

사용자 설계형의 방출 제어 솔루션을 통한 효율적인 유체 시뮬레이션 구현

황민식, 이현석*
동서대학교 디지털콘텐츠학부

Efficient Fluid Simulation through Various User Design-type Emission Control Solutions

Min-Sik Hwang, Hyun-Seok Lee*
Division of Digital Contents, Dongseo University

요 약 3D 컴퓨터그래픽에서 유체를 이용한 사실적인 시각효과(Visual Effects)는 영상의 질적 완성도를 높이는데 중요한 요소로 작용한다. 유체의 각 속성을 제어하여 물, 불, 폭발 등의 사실적인 움직임을 생성시키는 과정을 유체 시뮬레이션(Fluid Simulation)이라 한다. 일반적으로 유체 시뮬레이션의 제작은 주 시뮬레이션(Main simulation) 작업단계에 집중되지만, 이를 위한 사전준비 단계(Initial set up)인 초기 방출자에 대한 효과적인 생성방법이 중요하다. 이에 본 연구의 목적은 유체의 초기 방출 운동과 형태에 관여하는 요소들을 분석하고 이를 초기 제작공정에 적용할 수 있는 효과적인 방법을 제시하고자 한다. 이를 위한 연구의 전개는 첫째, 기존 관련 연구에 대해 분석 및 문제점을 제기하고, 둘째, 보다 효과적인 유체효과 시뮬레이션 진행을 위해, Dynamic Fluid Emitter Creation과 User Design Type Emission Velocity Solution에 대한 두 가지 실험을 진행한다. 본 연구를 통해, 사용자 설계형의 방출 제어 솔루션을 통해 효율적인 초기단계의 유체 시뮬레이션 제작방법을 제시한다.

주제어 : 유체 시뮬레이션, 방출자, 컨테이너, 방출속도, 사용자 설계형

Abstract The realistic Visual Effects using fluid simulation in 3D computer graphics are operated as important factors to improve the quality of images. The process of creating realistic motions of water, fire, explosion by controlling each property of fluid is called fluid simulation. In general, the creation of a fluid simulation concentrates on the main simulation work phase, however an effective method for initial set up is important for the main simulation work. The purpose of this study is to analyze the factors involved in the initial emission motion and shape of fluid and propose methods that can efficiently apply this into the initial set up. For the process of the research, first, problems are raised based on related researches, and second, two experiments, 'Dynamic Fluid Emitter Creation' and 'User Design Type Emission Velocity Solution', are conducted for more effective fluid simulation. Through this research, the effective fluid simulation of initial set up phase will be suggested through the user design-type emission control solutions.

Key Words : Fluid Simulation, Emitter, Container, Emission Velocity, User Design-type

*This research was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) (No. 2016R1C1B101434)

*Corresponding Author : Hyun-Seok Lee(hslee@dongseo.ac.kr)

Received April 19, 2018

Revised May 23, 2018

Accepted June 20, 2018

Published June 28, 2018

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

시각특수효과(visual effects, VFX)란, 영상콘텐츠를 제작할 때 실제 세계에서 촬영할 수 없는 스펙터클하고 과장된 효과를 표현하는 기술이다[1]. 이러한 CG의 특수 효과를 위한 유체 애니메이션은 영화 속에서 물, 연기, 불, 바람, 안개, 모래 등의 움직임은 특수 효과로 표현하는 기술이다[2]. 유체(流體)는 일정한 형태가 정해져 있지 않으며 외부의 요인에 의해 그 상태가 수시로 변하는 상태를 의미한다[3]. 이러한 유체는 일반적으로 액체와 기체를 포괄하는 개념이지만 본 연구에서 유체는 기계 효과를 위한 시뮬레이션 제작에 한정한다. 유체 시뮬레이션이 대상에 사용자가 원하는 움직임을 부여하는 측면에서 애니메이션과 유사하지만, 입자(Particle), 강체(Rigid Body), 옷감(Cloth), 유체(Fluid) 등이 다양한 물리 화학적 속성에 근거하여 매 프레임(Frame)별 변화수치가 기록, 수정되며 업데이트된 정보를 기반으로 효과를 구현하는 것이 큰 차이점이다. 유체의 대표적인 성격으로는 흐르는 성질인 유동성과 주변 자극에 의해 쉽게 변화하는 변형성이 있다. 이러한 특성에 중점을 둔 유체 시뮬레이션은 유체의 밀도, 확산, 소멸 등 다양한 속성의 제어를 통해 유체의 운동과 형태 변형을 표현한다. 이러한 유체 시뮬레이션의 작업 특성은 시각적 사실성, 시뮬레이션의 안정성 및 신속성, 제어 가능성에 있다[4]. 또한, 다양한 자연현상을 컴퓨터로 있는 그대로 표현하기 위하여 복잡한 역학 및 수학적 연산을 수행[5]해야 하며, 사실적인 유체 흐름의 표현을 위해서는 다양한 수치 해석 기법을 통한 물리 기반 애니메이션 기법의 적용이 필요하다[6]. 이러한 유체 시뮬레이션과 같은 물리 기반 애니메이션의 기술의 중요성은 더욱 커지고 있다[7].

상술한 유체의 특이성 때문에, 대부분의 유체 시뮬레이션은 유체 생성 후 가해지는 물리 화학적 요인들에 의한 유동성과 변형성에 초점을 맞추고 진행된다. 이는, 대개의 경우 물리적인 법칙을 무시한 채로 애니메이터의 키프레임 정의에 의한 수작업으로 생성되는 경우가 많았기 때문이다[8]. 본 연구는 유체 관련 많은 변수 및 수치 값 변화에 따른 과도한 반복적인 시뮬레이션 작업의 효과적인 개선을 위해 유체 초기 생성 단계에 주안점을 둔 사용자 설계형의 방출 제어 솔루션을 제시하고자 한다.

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구는 유체 효과 제작 과정 중 방출자를 생성하는 작업초기 단계(Initial Set Up)에 한정한다. 보다 효과적인 사용자 설계형의 방출자 생성을 위해 CG 소프트웨어인 Autodesk Maya를 이용하여 순차적 두 단계의 실험을 진행한다. 첫째, 최적화된 동적 유체 방출물체를 제작하고 이를 통한 유체생성을 기반으로 효과를 구현하는 'Dynamic Fluid Emitter Creation' 둘째, 유체의 초기 방출 속도를 설정하고 적용시켜 효율적인 유체 운동을 견인하는 'User Design Type Emission Velocity Solution'의 효율성 검증을 위한 실험을 진행한다.

2. 선행 연구 분석

기술의 발전과 더불어 상용화된 소프트웨어의 보급, 고 사양 하드웨어의 일반화 등으로 인해 컴퓨터 그래픽을 이용한 비주얼이펙트(VFX) 제작이 일반화 되어 가는 추세이며[9], 또한, 유체효과를 애니메이션 제작에 적용할 수준에 이르고 있다[10]. VFX 제작에서 유체 시뮬레이션은 필수적인 제작 기술이며 많은 아티스트들이 사실적인 특수효과를 표현하기 위해 사용하고 있다. 이러한 유체의 물리 기반 시뮬레이션은 복잡한 수식으로 인해 전체 시뮬레이션 수행시간이 오래 걸리는 단점이 있다[11]. 유체 시뮬레이션 작업은 매우 복잡하고 많은 변수들을 포함하고 있어 원하는 유체 효과 구현을 위해서는 작업자들이 많은 속성들을 조절해가며 수많은 시뮬레이션을 반복수행해야 한다[12]. 또한 많은 용량의 소모가 요구되는 시뮬레이션 작업을 위한 하드웨어의 계산능력과 자원에는 한계가 있고, 이 때문에 시뮬레이션 품질에 제약이 있을 수밖에 없다[13]. 이러한 유체 시뮬레이션의 제작과정은 초기 작업과정인 방출자 형성을 제작하는 Initial set up 단계와 다양한 유체 효과를 위한 시뮬레이션 테스트와 렌더링이 진행되는 Main simulation 작업으로 구분될 수 있다. 전체 작업량에 있어서 Initial Set Up이 약 10-20% 정도이며, Main simulation 단계는 약 80-90%를 차지한다.

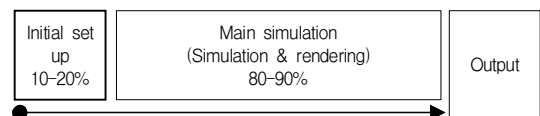


Fig. 1. General pipeline process for fluid effect

유체 시뮬레이션에 관한 기존 연구를 보면, 김선태, 이정현, 김대영, 외 3명(2012)은 ‘사례연구: 영화 7광구의 유체 시뮬레이션’을 통해 영화에서 재현한 수조에서 물이 터지는 ‘Smoothed Particle Hydrodynamics(SPH)’기법과 폭발이 불타는 ‘Detonation Shock Dynamics(DSD)’ 화염 시뮬레이션에 대한 분석을 통해 제작방법을 제시하였다 [14]. 임재광, 김봉준, 홍정모(2013)은 ‘효율적인 유체 시뮬레이션을 위한 FLIP과 레벨셋의 적응형 혼합기법’을 통해 레벨셋(Level Set)과 Fluid Implicit Particle(FLIP)을 혼합한 유체 시뮬레이션 기법을 제안하였다[12]. 또한, 김봉준, 임재광, 홍정모(2014)는 ‘질점-용수철 기반변형/파괴 물체와 격자 기반 유체의 상호작용 시뮬레이션 기술’을 통해 변형 및 파괴가 용이한 오브젝트와 격자 기반 유체가 상호 작용하는 시뮬레이션 기법을 제안하였다 [15]. 대부분의 기존 연구는 유체 시뮬레이션의 본 작업(Main simulation) 과정에 편중되어 있으며, 유체시뮬레이션을 위한 초기 단계(Initial set up)의 방출자 제어 시스템에 대한 연구가 전무한 실정이다. 이에, 본 연구는 효율적인 Main simulation 제작 과정을 위한 사전단계인 Initial set up 과정을 중심으로 초기 방출자 생성에 관한 연구를 진행하고자 한다. 이를 요약하면 Fig. 1과 같다.

본 연구를 통해 유체의 생성에 있어 수반되는 요소들에 기인한 효과구현을 위한 관련 속성 값들의 변화 치에 따른 반복적인 시뮬레이션의 횟수를 줄여 보다 효율적인 제작공정을 실현할 수 있으리라 사료된다.

3. 실험연구

기존의 일반적인 유체효과를 위한 제작공정의 대부분은 메인 시뮬레이션에 치중되어 있고, 유체를 구성하는 수많은 변수를 조절해가며 반복수행하는 시뮬레이션은 효율성도 떨어지며 하드웨어의 계산능력과 자원에 따라 구현되는 효과에 제약이 발생할 수 밖에 없다.

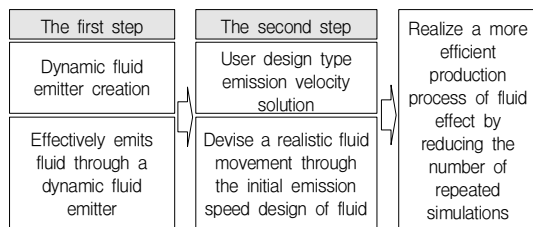


Fig. 2. Stages of experiment study

이에 따라 메인 시뮬레이션이 효과적으로 수행 될 수 있도록 작업 초기단계(Initial set up)의 사용자 설계형의 방출 제어 솔루션 구축을 위한 순차적 실험연구를 진행한다. 그 과정과 내용을 요약하면 Fig. 2와 같다.

3.1 실험 1: Dynamic Fluid Emitter Creation

유체 효과를 구현하는 초기 단계에 있어 중요한 부분을 차지하는 것이 바로 유체를 생성하는 방출자의 형태이다. 방출자의 형태는, 최초 방출 후 유체에 의해 형성되는 유체 볼륨(fluid volume)의 초기 형태를 구축하는 요소이며, 이는 전체 효과의 질적 완성도를 결정하는 중요한 과정이다. 대부분의 경우, 3D 그래픽 프로그램에서 기본적으로 제공하는 완벽한 기하학적 형태의 물체인 구(Sphere), 상자(Box), 원뿔(Cone) 등은 현실에서 존재하기 힘들다. 현실에서의 물체는 대부분 표면이 거칠고 울퉁불퉁하며 불규칙한 곡면을 가지고 있다. 사실적인 유체 방출을 위해서는 유체 방출자의 형태 또한 불규칙한 표면 형태(Irregular Surface Shape)를 가져야 한다. 하지만 Irregular Surface Shape에 의거한 방출물체의 생성만 가지고는 효율적인 효과를 볼 수 없다. 주 방출자(main emitter)와 유체 생성 및 방출의 효율성을 높여줄 수 있는 보조 방출자(extra emitter)가 필요하다. 여기에 유체의 방출 속도(emission velocity)에 맞춰 방출물체의 크기가 변화하는 동적 형태를 부가적으로 구현함으로써 보다 최적화된 유체 방출 시스템을 구축할 수 있다. 이를 위한 단계적 실험은, ① ‘Irregular Surface Shape Emitter’의 구축, ② ‘Extra Emitter’의 추가, ③ ‘유체의 방출 속도와 연동된 동적 방출형태 구축’의 세 단계로 전개한다.

3.1.1 Irregular Surface Shape Emitter의 구축 단계

먼저 유체 방출을 담당할 기본적인 물체(basic object)를 생성한 후 부드러운 곡면을 가질 수 있도록 점(point), 선(edge), 면(surface)을 추가해주는 과정이 필요하다. 이와 같은 물체의 세분화(subdivision)는 프로그램에서 기본적인 속성제어로 가능하다. 그런 다음, 물체를 구성하는 전체 점의 위치(point position) 정보를 추출한 후, 추출된 각 점들의 위치를 기반으로 위치 재설정(reposition)을 수행하여 불규칙한 표면의 물체를 생성한다.

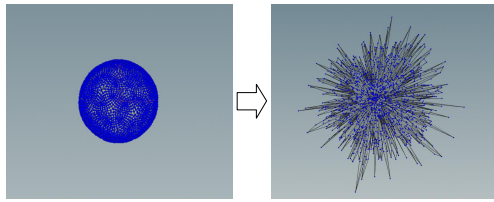


Fig. 3. Basic shape emitter (left), and irregular surface shape emitter (right)

Fig. 3을 보면, 유체 방출자가 지나칠 정도로 불규칙한 외형을 취하고 있는데, 이는 초기 방출 시 유체의 형태가 방출자의 형태에 기인하기 때문에 사실적인 유체 효과를 효율적으로 구현하기 위해서는 불규칙성이 높은 형태의 방출자 설계가 중요하다.

3.1.2 Extra Emitter의 추가 단계

보조 방출자(extra emitter)의 추가는 전 단계의 최종 결과물인 'Irregular Surface Shape Emitter'의 점들의 최소 둘레를 연결하는 경계를 원의 형태(sphere shape)로 설정해주고, 원 형태를 구성하는 기하학적 구조의 물체(geometry)를 유체로 변환시켜준다. 변환된 유체를, 밀도(density)를 기준으로 점군(point cloud)의 형태로 재 변환하여 각 점들의 위치에 임의로 생성한 물체를 대체(geometry replacement)한다. 최종적으로, 'Irregular Surface Shape Emitter'와 이를 하나의 물체단위로 통합하여, 보조 방출물체 집단(group)을 추가한 방출자를 생성한다. 그림 Fig. 4 참조.

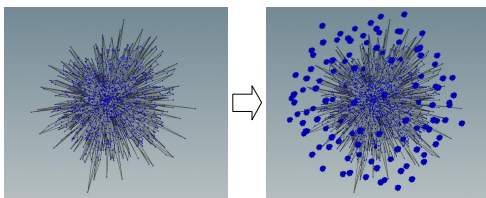


Fig. 4. Irregular surface shape emitter (left), and adding extra emitter group (right)

3.1.3 유체의 방출 속도와 연동된 동적 방출형태 구축 단계

유체의 방출 속도와 연동된 동적 방출형태의 구축은, 먼저 기본적인 유체의 방출 속도(emission velocity)를 추출하고 이를 위의 결과물의 크기(scale)에 종속시킨다. 이를 'Dynamic Fluid Emitter'라 명칭 한다. 유체 시뮬레이션 상 방출 속도를 수정하여도 종속된 방출물체의 크

기는 변환된 속도 수치 값을 기준으로 연동된다.

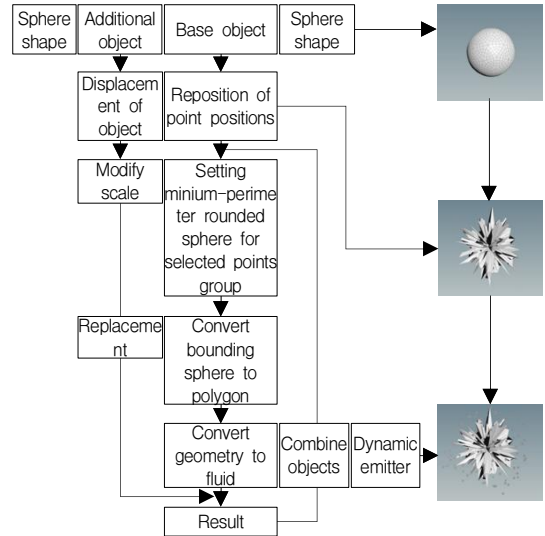


Fig. 5. Application of dynamic fluid emitter creation technology

하지만 유체의 방출속도에 따라 방출자의 크기가 무한으로 증가하지는 않는다. 이는, 초기 방출에 있어서 유체의 방출속도에 연동한 방출자의 크기 변화가 효과의 사실성 증대라는 면에 있어서는 효율적인 요소를 가지나, 유체의 초기 방출 이후에는 방출자의 크기를 제한하여 유체의 양(rate)을 조절해야 한다. 본 단계는 유체의 생성 및 초기 방출에 있어서만 수행하고 그 이후, 연결된 종속을 해지하여 일정 크기의 방출형태를 유지하도록 한다. 실험은 유체의 생성과 최초 방출 후 형성되는 유체의 초기 형태를 효율적으로 구현하는 방출자 제작방법을 순차적으로 제시하였다. 실험연구의 과정을 요약하면 Fig. 5와 같다.

3.2 실험 2: User Design Type Emission Velocity Solution

유체의 초기 생성에 관련된 유체의 방출 속도(fluid emission velocity) 설정에 있어서 기본적으로 프로그램에서 제공하는 표준설정(default) 옵션을 사용하는 경우가 많다. 하지만 표준설정 옵션의 경우, 사용하기 편리하나 사용자가 원하는 방향으로 수정하는 데는 한계가 있으며 특히, 유체를 방출하는 물체 고유의 형태가 고려되지 않고 시뮬레이션이 수행되는 경우가 많다. 예를 들어 다수의 곡면을 보유하고 있는 물체를 통한 유체 방출의

경우, 유체 방출자 본래 고유의 형태(shape)를 기본으로 하여 생성되고, 운동한다. 하지만 표준설정의 일반적인 구(sphere) 형태의 방사형 운동속도(radial velocity)를 적용해서는 효과적인 움직임을 구현하는데 한계가 있다. 이에 본 실험에서는 폭파에 관여하는 물체의 형태에 준하여 방사형으로 뻗어나가는 운동속도의 생성을 통해 보다 효율적인 유체효과를 구현하고자 한다. 실험의 과정은 ① ‘Emission Velocity Creation based on Emitter Shape’ 과 ② ‘Application of Velocity Parameter’의 두 단계로 진행된다.

3.2.1 Emission Velocity Creation based on Emitter Shape

앞선 단계에서 실험을 통해 만들어진 불규칙한 형태의 유체 방출자인 ‘Dynamic Fluid Emitter’를 사용하여 유체의 운동 속도를 계산한다. 먼저 생성된 유체 방출자를 유체로 변환한 뒤, 밀도(density)를 기준으로 점의 집합체로 재 변환하며, 각 점별 위치 값을 추출한다. 각 점들을 대표하는 중심점(central point)은 점군의 최소 둘레를 연결하는 경계를 설정한 후, 가장 거리(distance)가 먼 임의의 두 점을 추출하여 두 점 사이 거리의 평균값을 통해 산출한다.

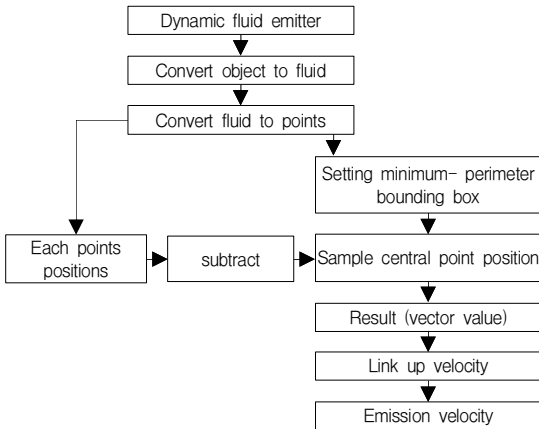


Fig. 6. Realization of emission velocity creation based on emitter shape technology

각 점별 위치 값으로부터 추출된 중심점까지의 차이를 계산하고, 각 결과로 산출된 각 벡터 값(vector value)을 유체 운동속도(velocity)와 연동함으로써, 물체의 형태에 기인하여 방출자의 중심으로부터 방사형으로 방출되는 유체 운동속도를 생성할 수 있도록 한다. 실험의 과정

을 요약하면 Fig. 6과 같다.

3.2.2 Application of Velocity Parameter

본 실험 단계는 생성된 유체 운동속도의 방향과 강도를 사용자가 자유롭게 제어하기 위한 매개변수 지정 및 적용을 진행한다. 먼저 유체 운동속도의 효율적인 제어를 위해 방향(direction)과 강도(magnitude)를 별도의 매개변수로 지정하여 속성 옵션으로 추가한다. 유체의 방향을 제어하는 옵션은 ‘Dynamic Fluid Emitter’를 유체로 변환하고 이를 점의 집합체로 재 변환한 상태에서 벡터(vector) 형식의 매개변수를 더해주는 방식으로 지정해 줄 수 있다. 이를 통해 운동속도 방향의 직관적인 제어가 가능하다.

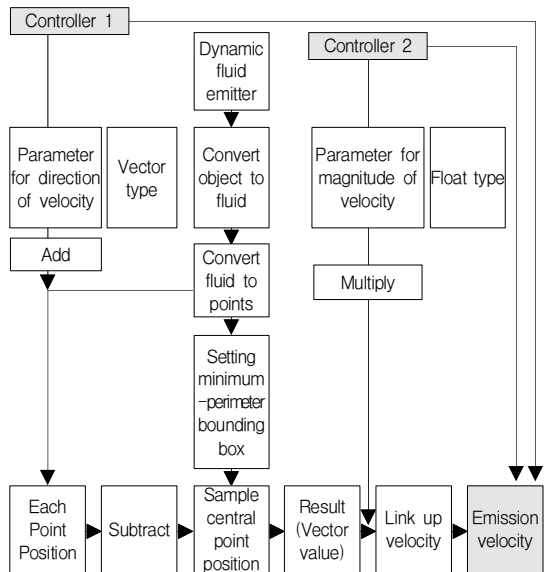


Fig. 7. Application of velocity parameter technology

또한, 유체 운동속도의 강도를 제어하는 옵션은 각 점별 위치 값으로부터 추출된 중심점까지의 차를 계산하고, 이 결과를 유체 운동속도(Velocity)와 연동하기 전 단계에 벡터(Vector) 형식의 매개변수를 곱해주는 방식으로 지정해 줄 수 있다. 속도는 3개의 인자 값으로 구성된 벡터 형식이기 때문에 곱해지는 매개변수 또한 벡터 형식이며 X, Y, Z 각 방향에 관한 개별적인 제어가 가능하다. 본 실험의 과정을 요약하면 Fig. 7과 같다.

본 실험연구를 통해 구축된 유체 초기 방출속도 제작

기술은 어떤 형태의 물체를 적용하든 입력(input)을 통해 적용 가능하며 별도의 속성 옵션으로 지정된 방향(direction)과 강도(magnitude)의 제어를 통해 작업자가 즉시적으로 수정이 가능토록 하였다. 본 기술을 적용한 유체 방출속도 설정 결과와 일반적인 형태의 유체 방출속도 설정 결과를 비교하면 아래 Fig. 8과 같다.

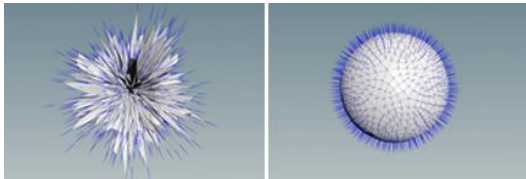


Fig. 8. Fluid emission velocity setting that applied user design type emission velocity solution (left), and fluid emission velocity setting of general shape (right)

3.3 사용자 설계형 방출자 적용 결과

Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11의 이미지들은 본 실험연구를 통해 제안한 기술적 요소들인, ‘Emission Velocity Creation based on Emitter Shape’과 ‘Application of Velocity Parameter’를 적용한 제작 사례이다.

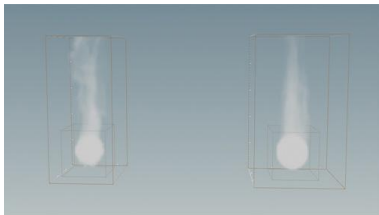


Fig. 9. Comparison of the results applying technology (left) and not applying the technology (right) for smoke simulation

Fig. 9는 연기효과(smoke effect)를 구현 할 시 일반적인 방출자(좌)와 사용자 설계형의 방출자(우)를 비교하여 시뮬레이션을 한 결과이다.

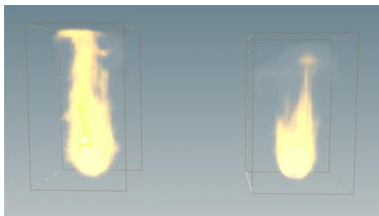


Fig. 10. Comparison of the results applying technology (left) and not applying the technology (right) for flame simulation

Fig. 10은 좀 더 많은 양의 유체를 방출하고 운동성이 높은 불꽃효과(flame effect)를 실험하기 위해 일반적인 방출자(좌)와 사용자 설계형의 방출자(우)를 적용한 결과이다.

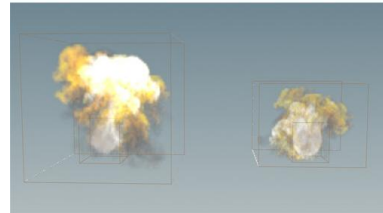


Fig. 11. Comparison of the results applying technology (left) and not applying the technology (right) for explosion simulation (bottom)

Fig. 11은 유체의 밀도(density)가 높고 방출범위가 넓으며 유체 시뮬레이션의 운동이 역동적(dynamic)인 폭발효과(explosion effect)를 실험하기 위해 일반적인 방출자(좌)와 사용자 설계형의 방출자(우)를 적용한 결과이다. 위 세 가지 연기효과(smoke effect), 불꽃효과(flame effect), 폭발효과(explosion effect) 실험결과 일반적인 방출자(좌)를 사용한 것보다 본 연구에서 제안하는 사용자 설계형의 방출자(우)를 사용한 효과구현이 보다 사실적이고 완성도 높은 결과가 나왔다. 이러한 세 가지 실험과 일반적 순서의 유체시뮬레이션의 시간 소요대비 결과물의 완성도를 그래프로 비교하면 Fig. 12와 같다.

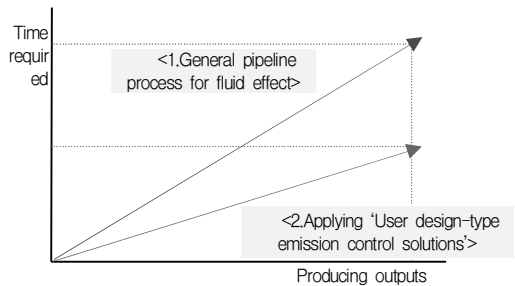


Fig. 12. Comparison of the results between <1. General pipeline process for fluid effect> and <2. Applying ‘User design-type emission control solutions’>

Fig. 12는 기존의 일반적인 방출자를 사용한 유체효과 구현 작업공정인 <1.General pipeline process for fluid effect>에 비해 본 연구에서 제시하는 사용자 설계형의 방출자를 적용한 작업공정인 <2.Applying ‘User design-type

emission control solutions’>이 두 배에 달하는 효율성을 보여주었다.

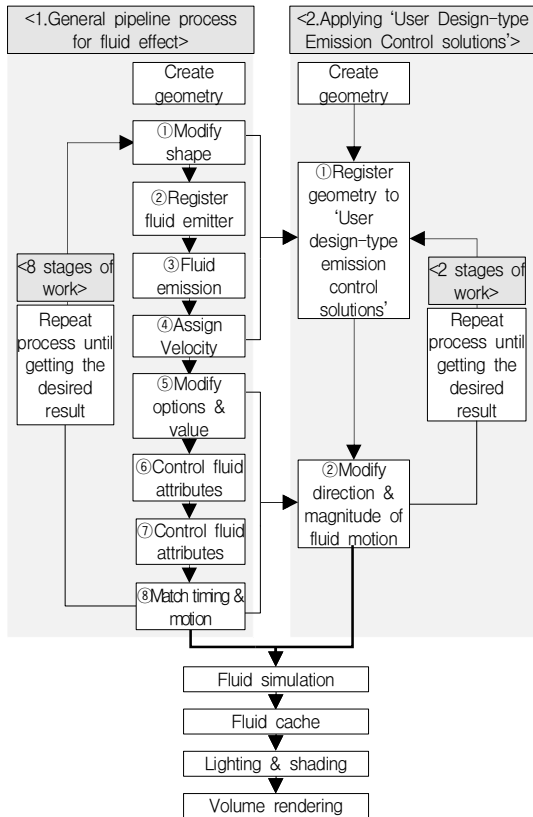


Fig. 13. Comparison of the process of fluid simulation between <1. General pipeline process for fluid effect> and <2. Applying ‘User design-type emission control solutions’>

Fig. 13.의 유체효과 구현을 위한 파이프라인 구조도 비교에서처럼 <1.General pipeline process for fluid effect>의 일반적인 8단계의 공정과 달리 본 기술 적용을 통해 <2.Applying ‘User design-type emission control solutions’>과 같이 2단계로 최적화하였다. 이를 통하여 연산의 과부하를 낮추고 안정적인 결과물 생산을 위한 공정의 반복횟수 및 시간소요를 줄임으로써 효율적인 유체시뮬레이션 제작공정을 구축하였다.

4. 결론

본 실험은 유체 방출 후의 제어와 운동설정을 통한 일

반적인 유체 시뮬레이션 방법에 앞서, 유체가 생성되는 시점인 초기의 방출 운동과 형태를 효율적으로 제어할 수 있는 기술적인 방법을 제시함으로써 유체효과 구현을 위한 공정 최적화를 제안한다. 기존 연구에서는 생성된 유체의 운동과 형태를 관여하는 요소들을 제어하는 방법으로 효율적인 유체효과 구현에 관한 부분들을 제시하였는데 반해, 본 연구에서는 유체방출을 담당하는 물체의 형태와 유체방출 운동속도에 주안점을 두어 실험을 진행하였다. 이는 유체효과의 초기 유체방출과 운동의 디자인을 구축하는 방법을 기술적으로 제안함으로써 과도하게 반복적인 시뮬레이션을 최소화하여 보다 용이한 최적화된 제작공정 구축에 도움을 주고자 함이다. 향후, 본 연구에서 제안한 초기 유체방출 및 운동에 관련된 기술적 접근을 더욱 발전시키고, 이에 유체 시뮬레이션 상 요구되는 관여 속성들을 분석 및 적용시킬 수 있는 방법론을 결합하여 유체효과 실 제작 전반에 걸친 통합적인 연구를 제안하고자 한다.

REFERENCES

- [1] S. K. Choi. (2009). A Study on Technology Trends of CG in Visual Effects and Suggestion, *Journal of Korea Multimedia Society*, 12(4), 591-599.
- [2] M. G. Kim, S. T. Oh & B. T. Choi. (2008). Fluid Simulations in Academy Awarded Movies, *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, 14(3), 19-30.
- [3] M. S. Hwang & H. S. Lee. (2017). The Embodiment of Aesthetics of Light Ink Using Fluid Simulation -By Focusing on <Believe in the Power of Brands, 209>, *Journal of Korean Society of Media & Arts*, 15(1), 91-106.
- [4] O. Y. Song. (2008). The Recent Trend of Fluid Animation Techniques, *The Korea Contents Association Review*, 6(3), 61-67.
- [5] B. G. Gu. (2007). The Embodiment of Natural Phenomenon using Fluid Simulation, *The Journal of Korean Society of Mechanical Engineers*, 47(2), 90-91.
- [6] B. K. Kang et al. (2003). Fluid Dynamics Based Animation Effects, *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 21(7), 30-38.
- [7] J. H. Lee & J. M. Hong. (2010). Case Study of Visual Effects production in Animation ‘7CS’ using Fluid Simulation, *Proceedings of the Korean Society for*

Industrial and Applied Mathematics, 5(1), 15-18.

- [8] B. S. Roh & C. H. Kim. (2005). Particle based Fluid Animation for Controllable Multiphase Smoke, *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, 11(3), 34-40.
- [9] M. S. Hwang & H. S. Lee. (2017). Fluid Simulation Control for Effective VFX Underwater Explosion Effects, *Journal of Korea Multimedia Society*, 20(9), 1606-1618.
- [10] B. K. Kang, J. H. Kim & I. S. Ihm. (2004). Case Study : Software Development for Physically-Based Water and Reactive Gas Animation, *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, 10(3), 17-27.
- [11] E. J. Kim. (2009). Interactive Simulation between Rigid body and Fluid using Simplified Fluid-Surface Model, *Journal of Korea Multimedia Society*, 12(2), 323-328.
- [12] J. G. Lim, B. J. Kim & J. M. Hong. (2013). An Adaptive FLIP-Level set Hybrid Method for Efficient Fluid Simulation, *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, 19(3), 1-11.
- [13] S. T. Kim, H. R. Jung & J. M. Hong. (2013). Parallel Processing of Multi-Core Processor and GPUs in Projection Step for Efficient Fluid Simulation, *Journal of the Korea Contents Association*, 13(6), 48-54.
- [14] S. T. Kim et al. (2012). A Case Study of Fluid Simulation in the Film 'Sector 7', *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, 18(3), 17-27.
- [15] B. J. Kim, J. G. Lim & J. M. Hong. (2014). Coupled simulation of grid-based fluid and mass-spring based deformation/fracture, *Journal of the Korea Computer Graphics Society*, 20(4), 9-16.

황 민 식(Hwang, Min Sik)

[정회원]



- 2011년 12월 : Academy of Art University, MFA(예술학 석사)
- 2012년 3월 : Walt Disney Animation Studios, FX Artist
- 2013년 8월 ~ 현재 : 동서대학교, 디지털콘텐츠학부, 조교수

- 관심분야 : 3D Animation, VFX, Virtual Reality
- E-Mail : mk_vfx@dongseo.ac.kr

이 현 석(Lee, Hyun Seok)

[정회원]



- 2012년 9월 : Loughborough University(영국), School of Arts (예술학 박사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 동서대학교, 디지털콘텐츠학부, 조교수

- 관심분야 : 애니메이션이트 다큐멘터리, 애니메이션의 혼성적 특성, 대중문화, VFX
- E-Mail : hslee@dongseo.ac.kr