

## 임의의 얼굴 이미지를 이용한 3D 얼굴모델 생성에 관한 연구

이혜정\*, 정석태\*\*

### A Study on Creation of 3D Facial Model Using Facial Image

Hea-Jung Lee\*, Suck-tae Joung\*\*

#### 요약

얼굴모델링과 애니메이션에 대한 기술은 컴퓨터 그래픽스 분야에서 오랫동안 연구되어 오고 있는 분야 중 하나이다. 얼굴모델링 기술은 가상현실, MPEG-4 등의 연구목적과 영화, 광고, 게임 등의 산업 분야에서 많이 활용되고 있다. 따라서 좀 더 사실적인 인터페이스의 구현을 위하여 컴퓨터 의인화를 통해 인간과 상호작용 할 수 있는 3D 얼굴모델 개발은 필수적이다. 본 연구에서는 임의의 정면 얼굴 이미지를 이용하여 간편한 조작으로 3D 얼굴모델을 생성하는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 한국인 표준 얼굴모델을 이용하여 메쉬상의 조정점을 얼굴 부위와 윤곽에 맞게 정합한 다음 유동적이고 탄력적으로 조정하여 3D 얼굴모델을 생성하며, 그 결과인 3D 얼굴모델을 이동, 확대, 축소, 회전시켜 가며 실시간으로 확인 및 수정할 수 있다. 개발한 시스템의 유용성을 검증하기 위해 630×630의 크기를 가지는 30개의 임의의 정면 얼굴이미지를 가지고 실험했다.

#### Abstract

The facial modeling and animation technology had been studied in computer graphics field. The facial modeling technology is utilized much in virtual reality, research purpose of MPEG-4 and so on and movie, advertisement, industry field of game and so on. Therefore, the development of 3D facial model that can do interaction with human is essential to little more realistic interface. We developed realistic and convenient 3D facial modeling system that using a optional facial image only. This system allows easily fitting to optional facial image by using the Korean standard facial model (generic model). So it generates intuitively 3D facial model as controlling control points elastically after fitting control points on the generic model wire to the optional facial image. We can confirm and modify the 3D facial model by movement, magnify, reduce and turning. We experimented with 30 facial images of 630 ×630 sizes to verify usefulness of system that developed.

▶ Keyword : facial image, 3D facial model, fitting

• 제1저자 : 이혜정 • 교신저자 : 정석태

• 접수일 : 2007.3.7, 심사일 : 2007.4.13, 심사완료일 : 2007. 5.6.

\* 원광대학교 컴퓨터공학과 박사과정, \*\* 원광대학교 전기전자및정보공학부 교수

※ 이 논문은 2006년도 원광대학교의 교비 지원에 의하여 연구되었음.

## I. 서론

얼굴모델링과 애니메이션에 대한 기술은 컴퓨터 그래픽스 분야에서 오랫동안 연구되어 오고 있는 분야 중 하나이다. 얼굴모델링 기술은 가상현실, MPEG-4 등의 연구목적과 영화, 광고, 게임 등의 산업 분야에서 많이 활용되고 있다. 따라서 좀 더 사실적인 인터페이스의 구현을 위하여 컴퓨터의 인화를 통해 인간과 상호작용 할 수 있는 3D 얼굴모델 개발은 필수적이다. 3D 얼굴 모델링은 3D 공간상 복잡하게 이루어진 물체에 대한 부분 변형 등 까다로운 부분이 많고 미세한 부분까지 신경 쓰지 않으면 안 되는 등 기술적인 난이도가 높으며, 그에 따라 여러 가지 다양한 연구가 이루어지고 있다. 실제로 사용되고 있는 3D 얼굴모델들은 주로 애니메이션에 의해 여러 가지 모델링 및 렌더링 툴을 이용하여 전체적 혹은 부분적인 수작업으로 작업을 진행하므로 많은 노력과 시간을 필요로 한다[1][2][3][4][5][6].

따라서 본 연구의 목적은 얼굴의 정면 이미지만을 이용하여 크기와 형태의 복잡성에 상관없이 얼굴의 각 특정부위에 와이어 메쉬상의 조정점을 사용하여 정합시킴으로써 빠르고 간편하게 3D 얼굴모델을 생성하는 시스템을 개발하는데 있다.

현재 개발된 대부분의 얼굴모델링 시스템이 정면과 측면 혹은 좌측면과 우측면의 2개의 이미지를 사용한다는 점을 보완하기 위해서 정면의 이미지만을 사용하면서도 임의의 얼굴 특성에 맞추어 와이어 메쉬의 조정점을 눈, 코, 입, 얼굴윤곽 등 특정 부위별로 맞추어 조정함으로써 좀 더 사실적이고, 보다 간편하게 3D 얼굴모델을 생성할 수 있는 방법을 제안한다. 또한 생성된 3D 얼굴모델을 이동, 확대, 축소, 회전시켜 가며 실시간으로 확인 및 수정할 수 있도록 한다.

## II. 관련연구

기존에 얼굴 이미지를 이용한 얼굴모델링 시스템과 본 연구에서 개발한 시스템과의 비교는 표 1과 같다. 대부분의 시스템에서는 주로 정면과 측면 혹은 좌측면과 우측면의 얼굴 이미지를 이용하여 3D 얼굴모델을 생성하였다. 하지만 얼굴의 정면에서 얼굴의 윤곽과 각 부위의 특징을 이용하여 얼굴모델링을 한다는 점을 고려하면 정면과 측면의 이미지를 이용하여 모델링 한다는 것은 비효율적이다.

얼굴을 나타내는 3D 일반 모델은 대부분의 시스템에서

는 표준 얼굴모델 데이터를 이용하여 폴리곤 메쉬로 구성하였으며, 얼굴 이미지와의 정합에 있어서는 어파인 변환을 이용하였으나 참고문헌 [9]는 선형 스플라인을 이용하였다. 선형 스플라인을 사용할 경우 얼굴의 미세한 움직임을 효과적으로 표현할 수 있지만 눈, 눈동자, 코 등 얼굴 요소들을 독립적으로 세밀하게 표현하기 어렵다는 단점이 있다.

얼굴 이미지와 얼굴모델의 정합으로 생성된 3D 얼굴모델에 대한 3D 변환 즉 이동, 확대 및 축소, 회전 등에 대하여 기존 시스템들은 그 기능들을 제공하지 않고 있다. 본 연구 시스템에서는 이동, 확대 및 축소, 회전이  $x, y, z$ 축 모두 가능하도록 하여, 무엇보다 편리하게 얼굴모델을 생성하기 위해 사용자가 화면에서 보이는 대로 직접 편집하고 실시간으로 그 결과를 확인할 수 있는 위지윅(WYSIWYG: What You See Is What You Get)개념을 이용한 인터페이스를 제공함으로써 확인 및 수정을 용이하도록 하였다.

표 1. 기존 연구와 비교  
Table. 1 Comparison with Existing Research

	본 연구 시스템	참고 문헌 (6) (7)	참고 문헌 (8)	참고 문헌 (9)	참고 문헌 (10) (11)
사용 이미지	정면	정면	정면 측면	정면 측면	정면 측면
일반 모델/생성 방법	표준 얼굴 이용 / 폴리곤 매쉬	표준 얼굴 이용 / 폴리곤 매쉬	표준 얼굴 이용 / 폴리곤 매쉬	표준 얼굴 이용 / 폴리곤 매쉬	표준 모델 사용 / 폴리곤 매쉬
얼굴 모델 정합	어파인변환	어파인변환	어파인변환	선형 스플라인	어파인 변환
3D 변환	이동 확대 축소 회전	지원 없함	지원 없함	지원 없함	지원 없함

## III. 3D 얼굴모델링 시스템 설계

얼굴의 2D 정면 이미지를 이용하여 크기와 형태에 관계 없이 얼굴의 눈, 눈썹, 코, 입 등 각 부위별로 와이어메쉬상의 점점을 조정함으로써 임의의 얼굴일지라도 빠르고 쉽게 얼굴에 맞는 모델을 생성할 수 있는 방법을 제안한다. 제안 시스템은 그림 1과 같이 구성되어 있다.

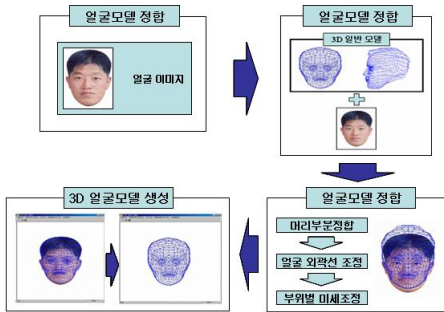


그림 1. 시스템 구성  
Fig. 1 System Structure

### 3.1 3D 일반모델(Generic Model) 생성

#### 3.1.1. 한국인 표준 얼굴모델

한국인의 표준 얼굴에 관한 연구결과와 한국인의 표준 외형적 치수[12] 및 각종 보고서[1][13]를 토대로 한국인 표준 얼굴모델을 제작하였다. 얼굴의 크기와 형태, 각 부위별 생김새와 크기 등 외형적 치수계측 데이터를 이용하여 얼굴의 정면 이미지를 만들었고, 계측항목은 얼굴의 형태와 부위별 모양, 크기 등을 파악할 수 있는 38개 항목을 선별했으며, 계측항목별 치수는 표 2와 같다.

표 2. 얼굴의 계측항목 및 치수  
Table. 2 Measuring Item and Size of Face

측 정 부 위	약어	크기(mm)
width of head	eu-eu	158.3
width of forehead	ft-ft	116.9
skull-base width	t-t	151.8
height of the calvarium	v-tr	55.5
combined height of the head and face	v-gn	230.5
이하 생략		

이것을 활용하여 3Ds Max로 그림 2와 같은 한국인 표준 얼굴모델을 제작하였다. 이 얼굴모델은 3,941개의 포인터와 5,302개의 폴리곤으로 구성되었다.

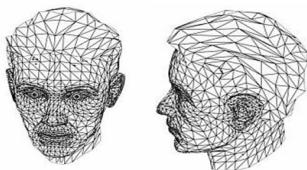


그림 2. 한국인 표준 얼굴모델  
Fig. 2 Standard Facial Model of the Korean

#### 3.1.2. ASE 파일 분석 및 정점 좌표 획득

일반모델 생성을 위해 3Ds Max를 이용해 제작한 한국인 표준 얼굴모델을 3Ds Max의 익스포트 포맷 중 하나인 ase 파일로 익스포트하여 분석함으로써 폴리곤 메시의 각 정점의 좌표를 얻을 수 있었고, 이를 바탕으로 일반모델을 생성했다.

```
*GEOMOBJECT {
  *NODE_NAME "nDoc_Face"
  *NODE_TM {
    *NODE_NAME "nDoc_Face"
    *INHERIT_POS 0 0 0
    *INHERIT_ROT 0 0 0
    *INHERIT_SCL 0 0 0
    *TM_ROW0 2.2417 0.0000 0.0000
    *TM_ROW1 -0.0000 2.2417 0.0000
    *TM_ROW2 -0.0000 -0.0000 2.7166
    *TM_ROW3 0.8597 0.3982 25.4131
    *TM_POS 0.8597 0.3982 25.4131
    *TM_ROTAXIS 0.0000 0.0000 0.0000
    *TM_ROTANGLE 0.0000
    *TM_SCALE 2.2417 2.2417 2.7166
    *TM_SCALEAXIS 0.0000 0.0000 0.0000
    *TM_SCALEAXISANG 0.0000
  }
  *MESH {
    *TIMEVALUE 0
    *MESH_NUMVERTEX 3941
    *MESH_NUMFACES 2400
    *MESH_VERTEX_LIST {
      *MESH_VERTEX 0 5.3582 -0.7859 24.0391
      *MESH_VERTEX 1 0.7469 5.7691 27.6481
      *MESH_VERTEX 2 -3.9328 -0.4195 24.9811
      *MESH_VERTEX 3 0.7525 -5.2131 25.1970
    }
  }
}
```

그림 3. ase 파일 구성  
Fig. 3 ase file format

그림 3은 익스포트한 ase파일의 구성을 보여주고 있다. ase 포맷은 정보들이 항상 '{}'단위로 묶여서 저장된다. ase 파일을 분석하면 \*GEOMOBJECT{} 열에서부터 메시에 관련된 정보들이다. \*NODE\_TM{} 은 메시의 Transform Matrix에 관련된 정보이며, 메시의 이동 값, 메시의 회전축과 회전 값, 확대/축소 값에 대한 정보가 있다.

\*MESH{} 부분이 실제 일반모델의 와이어 메쉬를 구성하는 정점에 관련된 정보들이다. 이 부분을 분석해서 메시 정점의 개수와 Face 개수를 알 수 있으며, \*MESH\_VERTEX\_LIST{}에서 각 정점의 좌표 정보를 가지고 있고, 각 정점에 대해 x, z, y의 순서로 값이 나와 있다. 따라서 3Ds Max로 제작한 한국인 표준 얼굴모델을 모델링된 그대로 읽어 들이기 위해서는 y축과 z축이 서로 뒤바뀌어 있으므로 좌표계를 변환시

켜야 한다. 즉, 모델링된 그대로 읽어 들이기 위해서는 y좌표와 z좌표를 서로 바꿔서 읽어 들이면 된다. 그림 4는 정점의 좌표 정보를 나타내고 있다.

```
// 정점들의 위치 정보만을 읽어들인다.
int CAsse::DecodeMESH_VERTEX_LIST(FILE *fp)
{
    int Counter = 0;
    int num;
    while(Counter < CurMesh->NumVertex)
    {
        linecount++;
        fgets(line, 256, fp); // *MESH_VERTEX
        // 정점의 좌표를 X, Z, Y의 순으로 읽어준다.
        sscanf(line, "%s%d%f%f%f", string, &num,
            &CurMesh->VertexList[Counter].x,
            &CurMesh->VertexList[Counter].z,
            &CurMesh->VertexList[Counter].y);
        Counter++;
    }
    linecount++;
    fgets(line, 256, fp);
    return 0;
}
```

그림 4. 정점의 좌표 정보  
Fig. 4 Coordinates Information of Vertex

3.1.3. 일반모델 생성

ase 파일을 분석하여 얻은 정점의 좌표 값을 이용하여 그림 5와 같이 일반모델을 생성하였다.

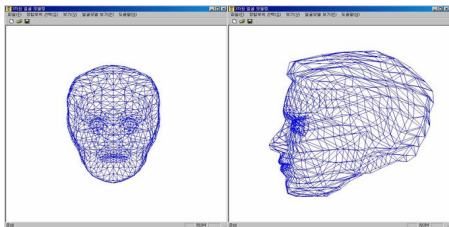


그림 5. 일반모델  
Fig. 5 Generic Model

이 일반모델은 759개의 포인트와 1,242개의 폴리곤으로 구성되어 있는데 3Ds Max로 제작한 한국인 표준 얼굴모델의 포인트와 폴리곤의 개수가 차이가 나는 이유는 정면의 2D 이미지를 매핑하여 얼굴모델을 만들어내기 때문에 얼굴 모델의 귀 부위는 생략했고, 목 부분은 얼굴모델링에서 큰 의미를 가지지 않기 때문에 일반모델 생성에서 제외했다. 그리고 눈동자와 눈 부위, 입술부위는 원형이 왜곡되지 않

는 범위에서 간략하게 표현했기 때문이다.

일반모델 생성을 위한 핵심 함수는 표 3과 같다.

표 3. 일반모델 생성 핵심 함수  
Table. 3 the Kernel Function to Create Generic Model

함 수 명	내 용
SetVertexPoint()	정점의 3D 좌표를 설정
WriteVertexPoint()	정점을 읽어 들어 화면에 표시
DrawFaceTriangle()	각 정점을 연결하여 삼각형을 그림으로써 얼굴 메쉬 구성
DrawHairTriangle()	각 정점을 연결하여 삼각형을 그림으로써 헤어 메쉬 구성
SetControlPoint()	정합을 위한 메쉬의 조정점 위치 설정
DrawControlPoint()	메쉬의 조정점을 화면에 표시
FollowingPoint()	정합을 위해 조정점 조정시 함께 움직이는 메쉬의 정점을 그룹화하여 설정
Affine()	정합을 위한 아파인 변환 정의

3.2 메쉬상의 조정점을 이용한 얼굴모델 정합

3.2.1. 조정점 선정 / 현황

얼굴모델을 생성하기 위해서는 3D 일반모델을 특정 개인 얼굴에 맞게 정합시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 얼굴 이미지의 특정 부위별로 맞도록 조정하는 와이어 메쉬상의 점을 조정점(control point)이라 정의하고 사용했다.

머리, 얼굴의 형태는 복잡하고 세밀하기 때문에 조정점은 얼굴의 형태, 크기 및 특징 요소들 간의 관계를 고려하여 각 얼굴 부분별 특징을 정합할 수 있도록 표 4와 같이 선정 하였다.

조정점은 머리, 얼굴 외곽선, 눈썹, 눈, 코, 입, 헤어, 기타 부분 등 8개의 세부 그룹으로 구분하고 조정점을 이용해서 얼굴 모델을 정합한다. 그리고 서로 다른 그룹의 조정점은 서로 영향을 미치지 않도록 독립성을 유지하도록 하였고, 메쉬상의 몇 개의 조정점으로 사용자의 요구사항에 맞게 정확히 조정 가능하도록 하여 보다 간편하게 얼굴 정합이 가능할 수 있게 하였다.

표 4. 얼굴 부분별 특징 요소 및 조정점 현황  
Table. 4 an Characteristic Elements Classified by Facial Portion and the Present Condition of Control Point

부분 명칭	특 징 요 소	조정점
계		75
머 리	머리의 크기, 형태	4
얼굴 외곽선	외곽선의 모양	28

눈 쌍	전체적인 위치, 가로·세로 크기	8(좌, 우 각 4개)
눈	눈의 위치, 형태, 가로·세로 크기	10(좌, 우 각 5개)
코	코등의 위치, 높이, 가로 크기	4
입	가로·세로 크기, 입술의 모양 및 두께	6
헤어	헤어의 형태	15
기타	메쉬의 모든 정점	

3.2.2. 머리부분 정합/부위별 세부 정합

얼굴 이미지와 일반모델을 정합하기 위해서는 일반모델의 머리부분 와이어 메쉬를 얼굴의 위치와 크기에 맞게 조정해야 하며, 머리의 조정점 4개를 이용하여 3차원 어파인 변환(Affine Transformation)을 한다.

조정점을 이용한 3차원 어파인 변환식은 다음과 같다.

$$P' = PR + T \dots\dots\dots (3-1)$$

위 식에서  $P' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$ 는 변환 후,  $P = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$ 는 변환 전 메쉬 정점의 위치벡터이다.  $T$ 는 병진운동 즉, 평행이동변환을 나타내는 벡터이다.

$$T = \begin{pmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \\ 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (3-2)$$

$R$ 은  $x, y, z$  축 회전변환과 크기변환을 복합한 행렬이다.  $\theta$ 는  $x, y, z$  축에 대한 회전각이고  $s_x, s_y, s_z$ 는 각각  $x, y, z$  축의 확대/축소의 비율이며, 이 비율은  $x, y, z$ 축에 동일하다. 즉,  $s_x = s_y = s_z$ 이다. 각 축을 기준으로 회전변환을 하고 크기변환을 하면 다음과 같다.

$$R = R_x R_y R_z S \dots\dots\dots (3-3)$$

따라서 위의 식을 다음과 같이 할 수 있다.

$$\begin{aligned} r_{11} &= \cos\theta_y \cos\theta_z s_x & r_{12} &= -\cos\theta_y \sin\theta_z s_y & r_{13} &= \sin\theta_y s_z \\ r_{21} &= s_x (\sin\theta_x \sin\theta_y \sin\theta_z + \cos\theta_x \sin\theta_z) \\ r_{22} &= -s_y (\sin\theta_x \sin\theta_y \sin\theta_z + \cos\theta_x \cos\theta_z) \dots\dots\dots (3-4) \\ r_{23} &= -\sin\theta_x \cos\theta_y s_z \\ r_{31} &= s_x (\sin\theta_x \sin\theta_z - \cos\theta_x \sin\theta_y \cos\theta_z) \\ r_{32} &= s_y (\cos\theta_x \sin\theta_y \sin\theta_z + \sin\theta_x \cos\theta_z) \\ r_{33} &= \cos\theta_x \cos\theta_y s_z & r_{44} &= 1, \text{과 } r_{14}, r_{24}, r_{34}, r_{41}, r_{42}, r_{43} \end{aligned}$$

값은 0, 이 값들은 모두 모조 값 이므로 무시한다. 이와 같이 정리한 식을 (3-1)식에 대입하면,

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \\ 1 \end{pmatrix} \dots\dots\dots (3-5)$$

(3-5)식을 정리하면,

$$\begin{aligned} x' &= xr_{11} + yr_{12} + zr_{13} + d_x \\ y' &= xr_{21} + yr_{22} + zr_{23} + d_y \dots\dots\dots (3-6) \\ z' &= xr_{31} + yr_{32} + zr_{33} + d_z \end{aligned}$$

가 된다. 모든 정점은 (3-6)식을 이용하여 와이어 메쉬의 각 정점에 대한 이동, 회전, 확대, 축소를 나타낼 수 있다.

어파인 변환 후 얼굴 이미지 각 부위와 일반모델의 각 부위가 정확히 맞지 않으므로 세부정합이 필요하다.

서로 다른 부위의 조정점을 움직일 때는 부위별 영향이 없도록 하였고, 메쉬상의 조정점을 사용자가 얼굴 외곽선, 부위별 크기, 위치에 따라 직관적으로 얼굴 이미지에 위치시켜 조정 가능하도록 하였다. 또한 각 정점을 해부학적인 얼굴 근육 그룹에 기초하여 부위별 조정점 그룹과 추종점(following points)그룹, 참조점(reference points)그룹 등 세 그룹으로 분류하여 조정점 이동시 각 그룹별 이동에 대한 가중치를 부여함으로써 자연스러움을 가져올 수 있도록 하였다.

세부 정합을 통해 일반모델을 임의의 얼굴 이미지에 정합함으로써 얼굴모델이 생성되며, 그림 6은 얼굴 외곽선 및 세부 정합을 나타낸다. 얼굴 외곽선 정합에서 얼굴의 가장 가지와 이마와 머리 부분의 조정점을 움직임으로써 전체적인 윤곽을 정합하고 세부적으로 눈썹부분과 코, 눈, 입부분의 조정점을 이동하여 정합한다.

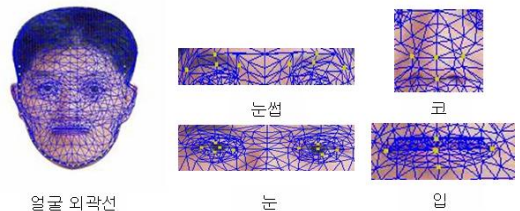


그림 6. 얼굴 외곽선 및 세부 정합  
Fig. 6 Fitting a Contour of Face and Face Part

### 3.3 얼굴모델의 3D 변환

얼굴의 3D 모델을 얻은 후, 이 모델이 회전, 확대/축소, 이동(병진운동)을 할 수 있도록 해야 한다.

본 연구에서는 얼굴모델의 회전, 확대/축소, 이동을 하더라도 얼굴의 형태가 변형되지 않기 때문에 얼굴모델의 3D 변환을 강체(rigid body)운동으로 정의 했다. 따라서 일반모델 내부의 중앙을 중심축으로 하고 식(3-1)~식(3-6)을 다시 한 번 이용해서 일반모델의 3D 변환을 나타낼 수 있다. 하지만, 얼굴모델을 표현하는데 절대좌표계가 사용된다. 3D 변환 후에는 모델의 크기나 중심축이 변하여 z값을 알 수 없으므로 식(3-4)를 이용하여  $r_{31}, r_{32}, r_{33}$ 을 구해야 한다.

$$\frac{r_{12}}{r_{11}} = -\frac{\sin\theta_z}{\cos\theta_z} = -\tan\theta_z \dots\dots\dots (3-7)$$

$$\text{따라서 } \cos\theta_z = \frac{r_{11}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}}, \quad \sin\theta_z = \frac{-r_{12}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}} \dots\dots (3-8)$$

이다.

$$\frac{r_{13}}{r_{11}} = \frac{\sin\theta_y}{\cos\theta_y} \cdot \frac{1}{\cos\theta_z}, \quad \tan\theta_y = \frac{r_{13}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}} \dots\dots\dots (3-9)$$

따라서

$$\cos\theta_y = \frac{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2 + r_{13}^2}}, \quad \sin\theta_y = \frac{r_{13}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2 + r_{13}^2}} \dots\dots (3-10)$$

여기서 s를 계산하면,

$$s = \frac{r_{11}}{\cos\theta_y \cdot \cos\theta_z} = \sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2 + r_{13}^2} \dots\dots\dots (3-11)$$

$$\sin\theta_x = -\frac{r_{23}}{s\cos\theta_y} = -\frac{r_{23}}{\sqrt{r_{11}^2 + r_{12}^2}} \dots\dots\dots (3-12)$$

$$\text{따라서 } \cos\theta_x = \sqrt{\frac{r_{11}^2 + r_{12}^2 - r_{23}^2}{r_{11}^2 + r_{12}^2}} \dots\dots\dots (3-13)$$

이며, 식(3-7)~식(3-13)를 식(3-4)에 대입하면 z값을 구할 수 있다. 이를 이용하여 3D 변환된 점을 구할 수 있으며 3D 변환된 일반모델을 얻을 수 있다.

## IV. 3D 얼굴모델 시스템 구현

본 연구는 PentiumIV 1.8GHz 512MB 메모리의 PC에서 3Ds Max와 Visual C++ 6.0을 이용하여 3D 얼굴모델링 시스템을 구현하였다. 그래픽 처리의 효율을 위해 일반모델을 1,242개의 폴리곤으로 단순화하였고, 정면의 이미지만을 사용하여 메쉬상의 75개의 조정점을 통해 정합함으로써 간편하게 얼굴모델을 생성할 수 있었다.

### 4.1 얼굴 이미지 불러오기

메인메뉴의 파일메뉴에서 새 파일을 이용하여 모델링 할 이미지를 불러온다. 사용되는 이미지는 비트맵 형식의 이미지지만 가능하며, 불러온 이미지는 얼굴모델 편집 창에 시스템의 일반모델과 함께 나타나게 된다. 사용된 이미지는 630×630 크기의 이미지이며, 이미지가 화면의 중앙에 오도록 설계하였다. 일반모델의 와이어 메쉬는 표 3의 일반모델 생성 함수에 의해 생성되며, 그림 7은 일반모델의 와이어 메쉬에 정합하기 위한 임의의 얼굴 이미지를 불러온 화면이다.

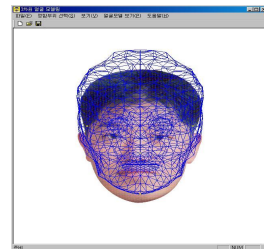


그림 7. 얼굴 이미지 불러오기  
Fig. 7 A Facial Image Loading

일반모델에서 양 눈 측면의 얼굴 가장자리와 턱의 하단, 코의 중앙에 있는 4개의 노란점이 조정점으로서 머리부분 정합시 사용을 하며, 얼굴의 전체적인 크기와 위치를 맞추어 주도록 조정점을 이동시켜 맞추어 준다. 이미지를 불러오면 일반모델의 와이어 메쉬가 디폴트 값으로 머리부분 정합을 하도록 설계하였다.

### 4.2 얼굴 이미지 정합

얼굴 이미지를 불러온 후에는 메인메뉴의 정합부위 선택메뉴를 선택하여 일반모델과 정합한다. 정합은 표 4의 얼굴 부분별 특징 및 세부 조정점을 이용하고 3.2.2절에서 설명한 어파인 변환에 의해 이루어진다. 그림 8은 일반모델 와이어 메쉬의 머리부분 정합 후 얼굴 외곽선을 정합하는 것이다.

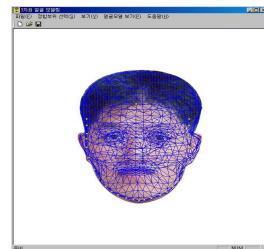


그림 8. 얼굴모델 정합  
Fig. 8 A Facial Model Fitting

와이어 메쉬를 얼굴 이미지에 정합하는 방법은 정합부위 선택메뉴에서 정합할 부위를 선택한 후 부위별 와이어 메쉬상의 조정점을 드래그(Drag)하면 이미지에 맞게 메쉬가 변형된다.

### 4.3 3D 얼굴모델 생성/변환

정합이 완료된 후 얼굴모델 보기메뉴를 선택하면 3D 얼굴모델 생성 결과를 확인할 수 있다. 3D 얼굴모델 생성은 3.3 절에 설명한 내용에 의해 이루어진다. 얼굴모델 보기메뉴를 선택하면 얼굴모델 생성창과 함께 3D 얼굴모델이 나타나게 된다.

그림 9는 3D 얼굴모델 생성/변환을 나타낸다.

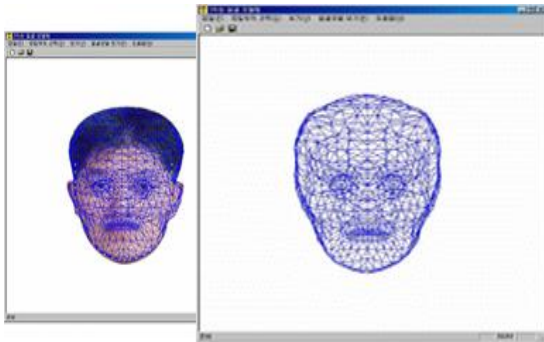


그림 9. 3D 얼굴모델 생성  
Fig. 9 A 3D Facial Model Creation

생성된 3D 얼굴모델을 회전, 이동, 확대, 축소시켜 가면서 완성도를 확인할 수 있으며, 수정을 원하면 얼굴모델 편집창에서 다시 정합부위를 선택하여 수정할 수 있으며, 사용자가 얼굴모델 편집창에서 수정하면 실시간으로 얼굴모델 생성창에서 수정 결과를 확인할 수 있다.

## V. 결 론

본 연구에서는 사용자에게 보다 친숙한 인터페이스를 제공하고, 쉽게 3D 얼굴모델링을 할 수 있는 시스템을 설계 및 구현하였다. 한국인 표준 얼굴모델을 이용하여 일반모델을 제작했고, 정면 얼굴 이미지의 입력으로 얼굴모델을 생성할 수 있도록 하였다. 실험에 이용한 이미지는 30개이며 정합이미지의 크기가 가로/세로 630×630의 크기를 가진 이미지에 대해서는 얼굴모델 생성이 가능하다. 사용한 이미지 중에서 과정의 연결성을 위하여 하나의 이미지에 대한

과정과 결과를 나타내었다.

본 시스템의 특징은 다음과 같다. 임의의 얼굴이미지도 얼굴모델과 정합할 수 있고, 메쉬상의 조정점을 사용하므로 사용자에게 직관적인 정합 기능을 제공한다. 그리고 모델 생성 조작이 간단하여 누구나 쉽게 얼굴모델 제작을 할 수 있다. 또한 얼굴 이미지와 얼굴 모델의 정합으로 생성된 3D 얼굴 모델은 이동, 확대, 축소, 회전이 가능하도록 하였으며 이를 이용한 얼굴모델 3D 변환의 실시간 확인 및 편집 기능을 제공한다.

## 참고문헌

- [1] 최창석 외, "한국인 얼굴의 기본형 분류와 지방별 얼굴 생성", 대한전자공학회, Vol. 15, No. 2, 1997.
- [2] D. DeCarlo, D. Metaxas and Matthew Stone, "An Antropometric Face Model using Variational Techniques", Computer Graphics (SIGGRAPH 98 Proceedings), pp.67~74, 1998.
- [3] K. Waters, "A Muscle Model for Animating Three-Dimension Facial Expression", In Proceeding of SIGGRAPH 87, Vol. 21, No. 4, pp.117~124, July 1987.
- [4] Y. C. Lee, D. Terzopoulos, and K. Waters, "Realistic Modeling for Facial Animation", In SIGGRAPH 95 Conference Proceedings, pp. 55~62, August 1995.
- [5] 김지성, "한글에 부합한 실시간 얼굴 애니메이션", 명지대학교 대학원 정보통신공학과 석사학위논문, 1999.
- [6] 김재익, 고흥석, "얼굴 애니메이션을 위한 직관적인 유사 고유 얼굴 모델", 컴퓨터그래픽학회, pp. 185-191, 2006.
- [7] 심연숙, 김선욱 외, "자연스런 표정 합성을 위한 3차원 얼굴 모델링 및 합성 시스템", 한국인지과학회논문지, Vol. 11, No. 2, 2000.
- [8] 김형균, 오무송, "얼굴 애니메이션을 위한 동적인 근육 모델에 기반한 3차원 얼굴 모델링에 관한 연구", 한국해양정보통신학회논문지, Vol. 7, No. 2, pp. 322-327, 2003.

- [9] 이현철, "2D 얼굴 이미지를 이용한 3D 얼굴 모델 및 얼굴 표정 생성", 동신대학교 박사학위논문, 2003.
- [10] Chang Seok Choi, Kiyoharu Aizawa, Hiroshi Harashima and Tsuyoshi Takebe, "Analysis and Synthesis of Facial Image Sequences in Model-Based Image Coding", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY, VOL. 4, NO. 3, pp 257 ~ 275, JUNE 1994.
- [11] T. Akimoto, Y. Suenaga, "3D Facial Model Creation Using Generic Model and Front and Side Views of Face", In IEICE TRANS, Vol. E75-D, No. 2, March 1992.
- [12] 윤관현, "한국인 얼굴의 해부학적 분석에 관한 연구", 홍익대학교 미술대학원 회화전공 석사학위논문, 2002.
- [13] 한승호, 박대균, "한국인 얼굴복원(Facial Reconstruction)에 관한 연구, 한국인 얼굴두께", 제 48 회 대한해부학회 학술대회, 1998.

### 저 자 소 개



**이혜정(Hyae-Jung Lee)**  
 1997년 호원대학교 컴퓨터공학과 졸업  
 2000년 원광대학교 컴퓨터공학과 석사 학위취득  
 2002년~현재 원광대학교 컴퓨터공학과 박사과정수료  
 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터그래픽스, 컴퓨터 애니메이션



**정석태(Suck-Tae Joung)**  
 1989년 전남대학교 전산학과졸업  
 1996년 스쿠바대학 이공학연구과 석사 학위취득  
 2000년 스쿠바대학 공학연구과 박사학위 취득  
 2001년~현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수  
 관심분야 : 공간 파서 생성기, 비주얼 시스템, 오감 정보통신