

시각수학과 원리 확장적 모델링 프로세스

A Constructive Modeling Process in the Form of 'Visual Mathematics'

김진희

백제예술대학 컴퓨터그래픽과

<목차>

1. 서언
2. 연구방법
3. 연구내용
 - 3-1. 연구주제의 고찰
 - 3-2. 모델링 방법에 대한 제안 I
 - 3-3. 모델링 방법에 대한 제안 II
4. 결론
5. 참고문헌

(要約)

컴퓨터 과학자인 카를로 세퀸(Carlo H. Sequin)은 '시각수학 (Visual Mathematics)'으로 묘사되어 논문지에 소개된 조각가 브렌트 콜린스(Brent Collins)의 오묘한 공간 구성의 조각품을 보게 되었고 그 구성의 근본적 논리성을 추론할 수 있었던 세퀸은 컴퓨터를 활용하여 간단한 수치의 입력만으로 가상 모델링이 가능한 소프트웨어를 개발하여 콜린스에게 제공하게 되었다. 저널 레오나도(Leonardo)에 게재된 동반 논문을 통해 두사람의 협력작업의 내용을 접하게 된 본 저자는 시각 특성과 모델링 전개 방식에서 유사성을 보이는 콜린스의 조각 작품과 본 저자의 애니메이션 작품의 모델링 과정을 이 논문에서 소개하고 있다. 모델링의 근본적 모티브로 사용되어 그 물체의 주요한 시각적 특질로 제공되고 있는 수학적 특성을 탐구하고 있으며 콜린스의 경우에는 공간 왜곡을 본 저자의 경우에는 공간 분할을 근본 원리로 하여 확장이 전개되고 있는 '원리 확장적 모델링 방식'을 소개하고 있다. 기술과 과학의 발전과 함께 고양되어 온 '예술, 과학 그리고 기술(Arts, Sciences and Technology)'의 상호작용성과 같은 맥락에서 이 모델링 기법을 다양한 응용 가능성이 있는 연구 테마로 제시하고 있는 것이다.

(Abstract)

Carlo H. Sequin, a computer scientist, became to know a sculpture of subtle space construction which was created by Brent Collins, a sculptor, and introduced it as 'Visual Mathematics' in a journal. Sequin who was able to deduce a basic logic of the construction, has developed a software which can be used for virtual modeling merely by substituting simple numerical values using a computer and supplied it to Collins. The present author who was exposed to their collaboration works through series of their papers published in the journal, Leonardo, introduces the Collins' sculptures and the author's modeling procedures of animation works both of which show many common things in visual characteristics and modeling expansion method. The author investigates the mathematical characteristics which is used as a basic motive of modeling and then supplied as a principal visual characteristics of a material. 'Modeling Development by Principle Expansion,' in which the expansion is developed on the base of space twist as for Collins whereas the space section as for the present author, is introduced in this study. With the same stream of the mutual reaction in 'arts, sciences and technology' which has been stressed with the development of sciences and technology, this modeling technology is suggested as a research theme which has a possibility of various applications.

1. 서 언

‘예술, 과학 그리고 기술(Arts, Sciences and Technology)’의 상호간 연계의 노력은 미술의 역사만큼이나 오래된 것으로 기술의 발전과 함께 고안되어 왔다. 철학자 월터 벤자민(Walter Benjamin)은 ‘The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction’란 그의 유명한 에세이¹⁾에서 사진의 발명으로 인한 현대미술의 개념적 변화, 즉 묘사 중심의 미술에서 표현 중심의 미술로의 변화 그리고 수에 제한이 없이 재생산이 가능하고 원본과 재생산물간에 물리적 차이점이 없는 미디어적 특성의 변화에서 기인되어질 수 있는 미술의 대중미술로의 변화를 잘 시사해주었다. 더 나아가 컴퓨터의 이미지 프로세싱 기술은 사진이 우리에게 가져다준 사진적인 리얼리즘의 진실성마저 변색시켰으며 그 대신 가상현실의 세계가 새로운 표현 방식으로 자리잡고 있다. 한편 효율성을 극대화시키고 방법적인 한계를 극복하는 컴퓨터의 도구로서의 역할은 일일이 열거할 필요조차 없을 정도로 컴퓨터 전공 관련분야 뿐만 아니라 거의 모든 분야의 과정과 결과 모두에서 실로 지대한 영향을 끼치고있고 그 공헌도와 구조적 역할성 또한 익히 알려진 바다. 이렇듯 현대사회에서 컴퓨터가 담당하고 있는 그 많은 역할성과 맥락을 같이하며 본 연구는 그 목적성을 컴퓨터를 중심으로 이루어지고 있는 특정 양상의 예술작품과 다른 학문과의 상호작용성의 사례를 연구하여 그 활용방안을 모색해 보는데 두고 있다. 신소재과학 분야의 광섬유의 개발은 정보통신 분야의 눈부신 발전을 가져왔고 유전자과학의 발달은 과학영농과 의학 분야에 혁신적 발전을 일으켰으며 철학 등의 사상의 발달은 예술과 인문 분야에 광범위한 영향력을 주는 등 모든 학문 분야는 상호 의존적으로 발전을 거듭해 왔다. 이와 같이 한 학문 분야의 발전은 그 학문 자체의 발전에 그치는 것이 아니라 다른 학문과 접목되어져 또 다른 분야의 발전에도 막대한 영향을 끼쳐 온 것과 같이 본 연구에서는 컴퓨터란 도구를 활용하여 순수예술의 표현양식으로 접목되어진 수학적 특성을 탐구하고 시각물의 구조적 원리성을 규명함으로써 그 활용 가능성을 시사하고자 하며 동시에 이러한 접근 방법을 컴퓨터 그래픽의 발전을 더욱 심화시키고 저변을 확대시키며 새로운 학문 체계를 세우는 하나의 방안으로 제안하는 바이다.

2. 연구방법

본 연구는 탐구를 중시하며 가능성을 시사하는데 목적을 두었기 때문에 연구의 방법 또한 다양한 검증 또는 논증보다는 설정된 주제의 충실한 이해와 분석에 주안점을 두고 있고 객관성보다는 창의성에 중점을 둔 탐구를 중심으로한 연구결과를 제시한다.

첫째, 이 논문에서 탐구되는 연구주제를 고찰해본다.

둘째, 조각가 브렌트 콜린스의 조각작품에서 보여지는 수학적 성격의 시각 특성과 모델링 구성의 방식을 분석하고 컴퓨터 과학자 카를로 세쿰과의 협력작업으로 세쿰에 의해 개발된 모

델링용 소프트웨어로 컴퓨터 상에서 실제의 조각 전 조각될 물체를 가상으로 모델링 할 때 원리 확장적 특성의 진행 과정에서 얻을 수 있는 잇점들을 고찰해 본 뒤 이 모델링 방법을 다양한 응용 가능성이 있는 모델링 기법 또는 연구 테마로 제시한다.

셋째, 삼차원 애니메이션 제작 기법을 이용하여 본 저자에 의해 제작된 창작 애니메이션 작품에서 사용된 수학적 공간 분할을 이용한 구성과 재구성 방식의 모델링과 그와 연계된 애니메이션 기법 등을 소개하고 그 개념적 의미와 시각적 효과 등을 고찰해 본 후 이 모델링 방법을 다양한 응용 가능성이 있는 모델링 기법 또는 연구 테마로 제시한다.

제시된 시각물들을 시각적 그리고 미학적 견지에서 분석해보고 그 내용의 의미를 종합적으로 고찰하여 미래 지향적 연구 방향을 제시한다.

3. 연구내용

3-1. 연구 주제에 대한 고찰

본 연구에서는 브렌트 콜린스의 조각과 본 저자의 애니메이션 작품에서 모델링 된 물체들에서 공통적으로 나타나는 시각 특질인 수학적 성격을 탐구하고 그 특성의 원인으로 작용한 물체 구성의 원리를 규명하여 그 응용 가능성을 시사하려 한다. 미술품에서 접목되어진 수학적 특성의 예는 무수히 많고 그 의도나 양상 또한 각기 다르나 그것들은 단순성, 완전성, 논리성, 공간성 등의 일련의 시각적 특질들을 강화시키는 요소로 쓰여질 수 있다. 브렌트 콜린스의 조각과 본 저자의 모델링 된 가상조각의 경우에서도 이러한 시각적 특질들이 매우 두드러짐을 볼 수 있는데 이것은 직관력에 의하여 자극되어진 발상으로 시작되어진 물체의 구성 논리 자체에서부터 기인된 시각적 특질로 여겨진다. 수많은 시각적 특질들 중 가장 주요한 요소로 수학적 특성을 사용한 콜린스와 본 저자의 작품: 구상의 모티브와 공통적이면서도 차이점을 보이는 두 가지의 원리 확장적 모델링 과정을 소개하여 그 과정과 시각적 특질간의 관계성을 확인해보고 이 과정의 전개가 가능하도록 도와주는 도구로서의 컴퓨터의 기능적 측면과 모델링 과정에서 컴퓨터를 사용하여 얻어지는 작업의 효율적 측면을 살펴봄으로써 모델링에 대한 새로운 방법론을 제시하려 한다. 브렌트 콜린스의 조각의 경우에는 작품의 기본 구성 몸체로 사용된 형태 왜곡된 구성면과 그것의 확장된 왜곡의 전개가 최종 모델링된 조각품의 오묘한 공간감을 유발시키고 있고 이와 비교하여 본인의 가상 조각물은 작품 애니메이션에서 애니메이션이 될 물체가 모델링 된 것으로 물체의 구성 원리는 한 덩어리의 물체를 대상으로 무작위성이 적용된 자연적 형태가 아닌 수학적 원리나 규칙성을 적용한 특징적인 형태로 공간 분할하고 부분 부분을 각각 모델링한 후 전체적으로 원래의 모양을 이루도록 ‘구성(Construction)’ 하고 각 부분 부분의 물체들을 다시 다른 새로운 형태를 구성하도록 애니메이션 시켜 ‘재구성(Reconstruction)’을 전개하는 등의 개념적 모델링의 예로 그 물체의 구성 방식이 그 애니메이션 전체의 구성 요소로 활용되고 있는 경우다.

1) Walter Benjamin, Trans. Harry Zohn, *The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction in Illuminations*, Schocken Books, New York, 217-251, 1969

3-2. 모델링 방법에 대한 제안 1: 카를로 세킨의 가상원형(Virtual Prototyping) 과 브렌트 콜린스의 조각

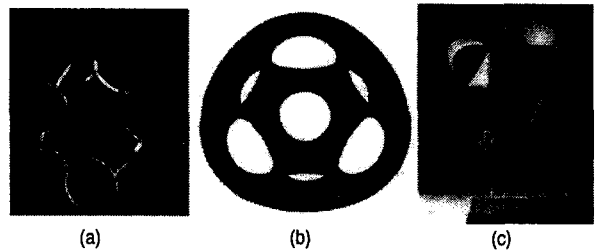
저널 레오나도에 게재된 카를로 세킨의 가상원형(Virtual Prototyping)과 브렌트 콜린스의 조각에 대한 그들 자신들의 상호 연계 논문²⁾을 살펴보면 두 사람의 협력작업(Collaboration)에 대한 내용이 소개되어 있다. 그 내용을 살펴보면 컴퓨터 과학자 카를로 세킨은 그 이전 레오나도에 게재된 조각가 브렌트 콜린스의 두 논문⁴⁾을 통해 콜린스가 '시각수학(Visual Mathematics)'이란 테마로 그의 직관력에 의하여 형태를 발전시켜 온 그림 3-1과 같은 오묘하고 우아한 공간구성의 조각작품을 보게 되었고 그 후 세킨은 콜린스와의 협력 작업을 시작하게 되었다고 밝히고 있다. 수학에 근간으로 하는 컴퓨터 과학을 전공한 그로서는 콜린스의 순수 직관력에 의해 단순화되어 논리적으로 형성된 형태(Form)의 근본적 논리성을 추론해 낼 수 있었기 때문이었다. 예상컨대, 콜린스는 아마도 카를로 세킨과 협력 작업을 하기 이전에는 작품의 형태를 기획하는 단계에서 구체적 형태를 예견하는 수단으로 일정한 뼈대를 갖춘 모델을 사용하여 그 결과를 상상해보는 정도에 그치거나 그의 직관력과 상상력을 동원한 손에



【그림 3-1】 나무조각, 브렌트 콜린스, 1989²⁾

의한 입체적 정밀묘사(Hand Drawing)로 그것을 묘사해 보았을 것으로 생각된다. 하지만 그의 작품에서 보여주는 공간 구성의 오묘한 복잡성을 고려해 볼 때 그의 핸드드로잉은 많은 노동력을 요구할 뿐만 아니라 그 결과 또한 입체의 여러 각

도의 시각적 공간성을 예견하기에는 너무도 충분치 못했을 것임을 우리는 예상할 수 있다. 그림 3-2의 (a)는 브렌트 콜린스가 컴퓨터 에몰레이션을 사용하지 않고 작품 형태를 형성(Embodying)하기 위해서 사용한 작품의 기본 구조를 가진 PVC 모형이고 그림 3-2의 (b)는 콜린스가 카를로 세킨과의 협력 작업으로 같은 모델을 가상 모델링 한 컴퓨터 에몰레이션 그리고 그림 3-2의 (c)는 브렌트 콜린스의 그에 대한 실제 조각의 예이다. 그림 3-2의 (a)와 (b) 그리고 (c) 3개를 비교한다면 그 차이점은 너무도 확연한데 시각적으로 (a)로 부터 (c)의 결과를 예견하기에는 너무도 불충분함을 우리는 알 수 있는 반면 시각적으로 (b)와 (c)는 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 그렇다면 콜린스가 세킨과의 협력작업 이전에는 충분히 실험적인 환경에서 작업하지 못했다는 것은 명백한 사실로 입증된 셈이다. 그러면 세킨이 논리적으로 추론할 수 있었던 것은 무엇인가? 그것은 원리 확장적 모델링 전개 방식이라 일컬을 수



【그림 3-2】 Hyperbolic heptagon, 브렌트 콜린스, 1995: (a) PVC 모형, (b) 컴퓨터 에몰레이션, (c) 나무 조각³⁾

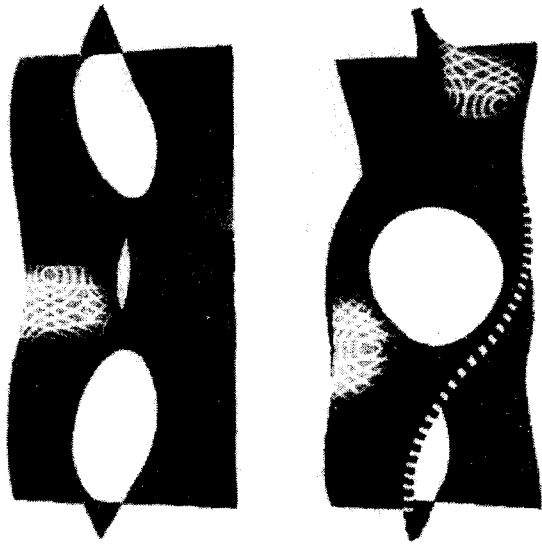
있는 방법으로 세킨이 콜린스를 위해 프로그래밍한 소프트웨어 속에서 이러한 전개는 단계별로 간단한 수치의 입력만으로 가능한 것이다. 그림 3-3의 (a)는 2개의 평면을 가지고 부분적으로 자르고 다른면과 연결하는 등의 작업을 거쳐 만들어진 것과 같은 가상 시각적 효과의 2차적 구성 형태인데 이것은 콜린스와 세킨의 협력작업에서 에몰레이션되는 거의 모든 작품의 기본 형태이다. 그림 3-3의 (b)는 3층으로 쌓여진 기본형을 길이를 따라 255° 트위스트한 형태이고 (c)는 7층의 기본형을 길이를 따라 450° 트위스트하고 맨 아래와 위의 양끝을 맞붙인 형태로 가상으로 대리석 재질이 입혀진 것이다. 컴퓨터 에몰레이션을 이용한 형태와 색과 재질의 실험은 거의 무한정적이다. 이제 콜린스는 컴퓨터 앞에 앉아 세킨의 프로그램을 작동시키고 간단한 수치입력을 통해 최소한의 비용과 시간을 투자하여 최대한의 시각적 실험이 가능해진 것이다. 한편 콜린스는 협력 작업 전부터 그의 천재적인 직관력으로 앞의 그림 3-1과 같은 결과물에 도달할 수 있었고 역으로 세킨은 그 원리성을 추적해 낸 경우이지만 우리가 다른 형태의 결과물을 위하여 세킨이 추론해낸 전개방식의 예와 같은 원리 확장적 전개 방식을 사용한다면 우리는 콜린스 만큼의 직관력

2) Brent Collins, Evolving an Aesthetic of Surface Economy in Sculpture, Leonardo, 30, Nos. 2/4, 85-88, 1998

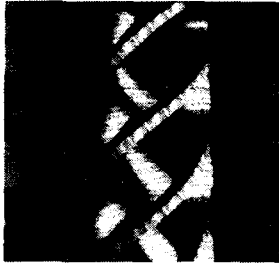
3) Carlo H. Sequin, Virtual Prototyping of Scherk-Collins Saddle Rings, Leonardo, 30, Nos. 2/4, 89-96, 1998

4) George K. Francis and Brent Collins, On Knot-Spanning Surfaces, Leonardo, 25, Nos. 3/4, 313-320, 1992

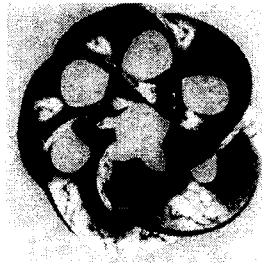
5) George K. Francis and Brent Collins, The Visual Mind, Art and Mathematics, 1993



(a)



(b)



(c)

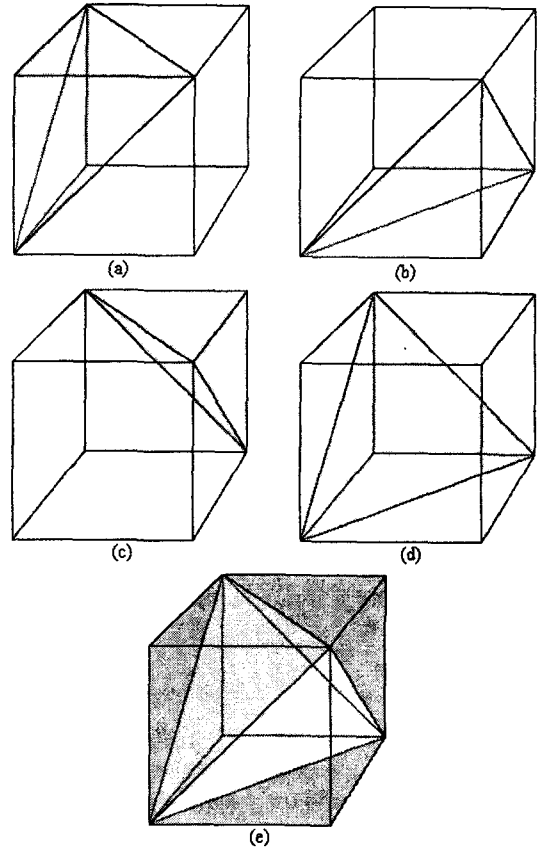
【그림 3-3】 카를로 세켄에 의한 컴퓨터 에몰레이션 과정: (a) 3층으로 구성된 기본형, (b) 일자로 세워진 기본형을 255° 트위스트, (c) 7층의 기본형을 450° 트위스트 시키고 양끝을 붙인 형태

이 아니더라도 그림 3-1과 같은 결과물에 도달할 수 있다는 추론이 가능해진다. 컴퓨터를 활용한 새로운 방법론의 개발로 제시된 개개인 능력 한계성의 극복은 현대 미술에 있어서 기술(Technology)이 제공할 수 있는 그 긍정적 의의와 가능성을 다시 한번 입증한 좋은 예이다. 앞서 기술한 바와 같은 컴퓨터란 도구를 활용한 효율성의 제공과 방법론의 개발을 통한 한계성의 극복은 매우 보편적인 형태와 정서로 계속 발전해 나아갈 것으로 보인다.

3.3. 모델링 방법에 대한 제안 II: 물체의 공간분할에 의한 재구성

일반적으로 삼차원 애니메이션 프로젝트의 진행은 주제를 설정하고 그 주제의 표현 방식을 시각적으로 구체화시키는 개념의 시각화 작업을 스토리보드등의 문서로 작성하여 작품을 기획하는 프리프로덕션(preproduction) 단계와 모델링, 애니메이션, 렌더링의 작업을 거쳐 실제의 작품을 제작하게되는 프로덕션(production) 단계 그리고 타이틀과 크레딧의 제작과 함께 렌더링(픽셀 이미지화)된 애니메이션 클립들을 편집하고 각종의 편집효과 등을 삽입하여 비디오나 필름과 같은 최종의 전달매체에 녹음하여 마무리하게 되는 포스트프로덕션

(postproduction)의 단계 순서로 진행된다. 그 중에서 실제의 작품 제작 단계에 해당하는 프로덕션 과정 중 모델링은 애니메이션에 등장하게되는 모든 물체들을 제작하게되는 단계로 컴퓨터상의 가상 공간에 크기, 형태, 질감과 색을 정의하고 거기에 카메라, 빛, 그리고 환경적 효과를 더하여 가상의 물체를 만드는 과정을 말한다. 본 저자에게 있어 어떠한 물체를 모델링하는 작업은 어떠한 존재하는 사물을 사실적이거나 추상적으로 묘사하기보다는 정육면체나 원기둥과 같은 언체나 단순한 하나의 덩어리의 형태(Form)를 때로는 공간분할 하기도하고 때로는 반복하기도 하여 하나의 새로운 구조로 만드는 '구성(Construction)'이 추가 되어 왔고 이러한 구성의 요소들은 애니메이션 상에서 애니메이트 되는 요소로 활용되었다. 다음에서 소개되는 오브젝(Object)은 한 덩어리의 물체를 수학적 접근 방법으로 공간 분할하여 새롭게 분할된 물체들을 만들고 분할되어 만들어진 부분 부분의 물체들은 전체적으로 본래의 분할 전 형태인 정육면체 형태로 구성한 것이다. 그림 3-4는

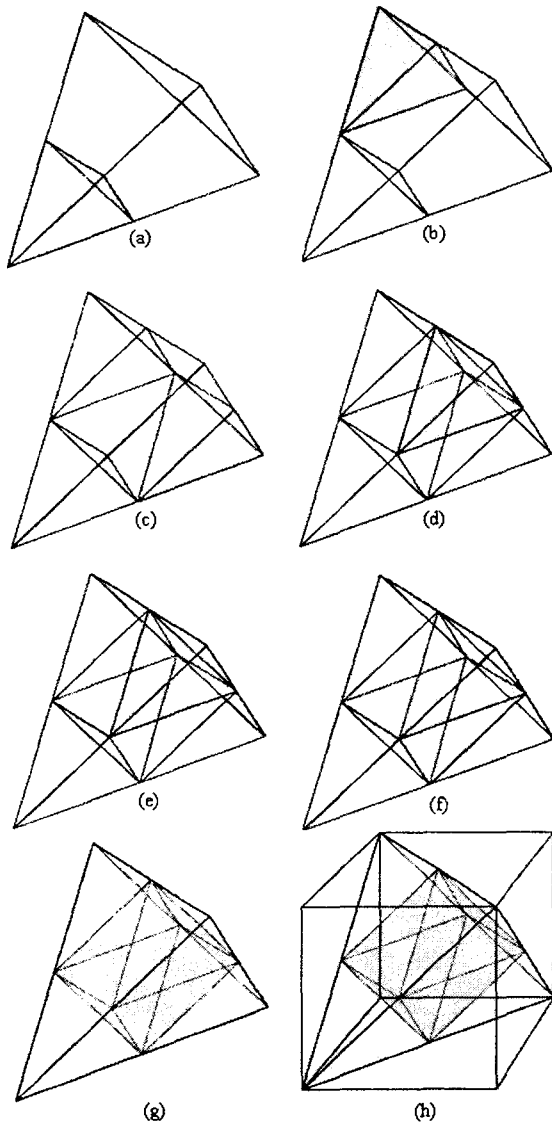


【그림 3-4】 중앙에 정삼각뿔 형태의 빈 공간을 남기고 4개의 부속적 이동변 삼각뿔 (a), (b), (c), (d)로 구성된 정육면체 (e)

앞서 설명한 물체의 제작 과정과 구조적 원리를 알기 쉽게 그림으로 표현한 것으로 (a), (b), (c), (d)의 어둡게 표시된 공간들을 정육면체로부터 분할하여 각기 모델링한 4개의 이동변 삼각뿔들이 모여 (e)와 같은 외관상 원래의 정육면체 모양으로 다시 구성 하였고 그림의 가운데에서 밝게 도드라져 보이는 정 삼각뿔 모양이 빈 공간으로 남겨지는 부분이고 나머지

부분이 입체가 형성된 부분이다. 정육면체의 외각부분은 논리적 규칙성에 의하여 서로 맞물려 있는 4개의 이등변 삼각뿔로 빈틈없이 꼭 짜여져 있으며 정육면체의 중앙에는 완벽한 정 삼각뿔 모양의 빈 공간만이 남게 된다. 그림 3-5는 그림 3-4의 물체 (e)의 빈 공간 부분과 정확히 일치하는 정 삼각뿔을 모델로 하여 이것을 다시 (a), (b), (c), (d)의 어둡게 표시된 4개의 정 삼각뿔과 (e), (f)의 2개의 정 사각뿔로 분할하여 각각을 입체로 모델링하고 모든 입체들을 다시 조합하여 원래의 정 삼각뿔 안에 완벽하게 일치하도록 구성한 예, (g) 까지를 알기 쉽도록 그림으로 표현한 것이다. (g)는 형태의 모태가 되는 그림 3-4 (e)의 정육면체 오브젝트와 함께 조합한 형태이다. 그림 3-6과 그림 3-7은 각각 본인의 삼차원 영상 애니메이션 작품 중의 한 장면(Still Image)으로 그림 3-6은 그림 3-4의 물체를, 그림 3-7은 그림 3-5의 물체가 실제 애니메이션 작품

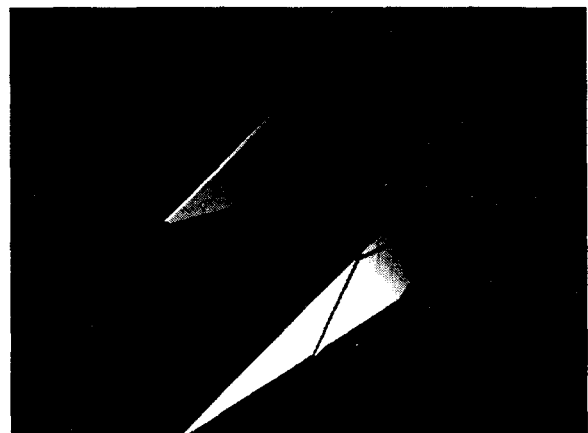
에서 쓰여진 예이다. 일반적으로 컴퓨터를 활용한 삼차원 애니메이션 제작 기법에서 애니메이션은 삼차원적 가상공간에 가상으로 모델링 된 물체를 가지고 임의로 정의된 추상적 시간 변화에 따라 물체들의 위치, 각도, 형태, 크기 등의 변화 양상을 정의하는 것인데 앞서 설명된 각각의 분할되어 모델링 된 물체들은 애니메이션 안에서 각기 다른 무작위적 특성의 경로와 양상으로 애니메이트 되었다가 새로운 하나의 변형된 형태로 구성되기도 하고 정사면체나 정삼각뿔과 같은 원래의 형태로 또다시 돌아가기도 하는 등의 움직임으로 만들어지게 된다. 하나의 입체가 공간 분할되어 부분 부분으로 모델링되고 다시 분할되기 전의 원형으로 구성되며 그 구조가 파괴되어 부분들은 또 다른 변형된 형태의 구성원으로 재조합 되기도 하는 등의 일련의 '구성(Construction)'과 '재구성(Reconstruction)'의 관념적 애니메이션 과정은 섬세하고 완벽하게 하나의 구조로 분할되어 모델링 된 물체의 형태 속에 내재되어 있으며 그 과정은 이 물체가 지닌 생명력의 원천이기도 하다. 설명되어진 바와 같이 시각적으로는 수학적으로 거의 완벽하게 공간 분할되어



【그림 3-5】 4개의 부속적 정삼각뿔 (a), (b), (c), (d)와 2개의 부속적 정사각뿔 (e), (f)로 구성된 정사면체 (g)와 그의 모태가 되는 그림 3-4의 (e)와의 조합 (h)



【그림 3-6】 그림 3-4의 방법으로 공간 분할하여 재구성한 삼차원 모델링 이미지로 애니메이션 작품에서 다른 오브젝트와 함께 애니메이트되는 요소로 쓰인다



【그림 3-7】 그림 3-5의 방법으로 공간 분할하여 재구성한 삼차원 모델링 이미지로 애니메이션 작품에서 다른 오브젝트와 함께 애니메이트되는 요소로 쓰인다

모델링 된 이 물체는 구조적으로 역동성이 내재되어 모델링 된 형태의 예인 것이다. 물체를 모델링 할 때 그 물체 자체만 이라기 보다는 애니메이션을 대상으로 그 물체를 모델링 한 것으로 분석된다. 본 저자가 원리 확장적 전개 방식으로 구성 하여 애니메이션 작품에서 응용 한 구성과 재구성의 개념적 모델링의 예들 중에서 시각적 수학의 성향이 두드러진 모델링의 예가 소개된 것이다.

4. 결 언

미술 분야에서 방법론적인 제의는 어쩌면 도외시 되거나 금기 시 되어질 수 있는 민감 할 수 있는 부분이라고 생각된다. 왜냐하면 여태껏 쌓아 왔던 예술의 금자탑이라는 것은 천재성이 아니면 그 누구도 이를 수 없는 '하이 아트(High Art)'의 개념이 지배적이었기 때문일 것이다. 그러나 요즈음의 미술 문화는 미술가인 본 저자가 보아도 놀랄 정도로 개방적이어서 맹신적이기 까지한 미술가 자신들과 그것을 받아들이는 일반인들의 개방성에 그 만큼의 우려감 또한 드는 것이 사실이다. 기술이라는 혁명적 문화가 산출해 놓은 이 혼란스러움 속에서 다만 우리가 잊지 말아야 할 것은 단순한 다양성의 추종보다는 그것이 기술에 불과할 지라도 그것을 이용하는 주체는 바로 예술가 자신이며 그것들은 표현의 도구일 뿐이라는 주체적 의식이며 마치 과학과도 같이 이 연구에서 제시되어진 방법론 또한 독자의 표현의 도구로 쓰여질 수 있는 하나의 방법론을 제시하고자 했던 것임을 밝혀두고 싶다. 컴퓨터 소프트웨어 개발자들은 컴퓨터는 전공자인 자신들 보다는 다른 학문 분야 전공자들이 사용할 때 더 막강한 도구가 될 수 있다고 이야기 한다. 이는 컴퓨터 관련 응용 분야는 다른 학문과의 끝없는 접목을 통하여 심화시켜야 할 필요성이 있음을 역설적으로 말해주는 것이다. 모래알과도 같은 지구촌의 수 많은 연구 인력들이 나름대로의 소명 의식을 가지고 각 학문분야의 발전에 일익을 담당하고 있듯이 본 저자는 기술과 과학이 접목된 새로운 방법론을 제시하고자 했던 이 연구가 미력하나마 예술의 발전에 보탬이 되었으면 하는 바램과 함께 이 논고를 마친다.

5. 참고문헌

- Walter Benjamin, Trans. Harry Zohn: The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction in Illuminations, Schocken Books, New York, 217-251, 1969
- Brent Collins: Evolving an Aesthetic of Surface Economy in Sculpture, Leonardo, 30, Nos. 2/4, 85-88, 1998
- Carlo H. Sequin: Virtual Prototyping of Scherk-Collins Saddle Rings, Leonardo, 30, Nos. 2/4, 89-96, 1998
- George K. Francis and Brent Collins: On Knot-Spanning Surfaces, Leonardo, 25, Nos. 3/4, 313-320, 1992
- George K. Francis and Brent Collins: The Visual Mind,

Art and Mathematics, 1993

- Rudolf Arnheim, 김춘일 역: 미술과 시지각, 미진사, Seoul, 48-92, 221-282, 367-430, 1995
- Isaac Victor Kerlow: The Art of 3-D Computer Animation and Imaging, Van Nostrand Reinhold, New York, 19-94, 201-310, 1993
- David Piper, 손효주의 2인역: 미술의 이해, 시공사, Seoul, 112-115, 1995
- Jean-Luc Chalumeau, 김현수 역: 미술의 읽기, 미진사, Seoul, 1994
- 이향숙, 컴퓨터 그래픽 합성 이미지의 저작권 문제에 관한 고찰, 디자인학 연구, 제11권, 제2호, 59-68, 1998