

---

## 음성인식 기반 인터랙티브 미디어아트 연구

- 소리-시각 인터랙티브 설치미술 “Water Music” 을 중심으로-

이명학, Lee, Myunghak\*, 강성일, Jiang, ChengRi\*\*, 김봉화, Kim, Bonghwa\*\*,  
김규정Kim, Kyujung\*\*\*

---

**요약** : 소리-시각 인터랙티브 설치미술인 “Water Music” 은 관객의 음성에 따라서 변하는 물결의 파동을 표현한다. 음성인식 기반 인터페이스 기술을 이용하여 벽면에 비디오 프로젝션 된 시각적 물결이미지로 나타난다. 물결이미지는 동양화의 붓으로 그린 물결과 작은 원형의 입자들을 생성하여 표현된 영상으로 구성된다. 관객은 입김을 불어 넣거나 소리를 냈으로써 화면에서 연속적으로 생성되는 컴퓨터 프로그램 기반 물결의 움직임과 상호 반응할 수 있다. 이러한 공생적인 소리-시각 환경은 관객에게 생각으로 그리고 신체적으로 환영적 공간을 경험하도록 한다. 본 설치작업에서 관객과 상호 반응 할 수 있는 움직이는 물결을 생성하기 위하여 적용된 주요 프로그램은 Visual C++ and DirectX SDK이며, 풀 프레임 3D 렌더링 기술과 파티클 시스템이 사용되었다.

**Abstract** This Audio-Visual Interactive Installation is composed of a video projection of a video Projection and digital Interface technology combining with the viewer's voice recognition. The Viewer can interact with the computer generated moving images growing on the screen by blowing his/her breathing or making sound. This symbiotic audio and visual installation environment allows the viewers to experience an illusionistic space physically as well as psychologically. The main programming technologies used to generate moving water waves which can interact with the viewer in this installation are visual C++ and DirectX SDK. For making water waves, full-3D rendering technology and particle system were used.

**핵심어:** *user's voice recognition, growing on the screen, full-3D rendering, particle system*

---

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(10581 cooperate Org 93112) 지원으로 수행되었음.

\*주저자 : 송실대학교 미디어학과 e-mail: lemaiii@hanmail.net

\*\*공동저자 : 송실대학교 미디어학과 e-mail: akdi0126@hanmail.net

\*\*공동저자 : 송실대학교 미디어학과 e-mail: 104kbh@hanmail.net

\*\*\*교신저자 : 송실대학교 미디어학과 교수 e-mail: kyu@ssu.ac.kr

## 1. 서론

본 연구는 소리-시각 인터페이스에 대한 연구로 최근 음성 인식에 대한 연구는 여러 분야에서 진행되고 있으나 시각적으로 변환하는 연구는 미흡하며, 다양한 생활 분야에서 더 진전된 방법론이 필요하다. 특히 예술 공연 분야에서는 다양한 음색과 반응하는 시각적 표현이 더욱 필요로 되어지고 있다. 공연 분야에서는 행위자의 신체가 소리에 물리적으로 반응하는 양태로 현재까지 대부분 진행되어왔으나 최근의 공연예술 분야에서 영상을 포함하는 시각적 요소를 도입함으로써 총체적인 소리-시각 환경으로 청중의 오감을 극대화하는 방향으로 진행 및 변화하고 있다. 본 연구에서는 기존의 공연예술에서 청중과의 시각적 소통 구조의 한계성을 분석하고 최근의 소리-시각 인터페이스 기술을 반영하는 현대 공연예술의 사례와 새로운 음성인식 기반 소리-시각 인터페이스 모델을 개발하고 실제적으로 공연작품이나 인터랙티브 설치 미술에 적용함으로써 새로운 소리-시각 소통구조 방법론을 도출해 내는 것이 본 연구의 목적이다. 본 연구를 통하여 구현된 인터랙티브 설치미술인 "Water Music"은 관객의 음성에 따라서 변하는 물결의 파동을 표현한 것으로 물결과 작은 원형의 입자들을 생성하여 표현된 영상이 소리와 화면에서 연속적으로 상호 반응할 수 있다. 이러한 공생적인 소리-시각 환경은 다양한 조형적 차원에서 분석하여 작품과 관객, 관객과 소리-시각 환경 반응, 그리고 관객의 참여를 통한 정보의 소통 방식 등의 모델을 생성해 낼 수 있다.

## 2. 본론 1

본 연구에서는 다양한 소리의 지각에 대한 정의와 소리와 반응할 수 있는 시각적 객체 요소들의 생성 그리고 인터페이스의 정의 그리고 마지막으로 공연작품이나 인터랙티브 설치미술에서 적용될 수 있는 방법론 개발을 통해 "Water Music"이라는 작품을 구현하였다.

본 연구에서 기술적으로 적용된 음성 인식부분은 소리를 외부에서 입력 받아서 sin과 데이터 기반으로 분석하고 우선적으로 소리에서 톤과 음의 높낮이 그리고 음색과 음의 세기 등의 요소를 구분해내고 차이 값 등을 이용하여 시각적으로 구현된 객체의 움직임 특성에 각각 할당하는 방식으로 처리하였으며, 시각적 요소들은 동영상으로 생성된 배경이미지와 3D로 만들어진 각각 물방울 이미지 객체들을 물리의 운동역학을 사용한 파티클 시스템의 수치적 계산을 바탕으로 해서 배경이미지 위에 자연스럽게 합성하여 물결의 움직임이 일어나 보이도록 하였다.

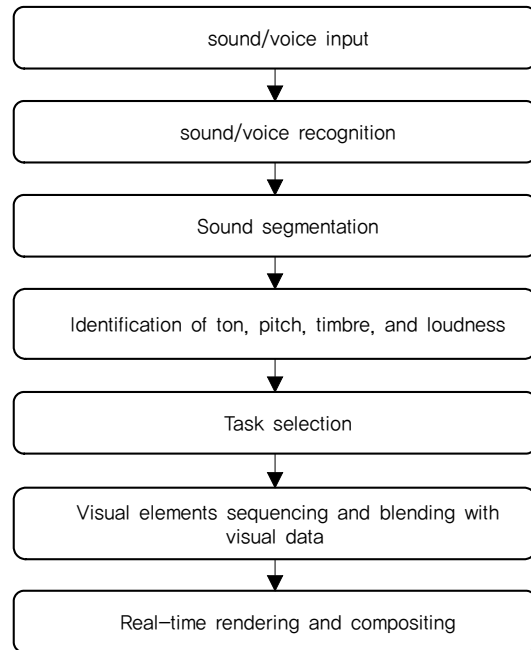


그림 1. "Water Music" process

## 2.1 인터랙티브의 개요

Interactive란? 컴퓨터에서는 대화식이란 의미이고 통신에서는 양방향 통신을 의미한다.

‘상호간’의 뜻을 지닌 인터(Inter-)와 ‘활동적’의 뜻을 지닌 액티브(Active)의 합성어로, 상호활동적인, 곧 쌍방향이라는 의미를 지닌다. 사용자가 마치 컴퓨터와 대화를 하듯이 입력과 출력을 할 수 있는 프로그램으로 대개는 텍스트에 기반을 두고 있으며, 그래픽 사용자 인터페이스나 음성인식, 음성합성 등도 가능하다. 워드프로세서나 스프레드시트와 같은 프로그램들이 이에 속한다. 인터랙티브 TV, 인터랙티브 환구 등 컴퓨터 이외의 분야에서도 자주 사용된다.

인터랙티브 디자인이란? 사용자와의 상호작용을 하는 텍스트 기반 또는 그래픽 사용자 인터페이스를 디자인하는 것을 의미한다.

## 2.2 인터랙티브 아트

우리가 ‘예술’이라고 부르는 단어의 어원은 ‘techné’라고 하는 그리스어에서 나왔다. 이것은 자기표현과 창작력을 뜻했다. 이것을 로마사람들은 ‘ars’라는 단어로 번역해 사용했는데 현재 쓰이고 있는 영어의 ‘art’는 여기서 유래한다. 한편 ‘techné’로부터 나온 또 다른 하

나의 단어는 'technique' 나 'technology' 다. art와 technology는 어원에서도 알 수 있듯이 문명의 초기에는 창작품을 만들어내는 행위인 예술과 그것을 만들어내는 방법인 기술이 구분되지 않았고 모두 창조적 행위와 관련된 표현이었다.

약 15세기경부터 'art' 와 'technology' 라는 그 의미가 분리되어 사용되기 시작해 현재는 전혀 별개의 상반되는 분야로 알려져 있다. 특히 근세 이후 과학기술의 비약적인 발전으로 그 간격은 커지고 전혀 다른 장르로 인식됐다. 하지만 이렇게 분리되어 사용되고 있는 예술과 과학기술이 하나의 줄기로부터 나왔다는 것은 그들이 '같은 의미' 의 '다른 표현' 이라는 것을 말해준다.

예술은 우리가 세계를 시각화하는데 도움을 주는 수단으로서, 과학기술은 새로운 아이디어와 개념들로부터 우리가 상상해 온 것들을 현실화하는 역할을 해왔다. 즉, 예술의 변형은 우리가 세계를 보는 방법에 변화를 가져오고, 과학이 자연을 바라보는 방법에도 영향을 미치게 된다. 일반적으로 예술이 과학보다 10년 정도를 앞서간다고 하는데 이렇게 볼 때 예술과 과학은 분리된 개념에서 벗어나 하나의 흐름을 타고 합쳐져야 할 것이다.

예술이 표현을 위한 수단과 재료로서 과학기술을 이용한 반면, 예술은 과학기술에 새로운 해석을 제공하거나 과학적 발견의 동기를 부여했다. 큐비즘(다양한 시점에서 바라본 모습들을 한 면에 중첩해 그리는 기법)이 아인슈타인의 상대성 이론에 영향을 끼쳤다는 것은 잘 알려진 사실이다. 빛의 해석에 대한 화가들의 호기심과 탐구정신은 광학의 발전을 이끌었으며 광학과 색채 이론의 발달은 인상주의 예술은 잉태했다. 또한 인간 시각 인식의 불완전성을 탐구했던 네덜란드 출신 화가 에셔의 그림들은 뇌의 인지 과정에 대한 연구에 동기를 부여했다.

## 2.3 과학과 예술의 인터랙션

근세 이후 분리됐던 과학기술과 예술은 20세기에 들어서면서 다시 관계를 갖게 된다. 1960년대 중반부터는 전 세계적으로 두 분야의 협동 작업에 대한 새로운 경향이 생성됐으며 70년대에서 80년대에 걸쳐 이러한 움직임은 컴퓨터 기술에 기반을 둔 디지털미디어 기술에 집중됐다. 특히 디지털 미디어 기술의 발달은 예술 작품에 인터랙티브한 기능을 부여하는 결정적인 역할을 했다.

아트에서의 인터랙션은 기술과 떼어놓고 생각할 수 없다. 이것은 디지털 기술의 발달로, 컴퓨터로 예술작업 활동을 한다는 것을 말하는 것뿐만 아니라 관객을 포함한 환경과 관련해 예술 작품이 진행되어 나가는 전 과정을 컴퓨터가 제어하고 관리 한다는 것이다. 이러한 예술작품에 친숙하게 되

면 관객은 아트시스템의 일부분이 되어간다. 전통적인 예술에서는 정보의 흐름이 단방향(one-way) 이었다. 즉, 정보는 예술가로부터 수동적인 관객에게 전달된다.

그러나 예술가와 관객이 함께 참여자 역할을 하는 오늘날의 예술 활동에서는 컴퓨터, 즉 기술의 역할이 대단한 잠재력을 가지고 있다. 관객의 행동이 예술 작품에 영향을 줘 예술작품을 변화시키게 된다.

기술의 도입이 없었다면 불가능한 일들이다. 기존의 미디어는 결과를 바꿀 수 없지만, 인터랙티브 아트는 관객의 취향에 따라 예술 행위에 변화를 줄 수 있고, 원하는 방향으로 결과를 바꿔나갈 수도 있다.

이러한 점은 관객들로 하여금 흥미를 유발시켜서 작품에 더욱 몰입하게 한다. 컴퓨터 공학자의 관점에서 보면 인터랙티브 아트 시스템에서 예술가는 서버의 역할을 하고 관객은 클라이언트의 역할을 한다고 할 수 있다.

인터랙티브 아트의 장점은 창조적 표현, 유연하고 다양한 표현, 대화적 표현, 즉흥적 표현이 가능하다는 것이다. 단점은 작품과 관객 사이의 상호작용이 실시간에 처리돼야 하며, 정확해야 한다는 점이다. 또 작품의 설치비용이 비싸며 기술의 오동작이 작품을 망칠 수 있다는 부담이 있다.

### 2.3.1 인터랙티브 아트

공학적인 관점에서 인터랙티브 아트는 하나의 지능형시스템으로 해석할 수 있다. 관객의 움직임 등 환경 정보를 센서, 카메라 등을 사용해 입력받은 후 이 정보들을 실시간으로 처리, 분석, 인지하여 그 결과를 영상, 그래픽, 음향 등의 매체를 사용하고, 예술적 표현으로 출력하며 이러한 프로세스가 연속적으로 끊임없이 반복되는 환경을 인지하고 이에 반응하는 지능적인 시스템이다. 경우에 따라서는 입력 정보로부터 관객의 감정이나 감성 상태를 측정하여 이를 예술적 표현으로 출력하는 경우도 있다.

### 2.3.2 인터랙티브 영화

인터랙티브 영화에서는 관객이 직접 주인공이 되어 다른 인물들과 음성이나 동작을 통해 상호작용하면서 이야기를 이끌어갈 수 있다. 관객은 이야기의 중심에 위치하므로 기존 소설이나 영화에서와 다르게 극대화된 현실감과 몰입감을 느낄 수 있다.

인터랙티브 영화 시스템은 외향적으로 영상출력을 위한 프로젝터와 대형 스크린, 음향 출력을 위한 스피커, 그리고 사용자의 음성과 동작을 입력받기 위한 마이크와 위치 센서로 구성된다. 스크린과 스피커를 통해서 관객이 참여하고 이야기가 소리와 영상으로 표현된다. 관객은 마이크를 통해

컴퓨터가 만들어낸 캐릭터에게 말을 하거나 다른 사용자에게 말을 전달할 수 있다. 또한 팔과 다리에 부착된 위치 센서들을 통해 상용자의 동작을 인식하게 된다.

인터랙티브 영화 시스템은 소프트웨어적으로는 음성인식, 동작 인식, 이양기 생성 및 그래픽생성기로 구성된다. 이양기 생성기는 다양한 부분 대본들을 관객의 선택에 따라 보여줘 관객이 하나의 이야기를 만들어 갈 수 있도록 해주는 역할을 한다. 그래픽 생성기는 관객이 표현하는 주인공과 그 외에 이야기에 참여하는 가상 캐릭터들이 말하고 행동하는 모습을 생성해주는 기능을 한다.

### 2.3.3 오페라 프로젝트

MIT 미디어랩에서 진행 중인 ‘오페라 오브 더 퓨처 (opera of the future)’ 프로젝트에서는 전문적인 음악가 뿐만 아니라 아마추어 음악 애호가도 쉽게 사용할 수 있고 자신의 감정과 단어 표현만으로도 아름다운 음악을 만들어 낼 수 있는 도구를 개발하고 있다. 센서와 시그널 프로세싱 기술, 그리고 분석과 합성을 할 수 있는 소프트웨어로 구성된 이 시스템은 사용자의 행동을 분석하고 그의 음악적인 요소 등을 해석함으로써 새로운 형태의 음악을 만들어내는 도구로 사용되고 있다.

또한 현을 치는 하이퍼스트링(hyperstring)이라는 도구는 악기를 사용할 때 사용자의 행동과 악기로부터 나오는 소리를 분석하고 컨트롤해 음악을 만들어 내는 도구로서 사용자가 쉽게 사용할 수 있게 되어 있다. 이와 같이 더 이상 악기를 통해 음악을 만들어내는 것이 예술가들의 영역으로 극한된 것이 아니라, 음악 애호가라면 누구나 쉽게 접할 수 있는 수단으로 악기가 제시됐고, 이로써 과학기술과 예술의 만남은 음악의 진보적인 미래를 만들어 가고 있다.

### 2.3.4 마법의 책

미국 워싱턴대학의 HIT(Human Interface Technology) 연구소에는 실세계와 가상세계를 넘나들 수 있는 이야기책을 선보였다. 이 ‘마법의 책’은 겉으로 보기에 컬러 그림과 글로 이뤄진 평범한 책으로 보이지만, HMD (Head Mounted Display)를 쓰고 펼쳐진 책을 보면 그림들이 튀어나와 3차원의 가상공간에 보여진다. 또한 HMD에 있는 스위치를 켜면 독자가 가상공간 안으로 들어가 환상적인 가상세계를 경험할 수 있다.

여러 독자가 한 군의 마법 책 주변에 모여 함께 HMD를 쓰고 공동으로 3차원 영상을 경험할 수 있는데 가상환경 안으로 들어가 아바타(avatar)로 표현되어 있는 다른 독자들과도 만날 수 있다.

마법의 책에는 실세계에 가상세계가 덧붙여지는 형태의

혼합현실 기술과 아바타로 표현되어 나타나는 독자들 사이의 인터랙션을 다룬 분산 가상현실(collaborative VR) 기술, 카메라에 들어온 영상을 분석해가상의 물체가 놓일 위치를 찾아내고 독자의 머리 위치를 추적하는 컴퓨터 비전 (computer vision) 기술이 사용된다. 마법의 책은 대중 매체의 하나인 책을 컴퓨터기술을 이용해 디지털화하는데 그치지 않고 새로운 혼합현실 기술을 이용해 3차원 미디어로 창출해냈다는 데 의의가 크다.

실제로 책 속에 있는 이야기 속으로 들어가 책의 내용을 가상적으로 경험할 수 있어 독자에게 주는 감동 또한 크며, 단순한 그림과 글로 이야기를 전달하던 방식을 벗어나 애니메이션 형태의 3차원 그래픽으로 이야기를 전달함으로써 내용을 쉽게 이해할 수 있게 했다.

## 2.4 인터랙티브 아트와 과학기술

인터랙티브 아트와 로봇 기술도 밀접한 관계가 있다. 기존 예술 매체는 주로 관객이 작품을 인지하는 형태이지만 로봇예술은 로봇 스스로가 센서 및 시청각 등의 감각 기능을 통해 관객을 인지할 수 있다는 점에서 차이가 있다. 소의 인터랙티브 퍼포먼스가 가능하다는 것인데 로봇을 매개로 하는 예술의 핵심적인 특징은 로봇의 행위 능력이다.

로봇은 자율적, 반응적, 상호작용적, 적응적, 역동적인 행위를 보여줄 수 있으므로 로봇을 매개로 하는 예술 작품에서는 그 주변에서 로봇과 상호작용하는 대상들이 작품의 의미를 좌우하게 되는 것이다. 이미 로봇을 주제로 하거나 로봇을 표현의 미디어로 사용하는 예술작품은 우리 주위에서 많이 볼 수 있다.

가상생명체와 관객의 상호작용도 인터랙티브 아트에서 자주 사용되는 소재이다. 관객 앞에 설치된 스크린에, 가상 동물 또는 식물과 관객의 이미지가 투사된다. 가상 생명체는 사람들의 움직임에 반응해 움직이거나 자라게 된다. 결국 관객은 그들 자신의 환경을 스스로 창조할 수 있는 것이다.

21세기로 접어들면서 과학기술은 또 한 번 비약적인 발전을 하고 있다. IT이외에, BT, NT 등 새로운 기술들이 등장하고 인간의 삶은 이러한 기술들의 발전으로 과거와는 매우 다른 형태로 변화해가고 있다. 새로운 과학기술의 발전은 예술가들에게 새로운 표현의 재료와 방법<sup>o</sup>를 제공할 것이며 예술작품에 더욱 다양한 형태의 인터랙티브 기능을 제공할 것이다.

## 3 기술적 연구 방법

인터랙티브한 반응을 얻어내기 위해서 외부로부터 신호를 인식해야 하는 문제가 처리되어야 한다. 본 연구에서는 소리

를 인식하는 기술을 도입하여 그 과정을 처리하였다. 인식된 소리는 디지털 데이터화 하여 각각의 데이터를 분석하고 그것들을 분리하고 정리하여 체계적이 데이터 테이블을 구성한다. 이렇게 구성된 데이터를 기반으로 시각적 효과에 적용시킨다. 시각적 처리를 처리하기 위해서는 마치 물결의 흐름 영상 시키는 물방울들을 선처럼 나열하여 표현하는데, 이때 공간적 감각을 증폭 시켜주기 위해서 3차원 공간감을 적용하였다. 즉 원근감을 적용하여 물방울들이 가까이 혹은 멀리 있는 듯한 느낌을 주었다. 이런 수많은 물방울 들은 왼쪽에서 오른쪽으로 마치 물이 흐르듯이 잔잔한 파장으로 움직이다가 관객 혹은 외부로부터 소리가 들리게 되면 그에 맞게 물방울들이 요동을 치도록 구현한다.

### 3.1 소리의 인식처리

음성인식을 하기 위해서는 [그림 2]에서 보는 것처럼 마이크로폰으로부터 데이터 신호를 입력 받아 데이터 샘플을 얻어 낸다. 우선 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하고 그렇게 해서 얻어낸 데이터는 sin 파형을 데이터 구조를 가지게 된다. 이 샘플의 형태는 sin파 형태를 가지고 있어서 그 데이터에는 음수 영역과 양수 영역이 같이 존재한다. 그 데이터 중에서 양수 영역의 데이터를 전부 선택해서 이 데이터의 평균적인 음량을 알아내고 이 음량을 통해서 “Water Music” 물결 파장의 크기를 결정하도록 구현하였다.

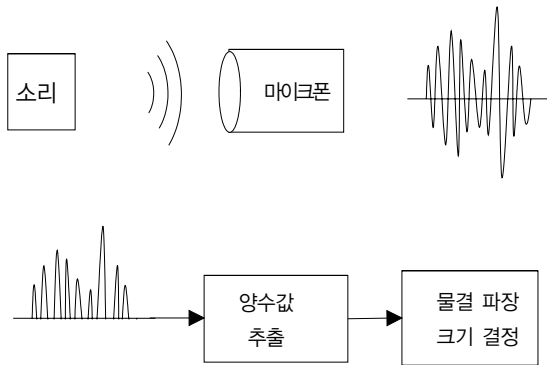


그림 2. 소리의 인식처리 과정

### 3.2 시각적 표현을 위한 처리

자연스런 물결의 흐름은 표현하기 위해서 전형적인 sin파형을 물결입자에 적용시켜서 흐르는 것처럼 보이도록 하였다. 각각의 물결 입자들은 [그림 3]과 같은 속성으로 수백 개에서 수천 개가 서로 다른 공간에서 생성이 되어 좌에서 우로 흐르도록 하였으며 이것들을 표현하기 위한 수많은 입자들은 particle system 기법을 이용하여 구현하였다.

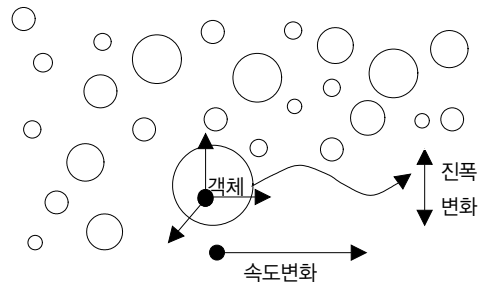


그림 3. 물방울 객체의 반응을 위한 속성

수백, 수천 개의 각 입자들은 자신이 생성된 시간과 위치 등 그리고 앞으로 진행해야 할 모든 데이터를 객체화 하여 각 각 가지고 있어서 서로 다른 입자들의 데이터들과 구별되게 처리가 된다. 즉 모든 입자는 자신만의 개성적인 데이터를 객체화 하여 가지고 있다는 것이다. 각 입자들은 음성 입력신호에 따라서 자신이 어느 정도 sin진폭을 가질 것인가가 결정되며 결정된 입자들은 3차원 공간에 맞게 움직인다. 보통은 천천히 흐르고 물결의 파장도 작게 움직이다가 소리가 크다거나 혹은 많거나 하면 물결입자들이 갑자기 빨라지고 파장도 거칠어진다. 이렇게 해서 보는 이로 하여금 자신의 반응 감도에 따라 반응 한다는 것을 좀 더 적극적으로 느낄 수 있게 된다.

### 3.3 원근 공간감을 위한 3차원 처리

표현하고자 하는 시각적 효과를 좀 더 극적으로 높이기 위해서 단순한 물결입자의 표현으로 그치지 않고 무한한 공간속에서 이러한 입자들이 존재한다는 감을 주기 위해서 3차원 공간의 구현이 필요하다.

여기서의 3D 공간은 하나의 단위의 공간을 형성하여 가로 세로 깊이의 비율을 전부 1unit 단위로 고정시켰다. 이 단위를 기준으로 여기서 일어나는 물결 입자들의 운동역학을 위한 기준 수치가 결정되고 이 기준 된 단위에 따라서 물결입자가 가져야할 속도, 가속도, 운동방향, 진폭 등의 수많은 수치들이 비율에 맞게 생성된다. 이 3차원 공간에서 관측자의 시점을 정할 수 있게 되는데 3차원 공간이기 때문에 여러 곳에서 이 공간을 볼 수 있다. 그렇지만 연출 효과의 효과를 최대화하기 위해서 정면에서만 바라보도록 고정되어 있다. 이렇게 하면 넓은 3차원의 공간 안에서 많은 입자들이 관찰자의 눈앞에서 부터 화면 깊숙이 저 멀리까지 거리감을 느끼게 하며 가까이 있는 입자는 크게 멀리 있는 입자는 작게 보이는 원근감을 느낄 수 있게 된다. 이런 기법을 3D에선 원근투영기법이라고 하고 이런 원근투영기법으로 공간을 처리 하였다.

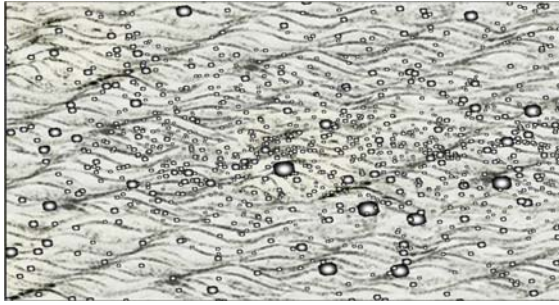


그림 4. WaterMusic이 동작하는 장면

위의 [그림 4]는 WaterMusic의 실행 장면이다. 그림에서 보는 것처럼 물결을 표현하는 배경으로 수백, 수천 개의 물결 입자들이 물 흐름처럼 흐르고 있고 소리에 따라 인터랙티브한 반응을 보이고 있다.

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 소리-시각의 다양한 인터페이스 방법론을 모색하였으며, 공연 예술이나 설치미술 등에 새로운 소

리-시각 기법과 구도, 새로운 주제, 그리고 새로운 재료들을 적용할 수 있는 기반으로 미래형 공연예술 제작 시스템을 위한 기본 연구가 되었으며, 본 연구를 통해 구현된 소리-시각 인터랙티브 설치 미술인 water Music은 3차원 공간에서 진화적인 interactive환경을 적용한 디지털 아트 모델이 될 것으로 기대된다. water Music에서 구현된 소리에 반응하는 물결의 입자들은 음성이라는 외부입력신호에 따라서 즉각적 반응을 하였지만, 미세한 움직임과 다양한 패턴의 변화 그리고 음색에 반응하는 부분은 음색처리의 한계에 의해 좀 더 진전된 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] Huhamoto, E. 'Encapsulated Bodies in Motion: Simulators and the Quest for Total Immersion', in S. Penny(ed.), Critical Issues in Electronic Media, New York State University of New York Press, 1996.
- [2] Mark B. N. Hansen, Bodies in Code: Interfaces with Digital Media, Routledge; 1 edition, 2006
- [3] Tricia Austin and Richard Doust, New Media Design, Laurence King, 2007
- [4] Microsoft Visual C++ 6.0, Microsoft, 영진출판사, 1998
- [5] 디지털 시대의 문화예술, 최혜실, 문학과 지성사, 1999