

# 운동 방정식과 사용자 상호작용을 적용한 반자동 트롤 그물 표면 재구축 시스템 개발

윤요섭<sup>†</sup>, 박건국<sup>\*\*</sup>, 권오석<sup>\*\*\*</sup>, 김영봉<sup>\*\*\*\*</sup>

## A Development of Semi-automatic Trawl-net Surfaces Reconstruction System using Motion Equations and User Interactions

Joseph Yoon<sup>†</sup>, Keon-Kuk Park<sup>\*\*</sup>, Oh-Seok Kwon<sup>\*\*\*</sup>, Young-Bong Kim<sup>\*\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

In a trawl-net simulation, it is very important to process the physical phenomenons resulting from real collisions between a net and fishes. However, because it is very difficult to reconstruct the surface with mass points, many researchers have generally detect the collision using an approximation model employing a sphere, a cube or a cylinder. These approaches occur often result in inaccurate movements of a fish due to the difference between a real-net and a designed-net. So, many systems have manually adjusted a net surface based on actual measurements of mass points. These methods are very inefficient because it needs much times in an adjustment and also causes more incorrect inputs according to a rapid increment in the number of points. Therefore, in this paper, we propose a reconstruction method that it semi-automatically reconstructed trawl-net surfaces using the equation of motion at each mass point in a mass-spring model. To get an easy start in a beginning step of the spread, it enables users to get interactive adjustment on each mass point. We had designed a trawl-net model using geometrical structures of trawl-net and then automatically reconstructed the trawl-net surface using scale-space meshing techniques. Last, we improve the accuracy of reconstructed result by correction user interaction.

**Key words:** Trawl-Net, Surfaces Reconstruction, Scale-Space Meshing, 3D Simulation

### 1. 서 론

현존하는 트롤망(trawl-net)과 피싱어구(fishing-net)와 같은 어구 시뮬레이션은 그물의 움직임을 표현하는 물리기반 운동방정식의 정확성과, 그리고 배의 움직임에 따라 그물을 펼치고, 접는 동작을 3차원

그래픽으로 재현하는 시각성에 초점을 두고 많은 연구가 진행되었다[1]. 이에 반해 그물과 어군 사이에 일어나는 운동을 시뮬레이션 할 때, 가장 핵심이 되는 충돌 검출의 구현은 질점정보를 가지고 표면을 재구축하는 작업의 어려움으로 인해, 표면 없이, 단순화된 도형으로 처리하는 경우가 대부분이었다. 다

※ Corresponding Author : Young Bong Kim, Address: (48513) Yongso-ro 45, Nam-gu, Busan, Korea, TEL : +82-51-629-6248, FAX : +82-51-629-6248, E-mail : yb-kim@pknu.ac.kr

Receipt date : July 19, 2017, Approval date : July 31, 2017

<sup>†</sup> Dept. of IT Convergence & Application Eng., Graduate School, Pukyong National University  
(E-mail: ricerich@gmail.com)

<sup>\*\*</sup> Dept. of IT Convergence & Application Eng., Graduate School, Pukyong National University  
(E-mail : pkk1113@naver.com)

<sup>\*\*\*</sup> Dept. of IT Convergence & Application Eng., Graduate School, Pukyong National University  
(E-mail : inartistical@gmail.com)

<sup>\*\*\*\*</sup> Dept. of IT Convergence & Application Eng., Pukyong National University

※ This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2016 year)

시말해 물고기 어군과 그물을 감싸는 단순화된 입체 도형, 즉 구(sphere), 육면체(cube), 원통(cylinder) 등으로, 각각의 두 도형 사이의 충돌 여부를 검사한 후 어군 운동을 발생시키는 정도였다. 이와 같은 기하학적 구조의 충돌 시스템은 어군 운동에 영향을 미칠 수 있는 변수가 충돌 당시의 그물과의 거리이거나, 이에 반응하는 그물의 충돌체를 의미하는 기하학 도형과의 반사각이 전부이다. 그러므로, 이와같이 단순화된 기하학적 구조의 충돌체 도형은 실제 그물 모양과의 미세한 차이로 인해서, 필히 어군의 움직임은 방향 계산에 오차가 생김으로 인해, 잘못된 어군 운동 결과를 발생시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위한 가장 근본적인 방법은 충돌체 구현시, 단순화시킨 기하학적 구조가 아닌 실제 그물이 유연하며 만들어내는 표면을 재구축한 후, 이를 그대로 어군에 대한 운동 방정식에 사용하는 것이다. 이에 기존 방법들에서는 이런 표면을 만들어내기 위해서, 질점의 정보가 담긴 데이터를 바탕으로, 대응되는 삼각형의 표면을 수작업으로 만든 후 파일로 제작하는 방식을 취하였다. 하지만 이러한 수작업 방식의 문제는 질점의 수가 많은 경우 하나의 그물 표면 파일을 만드는 데에도 시간 소요가 크게 발생하는 단점이 있고, 물리적으로 작업량이 많아서 실제적으로 구현이 불가능한 경우도 생긴다. 게다가 계산 비용적인 측면에서도 상당히 그물의 수, 질점의 수가 늘어날 수록 그 비용의 증가도 함께 동반하게 된다. 뿐만 아니라 수작업의 특성상 작업량이 많아지면 많아질수록 잘못된 데이터를 입력할 횟수도 증가하게 되고, 그러한 오류를 수정하는 작업 또한 추가적인 비용으로 단점이 된다. 그리고 Park[2]의 논문에서 트롤 그물의 y축 방향으로 세운뒤, 입구를 벌린뒤 중력이 작용하는 구를 떨어뜨려 질점들의 위치를 잡고, 이후 표면을 재구축하는 방식으로 구현하였다. 하지만 이는 기존의 전통적인 수작업 방식보다는 속도면에서 향상을 가져왔으나, 단순한 구의 중력운동에 기반하다보니, 재구축 근사율이 높지는 않았다. 그래서 개선된 제안 시스템에서는 실제 그물의 운동방정식에 기반한 유영을 적용하여 질점을 펼쳐 위치시킴으로서 근사율을 더욱 향상 시켰다.

이러한 배경을 바탕으로, 본 논문에서는 자동화로 시간적 비용을 줄이면서도, 상호작용을 통해 효율성과 정확성을 보장하는, 트롤 어구 표면을 재구축하는

새로운 방법을 제안한다. 제안 시스템은 기존의 수작업 방법에서 사용했던 질점 관련 입력데이터를 기반으로 해서, 그물의 기하학적 구조의 특성을 바탕으로 각 질점들을 재구축할 표면의 상대적 위치로 초기화시킨 후, 정확성을 높이기 위해 실제 그물의 운동 방정식을 적용하여 조류, 부력의 환경에서 유영할 때의 질점간의 상대적 위치를 재배치한다. 이 과정에서 필요에 따라 사용자의 상호작용을 통해 위치 재배치 작업을 가능케함으로써, 반복 연산의 횟수를 줄여 효율성을 높일 수도 있다. 이후, Scale-Space Meshing 기법을 통해 그물의 표면을 자동으로 재구축한다. 마지막으로 이렇게 재구축된 시각화된 표면과 질점들을 사용자의 상호작용을 통해 위치와 모양을 한 번 더 재조정하도록 하여 모델의 정확도를 더 높이고자 하였다. 실험 결과 기존의 수작업 방법보다 제작 속도 면에서 향상되었고, 정확성 측면에서도 근사한 결과를 나타내었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 트롤 표면 재구축 시스템의 전체적인 구성을 소개하고, 3장에서는 각 단계에 대한 세부적인 설명을 한다. 4장에서는 실험결과를 보여주고, 마지막으로 5장에서는 결론으로 마무리 한다.

## 2. 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 그물 표면 자동 재구축 시스템의 전체 구성도는 Fig. 1과 같다. 제안 시스템은 크게 3가지의 처리기로 구성되며, Input Data Control, Location Processor, Reconstruction Processor 순으로 단계별로 동작한다. 첫 번째, Input Data Control은 트롤(trawl) 그물을 구성하는 각 질점들의

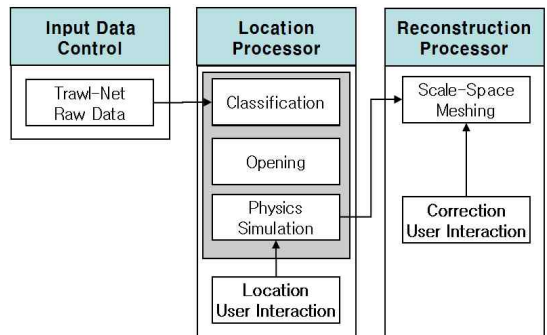


Fig. 1. System Overview.

정보를 포함하고 있는 데이터의 입력을 처리한다. 두 번째, Location Processor는 퍼지지 않은 그물로부터 표면 재구축을 위한 질점들의 위치를 배치하는 기능을 담당하는데, Classification 단계에서 트롤 그물의 특성에 따른 질점들을 4영역으로 나누어 입구를 구분짓고, Opening 단계에서는 힘을 적용해 그물의 입구를 벌린다. 그리고 Physics Simulation 과정에서 물리기반의 그물 운동 방정식을 적용해 질점의 위치를 배치한다, 이때 사용자 상호작용을 통해 위치 배치의 시간 효율을 높였다. 마지막으로 세 번째, Reconstruction Processor는 point clouds에서 표면을 재구축하는 작업을 수행하고, 최종적으로 사용자 상호작용을 통해 표면을 보정함으로써 표면 재구축을 완성한다.

### 3. 구 현

#### 3.1 Input Data Control

입력 데이터는 그물 파일을 말하며, 시뮬레이션에서 가장 많이 쓰이는 질점-스프링 모델의 정보로 이루어져 있다[3]. 질점은 기본적으로 질점의 번호, 무게, 표면적, 질점 종류를 가지며, 종류로는 Fig. 2 처럼 끌줄, 침자, 뜰, 전개판 그리고 망으로 나뉜다. 스프링은 연결시키는 두 질점의 번호와 질점 간의 장력 계수, 질점 간의 거리 정보를 가진다. 또한 수중 환경을 고려한 움직임을 생성하기 위해, 수온, 염분, 밀도, 빛, 소리, 수압, 부력 등 다양한 실제 수중환경 요인 중 가장 큰 영향을 미치는 수온과 염분 분포의 상태를 분석한 Youn[4]의 상태 방정식을 통해 수중환경의 시뮬레이션의 사실성을 높였다.

#### 3.2 Location Processor

Location Processor의 역할은 쉽게 말해 다음단계의 Reconstruction Processor에서 표면 재구축을 하

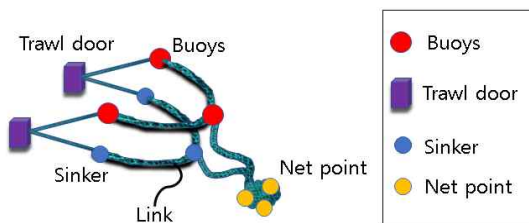


Fig. 2. Mass-Spring Model of Trawl-Net.

기 위해서 필요한 질점 간의 적정 거리를 만들어 주는 것이 목적이다. 여기서 질점 간의 적정 거리는 실질적으로 그물이 펼쳐지고 바다에서 유영하는 상태의 질점 간 거리를 의미한다. 중층 그물과 같은 경우는 해저 바닥과의 충돌이 없어 유영하는 상태에서의 질점 간 거리가 표면을 만드는데 이상적일 수 있지만, 해저 바닥을 쓸듯이 움직이는 저층 그물의 경우 바닥 표면에 닿는 질점들이 불안정하게 움직이며 꼬이게 되는데 이는 유영상태가 오히려 표면 정보를 만드는데 방해가 된다. 제안 시스템에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해서, 먼저 입구가 하나라는 트롤 그물의 기하학적인 구조와 질점-스프링 모델의 동역학적 운동 방정식을 토대로 초기 시뮬레이션을 진행한 후, 이어서 그물 운동방정식이 적용된 유영상태를 시뮬레이션하여 질점간의 적정 거리를 만들어 주는 방법을 사용한다. 또한 시각화되어 그물이 펼쳐지는 초기 단계에서부터 사용자 상호 작용을 통해 입구의 위치를 잡아줌으로써 반복 연산을 줄여서 계산 효율성을 높였다.

#### 3.2.1 Classification

트롤 그물의 기하학적 구조는 Fig. 3과 같다. 질점-스프링 모델을 가지는 그물의 측면(A)과 정면(B)을 3차원으로 렌더링한 모습이다. 전개판과 뜰, 전개판과 침자 사이의 망자를 제외한 망자들로 그물의 표면이 이루어져 있다. Classification 단계에서 Fig. 3에서와 같이 상단에 위치하는 뜰, 하단에 위치하는 침자, 그리고 좌우에 위치하는 각각의 전개판을 구분해 낸다.

Fig. 3의 (A)처럼 그물 입구가 실제 트롤과 같은 수평방향을 향하도록 한 후, 운동 시뮬레이션을 진행하고 그 결과 위치를 가지고 표면을 재구축한다. 또한 이러한 유영 운동을 통해 그물을 펼칠 경우 운동식이 적용된 위치를 찾기까지 반복된 연산으로 인한 시간 소모가 크므로, 초기 단계에 사용자 조작을 통해 그물의 입구를 벌어지도록 하였다. 이에 먼저 그물의 입구를 벌리기 위한 힘을 가할 대상 질점을 구분하도록 하였다. Fig. 3의 측면도(A)와 같이 트롤어구는 그물의 입구가 뜰과 침자로 나누어져 있다. 이런 기하학적 구조는 뜰과 침자가 멀어질수록 그물이 위아래로 펼쳐진다는 것을 의미한다. 또 다른 특징을 갖는 질점의 종류로 전개판이 있으며, Fig. 3의

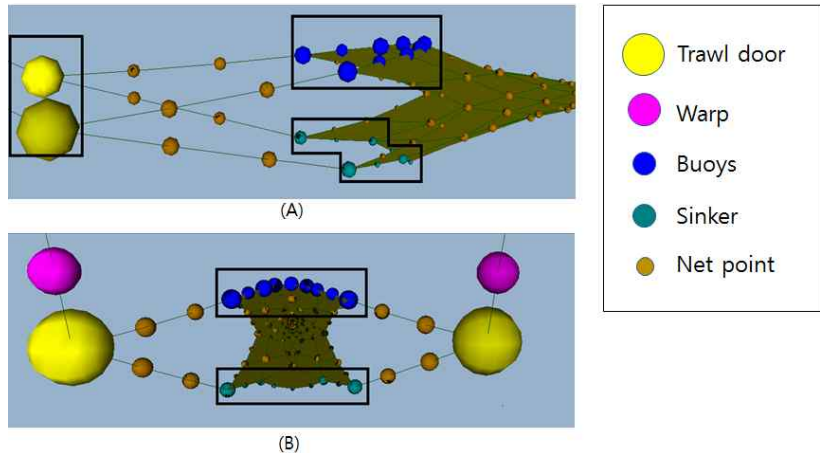


Fig. 3. Trawl-Net Redering. (A) left side view , (B) front view.

정면도(B)처럼 이는 2개로 좌우에 하나씩 달려 있으며 그물 유연 시 그물의 입구를 좌우로 벌려주는 역할을 한다. 이런 특징을 이용하여 해당 두 영역도 뜰과 침차처럼 멀어질수록 그물을 좌우로 펼칠 수 있음을 알 수 있다. Classification 단계는 이렇게 뜰과 침차, 두 전개판의 4개의 영역과 나머지 영역으로 구분하는 기능을 의미한다.

3.2.2 Opening

Fig. 4에서는 y축이 위를 향하는 데카르트 좌표계를 사용한다. 분류 단계를 통해 4개의 영역을 구했다면 4개의 영역들은 x축 값을 고정으로 두고 그물이 펼쳐지도록 y-z 면과 평행하게 사방으로 퍼지게 힘을 가한다. 이와 같이 하는 이유는, 반례로 각각의 질점에 힘을 동일하게 주거나 혹은 임의로 다양하게 줄 경우에, 이러한 2가지 경우 모두다 한쪽 방향으로 힘이 강하게 쏠려 한 영역에 끌려가는 문제를 야기시

킨다. 이런 현상이 일어나는 원인은 질점의 무게가 다른 경우와 4개의 영역에 각각 속하는 질점이 모두 균일한 갯수가 아니기 때문이다. 이런 경우, 질점 간의 적정거리를 줄 수 없어 표면 재구축 시 오차율이 커지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다음 식 (1)에 따라 힘을 분배한다.

예를 들어 그물을 정면 방향 기준에서 4개의 영역으로 나누었을 때 매개변수 s는 1에서 4까지 영역으로 구분하고, P(s)는 s영역의 질점에 가할 힘, P는 사용자가 직접 입력한 힘의 크기, N(s)을 x영역의 질점 수라고 할 때 다음 식을 따른다.

$$P(s) = P/N(s) \tag{1}$$

힘 P(s)를 통해 트롤 그물의 입구를 구성하는 질점이 당겨지면, 질점-스프링 모델의 운동 방정식에 따라 연결된 질점들도 펼쳐지기 시작한다[2]. 하지만 입구와 멀어질수록 질점은 그 영향에서 벗어나는데

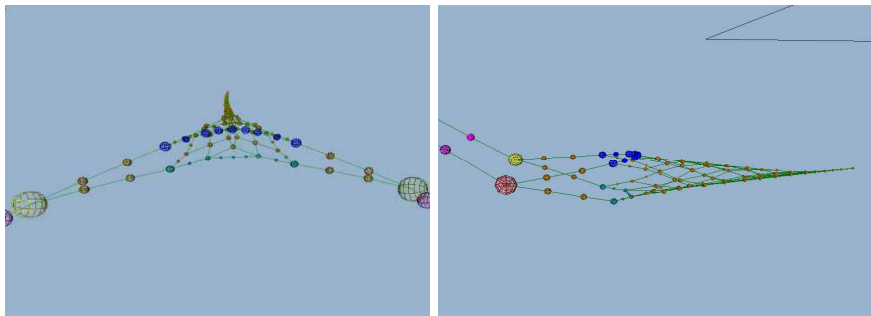


Fig. 4. Opening of Trawl Gate. (A) front view, (B) side view.

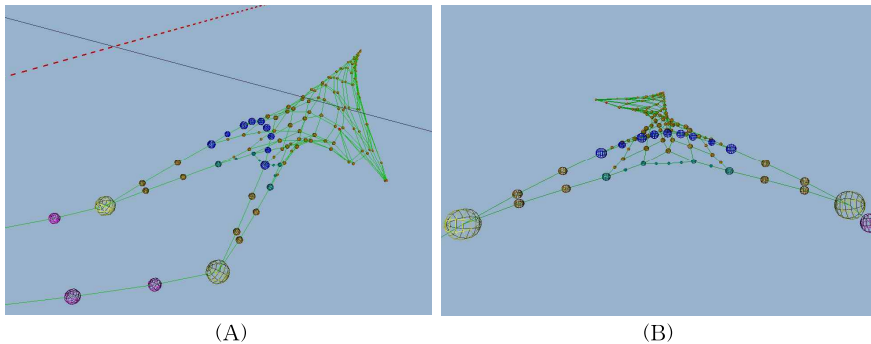


Fig. 5. User Interaction for Location, (A) right-bottom action, (B) left side action.

Fig. 5의 (A)-2 처럼 그물의 입구에서 거리가 먼 질점들은 거의 같은 자리에 위치하게 된다. 이 경우 표면 재구축 작업시 큰 오차가 발생할 수 있다. 이렇게 그물의 꼬리쪽 방향으로 뭉쳐진 그물은 다음 단계의 Physics Simulation 과정에서 x축 방향의 유연성을 통해 조류와 부력이 적용된 실제 그물과 같이 물의 저항으로 인해 안쪽의 질점도 영향을 받아 펼쳐지게 된다.

### 3.2.3 Physics Simulation

이 단계에서는 실제 그물의 운동 방정식을 통해, 표면을 구성하기 위한 질점들의 위치를 자동으로 재배치한다. 이때 트롤을 구성하는 각 질점의 운동 방정식은 다음의 식(1)과 같다

$$F_{(t)} = F_g + (F_c + F_{cd} + F_{cl}) + (F_b + F_{bd}) \quad (1)$$

$F_g$ 는 중력이고,  $(F_c + F_{cd} + F_{cl})$ 은 조류의 힘이고,  $(F_b + F_{bd})$ 는 부력을 나타낸다. 조류의 성분  $F_c$ 는 조류의 벡터,  $F_{cd}$ 는 객체에 영향을 주는 조류의 항력(drag force), 그리고  $F_{cl}$ 은 조류가 객체를 띄우게 만든 힘인 양력(lift force)을 의미한다. 그리고 부력 성분  $F_b$ 는 부력의 힘,  $F_{bd}$ 는 부력의 항력(drag force)을 의미한다. 이러한 운동방정식의 적용을 통해 물의 저항으로 인해 안쪽의 질점도 조류의 저항과 부력의 영향을 받아 자연스럽게 그물이 펼쳐지게 된다. 다만 앞서 서술한 것처럼 이런 유연 시뮬레이션의 결과 질점의 위치는 저층 그물에서는 바닥표면의 끌림 등의 외란요소로 인해 꼬임이 발생하고 뭉치는 현상이 발생하여, Reconstruction Processor에서 사용하기 위한 질점 간의 적정 거리를 만드는 작업에 문제점을 안고 있다. 그래서 제안 시스템에서는 그물이 어느정

도 펼쳐진 상태를 시각적으로 확인하면서, 직관적으로 사용자가 재배치 작업을 가능하게 하였다.

### 3.2.4 Location User Interaction

최초의 한 점에 뭉쳐있는 형태의 질점 입력 데이터를 Classification에서 트롤 그물 입구를 4영역으로 구분한 후, Opening에서 4방향으로 힘을 가해 벌리게 되면, 한점에 뭉쳐있는 질점들이 정면(=z축방향) 시점에서 봤을 때 세로방향(=y축방향)으로 일자로 배치된 형태를 갖게 된다. 그리고, Physics Simulation의 운동 방정식을 적용하여 그물의 유연성을 시작하면, 질점들이 자연스럽게 수평가로방향(=x축방향)으로 길게 펼쳐지게 된다. 반복적인 연산을 하게 되면, 이 상태에서도 수직(=y축방향)으로 질점들이 펼쳐지겠지만 시간 소모가 크다. 그래서 Location User Interaction 단계에서 사용자가 Fig. 5의 (A)처럼 우측,하단 혹은 (B)처럼 좌측의 질점을 잡고 펼쳐주게 되면, 질점의 위치 배치작업 시간이 줄어들어 연산의 효율성이 높아진다. 운동 방정식에 의해 자동으로 위치를 잡을 때까지 무한정 대기하는 것에 비해, 사용자의 몇 번의 상호작용을 거쳐 위치를 잡게 하는 방법이 연산시간도 줄이고, 시각화된 환경에서 직관적으로 펼침으로 정확성도 더 보장한다.

### 3.3 Reconstruction Processor

이 단계에서는 트롤 그물의 표면을 재구축하기 위한 알고리즘으로 Scale-Space Meshing 기법을 적용한다[5]. 그물 표면 재구축과 관련하여 Scale-Space Meshing 기법은 아래와 같은 특징을 갖는다.

- input으로 들어간 모든 질점 데이터가 mesh(표면)을 만드는데 사용된다. 일반적인 표면 재구축 알고리즘에서 이런 특징은 단점이 될 수 있다. 예를 들어, 무수한 포인트들로 단순 평면의 형태를 이루고 있다면 모든 포인트를 사용할 것이 아니라 그 수를 줄이면서 표면을 만드는 것이 효율적이기 때문이다 [5]. 하지만 현재 본 논문의 질점-스프링 모델 그물의 경우 표면은 모든 질점을 통해 이루어지며, 하나의 질점도 누락되어선 안된다. 그래서 이와 같은 특징은 본 논문의 목적에 부합한다.

- 이웃의 수(neighborhood)와 반경 추정에 쓰인 샘플 포인트의 수(samples)를 입력으로 하며, 이에 따라 표면 재구축의 결과가 다르게 나타난다. 질점의 분포도, 질점의 수에 따라 다르게 줄 필요가 있는데, 이웃의 수의 경우 그 수가 크면 질점들의 일부가 매우 낮은 밀도를 가질 경우 늘릴 수 있으며, 그물의 얇은 특징을 나타내야 하는 경우는 그 수를 줄일 수 있다. 또한 샘플 포인트의 수의 경우, 질점의 형태가 매우 불규칙할 때 그 수를 올려서 해결 할 수 있다.

- 입력 데이터의 순서는 상관없다.
- 결과로 나온 모든 삼각형 표면의 노말 값은 밖을 향하게 된다.

위와 같은 특징을 기반으로 Reconstruction Processor 단계에서는 Fig. 6의 (A),(B)에 나타나는 것과 같이 이전단계의 Location 처리기를 통해 추가된 질점의 위치정보를 기반으로하여, 트롤 그물의 표면을 자동으로 재구축한다. 그리고 최종적으로 필요에 따라서 생성된 표면을 시각적으로 확인하면서, 불필요한 부분을 수정, 삭제하는 기능의 사용자 상호작용을 통해 보정을 한 후, 재구축된 표면을 완성한다.

Fig. 6의 (A)에서 그물 입구 방향부터 질점이 잘 펼쳐진 것을 확인할 수가 있고, 또한 뒷쪽 꼬리 부분에서도 적당한 간격으로 펼쳐진 것을 확인할 수가 있다. 다만 측면 (B)에서는 세로방향(=y축 방향)으로는 그물 질점의 거리가 좁고 뭉쳐있는 것으로 보여지나, 시뮬레이션이 아닌 실제 그물에서도 이와 같이 펼쳐지며, 초기 실측 정보를 가진 질점 입력 데이터를 보완하면, 꼬리부분도 재구축된 표면의 형태가 보완되어질 것으로 사료되어진다.

#### 4. 실험 및 결과

Table 1 은 입력 질점 수에 따른 재구축(Reconstruction) 연산 시간을 나타낸다. 질점이 600개 이하(589개)에서는 52초, 즉 1분도 걸리지 않은 반면, 입력 질점이 2000개 이상일 경우는 600초(10분)이상의 시간이 소요되었다. 이는 기존 연구[2]의 시간과 동일한 성능을 보장하는 것을 확인할 수 있었다.

트롤 그물 재구축의 정확성을 비교하기 위해서, 1)실측 정보를 가지고 그물의 표면을 재구축[ground-

Table 1. Time Cost of Reconstruction

no.	Number of Node	Time Cost (Proposed System)
	(n)	(sec)
1	161	10
2	164	12
3	589	52
4	1920	600 more
5	3200	600 more

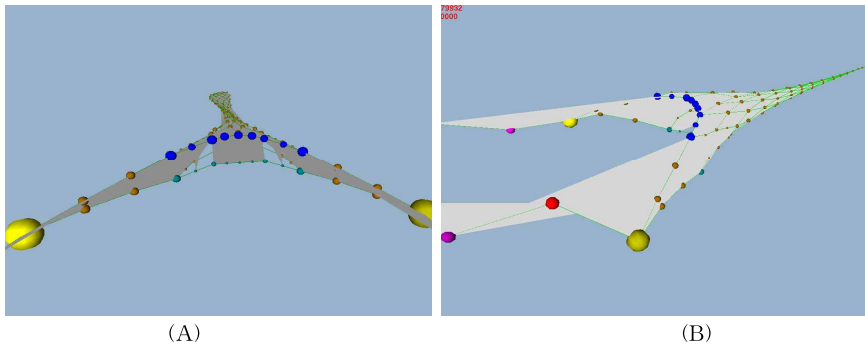


Fig. 6. Reconstruction of Surfaces. (A) front view, (B) side view.



Table 2. Matching Rate

Test no.	Previous work Park[2]	Proposed method
	(%)	(%)
1	62.82	69.31
2	61.73	71.48
3	65.70	75.81
4	65.70	71.12
average	63.99	71.93

truth]한 결과를 기반으로 2)기존 연구[2]의 세로수직(=y축 방향)으로 고정된 후 중력이 작용하는 구(sphere)를 그물에 넣는 방식으로 표면을 재구축한 방법과 3)제안 시스템의 그물 유연 운동 방정식과 사용자 상호작용을 적용한 표면 재구축 기법을 비교하였다. 표면을 구성하는 삼각형(mesh)의 생성 개수를 비교하였고, 검증을 위해 총 4번의 실험을 통해 결과값을 도출하였다.

Table 2의 일치율(matching rate)은 ground-truth의 각 삼각형 표면의 세트들과 1)기존 연구[2]과 2)제안 시스템을 통해 만들어 낸 삼각형 표면의 세트의 일치하는 개수의 비를 결과로 도출한 것이다. 수치적으로 제안 시스템은 질점의 수가 많아질수록, 그만큼 만들 수 있는 삼각 Mesh의 종류가 많아지기 때문에 ground-truth와의 일치율이 낮아지는 요인이 되는 것을 추정할 수 있었고, 또한 결과적으로 앞선 연구[2]보다는 향상된 성능을 확인할 수 있었다.

Fig. 4의 경우 (A)실측 데이터를 기반으로 수작업

으로 만든 그물 표면[Ground-truth]과 (B)기존 연구[2]로 재구축한 표면과 그리고, (C) 본 논문에서 제안하는 시스템을 통해 만든 그물 표면의 차이를 보여준다. Fig. 8의 상단 (A)-1,(B)-1,(C)-1 은 최종적으로 재구축된 표면의 정면을 나타내고, 하단의 (A)-1, (B)-2,(C)-3 은 측면을 보여준다. 제안 시스템의 재구축된 표면의 집합은 Ground-truth 대비 유사함은 일치율과는 다르게 거의 흡사함을 확인할 수 있고, 기존의 방법[2]과도 더욱 근사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

### 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 기존의 단조로운 기하학 구조에서 오는 시뮬레이션의 오류에 대해 설명하였고, 해당 문제에 대한 기존 방식의 해결법과 시간적 소요의 문제점을 보여주었다. 그리고 본 논문에서는 그물 재구축 시 시간 소요 문제를 해결하기 위하여 그물의 동역학적 운동방정식과 기하학적 구조의 특징을 이용하여 자동으로 표면을 만들 수 있는 시스템을 개발하였다. 그 결과 500개 이하에서는 1분도 걸리지 않는 짧은 시간에 그물의 표면을 만들어 내어, 기존의 질점-스프링 그물 데이터에서 표면을 만드는 데 비용과 시간을 크게 단축시킬 수 있었고, 트롤 그물의 표면 재구축 결과도 실측 데이터의 모델과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 향후 연구에서는 수치적인 측면에서 일치율을 더 높여 정확도를 더 끌어올리는 방안을 모색할 것이다.



Fig. 7. Comparison of Generated Triangle Count.

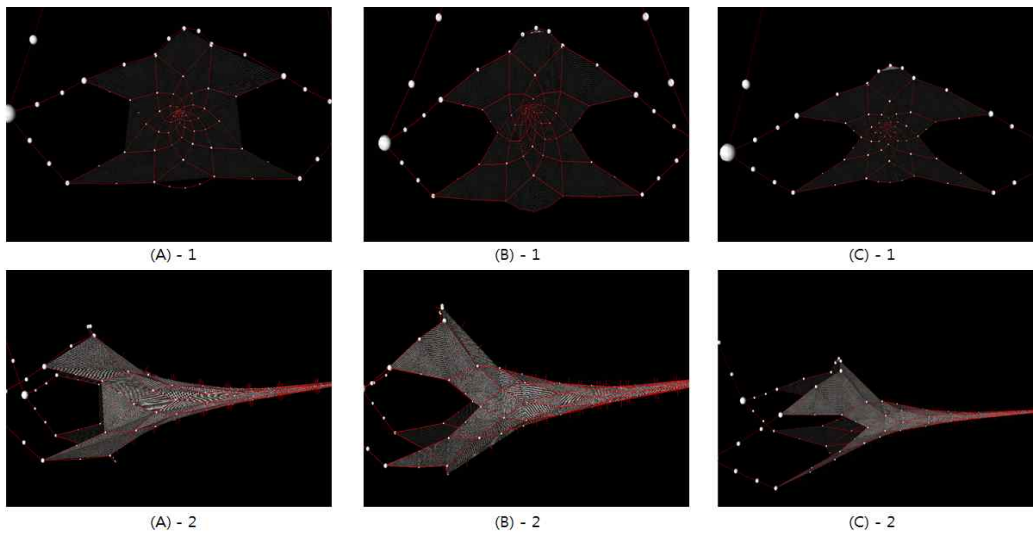


Fig. 8. Front view: (A)-1:Ground truth, (B)-1:Previous work[2], (C)-1:Proposed system, Side view: (A)-2:Ground truth, (B)-2:Previous work[2], (C)-2:Proposed system.

## REFERENCE

- [ 1 ] C.W. Lee, J.H. Lee, M.Y. Choi, and G.H. Lee, "Dynamic Behavior of a Submersible Fish Cage Rigged with a Circular Floating and a Sinking Colla," *Journal of the Korean Society of Fisheries Technology*, Vol. 46, No. 1, pp. 20-31, 2010.
- [ 2 ] K.K. Park and O.S. Kwon, "Automatic Reconstruction System for Surfaces of Fishing Net Using Connection Information between Particles," *Proceedings of the 2017 Korea Computer Congress*, pp. 1325-1327, 2017.
- [ 3 ] G.H. Lee, *Development of Fishing Simulation Model and Implementation of Fishing Simulator*, Doctoral Thesis of Pukyong National University, 2009.
- [ 4 ] J.H. Youn, G.T. Hur and I.C. Kang. , "A Study On The Development Of Virtual Underwater Environment And Sensory Simulator," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 15, No. 4, pp. 560-568, 2012.
- [ 5 ] J. Digne, J.M. Morel, C.M. Souzani and C.Lartigue., "Scale Space Meshing of Raw Data Point Sets," *Computer Graphics Forum*, Vol. 30, No. 6, pp. 1630-1642, 2011.
- [ 6 ] M. Berger, A. Tagliasacchi, L.M. Seversky, P. Alliez, J.A. Levine, and A. Sharf, "State of the Art in Surface Reconstruction from Point Clouds," *Eurographics Star Reports*, Vol. 1, No. 1, pp. 161-185, 2014.
- [ 7 ] J.H. Lee, L. Karlsen, and C.W. Lee, "A Method for Improving the Dynamic Simulation Efficiency of Underwater Flexible Structures by Implementing Non-active Points in Modelling," *ICES Journal of Marine Science*, Vol. 65, No. 9, pp. 1552-1558, 2008.
- [ 8 ] B. David and A. Witkin, "Large Steps in Cloth Simulation," *Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp. 43-54, 1998.
- [ 9 ] K.J. Choi and H.S. Ko, "Stable But Rresponsive Cloth," *Proceeding of the ACM SIGGRAPH 2005 Courses*, pp. 1, 2005.
- [ 10 ] B. Robert, R. Fedkiw, and J. Anderson, "Robust Treatment of Collisions, Contact and Friction for Cloth Animation," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 21, No. 3, pp. 594-603, 2002.





윤요섭

2003년 부경대학교 전자계산학과 (학사)  
2005년 부경대학교 전자계산학과 (이학석사)  
2007년 부경대학교 정보공학과 박사과정(공학박사) 수료

2009년~2011년 센싱맵 개발자 근무  
2012년~현재 부경대학교 그래픽스랩 연구원, 라이스리치소프트 대표  
관심분야: 컴퓨터 그래픽스, HCI, 모바일 & 웹 프로그래밍



권오석

2012년 부경대학교 컴퓨터멀티미디어공학 졸업(학사)  
2014년 부경대학교 IT융합응용공학과 졸업(공학석사)  
2015년~현재 부경대학교 IT융합응용공학과 박사과정

관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 3D의료영상 가시화, GPGPU



박건국

2017년 부경대학교 IT융합응용공학과 졸업(학사)  
2017년~현재 부경대학교 IT융합응용공학과 석사과정 (공학석사)

관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 물리 기반 3D 시뮬레이션



김영봉

1987년 서울대학교 계산통계학과 (학사)  
1989년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)  
1994년 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)

1994년~1995년 삼성전자 정보기술연구소 선임연구원  
1995년~현재 부경대학교 IT융합응용공학과 정교수  
관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 3D 컴퓨터 시뮬레이션