บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาชุดสาธิตการเกิดกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์และแบบทำนายผล ประกอบการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ (ILD) เพื่อนำไปใช้สอนฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษาชั้นปีที่ 1 และศึกษาประสิทธิภาพของการสอนแบบ ILD ซึ่งในบทนี้จะให้รายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการพัฒนาชุดสาธิตและแบบทำนายผล ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการสอนแบบ ILD ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ขอบเขตการวิจัย และวิธีวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัย

3.1 การพัฒนาชุดสาธิตและแบบทำนายผล

วัตถุประสงค์ข้อที่หนึ่งของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อพัฒนาชุดสาธิต (Demonstrations) การเกิดกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์และแบบทำนายผล (Prediction Sheet) ประกอบการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์หรือการสอนแบบ ILD เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ โดยลักษณะของชุดสาธิตที่ต้องสามารถเห็นผลการสาธิตได้ทันทีและชัดเจน และแบบทำนายผลต้องประกอบไปด้วยคำถามที่กระตุ้นให้ผู้เรียนเชื่อมโยงหลักการฟิสิกส์ในการอธิบายผลการสาธิตหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น โดยเริ่มการพัฒนาจากการค้นคว้าเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวกับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนในหัวข้อทางเทอร์โมไดนามิกส์ (ดังที่นำเสนอในบทที่ 2) จากนั้นออกแบบการสาธิตที่เน้นหลักการที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ และเครื่องยนต์ความร้อน แล้วทำการออกแบบทำนายผลที่เน้นให้ผู้เรียนเกิดการวิเคราะห์ตัวแปรสถานะ เช่น ความดัน ปริมาตรและอุณหภูมิ นำไปสู่การวิเคราะห์งานที่ระบบทำความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของสิ่งแวดล้อม เมื่อได้ชุดสาธิตทั้ง 5 ชุดพร้อมแบบทำนายผล คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษานำร่อง (Pilot Study) กับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ที่ได้ผ่านการเรียนฟิสิกส์ 1 ในภาคเรียนที่ 1 จำนวน 5 คน โดยได้แสดงชุดสาธิตและให้นักศึกษาทำการตอบแบบทำนายผลก่อนการสัมภาษณ์เป็นรายบุคคลคนละ 30-45 นาที ผลที่ได้จากการสัมภาษณ์นำไปปรับปรุงคำถามในแบบทำนายผลให้มีความเหมาะสมขึ้น จนได้ชุดสาธิตและแบบทำนายผลในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวนทั้งหมด 5 ชุด ในบทนี้จะอธิบายถึง

วัตถุประสงค์และรายละเอียดพอสังเขปของชุดสาธิต รายละเอียดในการเตรียมและแบบทำนายผลอยู่ในภาคผนวก

1. ชุดสาธิตตุ๊กตาเซรามิกหรือตุ๊กตาฉี่ (Pee Pee Boy)

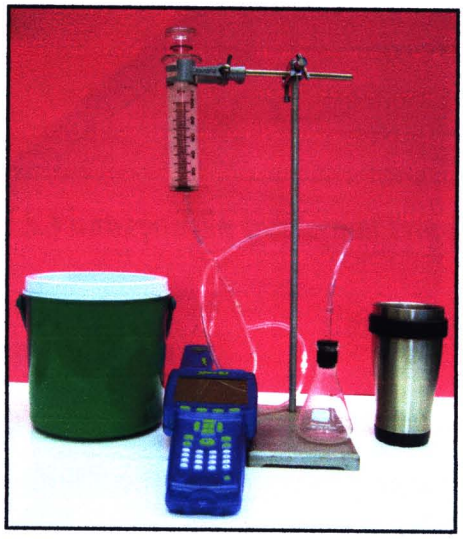
ตุ๊กตาเซรามิกหรือตุ๊กตาฉี่ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ชงชา ซึ่งมหลักการทำงานอยู่ว่า ถ้าน้ำในการ้อนพอสำหรับชงชา เมื่อนำมาราดบนตัวตุ๊กตาจะมีน้ำพุ่งออกจากเล็กๆ ที่หน้าท้องของตัวตุ๊กตา ยิ่งความร้อนที่ราดบนตัวตุ๊กตามีมากเท่าไร ความไกลของน้ำที่พุ่งออกมาจากหน้าท้องของตัวตุ๊กตาก็จะมากเช่นกัน สามารถอธิบายเชิงเทอร์โมไดนามิกส์ ได้ว่าอากาศภายในตัวตุ๊กตาเกิดการขยายตัว แล้วอากาศพยายามไปแทนที่น้ำ จึงทำให้น้ำที่ถูกอากแทนที่ต้องพุ่งออกมาจากหน้าท้องของตัวตุ๊กตา และถ้ามองว่าอากาศที่อยู่ภายในตัวตุ๊กตาเป็นระบบและน้ำที่อยู่ภายในตัวตุ๊กตาและน้ำร้อนที่ราดเป็นสิ่งแวดล้อม จะพบว่าเกิดการถ่ายเทความร้ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมแบบดูดความร้อน และความร้อนนี้ถูกระบบนำไปใช้ทำงานต่อสิ่งแวดล้อม ก็คืออากาศขยายตัวจนดันน้ำให้พุ่งออกมา ด้วยเหตุนี้จึงได้นำตุ๊กตาเซรามิกมาออกแบการสาธิตใหม่เพื่อให้เกิดความน่าสนใจและความท้าทายในทำนายผลของผู้เรียนมากขึ้น โดยใช้ตุ๊กตาเซรามิกจำนวนสี่ตัว ดังรูป 3.1 แบ่งออกเป็นสองสถานการณ์ คือ สถานการณ์แรก ตุ๊กตาเซรามิก A และ B อยู่ที่อุณหภูมิห้อง สถานการณ์ที่สอง มีตุ๊กตาเซรามิก C และ D แช่อยู่ในน้ำผสมน้ำแขเป็นเวลานาน จากนั้นราดน้ำร้อนบนตัวตุ๊กตาเซรามิก A และ C ส่วนตัวตุ๊กตาเซรามิก B และ D ราดด้วยน้ำอุณหภูมิห้อง จากสถานการณ์ทั้งสองนี้ ประเด็นที่จะให้ผู้เรียนทำการทำนายคือ ตุ๊กตาเซรมิกตัวใดบ้างที่จะมีน้ำพุ่งออกมาจากรูที่อยู่ตรงหน้าท้อง นอกจากนี้ได้พัฒนาแบบทำนายผล (Prediction Sheet) ที่สอดคล้องกับชุดสาธิตชุดนี้ด้วย

ชุดสาธิตตุ๊กตาเซรามิกได้นำไปใช้สอนในหัวข้อเรื่องกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์มากขึ้นและเห็นตัวอย่างการนำไปใช้กับสถานการณ์จริง

รูป 3.1 แสดงชุดสาธิตตุ๊กตาเซรามิกหรือตุ๊กตาฉี่

2. ชุดสาธิต Isobaric Process

ชุดสาธิต Isobaric Process เป็นชุดสาธิตที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนส่วนใหญ่เกี่ยวกับกระบวนการความดันคงที่ โดยชุดสาธิตชุดนี้จะประกอบด้วยหลอดฉีดยาแก้ว ขวดทดลอง น้ำผสมน้ำแข็ง น้ำร้อน และเครื่องวัดความดัน Pasco ดังรูป 3.2 ชุดสาธิตนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนทำการทำนายและสังเกตผลของการสาธิต คือ ปริมาตรและความดันของอากาศภายในหลอดฉีดยาเมื่อจุ่มในน้ำเย็นและน้ำร้อน โดยเขียนการทำนายในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของอากาศที่อยู่ภายในหลอดฉีดยาและขวดทดลองกับเวลา ส่วนคำถามในแบบทำนายผลเน้นให้ผู้เรียนวิเคราะห์งานที่ระบบทำ ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงของระบบ ซึ่งระบบในที่นี้คืออากาศในหลอดฉีดยา หลังจากสังเกตผลการสาธิตผู้เรียนต้องเขียนแผนภาพระหว่างความดันกับปริมาตรของระบบและแผนภาพกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสถานการณ์ที่สาธิตให้ดู เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจสถานการณ์และเงื่อนไขของการเกิดกระบวนการความดันคงที่



รูป 3.2 แสดงชุดสาธิต Isobaric process

3. ชุดสาธิต Isothermal Process

ชุดสาธิต Isothermal Process มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจลักษณะและความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมของการเกิดกระบวนการอุณหภูมิคงที่ โดยชุดสาธิตประกอบด้วยหลอดฉีดยาแก้ว ขวดทดลอง มวล 100 กรัม จำนวน 10 ก้อน น้ำร้อน และเครื่องวัดความดันของ Pasco ดังรูป 3.3 โดยผู้เรียนต้องทำการทำนายผลและสังเกตการสาธิต เกี่ยวกับ

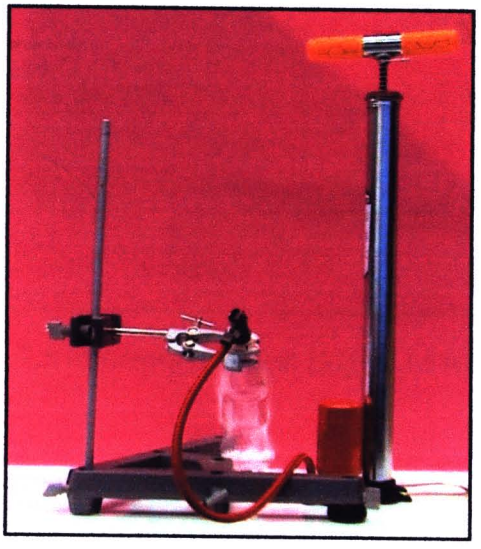
ปริมาตรของระบบ (อากาศภายในหลอดฉีดยาและขวดทดลอง) เมื่อวางมวลแต่ละก้อนลงบนลูกสูบอย่างช้า ๆ และกราฟความดันของระบบกับเวลา ส่วนคำถามในแบบทำนายผลเน้นให้ผู้เรียนวิเคราะห์งานที่ระบบทำ ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงของระบบที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์ในการสาธิต และผู้เรียนเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับเศษหนึ่งส่วนมวลที่วางลงบนลูกสูบโดยกำหนดข้อมูลมาให้ และแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง ของสถานการณ์ดังกล่าวด้วย

รูป 3.3 แสดงชุดสาธิต Isothermal Process

4. ชุดสาธิต Adiabatic Process

ชุดสาธิต Adiabatic Process หรือการเกิดหมอกในขวดน้ำอัดลม เป็นชุดสาธิตที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ผู้เรียนเห็นลักษณะของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันอย่างรวดเร็ว จนไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม โดยชุดสาธิตชุดนี้ประกอบด้วยขวดน้ำอัดลมที่มีน้ำอยู่ภายในเล็กน้อย จุกยาง และกระบอกสูบลมรถจักรยาน ดังรูป 3.4 ประเด็นที่ต้องการให้ผู้เรียนทำการทำนายผลและสังเกตผลการสาธิตจากชุดสาธิตชุดนี้ คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อจุกยางที่ปิดปากขวดน้ำอัดลมกระเด็นหลุดออกจากปากขวด เมื่อทำการสูบลมเข้าไปในขวดหลายๆ ครั้ง ส่วนคำถามต่างๆ ในแบบทำนายผล แบ่งออกเป็นสองสถานการณ์ โดยสถานการณ์แรกพิจารณาขณะที่สูบลมเข้าไปในขวด แต่จุกยางยังไม่กระเด็นหลุดออกไป โดยตอบคำถามเกี่ยวกับปริมาตร อุณหภูมิและความดันของอากาศที่อยู่ในขวดน้ำอัดลม ส่วนสถานการณ์ที่สองให้ผู้เรียนพิจารณาสถานะของระบบก่อนและหลังที่จุกยางจะกระเด็นออกจากปากขวดไปเพียงไม่กี่วินาที คำถามที่ใช้

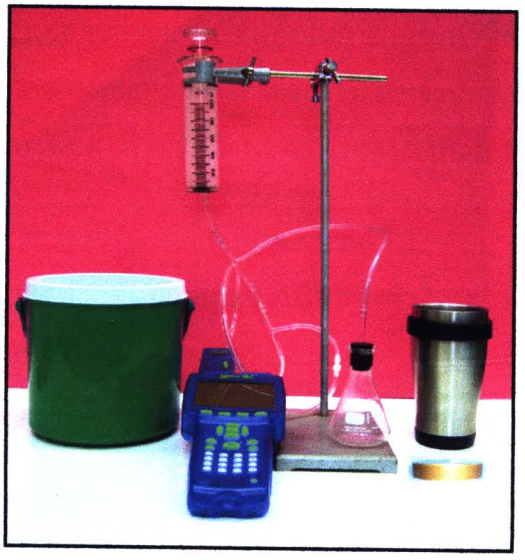
เกี่ยวกับงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายใน และนอกจากนี้ให้ผู้เรียนเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงของสถานการณ์ที่สองด้วย



รูป 3.4 แสดงชุดสาธิต Adiabatic Process

5. ชุดสาธิต Heat Engine อย่างง่าย

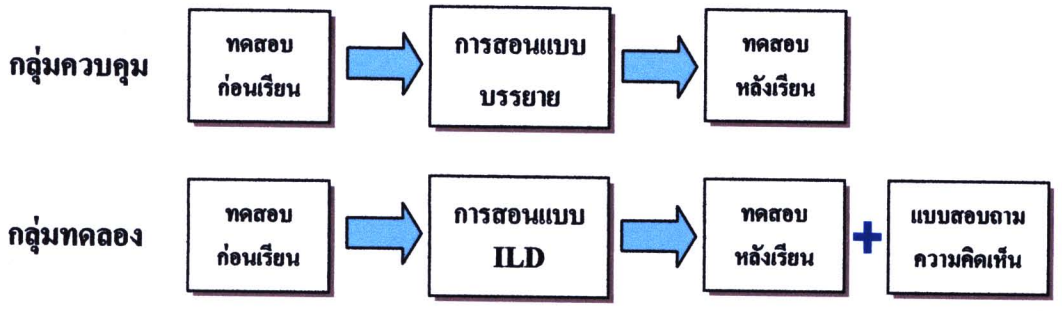
ชุดสาธิต Heat Engine อย่างง่าย เป็นชุดสาธิตที่พัฒนาขึ้นมาจากงานวิจัยของ David Jackson และ Priscilla Laws [20] ซึ่งชุดสาธิตนี้ประกอบด้วยหลอดฉีดยาแก้ว ขวดทดลอง น้ำผสมน้ำแข็ง น้ำร้อน มวล 200 กรัม จำนวน 1 ก้อน และเครื่องวัดความดันของ Pasco ดังรูป 3.5 วัตถุประสงค์หลักของชุดสาธิตนี้ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงกระบวนจริงที่เกิดเป็นวัฏจักรของ Heat Engine กับกระบวนการในแผนภาพ PV ได้ดีขึ้น และชุดสาธิตนี้จะใช้สอนหลังจากได้สอนทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องยนต์ความร้อน ประเด็นที่ให้ผู้เรียนทำการทำนายและสังเกตผลการสาธิต คือ ปริมาตรของระบบ เมื่อนำขวดทดลองจุ่มในน้ำเย็น วางมวลขณะแช่อยู่ในน้ำเย็น จุ่มในน้ำร้อน เอาออกระหว่างแช่ในน้ำร้อน และนำกลับมาจุ่มในน้ำเย็นอีกครั้งหนึ่ง และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันของระบบกับเวลาของสถานการณ์ดังกล่าว ส่วนคำถามต่างๆ ในแบบทำนายผล ถามแนวคิดของผู้เรียนเกี่ยวกับงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลง จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรที่ให้ผู้เรียนเขียนไว้ในแบบทำนายผล นอกจากนี้ให้ผู้เรียนเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างงาน ความร้อนที่ถ่ายเท และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงของสถานการณ์นี้ด้วย



รูป 3.5 แสดงชุดสาธิต Heat Engine อย่างง่าย

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุประสงค์ข้อที่สองของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาประสิทธิภาพของการสอนแบบบรรยายเชิงปฏิสัมพันธ์ ดังนั้นงานวิจัยจึงถูกออกแบบให้มีลักษณะงานวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experimental research) ดังรูป 3.6



รูป 3.6 แสดงขั้นตอนการวิจัยกึ่งทดลองของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

ทั้งนี้กลุ่มควบคุมคือนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ที่เรียนกระบวนวิชา 207187 หรือฟิสิกส์ 1 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2552 และกลุ่มทดลองคือนักศึกษาที่เรียนฟิสิกส์ 1 ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2552 ซึ่งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองต่างก็ได้รับการสอนเนื้อหาเทอร์โมไดนามิกส์พื้นฐานจากผู้สอนคนเดียวกัน หัวข้อของเนื้อหาที่เรียนเหมือนกัน และเวลาที่ใช้ในการสอนเนื้อหาเทอร์โมไดนามิกส์พื้นฐานเป็นระยะเวลาสี่สัปดาห์เท่ากัน โดยขั้นตอนการสอนในแต่ละคาบของทั้งสองกลุ่ม แสดงดังตาราง 3.1 ซึ่งจะเห็นว่าการสอนแบบ ILD มีการเปลี่ยนแปลงจากการสอน

แบบเดิมคือ เปลี่ยนจากการทดสอบย่อยหลังเรียนที่เน้นการแก้โจทย์ปัญหา เป็นการทำกิจกรรมการสอนแบบ ILD แต่ทั้งการทดสอบย่อยหรือการทำกิจกรรมได้แจ้งนักศึกษาว่าจะมีคะแนนเก็บให้คิดเป็นร้อยละ 5 ของคะแนนทั้งหมด สำหรับกิจกรรมการสอนแบบ ILD ที่กลุ่มทดลองได้ทำนั้นมีรายละเอียดแสดงดังรูป 3.7

ตาราง 3.1 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการสอนในหนึ่งชั่วโมงครึ่งของการสอนแบบบรรยายและการสอนแบบ ILD

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2552 **การสอนแบบบรรยาย**	**ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2552** **การสอนแบบ ILD**
อธิบายหลักการและทฤษฎี ⇓ เชื่อมโยงทฤษฎีและสมการ ⇓ ทำแบบฝึกหัด ⇓ ทดสอบย่อย (เก็บคะแนน)	อธิบายหลักการและทฤษฎี ⇓ เชื่อมโยงทฤษฎีและสมการ ⇓ ทำแบบฝึกหัด ⇓ ทำกิจกรรม ILD และตอบคำถามในแบบทำนายผล (เก็บคะแนน)

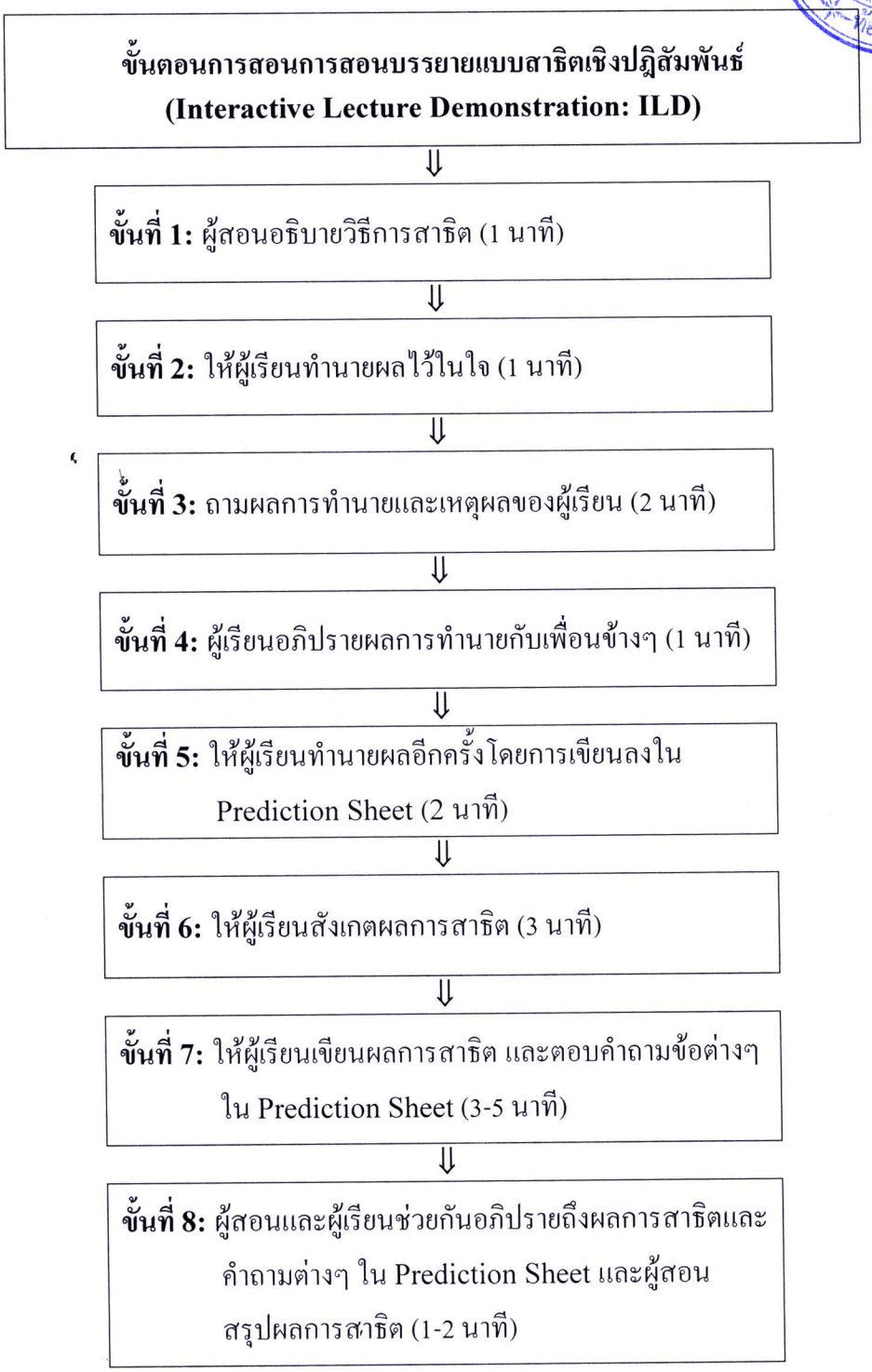
3.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักศึกษาชั้นปีที่หนึ่ง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยมีกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยแบ่งเป็น

- กลุ่มควบคุม คือ นักศึกษาที่ลงเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ 1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2552
- กลุ่มทดลอง คือ นักศึกษาที่ลงเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ 1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2552

ซึ่งกลุ่มควบคุมประกอบด้วยนักศึกษาภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ และคณิตศาสตร์ จำนวน 229 คน โดยแบ่งออกเป็นสองห้องเรียน และกลุ่มทดลอง ประกอบด้วยนักศึกษาสาขาวิชาเคมี ชีววิทยา คอมพิวเตอร์ และสื่อแอนิเมชัน จำนวน 325 คน โดยแบ่งออกเป็นสามห้องเรียน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดเฉลิมราชกุมารี



รูป 3.7 แสดงแผนภาพลำดับขั้นตอนการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์

3.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการทำวิจัยในครั้งนี้ มีดังนี้

1. กลุ่มทดลองจะได้รับการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ในหัวข้อเรื่องกฎข้อที่หนึ่ง กระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ และเครื่องยนต์ความร้อน โดยใช้ชุดสาธิตตุ๊กตาเซรามิก ชุดสาธิต Isobaric Process ชุดสาธิต Isothermal Process ชุดสาธิต Adiabatic Process และ Heat Engine อย่างง่าย

2. ใช้แบบทดสอบ TCE ประเมินการเรียนรู้ของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

3. ใช้แบบสอบถามความคิดเห็นกับกลุ่มทดลอง เพื่อประเมินกิจกรรมการเรียนการสอนบรรยายแบบสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการประเมินประสิทธิภาพการสอนแบบ ILD ที่ใช้รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลองนั้น ต้องใช้แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเป็นเครื่องมือหลัก ในการประเมินความเข้าใจและเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังให้กลุ่มทดลองตอบแบบสอบถามความคิดเห็นต่อกิจกรรมการเรียนการสอนแบบ ILD เพื่อประเมินความพึงพอใจในการเรียนของผู้เรียน ซึ่งเครื่องมือทั้งสองมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 แบบทดสอบใช้ในการประเมินความเข้าใจ

แบบทดสอบที่ใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้ เรียกว่า Thermodynamic Conceptual Evaluation (TCE) ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่มีจุดประสงค์หลักเพื่อประเมินความเข้าใจของผู้เรียนเกี่ยวกับเนื้อหาเทอร์โมไดนามิกส์พื้นฐานและการประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์ไดนามิกส์ในการพิจารณาปริมาณต่างๆ ในกระบวนการ แบบทดสอบฉบับนี้ประกอบด้วยคำถามแบบปรนัย จำนวน 35 ข้อ โดยมีคำถามจำนวน 21 ข้อ ที่ให้อธิบายเหตุผลประกอบในการเลือกคำตอบ เวลาที่ใช้ในทำแบบทดสอบประมาณ 60 นาที ทั้งนี้คำถามส่วนใหญ่ในแบบทดสอบดัดแปลงมาจากผลงานวิจัยฟิสิกส์ศึกษา (PERs) ที่เกี่ยวกับเนื้อหาเทอร์โมไดนามิกส์ ดังแสดงในตาราง 3.2 และหัวข้อในแบบทดสอบแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ หลักๆ คือ (1) หัวข้อกี่ยวกับอุณหภูมิ ความร้อนและกฎข้อที่ศูนย์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ และ (2) หัวข้อเกี่ยวกับกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์และกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ ดังตาราง 3.3

ตาราง 3.2 แสดงการจำแนกคำถามแต่ละข้อจากแหล่งงานวิจัยอ้างอิงทางฟิสิกส์ศึกษา

งานวิจัยอ้างอิง	คำถามข้อที่
Shelley Yeo และ Marjan Zadnik [21]	2, 4, 5, 6
Mansoor Niaz [22]	7
Christian Kautz และคณะ[17]	8, 9, 10, 11, 12
David Melzer [16]	13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 33, 34, 35
Michael Loverud และคณะ[15]	22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

ตาราง 3.3 แสดงการจำแนกคำถามแต่ละข้อในเนื้อหาเทอร์โมไดนามิกส์

เนื้อหา		คำถามข้อที่
อุณหภูมิ ความร้อน และกฎข้อที่ศูนย์ทางเทอร์โมไดนามิกส์		1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
กฎข้อที่หนึ่งและกระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์	กระบวนการความดันคงที่	8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
	กระบวนการปริมาตรคงที่	17
	กระบวนการอุณหภูมิคงที่	15, 16
	กระบวนการที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน	22, 23, 24, 25, 26 , 27, 28
	กระบวนการแบบวัฏจักร	19, 20, 21, 30, 31, 32
	แผนภาพ P-V	18, 29, 33, 34, 35

ในการพัฒนาแบบทดสอบเริ่มมาจากการรวบรวมคำถามจากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้คำถามทั้งหมดจำนวน 40 ข้อ บางข้อต้องมีการทำตัวเลือกขึ้นมาใหม่และมีการดัดแปลงคำถาม จากนั้นได้จำแนกคำถามตามหัวข้อทางเทอร์โมไดนามิกส์ เขียนวัตถุประสงค์และคำอธิบายคำตอบที่ถูกต้องแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พิจารณาความสอดคล้องระหว่างคำถามกับวัตถุประสงค์ และตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา จากนั้นได้นำแบบทดสอบ TCE เวอร์ชั่นที่ 1 ไปทดลองใช้กับกลุ่มนำร่อง

คือนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาในสาขาวิชาฟิสิกส์ ฟิสิกส์ประยุกต์ และฟิสิกส์การสอน จำนวน 22 คน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและภาษา จากผลที่ได้นำมาปรับปรุงคำถามและลดจำนวนข้อในแบบทดสอบเหลือ 35 ข้อ ซึ่งเป็นเวอร์ชั่นสุดท้าย และนำไปวิเคราะห์แบบทดสอบในภาพรวมและรายข้อดังนี้

วิเคราะห์คุณภาพรายข้อ

- ค่าความเที่ยงเชิงเนื้อหา (Content Validity) หามาจากการให้ผู้เชี่ยวชาญอีก 3 ท่าน พิจารณาความสอดคล้องระหว่างคำถามกับวัตถุประสงค์ โดยให้คะแนนจาก 1 ถึง 5 โดยคะแนน 1 หมายถึง คำถามวัดได้ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ และคะแนน 5 หมายถึง คำถามวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ แล้วหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item – Objective Congruence: IOC) รายข้อ ทุกข้อมีค่า IOC มากกว่า 4
- ดัชนีความยาก (Difficulty Index) นำคะแนนหลังเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ไปหาดัชนีความยากรายข้อได้ค่าระหว่าง 0.1-0.9
- ดัชนีจำแนก (Discrimination Index) นำคะแนนหลังเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ไปหาดัชนีจำแนกได้ค่าระหว่าง -0.2-0.6

วิเคราะห์คุณภาพในภาพรวม

- ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) หาโดยใช้วิธี KR-20 ในการคำนวณ ได้ค่าเท่ากับ 0.6

3.5.2 แบบสอบถามความคิดเห็นต่อกิจกรรมการเรียนการสอน

แบบสอบถามความคิดเห็นต่อกิจกรรมการเรียนการสอนของกลุ่มทดลองในแต่ละชุดสาธิตของการวิจัยในครั้งนี้ มีประเด็นที่ต้องการสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ บรรยากาศการเรียนรู้ระหว่างทำกิจกรรม คุณภาพโดยรวมของชุดสาธิตและแบบทำนายผล และความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาฟิสิกส์กับชุดสาธิตแต่ละชุด ซึ่งรายการคำถามในแต่ละประเด็นข้างต้น แสดงดังตาราง 3.4 โดยระดับความคิดเห็นที่นักศึกษาใช้ในการประเมินแบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ 1 = ไม่เห็นด้วยอย่างมาก, 2 = ไม่เห็นด้วย, 3 = ไม่มีความคิดเห็น, 4 = เห็นด้วย และ 5 = เห็นด้วยอย่างมาก นอกจากนี้ยังสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับความชอบและความเข้าใจต่อชุดสาธิตในแต่ละชุดด้วย รายละเอียดของแบบสอบถามอยู่ในภาคผนวก

ตาราง 3.4 แสดงประเด็นในแบบสอบถามความคิดเห็นและคำถามที่สอดคล้อง

ประเด็น	รายการคำถาม
บรรยากาศการเรียนรู้ระหว่างทำกิจกรรม	1. ข้าพเจ้ามีความกระตือรือร้น และสนุกกับการเรียนมากขึ้น 2. ข้าพเจ้ามีโอกาสแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนมากขึ้น 3. ข้าพเจ้ามีโอกาสแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้สอนมากขึ้น 4. ข้าพเจ้ามีโอกาสฝึกทักษะการเขียนอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
คุณภาพของชุดสาธิตและแบบทำนายผลโดยรวม	1. ชุดสาธิตมีความน่าสนใจ และท้าทายการเรียนรู้ 2. คำถามในแบบทำนายผลใช้ภาษาที่ชัดเจน และเข้าใจง่าย 3. คำถามในแบบทำนายผลช่วยกระตุ้นให้ข้าพเจ้าคิดและเข้าใจเนื้อหาที่เรียนมากขึ้น 4. การแสดงผลการสาธิตสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน 5. ชุดสาธิตมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหาที่เรียนรู้จากการบรรยาย
ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาและชุดสาธิต	1. กิจกรรมตุ๊กตาเซรามิกช่วยให้ข้าพเจ้าเข้าใจกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ดีขึ้น และเห็นตัวอย่างการนำไปใช้กับสถานการณ์จริง 2. กิจกรรม Isobaric process ช่วยให้ข้าพเจ้าเข้าใจสถานการณ์และเงื่อนไขของการเกิดกระบวนการความดันคงที่ 3. กิจกรรม Isothermal process ช่วยให้ข้าพเจ้าเข้าใจลักษณะและความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมของการเกิดกระบวนการอุณหภูมิคงที่ 4. กิจกรรมการเกิดหมอก หรือ Adiabatic process ช่วยให้ข้าพเจ้าเห็นลักษณะของระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จนไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม 5. กิจกรรม Heat engine อย่างง่าย ช่วยให้ข้าพเจ้าสามารถเชื่อมโยงสถานการณ์จริงที่เกิดในวัฏจักรของ Heat engine กับกระบวนการในแผนภาพ PV ได้ดีขึ้น 6. กิจกรรมทั้งหมดช่วยให้ข้าพเจ้าเข้าใจเนื้อหาจากการบรรยายมากขึ้น 7. ในแต่ละกิจกรรม ช่วงที่ให้ข้าพเจ้าทำนายผลก่อนที่จะสังเกตผลการสาธิต ช่วยให้ข้าพเจ้าค้นพบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ของตนเอง 8. หลังจากการสาธิต ผู้สอนอภิปรายและสรุปกิจกรรม ช่วยให้ข้าพเจ้าเข้าใจหลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่ประยุกต์ใช้ในแต่ละกิจกรรมได้ดีขึ้น

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยนี้เน้นไปที่การตอบวัตถุประสงค์ที่สอง ก็คือศึกษาประสิทธิภาพของการสอนแบบ ILD ดังนั้นจึงจะวิเคราะห์คะแนนจากแบบทดสอบ TCE ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาทั้งสองกลุ่มเป็นหลัก โดยมีแนวทางการวิเคราะห์และเปรียบเทียบดังนี้

1. เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม
2. เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ในแต่ละรายหัวข้อ ก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มควบคุม
3. เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ในแต่ละรายหัวข้อ ก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มทดลอง
4. เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ที่เปลี่ยนแปลง (Normalized change) ในแต่ละหัวข้อของนักศึกษากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม
5. เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ก่อนเรียนและหลังเรียนรายข้อของกลุ่มควบคุม
6. เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ก่อนเรียนและหลังเรียนรายข้อของกลุ่มทดลอง
7. เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ที่เปลี่ยนแปลง (Normalized change) ในแต่ละรายข้อของกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง
8. หาค่าเฉลี่ยของระดับความคิดเห็นของกลุ่มทดลองต่อกิจกรรมการเรียนการสอน และวิเคราะห์ชุดสาธิตที่กลุ่มทดลองชอบมากที่สุด ชอบน้อยที่สุด เข้าใจมากที่สุด และเข้าใจน้อยที่สุด ประกอบกับเหตุผลที่นักศึกษาให้มา