

## JBullet 을 활용한 물리 기반 애니메이션 프레임워크

안지혜\*, 정윤상\*\*, 박진호\*\*  
\*송실대학교 스포츠 IT 융합학과  
\*\*송실대학교 글로벌미디어학과  
e-mail : c2alpha@ssu.ac.kr

## A Physics based Animation Framework utilizing JBullet

Jihye An\*, YunSang Jeong\*\*, Jinho Park\*\*

\*Dept. of Media, Soongsil University

\*\*Dept. of Global School of Media, Soongsil University

### 요약

우리는 JBullet 을 활용하여 키네틱 아트 제작 과정 중 실험에 대한 시간과 비용을 줄일 수 있도록 키네틱 아트에 초점을 맞춘 3D 물리 애니메이션 프레임워크를 제안한다. 우리는 기계 구조에 따라 모델, 충돌처리, 제약조건, 외력을 제공하고 이들의 연결이 어떻게 기계적으로 동작하는지 쉽게 확인이 가능하도록 한다. 이를 통해 제안하는 물리 기반 애니메이션 프레임워크가 키네틱 아트 제작을 위한 기계 구조 실험을 대체하여 사용이 가능함을 보인다.

### 1. 서론

키네틱 아트는 창조성과 예술성, 인문학적 감수성의 영역으로 커뮤니케이션 미디어의 발달이 이루어짐으로 인해, 기계 운동 중심이 아닌 그 영향에 의해 나타나는 효과 또는 결과에 중심을 두게 되었다. 즉, 관객과 작품 사이의 상호작용에 따른 동작을 의미하는 것이 아니라 작품의 움직임을 보고 느낌으로써 생기는 감정에 의미를 둔다는 것이다. 예를 들면 미디어 아티스트는 ‘아름답다’와 같이 관객들의 구체적이지 못한 감정이나 미학적인 요구를 채우고자 한다는 것이다. 그러나 아티스트는 보이지 않는 ‘아름답다’를 형태화하여 표현해야 하기 때문에 무형과 유형 사이에서의 감정 차이를 줄이기 위해 아티스트는 여러 번의 실험을 거치게 된다. 이 여러 번의 실험에서 생기는 시간과 비용에 대한 부담을 줄여주고, 상대적으로 아티스트가 관객들이 요구하는 무형에 대한 미를 충족하려는 시간을 더 많이 가질 수 있도록 우리는 3D 물리 기반 애니메이션 프레임워크를 제안한다.

### 2. 관련 연구

지금까지의 키네틱 아트에 관한 논문은 교육, 기법 및 활용성에 관련된 연구가 주로 이루어졌으며, 아트가 물리와 관련하여 연구된 바는 키네틱 아트와 관련된 움직임에 대한 연구 및 이를 통한 시대 분석 정도이다. 그러나 키네틱 아트와 관련된 논문들을 보면 움직임에 대한 언급이 많으며, 움직임과 연계하여 작품 분석, 교육으로 연계가 된다는 것을 알 수 있다. 그만큼 움직임은 키네틱 아트에서 매우 중요한 부분이기에 [1] 오정화는 키네틱 아트에서의 물리적 움직임을 분석하고 이를 바탕으로 시대에 따른 작품의 특성을

을 연구하였다[2]. 또한 키네틱 아트에서의 움직임은 아동의 과학적 사고 능력을 높일 수 있다[3~5]. 평면에 제한적인 미적 감각만을 표현하던 아동의 표현력을 확장시켜 창의적인 표현을 높인다는 것이다. 여기서의 핵심은 과학적 사고 능력이 있다는 것은 움직임을 통한 표현을 예상하고 제작했을 때 예상하던 움직임이 나타난다는 것이다. 그러나 단순한 형태를 가지고 구조적인 움직임을 파악하는 것은 쉽지만 구조가 복잡해질수록 전체적인 움직임을 예상하기는 쉽지 않다. 과학적 사고 능력이 높은 아티스트의 경우 움직임에 대한 예상과 실제 움직임에 대한 차이가 작아 금방 그 차이를 줄여나갈 수 있지만 그렇지 못할 경우 차이를 줄이기 위한 노력이 많이 들게 된다. 그래서 Yohsuk et al.[6]은 아티스트를 위해 CAD를 활용하여 강체 시뮬레이션을 포함한 키네틱 아트 디자인 설계 모듈을 연구하였다. 이들이 제안하는 모듈은 모빌과 같이 무게와 균형을 중심으로 하는 키네틱 아트에 초점이 맞추어져 있다. 무게와 균형도 중요하지만 키네틱 아트는 복잡한 기계 구조를 사용하는 경우가 많기 때문에 우리는 물리적 속성에 더 초점을 맞추어 아티스트뿐 아니라 아동의 과학예술 수업에도 쉽게 활용이 가능하도록 하였다. 뿐만 아니라, 물리 시뮬레이션에 관한 연구는 아티스트에게 있어서 접근하기 어려운 부분이지만 이 연구를 바탕으로 점차 물리 시뮬레이션에 대한 이해를 높인다면, 키네틱 아트뿐 아니라 인터랙티브 아트 분야에서도 다양한 작품 활동을 할 때, 작품 제작 전 뿐만 아니라 작품의 전반적인 콘텐츠 효과에도 도움을 줄 수 있다고 여긴다.

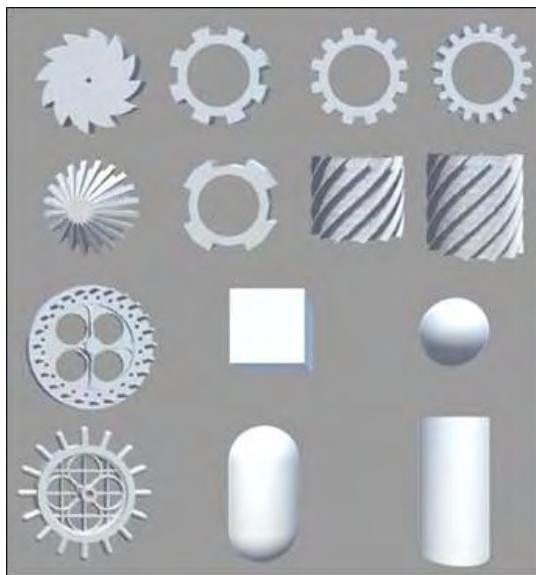
### 3. 우리의 방법

우리는 다양한 움직임을 위한 구조적 특징들을 정리

한 김제은[7]의 기계 형태 분석과 이상민[8]의 기계 구성을 바탕으로 키네틱 아티스트들이 조형에 구애 받지 않고 복잡한 기계 구조를 실시간으로 확인 할 수 있는 물리 시뮬레이션 프레임워크를 제안한다.

현재 제작되어 있는 Unreal이나 Unity3D는 게임 제작을 위한 엔진으로, 다양한 기능을 제공해주는 대신 높은 사양을 필요로 한다. 또한 세부적인 파라미터를 이용하기 위해서는 동역학에 대한 배경 지식이 필요하여 아티스트가 이를 활용하기에는 어려움이 있다. 키네틱 아트 아티스트들에게 필요한 기능만을 갖는 가볍고 편리한 물리 시뮬레이션 제작을 위해 게임 엔진이 아닌 물리적 속성만을 갖고 있는 물리 엔진(JBullet)과 그래픽스 라이브러리(LWJG)를 이용하여야 한다고 판단하여 이를 사용하여 제작하였다. 이는 아티스트들이 어떠한 환경에서든지 시뮬레이션을 활용할 수 있도록 추후 확장하기 위해 플랫폼의 이식성이 뛰어난 JAVA를 사용하기 위함이다.

우리는 외력 받는 부분, 전달 및 변환하는 부분, 움직이는 부분, 고정시키는 부분[7]을 바탕으로, 다양한 동작을 제공하는 여러 형태의 기어와 작품 구성을 위한 기본 모델을 제공하고(그림 1), JBullet의 Collision, Constraint, Motor 속성을 이용하여 기계 구성을[8] 구축하였다.



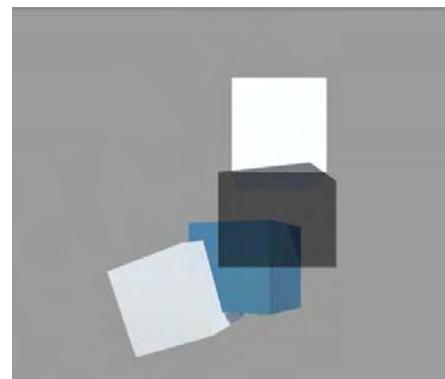
(그림 1) 제안하는 시스템에서 제공하는 3D 모델

이렇게 제한된 모델만 제공하는 이유는 같은 구조를 갖는 키네틱 아트일지라도 아티스트의 조형 감각에 따라 작품의 느낌이 달라져 조형을 아티스트의 고유 영역으로 남기기 위함이다. 우리의 물리 시뮬레이션은 아티스트의 기계 구조 실험을 돋기 위한 구조이기 때문에 3D 모델링 저작도구를 제안하는 시뮬레이션 내부에 구축하지 않았다. 하지만 아티스트가 외부의 3D 모델 파일을 호출 할 수 있게 OBJ 파일에 담긴 데이터를(그림 2) 판단하고 해당 정보를 JBullet에서 메쉬로 재형성하여, 우리는 아티스트의 디자인을 포함하여 시뮬레이션을 가능하게 한다.

```
v 0.645473 -0.141723 0.056767
v 0.639484 -0.141723 -0.034602
v 0.621621 -0.141723 -0.124407
v 0.592188 -0.141723 -0.211112
v 0.845473 -0.141723 0.056767
v 0.837773 -0.141723 -0.060707
v 0.814806 -0.141723 -0.176171
v 0.776964 -0.141723 -0.287649
v 0.936918 -0.141723 -0.073760
v 0.911399 -0.141723 -0.202053
v 0.869352 -0.141723 -0.325917
v 1.030717 -0.141723 0.122800
v 1.007991 -0.141723 -0.227934
v 0.975105 -0.141723 -0.330347
v 0.645473 0.258277 0.056767
v 0.639484 0.258277 -0.034602
v 0.621621 0.258277 -0.124407
v 0.592188 0.258277 -0.211112
v 0.845473 0.258277 0.056767
```

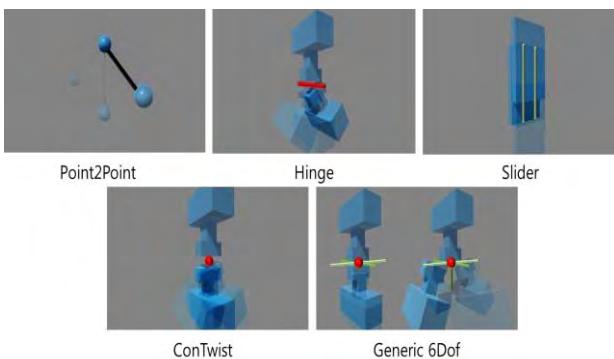
(그림 2) 모델에 따른 OBJ File Data

4 가지 기계 구성에서 3D 모델의 경우 아티스트의 미적 영향을 많이 받는 부분이지만, Collision, Constraint, Motor의 경우 물리적 속성의 영향을 많이 받는다. Collision은 두 물체 간의 충돌이 일어나는 현상을 말하며, 이는 작품의 실제 작동 범위, 충돌되는 부분 등을 확인 및 수정을 위해 필수적으로 필요한 기능이다. Collision을 감지하기 위해서는 객체 표현에 충돌이 발생할 수 있도록 외각 영역을 생성해야 하는데 이를 Collider라 한다. Collider는 모델과 똑같은 정보를 갖고 있어야 정확한 충돌이 이루어진다. 그러나 그림 3과 같이 Collider(검정색 영역)의 위치, 크기 등의 정보가 모델(파란색 큐브)과 일치하지 않을 경우 Collider가 있는 곳이 물체가 있는 곳이라 여겨 실제로 보이는 것과 다르게 충돌처리가 일어난다. 그래서 모델을 구성하는 정점들을 이용하여 우리가 제공하는 모델뿐 아니라 외부에서 3D 모델을 호출할 때에도 정확한 충돌 영역을 생성할 수 있도록 하였다.



(그림 3) Collider에 따른 충돌 형태

Collision이 충돌 현상을 감지한다면 Constraint는 강체의 움직임에 대하여 제약을 걸어주는 기능을 한다. 제약이란 시계추, 회전문 등과 같이 서로 다른 강체 사이에서 끈, 톱니와 같은 점 또는 축을 고정하여 서로의 움직임(이동, 회전)에 제한을 두어 묶인 것처럼 보이게 만드는 기능이다. C++로 구현된 Bullet 엔진에서는 총 6 가지 Constraint를 지원하는데 반해, JAVA로 이루어진 JBullet에서는 5 가지의 Constraint를 지원한다. Constraint의 종류와 이에 대한 특징은 다음과 같다(그림 4).



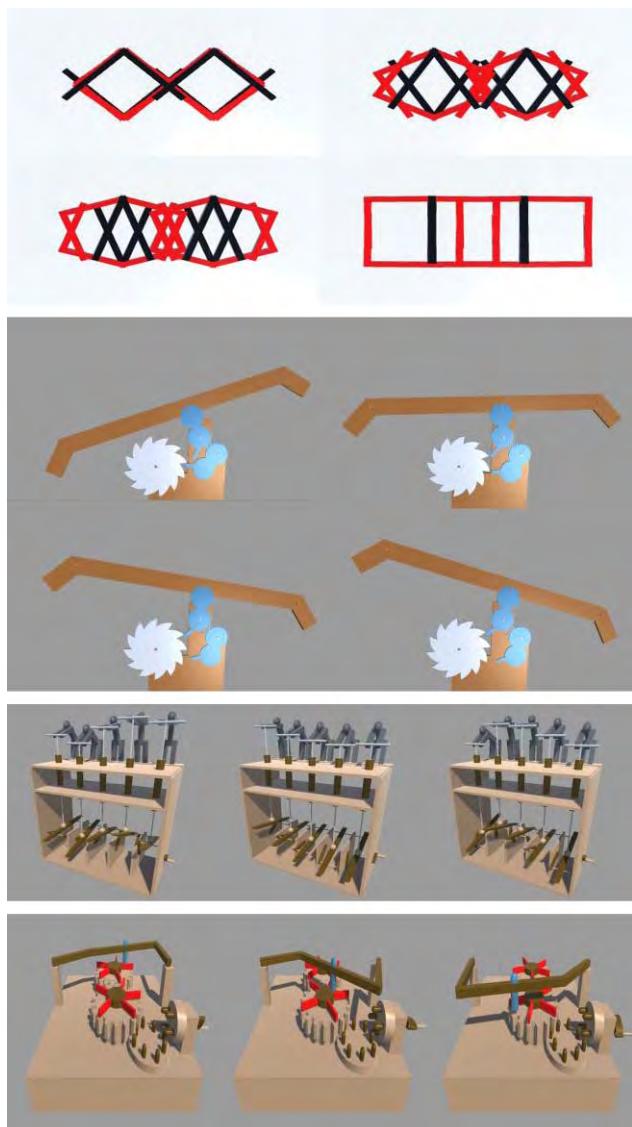
(그림 4) Constraint 종류

그림 4에서 검정색 축은 두 물체간의 고정된 간격, 빨간색 축은 이동은 불가능하며 해당 축으로만 회전이 가능하다는 것을 보여주며, 초록색 축은 회전은 불가능하나 해당 축으로만 이동이 가능하다는 것을 의미한다. 또한 빨간색 구로 표시된 것은 이동에는 제약이 있으나 회전이 축과 상관 없이 가능하다는 것을 나타낸다. Constraint 중 모든 회전축에 제약을 걸어 줄 수 있는 ConTwist는 Hinge 와 Generic6Dof 의 조합 또는 제한을 통해 같은 효과를 생성할 수 있기 때문에 제안하는 물리 시뮬레이션에서는 활용하지 않았다. 사용자는 4 가지 Constraint 를 바탕으로 각 부분에 필요한 Constraint 를 선택해야 하는데 이는 아티스트에게 있어서 물리적 연결을 인지해야 하는 어려움을 준다. 그래서 우리는 제공하는 기어의 중심에 연결될 모델을 설정하면 자동으로 미리 설정해둔 Constraint 를 적용하도록 하였다.

Motion State 는 무게, 중력과 같은 물리적 속성을 갖고 있어 Constraint 와 함께 Collider 가 생성된 모델에 적용되어 강체를 형성하게 된다 Motion State 를 통해 모델은 물리적 속성을 가질 뿐 아니라 Constraint 로 인해 제한된 움직임을 갖기 때문에 사용자는 모델이 서로 연결된 구조로 느낄 수 있다. 이렇게 서로 연결된 강체 간의 지속적인 동작 연계성을 위해서는 기계 구성에서 동력 장치에 해당하는 Motor 가 필요하다. 사용자는 Motor 를 적용하고자 하는 강체에 Motor 를 적용하여 가상 공간에서 기계 구조에 따라 Constraint 로 연결된 강체들이 연계되어 지속적인 움직임을 이루는 것을 확인하도록 한다.

#### 4. 실험 결과

제안하는 물리기반 애니메이션 프레임워크에 대한 개발과 실험은 윈도우 7 Inter® Core™ i5-3470 CPU, RAM 8GB, GeForce 970 그래픽카드 환경에서 진행되었으며, 이 장에서는 실제 키네틱 아트와 제안하는 물리 기반 애니메이션과의 움직임을 비교한다. 우리는 기존 키네틱 아트의[9~12] 기계 구조를 보고 우리의 시뮬레이션 프로그램에서 기본으로 제공하는 모델들을 사용하여 초기 모델 형성부터 최종적으로 원하는 기계 구조의 움직임을 얻기까지의 시간을 체크하여 실험하였다.(그림 5, 표 1).



(그림 5) 제안한 애니메이션 프레임워크의 실험 결과들(순서대로 [9~12])

&lt;표 1&gt; 시뮬레이션을 위한 작품 설계에 걸린 시간과 사용된 Constraint

Project	Lead Time(min)	# of Object	Constraints
[9]	10	24	Hinge
[10]	45	23	Hinge
[11]	42	67	Hinge, Slider
[12]	25	20	Hinge

표 1에서 확인이 가능한 것처럼 두 번째 작품의 경우 모델 개수에 비해 제작시간이 오래 걸렸는데 이는 제공하는 모델로만 디자인을 하다 보니 톱니 조절에서 오래 걸렸기 때문이다. 또한 세 번째 작품처럼 작품의 기계 구조가 어려운 경우 초기의 기계 동작 구조를 만드는 시간이 오래 걸릴 수 있다. 하지만 두 번째 작품과 같은 문제는 아티스트가 외부의 OBJ 파일을 불러옴으로써 해결이 가능한 문제이며, 세 번째

작품의 경우에는 실제 구조 실험을 위해 부품들을 조립, 검사, 재 분해 하는 과정을 반복하는 시간에 비해 매우 적은 시간이기에 큰 어려움이 되지 않는다. 즉, 우리는 기계 구조 실험에 중심을 둔 물리 기반 애니메이션이기 때문에 결과적으로는 실제 반복 실험에 비해 단시간에 기계 구조 실험을 진행할 수 있다는 것을 의미한다. 하지만 우리의 실험은 완성된 작품을 바탕으로 테스트를 진행하였기 때문에 실제 아티스트들에게 얼마나 도움이 되는지는 정량적 수치로 표현하지 못했다는 한계가 있어 향후 연구에서는 이를 정량화할 필요가 있다. 그러나 모델을 실제 작품과 똑같이 구현했을 때 움직임이 동일하다는 것은 작품 제작에 대한 실험을 시뮬레이션으로 대체할 수 있다는 것을 보여준다.

## 5. 결론

제안하는 물리기반 애니메이션 프레임워크는 가상 공간에서의 모델 조립 및 Constraint 설정이 단순하여 동역학에 대한 배경 지식이 없는 아티스트도 쉽게 기계 구조를 확인할 수 있으며, 아동의 창의 교육에서도 기계 구조 학습과 더불어 사용이 가능하다. 하지만 어려운 점은 새로운 모델을 내부적으로 형성하기에는 어려움이 있으며 제공하는 모델을 바탕으로 만들기에는 4 장의 표 1 두 번째 작품과 같이 모델을 구성하는 시간이 길다는 단점이 있다. 이는 외부에서 모델링을 하여 불러오는 방법으로 해결이 되지만 외부에서 가져온 모델의 경우 물리적 속성을 직접 설정해야 한다는 문제가 있다. 외부의 3D 모델에 대해서도 물리적 속성에 대한 설정이 간편해진다면 아티스트는 더 폭넓게 가상 실험을 할 수 있을 것으로 여겨진다.

## 참고문헌

- [1] Philseong, J.: Kinetic Art Research: Focusing on the Major Writers. Master's Thesis In Hannam University(2009)
- [2] Jeonghwa, O.: A study on the Regrouping of the Physical Movement of Kinetic Art (Focused on associated Kinetic Art with Media Art). Master's Thesis In Kyungpook National University(2011)
- [3] Hyeockjae, K.: The Development and Application of Science-Arts Convergence Program through Kinetic Art. Master's Thesis In Gyeongin National University of Education(2015)
- [4] Hyeockjae, K., Nanjoo K.: Effects of the Science-Arts Convergence Program on Elementary School Student's Creative Personality. Focusing on Kinetic Art, no.54, vol.1, pp 17-30 Research Institute for Science Education (2015)
- [5] Eunah, L.: A Study on Teaching Method of Kinetic Art According to Principle of movement. Master's Thesis In Seoul University (2014)
- [6] Yohsuke F., Jun M., Takeo I., Yukio F.: Kinetic Art Design System Comprising Rigid Body Simulation. Computer-Aided Design & Applications, no. 7, vol.4, pp533-546 (2010)
- [7] JeaEun K.: A Study on the Toy Using Automata – Focused on Wooden Goods. Master's Thesis In Keimyung University(2012)

- [8] Sangmin L.: The Study on Kinetic Metal Crafts Applying the Operational Principle of Mechanical Elements. Master's Thesis In Kyonggi University(2010)
- [9] Dynamic Structure 10110, <https://www.youtube.com/watch?v=KxxLscfcfoHw>
- [10] Organic Escapement, <https://www.youtube.com/watch?v=ehyVUsX5w0M>
- [11] Team Work, <http://ceciliashiller.com/team-work-2/>
- [12] The Nose Knows, <http://ceciliashiller.com/the-nose-knows-2/>