

# Multi-patch Surface를 이용한 3D Facial Model 제작 효율 향상에 관한 연구

진영애, 김종기, 김치용  
동서대학교 디지털디자인학부 멀티미디어디자인전공

## A Study on Multi-patch Surface in Improving Efficiency of 3D Facial Modeling

Young-Ae Jin, Chong-Gi Kim, Chee-Yong Kim  
School of Digital Design, Multimedia Design Major, Dongseo University

E-mail : jinioi@hanmail.net  
E-mail : cgkim@dongseo.ac.kr  
E-mail : kimchee@dongseo.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 실사와 같은 사실적인 3차원 Facial Model 제작을 위해 해부학 접근을 통한 근육기반의 자연스러운 Facial Modeling 제작을 연구하였다. 한국인 기본형 얼굴을 연구 대상으로 선정하여 안면근육 비례를 분석한 후 Multi-patch Surface Modeling 방법을 적용하며 제작하였다. 이 방법에는 통계적 분석기법 중  $L_2(3^{13})$  3수준계 직교배열표를 이용하여 검증하였다.

본 연구를 통하여 Facial Model 제작 시 최소의 UV spans 수로 최대 시각화 즉, 원본의 형상을 최대한 유지하면서 작업시간과 Rendering 시간 단축 및 Data 용량을 줄일 수 있는 Modeling 방법을 제안하였고, 향후 자연스런 Facial Animation 제작 및 연구에도 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

### 1. 서론

3차원 Computer 영상(映像)과 Animation을 근간으로 하는 Game, Music Video, VR, Film 등의 Multi-Platform에서 Contents 제작의 증가로 3D Character Animation의 비중은 날로 커져가고 있다. 또한 3D Animation 시장은 1990년대 중반이후 CG, IT(Information Technology) 산업 등의 발달과 함께 미국을 중심으로 급속히 성장하고 있다. 최근 Pixar에서 제작된 Full 3D Animation Film들은 투자수익률이 높을 뿐 아니라, 1995년 제작된 최초 3D 장편 Animation 「Toy Story」는 91%라는 최고의 수익률을 자랑하였다.

이러한 변화는 3D Character Model의 제작 방법과 기술적 측면에 다양한 발전을 마련하였고, 다양하며 정교한 Model의 제작을 위해 3D Laser Scanner, CAD System 등 특수 장비의 발전을 가속화하고 있다. 그러나 이와 같은 기기는 고가의 장비일 뿐만 아니라 생성된 Object의 큰 Data 양과 Surface의 복잡

한 구성을 가져다준다. 여기서 생성된 객체(Object, Character)가 Multi-platform에 따라 많은 수정 및 편집 시간을 필요로 한다.

최근 이러한 관심으로 각 Platform에 맞는 Object, Character가 다양하게 개발되고 있다. 미국을 비롯한 일본 등지에서 개발되는 다양한 객체는 각 나라의 특성을 잘 담아 내고 있다. 아직 역사가 짧고 자금 및 경험이 부족한 국내의 현실에서는 이와 같은 객체를 무분별하게 도용하기도 하였다. 이러한 시점은 우리의 특성을 담고 있는 객체의 개발이 필요한 시점이라고 생각한다.

따라서 본 논문은 한국인 기본형 얼굴을 연구 대상으로 선정하여 해부학적 접근을 통한 안면근육 비례에 맞게 3D Modeling을 하였다. 구현을 위해 다양한 Modeling 방법 중 NURBS 기반의 Multi-patch Modeling 방법으로 제작하였고, Surface 분할과 최적의 UV Spans 수의 도출을 위해 통계적 분석기법을 이용하였다.

이러한 총체적인 Modeling 개발 및 통계분석기법

중 3수준계 직교배열표를 적용시켜 3D Facial Modeling 방법을 본 논문에서는 Korean Facial Surface Modeling 방식(이하 'KFSM 방식')이라고 제안하고, 이 KFSM 방식으로 한국인 기본 얼굴형을 3D Modeling 시 고품질의 Modeling 시각적 표현과 최소의 Data 양으로 인해 Rendering 시간을 단축시킬 수 있는 최적의 3D Facial Model 제작 조건 방법을 연구하였다.

## 2. Korean Facial Surface Modeling 생성방식

### 2-1. Facial Modeling 종류

Facial Model 제작 시 크게 Surface에 따른 방식과 Tool에 따른 방식으로 나뉜다. 다음 [그림 1]에서 나타난 것처럼 Modeling에 사용되는 Surface에 따른 Modeling 방법은 크게 NURBS Facial Modeling 방법과 Polygon Facial Modeling 방법 그리고 제시된 두 가지 Modeling의 특징으로 구성된 Subdivision 방법으로 구분한다. NURBS Modeling 방법은 고무 재질이나 찰흙, 부드러운 유기체에 비교한다면 Polygon Modeling 방법은 Plastic 질감이나 나무 재질에 비교할 수 있다. 전자를 기본으로 사용하고 있는 방법은 NURBS, One-patch, Multi-patch로 3가지 Tool에 따른 Modeling 방법으로 구분한다. 그리고 후자인 Polygon은 Polygon mesh Modeling 방법을 기본으로 사용한다.

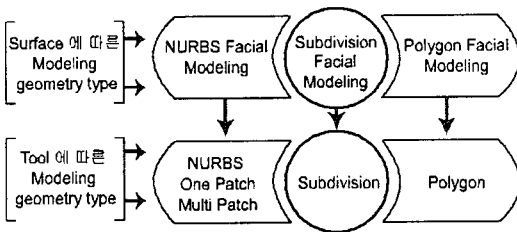


그림 1 3D Facial Modeling geometry types

### 2-2. Multi-patch Modeling의 본질

Multi-patch Surface Modeling 방법은 여러 개의 B-Spline 곡면 surface들이 모여 전체 Modeling을 제작하고 특성상 각 B-Spline 곡면들을 생성하기 위해서 Vertices, UV spans이 각각 정확히 맞물려 주어야 한다. 본 논문에서는 Multi Patch Modeling 방법으로 Facial Modeling을 제작할 시 가장 중점적으로 작업이 이루어지는 부분은 다른 부분에 비해 움직임 양이 많은 곳인 눈과, 입 부분의 근육이다. 즉, 이러한 부분은 Detail하게 작업해야 하는 부분으로서 불이나, 이마 부분의 surface의 UV spans 수를 많이 제작해야 한다

는 까다로움이 있다. 또한, 얼굴의 각 부위별 surface의 Vertices, UV spans 수가 많은 쪽이 우선이므로 입 주변의 surface가 100개의 Spans으로 이루어졌다면, surface 수가 많이 필요하지 않는 부분에도 100개의 surface이 있어야 한다. 이것은 B-Spline 곡면 surface를 생성하는 Multi Patch Surface Modeling을 제작하는 데 있어 원리이자 기술상의 장애요인으로 분석되고 있다.

### 2-3. 동북형 한국인 얼굴 분석

한국인은 크게 남방계와 북방계 두 가지로 분류한다. 한반도 인구의 70~80% 차지하고 있는 북방계형의 유입경로에 따라 서북형, 동북형, 남방형, 화남형의 4가지로 분류되며, 동북형 기본형은 현대 한국인 얼굴형성에 영향을 주었다고 판단되는 형으로 얼굴형의 특징은 다음 [표 1]과 같다.

범주	특징점
얼굴형	고구마형으로 길며, 요철이 크지 않다.
눈썹	중간정도의 진하기와 뚜렷한 모양
눈	홀꺼풀에 중간 크기의 눈이나 눈꼬리가 길다
코	좁고 길다
입	크고 상수염이 뚜렷한 편이다
턱	길고 뾰족한 형

표 1 동북형 얼굴 특징

### 2-4. 3수준계 직교배열표

본 논문에서 Facial Model 제작 시 다양한 표현 방법, 기술 등의 고려사항들이 제시되었다. 그러나 이러한 고려사항을 모두 충족시켜 최적의 제작 조건 방법을 얻기란 쉬운 일이 아니다. 따라서 본 논문에서는 실험계획법 중  $L_{27}(3^{13})$  3수준계 직교배열표를 적용하였고, 궁극적으로는 이러한 공학적인 개념과 효율의 극대화를 추구하는 과학적인 개념의 접목을 통하여 보다 효율적인 실험계획법을 설계할 수 있었다.

다음 [표 2]  $L_{27}(3^{13})$  3수준계 직교배열표이다. 직교배열표의 크기는 기호로  $L_N(P^m)$ 로 표시한다.  $N$ 은 총 실험횟수,  $p$ 는 각 요인의 수준의 수,  $m$ 은 직교배열법의 열의 수를 말한다. 따라서 본 실험에서 적용된  $L_{27}(3^{13})$  3수준계 직교배열표는 27번의 실험과 3개의 수준별 3D Facial Model이 제작되었고, 안면근육 기반에 따른 13개의 제어인자를 도출하였다.

실험 번호	내추 배열													
	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	O	P	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	2

표 2  $L_{27}(3^{13})$  3수준계 직교배열표

### 3. Multi-patch Facial Model 최적화 제자

#### 3-1. KFSM 방식 제안

본 실험은 Multi-patch Modeling에 있어 Polygon Modeling 방법과 Subdivision Modeling 방법에 비해 제작과정이 어렵다. 그리고 무거운 Data 양과 가장 근원적인 안면근육에서 해부학적 지식이 미흡한 Creator들은 보다 쉬운 제작 방법과 체계화 된 접근 방법을 모색해 왔다. 이에, Multi-patch Modeling에 있어 Data 양과 UV spans 수의 관계성을 고찰함으로써 균일한 UV spans 수로 Surface를 생성하는 방법에서 불균일 UV spans 수로 Surface 생성되는 방법으로 개선되어야 함을 제안(提言)하였다. 최적의 제작 조건을 도출하기 위해 통계적 분석기법 중 실험계획법을 이용하여 고품질 Modeling 시각적 표현과 최소의 Data 양으로 인한 Rendering 시간을 단축시킬 수 있는 최적화 기법 제안을 제시하는데 궁극적인 목적이 있다.

따라서 본 논문에서 제안된 기법을 KFSM 방식이라고 명하며, 다음 [그림 2]은 KFSM 방식을 위한 적용 방법을 나타낸다.

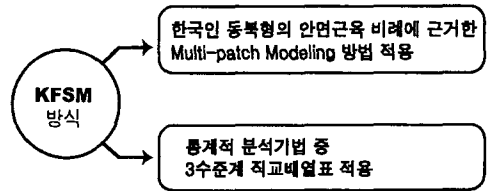


그림 2 KFSM 방식을 위한 적용 방법

KFSM 방식은 첫째, Multi-patch Modeling 방법에 있어 근원적인 안면근육 분할법에 따른 방법을 제시 함으로서 Creator에게 Facial Model에 대한 제작상의 용이성과 Surface의 분할 지표를 제안하였다. 둘째, surface의 UV spans 수의 분할 정도에 따라 Data 용량, Rendering 시간과 밀접한 관계가 있음을 확인하고, 16개의 제어인자 중 최소의 분할 UV spans 수를 가진 제어인자를 기준으로 불균일 UV spans의 Vertices를 맞추어 대략적인 윤곽을 잡아 얼굴 형태를 제작한다. 점차적으로 코, 눈, 입 주위는 세부적으로 정교한 작업을 한다면, 최소의 Data 양으로 고품질의 Modeling 표현을 할 수 있음을 제안하였다.

#### 3-2. 실험환경 및 방법

안면근육의 비례에 따라 surface을 분할하여 16개의

의 제어인자를 도출하였다. 도출된 제어인자를 중심으로 3D 저작도구인 A/W MAYA 4.0에서 Multi-patch Modeling의 기본 요소인 curved patch를 통해 UV spans을 생성하였다. 이때 KFSM 방식의 제작 효율성 향상을 위하여 원본의 2D Image 형상 및 연구토대를 근거하여 동북형과 가장 근사한 Modeling을 제작하여 1수준으로 정하였다. 제어인자 surfaces의 UV spans 수는 기존 Facial Modeling을 분석한 후 최고수와 최저 수를 각각 그룹별로 나누어 평균치를 내었다.

[표 3]에서 13개의 제어인자 중 구가거근을 예를 들어서 UV spans 수와 각 Data 용량을 측정하였다. 각 제어인자 surface의 UV spans 개수에 따라 1수준은 12×12, 2수준은 7×7, 3수준은 3×3으로 제작하여 분류하였다.

수준별 Modeling은 Original Modeling인 1수준을 기준으로 UV spans 수를 감소하여 2수준, 3수준 Modeling을 제작하였다. 다음 [그림 3]의 실험 모형을 통해 27번의 실험으로 최적의 Facial Modeling 방법을 추출하였다.

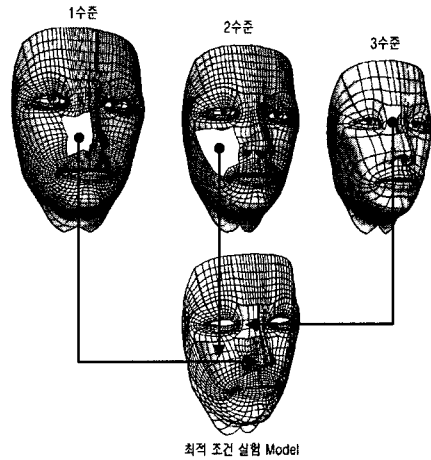


그림 3 통계적 분석기법을 이용한 실험 방법 모형

### 3-3. 최적화 실험 개발 흐름도

본 실험의 제작에서는 한국인 기본형 얼굴 중 현대 한국인 얼굴 형성에 영향을 끼친 동북형 기본형 얼굴을 연구대상으로 선정하였다.

연구대상은 기존의 인류학적 접근에 따른 연구를 바탕으로 도출된 2차원의 가상 인물로서 Modeling 시 동북형 얼굴의 이론적 고찰에 근거를 두어 작업을 하였다. 동북형 기본형의 안면근육을 파악한 후, 실험에 따른 제어인자를 추출하기 위해서 안면근육의 비례에 따라 Surface을 분할하여 16개의 제어인자를 도출하였다.

따라서 다음[표 4]와 같이 분석, 제작, 통계적 분석, 결론으로 크게 4분류로 나누어 개발하였다.

	1수준	2수준	3수준
제어인자 NO : 10			
구가거근			
UV spans 수	12×12	7×7	3×3
각 제어인자 Surfaces 수	144	49	9
Data 용량	0.568MB	0.565MB	0.553MB

표 3 제어인자 10번인 구가거근 중심으로 Data 변화 분석

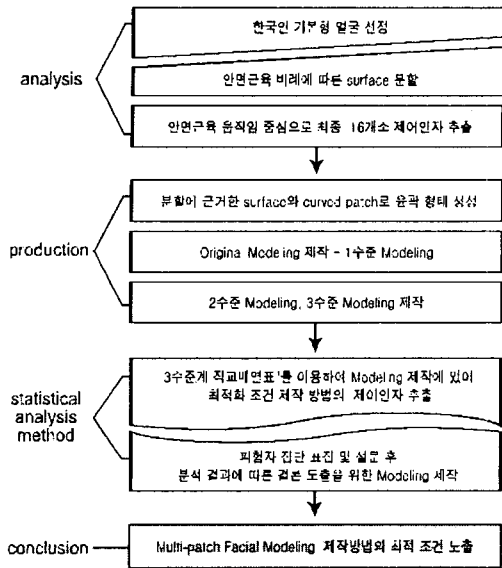


표 4 Korean Facial Modeling 방법의 최적 실험 개발 흐름도

### 3-4. 안면근육 제어인자 추출

제어인자 추출을 위해서는 안면근육을 근거로 분할하여 추출하였다. [그림 4]는 제어인자 Surface 추출 과정도와 같이 KFSM 방식은 2D Image 형상에서 안면근육의 비례를 파악 및 분할하였다.

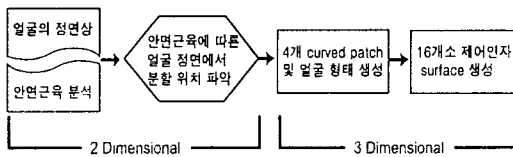


그림 4 제어인자 surface 추출 과정도

제어인자 No	제어인자 안면근육명	움직임 역할
C	측두근	하악골을 상방과 후방으로 당기는 작용
D	비근근	비근근은 성난얼굴표현하고, 상순비익거근은 인상을 찌푸리거나 웃을 때 작용
E, F, G, H	안륜근 I, II, III, IV	눈을 가בע게 감게 하고 안와부와 눈낭부를 포함한다.
I	비근	콧구멍을 넓히고, 좁히는 작용
J	상순비익거근	인상을 찌푸리거나 웃을 때 작용
K	교근	구강 압력을 높이거나 낮춰 입술의 경직성을 연출하는 작용
L, M, O	구륜근 I, II, III, IV	입술의 형태 결정, 입술을 오무려 둥그랗게 하는 작용
P	이근	턱을 단단하게 하며, 하순하체근은 입술을 경직시키는 작용

표 5 제어인자의 안면근육 위치 및 움직임 역할 분석  
위 [표 5]의 제어인자의 안면근육 위치와 근육 움직임

입 역할 분석을 다시 한 후 [그림 5]와 같이 안면근육 비례에 근거하여 1, 2, 14의 제어인자를 제외한 최종 13개의 제어인자(C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, O, P)를 추출하였다.

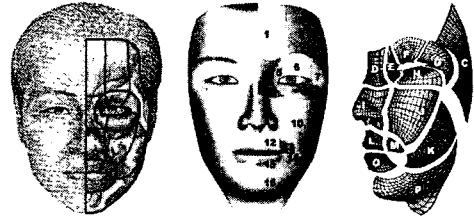


그림 5 안면근육 비례에 근거한 13개의 제어인자 추출

### 3-5. 3D Facial Modeling 방법 도출을 위한 분석

본 실험에서 도출된 제어인자들은 [표 6]에서 통계적 방법의 절차를 통한 분석으로 최적 3D Facial Modeling 시 움직임이 많은 제어인자는 UV spans수가 많은 2수준이상을 적용하였고, 움직임이 적거나 detail 하지 않은 제어인자는 2수준 이하를 적용시켜 최적조건의 제어인자를 도출할 수 있었다.

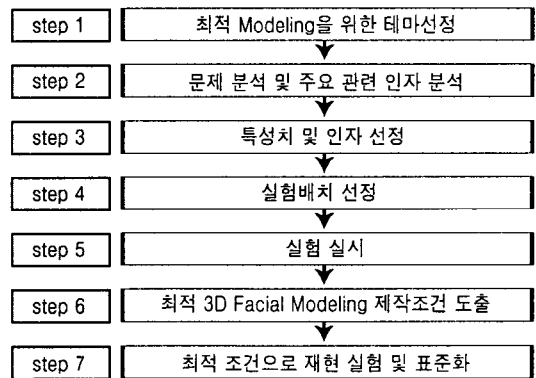


표 6 Statistical analysis method Flowchart

다음 [표 7]에서 나타나듯이 본 실험에서 도출된 최적 조건은 D, E, I의 제어인자는 1수준으로 나타났고, F, H, L, O, P는 2수준으로, C, G, J, M은 3수준으로 결론을 도출하였다. 이것은 이전 연구에서 원본의 형상과 가장 유사하게 제작하기 위해서는 1수준에 해당하는 UV spans 수로 제작하였지만, 본 실험을 통해 KFSM 방식의 최적 제어인자 표준화를 제시함으로써 data 양을 최소화 할 수 있었다. 분석 결과만을 놓고 본다면 C, G, J, M의 제어인자는 3수준으로

Modeling 되어도 주위 인자들과의 조화로 품질 정도에 크게 차이를 보이지 않음을 분석되었다.

표시	제어인자명	최적조건 제어인자
C	측두근 Surface	3수준 ( 9 )
D	비근근 Surface	1수준 (144)
E	안률클근 Surface I	1수준 (144)
F	안률클근 SurfaceII	2수준 ( 49 )
G	안률클근 SurfaceIII	3수준 ( 9 )
H	안률클근 SurfaceIV	2수준 ( 49 )
I	비근 Surface	1수준 (144)
J	상순비익근 Surface	3수준 ( 9 )
K	교근 Surface	2수준 ( 49 )
L	구률클근 Surface I	2수준 ( 49 )
M	구률클근 SurfaceII	3수준 ( 9 )
O	구률클근 SurfaceIV	2수준 ( 49 )
P	이근 Surface	2수준 ( 49 )

표 7 최적 조건 제어인자

### 5. 결론

본 논문은 KFSM 방식이 적용된 Facial Modeling은 Polygon Modeling 방법과 Subdivision Modeling 방법보다 체계적인 근육 분할법과 수준별 Modeling을 비교 분석하였기 때문에 보다 가벼운 Data 양으로 인해 Rendering 속도가 빨라 질 수 있음을 보았다. 따라서  $L_{27}(3^{13})$  3수준계 직교배열표를 이용하여 Multi-patch Modeling 제작 효율 향상을 가지고 왔다.

KFSM 방식에서 제안된 불균일 UV spans 수에 따른 제작으로 각 Surface가 맞닿는 이음새 부분의 부드러운 표면을 제작하기 어려웠다. 이것은 현재 Software에서 지원되지 않는 부분이므로 기술적인 연구가 보완되어야 한다. 또한 실험에서 통계적 분석기법 중  $L_{27}(3^{13})$  3수준계 직교배열표를 이용하여 각 제어인자의 영향 정도를 정량(定量)적으로 산출하였다.

향후 연구과제로는 KFSM 방식을 Subdivision Modeling 방법에 적용하여 얼굴뿐 아니라 인체 Modeling에 대해서도 실질적이고 체계적인 방법의 연구의 필요성이 절실하다. 아울러 도출된 최적화 Facial Modeling을 직접 Animation 제작에 적용시켜봄으로써 실제 얼굴 근육 움직임에 따른 형태 변화를

파악하면 보다 정확한 Facial Modeling을 할 수 있을 것이다. 이로 인해 자연스러운 Facial Animation 접근이 가능할 것이다.

### [참고문헌]

- [1] 최창석 · 전준호 · 이성선 · 최운영 · 고용호 · 조용진. 얼굴의 3차원 모델을 이용한 몽타주 작성 시스템.
- [2] 최창석 · 조용진 · 오정환 · 함기선, 한국인 얼굴 기본형의 분류와 지방별 얼굴의 생성. 大韓電子工學會 추계학술대회 論文集(B), 第19卷, 第2號, 1996.11
- [3] 田俊浩, 한국인의 얼굴을 고려한 몽타주 작성 시스템, 明知大 大學院 1998 碩士學位論文
- [4] 이지향, 얼굴 영상 인식 및 3차원 얼굴 모델링에 관한 연구, 全北大 大學院 2001 碩士學位論文
- [5] 김진우, MPEG-4 기반 3차원 개인 얼굴 모델 생성 및 애니메이션, 高麗大 大學院 2000 碩士學位論文
- [6] 한희철, 가상현실에 적용을 위한 모델에 근거한 3차원 얼굴 모델링에 관한 연구, 경성대 대학원 2001 碩士學位論文
- [7] 과학기술부, 한국인 3D 모델 및 제스처 DB개발, 명지대학교/(주)아담소프트
- [8] 김영인, 해부학적 연조직 변형모델에 기반한 얼굴 기형 수술의 3차원 가상화, 高麗大 大學院 2000 碩士學位論文
- [9] Kyung-Ha Min, Seung-Min Baek, Gun A Lee, Haeock Choi, Chan-Mo Park, Anatomically-based modeling and animation of human upper limbs
- [10] 김동길, 통계적 방법을 이용한 연삭가공면의 3차원 모델링, 연세대학교 大學院 기계공학과 2000 碩士學位論文
- [11] 양정삼, NURBS를 이용한 3차원 곡면 모델링 시스템, 한국과학기술원 기계공학과 1997 碩士學位論文
- [12] 조용진, 얼굴, 한국인의 낮. 안그래픽스. 1998.12
- [13] Alias | wavefront Education 저, the art of Maya. Youngjin.com. 2000
- [14] 신문균, 구자영, 김본원, 심재환, 유경원, 조광필 공저, 인체해부학. 현문사. 1998. 2
- [15] 아이작빅터컬로우, 3D 컴퓨터 애니메이션과 영상. 안그래픽스. 1998.12
- [16] 박동권, 실험계획법. 自由아카데미. 1995. 7

- [17]박성현, 현대실험계획법. 민영사. 1996. 6
- [18]최윤철·고건 공저, 멀티미디어 배움터. 생능출판사. 2000. 1
- [19]강민섭·최현섭 공저, 컴퓨터 그래픽스의 이해와 활용. 상조사. 1999. 3
- [20]김수경, 컴퓨터그래픽 개론. 세진사. 1998. 8
- [21]박일철, 컴퓨터 그래픽스. 미진사. 2001. 8
- [22]김영석 디지털미디어와 사회. 나남출판. 2001. 9
- [23]제니 류, MAYA 3D 캐릭터 모델링과 애니메이션 . (주)사이버출판사. 2001. 2
- [24]김성일·심성우·강서욱 공저, MAYA UNLIMITED. (주)사이버출판사. 2002. 2
- [25] Learning Maya, Alias wavefront