

유체 역학 기반의 가상 수족관 구축 기술

이 현 철, 윤 재 흥, 김 은 석, 허 기 택(동신대학교)

차 례

- I. 서론
- II. 관련 연구
- III. 가상 수족관 시스템 구축
- IV. 가상 물고기 및 해초 표현
- V. 구현 결과
- VI. 결론

1. 서론

80년대 이후 영화, 게임, 광고 등 각종 엔터테인먼트 사업 분야에서 성공적인 CG 적용에 힘입어 컴퓨터 애니메이션에서 물, 불, 폭발, 연기, 안개 등의 유체 표현 기술이 성공적으로 적용되어 왔으며, 이러한 노력은 애니메이션의 사실성을 높이는 데에 있어 크게 기여하고 있다. 특히, 유체 역학 기법의 적용을 통하여 다양한 유체 애니메이션의 효과를 생성하려는 시도가 활발히 시도되고 있으며, 그 결과 사실적인 유체 효과를 애니메이션 제작에 적용할 수 있는 수준에 이르고 있다. 물과 같은 유체 역학 이외의 물리 기반 애니메이션 분야도 다양한 연구가 진행되고 있으며, gas와 같이 기체의 성격을 갖는 폭발이나 화염과 같은 특수효과 제작에 적용하는 기법으로 진행되고 있다.

유체 표현 기술은 크게 모델링(Scene Representation), 시뮬레이션(Simulation), 형상화(Reconstruction), 렌더링(Rendering)으로 구성된다. 모델링은 시뮬레이션의 대상이 되는 외

부 물체를 시뮬레이션 방법에 적합한 형태로 재구성하는 과정을 말한다. 시뮬레이션은 유체의 움직임을 설명하는 수식을 사용하여 유체의 움직임을 계산하는 작업을 의미하고, 형상화는 물과 같이 외형을 갖고 이를 유지하는 유체에 대해 시뮬레이션 결과로부터 외형을 계산해내는 과정을 말한다. 렌더링은 점, 면 또는 임의의 함수 형태로 구성된 유체와 빛, 그림자 등의 외부 환경 사이의 조건으로부터 최종 영상을 생성하는 과정을 의미한다[1].

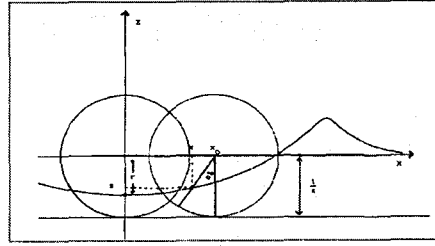
여러 형태의 유체 중 물 또는 그와 유사한 형태의 유체는 애니메이션 제작에 있어 매우 활용도가 높고, 그 적용범위가 상당히 넓다. 따라서 사용자가 직관적으로 사용하기 쉬운 유체 시뮬레이션에 대한 소프트웨어의 개발은 필수적이라 할 수 있다. 그러나 유체 역학 기법을 적용하여 유체 효과를 생성하는데 있어 물은 연기나 gas와 같은 형태의 유체보다 시뮬레이션 하는데 구현하기 어렵고, 과도한 수치적 분산 문제를 해결해야 등 자연스러운 유체를 표현하기 위해서는 많은 노력과 시간이 필요로 하는 기술적 난이도가 높은 기

술 중 하나이다.

본 논문에서는 유체의 사실적인 표현 기법에 대한 연구 동향을 살펴보고, 이러한 유체 표현 기법을 이용한 가상 수족관 구축 방법을 설계하였다. 본 논문에서 제안하는 방법은 유체의 물리적인 성질을 통하여 가상 수족관내 물이나 물의 흐름을 자연스럽게 표현하고 이를 제어하는 방법을 제시하였다. 또한 Spring-mass 모델 기반의 가상 물고기와 해초를 표현하여 실감 있는 가상 수족관이 될 수 있도록 유체 역학 기반의 가상 수족관 시스템 구축 방법을 제안하였다.

2. 관련 연구

최근 수년간 다양한 형태의 유체에 대하여 물리 기반 시뮬레이션 기법에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 처음 해수면 표현에 대한 연구가 시작된 것은 1980년대 초반에 해석학적 함수들로 파도를 모델링 하였고, 주로 Height Field를 사용해 표현하였다. 1986년 Fournier와 Reeves는 해수면의 움직임이 일련의 원 또는 타원 운동을 수행하는 입자들에 의한 것 이라는 Gerstner 모델을 도입하여 해수면을 표현하였다[5]. Miller와 Pearcel은 제한된 영역에서 상호작용 힘을 가진 단순 입자 시스템 모델을 제시하였다. Luciani는 유사 입자 시스템 모델을 전개하였고, Damped Nonlinear springs을 사용하였다[12]. Li와 Moshell은 입자로 된 물질에 대한 Mohr-Coulomb 구성 모델을 기본으로 흡을 이용하여 역동적인 Height Field 시뮬레이션을 제시하였다[11].



▶▶ 그림 1. Gerstner 모델

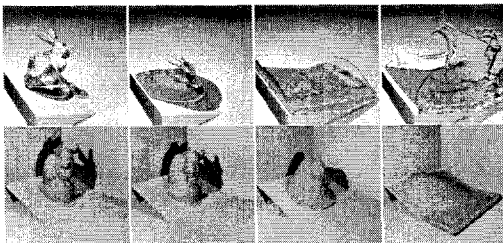
Desbrun과 Cani은 입자 그 자체만을 사용하여 점성을 가진 유체 흐름 시뮬레이션을 발표하면서 Smooth Particle Hydro-dynamics을 소개하였다[4]. 최근에 Onoue와 Nishita은 이것을 3차원 효과를 내면서, 다중 가치를 가진 Height Field로 확장시켰다[14].

그러나 일반적인 유체 표현 기법은 그리드(Grid)를 사용한 물 애니메이션에 대한 연구들이 더 많이 진행되고 있다. Foster와 Metaxas은 그 래픽에서 처음으로 그리드를 바탕으로 한 완전 3차원 물 시뮬레이션을 개발하였다[7]. Foster와 Fedkiw 등은 유체 역학에서 사용되는 대표적 이론인 Navier-Stokes 방정식을 컴퓨터 애니메이션 분야에서의 적용에 적합한 형태로 풀어내어 물과 같은 유체의 흐름을 계산할 수 있는 효과적인 방법을 제안하였다[6]. Stam은 기존의 시뮬레이션 방법들의 계산 과정에서 야기되는 불안정성을 해결하기 위하여 Semi-Lagrangian 기법을 이용하여 연기에 대한 시뮬레이션 기법을 제안하였다[15]. Fedkiw은 이러한 시뮬레이션 기법을 연기의 시뮬레이션에 적용하고 그 흐름을 제어할 수 있는 기법을 제시하였다[5]. Carlson은 유체 시뮬레이션과 강체(Rigid) 시뮬레이션의 커플링(Coupling)을 만들어 냈다[3]. Terzopoulos는 단순한 1차원의 모델을 자신들의 스프링(Spring)에 적용하면서, 물리학에 바탕을 둔 에

니메이션에 유연성(Plasticity)을 처음으로 소개하였다[16]. Goktekin는 탄성력을 추가시켜 Water Solver의 유연한 흐름을 연관시켜 비 뉴턴적(non-Newtonian) 유체에 대한 애니메이션을 가능하게 하였다[9]. Kothe와 Brackbill는 FLIP(Fluid Implicit Particle)를 압축할 수 없는 유체에 적용시키려는 연구를 하였다. 또한 압축할 수 있는 FLIP은 탄성을 가진 유연한 한정 요소 공식인 Material Point Method로 확대 사용하였다[10].

유체의 움직임을 제어하는 연구는 Foster와 Fedkiw가 격자 셀에 속도 값을 정해 유체의 흐름을 제어하는 방법을 제시함으로써 활기를 띠기 시작했다[6]. 그 후, Stam과 Zoran Popovic는 키 프레임 방식을 통해 연기의 시뮬레이션을 제어했다.

Yongning Zhu, Robert Bridson은 물리학을 기반으로 유체처럼 작용하는 모래 애니메이션의 시뮬레이션 방법을 제시했다[17]. 다음 [그림 2]는 Zhu와 Bridson이 표현한 물과 모래 시뮬레이션 결과이다.



▶▶ 그림 2. 물과 모래 시뮬레이션

3. 가상 수족관 시스템 구축

3.1 가상현실의 실재감

가상환경이나 가상현실 시스템은 사용자로 하

여금 실재하지 않는 환경을 실재하는 것처럼 제공하여 어떤 체험을 하거나 어떤 작업을 성공적으로 수행할 수 있도록 한다. 이러한 경험을 실재감(Sense of Presence) 또는 현장감이라고 일컬으며, 가상현실 시스템의 완성도를 표현하는 척도가 될 수도 있다. 이러한 이유로 가상환경, 가상현실 시스템은 사용자에게 실재감을 느낄 수 있도록 적절한 조건을 조성해 주어야 하고, 이를 위해 실재감 및 실제적인 기법의 평가에 이르기까지 실재감 있는 환경을 조성할 수 있는가에 대한 연구가 필요하다.

3.2 가상 수족관

세계 최초의 수족관은 1830년 프랑스의 보르도에 처음 만들어진 것으로 알려져 있으나, 1853년 영국의 런던공원에 설치된 유리 수조를 이용한 피시하우스(Fish House)를 최초로 보는 사람이 많다. 영국의 윌리암로이드(William Loyd)가 1860년 물을 순환시키는 방법을 개발하여 지금과 같은 순환식 구조가 등장했다.

가상 수족관은 임의의 가상공간에서 자유롭게 행동하는 여러 종류의 물고기를 만들고, 동작을 분석하여, 물고기 애니메이션의 기본 동작 패턴으로 정의하는 작업을 수행한다. 가상수족관에 있는 가상 물고기는 3차원 가상공간에서 움직이면서 마치 진짜 물고기처럼 자연스럽게 움직이고 살아있는 것처럼 반응한다. 개발자들은 물고기 표면의 곡선과 재질, 유영속도와 방향 같은 변수들을 고려한 계산을 통해 유체의 흐름과 물고기들이 물속에서 작은 소용돌이를 계속 일으키며 그 수압의 변화로 인해 앞으로 나아가는 소용돌이 발생 과정을 도출해 내야 한다. 이 계산과정은 매우 복잡하기 때문에 미리 계산된 내용을 컴퓨터에 라이브러리 형식으로 제공되기도 한다.

가상 수족관 시스템은 사용자 컴퓨터가 생성한 수중 세계의 영상을 감상하는 것이 주목적으로, 이외의 특수한 상호 작용을 부가할 수도 있다. 이러한 경우 중요한 것은 수중 세계의 재현, 즉 어류의 외형과 움직임을 충실히 재현하는 것이다. 가상 수족관 시스템에 포함된 실재감 관련 요소는 다음과 같다.

- 시야각(Field of View)
- 렌더링 된 고품질의 영상
- 물고기 개체의 수 및 다양한 어종
- 물고기의 다양한 행동 및 제어

또한 실재감 획득에 대하여 다음과 같은 사항을 고려할 수 있다.

- 실재감에 관련된 요소 한가지의 품질을 최대한 보장하는 것보다, 개개의 품질을 떨어뜨리더라도 여러 가지 요소를 제공해 주는 것이 더욱더 실재감을 효과적으로 느끼게 할 수 있다.
- 여러 가지 요소를 제공할 경우에 각각의 요소의 품질을 어떻게 구분할 것인가에 따라 실재감을 느끼는 데 영향을 미치게 된다.
- 품질의 구분은 응용에 따라 다르며 또한 같은 응용 내에서도 상황에 따라 달라질 수 있다.

3.3 유체 시뮬레이션

물의 움직임, 기체의 유동 현상, 구름의 모양 등 불규칙한 자연현상에 대한 표현은 CG에서 흥미롭고도 어려운 분야이다. 하지만 CFD(Computational Fluid Dynamics), 유체의 수치 해석적 방법이 CG와 접목되면서 보다 정확하고 자연현상에 가까운 묘사가 가능하게 되었다. 그러나 각 물질마다 같은 조건에서 보편적인 힘이

반응하는 형태가 다르기 때문에 물질 고유의 특성을 고려하여 주위환경에 적합한 수치 해석적 방법을 고려해야 한다. 유체를 시뮬레이션 하는 방법은 그 방식에 따라 3차원 공간상의 특정 위치 즉, 그리드 상에서 속도를 계산하는 Eulerian 접근법과 공간상의 임의의 위치 즉, 입자의 이동을 따라가며 속도를 계산하는 Lagrangian 접근법으로 구분이 된다.

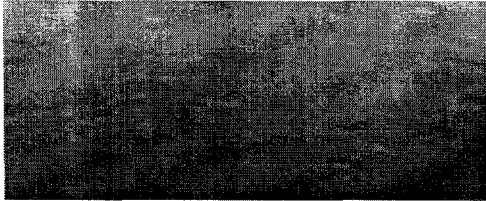
일반적인 유체 시뮬레이션의 지배 방정식으로 사용되는 Navier-Stokes 방정식은 수치적으로 시뮬레이션 하는 사실적 유체 흐름을 계산하기 위하여 사용되는 대표적인 방법이다. 다음 (식 1)은 Navier-Stokes 수식을 나타낸 것으로 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 질량 보존의 법칙에 관한 식으로, 유체가 어떤 식으로 흐르던 그 질량은 보존된다는 것에 대한 식이다. 둘째는 운동량 보존의 법칙을 통해 유체의 속도를 계산하는 부분이다.

$$\nabla \cdot \vec{U} = 0$$

$$\vec{U}_t = \nu \nabla \cdot (\nabla \vec{U}) - (\vec{U} \cdot \nabla) \vec{U} - \frac{1}{\rho} \nabla P + g \quad (\text{식 1})$$

여기서 \vec{U} 는 속도를 나타내는 벡터이고, ∇ 는 그래디언트 연산자이다. 두 번째 식의 첫 번째 항은 유체의 점성을 계산하는 부분이고, 두 번째 항은 유체의 대류현상을, 세 번째 항은 압력 보정을 나타내는 부분이다. 그리고 g 는 외부 힘을 나타내는 부분으로 유체에 가해지는 외부의 힘이 유체의 흐름에 미치는 영향을 고려한다. 이러한 Navier-Stokes 공식은 원래 연속적인 공간에서 정의되어 있지만, 컴퓨터 애니메이션에서 연속적인 공간에 대한 계산은 불가능하므로, 이러한 공간을 이산적인 격자점으로 이루어진 볼륨 데이터

형태의 공간으로 재구성하여 계산한다. 매 프레임마다 이러한 공식을 통해 유체의 흐름의 속도를 계산하고 이렇게 구해진 속도장(Velocity Field)을 통해 유체의 모양을 렌더링 할 수 있다.



▶▶ 그림 3. 수면 모델

3.4 유체의 흐름

물의 움직임을 표현하기 위하여 입자들을 시스템에 도입하고 유체의 속도를 이용하여 입자들의 움직임을 기술한다. 그리고 실제 유체에 있어서 점성은 유체 입자들 사이 그리고 유체 입자들과 경계 면들 사이에 전단력 또는 마찰력들을 일으킴으로써 유체 운동에 대한 저항을 가져온다. 유체의 움직임이 발생하려면 이 저항력들에 대항하여 움직임이 행해져야 한다.

Euler 방정식은 실제 유체의 수직응력 또는 압력에 전단 응력을 포함하고 있으며 그 결과가 Navier-Stokes 방정식으로 선형 2차 편미분방정식들이다. 이는 경험적인 방법과 수치적 시뮬레이션을 고려하여야 한다.

하나의 입자가 속도장 내에 있으며 임의의 시간 t에 속도는 속도장의 속도와 같다고 (식 2)처럼 가정하면,

$$\vec{V}_p(t) = \vec{V}(x, y, z, t) \text{ -----(식 2)}$$

유체 입자가 시간 t 동안의 속도 변화는 (식 3)처럼 표현할 수 있다.

$$d\vec{V}_p = \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} dx_p + \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} dy_p + \frac{\partial \vec{V}}{\partial z} dz_p + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} dt \text{ -----(식 3)}$$

또한 가속도는 다음 (식 4)와 같이 표현 가능하다.

$$\vec{a}_p = \frac{d\vec{V}_p}{dt} \text{ -----(식 4)}$$

단,

$$u = \frac{dx_p}{dt}, \quad v = \frac{dy_p}{dt}, \quad w = \frac{dz_p}{dt}$$

3.5 경계조건

유동성 있는 유체를 잘 표현하기 위해서는 경계조건(Boundary Conditions)이 필요하다. 이러한 경계는 물이 스며들지 않는 고정경계(Rigid Boundary)와 물이 표면과 이루는 자유경계(Free Boundary), 유입경계(Inflow Boundary) 및 유출경계(Outflow Boundary)가 있다. 일반적인 방법은 물이 경계를 통과할 수 없으므로 법선속도(Normal Velocity)를 0으로 처리하고, 자유경계에 대해서는 보간법(Interpolation)과 외삽법(Extrapolation)을 적절히 사용한다. 유입경계 및 유출경계는 사용자가 원하는 속도를 원하는 시간동안 임의로 조절할 수 있다.

3.6 유체 제어 기법

유체를 모델링하고 애니메이션 하는 것도 중요하지만, 유체의 움직임을 사용자가 제어하는 기법도 중요한 요소 중에 하나이다. 유체의 움직임을 정의하는 방정식이 주어지면 시뮬레이션 결과는 주위 환경의 설정과 초기 조건에 의해서 결정된다. 따라서 유체의 움직임을 원하는 형태로 만

들어 주기 위해서는 초기 조건과 환경 설정 값들을 충분히 고려하여야 한다. 유체 시뮬레이션 기술은 사용자에게 자동으로 사실적인 애니메이션을 생성할 수 있는 방법을 제공하였으나 시뮬레이션에 전적으로 의존하다 보니 사용자의 의도대로 유체의 움직임을 조정하는 데에는 어려움이 있다.

어떤 물체의 특정 지점에서 속도는 법선방향과 그 방향에 수직인 방향의 속도로 분리할 수 있고, 이 두 방향의 속도를 파라미터 화하고 적절히 조정하면서 그 지점에서의 유체의 속도를 수정하면 유체의 흐름을 사용자가 임의로 조정 가능하다.

4. 가상 물고기 및 해초 표현

4.1 군중 애니메이션

군중 애니메이션은 가상 환경에 존재하는 다수의 캐릭터 움직임을 보다 사실적으로, 보다 효율적으로 그리고 보다 쉽게 제공하기 위해 장면의 사실성, 시스템의 성능 그리고 사용자와의 상호작용성을 연구하는 캐릭터 애니메이션 기술로 정의한다.

컴퓨터 기술이 발달되지 않았던 70, 80년대에는 물고기 또는 새와 같은 동물 무리의 이동 성향에 관한 연구가 활발하게 일어났고, 90년대에 접어들면서 동물의 무리에서 군중의 이동 성향으로 연구 초점이 바뀌어갔다. 90년대 중반부터 그래픽스 기술이 급속도로 발전하면서 CG 시뮬레이션이 적용되어 CG 분야에 동물 무리에 관한 연구가 진행되었고, 최근에는 군중 시뮬레이션을 초점으로 한 캐릭터 애니메이션이 주목을 이루고 있다.

군중의 움직임이 요구되는 가상 환경에서 캐릭

터 개개의 움직임을 수작업으로 제공하는 것이 불가능하기 때문에 이를 위한 자동화가 필요하다. 하지만, 캐릭터의 움직임을 자동화 할 경우 캐릭터와 캐릭터 간, 캐릭터와 물체 간의 충돌, 단위 모션들 간의 자연스럽게 못한 연결 또는 군중의 속성과 불일치하는 행동을 유발하는 문제점들을 해결해야 한다. 그와 더불어 군중 애니메이션에서 사용자의 상호 작용과 캐릭터의 메시 데이터 및 모션의 단순화를 통한 성능의 향상에도 주의를 기울여야 한다. 그러나 군중 애니메이션의 궁극적인 목적은 장면의 사실성, 시스템의 성능 그리고 사용자와의 상호 작용성이다.



▶▶ 그림 4. 군중모델에 따른 군중 시뮬레이션

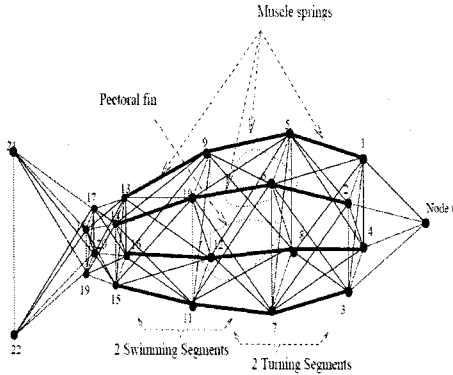
4.2. Spring-mass 기반의 가상 물고기 생성

1987년 Reynolds의 새의 무리 시뮬레이션 이후, Tu는 물리 기반 가상 해저 세계를 모델링하였다[18]. 가상 해저 세계는 인공적으로 설계된 물고기들이 존재하는데 이러한 물고기의 구성을 위해 몸체 모델링에서부터 내부에 인공지능을 적용하여 가상 해저 내에서 자동으로 움직이는 객체를 개발하였다.

TU가 제안한 가상 물고기는 다음과 같이 4 부분으로 구성되어 있다.

- Physics : Spring-mass Model
- Locomotion : Motor Controllers

- Perception : Visual Sensor
- Behavior : Behavior routine by Mental State



▶▶ 그림 5. Spring-mass 기반의 가상 물고기 모델

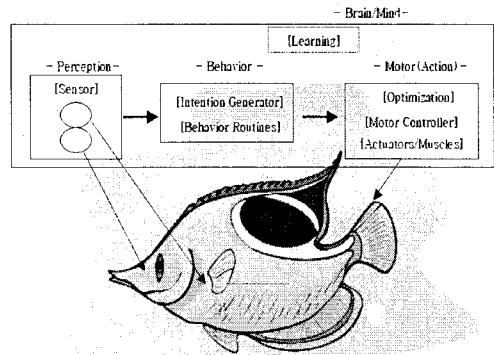


▶▶ 그림 6. 물고기 모델의 영상화

Spring-mass 모델로 정의되어 있는 가상 물고기는 Spring의 길이 변형을 통해 움직임을 생성한다. [그림 5]는 Spring-mass 기반의 가상 물고기 모델을 나타낸 것이고, [그림 6]은 이러한 모델을 형상화한 메시 기반 물고기 모델이다.

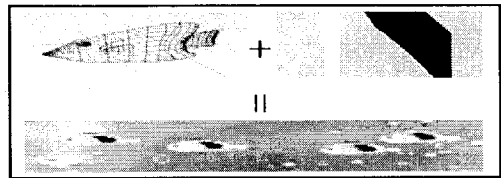
[그림 7]은 물고기의 행동이 이루어지는 과정을 나타낸 것으로, Perception과정에서 Sensor를 통한 주위 환경 정보를 감지한 물고기는 습관적으로 발생하는 행동을 관여하는 Intention Generator와 인지에 따른 행동을 담당하는 Behavior Routine으로 정보를 전달한다. Behavior Routine은 Intention Generator로부터 받은 정보와 Mental State라는 상태 변화를 위한 상수를 적용하여 새로운 행동 양식을 제공

한다. 새로운 행동 양식을 결정한 물고기는 Motor Controller를 통해 Spring-mass모델의 최종적인 움직임을 적용한다.



▶▶ 그림 7. 물고기 행동 양식

본 논문에서는 Kinetix사의 3D Studio Max를 사용하여 물고기의 기본적인 외형을 제작하고, Spring-mass 모델을 이용하여 움직임이 가능한 가상 물고기를 생성하였다. 가상 물고기는 머리, 몸체, 지느러미 등의 3부분으로 간략화 되어 구성되어졌고, 텍스처 렌더링 방법은 3차원 정점(Vertex)과 메시 정보와 비트맵 정보를 사용하여 [그림 8]처럼 객체위에 표면을 따라 색을 칠하는 단순한 방법을 사용하였다.



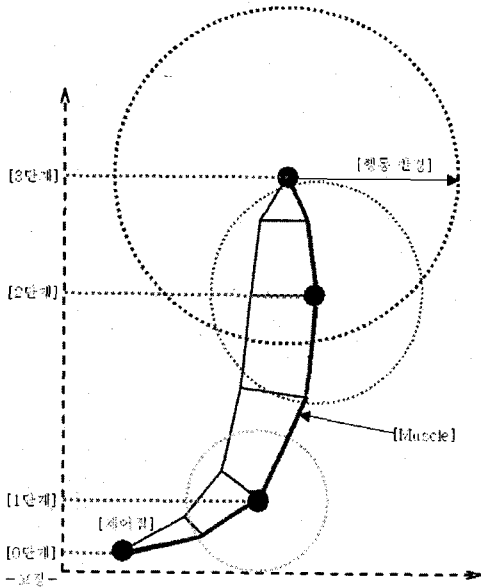
▶▶ 그림 8. 가상물고기 텍스처링

4.3 해초 표현

수족관내 존재하는 해초 역시 기본적인 표현 및 움직임 생성은 물고기와 동일하다. 차이점은

물고기의 움직임은 수족관내 전체에서 동적으로 나타나지만 해초는 객체의 한 면은 고정적이고 행동반경이 제한적인 정적과 동적인 특성이 동시에 나타난다. 따라서 본 문에서는 해초 표현 시 Spring-mass를 수정하여 해초 표현의 기본 구조로 사용하였다.

해초의 크기에 따라 n-단계로 구분하여 메시상의 해당 정점 중 단계별로 구분된 해초의 영역에서 중심 정점을 제어점으로 선정하였고, 이러한 제어점의 행동반경을 달리하여 수족관내 물 흐름이나 물고기의 이동에 따른 힘의 영향에 따라 해초의 움직임의 거리와 방향을 조정하여 동적인 해초의 움직임을 표현하였다.

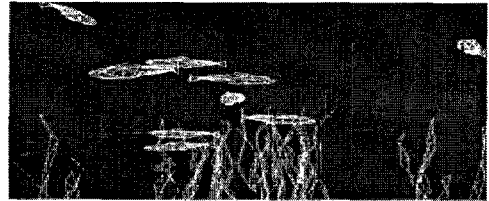


▶▶ 그림 9. 3단계로 표현된 해초의 제어점 및 행동반경

5. 구현 결과

실감형 가상 수족관을 구축하기위해서 본 논문에서 제안한 방법은 유체역학 기법을 이용한 유

체 표현 방법과 Spring-mass 기반의 가상 물고기 및 해초 표현 방법이다. [그림 10]은 메시 기반의 가상 수족관 환경을 나타낸 것이고, [그림 11]은 실제 구현한 가상 수족관 전체 전경이다.



▶▶ 그림 10. 메시로 표현된 가상 수족관



▶▶ 그림 11. 가상 수족관 전경

6. 결론

최근 전체적인 CG 기술의 추세에 따라 애니메이션, 게임 등 빠른 응답 시간을 요구하는 응용을 위해 유체 역학기반의 실시간 유체역학 시뮬레이션 연구가 진행되고 있고, 이와 더불어 단순한 해수면의 모델링 및 시뮬레이션뿐만 아니라 그 안에서 동작하는 다른 객체와의 상호작용, 기후 등의 외부 요인에 의한 변화 등 다양한 효과 연출을 위한 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 유체 역학 기반의 가상 수족관 구축방법을 제안했다. 유체 역학 기반의 가상 수족관 내 물을 표현하고 Spring-mass 모델 기반의 가상 물고기 및 해초 모델 생성 방법을 제시

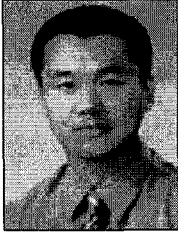
했다. 향후 연구 방향은 본 논문에서 제시한 방법을 보강 구현하는 것이고 수족관내의 빛의 효과나 기포 발생 및 수족관 내에서 존재하는 가상 물고기에 지능을 부여하여 외부의 환경에 스스로 작용하는 Smart 물고기를 제작하는 것이다. 또한 생성된 가상 수족관을 웹을 통해 운영하는 것이다.

참고문헌

- [1] 표순형, 구본기, "CG 유체 표현 기술 동향", 전자통신동향분석 제20권 제4호, 2005.
- [2] CARLSON, M., MUCHA, P., VAN HORN III, R., AND TURK, G., "Melting and flowing," In Proc. ACM SIGGRAPH/Eurographics Symp. pp.167-174. 2002.
- [3] CARLSON, M., MUCHA, P. J., AND TURK, G., "Rigid fluid: animating the interplay between rigid bodies and fluid," ACM Trans. Graph., pp.377-384. 2004.
- [4] DESBRUN, M., AND CANI, M.P., "Smoothed particles: A new paradigm for animating highly deformable bodies," In Comput. pp.61-76. 1996.
- [5] FEDKIW, R., STAM, J., AND JENSEN, H., "Visual simulation of smoke," In Proc. SIGGRAPH, pp.15-22. 2001.
- [6] FOSTER, N., AND FEDKIW, R., "Practical animation of liquids," In Proc. SIGGRAPH, pp.23-30. 2001.
- [7] FOSTER, N., AND METAXAS, D., "Realistic animation of liquids," Graph. Models and Image Processing 58, pp.471-483. 1996.
- [8] FOURNIER, A. and REEVES, W., "A Simple Model of Ocean Waves," in Proc. of SIGGRAPH '86, pp.75-84, 1986.
- [9] GOKTEKIN, T. G., BARGTEIL, A. W., AND O'BRIEN, J. F., "A method for animating viscoelastic fluids," ACM Trans. Graph., pp.463-468. 2004.
- [10] KOTHE, D. B., AND BRACKBILL, J. U., "FLIP-INC: a particle-in-cell method for incompressible flows," Unpublished manuscript. 1992.
- [11] LI, X., AND MOSHELL, J. M., "Modeling soil : Realtime dynamic models for soil slippage and manipulation," In Proc. SIGGRAPH, pp.361-368. 1993.
- [12] LUCIANI, A., HABIBI, A., AND MANZOTTI, E., "A multiscale physical model of granular materials," In Graphics Interface, pp.136-146. 1995.
- [13] MILLER, G., AND PEARCE, A., "Globular dynamics: a connected particle system for animating viscous fluids," In Comput. & Graphics, Vol.13, pp.305-309. 1989.
- [14] ONOUE, K., AND NISHITA, T., "Virtual sandbox," In Pacific Graphics, pp.252-262. 2003.
- [15] STAM, J., "Stable fluids," In Proc. SIGGRAPH, pp.121-128. 1999.
- [16] TERZOPOULOS, D., AND FLEISCHER, K., "Modeling inelastic deformation: viscoelasticity, plasticity, fracture," in Proc. SIGGRAPH, pp.269-278. 1988.
- [17] YONGNING ZHU, ROBERT BRIDSON, "Animating Sand as a Fluid," Sigraph 2005.
- [18] X. TU, D. TERZOPOULOS, "Artificial fishes: physics, locomotion, perception, behavior," ACM SIGGRAPH, 1994.

저 자 소 개

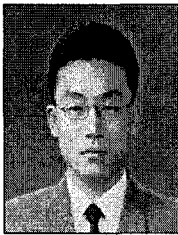
● 이 현 철(Hyun-Cheol Lee)



- 1996년 2월 : 동신대학교 컴퓨터학
과(이학사)
- 2003년 2월 : 동신대학교 컴퓨터학
과(이학박사)
- 2005년~현재 : 동신대학교 디지털
콘텐츠학과 전임강사

<관심분야> : 멀티미디어통신, 얼굴애니메이션, 디지털콘텐
츠, 영상압축기술

● 윤 재 홍(Jae-Hong Youn)



- 1998년 2월 : 동신대학교 컴퓨터학
과(이학사)
- 2001년 2월 : 동신대학교 컴퓨터학
과(이학석사)
- 2005년 2월 : 동신대학교 컴퓨터학
과(이학박사)
- 2005년~현재 : CRC 전담연구원

<관심분야> : 멀티미디어, 애니메이션, 콘텐츠

● 김 은 석(Eun-Seok Kim)



- 1995년 2월 : 전남대학교 전산학과
(이학사)
- 1997년 2월 : 전남대학교 전산통계학
과(이학석사)
- 2001년 2월 : 전남대학교 전산통계학
과(이학박사)
- 2001년~2002년 : 서울대학교 정보화
기술단 연구원
- 2002년~현재 동신대학교 디지털콘텐츠학과 조교수

<관심분야> : 음함수 모델링, 애니메이션, 영상처리

● 허 기 택(Gi-Taek Hur)



- 1984년 2월 : 전남대학교 계산통계
학과(이학사)
- 1986년 2월 : 전남대학교 계산통계
학과(이학석사)
- 1994년 2월 : 광운대학교 전자계산
학과(이학박사)
- 1989년~현재 동신대학교 디지털콘
텐츠학과 교수

<관심분야> : 영상처리, 유체역학, 디지털콘텐츠

사례발표

- 벡터기반의 개인캐릭터 생성 및 개인미디어 시스템 설계 및 구현
- 국가 간의 수출입을 높일 수 있는 방안

