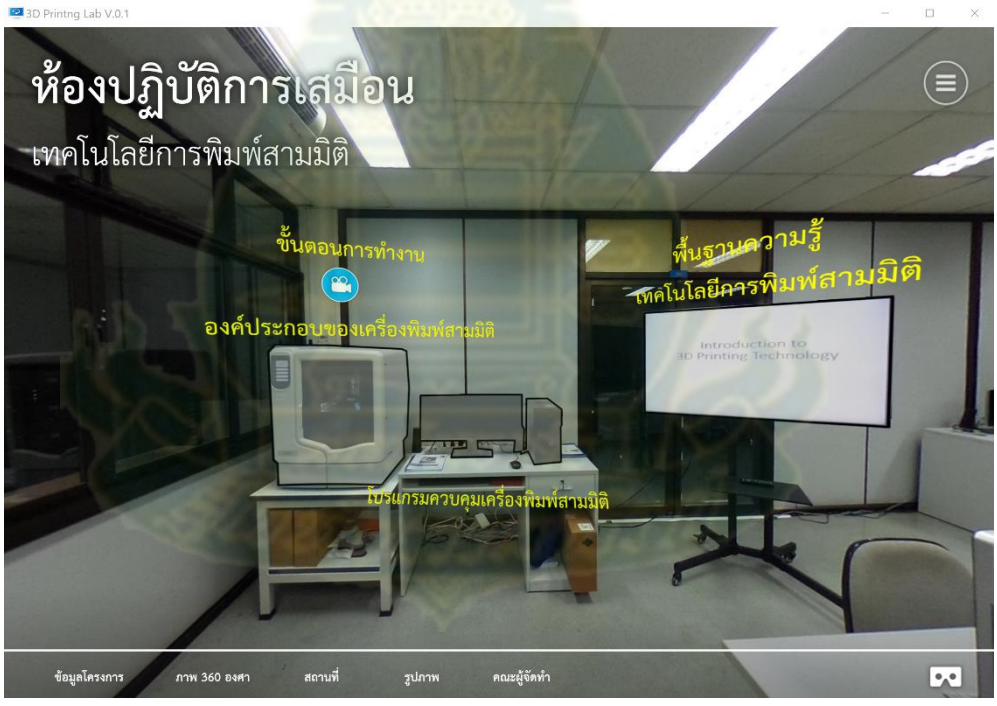
บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง “เทคโนโลยีความจริงเสมือนเพื่อการสอนปฏิบัติการด้านการพิมพ์สามมิติ” มีผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนตามวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. ผลการศึกษากระบวนการใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติและเทคโนโลยีความจริงเสมือน

จากการศึกษากระบวนการใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติ ทำให้ได้พัฒนาเนื้อหาของสื่อซึ่งใช้เวลาเรียนรู้และทำแบบทดสอบก่อนหลัง ในเวลาประมาณ 60 นาที โดยนักศึกษาสามารถศึกษาตามหัวข้อที่สนใจในเรื่องของความรู้เบื้องต้นเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ ซึ่งวัตถุประสงค์การเรียนรู้ คือ เพื่อทำความเข้าใจความหมายและความสำคัญของเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ โดยผลลัพธ์ในการเรียนรู้แสดงได้จากการรู้จักเทคนิคที่ถูกใช้ในการพิมพ์สามมิติ การอธิบายแนวทางการนำเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติไปประโยชน์ได้ และการอธิบายองค์ประกอบของเครื่องพิมพ์สามมิติ และระบุขั้นตอนการพิมพ์ชิ้นงานที่สำคัญได้



ภาพที่ 4.1 ต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

สำหรับเทคโนโลยีความเสมือนที่ถูกนำมาใช้สร้างสื่อการเรียนรู้นั้น ประกอบด้วย ภาพถ่ายในลักษณะมุมมอง 360 องศา และวีดิทัศน์ในลักษณะมุมมอง 360 องศา โดยจะมีการเพิ่มสื่อที่เป็นภาพถ่าย

และวีดิทัศน์ ในลักษณะมุมมองสองมิติในส่วนที่ใช้ในการอธิบายรายละเอียดและแสดงภาพที่มีความละเอียดสูงและง่ายต่อการมองเห็นของผู้เรียน โดยนำเสนอเนื้อหาเรียงลำดับตามตำแหน่งในห้องปฏิบัติการดังภาพที่ 4.1 โดยมีคำบรรยายประกอบภาพ และมีสัญลักษณ์เคลื่อนไหวเพื่อให้ผู้เรียนสนใจ ซึ่งผู้เรียนสามารถที่จะเลือกเรียนตามความสนใจในแต่ละหัวข้อซึ่งเป็นอิสระต่อกัน สำหรับอุปกรณ์ที่ผู้เรียนจำเป็นต้องใช้ประกอบสื่อการสอนนี้ มีใน 2 รูปแบบ คือ การใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และการโทรศัพท์สมาร์โฟน (รายละเอียดดังแนบในภาคผนวก ข. แผนการเรียนการสอนเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ)

2. ผลการวิเคราะห์และออกแบบกระบวนการเรียนรู้ของการใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติ

จากการนำแบบประเมินดัชนีความสอดคล้องวัตถุประสงค์และเนื้อหาบทเรียนในสื่อความจริงเสมือน (ตามรายละเอียดในภาคผนวก ง. แบบประเมินความสอดคล้องของวัตถุประสงค์และเนื้อหา) ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ตรวจสอบความสอดคล้อง โดยกำหนดคะแนน +1 หรือ 0 หรือ -1 ได้ผลการประเมินดังตารางที่ 4.1 โดยผลประเมินความสอดคล้องวัตถุประสงค์และเนื้อหาบทเรียนที่จะถูกนำไปใช้ในสื่อความจริงเสมือน มีค่าเฉลี่ยคะแนนอยู่ที่ 0.96 และทุกหัวข้อมีระดับความสอดคล้องที่ใช้ได้ สำหรับข้อเสนอแนะจากแบบสอบถามและการสนทนากลุ่มกับผู้เชี่ยวชาญ มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- ควรมีเนื้อหาในการจำลองสถานการณ์ (simulation) และการทดสอบสำหรับการป้อนค่าการทำงานของเครื่องและส่วนโปรแกรมควบคุม หรือนำเข้าไฟล์ เพื่อนำไปสู่การทำงานบนเครื่องพิมพ์ 3 มิติ
- ควรเพิ่มเนื้อหากระบวนการเชื่อมต่อจากการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์แล้วนำมาใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ
- เนื้อหาที่กล่าวถึงในสื่อตอบวัตถุประสงค์ในด้านความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวกับการพิมพ์สามมิติ หากมีคลิปวีดิทัศน์สรุปขั้นตอนตั้งแต่เริ่มเตรียมไฟล์ออกแบบสามมิติ (CAD data) ไปจนจบกระบวนการผลิตแบบย่อระยะเวลา (Time-lapse) จะทำให้ผู้เรียนเห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี
- ควรเพิ่มเนื้อหาในส่วนการทำงาน G-code – RepRap เข้าไปเป็นส่วนย่อยสั้นๆ ด้วย แม้คำสั่ง G-code – RepRap จะเป็น G-code สำหรับเครื่องพิมพ์บางรูปแบบเท่านั้น แต่คำสั่งดังกล่าวจะทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจเรื่องรูปแบบการสั่งการมากขึ้น และเข้าใจการเชื่อมโยงระหว่างไฟล์โพลิกอนของ STL กับ Slicer มากขึ้น
- ควรมีเนื้อหาที่ต่อยอดไปถึงขั้นที่นักศึกษาสามารถใช้งานเครื่องจักรในความจริงเสมือน

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินดัชนีความสอดคล้องวัตถุประสงค์และเนื้อหา

หัวข้อประเมิน		ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ					ผลรวม	IOC	สรุปผล
วัตถุประสงค์การเรียนรู้	เนื้อหา	1	2	3	4	5			
1. อธิบายความรู้เบื้องต้นเรื่องเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติได้	1.1 ความหมายของการพิมพ์สามมิติ	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	1.2 วิวัฒนาการและความเป็นมาที่เกี่ยวข้อง	1	1	1	0	1	4	0.8	ใช้ได้
	1.3 การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	1.4 จุดเด่นของการผลิตด้วยวิธีเพิ่มเนื้อวัสดุ	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	1.5 จุดด้อยของการผลิตด้วยวิธีเพิ่มเนื้อวัสดุ	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
2. ระบุองค์ประกอบสำคัญของเครื่องพิมพ์สามมิติได้	2.1 ส่วนประกอบทั่วไปของเครื่องพิมพ์สามมิติและหน้าที่การทำงาน	1	1	1	0	1	4	0.8	ใช้ได้
	2.2 กลไกที่ทำหน้าที่อัดรีดวัสดุ	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	2.3 กลไกที่ทำหน้าที่สร้างรูปร่างหน้าตัดของชิ้นงาน	1	1	1	0	1	4	0.8	ใช้ได้
	2.4 กลไกที่ทำหน้าที่ปรับระดับความสูงในแต่ละชั้นของชิ้นงาน	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	2.5 ประโยชน์ของตู้ระบบปิดของเครื่องพิมพ์สามมิติ	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
3. อธิบายขั้นตอนการทำงานที่สำคัญของการพิมพ์สามมิติได้	3.1 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	3.2 องค์ประกอบสำคัญของโปรแกรมควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติ	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	3.3 การกำหนดเงื่อนไขในการพิมพ์ชิ้นงาน	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	3.4 การกำหนดส่วนค้ำยันชิ้นงาน	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	3.5 การแยกส่วนค้ำยันกับตัวชิ้นงานและกระบวนการหลังพิมพ์	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
ผลประเมินเฉลี่ย								0.96	ใช้ได้

ในส่วนการนำแบบประเมินดัชนีความสอดคล้องวัตถุประสงค์และแบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน (ตามรายละเอียดในภาคผนวก จ. แบบประเมินความสอดคล้องของวัตถุประสงค์และเนื้อหา) ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ตรวจสอบความสอดคล้อง โดยกำหนดคะแนน +1 หรือ 0 หรือ -1 ได้ผลการประเมินดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินดัชนีความสอดคล้องวัตถุประสงค์และแบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน

หัวข้อประเมิน		ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ					ผลรวม	IOC	สรุปผล
วัตถุประสงค์การเรียนรู้	ข้อที่	1	2	3	4	5			
1. อธิบายความรู้เบื้องต้นเรื่องเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติได้	1	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	2	1	1	1	0	0	3	0.6	ใช้ได้
	3	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	4	0	1	0	1	1	3	0.6	ใช้ได้
2. ระบุองค์ประกอบสำคัญของเครื่องพิมพ์สามมิติได้	5	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	6	1	1	1	0	0	3	0.6	ใช้ได้
	7	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
3. อธิบายขั้นตอนการทำงานที่สำคัญของการพิมพ์สามมิติได้	8	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	9	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
	10	1	1	1	1	1	5	1	ใช้ได้
ผลประเมินเฉลี่ย								0.88	ใช้ได้

โดยผลประเมินความสอดคล้องวัตถุประสงค์และแบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน ที่จะถูกนำไปใช้ในการทดสอบกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สื่อความจริงเสมือน มีค่าเฉลี่ยคะแนนอยู่ที่ 0.88 และทุกหัวข้อมีระดับความสอดคล้องที่ใช้ได้ สำหรับข้อเสนอแนะจากแบบสอบถามและการสนทนากลุ่มกับผู้เชี่ยวชาญ มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- ควรเพิ่มคำถามที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์การใช้ส่วนค้ำยัน (Support Material) สำหรับงานพิมพ์สามมิติ โดยอาจมีรูปแบบชิ้นงาน แล้วให้ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้ส่วนค้ำยันในจุดต่างๆ
- เพื่อความน่าสนใจแบบทดสอบในสื่อความจริงเสมือนควรจัดทำในรูปแบบการ์ตูน เกมส์ ที่เป็นภาพเคลื่อนไหว และมีประกอบเสียง
- แบบทดสอบข้อ 6 ภาพที่ใช้ไม่ชัดเจนว่าเป็นชิ้นส่วนใด
- อาจมีคำถาม 1-2 ข้อที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ และข้อด้อยในด้านคุณสมบัติของชิ้นงานต้นแบบที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ

3. ผลการพัฒนาต้นแบบสื่อความจริงเสมือนในการเรียนรู้การใช้งานเครื่องพิมพ์สามมิติ

ในการพัฒนาต้นแบบสื่อความจริงเสมือน ได้ใช้ซอฟต์แวร์ 3DVista ซึ่งเป็นโปรแกรมเฉพาะในการสร้างปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน ที่สามารถผสมสื่อต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน เช่น

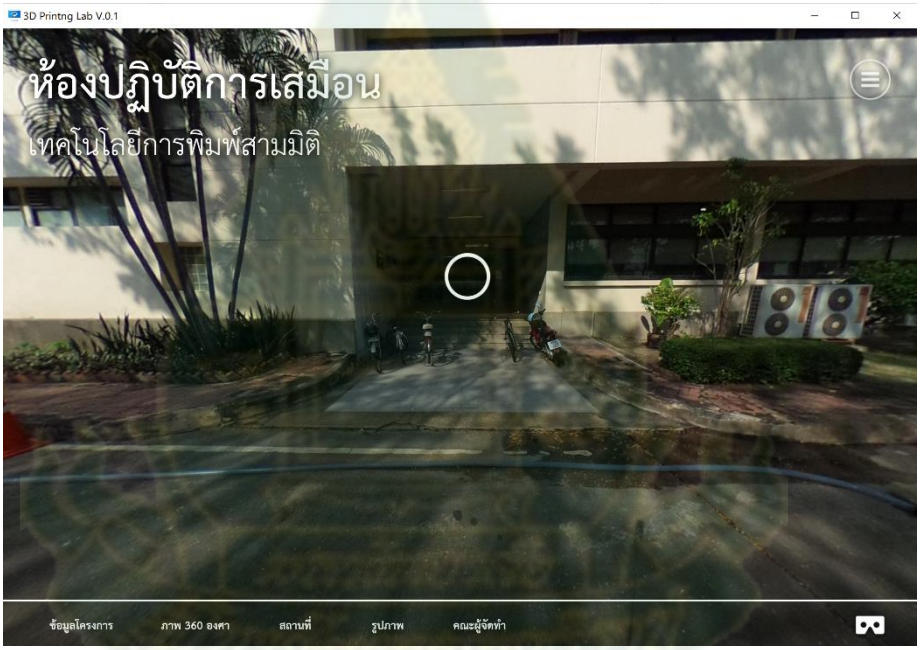
- ภาพนิ่งสองมิติ
- คลิปวีดิทัศน์สองมิติ
- ภาพนิ่งแบบมุมมอง 360 องศา
- คลิปวีดิทัศน์แบบมุมมอง 360 องศา

- ไฟล์เสียง
- ลิงค์จาก URL ของเว็บไซต์ภายนอก
- การกำหนดจุดเชื่อมต่อระหว่างเหตุการณ์
- การสร้างแบบทดสอบและการสรุปคะแนน

โดยเนื้อหาสำคัญเกี่ยวกับเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติในต้นแบบสื่อความจริงเสมือนที่จัดทำประกอบด้วย 6 ส่วน ได้แก่

1) การนำเข้าสู่บทเรียน

เป็นการนำผู้เรียนเข้าไปในบทเรียนความจริงเสมือน โดยเริ่มตั้งแต่การเดินเข้าไปยังอาคารศูนย์ฝึกอบรมการพิมพ์แห่งชาติ ซึ่งเป็นที่ตั้งของห้องปฏิบัติการจริงที่มีเครื่องพิมพ์สามมิติติดตั้งเพื่อใช้สำหรับการเรียนการสอน มีเป้าหมายให้ผู้เรียนมีความรู้สึกและได้รับประสบการณ์เหมือนเดินเข้าไปยังห้องปฏิบัติการจริง สื่อหลักที่ใช้เป็นคลิปวีดิทัศน์แบบมุมมอง 360 องศา ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การนำเข้าสู่บทเรียนในต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

2) ความรู้เบื้องต้นเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ

เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาของเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ ความหมายของการพิมพ์สามมิติ วิวัฒนาการและความเป็นมาที่เกี่ยวข้อง การประยุกต์ใช้งานของเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ จุดเด่นของการผลิตด้วยวิธีเพิ่มเนื้อวัสดุ และจุดด้อยของการผลิตด้วยวิธีเพิ่มเนื้อวัสดุ มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายความรู้เบื้องต้นที่สำคัญของเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติได้ สื่อหลักที่ใช้เป็นคลิปวีดิทัศน์สองมิติ ดังภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3 ส่วนความรู้เบื้องต้นเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติในต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

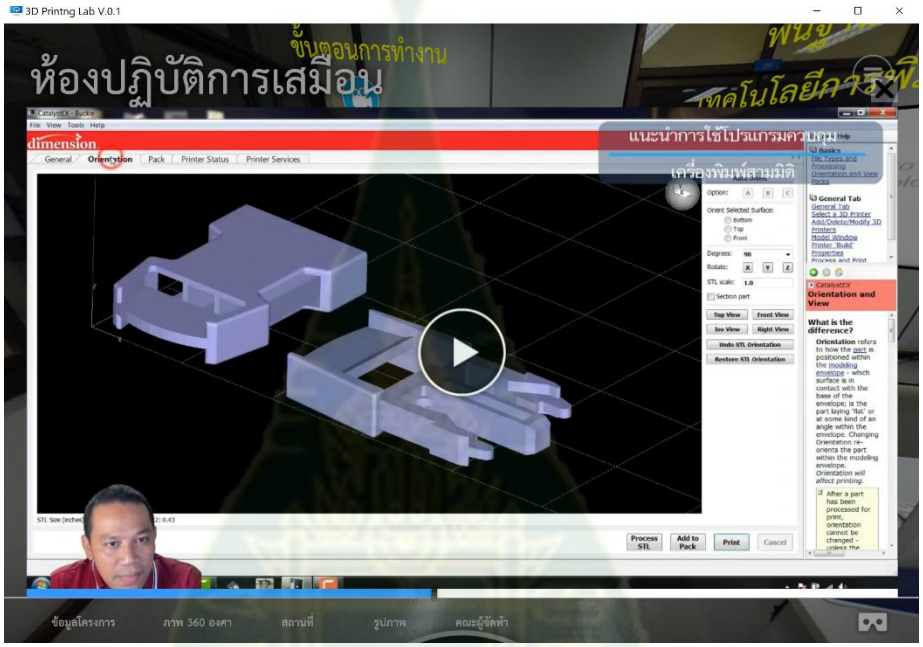
3) องค์ประกอบของเครื่องพิมพ์สามมิติ

เป็นการกล่าวถึงส่วนประกอบทั่วไปของเครื่องพิมพ์สามมิติและหน้าที่การทำงาน กลไกที่ทำหน้าที่อัดรีดวัสดุ กลไกที่ทำหน้าที่สร้างรูปร่างหน้าตัดของชิ้นงาน กลไกที่ทำหน้าที่ปรับระดับความสูงในแต่ละชั้นของชิ้นงาน และประโยชน์ของตู้ระบบปิดของเครื่องพิมพ์สามมิติ มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้เรียนสามารถระบุองค์ประกอบสำคัญของเครื่องพิมพ์สามมิติได้ รวมทั้งสร้างความรู้สึกและประสบการณ์ให้กับผู้เรียนเหมือนยืนอยู่หน้าเครื่องพิมพ์สามมิติ สื่อหลักที่ใช้เป็นคลิปวีดิทัศน์แบบมุมมอง 360 องศา ดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.4 ส่วนองค์ประกอบของเครื่องพิมพ์สามมิติในต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

4) โปรแกรมควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติ

เป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมควบคุมเครื่องพิมพ์สามมติ การนำไฟล์สามมิติเข้ามาในโปรแกรม การกำหนดความหนาแน่นของชิ้นงาน การกำหนดขนาดที่ต้องการ การวางตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการพิมพ์ การกำหนดส่วนค้ำยัน และสั่งพิมพ์ มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายวิธีการใช้งานโปรแกรมควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติได้ สื่อหลักที่ใช้เป็นคลิปวีดิทัศน์สองมิติ ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ส่วนโปรแกรมควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติในต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

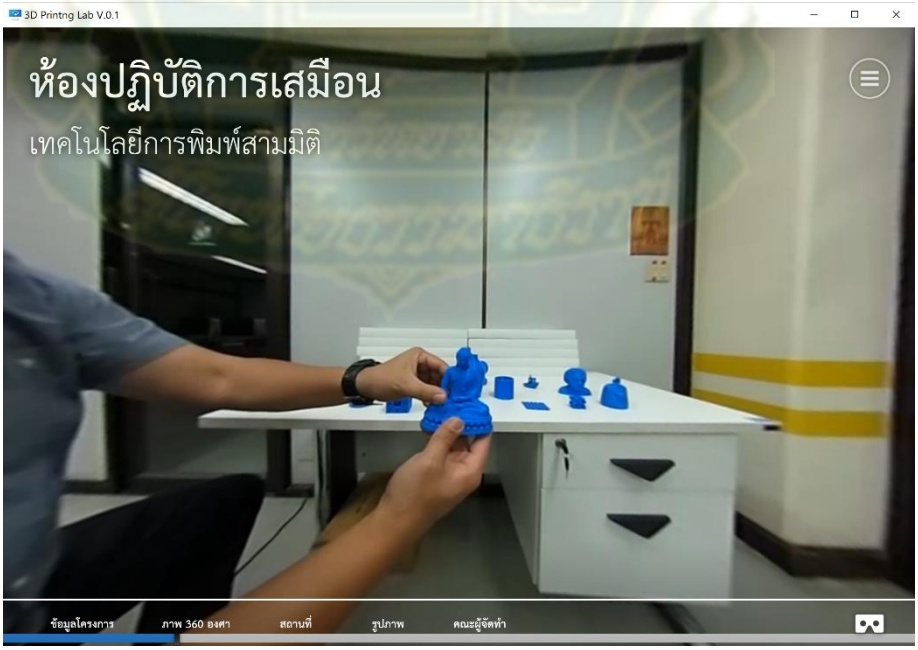
5) ขั้นตอนการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติ

เป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานบนเครื่องพิมพ์สามมิติ องค์ประกอบสำคัญของโปรแกรมควบคุมเครื่องพิมพ์สามมิติ การกำหนดเงื่อนไขในการพิมพ์ชิ้นงาน ความสำคัญของการกำหนดส่วนค้ำยันชิ้นงาน การแยกส่วนค้ำยันกับตัวชิ้นงานและกระบวนการหลังพิมพ์ มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้เรียนสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานที่สำคัญของการพิมพ์สามมิติได้ สื่อหลักที่ใช้เป็นคลิปวีดิทัศน์สองมิติ ดังภาพที่ 4.6

ภาพที่ 4.6 ส่วนขั้นตอนการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติในต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

6) ตัวอย่างชิ้นงานจากการพิมพ์สามมิติ

เป็นการแสดงชิ้นงานที่พิมพ์ออกมาจากเครื่องพิมพ์สามมิติในลักษณะต่างๆ มีเป้าหมายเพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นตัวอย่างชิ้นงานจริงที่สร้างด้วยกรรมวิธีการพิมพ์สามมิติ รวมทั้งสร้างความรู้สึกและประสบการณ์ให้กับผู้เรียนเหมือนกำลังยืนมองชิ้นงานจริงที่อยู่ตรงหน้า สื่อหลักที่ใช้เป็นคลิปวีดิทัศน์แบบมุมมอง 360 องศา ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ส่วนตัวอย่างชิ้นงานจากการพิมพ์สามมิติในต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

สำหรับต้นแบบสื่อความจริงเสมือนนั้น จะถูกอัพโหลดขึ้นบนเว็บไซต์ https://vlab-scitech.stou.ac.th/ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเข้าไปสู่บนเรียนได้ผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือผ่านโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน โดยสามารถเข้าใช้งานผ่านการสแกน QR-code ดังภาพที่ 4.8

ภาพที่ 4.8 QR-code สำหรับการเข้าใช้งานต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

7) แว่น VR Cardboard สำหรับใช้ประกอบการเรียนรู้ต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

สำหรับการใช้งานต้นแบบสื่อความจริงเสมือนสามารถใช้งานในลักษณะผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ตั้งอยู่กับที่ โดยใช้เมาส์ทำการควบคุมทิศทางในการเข้าไปในสื่อความจริงเสมือน หรืออาจใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนร่วมกับ VR Cardboard ดังภาพที่ 4.9 แล้วสวมเป็นแว่น เพื่อให้เกิดความรู้สึกเหมือนผู้เรียนเข้าไปอยู่ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการเลือกใช้ขึ้นกับความสะดวกสบายและความถนัดของผู้เรียนที่จะเลือกใช้งาน

ภาพที่ 4.9 VR Cardboard สำหรับการเข้าใช้งานต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

4. ผลการประเมินคุณภาพต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

เพื่อให้ได้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาปรับปรุงต้นแบบสื่อความจริงเสมือน ผู้วิจัยจึงได้ให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมินคุณภาพของสื่อในมุมมองของผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา (ตามรายละเอียดในภาคผนวก ฉ.แบบประเมินคุณภาพของสื่อความจริงเสมือน) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน กำหนดคะแนนของระดับคุณภาพสื่อ 1 ถึง 5 โดย 1 คือ มีคุณภาพน้อยที่สุด และ 5 คือ มีคุณภาพดีมาก ซึ่งผลการประเมินดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการประเมินคุณภาพสื่อในมุมมองของผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา

หัวข้อประเมิน	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ					Mean	S.D.	สรุปผล
	1	2	3	4	5			
1. สื่อมีความเหมาะสมกับความต้องการในอนาคตเมื่อบัณฑิตจบการศึกษา	3	4	4	4	5	4.00	0.63	คุณภาพดี
2. สื่อมีความเหมาะสมกับความต้องการของหลักสูตร	5	4	4	5	4	4.40	0.49	คุณภาพดี
3. สื่อมีความเหมาะสมกับความต้องการของชุดวิชา	5	4	5	5	4	4.60	0.49	คุณภาพดีมาก
4. สื่อมีความเหมาะสมกับลักษณะและปริมาณเนื้อหา	5	4	5	5	4	4.60	0.49	คุณภาพดีมาก
5. สื่อมีความเหมาะสมกับระดับและวัยของผู้เรียน	5	4	5	4	4	4.40	0.49	คุณภาพดี
6. สื่อมีความเหมาะสมต่อความสนใจของผู้เรียน	5	5	5	4	3	4.40	0.80	คุณภาพดี
7. สื่อมีความเหมาะสมกับเวลาในการเรียนรู้	5	4	4	5	4	4.40	0.49	คุณภาพดี
8. สื่อมีความเหมาะสมกับรูปแบบการเรียนรู้ของผู้เรียน	5	5	4	5	5	4.80	0.40	คุณภาพดีมาก
9. สื่อมีความเหมาะสมกับการพัฒนาผู้เรียน	3	3	5	5	4	4.00	0.89	คุณภาพดี
10. สื่อมีความเหมาะสมกับความแปลกใหม่ในการจัดกิจกรรมการเรียน	5	4	5	5	4	4.60	0.49	คุณภาพดีมาก
ผลประเมินเฉลี่ย						4.42	0.57	คุณภาพดี

โดยผลประเมินคุณภาพของสื่อความจริงเสมือน มีค่าเฉลี่ยคะแนนอยู่ที่ 4.42 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยที่ 0.57 หรือมีระดับคุณภาพของสื่อในภาพรวมที่ดี สำหรับข้อเสนอแนะจากแบบสอบถามและการสนทนากลุ่มกับผู้เชี่ยวชาญ มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- ถ้าสื่อพัฒนาไปถึงระดับที่ผู้เรียนสามารถใช้งานบนเครื่องพิมพ์สามมิติผ่านความจริงเสมือนได้ จะได้คะแนนในระดับคุณภาพดีมาก แต่ต้นแบบสื่อปัจจุบันถือว่ามีคุณภาพน่าพอใจมาก

- เนื้อหาในสื่อควรแสดงชิ้นงานในอุตสาหกรรมจริง รวมทั้งเพิ่มรายละเอียดของส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์สามมิติให้ชัดเจนยิ่งขึ้น และเพิ่มเสียงการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติประกอบเพื่อให้มีความสมจริงยิ่งขึ้น
- ควรสอดแทรกเนื้อหาด้านการโปรแกรมที่เป็นคำสั่ง G-Code สำหรับเครื่องพิมพ์สามมิติขนาดเล็ก
- แบบประเมินควรอยู่ในรูปแบบเกมส์ที่อยู่ในสื่อเพื่อดึงดูดให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ
- ควรเพิ่มเมนูทางเลือกการใช้งานสื่อสำหรับมุมมองสองมิติ เพื่อไม่ให้เกิดอาการเวียนหัวสำหรับผู้ไม่ถนัดหรือมีปัญหากับสื่อแบบมุมมอง 360 องศา
- เนื้อหามีความทันสมัย แต่ไม่มีการกล่าวถึงแนวโน้มการพัฒนาเทคโนโลยีในอนาคต
- การถ่ายทำวีดิทัศน์แบบมุมมอง 360 สร้างบรรยากาศในการเรียนรู้ให้กับผู้เรียนรู้สึกมีส่วนร่วมในสถานที่จริงได้มาก อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้อาจไม่เหมาะสมกับผู้มีปัญหาทางสายตาเมื่อผู้เรียนเลือกใช้การสวมแว่น VR ในการเรียน
- ควรมีคำชี้แจงก่อนใช้งาน ข้อจำกัดของผู้ใช้ควรเป็นเช่นไร ข้อระมัดระวังในการใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานอ่านและพิจารณาความเหมาะสมก่อนการใช้งานระบบ
- ควรมีการส่งเสริมสื่อลักษณะนี้ให้มากขึ้น

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการให้ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษา ทำการประเมินคุณภาพต้นแบบสื่อความจริงเสมือน จำนวน 3 คน กำหนดคะแนนของระดับคุณภาพสื่อ 1 ถึง 5 โดย 1 คือ มีคุณภาพน้อยที่สุด และ 5 คือ มีคุณภาพดีมาก ซึ่งผลการประเมินดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินคุณภาพสื่อในมุมมองของผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษา

หัวข้อประเมิน	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ			Mean	S.D.	สรุปผล
	1	2	3			
1. สื่อมีเนื้อหาครอบคลุมตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้	5	5	5	5.00	0.00	คุณภาพดีมาก
2. สื่อสามารถนำไปสู่เป้าหมายการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์	5	4	5	4.67	0.47	คุณภาพดีมาก
3. สื่อมีภาพ เสียง และวีดิทัศน์ประกอบที่สอดคล้องกับเนื้อหา	5	5	5	5.00	0.00	คุณภาพดีมาก
4. สื่อมีภาพ เสียง และวีดิทัศน์ที่มีคุณภาพเหมาะสม	4	4	5	4.33	0.47	คุณภาพดี
5. สื่อมีเนื้อหา และคำอธิบายที่ชัดเจนเข้าใจง่าย	4	5	4	4.33	0.47	คุณภาพดี
6. สื่อมีระยะเวลาในการเรียนรู้แต่ละส่วนที่เหมาะสม	5	5	5	5.00	0.00	คุณภาพดีมาก
7. สื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถควบคุมการเรียนรู้ด้วยตนเอง	4	5	5	4.67	0.47	คุณภาพดีมาก

หัวข้อประเมิน	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ			Mean	S.D.	สรุปผล
	1	2	3			
8. สื่อมีการออกแบบการใช้งานที่เหมาะสมและง่ายในการใช้งาน	4	5	5	4.67	0.47	คุณภาพดีมาก
9. สื่อสามารถให้ประสบการณ์การเรียนรู้ที่ใกล้เคียงความจริง	4	5	4	4.33	0.47	คุณภาพดี
10. สื่อมีความน่าสนใจและทำให้ผู้เรียนติดตามเนื้อหาได้จนจบ	4	5	5	4.67	0.47	คุณภาพดีมาก
ผลประเมินเฉลี่ย				4.67	0.19	คุณภาพดีมาก

โดยผลประเมินคุณภาพของสื่อความจริงเสมือน มีค่าเฉลี่ยคะแนนอยู่ที่ 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยที่ 0.19 หรือมีระดับคุณภาพของสื่อในภาพรวมที่ดีมาก สำหรับข้อเสนอแนะจากแบบสอบถามและการสนทนากลุ่มกับผู้เชี่ยวชาญ มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- คู่มือการใช้แว่น VR ยังไม่มีความชัดเจนในการแสดงลำดับการใช้งาน
- วีดิทัศน์แบบมุมมอง 360 ยังอาจไม่คมชัดและแสดงรายละเอียดไม่ชัดเจน
- หากมีการแสดงลำดับการเรียนรู้เพื่อชี้แจงให้ผุ้เรียนก่อนเข้าสู่ห้องเรียนเสมือนจะเพิ่มความเข้าใจให้กับผู้เรียนที่ไม่มีพื้นฐานได้มากยิ่งขึ้น
- มีระยะเวลาและขอบเขตไม่กว้างเกินไป สะดวกต่อการเรียนรู้
- สื่อมีความเหมาะสมกับการจัดการศึกษาทางไกลของมหาวิทยาลัย และเหมาะกับสถานการณ์โรคระบาดที่นักศึกษาไม่สะดวกมาเรียนในลักษณะเผชิญหน้า และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางของชุดวิชาอื่นๆ
- วีดิทัศน์หากมีคำอธิบายวัตถุประสงค์ก่อนจะทำให้ผู้เรียนทราบเป้าหมายในการเรียน และควรเพิ่มคลิปการทำงานจริงในสไลด์บรรยายจะทำให้สื่อมีความน่าสนใจยิ่งขึ้น
- สื่อในคลิปในส่วนพื้นฐานความรู้ไม่สมบูรณ์มีการบรรยายที่ไม่จบประเด็น รวมทั้งเว็บไซต์บางส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงการใช้งานไม่ได้
- หากมีตัวการ์ตูนหรืออวตารที่ทำหน้าที่นำชมและบรรยายจะมีความน่าสนใจเพิ่มมากขึ้น

จากข้อเสนอแนะทั้งผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและด้านเทคโนโลยีการศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงและเพิ่มเติมตามข้อเสนอแนะ ยกเว้นบางส่วนที่ผู้วิจัยไม่ดำเนินการ เช่น การแทรกเนื้อหาการโปรแกรมคำสั่ง G-code สำหรับเครื่องพิมพ์ขนาดเล็ก การสร้างการทดสอบให้เป็นรูปแบบของเกมส์ และการสร้างตัวการ์ตูนหรืออวตารในสื่อ เนื่องจากเป็นส่วนที่เกินกว่าขอบเขตของโครงการที่ได้ตั้งไว้

5. ผลการทดสอบประสิทธิภาพต้นแบบสื่อการเรียน

5.1 การทดสอบประสิทธิภาพสื่อการเรียนกลุ่มตัวอย่างจากนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชที่ลงทะเบียนเรียนชุดวิชา 97316 ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างของการวิจัย จำนวน 12 คน แบ่งเป็นการทดสอบประสิทธิภาพแบบเดี่ยว 3 คน และทดสอบประสิทธิภาพแบบกลุ่มขนาดเล็ก 9 คน วิธีได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่างใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยเลือกนักศึกษาที่เคยเข้ารับการฝึกประสบการณ์เสริมทักษะที่มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชในชุดวิชา 97316 หรือมีลักษณะใกล้เคียงกัน ได้ผลการทดสอบดังนี้

1) การทดสอบประสิทธิภาพแบบเดี่ยว 3 คน ทางผู้วิจัยได้เลือกนักศึกษาที่ระดับความสามารถจากการสำรวจผลคะแนนปฏิบัติที่ผ่านมาในอดีต ของชุดวิชา 97316 ในภาคการศึกษา 2562 แบ่งเป็นระดับความสามารถสูง 1 คน ปานกลาง 1 คน และอ่อน 1 คน โดยให้นักศึกษาทำการเรียนสื่อความจริงเสมือน แล้วทำการสัมภาษณ์เป็นเวลา 30 นาที ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงคะแนนสรุปการทดสอบประสิทธิภาพสื่อแบบเดี่ยว

ลำดับที่	**คะแนน**		
	ทดสอบก่อนเรียน	**กิจกรรม**	**ทดสอบหลังเรียน**
1	5	8	8
2	5	10	9
3	2	8	5
คะแนนเฉลี่ย	**4**	**8.67**	**7.33**
ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ E_1=86.7 **ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ E_2=73.3**			

โดยมีปัญหาและข้อแนะนำจากนักศึกษาทั้ง 3 คน ดังนี้

- นักศึกษาบางคนไม่ทราบว่าจะใช้งานแว่น VR อย่างไร
- นักศึกษาทั้ง 3 คนสะดวกในการใช้งานแบบดูหน้าจอมากกว่าการสวมแว่น VR
- นักศึกษาบางคนแจ้งว่าเสียงในคอมพิวเตอร์เบากว่ามือถือ
- นักศึกษาบางคนต้องการให้มีการอธิบายรายละเอียดการใช้งานที่มากกว่าการเขียนบรรยายวิธีการ
- นักศึกษาหนึ่งคนไม่ดูเนื้อหาจนจบ แต่ไปทำกิจกรรม และไปทำแบบทดสอบหลังเรียน

2) การทดสอบประสิทธิภาพแบบกลุ่มขนาดเล็ก 9 คน ทางผู้วิจัยได้เชิญนักศึกษา ของชุดวิชา 97316 ในภาคการศึกษา 2562 และ 2563 ตามความสมัครใจผ่านกลุ่มไลน์ชุดวิชา 97316 จำนวน 9 คน โดยให้นักศึกษาทำการเรียนสื่อความจริงเสมือน แล้วทำการสัมภาษณ์เป็นเวลา 10 นาที ได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงคะแนนสรุปการทดสอบประสิทธิภาพสื่อแบบเดี่ยว

ลำดับที่	**คะแนน**		
	ทดสอบก่อนเรียน	**กิจกรรม**	**ทดสอบหลังเรียน**
1	4	9	9
2	4	7	8
3	6	8	7
4	4	9	6
5	5	9	9
6	8	8	7
7	1	8	5
8	4	7	5
9	6	9	8
คะแนนเฉลี่ย	**4.67**	**8.22**	**7.11**
ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ E_1=82.2 **ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ E_2=71.1**			

โดยมีปัญหาและข้อแนะนำจากนักศึกษาทั้ง 9 คน ดังนี้

- นักศึกษาหนึ่งคนแจ้งว่าเสียงบรรยายในวีดิทัศน์ตอนเข้าหน้าแรกของห้องปฏิบัติการเสมือนจริงมีเสียงเบา
- นักศึกษาบางคนรู้สึกมึนศีรษะเวลาที่ใช้แว่น VR และรู้สึกไม่เคยชิน
- นักศึกษาบางส่วนอยากให้มีการขยายผลไปยังชุดวิชาอื่นๆ และเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย
- นักศึกษาหนึ่งคนอยากให้มีการล็อคหน้าจอได้ เพื่อให้เวลาหันไปจุดอื่นไม่มีการเปลี่ยนโหมดการทำงาน
- นักศึกษาหนึ่งคนแจ้งว่าภาพบางจุดมองเห็นไม่ชัดเจน

5.2 วิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพสื่อการเรียน

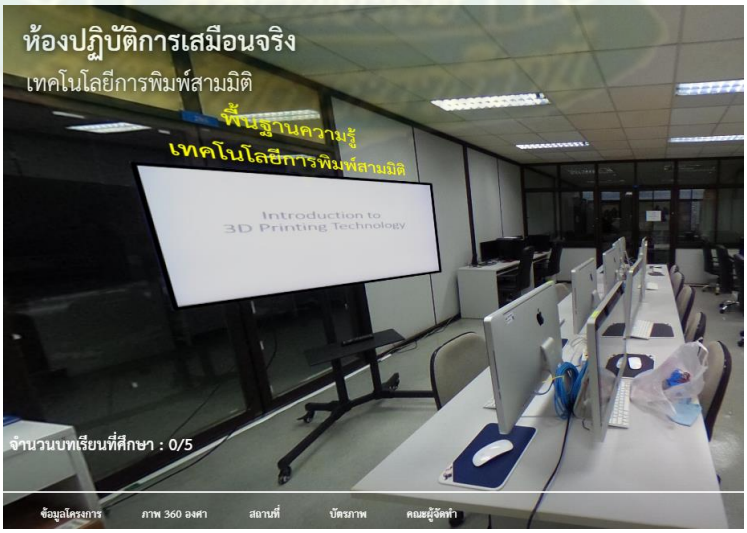
จากผลการทดสอบประสิทธิภาพสื่อการเรียน พบว่าคะแนนทดสอบหลังเรียนของนักศึกษาบางส่วนมีคะแนนที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ คือ อยู่ในช่วง 5-6 คะแนน จากการสัมภาษณ์พบว่า นักศึกษากลุ่มนี้ เร่งทำแบบทดสอบ ร่วมทั้งมีบางส่วนเข้าเรียนสื่อในขณะที่ทำงาน ทำให้เกิดความต่อเนื่องและความมีสมาธิขณะที่ทำการเรียน

5.3 ดำเนินการปรับปรุงสื่อการเรียน

เพื่อให้นักศึกษาสามารถเข้าใจวิธีการใช้งานที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้จัดทำรายละเอียดในส่วนของการใช้งานก่อนการเข้าเรียนโดยทำเป็นคลิปสรุปการใช้งานในแต่ละขั้นตอน รวมทั้งการใช้งานแว่น VR ภาพที่ 4.10

ภาพที่ 4.10 คลิปสรุปการใช้งานต้นแบบสื่อความจริงเสมือน

ในส่วนของเนื้อหาความรู้ เพื่อป้องกันการเข้าเรียนไม่ครบในทุกเนื้อหา ผู้วิจัยจึงได้จัดทำการแสดงสถานะของจำนวนบทเรียนที่ศึกษาเพื่อให้ผู้เรียนมองเห็นและมีการกำหนดให้กิจกรรมทบทวนแสดงขึ้นเมื่อเข้าเรียนเนื้อหาครบทั้งหมด ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ส่วนแสดงสถานะของจำนวนบทเรียนที่ศึกษา

ในส่วนกิจกรรม เพื่อให้ผู้เรียนสามารถทราบผลตอบที่ถูกต้อง ผู้วิจัยได้จัดทำป้ายคำเฉลยพร้อมรายละเอียด และใส่เสียงหากผู้เรียนเลือกคำตอบที่ผิด เพื่อเป็นการย้ำเตือนความแตกต่างให้เห็นอย่างชัดเจน ดังภาพที่ 4.12

ภาพที่ 4.12 ป้ายคำเฉลยพร้อมรายละเอียดกรณีที่ตอบผิด

นอกจากนั้นยังเพิ่มบัตรภาพเพื่อให้ผู้เรียนสามารถทบทวนความรู้หากมีความสนใจ เพื่อให้เข้าใจได้ลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 4.13

ภาพที่ 4.13 บัตรภาพสำหรับทบทวนความรู้

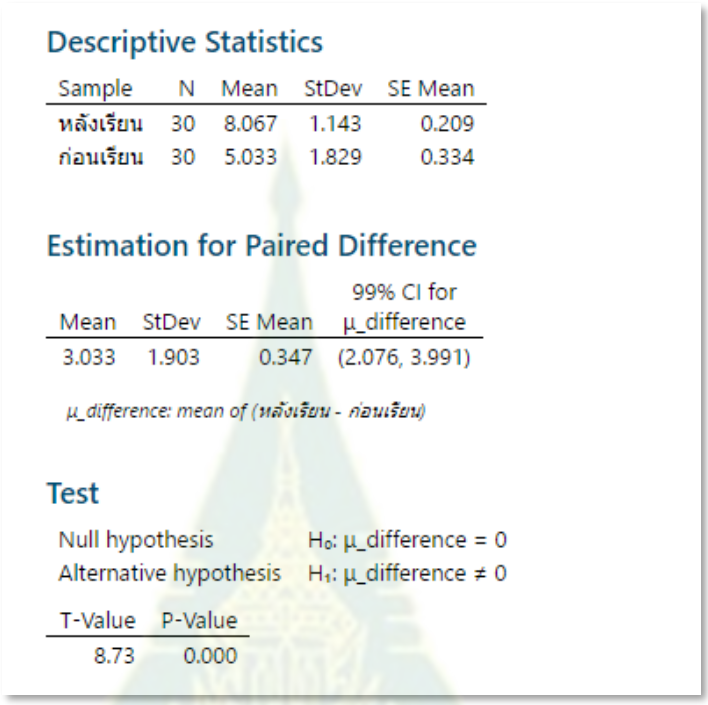
6. ผลการนำต้นแบบสื่อไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

6.1 การทดลองกับกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่ลงทะเบียนเรียนชุดวิชา 97316 ปีการศึกษา 2564 (ภาคการศึกษาที่ 2/2564) จำนวน 30 คน วิธีได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่างใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบอาสาสมัคร (voluntary response sampling) โดยรับสมัครนักศึกษาที่สนใจและเคยเข้ารับการฝึกประสบการณ์เสริมทักษะที่มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชในชุดวิชา 97316 หรือมีลักษณะใกล้เคียงกัน ได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงคะแนนสรุปการทดสอบประสิทธิภาพสื่อกลุ่มตัวอย่าง

ลำดับที่	คะแนน		
	ทดสอบก่อนเรียน	กิจกรรม	ทดสอบหลังเรียน
1	5	9	9
2	3	10	9
3	8	8	8
4	5	9	8
5	3	10	7
6	3	8	8
7	4	10	8
8	5	10	9
9	5	9	8
10	2	8	8
11	5	10	9
12	8	9	9
13	4	8	5
14	5	8	6
15	7	8	8
16	3	9	9
17	2	9	9
18	6	9	8
19	6	10	8
20	4	9	6
21	8	9	9
22	4	9	9
23	5	7	7
24	3	7	7
25	4	9	9
26	5	10	6
27	7	10	9
28	7	10	9
29	7	9	9
30	8	10	9
คะแนนเฉลี่ย	**5.03**	**9.00**	**8.07**
ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ E_1=90 **ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์ E_2=81**			

6.2 ผลการหาประสิทธิภาพของกระบวนการผลลัพธ์ ด้วยการแจกแจงความถี่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้ Paired Sample T-test ผ่านโปรแกรมวิเคราะห์สถิติ Minitab จากตารางที่ 4.7 ได้ผลดังภาพที่ 4.14



Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
หลังเรียน	30	8.067	1.143	0.209
ก่อนเรียน	30	5.033	1.829	0.334

Estimation for Paired Difference

Mean	StDev	SE Mean	99% CI for μ_difference
3.033	1.903	0.347	(2.076, 3.991)

μ_difference: mean of (หลังเรียน - ก่อนเรียน)

Test

Null hypothesis	H_0: μ_difference = 0
Alternative hypothesis	H_1: μ_difference ≠ 0

T-Value	P-Value
8.73	0.000

ภาพที่ 4.14 ผลการคำนวณค่าทางสถิติ Paired Sample T-test จากโปรแกรม Minitab

จากผลดังกล่าวสรุปได้ว่าผู้เรียนมีค่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนที่ 5.03 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 1.83 และมีค่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนที่ 8.07 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 1.14 โดยผู้เรียนที่เข้าเรียนสื่อห้องปฏิบัติการความจริงเสมือนมีคะแนนทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (ค่า P-value < 0.01, ปฏิเสธ H_0)

สำหรับการคำนวณหาประสิทธิภาพ E_1/E_2 จากตารางที่ 4.7 ได้ค่า E_1/E_2 คือ 90.00/80.70 สามารถสรุปได้ว่า กิจกรรมระหว่างการจัดการการเรียนรู้ผ่านสื่อมีโอกาสที่ทำคะแนนได้มากกว่าผลลัพธ์จากการทดสอบหลังเรียน

การได้ E_1=90 ซึ่งเกิน 80 ที่ปกติจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ ±2.5 หรืออยู่ในช่วง 77.50 ถึง 82.50 มีความเป็นไปได้ที่กิจกรรมเก็บคะแนนระหว่างกิจกรรมอาจมีความง่ายเกินไป เนื่องจากเป็นแบบกิจกรรมเก็บคะแนนถามตอบแบบถูกผิดซึ่งมีความน่าจะเป็นในการตอบถูกถึงร้อยละ 50

6.3 ความพึงพอใจในการใช้งานสื่อความจริงเสมือน

กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คนได้ทำการประเมินการใช้งานสื่อความจริงเสมือนผ่าน Microsoft Forms ดังภาพที่ 4.15 โดยมีข้อสรุปดังนี้

1) สื่อความจริงเสมือนนี้มีเนื้อหาครอบคลุมพื้นฐานความรู้ของเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ ดีมาก ร้อยละ 40 ดี ร้อยละ 60
2) สื่อความจริงเสมือนนี้มีเนื้อหาและการอธิบายที่ชัดเจนเข้าใจง่าย ดีมาก ร้อยละ 40 ดี ร้อยละ 50 ปานกลาง ร้อยละ 10
3) สื่อความจริงเสมือนนี้ให้ความรู้พื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ ดีมาก ร้อยละ 50 ดี ร้อยละ 40 ปานกลาง ร้อยละ 10
4) สื่อความจริงเสมือนนี้มีระยะเวลาในแต่ละส่วนของเนื้อหาที่เหมาะสม ดีมาก ร้อยละ 36.7 ดี ร้อยละ 53.3 ปานกลาง ร้อยละ 26.7
5) สื่อความจริงเสมือนนี้ออกแบบการใช้งานที่ง่ายและสะดวกต่อผู้เรียน ดีมาก ร้อยละ 40 ดี ร้อยละ 33.3 ปานกลาง ร้อยละ 26.7
6) สื่อความจริงเสมือนนี้สามารถเลือกเรียนเนื้อหาได้ตามความสนใจของผู้เรียน ดีมาก ร้อยละ 66.7 ดี ร้อยละ 26.7 ปานกลาง ร้อยละ 6.7
7) สื่อความจริงเสมือนนี้มีความน่าสนใจและสร้างประสบการณ์เรียนที่แปลกใหม่ ดีมาก ร้อยละ 70 ดี ร้อยละ 30
8) สื่อความจริงเสมือนนี้สามารถเรียนรู้ด้วยตัวเองได้ ดีมาก ร้อยละ 63.3 ดี ร้อยละ 26.7
9) สื่อความจริงเสมือนนี้ให้ประสบการณ์ใกล้เคียงของจริง ดีมาก ร้อยละ 66.7 ดี ร้อยละ 53.3 ปานกลาง ร้อยละ 10
10) สื่อความจริงเสมือนนี้สามารถทดแทนการเดินทางไปยังห้องปฏิบัติการจริงได้ ดีมาก ร้อยละ 43.3 ดี ร้อยละ 40 ปานกลาง ร้อยละ 13.3 พอใช้ ร้อย 3.3

นอกจากนี้ผู้เรียนทุกคนมีความคิดว่า เทคโนโลยีความจริงเสมือน สามารถช่วยสนับสนุนการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติได้ รวมทั้งควรมีการพัฒนาและนำไปขยายผลในชุดวิชาอื่นๆ โดยผู้เรียนร้อยละ 40 ใช้งานบนหน้าจอ ร้อยละ 53 ใช้งานบนแว่น VR และร้อยละ 7 ใช้ทั้งบนหน้าจอและบนแว่น VR โดยผู้ที่ใช้ทั้งสองแบบให้ความเห็นว่า ชอบแบบบนหน้าจอ ร้อยละ 58 และชอบแบบบนแว่น VR ร้อยละ 42