

공학교육 현장에서의 메타버스 플랫폼 및 콘텐츠 활용

이용선^O

이택희*

(주)웨일텍,

한국공학대학교

heebung@whaletek.net watersp@tukorea.ac.kr

Applying the Metaverse Platform and Contents in Practical Engineering Education

Yongsun Lee^O

Taekhee Lee*

Whaletek, Tech University of Korea

요 약

최근, 메타버스는 다양한 분야에 적용될 수 있는 플랫폼으로서 그 영역을 급격히 넓히고 있다. 특히 다수의 사용자가 3차원 공간에서 상호작용 할 수 있는 기능은 VR/AR 기반의 교육 콘텐츠를 더욱 진보된 개념으로 활용할 수 있도록 해준다. 공학교육 특성상 3차원 물체를 기반으로 이루어지는 경우가 많다. 3차원 물체의 경우 2차원 동영상이나 문서를 통하여 설명하기 어렵고, 물체가 변하는 과정이 포함될 경우 더욱 표현이 어려워진다. 메타버스의 3차원 공간은 실시간 렌더링을 기반으로 하여 이러한 어려움을 개선해 줄 수 있다. 공학교육의 또 다른 특징은 실제 눈에 보이지 않는 요소가 많다는 점이다. 전자기장, 자기장, 힘 등 물체의 움직임에는 관여하나 눈에 보이지 않기 때문에 학습 난이도를 높이는 주된 이유가 된다. 이러한 문제 또한, 메타버스 공간에서 시각적으로 표현이 가능하기에 학습에 도움을 줄 수 있다. 본 논문에서는 공학교육을 위한 메타버스 플랫폼 구축 결과와 이를 기반으로 제작된 실시간 강의 콘텐츠를 설명하고, 적용한 결과와 강의 평가에 대해 다룬다. 총 9개의 메타버스 콘텐츠를 활용한 강의가 진행되었으며, 90%의 긍정적인 강의 평가 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

Recently, metaverse is rapidly expanding its area as a platform that can be applied to various fields. In particular, the function that allows many users to interact in a three-dimensional space allows VR/AR-based educational content to be used as a more advanced concept. Due to the nature of engineering education, it is often based on three-dimensional objects. In the case of a three-dimensional object, it is difficult to explain through two-dimensional videos or documents, and it becomes more difficult to express when the process of changing the object is included. The three-dimensional space of the metaverse can improve this difficulty based on real-time rendering. Another characteristic of engineering education is that there are many invisible elements. Although it is involved in the movement of objects due to electromagnetic fields, magnetic fields, and forces, it is the main reason for increasing learning difficulty because it is invisible. These problems can also help learning because they can be visually represented in the metaverse space. In this paper, the results of the establishment of the metaverse platform for engineering education and the real-time lecture contents produced based on it are described, and the applied results and lecture evaluation are discussed. Lectures using a total of 9 metaverse contents were conducted, and 90% of the positive lecture evaluation results were obtained.

키워드: 메타버스, 공학교육, VR/AR, 실시간 강의 콘텐츠

Keywords: Metaverse, Engineering Education, VR/AR, Real-time Lecture Contents

*corresponding author: Taekhee Lee/Tech University of Korea(watersp@tukorea.ac.kr)

1. 서론

메타버스는 새로운 세계라는 개념으로 최근 급격하게 발전하고 있는 추세이다. 문화 예술 분야에서 가장 활발하게 적용되고 있으며[1], 근래 들어서 교육 영역으로 확대되고 있다. 이에 더불어 다양한 메타버스 공간을 제공하는 플랫폼이 등장하고 있다. 대표적인 예로 로블록스, 제페토와 같이 게임이나 사회활동을 할 수 있는 가상세계를 제공해 주는 플랫폼을 들 수 있다. 이러한 플랫폼들은 주로 접속자들의 흥미를 유발하여 가상세계에서 활동할 수 있는 콘텐츠를 제공하는 것을 목적으로 가지고 있다.[2]

교육 분야로는 2차원 형태의 가상공간을 기반으로 하는 플랫폼과 3차원 형태이긴 하나 2차원 교육 자료를 주로 사용하는 형태의 플랫폼이 제공되고 있다.[3,4] 이러한 플랫폼은 비대면 상황에서 진행되는 일반적인 화상 교육과는 다른, 융합된 교육 환경을 제공해 주었고 실제 학습자들의 집중도가 높아지는 효과를 얻을 수 있었다.

3차원 가상공간을 기반으로 제공되는 교육목적의 메타버스 콘텐츠는 아직 초기 단계이다.[5] 최근 많은 대학에서 자체 플랫폼을 구축하거나 상용 플랫폼을 기반으로 교육목적의 메타버스 콘텐츠를 개발하고 있다. 특히, 메타버스가 제공하는 다수의 사용자가 3차원 공간에서 상호작용할 수 있는 기능은 기 개발된 VR/AR 기반의 교육 콘텐츠를 더욱 진보된 개념으로 활용할 수 있도록 해주기 때문에 VR관련 연구들이 메타버스 공간으로 활발히 넘어오는 상황이다.[6]

여러 교육 분야 중 공학 쪽은 특성상 3차원 물체를 기반으로 이루어지는 경우가 많다. 3차원 물체의 경우 2차원 동영상이나 문서를 통하여 설명하기가 어렵다. 교육 대상자가 물체를 원하는 방향으로 놓고 관찰하기가 불가능하고 물체가 3차원적인 변형이 일어날 경우 더욱 표현이 어려워진다. 3차원 메타버스 공간은 실시간 렌더링을 기반으로 하여 이러한 어려움을 개선해 줄 수 있다.[7]

이러한 특성에 관해 본 논문에선 3차원 물체를 기반으로 하는 메타버스 콘텐츠 3종을 개발하였다. 첫 번째는 PN 접합 과정을 설명하는 3차원 실시간 콘텐츠 및 가상 실습도구에 관련된 콘텐츠이며 두 번째는 박막 증착 공정에 관련된 콘텐츠 및 실습도구, 마지막으로 반도체 소자 증착을 설명하는 콘텐츠 및 도구에 관련된 내용이다.

공학교육의 또 다른 특징은 실제 눈에 보이지 않는 요소가 많다는 점이다. 이는 전자기장, 자기장 및 힘 등으로 물체의 움직임에는 관여하나 눈에 보이지 않기 때문에 학습난이도를 높이는 주된 이유가 된다. 이러한 문제 또한 3차원 메타버스 공간에서 시각적으로 표현이 가능하기에 학습에 도움을 줄 수 있다.

본 논문에선 6종의 콘텐츠를 개발하였다. 각 콘텐츠는 자기장의 표현, 힘의 표현, 전류의 표현 등 실제 세상에서 관측이 불가능한 표현을 담고 있다. 이를 기반으로 전압의 원

리, 발전기의 원리 및 모터의 원리 등을 쉽게 설명할 수 있었다.

2장에선 개발된 플랫폼에 대한 설명을 한다. 3장에선 개발된 콘텐츠들을 설명하고 4장에선 실제 강의 적용 결과에 대해 논한다. 콘텐츠는 평균적으로 12분 분량이며 총 9개의 메타버스 콘텐츠를 이용하여 강의가 진행되었으며 90%의 긍정적인 강의 평가 결과를 얻을 수 있었다.

2. 메타버스기반 공학교육 플랫폼

메타버스는 주로 '초월 세계'라는 개념으로 설명되고 있다. 이 용어에서의 '메타(Meta)'는 주로 '초월'이란 의미로 사용되고 '버스(Verse)'는 영문 Universe에서 파생된 것으로, 두 용어가 합성되어 '메타버스(Metaverse)'라는 용어가 생겨났다.[8] 사실 이러한 용어가 가지는 개념은 기존 '가상세계(Virtual Reality)'가 가지는 개념으로부터 시작할 수 있다. 메타버스가 가상세계와 구분될 수 있는 조건은 아직 명확하게 정해진 것이 없으며 정립되고 있는 상태로 볼 수 있다.

본 논문에서 연구 개발한 메타버스 플랫폼은 아래와 같은 기능을 제공한다.

- 몰입형 3차원 세계 : HMD 및 손가락 트래킹이 가능한 핸드 컨트롤러를 사용하여 매 프레임 접속자의 시점에 따라 실시간 렌더링을 수행한다.
- 상호작용 : 다수의 사용자가 접속하여 서로 상호작용할 수 있도록 한다.



Figure 1 Using HMD and Hand Controller

연구된 플랫폼은 교육 효과를 극대화하기 위해 몰입형 체험을 제공하는 3차원 가상공간을 기반으로 한다. Figure 1에서 보듯 사용자는 반드시 HMD와 핸드 컨트롤러를 이용하여 메타버스로 진입해야 한다.

학습자들 간의 상호작용을 위해 모든 움직임은 서버를 통해 모든 학습자들에게 공유된다. 교육의 집중도 향상 및 가상 세계 멀미 최소화를 위해 학습자들의 위치 이동은 제한되었으며, 앉은 자세로 강의를 진행된다. 얼굴의 위치, 팔 및 손가락의 움직임이 서로 공유되며 이를 통하여 다양한 상호작용을 수행할 수 있도록 한다.

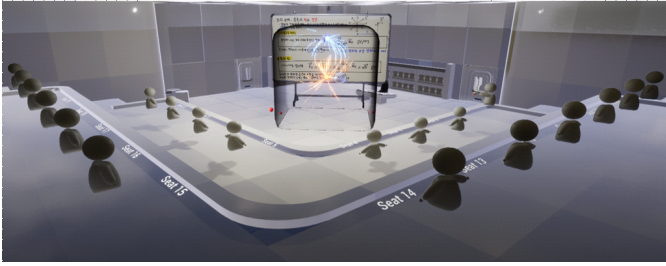


Figure 2 Virtual education place

학습자들은 Figure 2 가상 강의실에 모여 실시간으로 재생되는 강의 콘텐츠를 감상하고 강의 콘텐츠 재생이 종료된 이후 실습실 이동이 필요하지 않은 경우 각자의 책상에 놓인 실습 도구들을 활용하여 강의 내용에 대한 실습을 진행한다.

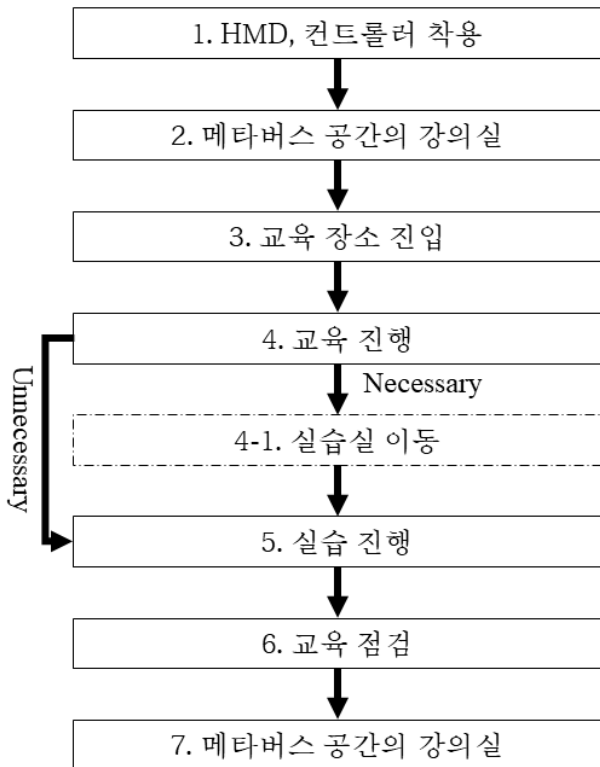


Figure 3 System workflow

연구된 메타버스 플랫폼은 Figure 3의 순서로 동작한다. 현실 강의실에 모인 학습자는 자리마다 설치된 HMD와 핸드 컨트롤러를 착용한다.



Figure 4 Students wearing the equipment

Figure 4는 장비를 착용한 학습자들의 모습을 나타낸다. 이후 프로그램을 실행하여 실제 강의실과 동일한 모습을 가진 메타버스 공간의 강의실에서 대기한다. 강의실은 학습자들이 가상 세계에 시각적으로 적응할 수 있는 시간을 제공한다. 이후 가상의 교육장으로 이동되며 수업이 시작되기 전까지 교육장소에 모인 다른 학습자들과 의사소통 및 간단한 상호작용을 하며 몰입도를 높일 수 있다. 교수가 사전에 설정한 교육시간이 되거나 직접 강의를 실행하는 경우 강의 교육이 진행된다. 강의 교육 이후 실습실 이동이 필요한 경우와 실습실 이동이 필요하지 않은 경우로 나뉜다. 실습 시간에는 교육 내용에서 설명된 실습도구들을 이용하여 가상의 교수자가 제시하는 가이드라인을 따라 실습을 진행한다. 실습 종료 이후 간단한 문제를 통한 학습 성취도를 조사하는 점검 시간을 가진다. 강의와 실습이 모두 종료된 경우 학습자는 처음 접속했던 가상의 강의실로 이동하게 된다.

본 논문에서는 몰입형 하드웨어 장치인 HMD를 이용하기 때문에 강의 시간을 최대 15분 이내로 제한하였다. 학습자들의 HMD 사용에 따른 멀미 증상을 최소화하기 위함이다. [9] 이와 관련된 연구는 본 논문의 연구영역에서 벗어난 주제이기 때문에 가상 세계 멀미 현상에 관련된 내용은 다루지 않는다.

다음 장에선 개발된 실시간 3차원 콘텐츠에 대해 다룬다.

3. 메타버스기반 강의 콘텐츠

본 논문에서 개발된 메타버스 기반 강의 콘텐츠는 전자기학, 전기자동차공학, 반도체공학의 3개의 교과목으로 각각 3차시 강의로 구성되어있다. 하나의 강의는 교육과 실습 부분으로 구성된다.



Figure 5 Non Player Character

본 논문의 메타버스 플랫폼에서는 학습자의 시선 처리와 강의 몰입도를 위해 Figure 5의 가상 NPC(Non Player Character) ‘웨일리’를 이용한다. 웨일리는 학습자에게 교육 내용의 설명을 전달하는 화자의 역할을 수행한다. 이렇게 콘텐츠 내부에 화자를 두는 이유는 학습자들의 시선이 지속적으로 교육에 고정될 수 있도록 하는 목적을 가지고 있다.[10] 또한, 실습 콘텐츠에 학습자에게 각자의 실습 도구와 웨일리를 배치하여 실습 가이드라인을 제공해 학습자의 실습이 교육 목표와 동일하게 진행될 수 있도록 제공하였다. 강의 콘텐츠는 Table 1, 2, 3의 주제로 구성되어 있다.

Table 1 Electromagnetism Lecture Topics

Time	Topics
01	Coulomb force and voltage
02	Magnetic Force Law and Rotational Energy of Ampere's
03	Induced Voltage and Faraday's Law

Table 2 Electric Car Lecture Topics

Time	Topics
01	Electromagnetic Induction
02	Electric Motor Structure and Principle (DC Machine Structure and Operation principle)
03	Rotating Magnetic Field through the principle of Rotation of Induction Machine

Table 3 Semi-conductor Lecture Topics

Time	Topics
01	Formation of PN junctions through diffusion and understanding the principle of operation of solar cell devices
02	Understanding PEALD(Plasma-Enhanced Atomic Layer Deposition) the thin film deposition process
03	I-V curve measurement of MOSFET (Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor) Device

3.1 전자기학

전자기학 교과와 주된 학습목표는 자연계에 발생하는 전자기적인 현상을 탐구하고 학습하는 것이다. 본 논문에서는 가상공간을 통해 전하와 전하 사이에 발생하는 힘의 크기와 방향, 암페어의 자기력법칙과 이를 이용한 회전에너지 개념, 인덕터의 유도전압 발생 과정을 이용한 패러데이의 법칙을 가시화시켜 보다 효과적인 학습 여건을 제공하고자 하였다.

1차시 주제는 전하를 이용한 실험으로 전하의 배치에 따른 전기장의 변화를 학습자가 실시간으로 확인할 수 있도록 제작되었다.



Figure 6 Two type positive charge and negative charge

Figure 6에서 볼 수 있듯이 양전하, 음전하의 구별을 위해 빨간색과 파란색을 가지도록 하였다. 두 개의 전하는 빛을 발산하는 고정된 전하와 빛을 발산하지 않는 움직이는 전하의 형태를 가진다. 고정된 전하로 전기장의 변화를 관찰할 수 있도록 하였고, 움직이는 전하를 통해 전기장의 세기를 측정할 수 있도록 하였다.

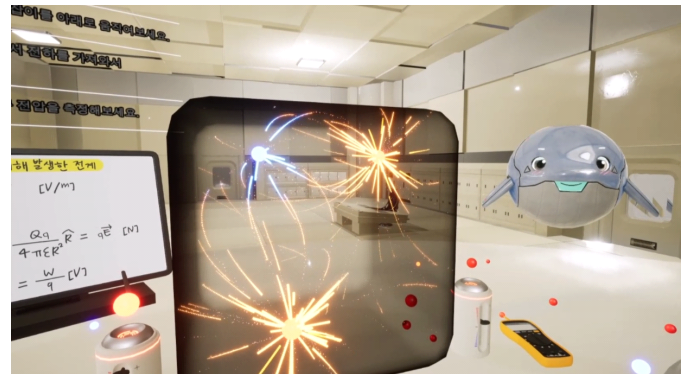


Figure 7 Education practice creating an electric field by taking an electric charge

실습시간에 학습자는 본인 앞에 생성된 실습도구를 이용하여 Figure 7과 같이 스스로 전하를 배치하여 실시간으로 피드백 되는 전기장의 모습을 관찰할 수 있다.

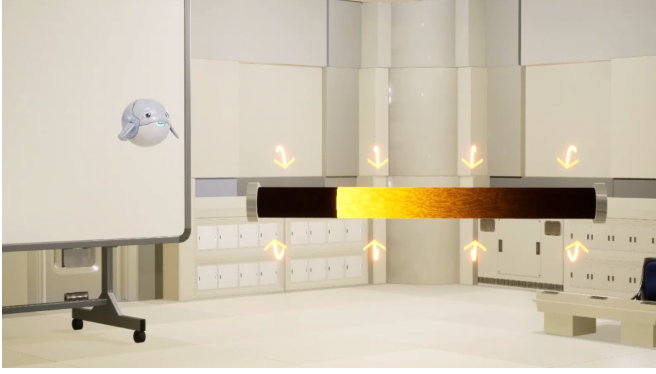


Figure 8 Visual representation of electric current and magnetic field

2차시 주제는 암페어가 지닌 자기력을 학습자가 관찰할 수 있도록 하였다. Figure 8처럼 도선에 흐르는 전류를 시각적으로 표현하여 제공하였고, 오른나사 법칙과 왼나사 법칙을 적용한 자기장 방향을 학습자가 눈으로 관찰할 수 있도록 표현 하였다. 이렇게 표현된 도선을 사용한 두 가지의 실험을 진행하였다.

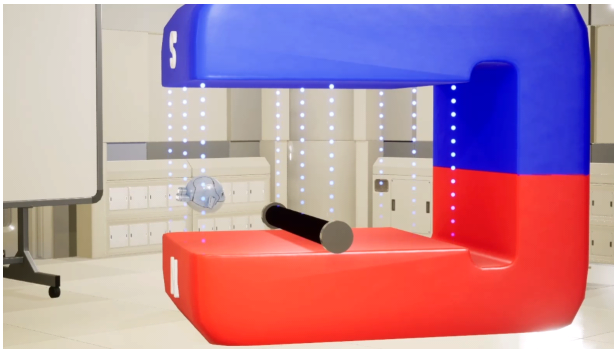


Figure 9 Interaction between two magnetic fields

첫 번째로는 Figure 9에서 관찰할 수 있는 커다란 자석에 전류가 통하는 도선을 두어 전류가 통하는 도선이 만들어진 자기장과 자석의 N극과 S극에서 만들어진 외부 자기장 사이에 생기는 상호작용을 관찰 할 수 있도록 하였다.



Figure 10 Interactions between current-carrying wire conductors

두 번째로는 Figure 10에서 볼 수 있듯 전류가 흐르는 도선과 도선 사이의 상호작용을 관찰할 수 있도록 하였다.

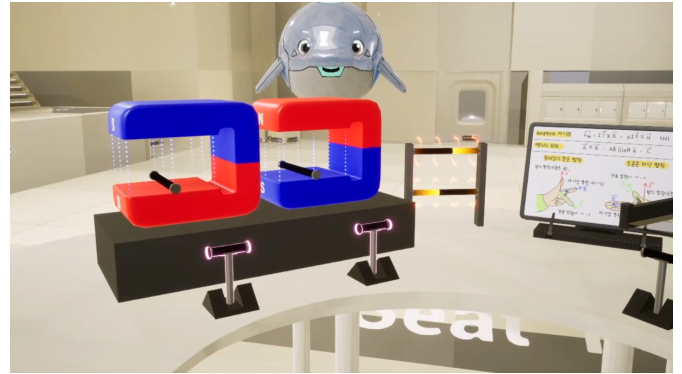


Figure 11 Two types of magnets used in student practice

실습에서는 Figure 11처럼 S극과 N극의 배치가 다른 두 자석을 제공하고, 학습자가 레버를 통해 도선에 흐르는 전류의 방향을 바꿀 수 있도록 하였다.

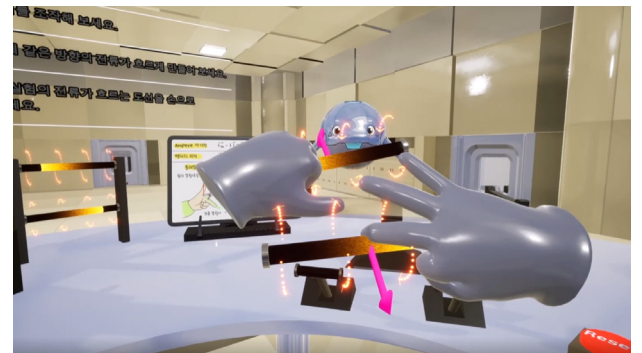


Figure 12 Educational practice using current-carrying wire conductors

두 번째 실험에서도 레버를 통해 도선의 전류 방향을 설정한다. 이때 도선이 받는 힘의 방향을 추가로 표시하였다. Figure 12를 보면 학습자가 도선을 양손으로 들고 있는 것을 확인할 수 있다. 도선이 받는 힘의 세기를 컨트롤러의 햅틱으로 피드백 받을 수 있도록 하여 학습자의 몰입도를 높였다.

마지막으로 3차시는 유도전압과 패러데이 법칙을 설명한다. Figure 13의 왼쪽 그림은 전류의 방향에 따른 코일의 내부 자기장의 모습을 Figure 13의 오른쪽 그림은 자석을 사용하여 코일 내부 자기장 변화와 유도전류를 관찰하는 내용을 설명한다.

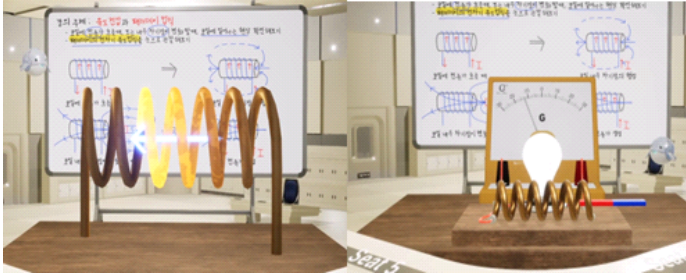


Figure 13 3rd lecture experiment

다음으로 Figure 14의 실험도구를 이용하여 앞의 두 실험이 결합된 패러데이 전자기 유도 실험을 진행한다. 코일 두 개가 감겨있는 도넛모양의 철심이 있다. 오른쪽 코일은 전원과 스위치가 연결되어있고, 왼쪽 코일은 나침반 위로 지나가는 직선 도선 막대에 연결되어 있다. 이때 스위치를 눌렀다 때면서 발생하는 나침반의 움직임을 관찰한다. 스위치를 누르는 순간 오른쪽 코일에 전류가 흘러 코일은 자기장을 생성한다. 이때 생성된 자기장은 왼쪽 코일에 영향을 주게 되고 왼쪽 코일은 관성에 의해 유도 전류를 생성하게 된다. 이렇게 생성된 전류가 만드는 자기장에 의해 나침반이 움직이는 원리를 설명한다.

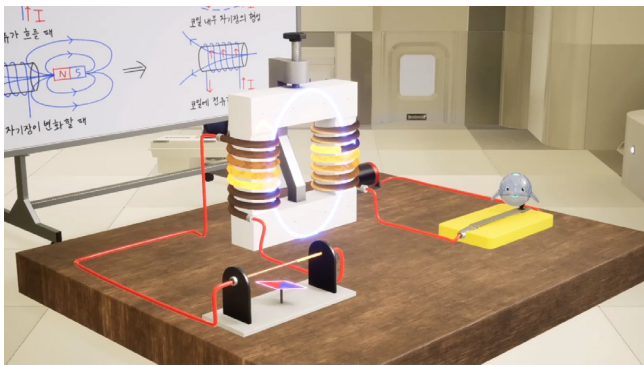


Figure 14 Faraday's Electromagnetic Induction Experimental Instrument

3.2 전기자동차공학

전기자동차공학의 주된 학습 목표는 전기자동차를 구성하고 있는 전동기와 전동기를 구동하는 시스템에 관한 전반적인 내용을 학습한다. 본 논문에서는 이를 학습하는데 보이지 않는 전자기적 현상이나 에너지 변환과정을 이해하는데 가상공간을 통해 전동기 내부에서 전자기적 현상을 가시화시켜 보다 효과적인 학습 여건을 제공하고자 하였다.

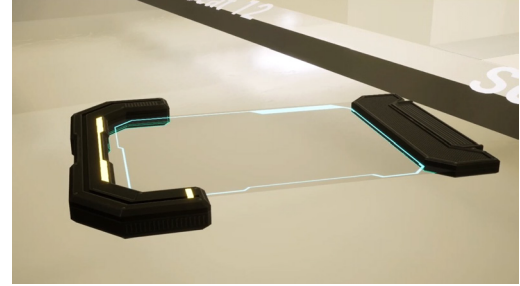


Figure 15 Tablet for monitoring electric current and magnetic field

전기자동차공학 강의에서는 학습자의 교육과정 참여도를 위해 Figure 15의 태블릿을 사용한다. 교육 콘텐츠를 태블릿을 사용하지 않고 바라보았을 때는 Figure 16의 좌측처럼 관찰되지만 학습자가 태블릿을 들고 교육 콘텐츠를 관찰하면 Figure 16의 우측처럼 전류와 자기장을 관찰할 수 있다. 학습자의 편의를 위해 해당 태블릿은 공중에서 손을 놓아도 바닥으로 떨어지지 않고 그 위치에 그대로 배치된다. 이러한 편의성을 제공하여 태블릿 조작이 강의에 방해되지 않도록 제공하였다.

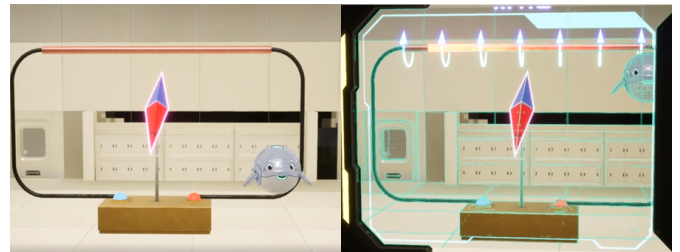


Figure 16 The difference between not using the tablet and using it

1차시 강의는 나침반과 전선을 이용한 외르스테드의 실험을 통해 전기가 자기를 형성한다는 것을 교육하고, 반대로 자기가 전기를 만들 수 있는지에 대한 의문을 제시한다. 다음 실험으로 Figure 17과 같이 배치된 검류계, 코일, 자석을 사용하여 패러데이의 전자기 유도 실험을 교육한다.

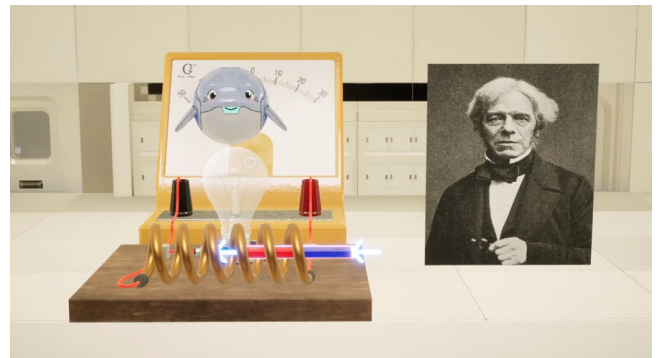


Figure 17 Faraday's electromagnetic induction experiment

2차시에는 전동기의 구조와 원리에 대해 설명한다. 전선이 연결된 코일이 감긴 볼트와 영구자석을 이용해 직류전동기의 회전원리를 설명하고, 전류의 방향에 따라 코일의 회전이 발생하는 이유를 설명하면서 전자석에 대해 설명한다.

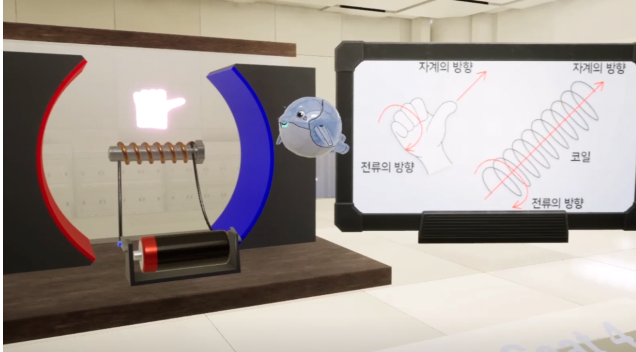


Figure 18 DC Motor Rotation Principle

다음으로 실제 직류 전동기에 대해 설명한다. 전동기의 부분별로 어떠한 역할을 하는지에 대해 설명하고 해당 부분의 역할을 설명한다.

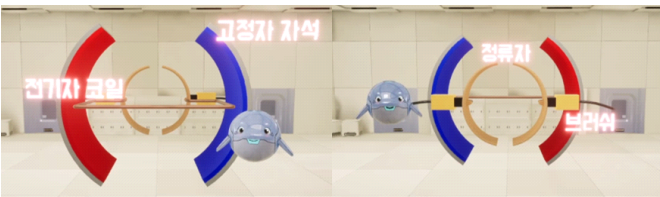


Figure 19 Name of each part of DC motor

이때 태블릿을 이용하면 Figure 20의 왼쪽 그림처럼 전류가 통하면서 생기는 극성과, 힘의 방향을 관찰할 수 있도록 한다. Figure 20의 오른쪽처럼 전기자의 개수를 변화시키면서 정류자와 전기자가 회전하는 힘인 토크에 대해 설명한다.



Figure 20 DC motor working principle

3차시는 유도전동기와 동기전동기로 나뉘는 교류 전동기 중 유도전동기에 대해 설명한다.

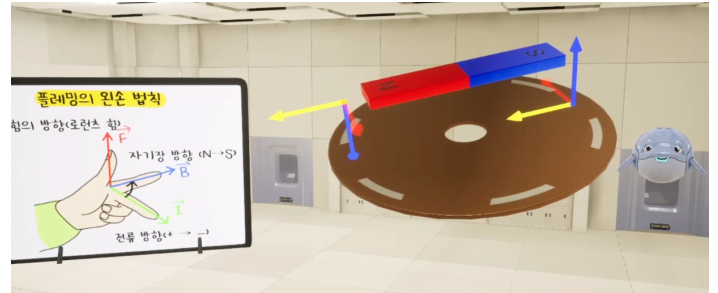


Figure 21 Description of Arago's Disc Experiment

교류 전동기에서 회전하는 힘을 발생시키는 기본 원리를 아라고의 원판 실험을 통해 교육한다. 이때 발생하는 힘의 방향은 Figure 21처럼 플레밍의 왼손 법칙을 적용하여 방향을 찾을 수 있다.

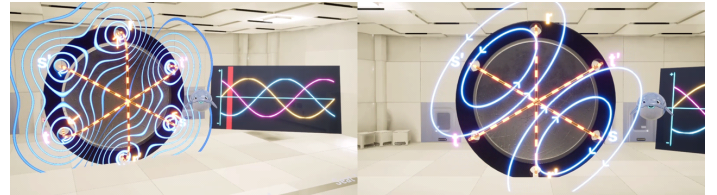


Figure 22 3-phase induction motor

기본 원리 설명 이후 3상 유도전동기를 설명한다. Figure 22처럼 예시 그래프의 특정 시간에 각 상에 적용되는 전류 방향을 적용하여 생성되는 자기장의 모습을 시각적으로 표현한다. 최종적으로 그래프의 값을 적용하면 연속적으로 회전하는 자기장이 만들어지게 되고, 이 회전자계에 의해 가운데 원판이 같이 회전한다. 이때 원판이 회전자계의 속도보다 조금 늦춰지는 것을 확인할 수 있는데 이 현상을 슬립이라 한다.

실습 시간에는 학습자가 직접 아라고의 원판을 돌려보며 자석이 어떤 방향으로 회전하는지 관찰할 수 있도록 하였고, 3상 유도전동기에 흐르는 특정 전류만 시각적으로 관찰할 수 있도록 제공하여, 전류를 하나씩 살펴 볼 수 있도록 하였다.

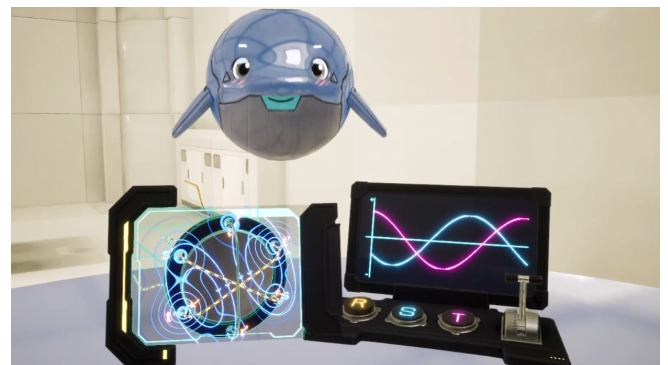


Figure 23 Set R Electric current invisible

3.3 반도체공학

반도체공학 강의의 주된 학습목표는 반도체 기초이론 설명 및 공정설계, 측정에 대한 기술을 습득하는 것을 목표로 하였다. 본 논문에서는 실제 반도체 공정인 확산, 증착, 리소그래피 및 식각의 패턴과 제작한 반도체 소자의 측정 과정 등 실제 체험하기엔 많은 시간과 노력이 필요한 내용을 가상공간에서 상호작용을 통해 빠르고 간편하게 진행할 수 있도록 제공하였다.

반도체공학 1차시 강의에는 태양전지 소자의 동작 원리와 확산 공정을 통한 PN접합 형성 원리를 교육한다.



Figure 24 PN junction

Figure 24처럼 P형 실리콘에 N형 도핑을 하게 되면 N형에는 전자가, P형에는 빈 구멍을 만든다. 이때, P형과 N형이 같이 있는 경우 N형의 전자가 P형의 빈 구멍을 메워주게 되는데 이런 상태를 공핍 영역이라 칭한다. N형 측은 약간의 양극이 되고 P형 측은 약간의 음극이 되면서 전하 사이에 전기장이 형성된다. PN접합에 광자에너지인 빛을 들어가게 하면 N영역을 투과하여 공핍영역에 도달한 광자 에너지가 공핍영역에 전자와 빈 구멍의 쌍을 만들어내고 공핍영역의 전기장은 생성된 전자와 빈 구멍이 각자의 영역으로 나아가도록 만든다. N영역에는 전자, P영역에는 빈 구멍의 밀집도가 상승하게 된다.



Figure 25 DC supply principle of solar cell

Figure 25처럼 전자가 하중을 통해 흐르게 된다. 흐르는 전자는 P영역에 도달하게 되고 빈 구멍과 결합하게 된다. 이 방식이 태양전지가 직류를 공급하는 원리이다.



Figure 26 PN junction of practical solar cells

실용적인 태양전지의 경우 Figure 26처럼 N층을 얇고 고농도로 도핑하고, P층은 두껍고 저 농도로 도핑 하여 공핍영역의 넓이를 두껍게 생성한다. 공핍영역이 많아지면 광자 에너지를 통해 생성되는 전자와 빈 구멍의 쌍이 많아진다는 의미가 되며 더 많은 전류가 태양전지에 의해 생성될 수 있기 때문이다. 다음으로 PN 접합의 형성 원리를 확산 공정을 통해 설명한다.



Figure 27 Furnaces for diffusion process

Figure 27은 확산 공정을 위한 용광로를 단순하게 모델링하여 교육 자료로 활용한 모습이다. 해당 모델에는 3개의 가스통이 달려있는데 각각 산소, 아르곤, POCl_3 가 들어있다. POCl_3 은 PN접합을 위한 주 원료로 열을 가하면 증기 상태가 되는 성질을 가지고 있다. 증기 상태가 된 POCl_3 을 산소와 아르곤이 만나게 되면서 용광로 내부까지 운반한다. 이러한 운반을 위해 사용되는 산소와 아르곤을 운반 물질이라 칭한다. 용광로 내부로 이동한 POCl_3 은 분자 형태로 날아다니다가 실리콘 웨이퍼 위에 붙게 되면 변화가 나타난다.

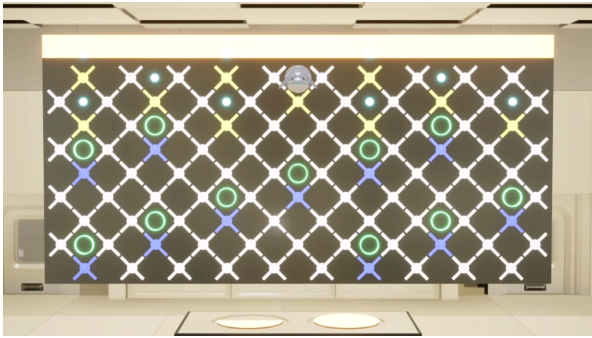


Figure 28 PSG layer representation

POCl_3 이 P형 실리콘 웨이퍼에 붙으면 PSG(Phosphorus Silicate Glass)층이 생성된다. Figure 28에서 실리콘 원자구조 위에 발광하고 있는 부분이 PSG층을 나타낸다. [Figure #]처럼 POCl_3 에서 P가 분리되어 P형 실리콘 웨이퍼에 자리 잡는다. 이 과정에서 P형 실리콘에 N층이 형성되게 되고 N층에 전자가 만들어진다. N층에 생성된 전자가 빈 구멍을 메우면서 공핍영역이 생성되고, 이후 PSG층을 제거하면 확산 공정을 통해 PN 접합이 형성된다. 이런 확산 공정에는 선택 사항이 몇 가지 존재한다. 실리콘 웨이퍼의 두께, POCl_3 의 농도, 확산로의 온도와 시간 등을 고려해야하며, 이런 요소들의 변화는 효율의 변화로 연결된다.

반도체공학 강의의 실습은 학습자들을 각자 개인 실습실로 이동시켜 진행하였다.

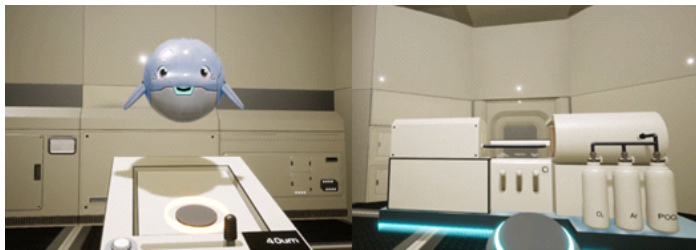


Figure 29 Personal practice device

실습에서는 고려해야하는 요소들을 직접 설정할 수 있도록 제공한다. Figure 29왼쪽 그림은 실리콘 웨이퍼의 두께를 설정하여 웨이퍼를 생성할 수 있는 실습 장치이며 Figure 29의 오른쪽 그림은 학습자가 POCl_3 의 농도, 확산 온도와 시간을 설정할 수 있는 실습 장치이다.

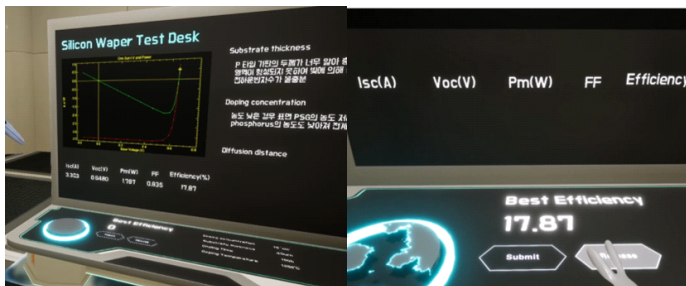


Figure 30 Wafer analysis device

Figure 30는 확산공정이 종료된 웨이퍼를 분석할 수 있는 실습도구이다. 공정이 종료된 웨이퍼를 분석기에 올리게 되면 분석한 내용을 I-V그래프와 피드백을 출력한다. Submit 버튼을 통해 현재 웨이퍼의 효율을 확인할 수 있으며 학습자는 여러 번의 실습을 통해 효율이 다른 웨이퍼를 만들어 테스트 할 수 있다.

2차시에는 PEALD 박막 증착 공정을 교육한다. 공정은 ALD의 로드락에 웨이퍼를 넣으면서 시작된다.

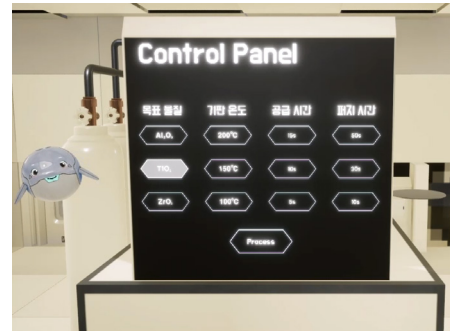


Figure 31 Process parameters

Figure 31에서 볼 수 있듯이 목표하는 물질과 기판 온도, 공급 시간, 퍼지 시간의 4가지 공정 변수를 선택한다. 공정 변수 선택 후 로드락에서 챔버로 웨이퍼를 이동하고 챔버 내부에 반응가스가 채워진다. 설정한 기판 온도까지 웨이퍼를 가열하고 공급 시간만큼 챔버 내부에 들어온 반응가스와 물리흡착이 될 시간을 제공한다. 이후 퍼지 시간 동안 아르곤 가스가 물리 흡착된 입자들을 밀어내면서 입자 탈착이 진행된다. 퍼지 시간동안 비워진 챔버 내부를 O_2 입자로 채우면서 플라즈마 공정이 시작된다. 챔버에 높은 전압을 가해주어 전자를 발생시켜 가속시킨다. 가속된 전자들은 O_2 입자의 전자와 충돌하게 된다. 전자와 충돌된 O_2 입자는 반응성이 올라가 기판에 흡착된 기존 입자를 떨어트리고 그 자리를 대신 차지한다. 이런 과정을 통해 기존 흡착된 입자들은 산화물 입자로 변하게 된다. 이후 기판 안정화 단계를 진행한다. 퍼지 시간동안 아르곤 가스가 유입되고 플라즈마 단계에서 떨어져 나온 입자들을 밀어내면서 챔버 밖으로 내보낸다. 여기까지가 박막 형성 과정이다. 실제로 공정에서는 여러 번 반복하여 박막이 원하는 두께가 될 때 까지 공정을 진행한다.

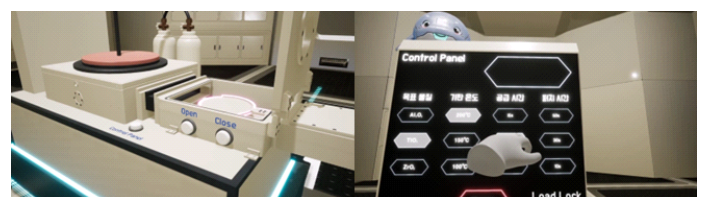


Figure 32 Virtual PEALD provided during practice

실습 시간에는 학습자가 스스로 웨이퍼를 PEALD 내부에

넣고 공정 변수를 선택하여 공정을 진행할 수 있도록 하였다.

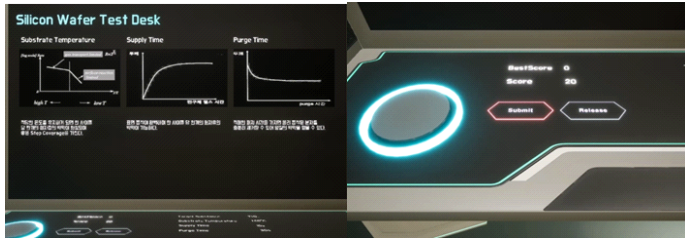


Figure 33 Device to analyze the results of PEALD

Figure 33의 오른쪽 그림은 공정이 완료된 웨이퍼의 결과에 대해 점수를 매긴다. Figure 33 왼쪽 그림에서는 부족했던 부분에 대해 그래프와 피드백을 제공한다.

3차시는 실습시간에 MOSFET 소자의 I-V곡선 측정을 진행하고 교육시간에 소자의 제작 과정을 설명한다. 소자의 제작 과정은 채널 형성 공정, Gate 및 Source, Drain 형성 공정, Source와 Drain 접촉 전극 형성 공정으로 구성되어있다.

채널 형성 공정은 웨이퍼 위에 절연층 역할을 할 SiO_2 산화막을 성장시킨다. 성장된 절연막 위에 포토레지스트를 스핀 코팅한다. 마스크를 이용하여 코팅된 포토레지스트 위에 UV Light를 조사한다. UV Light가 조사된 부분은 현상을 통해 제거한다. 현상을 통해 포토레지스트가 제거된 부분에 식각 과정을 진행하면 채널이 될 부분이 드러난다. 나머지 불필요한 포토레지스트 부분을 제거한다. 식각이 되어 드러나 있는 실리콘 웨이퍼 부분은 산화시켜 Gate 절연막을 형성한다. 불순물 제거를 위한 클리닝을 통해 공정을 마무리한다. Figure 34에 채널 형성 공정의 결과를 그림으로 표현하였다.



Figure 34 Results of the channel formation process

채널 형성 공정 이후 Gate 및 Source, Drain 형성 공정을 진행한다. CVD(Chemical Vapor Deposition)증착으로 Gate의 전극으로 사용될 폴리 실리콘 층을 형성한다. 채널 공정과 마찬가지로 포토레지스트를 스핀코팅하고 마스크를 이용하여 UV Light를 조사, 현상한다. 식각을 통해 포토레지스트가

제거된 부분의 폴리실리콘을 제거하고 불필요한 포토레지스트를 제거한다. 이후 불순물 제거를 위한 클리닝 공정을 진행한다.

다음으로 Source와 Drain이 될 부분에 이온 주입(Ion Implantation)을 진행한다. 이온을 주입하고 어닐링 공정(Annealing)을 통해 이온을 확산시킨다. SiO_2 산화막을 성장시켜 산화물 보호층을 형성한다. 이때 산화로 인해 거칠어진 부분은 CMP(Chemical Mechanical Polishing)공정을 통해 다듬어준다. 다시 클리닝 공정을 통해 마무리한다. Figure 35는 Gate 및 Source, Drain 형성 공정을 진행한 결과를 그림으로 표현한 모습이다.



Figure 35 Gate, Source, and Drain Formation Process Results

마지막으로 Source와 Drain 접촉 전극 형성 공정을 진행한다. 이전 단계와 동일한 방식의 반복공정을 진행한다. 포토레지스트 코팅, UV Light 조사 및 현상, 식각, 클리닝 순으로 진행된다. CVD를 통해 전극이 될 물질을 증착하고, 반복 공정을 진행한다.



Figure 36 Source and drain contact electrode formation process results

Figure 36는 마지막 공정과정이 완료된 웨이퍼의 모습이다. 이러한 웨이퍼 가공은 산화, 식각, 포토, 증착과 같은 과정을 선택적으로 수백 번씩 반복하면서 진행된다.

실습 시간에는 학습자가 가상의 SCS4200A 측정 장비와

Micro Probe Station 장치를 사용하여 소자를 측정하는 시간을 제공한다.

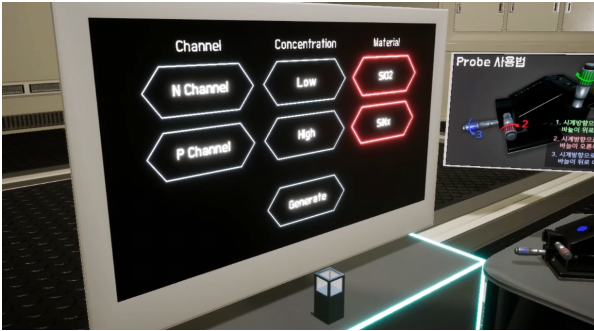


Figure 37 Wafer Machining Process Variables

Figure 37처럼 소자를 생성하는데 채널, 도핑 농도, 절연층 소재로 이루어진 3가지 공정 변수 옵션을 제공하였다.

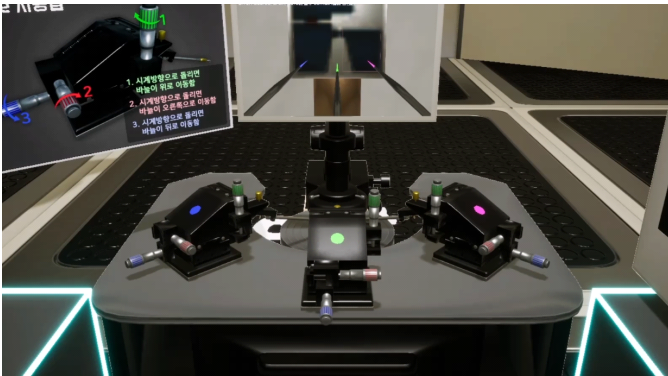


Figure 38 Virtual Micro Probe Station device

Figure 38는 가상의 Micro Probe Station 장비의 모델링이다. 생성된 소자에 3개의 Probe 장비를 이용하여 각각 Source, Drain, Gate에 접촉시켜 SCS4200A 장비에 그래프를 그린다.



Figure 39 Measured Graph

학습자는 Figure 37의 옵션을 조합해 각기 다른 소자를 생성하여 장비를 조작하여 그래프 결과를 확인할 수 있다.

4. 결과

본 논문의 강의 콘텐츠는 한국공학대학교의 전자기학, 전기자동차, 반도체공정설계 교과목의 일부로 운영되었다. 체험을 진행한 수강생은 각 강의에 맞는 전공생으로 구성되었고 체

험을 진행한 학생 수는 Table 4와 같다.

Table 4 Number of students by lecture

Lecture	Number of People
Electromagnetism	65
Electric Car Engineering	19
Semi-conductor Engineering	20

모든 강의는 몰입형 체험 장비를 갖춘 “FUTURE VR LAB”의 실습실에서 진행되었다. 강의 진행 후 교육만족도 조사를 위해 설문조사를 진행하였다. 조사항목으로는 교육내용, 실습실 환경, 수업만족도의 요소가 포함되었다.

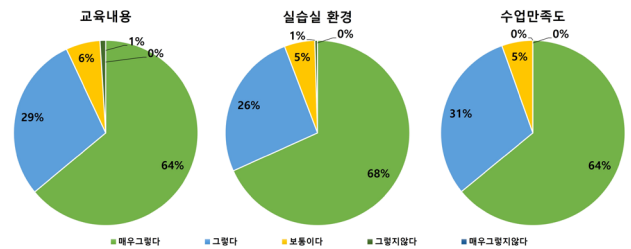


Figure 40 Circular chart for each survey item

Figure 40은 3가지 교과목 강의 진행 이후 수강생들에게 교육내용, 실습실 환경, 수업만족도 3가지 조사항목에 대한 설문조사 결과를 차트로 표현하였다.

교육 내용에 대한 설문조사 결과는 93%의 학생들이 긍정적인 답변을 하여 다수의 학생이 교육내용에 만족하고 있다는 결과를 얻을 수 있었다. 실습실 환경에 대한 결과는 94%의 학생들이 긍정적인 대담을 하여 대다수의 학생이 몰입형 실습실 환경에 만족하고 있다는 결과를 얻을 수 있었다. 마지막으로 수업만족도에 대한 조사결과는 95%의 긍정적인 답변을 얻을 수 있었다.

조사를 진행한 3개의 항목에 대해 긍정적인 답변이 평균적으로 90% 이상으로 집계되었음을 확인하였다. 이는 메타버스 플랫폼을 통한 공학교육이 긍정적인 역할을 할 수 있음을 나타낸다.

감사의 글

본 논문은 한국공학대학교 LINC+사업의 지원을 받아 작성되었습니다.

References

- [1] JOY KIM, “A Study on the Metaverse as an Arts Educational Medium - Focusing on ifland of the SKT Metaverse Platform”, *The Journal of the Convergence on Culture Technology*. Vol.7, No.4, pp. 391-396, 2021.
- [2] Songlee Han, Yangjin Noh, “Analyzing Higher Education

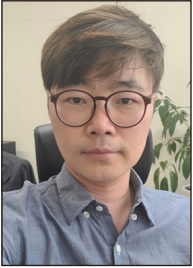
- Instructors' perception on Metaverse- based Education", *Journal of Digital Contents Society*, Vol.22, No.11, pp. 1793-1806, 2021.
- [3] Myungsuk Lee, "Educational Use of a Metaverse Platform through the Case of the Hackathon Class", *The Journal of Korean Association of Computer Education*, Vol.24, No.6, pp. 61-68, 2021.
- [4] Ji-Yun Kim, Kwihoon Kim, "A Case Study on the Course to Use Metaverse Platform for Preservice Teachers", *The Journal of Korean Association of Computer Education*, Vol.26, No.1, pp. 135-138. 2022.
- [5] Hae-Chan Na, Yu-Jin Lee, Su Young Kim, Yoon Sang Kim, "A Study on Metaverse Education Platform: cases analysis and suggestion", *Journal of Digital Contents Society*, Vol.23, No.5, pp. 827-836, 2022.
- [6] Jae kyu Lee, Yei change Kim, "A study on the immersive metaverse system to improve the concentration of education", *The e-Business Studies (Tebs)*, Vol.22, No.6, pp. 3-14, 2021.
- [7] Jeon Ju Hyun, "A Study on Education Utilizing Metaverse for Effective Communication in a Convergence Subject", *International Journal of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol.13, No.4, pp. 129-134, 2021.
- [8] Alanah Davis, John Murphy, Dawn Owens, Deepak Khazanchi, Ilze Zigurs, "Avatars, People, and Virtual Worlds: Foundations for Research in Metaverses", *Journal of the Association for information Systems*, Vol.10, Issue 2, pp. 91-117, 2009.
- [9] Hong Sub Lee, Wee Joon Park, "A Study on Method to Manipulate to Alleviate the Simulation Sickness of 3D HMD", *Journal of The Korean Society for Computer Game*, Vol. 27, No. 4, pp. 85-91, 2014.
- [10] Sun-Hee Chang, Min-Soo Park, "Analysis of User's Gaze according to the Expression of Contents Components : Focusing on VR 360° Videos", *Journal of Digital Contents Society*, Vol.23, No.2, pp. 237-245, 2022.
- [11] 박우희, 김지은, 이지은.(2020).가상현실 운동 자세 트레이닝을 위한 피드백 설계 및 효과 연구.컴퓨터그래픽스학회논문지,26(3),79-86.
- [12] 김중용, 박동근, 이필연, 조준영, 윤승현, 박상훈.(2020).실감형 가상현실실전훈련 콘텐츠를 위한 관리 평가 시스템 개발 사례연구.컴퓨터그래픽스학회논문지,26(3),111-121.
- [13] 임도전, 이예원, 조예솔, 류태동, 한다성.(2021).Interactive Wind System을 이용한 VR 사 이버 멀미 개선 연구.컴퓨터그래픽스학회논문지,27(3),43-53.
- [14] 강예원, 조원아, 홍승아, 이기한, 고혜영.(2020).시각 장애인에 대한 인식 개선을 위한 'Hear me later' VR 콘텐츠 제작 연구.컴퓨터그래픽스학회논문지,26(3),99-109.

〈 저 자 소 개 〉



이 용 선

- 2013~2019 한국공학대학교 게임공학부 학사
- 2019~2021 한국공학대학교
미디어융합디자인공학 석사
- 2021~현재 ㈜웨일텍 선임연구원
- 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 게임개발,
게임엔진, VR, XR
- <https://orcid.org/0000-0003-3412-5058>



이 택 희

- 1997~2001 서울대학교 전기컴퓨터공학부
학사
- 2001~2009 서울대학교 컴퓨터공학부 박사
- 2009~2012 삼성전자 무선사업부
- 2017~현재 한국공학대학교 게임공학부 조교수
- 관심분야 : VR, AR, MR, XR, 체감형 콘텐츠
- <https://orcid.org/0000-0003-2985-3229>