

## 3차원 인체치수 측정과 형상변형 기술

윤승현 · 현대은 · 김명수

서울대학교 컴퓨터공학부

### New Techniques for Measuring 3D Human Body Sizes and Shape Deformation

Seung-Hyun Yoon · Dae-Eun Hyun · Myung-Soo Kim

School of Computer Science and Engineering  
Seoul National University

#### 1. 서 론

최근 3차원 스캔 기술의 눈부신 발전으로, 복잡한 3차원 형상 데이터를 얻기가 쉬워졌다. 접촉식 프로브를 이용한 3차원 스캔 방식은 정밀도면에서는 우수하나, 장시간의 측정시간이 요구되는 단점이 있다. 반면 레이저나 광원 등을 이용한 비접촉 스캔 방식은 고속의 측정이 가능하나 접촉식 방식에 비해 정밀도가 다소 떨어진다는 단점이 있다. 근래에 들어서는 고정밀도 측정이 가능한 비접촉 방식의 스캔 기술들이 상용화되어 여러 가지 제품의 형태로 선보이고 있다. 3차원 스캔 기술은 역공학(Reverse Engineering) 분야에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 역공학이란 실제 형상을 복제하여 이 형상의 컴퓨터 모델을 복원하는 것으로서, 전통적으로 항공기 및 자동차 제작 과정에서 많이 사용되어 왔다. 따라서 정밀한 역공학을 위해서는 물체의 정확한 3차원 형상 좌표를 얻는 것이 필수적이다. 최근에는 산업 제품뿐만 아니라, 전신 스캐너 장비가 개발되어 3차원 인체 형상에 대한 데이터도 쉽게 얻을 수 있게 되었다. 3차원 인체 형상 데이터는 컴퓨터 게임, 애니메이션, 그리고 의류 산업 및 의료기기 산업을 포함한 인체 기반 산업에서 그 활용 범위가 대단히 광범위하다. 본 논문에서는 3차원 스캐너로부터 얻어지는 3차원 인체 형상 데이터를 사용하여 인체치수를 측정하는 기술(1, 17, 18)과 3차원 인체 형상 데이터를 컴퓨터 게임, 애니메이션 등에서의 활용하기 위해서 최근 개발된 디지털 형상변형 기술들(11,

12)에 대하여 소개하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2절에서는 3차원 인체형상 데이터를 이용하여 최근 개발된 인체치수 측정 기술과 활용에 대하여 소개하고 제 3절에서는 컴퓨터 게임, 애니메이션 분야에서 3차원 인체 형상 데이터를 활용하기 위한 형상 변형 기술에 대하여 소개하고, 끝으로 제 4절에서는 결론을 맺는다.

#### 2. 3차원 인체치수 측정 기술

전통적으로 인체치수 측정은 측정자가 피측정자를 직접 측정하는 방식을 채택하여 왔다. 그러나 직접 측정방식은 측정자와 피측정자 모두에게 많은 시간과 노력을 요구하며, 시간과 공간의 제약을 받을 수 있다. 또한 같은 피측정자에 대해서도 측정자에 따라 서로 다른 치수를 측정할 수 있다는 단점이 있다. 정확한 인체 치수는 인간 공학적 설계를 기반으로 하는 모든 첨단 디자인 산업분야에서 매우 중요한 자료이다. 특히, 자동차류생산 시스템의 경우는 실제 인체로부터 얻어지는 정확한 3차원 인체치수를 필요로 한다. 최근에 들어 3차원 전신 스캔 장비로부터 얻어지는 3차원 인체형상 데이터로부터 사용자가 요구하는 치수를 자동으로 측정하려는 기술이 개발되고 있으나, 아직까지 여러 가지의 기술적인 한계가 있으며, 첨단 디자인 산업의 요구에 부합할 만한 3차원 인체형상의 분석 및 처리 기술의 개발은 미흡한 실정이다. 몇몇 상용 업체들(17, 18)이 하

드웨어를 포함한 솔루션을 내놓고 있지만 대부분 고가의 장비와 기술의 한계로 인해 아직 대중화에는 많은 어려움이 따르고 있다. 3차원 인체형상의 데이터는 앞서 언급한 인간 공학적 설계를 기초로 하는 첨단 디자인 산업뿐만 아니라 여러 가지 통계분석 및 처리기법을 적용하여 표준 체위의 지표 (15)로서도 활용될 수 있다. 본 논문에서는 현재 개발되어 있는 3차원 인체치수 측정기술에 대해 소개하고자 한다. 현재 미국의 사이버웨어(Cyberware)(18)사에서는 복잡한 형태를 가지는 3차원 인체형상의 데이터를 얻기 위해서 레이저를 이용한 3차원 전신 스캐너장비(WB4)를 개발하였다. 또한 3차원 인체형상 데이터로부터 일반적인 인체치수를 자동으로 측정하는 소프트웨어(DigiSize)를 개발하였다. 20-30대의 성인남자에 대한 치수측정에는 비교적 정확하나 체형에 따라 오차가 있고 자동인식의 한계성과 서양인의 체격을 기준으로 하였기 때문에 동양인의 체형에 적용하기는 어려운 단점이 있다. [그림 1]은 사이

버웨어(cyberware)사에서 개발한 전신 스캐너 장비와 얼굴 스캐너 장비이고 [그림 2]는 자동 측정 소프트웨어(Digi-Size)를 이용한 치수를 측정하는 과정을 나타낸 것이다.

또한 독일의 TechMath AG(17)에서도 전신 스캐너에서 얻은 3차원 인체형상에 가시화, 데이터 처리, 측정 등을 할 수 있도록 만든 소프트웨어 패키지를 개발하였다. 다양한 그래픽스 인터페이스를 제공하는 소프트웨어 모듈로는 ScanWorX Viewer, ScanWorX Body Measure, ScanWorX Tailor, ScanWorX Foot Measure, ScanWorX Editor 등이 있다. ScanWorX Viewer는 3차원 스캐너로부터 얻은 데이터의 가시화를 위한 것으로서 Color Texture를 지원하며 회전, 크기 변환, 절단 등의 기능과 다양한 렌더링 기능을 제공한다. 또한 ScanWorX Body Measure는 상호반응적인 측정을 위한 모듈로서 Sectional representation, Mark System, Curved Length Measure, Angel Length Measure 등의 다양한 측정 기능을 제공하며 ScanWorX

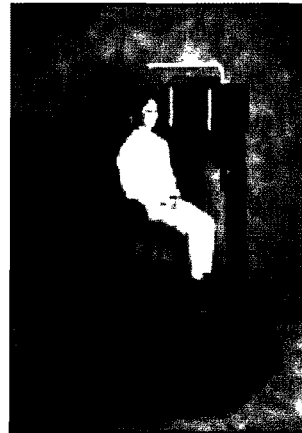


그림 1 미국 Cyberware사의 스캐너 3차원 전신스캐닝시스템(좌)과 얼굴 스캐닝시스템(우)의 모습

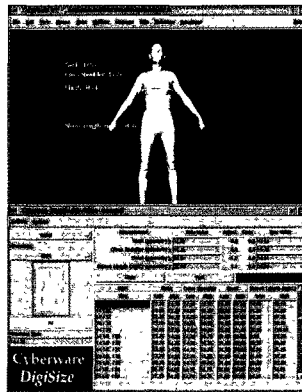
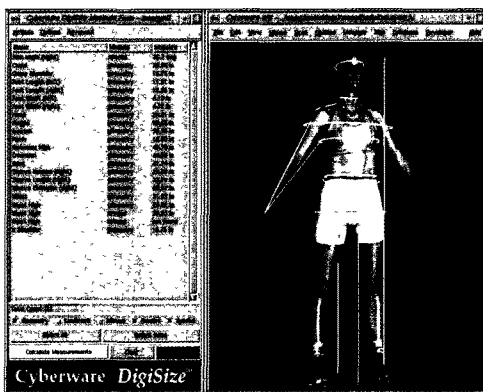


그림 2 미국 Cyberware사의 인체치수 자동측정 소프트웨어인 DigiSize

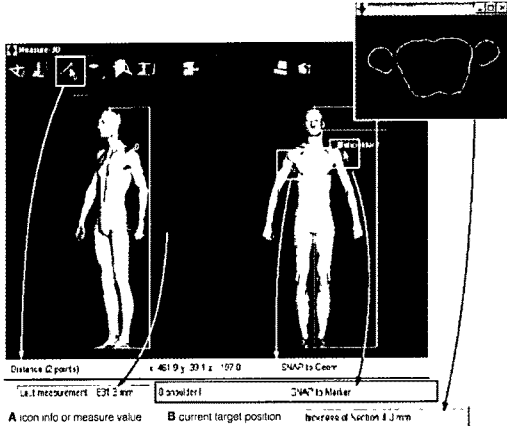


그림 3 TechMath AG의 ScanWorX Body Measure

Tailor는 완전 자동 측정기능을 제공한다.

ScanWorX Foot Measure는 발 모델에 대한 완전 자동 측정을 지원하며 ScanWorX Editor는 원시 스캔 데이터의 삼각형 메쉬 재구성, 다양한 그래픽스 파일 포맷으로의 변환 및 다양한 처리기능을 지원한다. [그림 3]은 ScanWorX Body Measure와 [그림 4]는 ScanWorX Editor의 사용 예를 보여주고 있다.

이처럼 외국의 몇몇 회사에서 개발된 치수측정 소프트웨어들이 있지만 아직 측정 방법과 측정항목에 대한 정확한 표준안이 마련되지 않아 활용에 한계가 있다. 현재 우리나라에서는 3차원 인체 치수에 대한 표준화 사업이 실시되어 측정항목 및 측정방법에 대한 표준안이 마련된 상태이며 제 5차 한국인 인체 치수조사(Size Korea) 사업(15)의 일환으로 산업자원부 기술표준원에서는 전국 5개 거점 도시에서 5,000여명을 대상으로 3차원 인체 형상 데이터베이스를 구축하였으며 이를 기반으로 인체 치수를 측정하여 다양한 산업 분야에 활용하는 사업을 추진하고 있다. [그림 5]는 제 5차 한국인 인체 치수조사(Size Korea) 사업에서 3차원 인체 치수를 측정하는 과정으로, (1)에서 개발된 3차원 인체 치수 측정 프로그램인 3DM을 사용한 치수

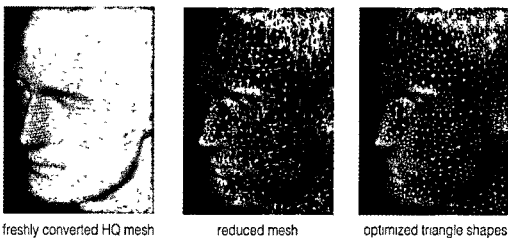


그림 4 TechMath AG의 ScanWorX Editor

측정의 예를 보여주고 있다. 3DM은 최근 표준화 사업의 결과로 마련된 측정항목과 측정방법에 대한 표준을 적용한 치수측정 소프트웨어로서 4가지 자세에서 스캔된 모델에 대하여 총 125개의 표준화된 측정 항목의 치수를 측정한다. [그림 6]은 3DM을 사용하여 측정된 결과를 나타낸 것이다.

### 3. 3차원 인체 형상 모델링 및 변형 기술

3차원 인체형상은 컴퓨터 그래픽스 및 애니메이션 분야에서 그 활용범위가 광범위하다. 3차원 캐릭터 애니메이션의 성공 여부는 캐릭터의 동작과 그 동작에 따라 변형되는 캐릭터 형상의 자연스러움에 달려 있다고 할 수 있다. 최근의 3차원 디지털 애니메이션이나 게임들의 사례에서

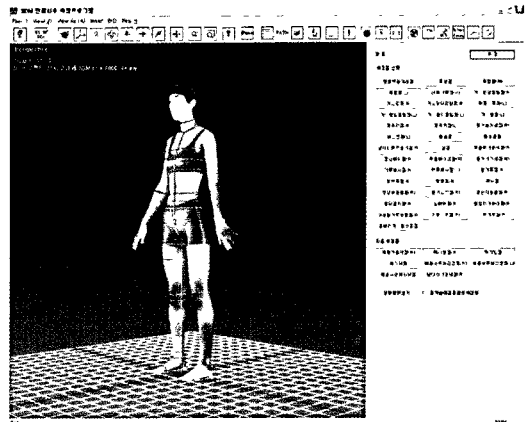


그림 5 치수 측정 프로그램

결과 - 자세 1

번호	인체	치수(mm)	가산
1	목둘레	293.48	
2	목위둘레	116.99	
3	목밑둘레	354.05	
4	가드랑둘레	312.50	
5	가슴둘레	848.62	
6	가슴상둘레	816.51	
7	가슴아래둘레	717.32	
8	허리둘레	607.61	
9	배꼽수은하리둘레	656.82	
10	발둘레	749.37	
11	넙다리둘레	503.94	
12	넙다리상단둘레	451.60	
13	무릎둘레	341.24	
14	무릎아래둘레	319.67	
15	꿈다리둘레	330.27	
16	종아리위소둘레	210.71	
17	발끝둘레	216.67	
18	발목위둘레	247.48	
19	발목아래둘레	263.46	
20	발뒤꿈치둘레	790.03	

OK DBInsert Cancel

그림 6 3차원 인체 치수 측정 결과

볼 수 있듯이 시청자가 캐릭터 애니메이션에 몰입하고 그로부터 감흥을 얻기 위해서는 무엇보다도 캐릭터의 움직임과 그에 따른 캐릭터 스킨의 변형이 사실적이고 자연스러워야 한다. 모션 캡처 장비와 모션 편집 기술의 발전에 힘입어 사실적인 캐릭터 동작을 얻어내는 일은 한결 쉬워졌으나 동작에 따라 자연스럽게 변형되는 캐릭터 스킨 형상을 만드는 일은 여전히 어려운 일이다. 여기서는 3차원 형상 데이터의 응용 분야로서 애니메이션을 위한 형상 변형 기술의 최근 동향을 소개하고자 한다.

### 3.1. 해부학에 기반한 모델링 및 변형 기술

해부학적 지식을 바탕으로 한 모델링 및 변형 기술(2, 3, 4, 19, 20)에서는 스킨 형상의 변형을 뼈대의 움직임뿐만 아니라 이와 연결된 근육의 움직임에 의해 일어나는 비선형적인 변환으로 생각하고, 이를 정확히 표현하기 위해 복잡한 근육 구조를 모델링하고 근육의 움직임을 시뮬레이션하는 방법이다. 근육 시뮬레이션에 의한 스킨 형상의 변형은 많은 계산 시간을 필요로 하므로, 실시간 응용에서는 그 한계성을 보인다. 따라서 실시간 애니메이션이 요구되는 3차원 게임과 같은 응용분야에서는 한계를 가진다. [그림 7]은 근육과 피부 조직을 모델링하고 근육 시뮬레이션에 의한 스킨 형상의 변형을 나타낸 결과이다(3).



그림 7 해부학에 기반한 인체 형상 모델링 기술

### 3.2. 다양한 예제들에 기반한 모델링 및 변형 기술

해부학적 지식에 기반한 기술의 복잡성과 많은 계산시간의 한계를 극복하기 위하여 최근에는 3차원 전신 스캐너를 이용하여, 다양한 자세에서 스캔된 인체형상 모델의 집합으로부터 새로운 자세를 보간하는 방법이 소개되었다(5, 6, 7, 22, 23). 이러한 예제를 기반으로 한 방법은 실시간 응용이 가능한 반면에 정확한 자세를 보간하기 위해서는 다양한 자세에서 스캔된 많은 예제들이 필요한 단점이 있다. [그림 8]은 다양한 자세에서 스캔된 상체 모델들로부터 보간된 인체형상변환의 결과들이다(5).

### 3.3. 변형 계산 모델에 기반한 방법

3차원 게임이나 가상현실 등을 위해 캐릭터를 빠르게 움직여야 하는 경우에는 스킨 변형에 관한 규칙을 담고 있는 변형 계산 모델을 사용하게 된다(8, 9, 10). 이런 계산 모델 중에서 가장 널리 쓰이는 방법으로 vertex blending을 이용한 방법을 들 수 있다. 이 방법은 스킨 형상의 각 정점(vertex)마다 영향을 끼치는 관절들과 그에 대한 가중치 값들을 미리 할당하고, 관절들의 움직임에 가중치를 곱해서 선형 결합하여 얻어진 변환에 의해 새로운 vertex의 위치를 결정하는 방법이다. 이 방법은 계산 속도가 빠르지만 다양하게 변형하는 형상을 표현하는데 한계가 있으며 vertex마다 적절한 가중치 값을 얻기 위해서 애니메이터의 많은 경험과 노력이 필요하다. 이러한 어려움을 극복하기 위해서 최근에는 예제를 기반으로 가중치를 계산하는 방법이 소개되었다(7, 10). [그림 9]는 다양한 자세에서 부여된 가중치들로부터 계산된 가중치를 이용한 형상변형의 결과를 나타낸 것이다(7).

### 3.4. 스윙 기반 인체형상 모델링 및 변형 기술

스윙 기반 모델링 및 변형 기술은 사용자 간섭을 최소로



그림 8 예제기반으로 보간된 자세들



그림 9 예제에 기반한 가중치 계산에 의한 변형

하며 실시간에 자연스러운 형상 변형을 위해 최근 새롭게 개발된 방법이다(11, 12). 스윙 기반 모델링 및 변형 기술은 (11, 12, 24)에 제시된 방법처럼 하나의 자세에서 스캔된 인체형상 데이터를 사용한다는 점에서 예제 기반 형상 변형 방법들(5, 6, 7, 22, 23)과 구별된다. 여기서는 (12)에서 제시한 방법에 대하여 소개하고자 한다. 스윙 기반 모델링 및 변형 기술은 하나의 정적인 자세로부터 얻어진 인체 형상을 가지고 자연스러운 여러 동작들에 의한 형상변환을 자동적으로 생성한다. 하나의 자세에서 주어진 형상을 변형하여 자동적으로 생성된 형상들은 많은 예제를 기

반으로 생성된 형상들에 비하여 다소 사실감이 떨어질 수 있으나 적절한 형상 변형 도구를 이용하여 손쉽게 사실적인 형상으로 수정할 수 있다. 다각형 메시 형태로 주어지는 3차원 인체 형상데이터는 인체 형상의 각 부분을 근사하는 스윙 곡면과 그 차이를 표현하는 거리함수(displacement map)로 복원될 수 있다. 각 부분 형상들이 만나는 어깨나 엉덩이의 부분은 그 부분에서 만나는 스윙 곡면과 거리함수(displacement map)을 블렌딩하여 자연스럽게 연결한다. 또한 이 방법에서는 추가적인 스윙 곡면을 이용하여 근육이나 뼈의 돌출과 같은 해부학적인 특징들을 표현

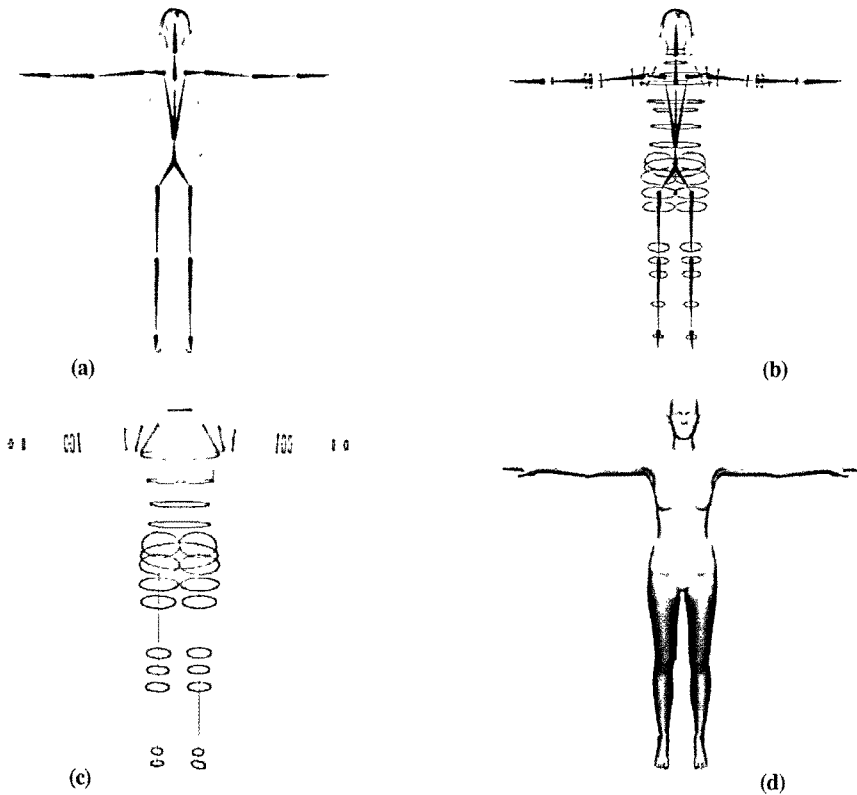


그림 10 (a) 뼈대구조 (b) 각 부분의 키 타원들, (c) 보간한 스윙곡면 (d) 정점들의 가중치

하여 보다 사실적인 인체 형상들을 생성하게 된다. [그림 10]은 이 방법의 단계별 절차를 나타낸다. 먼저 3차원 인체형상데이터를 읽어 들어 (a) 애니메이션을 위한 뼈대 구조를 결정하고 (b) 뼈대구조를 기반으로 인체형상을 팔, 다리, 몸통 등의 각 부분 형상을 분할하고 각 부분 형상의 단면을 근사하는 키 타원들을 설정한다. (c) 키 타원들을 보간하는 부드러운 스윙 곡면을 생성한다. (d) 각 부분 형상의 정점을 스윙 곡면에 바인딩 하고 가중치를 부여한다. 각 단계별 자세한 내용은 아래와 같다.

### 1) 뼈대 구조 생성

모션캡처를 통하여 구해진 애니메이션 데이터를 인체형상 데이터에 적용하기 위해서는 인체형상에 적절한 뼈대 구조를 설정해 주어야한다. 일반적으로 애니메이션 캐릭터의 뼈대는 [그림 11]에서와 같이 계층적인 트리 구조를 가지며 각 인체형상마다 이 트리를 구성하는 관절들의 위치를 결정해 주어야 한다. 자연스러운 형상 변형을 위해서는 관절의 위치 결정은 매우 중요하다. 일반적으로 인체형상 캐릭터의 경우 주어진 3차원 인체형상으로부터 관절들의 위치를 쉽게 추측할 수 있다. 여기서 소개하는 방법에서는 3차원 인체형상에 사용자가 지정한 주요한 특징점들을 이용하여 관절들의 위치를 추측하는 기법을 사용한다. 무릎 점이나 팔꿈치점과 같은 특징점들을 사용자 마우스 입력을 통해 3차원 인체형상에 지정해 주면 이로부터 캐릭터의 각 부분을 나누는 평면들을 설정하고 그 평면과 캐릭터 형상이 만나는 점들의 무게 중심을 구해서 이들을 관절 위치로 정한다. [그림 11]에서는 22개의 특징점들을 지정하여 인체형상의 관절 위치를 구한 결과이다.

동물과 같은 일반적인 캐릭터의 경우에는 보다 일반적인 형상 분할 방법을 사용하여 관절 위치를 결정할 수 있다.

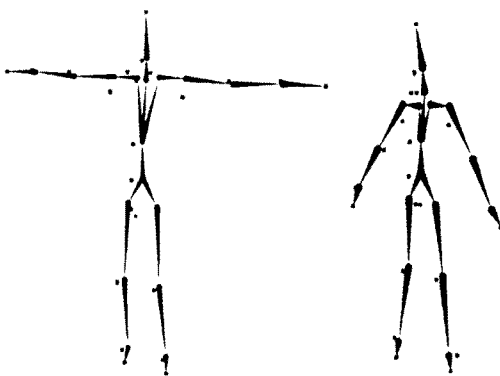


그림 11 특징점으로부터 추출된 뼈대 구조

Katz와 Tal은(13) 캐릭터의 각 부분을 대표하는 점들로부터 모든 점들의 거리를 계산하여 캐릭터 형상을 의미 있는 부분들로 분할하는 방법을 제시하였는데 분할되는 경계 부분에 속하는 점들의 무게중심을 구하여 캐릭터의 관절로 결정할 수 있다. 이 방법을 이용하면 3차원 형상에 주어진 특징점들을 분할되는 각 부분을 대표하는 점으로 이용해서 보다 정확하게 관절의 위치를 결정할 수 있다.

### 2) 스윙 곡면 근사

사용자가 지정한 특징점들을 이용하여 인체형상의 뼈대 구조가 결정되고 나면, 다음은 인체형상 각 부분을 근사하는 스윙 곡면을 생성한다. 스윙 곡면을 생성하기 전에 먼저 사용자가 지정한 특징점들을 이용하여, 팔, 다리, 몸통과 같이 형상의 주요부분으로 분할하고 이렇게 분할된 부분 형상들을 각각 스윙 곡면으로 근사한다. 스윙 곡면의 근사를 위해서는 각 관절의 위치와 각 관절의 전후 위치에서 형상의 단면에 크기가 비슷한 타원으로 맞추는 과정이 필요하다. 이 타원들이 스윙 곡면 생성시 보간되는 키 타원들이 된다. 키 타원들을 보간하여 스윙 곡면을 만드는 과정은 다음과 같다. 먼저 키 타원들의 중심을 보간하는 3차 B-스플라인 곡선은 만들어 궤적 곡선을 생성한다. 그리고 키 타원들에서 장축과 단축의 길이 정보를 보간하는 2차 B-스플라인 함수들을 만들어 스케일 함수로 사용한다. 마지막으로 키 타원들의 3차원 공간에서의 방향을 보간하는 1차 B-스플라인 곡선을 만들어 자세 곡선을 생성한다. 이렇게 키 타원들의 중심 궤적과, 타원의 크기와 자세를 보간하는 3개의 B-스플라인 곡선으로부터 부드러운 스윙 곡면이 만들어 진다(14). [그림 12]는 왼쪽 팔부분에 근사된 키 타원들과 키 타원들을 보간하여 만든 스윙 곡면을 나타내고 [그림 13]은 인체형상 각 부분에 이러한 방법을 적

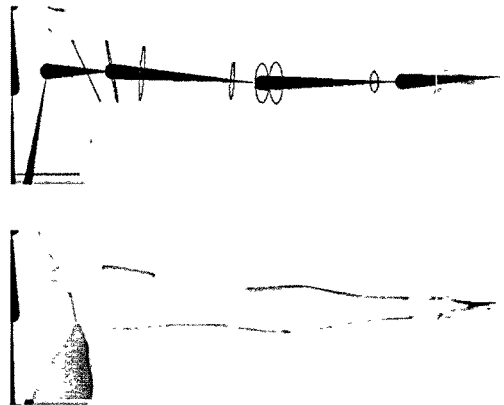


그림 12 키 타원과 보간된 스윙 곡면

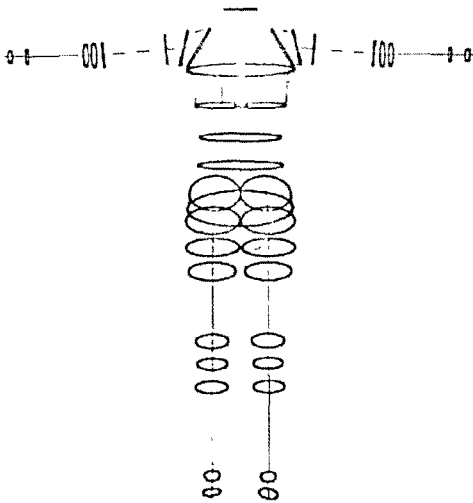


그림 13 형상 각 부분에 보간된 스윕곡면

용한 결과이다.

### 3) 스윕 기반 형상 변형

인체의 각 부분이 스윕 곡면으로 근사되면 그 다음의 과정은 이렇게 각기 모델링 된 부분들을 부드럽게 연결하는 것이다. 특히 다각형 모델을 근사할 경우 이 모델이 가지고 있는 텍스처 좌표 등의 특성을 유지하며 부드럽게 연결해 주어야 한다. 이를 위해서 다각형 메쉬의 정점들을 해당 스윕 곡면에 바인딩 하여 인체형상을 변형하는 방법을 택한다. 이와 같이 기존의 다각형 메쉬 구조를 유지함으로써 vertex blending과 유사한 곡면 블렌딩 방법을 이용할 수 있으며 스윕 변수들을 제어하여 직관적으로 인체 형상을 제어할 수 있다. 인체형상의 다각형 메쉬의 정점들을 해당 스윕에 바인딩 하는 자세한 방법은 Hyun(12)에 자세하게 설명되어 있다. [그림 14]는 왼팔 부분의 스윕 곡면에 바인딩된 인체형상 데이터의 정점들을 나타내고 있다. 인체 형상 각 부분의 연결 부위에서 부드러운 형상 변형을 하기 위해서는 연결 부분의 정점들이 둘 이상의 스윕 곡면에 바인딩 되어야 한다. 각 스윕 곡면이 변형하면 스윕 곡면에 바인딩 되어 있는 정점들의 위치가 변하게 되는데, 이때 둘 이상의 스윕 곡면에 바인딩된 정점들은 각각 서로 다른 위치로 움직이게 된다. 부드러운 형상 변형을 위해서는 둘 이상의 스윕에 바인딩되는 정점들은 각 스윕 곡면에 가중치를 갖고 바인딩되고 가중치에 따라 블렌딩된다. 이러한 방식은 vertex blending 방식과 유사한 방법으로 vertex blending 방식에서는 각 정점들이 관절에

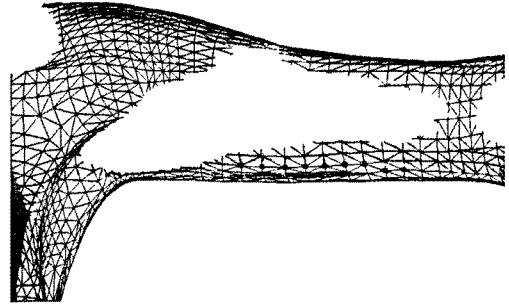


그림 14. 스윕에 바인딩된 정점들

대한 가중치를 갖는 반면, 스윕 기반 형상 변형에서는 각 정점들이 여러 개의 스윕 곡면에 대한 가중치를 갖고 블렌딩 된다. [그림 15]는 몸통, 왼팔 그리고 오른팔의 스윕 곡면에 바인딩된 정점들의 가중치를 나타낸다.

애니메이션 데이터를 이용한 형상 변형의 과정은 다음과 같다. 애니메이션 데이터로부터 주어지는 매 프레임마다의 관절각의 변화는 뼈대 구조를 변화시키고, 결과적으로 뼈대 구조에 연결 되어 있는 키 타원의 위치와 방향을 변화시키게 된다. 새로운 위치와 방향을 갖는 키 타원들은 B-스플라인 보간 곡선으로 다시 보간되며, 이렇게 보간된 곡선들을 기반으로 키 타원들을 보간 하는 새로운 스윕 곡면이 생성되게 된다. 인체 형상의 각 정점들은 새로 생성된 스윕 곡면에서 새로운 위치가 결정되고, 이 과정에서 둘 이상의 스윕에 바인딩 되었던 정점들은 가중치에 따라 블렌딩 되어 연결 부분에서 부드러운 형상 변형을 나타내게 된다. [그림 16]은 어깨의 관절각도의 변화에 따른 키 타원들의 변형과 변형된 스윕 곡면을 이용한 부드러운 형상 변형을 나타내고 있다.

스윕 구조를 이용하여 형상을 변형하면 매우 부드럽게 변형된 형상을 얻어낼 수 있지만 형상의 물리적인 성질이나 충돌 등은 고려하지 않았으므로 생성된 형상은 다소 사실감이 떨어질 수 있다. 보다 사실적인 형상을 생성하기 위해서는 때론 사용자가 형상을 직접 제어하여 수정할 수 있어야 하는데 이 방법에서는 사용자가 키 타원을 조정하여

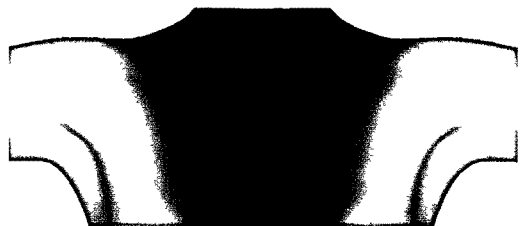


그림 15 스윕에 대한 가중치

형상을 쉽게 수정할 수 있도록 하였다. [그림 17]은 키 타원의 위치를 조정하여 보다 사실적인 형상으로 수정한 모습을 보여주는데, 이렇게 사용자가 원하는 부분의 타원을 지정하여 이 타원의 위치, 방향, 혹은 크기를 수정하여 보다 사실감 있는 형상을 만들어 낼 수 있다.

또한 스윙 곡면을 이용하여 인체 형상의 해부학적인 특징을 표현하여 보다 사실적으로 형상을 변형할 수 있다. 인체 형상이 움직일 때의 사실감은 주로 피부 아래의 근육과 뼈의 움직임에 기인하는데, 이런 근육과 뼈의 움직임은 관



그림 16 키 타원들의 위치 변화와 형상 변형

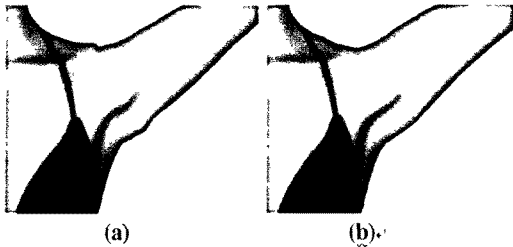


그림 17 스윙을 조절하여 형상을 수정한 모습 (a) 자동적으로 생성된 어깨 형상, (b) 키 타원의 위치를 조절하여 보다 자연스럽게 수정된 어깨 형상

절의 움직임에 따라 일어나게 된다. 이 방법에서는 주요한 근육을 스윙 곡면을 이용하여 근사하고 뼈와 피부와의 충돌이 일어나는 부분을 스윙 곡면을 이용하여 간단하게 감지함으로써 빠르고 쉽게 이러한 특징들을 흉내 낼 수 있다.

[그림 18]은 스윙 곡면들을 이용하여 팔 부분의 해부학적인 특징을 표현한 모습을 보여준다. 우선 이두박근을 근사하는 스윙 곡면을 생성하고 이를 팔꿈치 관절의 움직임에 따라 수축 또는 이완하게 함으로써 이두박근의 움직임을 표현하며, 팔꿈치 뼈와 팔꿈치 피부가 만나는 부분을 뼈매쉬와 팔꿈치 부분을 근사하는 스윙 곡면간의 충돌 감지를 통해 계산하여 뼈가 나온 부분만큼 해당하는 부분의 피부를 움직여 준다. 가슴 근육이나 다리의 근육, 정강이뼈의 돌출 등도 비슷한 방법을 통하여 쉽게 표현할 수 있다.

[그림 19]는 스윙 곡면을 기반으로 3차원 인체 형상에 애

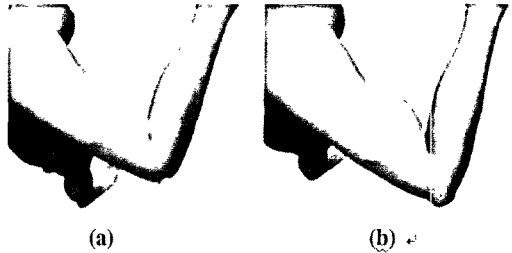


그림 18 해부학적인 특징을 표현한 모습 (a) 기본적인 방법을 이용하여 팔을 구부린 모습, 팔꿈치 뼈가 피부 바깥으로 나온 것을 볼 수 있다 (b) 스윙 곡면을 이용하여 이두박근의 수축과 팔꿈치 뼈의 돌출을 표현한 모습



그림 19 스윙 곡면을 이용하여 변형된 다양한 자세들



니메이션 데이터를 적용하여 만들어낸 다양한 동작들이다.

스윙 기반 형상 변형 방법은 총 72,712개의 정점들과 143,444개의 삼각형으로 이루어진 인체 형상의 모델에 적용한 결과 렌더링 시간을 포함하여 초당 7~8 frame의 속도를 나타내었다. 스윙 기반 방법은 그래픽스 하드웨어에서 지원하는 vertex blending 방식에 비해 약간 느린 속도를 보이고 있으나 다양한 형상 변형 및 제어를 위한 많은 기법들을 제공하며, 사용자의 직접적인 제어가 가능하다는 점에서 많은 장점을 가지고 있어 디자이너나 애니메이터들에게도 작업에 큰 효율성을 줄 것으로 기대된다. 또한 스윙 기반 형상 변형은 인체형상뿐만 아니라 다양한 가상 물체들을 변형하고 제어하기 위한 도구로 확장할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 컴퓨터 그래픽스, 애니메이션 및 3차원 컴퓨터 게임분야를 포함한 다양한 산업분야에서 중요하게 사용되고 있는 3차원 인체형상 데이터에 대한 활용기술을 소개하였다. 3차원 인체형상 데이터로부터 관련 산업에서 필요로 하는 3차원 인체 치수를 측정하는 기술과 3차원 인체형상 데이터의 형상변형 기술에 대하여 소개하였다. 고정 밀도의 고속 스캔 장비는 앞으로도 획기적인 발전을 거듭할 것이며, 더욱 더 정밀한 3차원 형상 데이터를 쉽게 얻을 수 있게 될 것이다. 이처럼 급속도로 발전하는 하드웨어와 더불어, 3차원 형상 데이터에 대한 처리기술 및 관련 응용기술의 개발은 점점 더 중요하게 될 것이다. 최근 국내외에서도 이런 3차원 인체형상 데이터를 활용하는 많은 연구사업들이 진행 중이며(15, 16) 앞으로도 이러한 연구는 더욱 더 활성화 될 것으로 예상된다. 앞으로 3차원 인체형상 데이터는 인간 공학적 첨단디자인 산업, 의류 산업, 컴퓨터 그래픽스 및 애니메이션 등의 분야를 넘어서 모든 산업 분야에서 매우 중요한 위치를 차지할 것으로 전망된다. 본 논문에서 소개된 기술의 대한 자세한 내용은 참고 문헌들을 참고 하기 바란다.

#### 참 고 문 헌

- 산업자원부 기술표준원. "3차원 인체형상 데이터 관리 및 정보화 시스템 개발" 2001~2003.
- Dong, F., Clapworthy, G., Krokos, M. & Yao, J., (2002). An anatomy-based approach human muscle modeling and deformation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 8(2), 154-170, 2002.
- Scheepers, F., Parent, R., Carlson, W. & May, S. (1997). Anatomy-based modeling of the human musculature. *ACM Computer Graphics(Proceedings of SIGGRAPH1997)*, 163-172.
- Wilhelms, J. & Gelder, A. (1997) Anatomically based modeling. *ACM Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 1997)*. 173~180.
- Allen, B., Curless, B. & Popovic, Z. (2002). Articulated Body Deformation from Range Scan Data. *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2002)*. 612~619.
- Allen, B., Curless, B. & Popovic, Z.(2003). The space of human body shapes, reconstruction and parametrization from range scans. *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2003)*, 587~594.
- Mohr, A. & Gleicher, M. (2003). Building efficient, accurate character skins from examples. *ACM Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2003)*, 562~568.
- Lewis, J., Cordner, M. & Fong, N.(2000) Pose space deformations, a unified approach to shape interpolation and skeleton-driven deformation. *ACM Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2000)*. 165~172.
- Kry, P., James, D & Pai, D., Eigenskin.(2002) Real time large deformation character skinning in hardware. *In Proceedings of ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*, 153~160.
- Wang, X. & Phillips, C. (2002). Multi-weight enveloping: Least-squares approximation techniques for skin animation. *In Proceedings of ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation 2002*, 129~138.
- Hyun, D.-E., Yun, S.-H., Kim M.-S. & Juttler. B.(2003). Modeling and deformation of arms and legs based on ellipsoidal sweeping. *In Proceedings of Pacific Graphics 2003*, 204~212.
- Hyun, D.-E., Three-dimensional shape modeling based on affine spline motions, PhD Thesis, 2004.
- Katz, S., & Tal. A.(2003). Hierarchical Mesh Decomposition Using Fuzzy Clustering and Cuts. *ACM Transactions on Graphics*. 22(3).
- Tae-Ick Chang, Joo-Haeng Lee, Myung-Soo Kim, & Sung Je Hong (1998). Direct Manipulation of Generalized Cylinders based on B-spline Motion *The Visual Computer*, 14(5), 228-239, Springer-Verlag, November.
- 제5차 한국인인체 치수조사 사업(Size Korea). <http://www.sizekorea.or.kr>
- CAESAR Project. <http://www.sae.org/technicalcommittees/caesarhome.htm>

Tecmath AG. <http://www.hs-tecmath.com>  
Cyberware Inc <http://www.cyberware.com>  
A. Aubel and D. Thalmann. Interactive modeling of the human musculature. In Proceedings of Computer Animation 2001.  
Chadwick, J., Haumann, D. & Parent. R.(1989). Layered construction for deformable animated characters ACM Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 1989), 243~252.  
Botsch, M. & Kobbelt, L.(2003). Multiresolution surface representation based on displacement volumes. *Computer Graphics Forum*, 22 (3), 483~491.  
Sand, P., McMillan, L. & Popovic, J.(2003) Continuous capture of skin deformation. *ACM Transactions on Graphics* (Proceedings of SIGGRAPH 2003), 578~586.  
Sloan, P., Rose, C. & Cohen. M. (2001). Shapes by example. In Proceedings of ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics 2001, 135~143.  
Starck, J., Collins, G., Smith, R., Hilton, A. & Illingworth, J.(2002). Animated statues. *Machine Vision and Applications*, 14(4), 248~259.

---

### 윤승현

한양대학교 수학과(학사)  
현재 서울대학교 전기컴퓨터 공학부(석 박사 통합과정)

---

---

### 현대은

포항공과대학교 컴퓨터공학부(학사, 석사)  
포항공과대학교 컴퓨터공학부(석사)  
서울대학교 전기컴퓨터 공학부(박사)  
현재 삼성전자 디지털미디어 총괄(책임연구원)

---

---

### 김명수

서울대학교 수학교육학과(학사,석사)  
Purdue University, 수학과(석사)  
Purdue University, (MS, Computer Science)  
Purdue University, (Ph D, Computer Science)  
포항공과대학교 전자계산학과 조교수, 부교수  
현재 서울대학교 컴퓨터공학부 부교수, 교수  
현재 서울대학교 컴퓨터연구소 소장

---