

하향식 포그 스크린 설계 방법

박연용⁰ 정문열*

서강대학교 영상대학원 / 지식융합미디어학부

viabrera@hanmail.net, moon@sogang.ac.kr

Design method of Top-down fog screen

Yoenyong Park⁰ Moonryul Jung*

Sogang University Graduate School of Media / School of Media, Arts, and Science

요 약

포그 스크린은 미세한 물방울들로 구성된 스크린으로 관찰자는 포그 스크린을 투과한 영상을 관찰하게 된다. 일반 스크린과는 달리 관찰자는 무대 위에서 연기자가 포그 스크린에 표시된 이미지를 뚫고 들어가는 모습을 볼 수 있다. 본 논문에서는 상부에서 생성된 포그 입자 집단이 중력에 의하여 아래로 떨어질 때 평평한 수직 스크린을 이루도록 하는 하향식 포그 스크린 생성 장치 구현 방법을 기술한다. 본 기법은 수조안에 배치된 초음파 진동자에 의해 수조 표면에서 포그 입자가 발생되는 원리를 이용한다. 생성된 포그 집단이 하나의 평면을 유지할 수 있도록 포그가 나오는 통로 출구 양옆에 가이드 바람을 형성하는 기법과 포그 스크린 생성 장치의 설계와 제작 방법을 기술한다.

Abstract

A fog screen consists of tiny water drops and the viewers see the image transmitted through the fog screen. In contrast to ordinary screens, the viewers can see the actors passing through the image on the fog screen on stage. In this paper, we describe methods to build a top-down fog screen where fog particles generated in top space fall by gravity forming a flat vertical screen. We use a fog generation technique in which fog particles come out of the water surface when ultrasound vibrators immersed in water tank vibrate. We describe how fog particles form a flat screen while coming out of the fog passage tunnel, by generating guiding winds beside the fog screen. This technique utilizes the principle that fog particles are generated on the surface of a water tank by an ultrasonic vibrator placed in a water tank. The technique of forming a guiding wind on both sides of the passage exit where the fog comes out and the design and manufacturing method of the fog screen generating device are described so that the generated fog group can maintain one plane.

키워드: 포그 스크린, 홀로그램, 바람 가이드, 공간증강공간, 투명 스크린

Keywords: Fog screen, hologram, guiding wind, Spatial Augmented Reality, Transparent screen

*corresponding author: Moonryul Jung/Sogang University Graduate School of Media(moon@sogang.ac.kr)

1. 서론

1.1 연구의 배경과 국내외 연구현황

1.1.1 연구의 배경

홀로그램은 기본적으로 3차원 투영법이고, 포그 스크린 영상 투영은 2차원 투영법으로 영상 제작방법, 구현방법 등 모든 면에서 다르다.[1] 우리가 ‘스타워즈’나 ‘마이너리티 리포트’와 같은 SF영화에서 자주 접하는 홀로그램 영상은 실체가 아닌 컴퓨터 그래픽으로 만들어진 영상으로 과학자들이 꿈꾸는 이상과도 같은 것으로 평면 필름이 아닌 공기 중에서의 홀로그램은 아직까지는 구현이 안 되고 있다. 그럼에도 불구하고 우리는 일상 속에서 홀로그램과 같은 효과를 연출하기 위하여 얇은 투명 스크린에 영상을 투과 시켜서 만드는 영상효과를 유사 홀로그램이라고 호칭하고 있고, 포그 스크린 역시 유사 홀로그램의 일종이라고 볼 수 있다. 포그 스크린은 미세한 물방울들로 구성된 스크린으로 유사 홀로그램에서 사용하고 있는 반투명 필름 스크린과는 달리 사람이 스크린을 뚫고 지나가는 것이 가능해 사람이 마치 영상 속으로 들어가거나 영상에서 나오는 것과 같은 효과를 연출할 수 있는 매우 독특한 특징을 가지고 있다.[2] 이러한 장점에도 불구하고 널리 사용되지 못하는 데는 포그 스크린에 대한 낮은 인지도와 전량 수입에 의존함으로서 발생하는 고가의 장비가격이라고 볼 수 있다. 2018년 7월 공연예술분야 종사자들을 상대로 실시한 포그 스크린 기술 시연회에 참석한 71명을 상대로 설문 조사(2018년 7월 19일, 20일 서강대학교 메리홀 소극장에서 공연예술분야 전문가들을 상대로 포그스크린 시연회를 개최, 총 81명이 참가 하였으며, 참가자 가운데 71명이 설문조사에 응하였다.)를 실시한 결과, 가장 큰 요인이 장비에 대한 이해 부족이라는 것을 알 수 있었다. 설문 답변자의 절반 정도인 35명이 포그 스크린을 알지 못하는 것으로 답변 하였고, 알고 있다고 답변을 한 36명 중, 29명은 실제 장치를 보지 못하고 영상으로만 접한 경우이고, 박람회나 과학관에서 실제로 실물을 접해보았다고 답변한 응답자는 현장 종사자들임에도 불구하고 불과 전체 응답자의 10% 정도에 해당하는 7명 정도에 그치고 있다. 고가의 장비 가격, 큰 부피로 인한 극장 상부 공간 점유, 포그 입자의 물방울 응결 및 낙하로 인한 미끄럼 사고 가능성과 같은 기술적인 문제를 해결하는 것과 병행하여 장치에 대한 전문 사용자들의 인식률을 높이는 방안도 고려해야할 필요가 있다.

1.1.2 국내외 연구현황

포그 스크린 생성 기술은 2002년에 10월에 핀란드에서 처음으로 발표된[3] 이후, 통과가 가능한 반투명 스크린

이라는 장점을 극대화할 수 있는 공연, 전시, 실내 인테리어 등의 분야에서 새로운 영상 디스플레이 장치로서 활용 가능성이 높아지고 있다[1, 4]. 러시아에서는 2010년 맥심 카메인(Maxim Kamanin)이 개발한 상향식 포그 스크린 생성장치인 <Displair>를 발표한바 있고[5], 일본에서는 2011년부터 오사카 대학을 중심으로 지름 15cm 미만의 소형 원통형 포그 스크린을 이용한 다중 디스플레이 연구가 진행되고 있다.[6] 국내에는 2009년 제19회 국제 방송·음향·조명기기 전시회(KOBA 2009)를 통하여 처음 공개[7] 된바가 있으나 이후 국내에서 포그 스크린과 관련된 연구가 이루어지지 않은 것으로 보아 연구자나 사용자 모두에게 큰 주목을 끌지는 못한 것으로 보인다.[8] 현재까지 포그 스크린에 대한 소개 정도의 경향을 보고하는 연구가 간헐적으로 나오고 있지만 포그 스크린 생성 기술에 대한 기술적인 측면이나 활용 방향에 대한 연구는 2015년 서강대학교 미디어랩에서 발표한 ‘상향식 포그 스크린’에 대한 석사학위 논문과 같은 연구진이 국내 학술대회를 통해서 발표한 몇몇 사례 정도에 불과하고, 보다 세밀한 기술적인 연구나 논의는 거의 이루어지지 않고 있다. 특히, 포그 스크린의 최초 개발사인 FogScreen사를 비롯한 개발 기업들이 홍보를 목적으로 포그 스크린 외형에 대한 자료는 공개하고 있지만 정작 중요한 장치의 내부 구조는 전혀 공개하고 있지 않아 포그 스크린에 관심을 가지는 연구자들이 역설계(reverse engineering) 조차도 못하고 있으며, 약간의 단서나 직접적인 도움이 될 수 있는 스크린 생성장치 제작이나 생성 기술과 관련된 기술적인 측면에서의 구체적인 자료가 절대적으로 부족한 상황이다. 이렇듯 연구 환경이 척박한 상황에서 2017년부터 한국콘텐츠진흥원에서 포그 스크린에 대한 연구개발을 지원하기 시작하면서 국내에서도 포그 스크린 생성장치에 대한 구체적인 연구가 시작 되었다고 볼 수 있다.

1.2 연구의 목적과 범위

포그 스크린 생성 기술에서 가장 핵심적인 기술은 4~50㎍ 크기를 가진 부유 가능한 미세물방울들이 일정한 밀도를 가지고 하나의 평면 스크린을 유지하게 하는 것이다.[2, 8] 본 연구의 목적은 하향식 포그 스크린 생성 기술의 원리를 분석하고 최적화된 반투명 평면 스크린을 생성하는 방법과 본 연구진이 직접 설계하고 제작한 스크린 생성 장치의 내부 설계를 공개함으로써 후발 연구자들에게 포그 스크린 연구의 기초 자료를 제공하는데 있다. 본 논문은 2018년 한국콘텐츠진흥원에 제출된 포그 스크린 개발에 대한 서강대학교 미디어랩의 최종결과 보고서를 기초로 하고 있으며, 2019 한국HCI학술대회에서 포스터 논문으로 발표한 “하향식 포그 스크린 생성 방법”의 내용을 확장하

여 추가로 진행된 연구를 포함하고 있다. 연구의 범위는 생성 원리 분석과 포그 스크린 생성장치의 설계 방법 및 제작 방법이다.

2. 포그 스크린 생성 원리와 장치 분류

2.1 포그 스크린의 생성원리

미세물방울들로 구성된 포그 스크린은 우리 주변에서 흔하게 사용되고 있는 가습기와 사용하고자 하는 목적만 다르지 포그의 생성원리적인 측면에서 본다면 큰 차이가 없다고 말할 수 있다. 출구에서 나오는 포그 입자를 스크린으로 ‘사용할 수 있느냐’, ‘없느냐’의 차이겠지만, 가습기에서 분사되는 포그도 출구 주변에 가이드 바람만 잘 만들어주어도 얼마든지 스크린으로 사용이 가능하다.

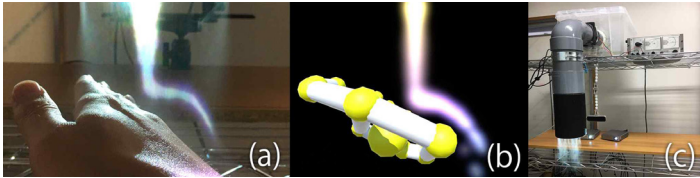


Figure 1: (a) Deformation of fog screen by user's hand. (b) Physical simulation of fog deformation using particle system and rigid body model. (c) Cylindrical mini fog screen generating device[9]

2017년 일본 도쿠야마 공과대학 연구진도 포그 스크린 생성 실험에서 <Figure 1>과 같이 가습기에 작은 환풍기(fan)와 플라스틱 빨대만을 연결하여 어른 주먹 정도 크기의 작은 규모로 원형 포그 스크린을 실험한 바가 있다. <Figure 1>은 포그 스크린이 주변의 기류나 물체에 따라 스크린의 형태가 변화하는 유동적 특성을 잘 나타내고 있다.[9]

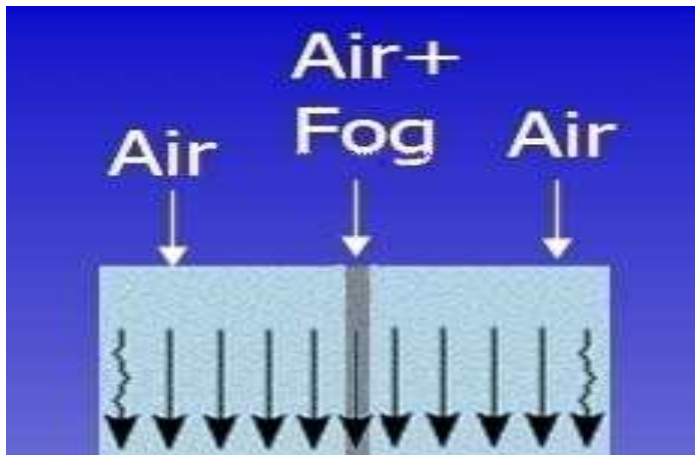


Figure 2: The principle of fogscreen generation proposed by FogScreen is that the free-moving fog particles form a screen because the flow of the fluid is directed downward by the wind wall from the exit side.[10]

포그 스크린을 형성하는 기술을 처음 소개한 Fogscreen 사는 <Figure 2>와 같이 생성된 포그를 바람으로 밀어서 출구로 이동 시키고, 포그가 나오는 출구의 좌우에 여러 층의 바람을 형성하고 있다.[10] 이를 통하여 생성된 바람벽에 의하여 중앙에 있는 출구로 나오는 포그(기체 상태인 수증기가 아닌 액체 상태인 미세 물방울 집단을 의미)들이 자유롭게 주변으로 분산되지 못하고 양방향에서 만들어지는 바람이 흐르는 방향(바닥으로 수직인 방향)으로 뺀어 나가게 하는 방법을 제시하였다.[8] 출구에서 분사된 포그 입자들이 일정한 밀도를 유지하기 위한 가장 중요한 요소는 출구 주변에서 만들어지는 가이드 바람 생성 방법이라고 볼 수 있다.[11]

2.2 포그 스크린 장치 분류

2.2.1 상향식 포그 스크린 방식

포그 스크린은 포그의 분사 방향을 기준으로 상향식 포그 스크린 방식과 하향식 포그 스크린 방식, 두 가지로 나누어 분류할 수 있다. 상향식 포그 스크린 방식은 생성장치를 지면 위에 고정하고 포그를 지면에 수직하는 위를 향하여 분사하여 반투명 스크린(반투명이지만 스크린에 빛이 닿지 않으면 스크린이 보이지 않는다.)을 생성하는 방식이고, 하향식 포그 스크린 방식은 상향식과는 반대로 포그 스크린 생성장치를 상부에 고정하고 포그를 아래(지면) 방향으로 분사하여 반투명 스크린을 생성하는 방식이다.

상향식 포그 스크린 방식의 구조는 <Figure 3>와 같이 중앙 하단에 포그를 발생시키는 포그 생성 공간이 위치해 있고, 수조의 좌우에 바람을 발생시키는 팬들이 배치되는 2개의 바람 생성 공간, 이렇게 3개의 독립된 공간으로 나뉘어져 있다. 팬들은 외부의 공기(빨강색 화살표)를 유입시켜서 벽을 따라 상부로 상승하여 상단에 설치된 바람노즐을 통하여 외부로 분사된다. 팬을 통하여 유입된 공기는 팬들의 회전력에 의하여 일정한 방향성을 가지지 않는 난류(파랑색 화살표)를 형성하지만 지름 1cm 정도의 크기를 가진 관들로 구성된 바람노즐을 지나는 동안 일정한 방향성을 가지는 층류(진한 파랑색 화살표)로 바뀌게 된다. 이렇게 형성된 층류는 바람노즐에서 나오면서 난류와 층류 두 가지 성질을 모두 가지지만 방향성을 유지하면서 계속 직진하면서 서서히 퍼지는 경향을 보이게 되면서 두 가지의 기능을 동시에 수행하게 된다. 하나의 기능은 노즐에서 분사되는 바람에 의하여 포그 출구의 주변의 공기가 바람에 의하여 빠져나가면서 일시적인 저기압 상태에 놓이게 함으로서 상대적으로 고기압 상태인 하단 수조에서 생성된 포그들을 기압차를 이용하여 상부로 끌어 올리는 기능이고, 다른 하나는 출구의 중앙으로 끌어 올려진 포그(노란색 화살표)가 주변

으로 흩어지지 않고 주변 바람의 상승 기류를 따라 위로 상승하게 하는 가이드 기능이다.

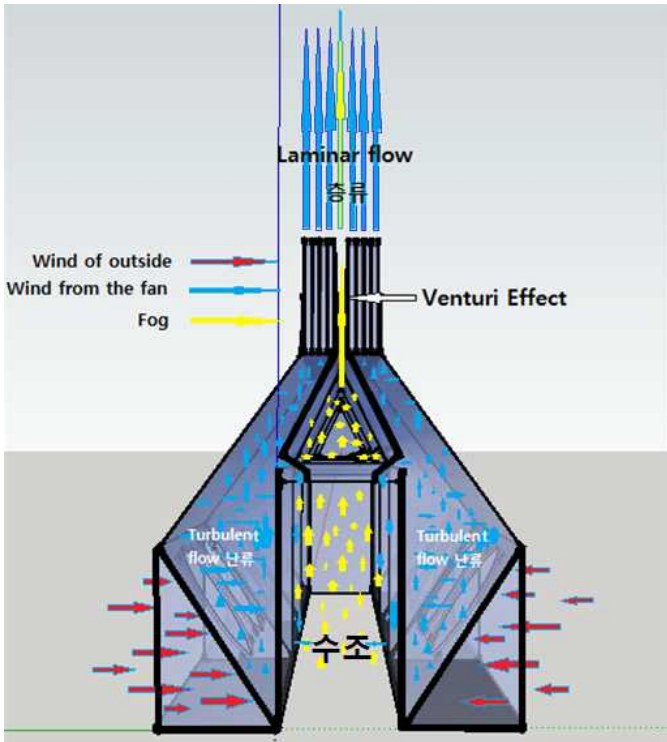


Figure 3: Bottom-up Fogscreen wind flow diagram. A fog (a group of fine droplets) is created in the water tank in the center of the body and goes up along the central passage. The wind generated from the left and right sides of the water tank serves as a guide for the fog to move upward without spreading.[2]

포그 생성은 중앙 하단에 위치한 수조에 위치한 초음파 (1.7MHz±50KHz 대역 음파) 발생기를 이용하고 있다. 수조에서 생성된 미세물방울 입자들이 고기압에서 저기압으로 흐르는 기류에 의하여 상부에 있는 출구 쪽으로 상승하고, 출구 좌우에서 나오는 바람을 따라 퍼지지 않고 평평한 반투명 스크린을 형성하게 된다. 생성된 포그가 수조에서 밖으로 나가기 위해서는 외부의 공기가 수조 내부로 유입이 될 수 있어야 한다. <Figure 3>과 같이 바람 공간에서 생성된 바람의 일부를 수조 내부로 유입시키는 방법과 수조의 측면에 공기 유입될 수 있는 입구를 만들어 주는 방법이 있다. 수조에서 생성된 포그가 외부로 나가는 과정에서 벽면에 흡착되어 굵은 물방울들이 만들어지지만 수조로 흘러내려가게 되는 구조라 하향식 포그 스크린에서 발생하는 굵은 물방울에 의한 안전사고 위험이 없다. 이렇듯 상향식 포그 스크린 방식은 구조적인 면에서 비교적 복잡하지 않아 포그 스크린을 처음 연구하는 연구자들이 손쉽게 시도해볼 수 있는 방식이다.

2.2.2 하향식 포그 스크린 방식

하향식 포그 스크린 방식은 장치가 바닥에 고정하고 포그를 위로 향하여 분사하는 상향식 포그 스크린 방식과는 반대로 장치가 상부(천정)에 위치하고 포그를 아래로 분사하여 반투명 스크린을 생성하는 방식을 지칭한다.

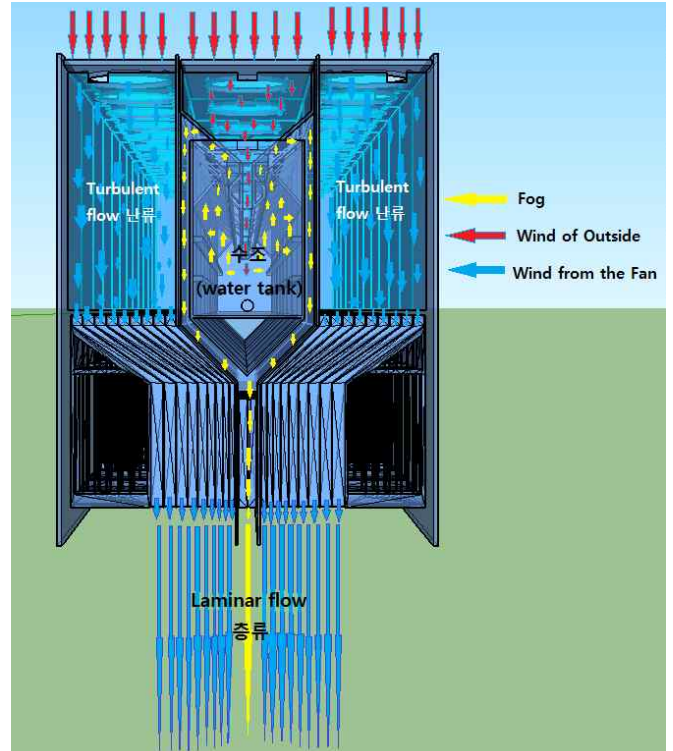


Figure 4: Wind flow diagram of a top-down fog screen. The fog is created at the center of the body, and the raised fog to the top of the water tank is directed down the water tank as it surrounds the water tank along a thin passage around the water tank. The wind generated from the right and left is guided through the wind nozzle to the lower outlet, and serves as a guiding point for the fog coming out of the outlet located below the water tank, not to be scattered downward.

하향식 포그 스크린의 구조는 <Figure 4>와 같이 중앙 하단에 포그를 발생시키는 수조가 위치해 있고, 수조의 좌우에 바람을 발생시키는 팬들이 배치되는 3개의 독립된 공간으로 나누어져 있는 면에서 상향식 포그 스크린 방식과 비슷한 구조를 가진 것처럼 보이지만 수조에서 생성된 포그가 위로 상승하는 것이 아닌 아래로 하강해야 하는 관계로 바람을 생성하는 공간과 포그를 생성하는 공간 사이에 포그 유체가 지나갈 수 있는 약 1cm 정도의 너비를 가진 좁은 유로 공간(<Figure 4>에서 노란색 화살표로 표기된 포그가 수조 주위로 지나가는 공간)이 별도로 있어야 하는 다소 복잡한 구조를 가지고 있다.[8]

팬들은 외부의 공기(적색 화살표)를 3~5m/sec의 유속으

로 유입시키고, 유입된 바람은 아래로 하강하여 하단에 설치된 바람노즐을 통하여 외부로 분사된다. 팬을 통하여 유입된 공기는 팬들의 회전력에 의하여 특정한 방향성을 가지지 않는 난류(파랑색 화살표)를 형성하지만 지름 1cm의 크기를 가진 관들로 구성된 바람노즐을 지나면 동안 일정한 방향성을 가지는 층류(진한 파랑색 화살표)로 바뀌게 된다는 점과 수조에서 생성된 포그를 하부로 당기고 스크린을 형성시키는 기능적인 측면에서 상향식과 원리적으로 큰 차이가 없다고 볼 수 있다. 하지만 포그 입자들이 생성단계부터 시작해서 출구로 나오는 과정(<Figure 4>에서 노란색 경로)에서 유로의 벽면에 흡착되면서 물방울들의 부피가 증가하게 되고 이로 인하여 굵은 물방울들이 형성되어 출구를 지나 바닥으로 낙하하게 되는 단점을 가지고 있다. 이는 상향식 포그 스크린에서는 볼 수 없었던 새로운 문제로 심각한 안전사고를 유발할 수 있어 개발자는 반드시 이에 대한 대책을 수립하여야 한다. 포그 스크린 시스템을 처음 발표한 FogScreen사에서는 바닥에 넓은 면적의 카펫을 설치할 것을 권고하고 있으며[13], 본 연구에서는 출구에 수로를 설치하여 수로의 끝에서 모아진 물을 수조로 되돌려 보내는 방법을 제시하고 있다.

3. 포그 생성 방법 및 생성장치 설계

3.1 수조에서의 포그 생성 방법

3.1.1 초음파 발생장치

포그를 발생 시키는 방법에는 물을 가열하는 방법과 가열하지 않고 진동을 이용하는 방법이 있다. 포그 스크린에서는 물을 가열할 경우 발생할 수 있는 화상이나 화재의 위험성과 예열이 필요하여 즉각적인 반응이 힘든 점, 등 여러 가지 요인에 의하여 물을 가열하는 방법을 사용하지 않고 있으며, 예열이 필요 없이 상온에서 전기 공급과 동시에 작동이 가능하여 조작에 용이한 초음파 진동을 이용하여 포그를 발생시키는 방법을 사용하고 있다. 이 방법은 앞서도 언급한바와 같이 일상생활에서 많이 사용되고 있는 가습기에서도 주로 사용되고 있는 일반적인 방법이다.



Figure 5: The front side of the ultrasonic vibrator (L) using ceramics as the material, (R) The backside of the vibrator, the voltage is 24 ~ 48V, the power is 12 ~ 30W and the fog productivity is 0.7 ~ 2L / Hr.

진동자의 재료로는 <Figure 5>의 세라믹 소자를 많이 사용하고 있으며 진동자에서 발생하는 음파는 1.7MHz(± 50 KHz) 대역으로 가청 주파수 대역을 벗어난 음역이라 사람의 청각으로는 확인하지 못하지만, 피부를 통한 촉각으로는 진동자에서 발생하는 음파를 느낄 수 있다.



Figure 6: A sample of the ultrasonic generator module, a ceramic element (a white part in a circle surrounded by the housing) is used as a material of the vibrator, and ultrasonic waves of 1.7 MHz (± 50 KHz) are generated. Ten oscillators are grouped into one group.

본 실험에서는 <Figure 6>과 같이 10개의 진동자를 하나의 묶음으로 만든 모듈 진동자를 사용 하였다.

3.1.2 포그 생성방법

초음파 진동자를 이용하여 수조에 담긴 물에서 포그를 생성하는 방법은 <Figure 7>의 개요도와 같다.

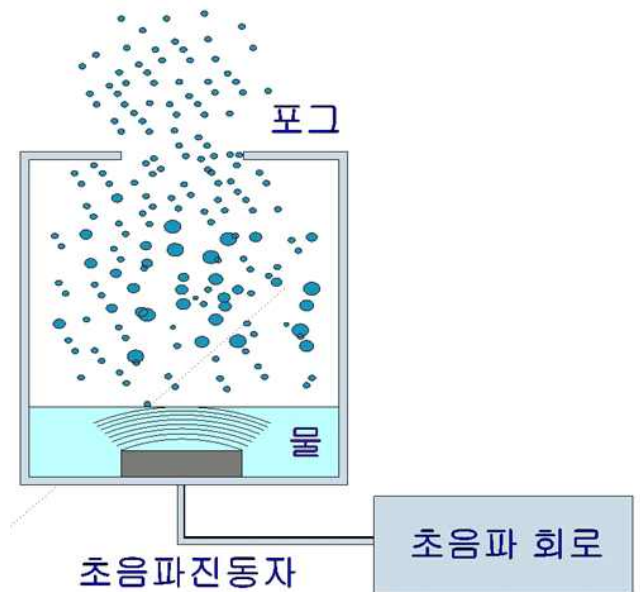


Figure 7: Outline of Fog Generation Using Ultrasonic Oscillator.

수조의 바닥에 고정된 초음파 발생장치에 전류를 인가하면 초음파 진동자가 진동을 시작하고, 물이 음파를 전달하는 매질이 되어 수조 전체에 음파(진동)가 전달된다. 음파가 물의 표면에 도달하면 물 표면이 진동에 의하여 심하게 흔들리게 되고, 진동자에서 수직인 물의 표면에

표면장력을 상쇄시킬 수 있는 강한 힘이 가해지고 미세한 물방울들로 분해가 되기 시작한다. 이때, 진동자를 중심으로 중앙에서는 굵은 물방울들이 만들어지고, 주변에서는 방사 형태로 미세물방울들이 만들어지게 된다. 실험을 위하여 <Figure 8>과 같이 초음파 발생장치를 제작하였으며, 수조 내부에서의 변화 과정을 관찰하기 용이하도록 수조의 재료는 투명 아크릴을 사용 하였다.

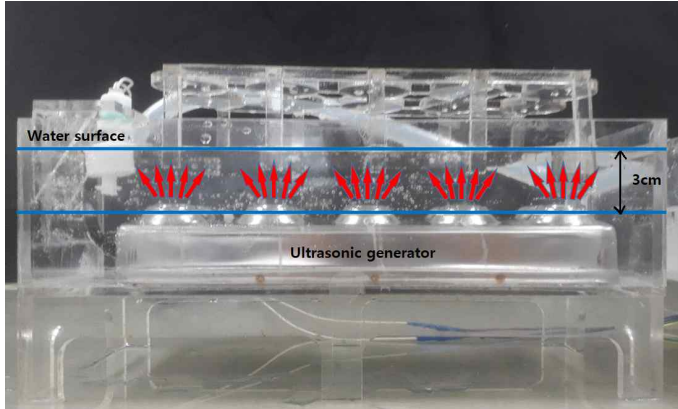


Figure 8: The ultrasonic waves generated from the fog generation experiment device and the ceramic vibrator are spread in the form of radiation (red arrow), and the water in the water is decomposed into fine droplets by vibrating the entire surface at a position 3 cm from the vibrator.

수조 내부 바닥에 초음파 발생장치를 고정하고 상온의 물을 공급하되 <Figure 8>과 같이 초음파 진동자로부터 2.5 ~ 3cm의 높이까지 물이 공급 될 수 있도록 하였다. 초음파 진동자 제조사마다 조금씩의 차이가 있지만 수면의 높이가 진동자로부터 약 3cm 정도 위에 위치할 때, 적절한 포그가 발생하는 것을 확인 하였고, 수위가 이보다 낮거나 높을 경우에는 포그가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 수면의 높이를 일정하게 관리하기 위해서는 <Figure 8>의 좌측과 같이 포그 생성 환경에 적절한 수위(초음파 진동자로부터 약 3cm의 높이)를 지속적으로 유지해줘야 하므로 수위 조절센서를 사용할 필요가 있다. 본 실험에서는 부력을 이용하여 수위를 확인하는 부력센서를 사용하였다.

<Figure 9(A)>와 같이 초음파 생성장치에 전류 공급이 인가되면 진동자의 진동을 시작하고, 초음파의 파장이 물의 표면에 도달하면 <Figure 9(B)>와 같이 포그가 만들어지기 시작 한다. 이때, 물 표면으로부터 2.5cm 이내에 장애물이 있으면 반사된 초음파에 의하여 물 분해가 이루어지지 않으므로 주의할 필요가 있다. <Figure 9(C)>와 같이 물방울들이 4~50 μ m 정도의 매우 미세한 크기로 분해가 되었기에 주변의 공기 흐름에 민감하게 반응하는 것이 가능하지만 물질의 상태가 기체 상태인 수증기로 기화된 것은 아니다. 물방울들의 물질 상태는 여전히 액

체 상태이고 질량에도 아무런 변화가 없는 것이므로 공기보다 무거워서 주변의 공기 유동이 없으면 <Figure 9(D)>와 같이 아래로 가라앉게 된다.

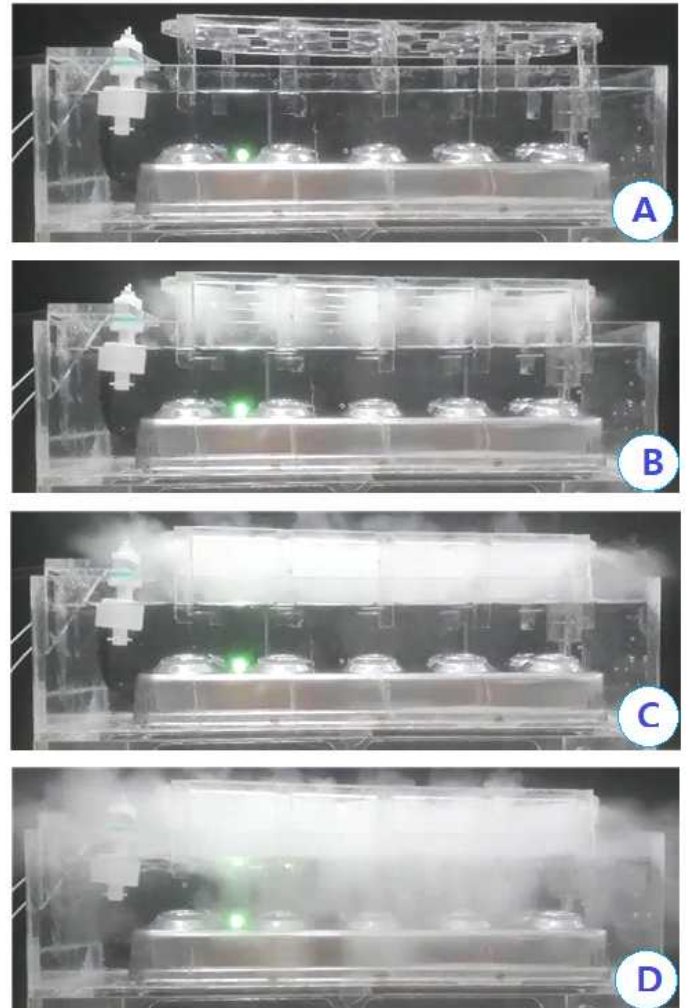


Figure 9: Fog generation process The ultrasonic wave starts to be generated by applying power to the fog generating device, and the wavelength of the ultrasonic waves starts to be decomposed into fine droplets (fog) while reaching the surface of the water. If there is an obstacle within about 2.5 cm from the surface of water, fog will not occur.

3.2 하향식 포그 스크린 설계

3.2.1 가이드 바람 노즐 설계

우리는 서두에서 포그 스크린이 스크린의 기능을 잘 수행하기 위해서는 출구 나오는 포그가 주변으로 흩어지지 않고 진행 방향으로 직진할 수 있도록 도와주는 가이드 바람이 중요하다는 것을 언급하고 있다. 이는 양질의 포그 스크린을 형성하는데 있어 매우 중요한 요소이다.

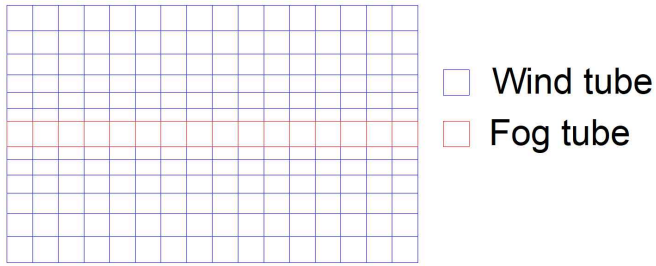


Figure 10: The sketch of the wind nozzle designed by the research team from below shows that the width of each outlet is uniformly 10mm and the length of the side adjacent to the outlet is 5mm. It is designed to increase in length by 1mm away from the exit. The blue outlets, arranged above and below, are the exit of the guide wind, and the exit, drawn in red horizontally arranged in the center, is the exit from the fog.

<Figure 10>은 연구팀에서 설계한 바람노즐을 아래에서 바라본 그림으로, 포그 노즐에 인접한 바람노즐 통로의 폭을 5mm로 고정하고 바깥방향으로 멀어질수록 바람 통로의 폭이 0.5mm 씩 넓어지도록 바람노즐의 설계하였다. 이는 바깥쪽으로 갈수록 바람의 유속이 감소하는 구조로 제일 안쪽의 바람 통로에서 나오는 유속은 포그 유속과 비슷하고 바깥쪽으로 갈수록 바람 유속이 줄어들게 하였다. 이는 유체의 흐름이 고기압에서 저기압으로 흐르는 원리를 적용하기 위함으로, 빠른 유속에 의하여 스크린이 현성되는 구역의 기압을 낮춤으로서 포그가 기압이 높은 주변으로 퍼지지 않는 것을 억제하게 된다. <Figure 11>은 측면에서 바라본 그림으로 좌우에 배치된 바람 노즐에 의하여 중앙의 포그가 출구에서 흩어지지 않고 진행방향으로 직진하게 된다.

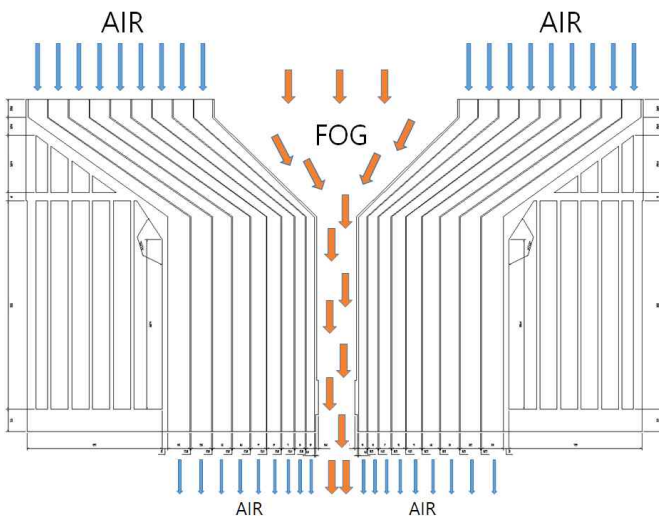


Figure 11: The fog screen wind nozzle side view and the wind nozzle bore size are designed differently. The flow inside the fog and adjacent to it was increased through a narrow channel.[11]

3.2.2 하우징 설계 및 제작

하드웨어 전체에 대한 설계를 진행하여 <Figure 12>와 같이 길이 220cm * 폭 40cm * 높이 43cm의 크기와 외형을 가진 포그 스크린 생성장치를 설계 하였다.

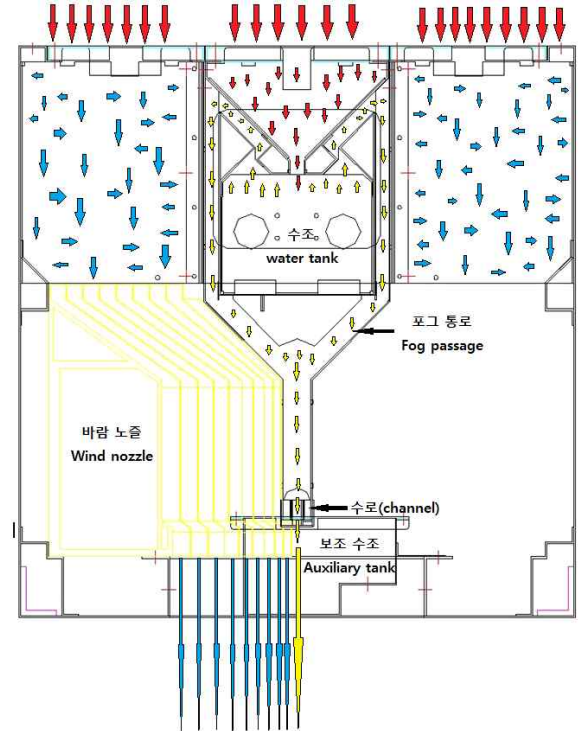


Figure 12: Fog screen housing internal side design and internal fluid flow diagram

하우징의 내부의 공간은 포그를 생성하는 ‘포그 생성 공간’과 바람을 생성하는 ‘바람 생성 공간’, 바람 노즐이 고정되는 ‘바람 노즐 공간’, 포그가 지나가는 ‘포그 이동 공간’으로 구분이 되어 있다.

‘포그 생성 공간’은 하우징의 중앙에 위치하며, 하단에는 수조가 있어 물과 포그 발생기가 놓이게 된다.

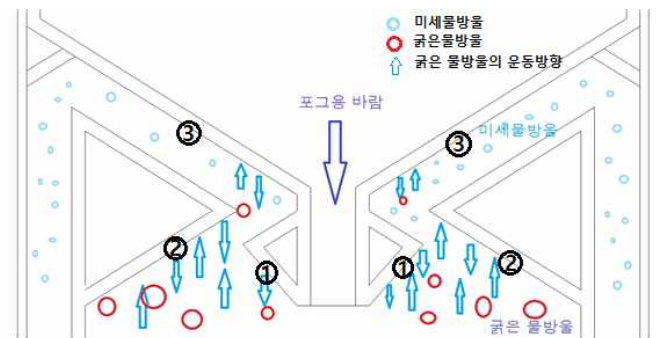


Figure 13: The design of the end of the water tank where the central fog generator is located. The heavy water droplets which are heavy due to heavy weight are blocked by the blocking wall and fall downward, and the fine water droplets that are lighter and windy are passed through the passage irrespective of the blocking wall.

수조의 중단에는 <Figure 13>과 같이 삼각형 모양의 차단 벽이 이중으로 설치되어 있어 수조에서 만들어지는 파란색으로 표시된 미세 물방울과 빨강색으로 표시된 굵은 물방울을 분리하여 자유운동을 하는 미세물방울들은 통과하고, 직선운동을 하는 굵은 물방울들은 ①, ②, ③번 벽에 가로막혀 1차적으로 차단할 수 있도록 되어 있다. 수조의 상단에는 외부의 공기가 유입될 수 있도록 천공되어 있다.

‘바람 생성 공간’은 수조의 좌우에 배치하였고, 공간의 상단에는 풍속 조절이 가능한 환풍기(Fan)가 설치되어 있어 외부의 공기를 공간 내부로 유입시킬 수 있도록 하였다.

‘바람 노즐 공간’은 ‘바람 생성 공간’의 하단에 위치하고 있으며, 팬에 의하여 유입된 난류를 일정한 방향성을 가지는 층류로 바꾸어주는 공간으로 <Figure 11, 12(노란색)>의 바람 노즐은 실험 결과에 따라 변형 또는 교체의 용이성을 위하여 탈부착이 가능하도록 설계 하였다.

‘포그 이동 공간’은 ‘포그 생성 공간’과 ‘바람 생성 공간’ 사이에 있는 직경 1cm 크기를 가진 통로다. <figure 12>의 노란색 화살표가 지나가는 좁은 공간으로 수조에서 생성된 포그가 하부에 있는 출구로 빠져 나갈 수 있는 공간이다. 포그 통로 출구의 좌우에 <Figure 14>와 같이 수로의 연결 부위가 있고 <Figure 15>의 좌측과 같이 포그 유로의 끝(출구) 좌우에 2m 길이를 가진 물받이 수로가 두 줄이 있어 포그 통로의 벽면에 응결된 굵은 물방울들이 바닥으로 떨어지지 않고 수로를 따라서 <Figure 15>의 우측과 같이 만들어진 작은 규모의 보조수조로 흘러가게 되고, 보조수조에 모아진 물들은 펌프를 이용하여 초음파 생성 장치가 있는 본수조로 올려 보내진다. 즉, 벽면에 흡착되어 성장한 굵은 물방울들은 수로를 통하여 처리가 가능하다는 것을 의미한다.



Figure 14: The waterway (two holes in the red circle) installed at the end of the fog exit, which was built on the design of <figure 12>. Fogs are adsorbed on the wall, and water droplets that develop into coarse droplets gather on the waterway without falling to the floor. The water collected in the channel is sent to the auxiliary tank installed at the end of the channel.

본 연구팀에서 설계한 포그 스크린(10개의 초음파 발생기를 하나의 그룹으로 묶은 모듈 6개 사용)을 기준으로 벽면에 흡착되어 보조수조로 모이는 물의 양을 측정할 결과, 평균 8.4L/hr 정도의 벽면에 흡착되어 성장하는 물방울들이 보조수조로 모이는 것을 확인할 수 있었다. 이렇게 모인 물들이 바닥으로 떨어지지 않고 99.3% 이상(스크린을 형성하였던 포그가 바닥에 충돌하여 만들어진 물방울들까지 포함한 경우, 포함하지 않을 경우는 거의 100%에 가깝다고 볼 수 있다.)의 굵은 물방울들 대부분을 수로를 이용하여 재처리가 가능하다는 것이 실험을 통하여 입증 되었다.

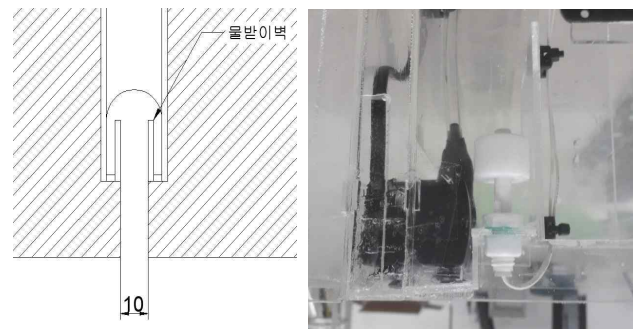


Figure 15: Water tank, water channel (left) is adsorbed from the wall surface to prevent water droplets falling down to the floor. The water is collected in the auxiliary tank (right) installed at the end of the waterway. The collected water is sent to the tank through the pump (black).

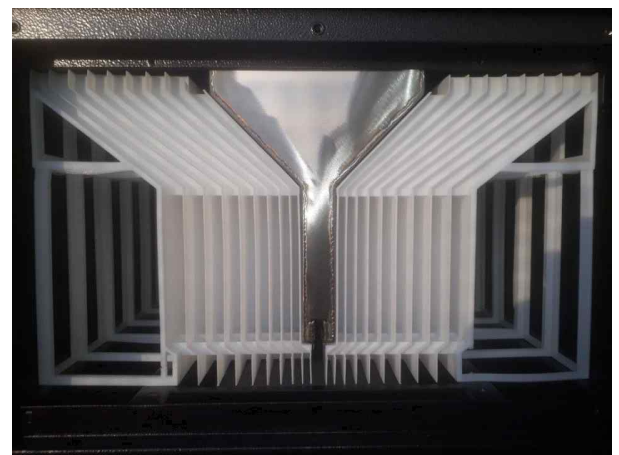


Figure 16: A wind nozzle was placed on the left and right of the fog outlet to form several layers of wind walls so that the fog particles from the outlet could be directed downward. The wind speed from the nozzle adjacent to the outlet is the fastest and the outermost is the slowest.

설계를 바탕으로 실제 장치를 <Figure 14, 16>과 같이 제작 하였다. 장치는 중앙 상부에서 생성된 포그가 하단 출구로 하강할 수 있도록 하였으며, 9개의 바람 층을 형성할 수 있는 바람노즐은 3D 프린터로 제작 하였다. 바람 노즐을 중앙 포그 출구를 중심으로 좌우에 배치함으로써 출구에서 나온 포그 입자들이 주변으로 퍼지지 않고 직진할 수 있는 구조로 제작 하였다.

4. 실험 결과

4.1 포그 스크린 생성

연구된 방법을 적용하여 제작한 포그 스크린 생성장치 (220cm(W) * 40cm(H) * 40cm(D))를 사용하여 포그 스크린을 생성한 결과는 <Table 1>과 같이 가로 197cm, 높이 218cm의 크기를 가진 스크린이 생성되었다.

Table 1: Fog screen measurement result (unit: cm)[8]

장치 길이	스크린 높이(H)	스크린 넓이(W)	영상투사 영역	2대 간의 스크린 간극
220	218	197	197(W) * 158(H)	10.4

영상을 투사하였을 때, 유효한 영상 투사 영역은 197cm(W) * 158cm(H)로 4 : 3 비율이다. 스크린의 가로 길이를 연장하기 위하여 2대를 병렬로 연결할 경우 하드웨어의 끝에서는 포그가 나오지 않는 장치의 특성 때문에 생기는 두 스크린 간의 간격은 10.4cm(FogScreen사의 경우, 장치 크기와 스크린 크기를 비교하였을 경우, 2대 사이의 스크린 간격은 30cm이다.)로 이 공간에는 스크린이 형성 되지 않는다.[8]



Figure 17: Two fog screens in parallel to extend the screen horizontally.[8]

<Figure 17>과 같이 주변이 밝은 상태에서도 스크린에 투사된 영상이 무리 없이 잘 보이며, 스크린 뒤의 풍경이 보이는 것을 확인할 수 있다. 하지만 더욱 선명한 영

상을 위하여 스크린에 닿는 빛을 통제하는 것이 좋을 것으로 보인다.

4.2 구조유사성 인덱스

포그 스크린에 투사된 이미지의 해상도는 투사되는 프로젝터의 해상도와 동일하지만 미세한 크기의 물방울들로 만들어진 스크린이기에 스크린의 밀도가 낮은 포그 스크린의 특성상, 밀도가 높은 벽이나 일반 스크린에 비하여 선명도가 현저하게 저하되는 것이 불가피하지만, 포그 스크린이 어느 정도의 선명도를 가지는 지에 대한 측정이 필요하다. 이를 위하여 다수의 원본 이미지를 포그 스크린에 투사한 것을 카메라로 촬영한 이미지와 원본 이미지가 어느 정도 유사한지를 알기 위하여 구조유사성 인덱스를 측정하였다.[8]

Table 2: Structural similarity measurement result.

조사 번호	원본사진	포그 스크린에 투영된 사진	구조 유사성
7			0.5799
17			0.7305
27			0.7159
37			0.4951
57			0.6935
67			0.8085
74장 평균			0.6979
표준편차			0.1387

측정 방법은 원본과 촬영된 이미지의 화면 크기를 동일하게 하고 대응되는 픽셀 쌍의 RGB 값이 얼마나 유사한지를 비교하는 방식으로 1에 가까울수록 원본과 유사도가 높다.[12] 본 실험에서는 총 74개의 원본과 투사 이미지를 비교하여 구조 유사도의 평균을 구하였다. 측정 결과는 0.6979 (표준편차 0.1387)이다[8]. <Table 2>는 실험에 사용된 자료들 중에서 무작위로 추출한 6개의 샘플로 좌측은 2차원 그래픽으로 만들어진 원본이미지고, 우측은 포그 스크린에 투영된 상태를 촬영한 이미지다.

5. 결론

본 연구를 통하여 포그 스크린의 기초적인 생성 원리, 상향식과 하향식 포그 스크린의 차이점과 공통점을 확인하였고, 상향식보다 내부 구조와 물 처리 문제가 복잡한 하향식 포그 스크린의 내부 구조와 설계 방법, 실험 결과들을 제시 하였다. 하드웨어 내부 설계는 그동안 국내외 연구에서 전혀 다루어지지 않았던 영역으로 본 연구를 통하여 국내에서 포그 스크린 연구를 촉진하는데 미약하나마 보탬이 될 수 있을 것으로 보인다. 특히, 수조에서 생성된 포그가 외부로 분사되어 스크린을 형성하는 과정에서 가이드를 형성하는 바람의 중요성, 벽면에 흡착되어 만들어지는 굵은 물방울들 처리를 위한 ‘수로를 이용한 재처리 방법’은 양질의 스크린 생성과 안전사고 예방적 차원에서 지속적으로 연구할 필요가 있어 보인다. 향후 본 연구에서 간단하게 제시한 굵은 물방울 차단 방법과 물방울 재처리 방법에 관한 후속 연구를 진행할 필요가 있으며, 바람 노즐의 효율성을 높이기 위한 연구가 진행될 예정이다.

감사의 글

본 논문은 “한국콘텐츠진흥원 2017 문화기술 연구 지원 사업”의 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Prachi Agarwal, Lakshavya Garg, Dr. Vineeta Parihar, “Fog screen projection”, *National Journal of Multidisciplinary Research and Development*, Volume 3; Issue 1; January pp. 1001-1003, 2018.
- [2] Yoenyong Park, Moonryul Jung, “Bottom-up Fogscreen Principle for Performance and Exhibition”, *PROCEEDINGS OF HCI KOREA 2018*, pp. 602-604, 2018.
- [3] FogScreen History, <http://www.fogscreen.com/about-us/history/>, 2019. 5. 23.
- [4] Niyan Omer, “FOGSCREEN – A NEW GENERATION OF DISPLAY”, *Gjøvik University College*, pp. 1-103, 2013.
- [5] Бизнес-Журнал, Русский гаджет: Максим Каманин <https://web.archive.org/web/20120622002450/http://www.business-magazine.ru/ideas/tech/pub342855>, 2019. 6. 1.
- [6] Masataka Imura, Asuka Yagi, Yoshihiro Kuroda, Osamu Oshiro, “Multi-Viewpoint Interactive Fog Display”, *The 21st International Conference on Artificial Reality and Telexistence November 28-30*, p. 170, 2011.
- [7] Pop sign, “[Media Report] Directing special image with fine mist air curtain. Fog screen? ‘FOGSCREEN’”, http://popsign.co.kr/index_media_view.php?BRD=3&NUM=309, 2019. 2. 26.
- [8] Yoenyong Park, Jungjik Lee, Seyun Jung, Hanbok Seo, Seungyop Lee, Moonryul Jung, “How to create a top-down fog screen”, *PROCEEDINGS OF HCI KOREA 2019*, pp. 61-64, 2019.
- [9] Kazuki Otao, Takanori Koga, “A Fog Display for Visualization of Adaptive Shape-Changing Flow”, *SA '17 Posters*, November pp. 27-30, 2017.
- [10] D.DEEPISHKA, Mrs.V.ARUNA, J.DEEPTHI, “Fog Screen Technology”, *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE TECHNOLOGY AND RESEARCH Volume No.5, Issue No.2*, pp. 5839-5844, February – March, 2017.
- [11] Stephen DiVerdi, Alex Olwal, Ismo Rakkolainen, Tobias Höllerer, “An Immaterial Pseudo-3D Display with 3D Interaction. Transmission and Display”, *Springer*, pp. 505-528, 2007.
- [12] Z.Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli, “Image quality assessment: From error visibility to structural similarity”, *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004.
- [13] FogScreen Inc, “FogScreen Data Sheet”, FogScreen Inc, pp. 1-2, 2017.

〈 저 자 소 개 〉



박 연 용

- 1992년 서울예술대학교 연극과 전문학사
- 2005년 Accademia di Belle Arti di Brera (Italia, Milano) Scenografia 학사
- 2015년 서강대학교 영상대학원 예술공학과 석사
- 2017년 서강대학교 영상대학원 영상예술공학과 박사과정 수료
- 관심분야: 무대공연, 홀로그램, 퍼지컬 미디어
- <https://orcid.org/0000-0001-6216-106X>



정 문 열

- 1980년 서울대학교 계산통계학과 학사
- 1982년 카이스트 계산통계학과 석사
- 1992년 Univ. of Pennsylvania 계산통계학과 박사
- 1992년 ~ 1994년 큐슈공과대학교 전자공학부 조교수
- 1994년 ~ 1999년 숭실대학교 컴퓨터공학부 부교수
- 1999년 ~ 현재 서강대학교 아트&테크놀로지학과/영상대학원 교수
- 관심분야: 퍼지컬 미디어, 두뇌동역학 모델링, 인공지능 예술
- <https://orcid.org/0000-0003-3809-1326>