

2차원 평면 도형의 차원성 감소에 대한 연구

A Study on the Dimensionality Reduction of 2-Dimensional Plane Figure

주 저 자: 오혁근 (Oh, Hyouk Keun) 한양여자대학교 산업디자인학과
ohhk2@hywoman.ac.kr

Abstract

In the 3D data used in 3D printing and product design, the polygonal modeling technique is the most widely used method due to the simple calculation method of the positional information measurement of the Cartesian coordinate system. It also gives you the opportunity to reduce capacity and processing speed. In this paper, we present the results of a study on the reduction of dimensionality of two-dimensional geometry by using one-dimensional segments by using intersections of bisectors of polygonal interior angles based on the computational geometric theory of transition and resilience, Respectively. The result of this study can be data saving effect due to simple structure that does not react sensitively to the complexity of the form, and it is possible to suggest the possibility of creating an accidental pattern style because it is a non-predictable geometrical line structure instead of a skeletal structure. However, since the theoretical proposal of this type regulation must be accompanied by a computerized proof, it is necessary to cooperate with the IT field in the future.

Keyword

Bisector, Dimensionality Reduction, Polygon

요약

3D 프린팅이나 제품디자인 분야에 사용되는 3차원 데이터에서 폴리곤 방식의 모델링 기법은 데카르트 좌표계의 위치정보 측정이라는 단순한 계산방식으로 인해 가장 널리 쓰이는 방식이며, 이러한 폴리곤 모델의 새로운 표현방식에 대한 연구는 데이터 저장 용량이나 처리속도를 절감할 수 있는 기회를 주기도 한다. 본 연구에서는 전이와 회복력이라는 전산학적 기하학 이론에 기반한 다각형 내각의 이등분선의 교차점들을 이용하여 2차원 도형을 1차원 선분으로 차원성을 감소시킨 연구결과를 제시함으로써 기존의 연구들과 차별화된 형태규정 방식을 제안하였다. 본 연구 결과물은 형태의 복잡성에 민감하게 반응하지 않는 단순구조로 인해 데이터 절감효과를 가져올 수 있으며, 골격구조가 아닌 예측 불가능한 기하학적 선분구조이므로 우연적 패턴양식의 창출 가능성을 제시할 수 있다. 다만, 이러한 형태규정의 이론적 제안은 필수적으로 전산학적 증명이 수반되어야하므로, 향후 IT 분야와의 공동연구가 반드시 이루어져야 한다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구의 배경 및 목적
- 1-2. 연구의 범위 및 방법

2. 이론적 배경

- 2-1. 전이(Transfer)와 회복력(Recoverability)
- 2-2. 중앙축(MA)

3. 차원성 감소 연구사례

- 3-1. 보로노이 도식(VD)
- 3-2. 일반화 원기둥(GC)

3-3. 대칭집합(SS)

3-4. 쇼크비계(SC)

3-5. 형태격자(SL)

4. 내각의 이등분에 의한 차원성 감소

- 4-1. 이등분선에 의한 그래프 구조 추출
- 4-2. 원형의 복구
- 4-3. 결과물의 특성 및 비교

5. 결론

참고문헌

1. 서론

1-1. 연구의 배경 및 목적

3차원 상의 좌표계로 표시되는 위치정보에 의한 형태의 표현은 프로그래밍 분야에서 아직까지 가장 효과적인 방식이라고 할 수 있다. 이를 위한 형태규정의 창출이나 공간개념을 제시하는 작업은 디자인 분야에서 다루어져야 할 새로운 개념상의 조형이론이 될 수 있으며, 특히 3차원 컴퓨터 모델링과 같은 전산적인 계산이 필요한 형태규정 방식의 이론적 제안은 모델링 기법 자체의 발전적 변화를 가져올 수도 있다. 또한 2차원 도형의 색다른 표현에 의한 우연적 패턴의 추출을 경험할 수 있으며, 나아가 3차원 폴리곤 모델의 단순화에 의한 데이터 감소 효과를 기대할 수 있다.

이와 같은 효과를 확인하려면 전산학적으로 증명되어야 완성된 연구라 할 수 있지만, 본 연구는 차원성 감소의 방법을 제시한 이론적 제안에 그 목적이 있으므로 선형 그래프 구조의 결과물을 제시하는데 중점을 둔다.

1-2. 연구의 범위 및 방법

현재의 3차원 모델링 기법의 큰 축이라 할 수 있는 폴리곤 방식의 모델링은 삼각형 평면의 좌표 값으로 형태를 규정한다. 본 연구도 이러한 폴리곤 방식의 모델링에 적용하는 것을 기반으로 제작되어졌으므로, 곡선을 배제한 다각형(polygon)에만 적용할 수 있다.

2장에서는 본 연구의 근간이 되는 이론인 구조전이와 생성작용 회복력을 설명하고, 차원성 감소 연구의 기본이론인 중앙축에 대한 개념을 정리한다. 3장에서는 이러한 기본원리에 의해 이루어진 차원성 감소 연구 사례를 통해 연구의 방향성을 제시한다. 4장에서는 내각의 이등분선을 이용한 차원성 감소 방법을 제안하고 그래프 구조의 제작과정을 제시한 후, 기존 연구들과의 비교를 통한 특징적 요소를 추출한다.

2. 이론적 배경

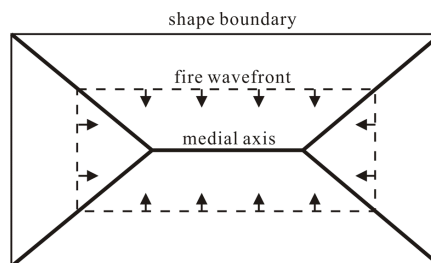
2-1. 전이(Transfer)와 회복력(Recoverability)

M. Leyton은 전산학의 구조적 개념과 직결되는 기하학의 원리를 미학적으로 해석하여, 형태의 생성은 구조 전이(轉移)와 생성작용 회복력이라는 두 가지의 극대화 원리에 기반 한다고 주장하였다. 구조의 전이는

형태의 구조적 상태가 변환하는 것을 미학의 기준으로 정의한 것으로, 형태의 생성과 변화는 각 단계의 변환에 있어서 상호관계가 있으며, 이는 마치 에너지 장의 이동처럼 상하단계에 영향을 준다는 개념이다. 또한, 전이에 의해 변형된 단계의 속성을 언제든지 복구할 수 있다는 것이 생성작용 회복력의 이론으로, 전이와 함께 형태생성의 기본원리로 작용하며, 전산학이나 기하학의 범위를 넘어, 형태라는 형식을 취하는 다양한 분야에 적용된다.¹⁾ 이 원리는 예술뿐만 아니라 과학이나 전산학 등을 미학적으로 판단하는 데에도 사용되며, 다음 장에 언급될 차원성 감소에 관한 연구들은 이 두 원리를 충족하고 있다. 그러므로 본 연구 또한 구조적 전이 이후에 다시 원형을 복구할 수 있는 회복력이 존재하여야 한다.

2-2. 중앙축(MA : Medial Axis)

중앙축(MA)은 사물의 경계에서 시작된 파면을 만나는 자취들의 경계에 근거하여 grassfire 모델[그림 1]²⁾을 제시한 Blum(1961)에 의해 처음 소개된 개념이다. 주로 생물학 형태를 설명하기 위하여 제안된 MA는 사물표면에 접하는 최대 구(sphere)들의 중심점들이 모인 집합이라 정의할 수 있다.



[그림 1] MA를 설명하는 grassfire 모델

다음 장에 언급되는 대칭집합, 쇼크비계, 형태격자 등은 중앙축 이론에 기반한 연구들이며, 중앙축 이론은 차원성 감소를 비롯한 모델링 기법, 골격구조, 유기적 정보 디자인 등과 같은 다양한 연구분야의 기본개념이 되어 그 중요성을 입증하게 된다.

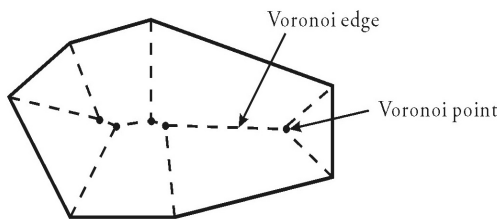
1) 오혁근, 수, 과학 그리고 디자인, (주)한국학술정보, 2013, p.131.

2) Cao, Y. Axial representations of 3D shapes, Ph.D thesis, Brown Univ, 2003, p.5.

3. 차원성 감소 연구사례

3-1. 보로노이 도식(VD : Voronoi Diagram)

보로노이 도식은 러시아 수학자 Georgy Voronoi (1908)에 의해 정의된 기하학적 계산 방법으로, 공간 상의 점들로 이루어진 사물의 특별한 표현방식이다. 기하학에서 하나의 객체에 대하여 다른 객체들 보다 가까이 있는 모든 점들로 이루어진 공간을 그 객체에 대한 Voronoi cell이라고 하며, 주어진 객체의 집합에 대하여 각 객체의 Voronoi cell로 구분된 공간을 그 객체 집합에 대한 Voronoi diagram(VD)이라고 한다.³⁾ 또한 위에 언급한 MA 선분이 다각형의 둘 이상의 변(edge)에서 안쪽으로 같은 거리만큼 떨어져 있는 점들의 자취라 할 때, 세 개 이상의 변에서 같은 거리만큼 떨어져 있는 MA 선분 상의 점을 Voronoi point라 하며, Voronoi point를 연결하는 선분을 Voronoi edge라 한다.[그림 2]⁴⁾ 이 Voronoi point와 다각형의 꼭짓점을 연결한 선분, 그리고 Voronoi edge는 MA의 형태와 일치한다.



[그림 2] 볼록 다각형의 MA와 VD

3-2. 일반화 원기둥(GC : Generalized Cylinder)

일반화 원기둥 기법은 원기둥의 형태와 비슷한 물체를 나타내기 위하여 Binford에 의해 1971년 제안되었다. 컴퓨터 비전(Computer vision) 분야에서 일정한 규칙을 따르는 3차원 형상을 모델링하는데 소개된 GC는 베지어 스플라인(B-spline)으로 표현할 수 있는 축의 경로와 횡단면 곡선으로 이루어지며, 원이 직선 축을 경로로 움직인 자취에 의하여 생성된 원기둥의 정의는 많은 방법에 의해 변형될 수 있다. 예를 들어, 직선 축은 구부러질 수도 있고, 원기둥의 횡단면은 원이

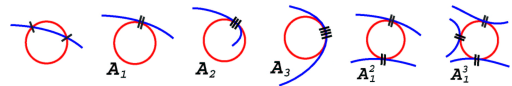
3) 권동섭, 최원익, 박명선, 이석호, Voronoi 다이어그램을 이용한 고속 최근접 검색 기법, 한국정보과학회 논문집 vol.26 no.2, 1999, p.3.

4) 김수환, 볼록 다각형의 최대 내접원을 구하는 빠른 알고리즘, 외대논문집 제25-II집, 2002, p.963.

아닐 수도 있으며, 축을 따라 회전(rotate), 크기조정(scale), 뒤틀림(twist) 등에 의하여 변화할 수도 있다.⁵⁾

3-3. 대칭집합(SS : Symmetric Sets)

MA와 마찬가지로 쇼크비계(SC)를 형성하는 기본요소인 대칭집합(SS)은 둘 이상의 지점에서 부드러운 표면 조각들에 접하는 구들의 중심 자취로 해석된다. Giblin과 Kimia의 연구(2002)에 의하면, 최대 접촉구들의 개념에 기초한 접촉지점의 분류방식 기호인 A_k^n 는 n 개의 점에서 경계 요소에 접촉하는 원(2D) 또는 구(3D)의 접촉상태(k)를 표시한다. [그림 3]⁶⁾에서 $k=1$ 은 정상적으로 접하는 구, $k=2$ 는 표면에 의한 만곡(彎曲)의 구, $k=3$ 은 표면과 공유하는 구간이 있는 구를 표시한다. 또한, 접촉상태가 홀수인 경우($k=1, 3$)는 MA의 유형과 관계되어 최대 접촉구의 중심이 된다.



[그림 3] 원에 의한 곡선의 접촉에 기초한 A_k^n 의 도해

위첨자 n 은 접점의 개수를 계산한 것으로, A_1^2 은 두 개의 A_1 접촉을 의미한다. 접촉횟수와 접촉상태들에 기초한 SS는 접촉지점의 5가지 중요한 유형⁷⁾(A_1^2 , A_1^3 , A_3 , A_1A_3 , A_1^4)들로 분류된다. 이 때, A_1^4 접촉구는 일반적인 4곳의 평범한 접촉을 가지며, 공간의 네 점은 하나의 구를 결정한다.⁸⁾

3-4. 쇼크비계(SC : Shock Scaffold)

MA와 같은 이론을 3차원화 하여 전산화하려면, 정확성, 능률성, 단순성 등을 충족시켜야 하는 계산상 문제를 해결하여야 한다. Giblin과 Kimia(2002), 그리고 Laymarie(2003)에 의해 진행된 쇼크비계(SC)[그림

5) 오혁근, Op.cit, 2013, p.146.

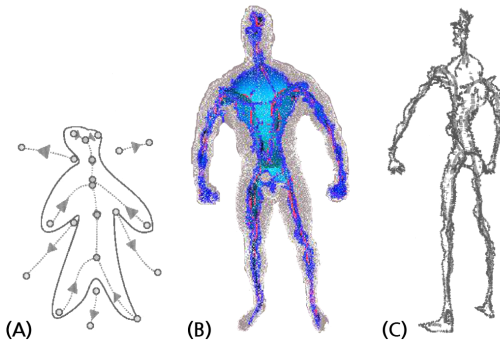
6) Leymarie, F.F. Three-Dimensional Shape Representation via Shock Flows, Ph.D. thesis, Brown Univ, 2003, p.38.

7) Leymarie, F.F. Ibid, 2003, pp.38-39.

8) 오혁근, Op.cit, 2013, p.148.

4]9)는 이러한 MA 이론의 개념을 이용하여 기하학적 3차원 형태표현을 전산화한 연구 성과이다.

마디(Joint)와 연결선(Link)의 구조로 이루어진 SC는, 소스(Source), 릴레이(Relay), 싱크(Sink)라는 흐름으로 표현되며, 쇼크 시트(Shock sheet), 쇼크 곡선(Shock curve), 쇼크 정점(Shock vertex)으로 구성되는 기하학적 방향성 그래프이다. 한편, SC의 2차원 표현을 쇼크 그래프(Shock graph)라 하는데, 이는 MA와 상당히 흡사하지만, SC와 같이 방향성을 지닌다는 특성이 있다.¹⁰⁾



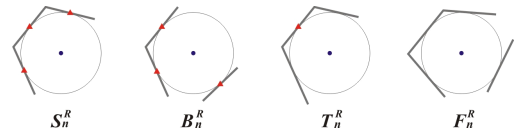
[그림 4] 쇼크비계(SC)의 표현

3-5. 형태격자(SL : Shape Lattice)

Giblin과 Kimia의 2차원 쇼크그래프와 그 3차원 개념인 Leymarie의 쇼크비계(SC)는 방향과 흐름에 기반하는 MA 점의 연결성에 중점을 둔다. 형태격자는 이들과 유사한 개념으로 마치 DNA 구조와 같은 형상으로 나타나는데, 이러한 접촉구들의 중심인 마디(node)와 그 흐름인 연결선(link) 구조를 종합하여 형태격자(Shape Lattice)라 명명하고 SL로 표기한다. SL은 폴리곤 모델의 기초를 이루는 삼각면(또는 사각면)의 외심과 무게중심을 기반으로 하여 표면에 내접하는 구들의 중심자취들로 이루어지며, Blum의 MA 개념을 이용하여 형태의 차원성을 감소시킨 그래프 구조이다.¹¹⁾

이러한 접촉 구는, 평면의 무게중심에 내접하는 두 종류의 접촉구(S, B)와 무게중심에 접하지 않는 면을

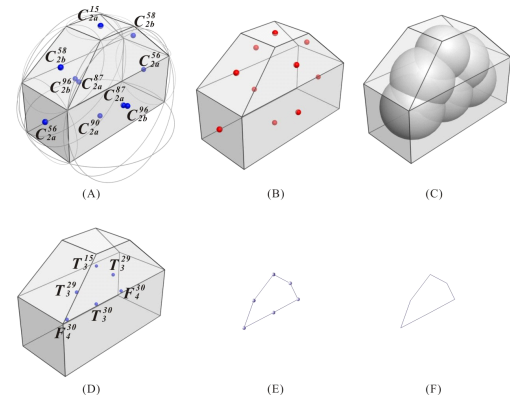
포함하는 최대 접촉구(T, F)로 분류되며, 무게중심을 포함한 두 면에 내접하는 보조 접촉구(T2)가 추가된다.¹²⁾ [그림 5]¹³⁾는 구에 접하는 평면을 2차원 구조로 표현한 것이며, 선분 위의 작은 삼각형은 접촉구가 평면의 무게중심에 접하는 것을 의미한다.



[그림 5] 차원성 감소를 위한 접촉구의 종류

SL의 가장 큰 특징적 요소는 3D 형태의 차원성을 감소시킨 구조적 도식을 추출하는 것이며, 형태변화가 없이 단순히 면 분할 상태가 다른 경우, 이전 연구의 결과물에서는 그 차이가 나타나지 않지만 SL의 구조는 전혀 다르게 나타난다는 점이다.

SL의 생성은 각 단계마다 부여된 정보에 따라 [그림 6]¹⁴⁾과 같은 과정에 의해 진행된다.



[그림 6] SL 추출 과정의 사례

(A) 외심에 의한 평면들의 2D 규정, (B) 평면들의 무게중심 계산, (C) 접촉순서에 의한 접촉구 생성, (D) 접촉상태의 분류, (E) 접촉상태의 연결, (F) SL 생성

4. 내각의 이등분선에 의한 차원성 감소

4-1. 이등분선에 의한 그래프 구조 추출

12) 오혁근, Ibid, 2008, p.69.

13) 오혁근, Ibid, 2008, p.70.

14) 오혁근, Ibid, 2008, p.82.

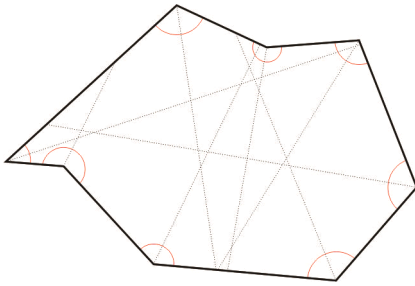
9) Frederic Fol Leymarie, 「Aesthetic Computing and Shape」, In P. Fishwick Ed., Aesthetic Computing, The MIT. Press, 2006, p.266.

10) 오혁근, Op.cit, 2013, p.149.

11) 오혁근, 컴퓨터 미학에 의한 3차원 모델의 형태 구조화, 한양대학교원 박사학위논문, 2008, pp.78-79.

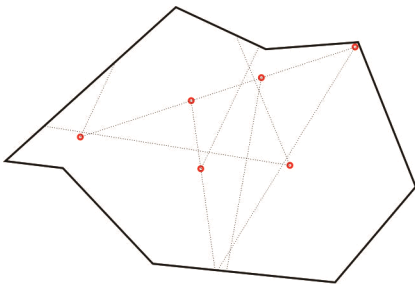
본 연구에서는 차원성 감소를 위한 방법으로 내각을 이등분하는 선의 교차점(이후 B라 칭한다.)들이 활용되며, 이러한 교차점들의 정보를 부호화함으로써 원래의 형태를 정의할 수 있다. 또한, 다각형 도형(폴리곤)을 대상으로 하기 때문에 폴리곤 방식의 3차원 모델에 적용할 수 있는 가능성을 제시하기도 한다. 이를 위해 다음과 같은 단계를 거쳐 차원성이 감소된 그래프 구조를 추출한다.

우선, 닫힌 도형(폴리곤)의 내각들을 이등분하는 선분을 추출한다. 곡선에서는 내각을 구할 수 없으므로 본 연구의 대상에서 제외된다.



[그림 7] 닫힌 도형 내각의 이등분선

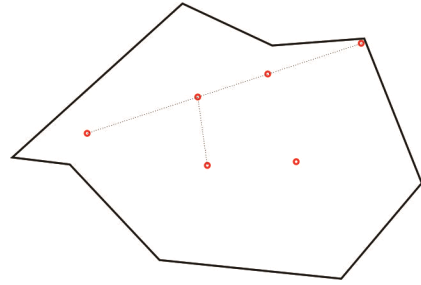
내각에서 출발한 이등분선들이 다른 이등분선과 최초로 교차하는 지점을 구하고, 그 이전의 선분은 삭제한다. 이 교차점들이 원형을 정의하는 정보를 지니게 된다.



[그림 8] 교차점 이전의 선분 삭제

같은 방법으로 교차점 이후의 선분도 삭제하는데, 대부분의 경우는 최초의 교차점 이후에도 또 다른 이등분선의 최초 교차점이 생기게 되므로 교차점 간의 선분은 삭제하지 않는다. 이러한 교차점 간의 연결선에 의해서 그래프 구조가 발생하게 된다. 간혹 최초 교

차점 이후에 다른 교차점이 발생하지 않는 경우(다음 그림의 우측 하단의 점)가 있는데, 이러한 경우에만 연결선 없는 점으로 표시한다.



[그림 9] 교차점 이후의 선분 선택적 삭제

교차점의 정보입력과 같은 사항은 전산학적으로 해결해야 하는 부분이며, 반드시 해결되어야 원형의 복구를 증명할 수 있지만, 본 연구에서는 도식적 정의를 내리는 수준까지만 진행한다. 추출한 교차점에는 교차된 이등분선의 개수(n)와 출발점(꼭지점)에서 첫 번째 교차점까지의 거리(d)를 지정해야만 원형을 정의할 수 있다. 이러한 교차점들은 $S_{[d_2, d_n]}^{[d_1, d_3]}$ 와 같이 표현한다.

본 연구에서 진행된 차원성이 감소된 교차점(BI)은 다음과 같은 규칙에 의해 이루어진다.

규칙1. 각 꼭지점에서 출발한 이등분선이 최초로 교차하는 지점만 교차점으로 정의한다. 그러므로 이후의 교차점들은 무시된다.

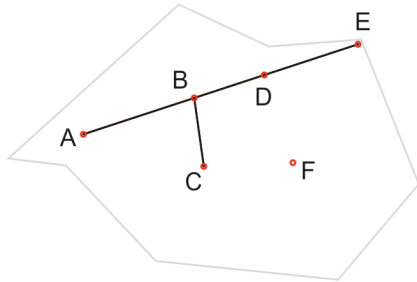
규칙2. 규칙1에 의한 교차점의 연장선이 또 다른 교차점을 지날 때에는, 이 두 교차점을 연결하는 선분을 생성한다.

규칙3. 삼각형의 경우, 이등분선의 교점이 내심과 동일하므로 연결선이 없는 하나의 교차점으로만 이루어지기 때문에 방향성을 정의할 수 없다. 이 경우에는 교차점까지의 거리가 가장 긴 선분 하나를 삭제하지 않는다.

규칙4. 삼각형 이외에 하나의 교차점으로만 이루어진 경우(정다각형, 평행사변형 등) 또한 방향성을 정의할 수 없으므로 교차점까지의 거리가 가장 긴 선분 하나를 삭제하지 않는다.

다음 [그림 10]에서 교차점 A는 2개의 이등분선이 교차하는 지점으로 그 거리가 각각 9와 4라고 한다면 그 표현은 S_4^9 가 되며, 거리 값의 순서는 각도좌표계

(시계반대방향)를 준수한다.



[그림 10] 도형의 차원성이 감소된 표현

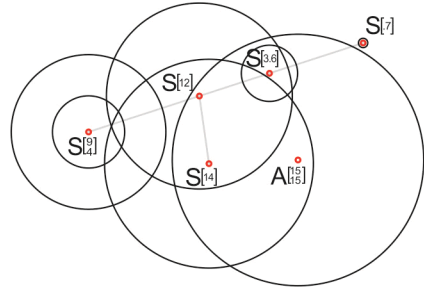
교차점 B는, 1개의 이등분선이 교차하고 거리가 12라 하면 $S[12]$ 로 표현하지만 교차점 A의 연장선상에 있으므로 A와 B는 연결된다. 교차점 D($S[3.6]$)와 E($S[7]$)도 교차점 A의 연장선상에 있으므로 모두 일직선상으로 연결된다. 교차점 C 또한, 1개의 이등분선이 교차하지만($S[14]$) 교차점 B의 연장선상에 있으므로 B와 C도 연결된다.

교차점 F는 2개의 이등분선이 교차하므로 $S[15]$ 로 표현되나, 다른 교차점들의 연장선상에 있지 않으므로 점으로만 표시되며, 이러한 특성을 구분하기 위해 $A[15]$ 로 표현한다.

4-2. 원형의 복구

Leyton의 생성작용 회복력 원리에 의하면 구조전의로 차원성이 감소된 정보는 다시 원래의 상태로 복구되어야 한다. 차원성 감소는 이론적 내용만으로도 설명이 가능하지만, 회복력은 전산학적으로 설명되어야 그 의미가 있다. 교차점의 위치, 교차점 수, 원형 꼭짓점까지의 거리와 같은 전산적 정보는 원형 폴리곤을 복구하는 요소로 작용하며, 이는 다음과 같은 조건에 의해 종합적으로 계산된다.

1. 원형도형의 꼭짓점은 각 반지름 상에 존재한다.
2. 한 꼭짓점(원 위의 접점)으로 들어온 선분은 접선을 기준으로, 동일 각도의 반사각으로 진행한다.
3. 모든 교차점과 연결선은 원형 폴리곤의 내부에 존재한다.
4. 복잡한 도형의 경우, 최소 3개의 교차점의 상호관계를 통해서 꼭짓점의 위치를 정의할 수 있다.



[그림 11] 교차점의 반지름 정보

4-3. 결과물의 특성 및 비교

SC, SL 등의 연구로 입체구조를 표현하게 되면, 내부 공간에 골격구조와 같은 결과물을 얻게되는 반면, 본 연구의 결과물인 BI는 평면 상에 차원성이 감소된 그래프 구조를 추출한 것이므로 다른 연구들과는 달리, 입체구조에 적용할 때에도 물체 표면에 그래프 구조가 표현된다는 특성을 지니며, 물체 표면의 단일 폴리곤 단위로 작업이 이루어지기 때문에 SL의 특징에서와 마찬가지로 형태변화가 없는 면 분할의 변화에 따라 BI의 구조도 변형되는 특성을 함께 지니게 된다. 또한, MA나 SC, SL 등은 원형이 볼록다각형이 아닌 경우에 매우 복잡한 결과물이 발생하는 경향이 있는데, BI의 두드러진 특징 중 하나는 오목한 부분이 있더라도 결과물의 복잡성에는 크게 영향을 주지 않는다는 점이다.

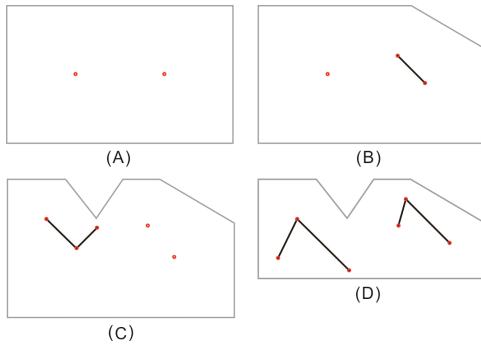
[표 1] 차원성 감소 연구의 비교

원형 도형	이론	차원성 감소 표현
	중앙축(MA) 및 쇼크비계(SC)	
	형태격자(SL)	
	이등분선 교차점(BI)	

다른 연구의 결과물들은 앞서도 언급한 바와 같이 골격구조의 대략적인 예측이 가능한 형태를 보이는데, BI의 형태적 특성은 [표 1]에서 보는 바와 같이 예측하기 어려운 그래프 구조를 보인다는 것이다. 원형의 형태가 변화함에 따라 BI의 형태적 변화를 나타내는 [그

림 12]에서도 그 변화를 예측하는 것은 어려워 보인다.

원형과 BI 구조의 형태상 상관관계 유무는 향후 심층적인 연구가 필요하겠지만, 이들의 상관관계에 의해 우연적 패턴구조의 추출 가능성도 기대할 수 있다.



[그림 12] 원형의 변형에 따른 BI의 변화

(A)직사각형, (B)우측상단 모따기, (C)상단 V커팅,
(D)하단 길이조정

5. 결론

MA를 비롯한 선행 연구들의 공통적인 특징이 도형에 내접하는 원의 반지름을 이용한 것이라면, 본 연구는 이등분선이 교차하는 점들의 거리를 이용하였다는 차별성을 지닌다.

본 연구에 의하면, MA 기반의 연구들은 면 분할에 따른 결과물의 변화가 나타나지 않지만 SL과 BI는 다른 형식으로 그 변화가 민감하게 나타난다. 또한 볼록 다각형이 아닌 경우, 이전 연구들에서는 형태의 민감한 변화에 따른 복잡한 계산이 필요할 것으로 예상되지만, BI에서는 형태상 특별한 복잡성을 보이지 않는다는 특

성을 지닌다.

이론적 내용을 실제 전산 상에서 구현할 때에는 종종 예기치 못한 곳에서 치명적인 오류가 발생하기도 한다. 물론 약간의 수정작업을 거치거나 프로그램 자체에서 해결되는 경우도 있으나, 이론적으로 예측하기는 불가능하다. 그러므로 소프트웨어 분야와의 협업을 통하여 이론적 제언의 전산학적 증명이 반드시 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 오혁근, 수, 과학 그리고 디자인, (주)한국학술정보, 2013.
2. Fishwick, P.A. Aesthetic Computing, MA: MIT Press, 2006.
3. 권동섭, 최원익, 박명선, 이석호, Voronoi 다이어그램을 이용한 고속 최근접 검색 기법, 한국정보과학회논문집 vol.26 no.2, pp.3-5, 1999.
4. Leymarie, F.F.; Kimia, B.B. From the infinitely large to the infinitely small: Applications of medial symmetry representations of shape, Kluwer Academic Publishers, 2006.
5. 오혁근, 컴퓨터 미학에 의한 3차원 모델의 형태 구조화, 한양대대학원 박사학위논문, 2008.
6. Cao, Y. Axial representations of 3D shapes, Ph.D thesis, Brown Univ, 2003.
7. Leymarie, F.F. Three-Dimensional Shape Representation via Shock Flows, Ph.D thesis, Brown Univ, 2003.