

근육 변형 및 인체 모델링에 관한 연구

이 환용 김명수 박찬모
포항공과대학 전자계산학과

Study on Muscle Deformation and Human Body Modeling

H.Y. Lee M.S. Kim C.M. Park
Dept. of Computer Science, POSTECH

ABSTRACT

Recently, human body modeling with muscle deformation has become an attractive research area in computer animation. There are many modeling tools available for solids such as mechanical part. However, there are many limitations of these conventional methods in modeling flexible objects with delicate motions and shapes such as human bodies. In this paper we present a new modeling technique for human body with muscle deformation. Each muscle is represented as a generalized cylinder and its shape deformation is computed using simple algorithm. The human body is a union of muscles, bones, organs, etc. The modeling data are obtained from the information on the human anatomy. To demonstrate the feasibility of our method, we model several arm muscles and simulate the skin deformation. As a result we have obtained a realistic shape deformation.

1. 서론

인체의 외형 및 동작의 모델링은 인간공학, 체육학 등의 분야에서 오래전부터 폭넓게 연구되어 왔다. 최근의 컴퓨터 기술의 발달은 인체의 동작 및 외형의 모델링을 컴퓨터를 이용하여 수행하는 것을 가능하게 하였다. 이러한 컴퓨터를 통한 인체의 모델링은 컴퓨터 애니메이션뿐만 아니라, 인간이 이용하는 도구나 가구 등에 대한 인간공학적인 설계, 인간의 동선에 의거한 실내의 배치, 체육분야에서의 연구, 무용에서의 안무 등 여러 분야에서 아주 유용하게 사용되어질 수 있기 때문에 이에 대한 요구는 최근들어 급증하고 있는 추세이다. 결국 이러한 인체의 외형과 동작을 모델링하고 이를 연속된 영상으로 가시화 하기 위하여, 일반적으로 기하학적 데이터 처리 및 동작제어를 할 수 있는 애니메이션 소프트웨어가 요구된다. 현재 애니메이션 소프트웨어는 물체를 모델링하고 변환시키는 일련의 기능을 포함하고 있으나, 대상물의 외형이 복잡하고 그 움직임이 미묘한 경우에 있어서는 그 기능을 제대로 발휘하지 못하는 경우가 대부분이다. 따라서 디자이너의 지루하고 고된 단순노동에 의한 작업을 요구하거나 추가로 데이터 입력 및 영상합성을 위한 고가의 특수장비들을 요구하게 된다. 그 대표적인 예가 사람과 같은 살아 있는 동물의 애니메이션으로 현재의 기술 수준으로는, 자연스러운 움직임과 이에 따른 외형의 변화를 표현하는 것이 대단히 어려운 것으로 알려져 있다.

인체는 뼈, 근육, 각종기관 등 성질이 다른 여러가지가 결합한

복합적인 구성을 하고 있으며 동작자유도(degree of freedom) 또한 매우 높다. 일반적으로 100 이상의 자유도를 가지며 손가락 등을 제외하여 단순화 시켜도 60 이상이 된다. 따라서 외형의 변화나 움직임을 나타내는데 많은 어려움이 있다. 이러한 이유로 말미암아 인체의 동작을 자연스럽게 애니메이션하기 위해서는 해부학, 운동해부학, 동역학, 정역학, 심리학, 관상학, 로보틱스, 인공지능, 체육학 등의 지식이 포괄적으로 요구되며 [2], 실제로 상당한 부분의 단순화를 기본 가정으로 하고 있다. 인체 애니메이션의 최종 목표는, 입력이 고수준의 자연언어로 주어지면, 이로부터 동작의 경로, 자세 등에 대한 기하학적 데이터들이 자동으로 생성되고, 이에 필요한 각종근육의 작용을 분석하여 근육의 수축, 이완에 따른 외형변화를 계산하여 실시간에 영상화 해주는 시스템의 개발이다. 하지만, 컴퓨터의 계산 능력과 인체 모델링 기술 수준의 한계로 인하여 이제까지의 연구목표는 실제감이 있는 외형과 그 변형의 모델링, 자연스러운 동작의 표현, 고수준의 서술로 부터 상세한 동작의 자동생성 등에 국한되고 있다 [2]. 하지만 아직까지는 이러한 방법에 의하여 생성된 영상물이 디자이너가 직접 장시간에 걸쳐 수작업으로 제작한 영상물 보다는 좋지 않다는 평을 받고 있으며, 인체의 외형변화에 대한 연구는 아주 초보적인 단계에 머무르고 있는 실정이다.

인체의 동작을 모델링하는데는 세그먼트(segment)의 수를 최대한 줄이고 인체를 골격구조로(skeletal model) 간주하여 각 세그먼트를 직선이나 단순한 직육면체 또는 원기둥 정도로 표현하는 방법을 사용한다. 응용분야에 따라 그 정도의 표현으로 원하는 효과를 충분히 얻기도 하지만 의상 디자인 시스템과 같이 외형이 중요한 요소인 경우에는 현실감있는 외형을 요구한다. 인체의 외형을 모델링하려는 지금까지의 연구를 살펴보면, Korein과 Badler는 인체를 구의 집합으로 표현하였으며 [3], Evans는 타원체의 집합으로 표현하였다 [4]. 이러한 방법은 매우 간편하기는 하지만 실제감과는 거리가 있다. 이후에 Bezier Surface나 Bicubic Surface Patch등을 사용하는 방법이 개발되었다. 이방법의 대표적인 예로는 Abel의 영상물인 "BRILLIANCE" 가 있으며, 인체를 매우 실감나게 표현 하였다. 하지만, 이를 위하여 실제 사람으로부터 대량의 3차원 좌표 데이터를 추출, 처리하여야 했으며 매 동작의 변화에 대해서 디자이너의 장시간에 걸친 수작업이 요구되었다 [5]. 인체변형을 자동으로 구해내려는 연구로는 일종의 유한요소법(FEM)을 사용하는 방법이 많이 발표되었으나 [6,7,8] 유한요소법을 사용하기에는 인체가

비균일적이고 매우 복잡한 변형을 하기때문에 이러한 방법으로는 한계가 있다. 따라서 이러한 방법에 의한 모델링 결과도 역시 만족스럽지 못하다. 최근에는 인체의 모델링을 위한 패키지들이 소수 발표되었으나[9]. 앞에서 언급한 연구의 수준을 크게 벗어나지 못하는 실정이다.

앞에서 살펴 본바와 같이 인체를 간편하게 모델링하고, 또한 그 변형을 현실감나게 계산해 낼 수 있는 효율적인 기법의 개발은 작업시간을 절약하고, 그 효과를 극대화 시켜주는 효과를 가져다 준다. 따라서, 이에 대한 체계적인 연구가 절실히 요구된다. 본 연구에서는 Generalized Cylinder를 이용하여 근육을 모델링하고 이로부터 인체동작에 따른 외형변화를 계산해 내는 기법을 소개한다. 또한 이러한 접근 방법의 타당성을 보이기 위하여 근육의 변화가 가장 두드러지게 나타나는 팔의 근육을 이상의 방법으로 모델링하고 팔의 굴절운동에 따라 변화하는 팔의 외형변화를 IRIS 그래픽스 워크스테이션에서 애니메이션으로 구현하였다.

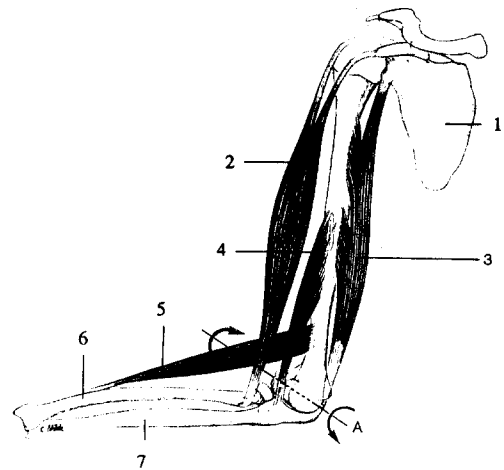


그림 1. 상완의 근육과 주관절

1. 견갑골 2. 상완이두근 3. 상완삼두근
4. 상완근 5. 완요골근 6. 요골 7. 척골

Fig. 1. Muscles and Joint in Brachii

1. Scapula 2. Biceps brachii 3. Triceps brachii
4. Brachialis 5. Brachioradialis 6. Radius 7. Ulna

2. 인체연구 및 모델링 기법

팔은 크게 어깨쪽에 붙어 있는 부분인 상완과 손부분인 전완으로 나누어 지고, 해부학적으로는 뼈, 근육, 혈관 및 림프관, 신경등으로 구성되어 있으며, 이들의 상호작용으로 운동을 생성하며 외형의 변화를 만들어 낸다.

팔을 구성하는 주요 골격은 상완에 붙어 있는 상완골과 전완에 붙어 있는 요골 및 척골이다. 성인의 상완골의 크기는 약 27 ~ 29.5 cm 정도로 장축에 대해 150 ~ 160도의 비틀림을 가지고 있다. 요골은 전완을 구성하는 두개의 뼈 중에서 엄지손가락 쪽에 붙어 있는 뼈로 길이는 20 ~ 22 cm 정도이고, 척골은 길이 22 ~ 24 cm 의 뼈로 전완의 내측에 위치한다. 여기서, 한가지 특이한 뼈의 움직임은 전완을 회전시키면 요골과 척골이 서로 교차하게 된다는 것이다. 이것은 로봇트 제어(robot control) 에서의 각 관절의 모터 제어(motor control)과는 상당히 다르다.

상완의 근육은 주관절을 굴곡시키는 굴근과 신전시키는 신근으로 구분되며, 여기에는 상완이두근, 상완근, 오렛완근, 상완삼두근이 있다. 전완 역시 굴근과 신근으로 구분되며 다수의 근육이 있다. [그림 1]은 상완의 주요 근육과 뼈의 위치와 모양을 나타낸 것이다[10].

팔의 외형을 결정하는데 있어서 가장 큰 영향을 주는 것은 무엇보다도 이 뼈와 근육이며, 일반적으로 뼈는 강체로 간주되어 정확한 외형 및 운동의 축과 방향등을 정확히 구해 주어야하며, 근육에 있어서는 외형 및 위치뿐만 아니라 운동에 의해 발생하는 변형을 구해 주어야 한다. 근육 변형은 미시적으로는 액토미오신이라는 단백질로 구성된 근섬유의 수축과 이완작용에 의하여 발생하게 되며, 기본적으로 근육의 길이가 감소함에 따라 두께는 증가하게 되어 있다. 근육의 성질이 고무와 같은 성질을 가졌다고 가정하였을때, 길이의 변화와 두께의 변화는 체적을 유지시키면서 변화한다고 본다. 그러나 근육의 변형을 고무와 같이 단순히 근육의 변형을 길이변화의 비율에 의해서 구해낼 수 있는 것만은 아니다. 예를 들면 팔의 위치를 변화시키지 않고도, 즉 근육의 전체 길이를 변화시키지 않고도 근육을 수축시켜 변형을 만들어 낼 수 있다. 이것은 역학적인 측면에서 보았을때 시스템 외부에서의 영향이 전혀 없이도 내부에 에너지를 축적할 수 있음을

의미하며 이것은 변형을 모델링하는데 있어서의 가장 큰 어려움중의 하나이다. 일반적으로 근육변형을 모델링하기 위하여 각 근육을 망(mesh) 형태 등으로 나누어 유한요소법 등의 방법을 사용하게 되는데, 각 요소를 질량스프링-댐퍼(mass-spring-damper) 시스템으로 모델링 하는 경우에 있어서 규명하기 힘든 내부의 에너지 축적은 유한요소법을 사용하는데 많은 제약이 된다. 또한 인체가 단일 물질이나 단일체로 이루어진것이 아니므로 더더욱 유한요소법의 적용은 힘들어진다. 또한 팔꿈치와 같이 근육과 뼈, 피부가 외형에 미치는 영향이 팔의 굴곡각에 의해 판이하게 달라지는 경우에 있어서는 이와같이 단순한 방법으로는 이를 표현할 수가 없다.

인체에 대하여 물리적 내지는 역학적으로 완전한 모델이 존재하지 않음은 일반적으로 많은 사람들이 공감하고 있다. 하지만 인체를 표현하는데 있어서 현재 사용되는 많은 모델링 기법이 물리적인 모델링을 하기에는 부적합할 뿐만 아니라 사용자가 직접 수작업을 통하여 모델링 하고자 하여도 매우 불편한 점이 많다. 따라서 인체를 표현하는 새로운 모델링기법의 개발이 요구된다.

지금까지의 대부분 연구들은 인체를 모델링하는데 있어서 내부의 해부학적인 구조에 대한 고려가 전혀 없이 팔, 다리 등을 기본 관절 단위로 하여 외형과 그 변형을 구하는 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 이와는 달리 뼈, 피부, 근육 등의 구성요소들 및 이의 상호작용을 개별적으로 따로 처리해주는 방법을 사용하였다.

근육은 그 모양에 따라서 방추상근, 이두근, 삼두근, 사두근, 이복근, 다복근, 다미근, 거근, 우상근, 반우상근, 반건양근, 판상광근, 윤근으로 구분 될 수 있으며, 우상근과 윤근을 제외하고는 대부분 힘의 방향을 따라서 근섬유가 배치되어 있다. 실제로 근육의 구조는 매우 복잡하여 이를 단순화 시키는데 많은 문제점이 있으나, 결국 외부에 나타나는 외형만을 감안한다면

단순화 시켜도 그 결과에는 큰 무리는 없을 것이다. 또한 이두근, 삼두근, 사두근은 다수의 방추상근으로 간주 할 수 있으며, 경우에 따라서는 하나의 방추상근으로 단순화 시켜도 무방한 경우가 많다. 특히 팔에 있는 근육은 대부분 방추상근이거나 아니면 방추상근으로 단순화 시켜도 무방한 이두근 혹은 삼두근이다. 이런점을 감안하여 근육을 변형된 Generalized Cylinder 를 사용하여 나타낸다.

Generalized Cylinder는 임의의 2 차원의 단면을 임의의 경로를 따라 크기, 방향을 변화 시키면서 움직일때 그 자취가 이루는 입체이다. 각종 입체의 모델링에 있어서 상당히 편리하고 유용하게 이용될 수 있다[1].

3. 자료구조

근육의 자료구조는 근육의 특성에 맞게 Generalized Cylinder를 약간 변형하여, 경로는 연속적인 함수로 주어지는 것이 아니라 몇개의 점으로 주어지고, 2차원의 단면의 모양을 타원으로 제한 하였으며, 이 타원의 방향은 임의의 벡터가 될수 있도록 하였다. C 언어 형태로 작성한 근육의 자료구조는 다음과 같다.

```
typedef struct altong_disk
(
    float      z, twist, slope;
    float      a, b;
) Al_disk;

typedef altong_muscle
(
    float      length, start[3], end[3];
    int        start_disk, end_disk;
    float      start_ang, end_angle;
    Al_disk    disk[no_of_disks];
) Al_muscle;
```

각각의 근육은 no_of_disks 만큼의 타원에 의하여 정의되며, 근육의 위치는 앞으로 설명될 팔의 자료구조와 연관되어 해부학적 사실에 근거하여 정해진다. 근육을 구성하는 각 disk 즉 타원은 일단 모든 근육은 원점에서부터 z 축 방향으로 진행한다고 가정할때 z 축을 기준으로 시계방향으로 회전시킨 각도가 twist 이고 x-y 평면과 타원이 이루는 평면이 이루는 각도가 slope 이다. a,b 는 타원의 장,단축의 길이가 되며, z 는 disk 의 길이방향의 위치이다. 이 자료구조는 물체를 생성해 내는데 매우 편리 할뿐만 아니라, 근육의 운동을 표현하는데 매우 충실하다. 예를 들면, 전완의 회외및 회내운동에 대하여 근육은 twist 각이 변화게 되며, 근육이 붙어 있는 방향에 따라서 slope가 결정된다. 실제로 이 자료구조가 사용될 때에는 필요에 따라 3차 스플라인을 사용하여 연속되게 만들어 준다. 또 타원으로 구성되어 있으므로 길이 변화에 따르는 근육 변형은 각 타원의 장,단축의 길이와 위치를 변화시키는 방법으로 구해진다. [그림 2]는 근육자료구조를 이용한 결과로 slope, twist, a, b를 변화 시킴으로써 얻어지는 입체를 나타낸다.

뼈는 강체로 간주할 수 있으므로 변형을 고려할 필요가 없다. 따라서 기존의 강체 모델링기법을 그대로 사용하거나, 근육의 자료구조를 이용하여 표현할 수도 있다.

피부는 실제로 그래픽으로 표현되는 부분으로 근육및 뼈가 주는 영향을 잘 반영하여 이를 표현할수 있도록 고려되어야한다. 이를 위하여 근육과 마찬가지로 Generalized Cylinder 의 개념을 사용한다. 하지만 팔의 경우는 타원으로만 표현하기에는 너무 큰 제약이 따르므로, 타원에서의 disk를 star shaped polygon 으로 확장하여 사용한다. 각 star shaped polygon 의 중심은 팔의 segment 중심이며 여기에는 해당되는 모든 회전축이 지나간다. star shaped polygon 의 자료구조는 중심을 기준으로 시계 방향으로 돌아 가면서 10 도마다 중심으로부터의 거리를 저장한다. 초기에는 이 값들이 충분히 작은 값으로 되어 있으며, 근육이나 뼈에 따라서 그 값이 커진다.

이 피부의 자료구조는 곧 팔의 자료구조가 된다. 팔의 자료구조는 먼저 구성되어 있는 segment (전완 과 상완) 로 되고 각 segment 는 위치와 굴곡 (slope), 회내 (twist) 의 각도를 가진다. 또 실제 피부를 나타내는 star shaped polygon 의 행렬을 가지고 있다.

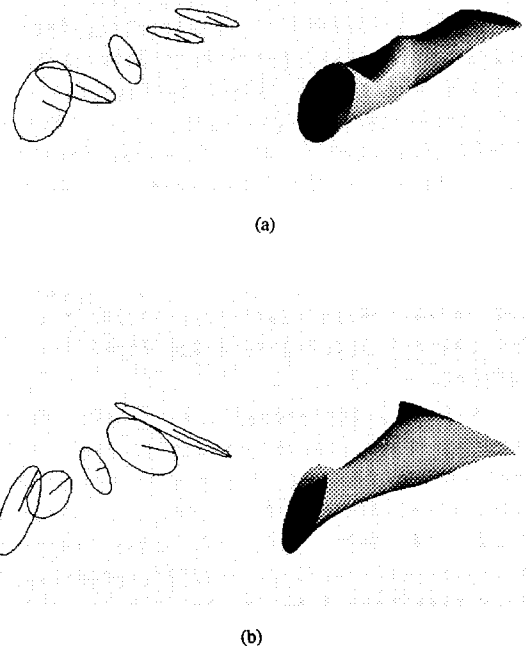


그림 2. 근육의 자료구조를 이용하여 표현한 입체

(a) slope를 변화 (b) twist를 변화

Fig. 2. 3D objects Using Muscle Data Structure

(a) variation of slope (b) variation of twist

이들 C type 으로 표현하면 다음과 같다.

```

typedef struct altong_star
(
    float      z, twist, slope;
    float      a, b;
    float      r[37];
) Al_star;
typedef altong_segment
(
    float      length, start[3], end[3];
    float      twist, slope;
    int        n_star;
    Al_star    star[no_of_star];
) Al_segment;
typedef altong_arm
(
    Al_segment    upper;
    Al_segment    down;
) Al_arm;
    
```

이와 같은 팔의 자료구조의 장점은 그래픽으로 표현하기가 비교적 용이하며 근육의 변형을 쉽게 반영시킬 수 있을 뿐만 아니라, 전완의 회내, 회외 운동에 대하여 별다른 고려 없이 피부의 위치가 자동적으로 유도될 수 있다는 것이다. 또한 동역학적인 기법을 사용하기 위하여 요구되는 각종 물리적 자료를 추출하는데 있어서도 몇 가지 장점을 가지고 있다. 즉, Surface Patch로 다면체를 표현 하였을 경우 무게중심을 구하기 위해서는 특별한 알고리즘이 요구되나, 이 방법으로는 쉽게 근사적으로 부피, 무게중심등을 구하여 낼 수 있다. 경우에 따라서는 근육, 뼈 등을 분리하여 계산함으로써 좀더 정확한 값을 얻는 것도 가능하다.

4. 알고리즘

앞의 자료구조를 이용하여 인체의 외형을 구하는데 여러가지의 알고리즘들이 요구된다. 우선, 팔이 굽혀지고 비틀린 정도와 근육들의 자료로부터 근육들의 변형과 외형을 구하는데 필요한 근육의 시작과 끝의 위치, 길이, 영향을 미치는 팔의 disk들의 위치등의 구하는 알고리즘이 필요하다. 이는 일련의 변환과정을 통하여 얻어진다. 그 다음으로는 실제로 근육의 모양을 결정하는 알고리즘으로, 타원들로부터 전체의 상세한 외형을 구하기 위하여 3차 스플라인(Cubic Spline)을 사용하며, 변형은 앞에서 구해진 정보등을 입력으로 하여 근육을 이루는 각 타원들의 a,b,z 의 값을 변화 시켜 주는 함수로 정의 된다. 이 함수는 사용자가 임의로 작성한 함수를 근육에 대해 선택적으로 사용되어 질 수 있다. [그림 3]은 근육변형을 나타낸 것으로, 원래의 근육 (a)로부터 (radius = radius / 근육길이 변화의 비)의 함수에 의하여 변형 (b)를 구해내고 이로부터 길이의 변화없이 각 디스크를 중앙으로 모아주는 수축작용으로 (c)가 만들어 지는것을 보여준다.

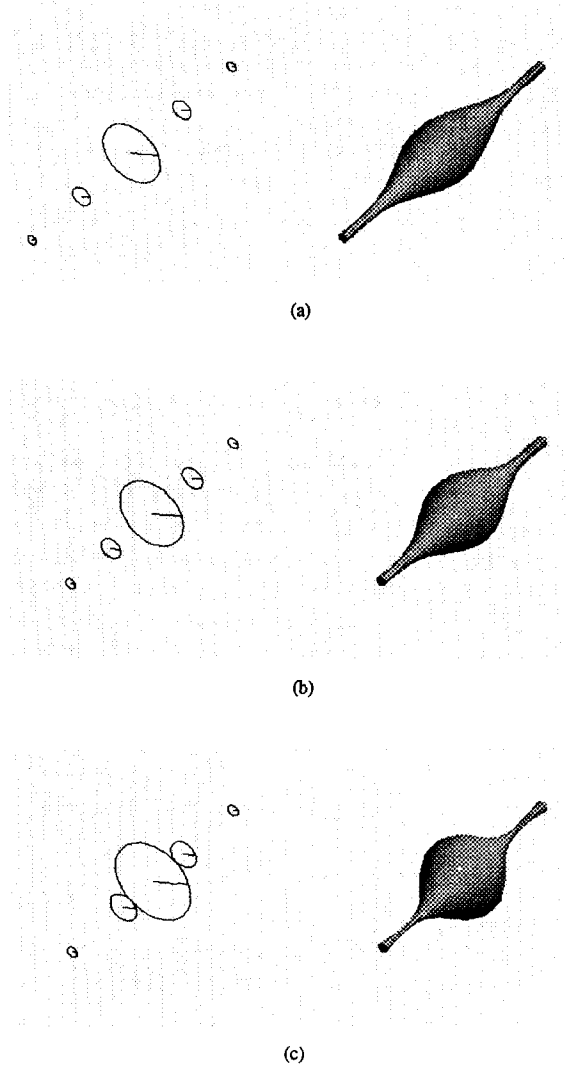


그림 3. 근육의 변형
Fig. 3. The Muscle Deformation

앞에서 얻어진 근육의 외형과 뼈 및 기타 기관들로부터 실제 외형인 피부의 변형을 구하는 알고리즘(swelling algorithm)이 요구된다. 이 알고리즘이 하는 일은 star-shaped polygon 으로 이루어진 피부의 disk를 변화 시켜 주는 것으로, 피부가 입력된 근육을 포함하도록 피부를 부풀려 주는 일을 한다. [그림 4]는 swelling algorithm 의 결과를 나타낸 것으로 아래쪽의 피부의 disk가 위쪽의 근육에 의해서 그 형태가 초기의 원에서 근육을 포함하는 star-shpaed polygon으로 바뀌었음을 알수 있다. 알고리즘을 살펴보면,

```

function swelling (arm, muscle)
// arm and skin are generalized cylinders. Each disk of arm is
// a star shaped polygon, and disk of muscle is an ellips //
1) get  $Mm \times Mn$  surface point vector array
   from the muscle;
2) for (  $Darm$  ; all the disks in arm )
3)   get plane equation of  $Darm$ 
4)   cut the muscle with a plane
      and get its cross section as
      a star shaped polygon ;  $Star$ 
5)   for ( about all angles in disk )
6)     get the point in  $Star$ 
        maximizes the distance from
        the center of disk
7)     update the radius of angle in  $Darm$ .
end function

```

타원들로 이루어진 근육으로부터 길이 방향으로 Mm 개, 타원을 따라 시계방향으로 회전 하면서 Mn 개 로 나누어 $Mm \times Mn$ 개의 점을 추출한다 1). 팔의 각 disk에 대하여 disk 가 이루는 평면과 근육과 만나는 단면을 구해 이를 다시 star-shaped polygon으로 만들고 2),3),4), 이 star-shaped polygon과 팔의 disk를 비교하여 합집합(Union of two polygon)을 구한다. 위의 알고리즘은 시간복잡도가 대략 $O(A * \log(Mn))$ (A ; 결과로 나오는 팔위의 점의 수) 정도로 상당히 효율적임을 알 수 있다.

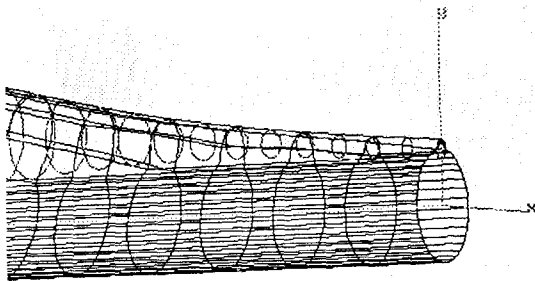


그림 4. Swelling Algorithm의 결과
Fig. 4. The Result of Swelling Algorithm

5. 구현 및 결과

앞에서 논의한 자료구조를 기초로 하여 팔의 근육과 뼈의 운동으로부터 피부의 변형을 구해내어 이를 그래픽으로 출력하여주는 소프트웨어를 IRIS 4D/80GT 시스템에서 GL Library를 사용하여 개발하였다. 여기에는 근육 외형 모델링 도구 (Muscle Shape Editor), 뼈 외형 모델링 도구 (Bone Shape Editor), 근육 위치 결정 도구 (Muscle Position Editor), 근육과 뼈로부터 인체를 만들어 내는 도구 (Sweller), 출력도구 (Output tool)가 포함된다.

Muscle Shape Editor 는 근육의 모양을 편집하는 도구로서 근육 자료구조를 이루는 각 disk 들의 장축,단축, slope, twist 각도, 위치 등을 Dial 입력을 통하여 대화형으로 조절하여 준다. 이렇게 하여 얻어진 근육을 출력하는 방법은 3차 스피라인을 사용하여 disk 들을 보간한 후 이 disk 들로부터 표면위에 있는 점들의 위치를 구해 내고 이를 [그림 2]와 같이 Wire Frame 모델이나 Surface 모델로 선택적으로 출력해준다. 또 여기에는 근육 변형을 실험해 볼 수 있는 도구가 있어서 사용자가 만든 근육의 변형을 즉시 관찰할 수 있다.

뼈의 모양을 편집하는 도구로는 현재 뼈의 자료구조가 특별하게 결정되어 있지 않으므로 Muscle Shape Editor 를 그냥 사용하든지 아니면 다른 종류의 3차원 그래픽 도구를 사용할 수도 있다. 하지만, 다른 종류의 도구를 사용할 때에는 그 도구가 충분히 많은 표면의 점들의 좌표를 Sweller에 제공하여 줄 수 있어야 한다. 근육은 뼈에 부착되며 그 부착되는 위치는 곧바로 근육의 길이를 결정하게 되므로 근육변형에 있어서 근육의 위치는 매우 중요한 역할을 한다. 기본적으로 팔이 star shaped polygon들의 집합으로 정의되어 있으므로 근육이 부착되는 위치 역시 이에 맞추어, 부착되는 disk, 중심에서의 거리, slope, twist 등에 의해 정의된다.

Sweller는 각종 Editor들로부터 입력된 근육의 데이터를 이용하여 실제로 팔을 만들어 내는 Routine 으로, 팔의 초기 상태는 아주 가는 고무파이프로 간주될 수 있으므로, 맨 처음 부풀리는 물체는 반드시 피부에 영향을 주게 된다. 초기 피부 데이터에서 주목할것은 [그림 5]과 같이 팔의 굴곡각을 피부데이터의 각 disk의 slope에 균등하게 분배해준다. 이렇게 해줌으로써 기존의 방법들이 관절 부분에서 갖는 표현의 한계를 극복할 수 있다.

일반적으로 sweller를 거친후의 팔의 모양은 상당히 거친 모양으로 된다. 그것은 팔의 surface patch의 밀도가 낮기 때문인데, 이를 해결하기 위해 일련의 후처리 과정을 거친다. 여기에는 보간법등이 사용되며 또한, 각 disk 가 심하게 거친 경우에는 각 disk 의 convex polygon 을 구해서 이 polygon 과 원래의 star shaped polygon 간의 중간값을 구해서 출력함으로써 부드럽게 정리된 외형을 얻을 수 있다. 위의 후처리 과정이 끝나면, 출력은 화면으로 [그림 6]과 같이 Wire Frame 이나 Surface Model 로 출력한다. 범용의 그래픽스 패키지와 호환을 고려하고 있으며 현재는 Alias 사의 Quick Modeller 형태로 출력 할 수 있도록 하였다.

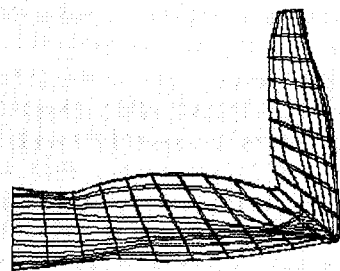
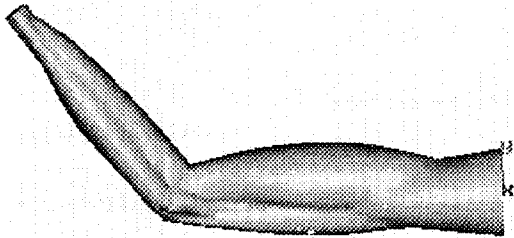


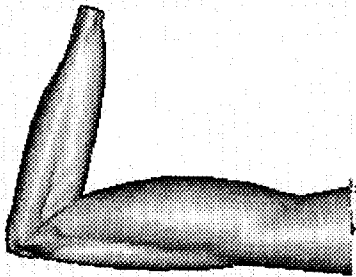
그림 5. 굴곡각의 분배
Fig. 5. Distribution of flexion angle

6. 결론

결과 그림을 보면 알 수 있듯이 6개의 근육만으로 팔의 근육구조를 모델링한 비교적 간단한 결과 인데도 실제 팔과 상당히 유사하게 나타남을 알 수 있다. 또 다른 장점은 실제 팔이 가지는 여러가지 특성들을 효과적으로 잘 표현해 준다는 것이다. 예를 들면 팔의 피부에 texture mapping을 전완의 회외와 회내에 대하여 효과적으로 수행할 수 있으며, 기존의 방법들에서는 관절을 표현하는데 뼈의 돌출이나 안쪽의 주름 등의 표현에 많은 어려움이 따르는 것으로 알려져 있으나, 이 방법에서는 그러한 표현이 가능하며, 또 역학적인 계산에 필요한 각종 자료를 추출하는데도 유리하다. 효율면에서 보면, 여러개의 근육으로부터 전체의 외형을 구하는 swelling 알고리즘을 제외하고는 모두 실시간에 대화형으로 처리된다.



(a)



(b)

그림 6. 최종 결과로 출력된 팔

(a) 45도 굽힌 경우 (b) 100도 굽힌 경우

Fig. 6. The Arm as a Final Result

(a) 45 degree flexion (b) 100 degree flexion

현재의 근육변형 규칙은 단지 부피를 유지시키면서 근육전체의 길이 변화 비율에 따라 각 타원의 장,단축의 길이를 일정한 비율로 변환시키는 비교적 단순한 방법이다. 앞으로의 연구 방향은 이를 개선하여 좀더 실제와 가까운 변형규칙을 찾아 내는 것이다. 확실히 규명할수는 없으나 근육과 근육간의 충돌, 근육과 뼈와의 충돌이 외형의 변화에 영향을 주리라 생각된다. 더욱이 근육의 경로는 뼈의 모양에 의해서 많이 결정되고 변화하며, 이 경로의 변화는 길이 변화와 연관되어 근육 변형을 만들어 내므로 이에 대한 고려가 필요하다. 하나의 cylinder 가 여러개의 cylinder들로 분기되는 경우에 이 방법은 많은 제약을 가진다. 이를 해결하기 위한 방법을 찾는 것 또한 중요한 추후 연구과제 중의 하나이다.

참고 문헌

- [1] Foley, J., Van Dam, A., Feiner, S. and Hughes, J., *Computer Graphics: Principles and Practice*, Addison-Wesley, 1990.
- [2] Tom Calvert, *Human Figure Animation: Approached and Application*, Siggraph 1990 lecture note.
- [3] N.I. Badler, J. O'Rourke and H. Tolzis, "A spherical Representation of a Human Body for Visualizing Movement", *Proc. IEEE*, vol. 67, 1979
- [4] D. Herbison-Evans, "NUDES-2: A Numeric Utility Displaying Ellipsoid Solides", *Computer Graphics*, vol. 12, no. 3, 1978.
- [5] Robert Able and Associates, "The making of BRILLIANCE", *SIGGRAPH video review*, issue 20, ACM, New York, 1985.
- [6] Jean-Paul Gourret, N. M. Thalmann, D. Thalmann, "Simulation of Object and Human Skin Deformation in a Grasping Task", *SIGGRAPH Conference Proceedings*, Vol.23 No.3, 1989
- [7] John E. Chadwick, David R. Haumann, Richard E. Parent, "Layered Construction for Deformable Animated Characters", *SIGGRAPH Conference Proceedings*, Vol 23 No.3, 1989.
- [8] Sabine Coquillart, "Entended Free-Form Deformation: A Sculpturing Tool for 3D Geometric Modelling", *SIGGRAPH Conference Proceedings*, Vol.24 No.4, 1990.
- [9] Caren Potter, "The Human Factor", *Computer Graphics World*, March 1991.
- [10] 이 광호, *원색도해 해부학*, 범문사, 1986.
- [11] 김 종훈 외, *운동 해부학*, 교학연구사, 1984.