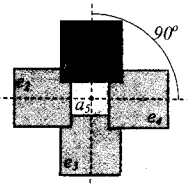


그림 16-3

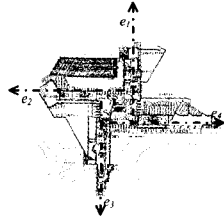


그림 16-4

그림 16. 회전패턴에 의한 형태의 유사성: (1) National Assembly Hall (Kahn), (2) Price Company (Wright), (3) Trenton Bath House (Kahn), (4) Johnson House (Wright).

반영패턴: 그림 17-1는 건축 디자인에 나타나는 반영패턴을 보여주고 있다. 그림 17-1의 왕좌의 디자인에서 저층부의 두 반영패턴은 대칭 되어 상층부의 반영패턴을 구성한다. 이의 함수적 표현은 $\prod_{i=1}^2 \tau_3(\prod_{j=1}^2 \tau_3(e_{ij}, a_3), a_3)$ 이다. Dacca에 있는 National Assembly Hall에서는 두 개의 L형태가 반영패턴을 구성하고, 이 반영패턴은 또다시 상층부의 반영패턴을 한정한다(그림 17-2). 또한 이중으로 구성된 반영패턴은 Botta의 Origlio에 있는 개인주택에서 볼 수 있다(그림 17-3). 그림 17-2와 3에 나타나는 패턴의 함수적 표현은 $\prod_{i=1}^2 \tau_3(\prod_{j=1}^2 \tau_3(e_{ij}, a_3), a_3)$ 이다. 세 개의 패턴을 기술하는 함수적 표현을 비교하면 이들은 똑같은 상위 계층의 서술부를 갖고 독립 변수는 일치된다. 그러므로 세 개의 형태는 패턴에 의하여 유사한 형태라 할 수 있다.



그림 17-1

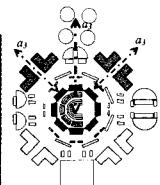


그림 17-2

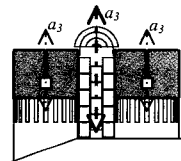


그림 17-3

그림 17. 건축물 디자인에 나타나는 이중 반영패턴: (a) Throne, (b) National Assembly Hall (Kahn), (c) Origlio에 위치한 개인주택 (Botta).

스케일 패턴: 형태가 일정한 비율로 커지거나 작아지는 것이 스케일 패턴이다. 그림 18의 건축 도면으로부터 인지되는 형태패턴은 동일한 스케일패턴에 의하여 유사한 형태로 간주될 수 있다. 그림 18-1의 Erdman Hall 기숙사에서서는 마름모 형태가 일정한 스케일 a_4 로 그 크기가 커지고, 이 패턴은 $\prod_{i=1}^3 \tau_4(e_i, a_4)$ 로 표현된다. 또한 그림 18-2와 3에서는 세 개의 타원

형과 원형의 크기가 스케일 팩터 a_4 만큼 증가되고, 이의 함수적 표현은 $\prod_{i=1}^3 \tau_4(e_i, a_4)$ 이다. 위의 세 형태패턴에 대한 함수적 표현으로부터 공통점을 발견할 수 있다. 세 개의 형태패턴은 동일한 서술부와 독립 변수를 갖고 있으며, 단지 틀린 것은 저층부의 물리적인 형태이다. 그러므로 세 개의 형태패턴은 유사한 스케일 패턴이라 할 수 있다.

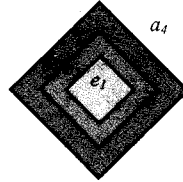


그림 18-1 (S₁)

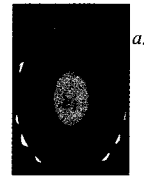


그림 18-2 (S₂)

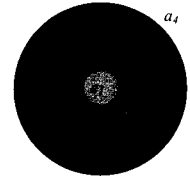


그림 18-3 (S₃)

그림 18. 건축 디자인에 나타나는 유사한 스케일 패턴: (a) Erdman Hall 기숙사 (Kahn), (b) Colonial Guell 성당의 창문 디자인 (Gaudi), (c) Chartres 성당의 로즈윈도

복합형태패턴: 둘 또는 그 이상의 패턴이 하나의 형태 또는 부속 형태에 동시에 반복적으로 적용이 되어 시간적으로 복잡한 형태패턴이 형성될 때 이를 복합패턴이라 한다. 그림 19의 모든 부속 형태는 서로 달라도 이 형태들은 동일한 방법으로 배열되어 있다. 그림 19-1에 있는 부속형태의 크기가 증가되면서 동시에 이동 축 a_3 를 따라 a_1 의 간격으로 이동되어 복합 형태패턴을 형성한다. 이의 함수적 표현은 $\prod_{i=1}^3 \tau_1[\tau_4(e_i, a_4), (a_1, a_3)]$ 이다. 이와 유사한 복합패턴은 그림 19-2와 3에서 인지되며, $\prod_{i=1}^3 \tau_1[\tau_4(e_i, a_4), (a_1, a_3)]$ 로 표현된다. 위와 같은 세 개의 패턴에 관한 기술문을 비교하면, 같은 이동 과 스케일 서술부를 공유하며 각각의 독립 변수도 일치한다. 따라서 이들은 유사한 형태로 간주된다.

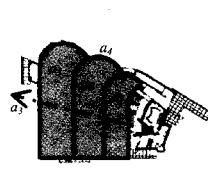


그림 19-1 (S₁)

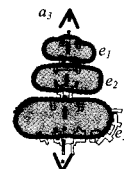


그림 19-2 (S₂)

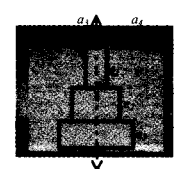


그림 19-3 (S₃)

그림 19. 건축 디자인에 나타나는 유사한 복합패턴: (a) Vuoksenniska 교회 (Aalto), (b) Tarxien에 위치한 사원 (c) Pregassona에 위치한 개인주택 (Botta)

7. 결론

형태패턴의 인식에 있어서 가장 중요한 것은 형태사이의 유사성을 판단하는 것이다, 왜냐하면 형태패턴은 유사한 형태와 동등한 형태 사이의 공간 관계로부터 형성되기 때문이다. 형태의 유사성은 표면적인 유사성과 구조적인 유사성에 의하여 판단된다. 본 연구에서는 표면적인 유사성보다는 형태를 구성하는 공간 관계에 의한 유사성에 대하여 중점을 두었고, 표면적인 유사성에 대해서는 폐쇄된 선으로 구성된 형태로 국한하였다. 구조적인 유사성의 판단은 부속 형태와 공간 관계를 설명하는 두 형태의 함수적 표현을 비교하는 것으로부터 시작한다. 함수적 표현의 서술부와 독립변수의 일치에 의해서 그 유

사성이 판단된다. 또한 여러 단계로 표현되는 복잡한 형태의 유사성 판단은 상층부의 서술부와 독립변수의 비교로부터 시작하여, 하층부로 내려간다. 최상층부의 서술부와 독립변수가 일치하면, 유사한 형태로 간주되며, 하층부로 내려간 만큼 그 유사성의 심도는 높아진다 할 수 있다.

기술의 급속한 발달 그리고 정보화와 아울러 컴퓨터를 이용하여 설계과정을 보조하는 기능으로 기존의 건축정보 특히 도면 또는 그림으로 디자인 정보를 정리 분류하여 저장하려는 시도가 많이 있어왔다. 그러나 그림으로 이루어진 건축정보를 컴퓨터가 자동으로 인지하고 처리하는 데에는 기존의 형판 매칭, 특성 매칭 그리고 2차원적인 공간 관계의 비교에 의하여서는 어려운 점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해서 2차원 이상의 공간 관계의 함수적 표현을 이용하여 형태패턴을 인식하는 방법론을 제시함으로써 인하여 컴퓨터를 이용하여 그림으로 이루어진 건축 디자인 정보를 분류 저장할 수 있는 기틀을 마련하였다. 또한 이러한 방법으로 이미 저장되어있는 건축디자인 정보를 검색하여 디자인 시 필요한 도면을 구할 수 있다.

정보를 분류하는 데에는 주어진 조건에 맞는 정보를 선택하여 분류하거나, 일정한 정보 그룹이 공통적으로 내포하고 있는 특성을 파악하여, 이를 기준으로 정보를 분류하는 방법이다. 형태정보는 형태의 유사성에 의하여 분류되며, 정보 그룹으로부터 공통적 특성을 파악하는 프로세스는 형태의 유사성을 한정하는 물리적 속성 및 구성적 특성을 일반화하는 과정이다. 구성적 특성은 형태패턴 표현을 이용하여 설명되며, 이를 이용하여 유사 형태를 구별하고 형태에 있어서 귀납적프로세스를 가능케 한다. 귀납적프로세스는 개인, 시대 그리고 지역에 따라 공통적으로 나타나는 한 그룹의 디자인으로부터 그 스타일을 한정하는 디자인 특성을 습득하게 하여 새로운 디자인에 사용할 수 있도록 해준다. 또한 건축분야 이외의 다양한 분야에서 고차원적인 상관 관계를 이용하여 패턴 인식을 가능케 한다. 문자 인식, 음성 인식, 기타 패턴 인식에 있어서 속성들의 상관관계를 이용하여 데이터를 분석하여 분류하면 1차원적인 물리적 속성만을 이용하여 분석하는 것보다 더 좋은 결과를 가져올 수 있을 것이다. 고차원적인 공간관계의 인지는 인공지능형 로봇의 개발에 있어서도 인간과 유사한 인지능력을 부여함으로써 인간과 좀더 가까운 로봇의 개발을 가능케 해준다.

참고문헌

- Falkenhainer, B., Forbus, K. D. and Gentner, D. (1989/90). The structure-mapping engine: algorithm and examples, *Artificial Intelligence*, 41: 1-63.
- Gentner, D. (1989). The mechanism of analogical learning, in S. Vosniadou and A. Ortony (eds), *Similarity and Analogical Reasoning*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 199-241.
- Gentner, D. and Markman, A. B. (1994). Structural alignment in comparison: no difference without similarity, *Psychological Science*, Vol. 5 No. 3 pp.152-157.
- Gero, J. S. and Cha, M. Y. (1997). Computable representation of patterns in architectural shapes, in Y-T. Liu, J-Y. Tsou and J-H. Hou (eds). *CAADRIA'97*, Hu's Publisher. Taipei. Taiwan. pp. 377-388.
- Gross, M. D. and Do, E. Y-L. *Ambiguous Intentions*, ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '96), 1996, pp. 183-192.
- Jain, A. K. (1987). Advances in statistical pattern recognition, in P. A. Devijver and J. Kittler (eds), *Pattern Recognition Theory and Applications*, Springer-Verlag, New York, pp.1-19.
- Jun, H. and Gero, J. S. (1998). Emergence of shape semantics of architectural shapes, *Environment and Planning B: Planning and Design*25(4): 577-600.
- Lindsay, P. H. and Norman, D. A. (1977). *Human Information Processing: An Introduction to Psychology*, Academic Press, New York.
- Olson, D. R. and Bialystok, E. (1983). *Spatial Cognition: The Structure and Development of Mental Representation of Spatial Relations*, Lawrence Erlbaum, New Jersey.
- Pinker, S. (1985). Visual cognition: an introduction, in S. Pinker (ed.), *Visual Cognition*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp.1-63.
- Uhr, L. (1973). *Pattern Recognition, Learning and Thought: Computer-programmed models of higher mental processes*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Vosniadou, S. and Ortony, A. (1989). *Similarity and analogical reasoning: a synthesis*, in S. Vosniadou and A. Ortony (eds), *Similarity and Analogical Reasoning*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-18.
- Thompson, D. W. (1952). *On Growth and Form*, University Press, Cambridge.