บทที่ 3
กรอบแนวคิดและวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง เพื่อที่จะออกแบบระบบและกระบวนการเปลี่ยนรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเพื่อนำไปใช้ในเชิงพลังงานทดแทนด้วยกระบวนการทางไพโรไลซิส โดยใช้รูปแบบของระบบเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคงที่ (Fixed-Bed Reactors) และเป็นระบบไพโรไลซิสแบบช้า ซึ่งมีต้นทุนในการสร้างระบบต่ำและสามารถนำไปใช้ได้จริงในชุมชน ซึ่งในการวิจัยนี้ได้นำเอาตัวอย่างขยะพลาสติกจากชุมชนเป้าหมายได้แก่ เขตพื้นที่ อบต.ป่าคา อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน, อบต.แม่พริก อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย และ อบต.บ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่ มาเป็นวัตถุดิบหลักในการทดลอง และในการดำเนินการวิจัยนี้ได้มีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 3.1 และมีรายละเอียดดังในหัวข้อที่ 3.2 โดยมีขอบเขตของตัวแปรต่างๆ ในการวิจัยนี้ได้แก่

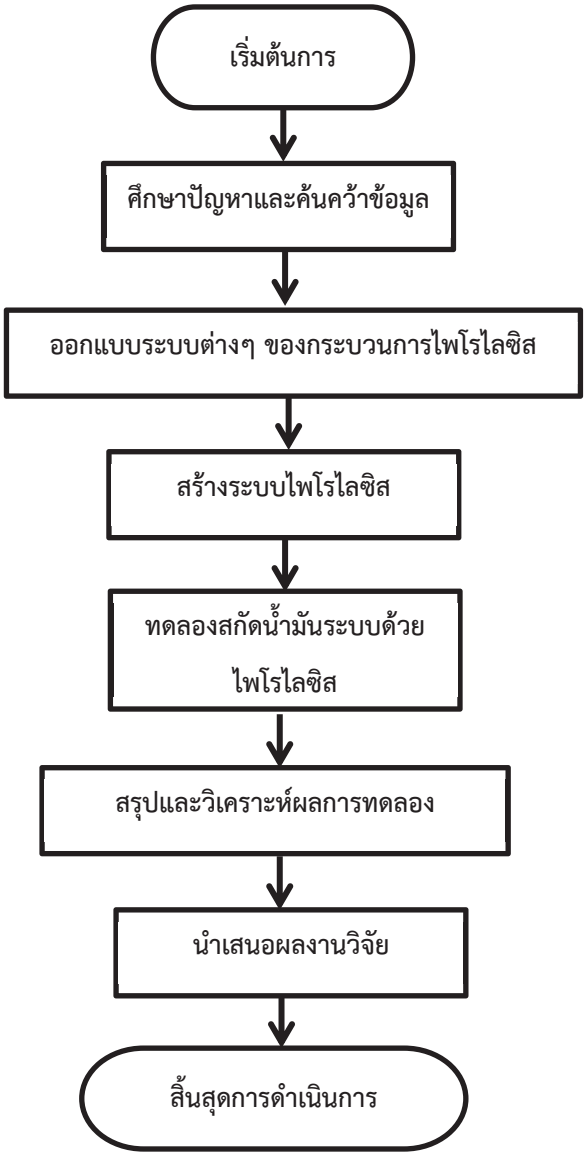
ตัวแปรต้น คือ ศึกษาประเภทและชนิดของขยะประเภทพลาสติกและโฟมที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ผลิตน้ำมันดิบด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

ตัวแปรตาม คือ ศึกษาและออกแบบกระบวนการนำขยะประเภทพลาสติกและโฟมมาเพื่อผลิตเป็นน้ำมันดิบด้วยวิธีการไพโรไลซิส ด้วยต้นทุนต่ำและผลิตได้จริง

ตัวแปรควบคุม คือ ในงานวิจัยนี้มีการควบคุมพื้นที่วิจัย, ประเภทพลาสติกและโฟมมาเพื่อผลิตเป็นน้ำมันดิบด้วยวิธีการไพโรไลซิส และ รูปแบบกระบวนการสร้างเตาไพโรไลซิสด้วยต้นทุนต่ำ

3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาทางทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเตาไพโรไลซีสโดยใช้รูปแบบของระบบเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคงที่ (Fixed-Bed Reactors) และเป็นระบบไพโรไลซิสแบบช้า โดยคำนึงถึงต้นทุนในการสร้างและคนในชุมชนสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดและใช้ได้เองในชุมชน ซึ่งในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาเพื่อให้รู้ถึงหลักการทำงาน กระบวนการ และลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้สร้างระบบไพโรไลซิส ซึ่งจะเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ และในแต่ละหัวข้อมีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการสร้างเตาไพโรไลซีส โดยการศึกษาจะค้นคว้านั้นจะมีการศึกษาจากหนังสือ ตำรา และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียด ดังปรากฏในบทที่ 2



ภาพที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดาเนินการ

3.2 ขั้นตอนในการศึกษาวิจัย

3.2.1 การศึกษาและค้นคว้าปัญหา จะมีวิธีการศึกษาด้วยการลงพื้นที่เพื่อสำรวจปัญหา ชนิด และปริมาณของขยะประเภทพลาสติกและโฟม ในเขตพื้นที่ที่ศึกษา ได้แก่ เขตพื้นที่ อบต.ป่าคา อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน, อบต.แม่พริก อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย และ อบต.บ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่

3.2.2 ศึกษาค้นคว้าในหัวข้อของประเภทและชนิดของขยะพลาสติก และศึกษาคุณสมบัติของขยะพลาสติก ชนิด PP และโฟม ชนิด PS ซึ่งพลาสติกและโฟมดังกล่าวไม่สามารถนำไปขายต่อได้ จึงมีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เพื่อผลิตเป็นน้ำมันดิบด้วยวิธีการไพโรไลซิส

3.2.3 ศึกษาและออกแบบระบบการแปลรูปขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิส โดยคำนึงถึงรูปแบบและกระบวนการที่ง่ายและต้นทุนต่ำ สามารถนำไปถ่ายทอดและต่อยอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนได้ ซึ่งจะมีหัวข้อในการศึกษาเพื่อนำไปพัฒนาระบบไพโรไลซิส ได้แก่

3.2.3.1 ศึกษาระบบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสอย่างง่าย

3.2.3.2 ศึกษาระบบกระบวนการควบแน่น โดยใช้กระบวนการควบแน่นแบบสัมผัส (contact condenser)

3.2.3.3 ศึกษาศักยภาพการใช้พลังงานจากแก๊สหุงต้ม (LPG) ไปใช้ในกระบวนในการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยระบบไพโรไลซิส

3.2.4 สร้างเตาไพโรไลซิสซึ่งเป็นระบบไพโรไลซิสแบบช้า และมีรูปแบบของระบบเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดคงที่ (Fixed-Bed Reactors) โดยมีอุปกรณ์ในการทำงานวิจัยดังนี้

3.2.4.1 ท่อทองแดงขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว พร้อมข้อต่อ

3.2.4.2 เต้า LPG ขนาด 4 kg

3.2.4.3 ถังใส่น้ำส่วนควบแน่นขนาด 20 ลิตร

3.2.4.4 หม้อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 cm และสูง 15 cm

3.2.5 วิเคราะห์ระบบไพโรไลซิสเชิงความร้อนเพื่อนำไปสู่การหาค่าอัตราการใช้พลังงานในการผลิตน้ำมันของระบบ โดยมีเครื่องมือในการวิเคราะห์ ได้แก่

3.2.5.1 เครื่องบันทึกข้อมูล DATA Logger 10 ช่อง ยี่ห่อ Graphtec รุ่น MT100

3.2.5.2 สายวัดอุณหภูมิ Thermocouple ชนิด K

3.2.5.3 หัววัดอุณหภูมิ ชนิด K

ภาพที่ 3.2 ท่องทองแดงขนาด 5/8 นิ้ว

ภาพที่ 3.2 เครื่องบันทึกข้อมูล DATA Logger 10 ช่อง ยี่ฮ่อ Graphtec รุ่น MT100

ภาพที่ 3.3 สายวัดอุณหภูมิ Thermocouple ชนิด K

ภาพที่ 3.4 หัววัดอุณหภูมิ ชนิด K

ภาพที่ 3.5 ถังแก๊ส LPG ขนาด 4 kg

ภาพที่ 3.6 ปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่ดัดแปลงจากหม้อสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 32 cm

3.2.6 เมื่อได้น้ำมันดิบจากกระบวนการไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกและโฟมแล้วจะนำวิเคราะห์องค์ประกอบทางฟิสิกส์และเคมี โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

3.2.7 ศึกษาความเป็นไปได้และศักยภาพการนำเตาไพโรไลซิสแบบต้นทุนต่ำจากงานวิจัยนี้ไปใช้ผลิตน้ำมันดิบจากขยะพลาสติกและโฟมจริงในชุมชน และการนำไปพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีเตาไพโรไลซิสเพื่อการใช้งานเชิงพลังงานทดแทน

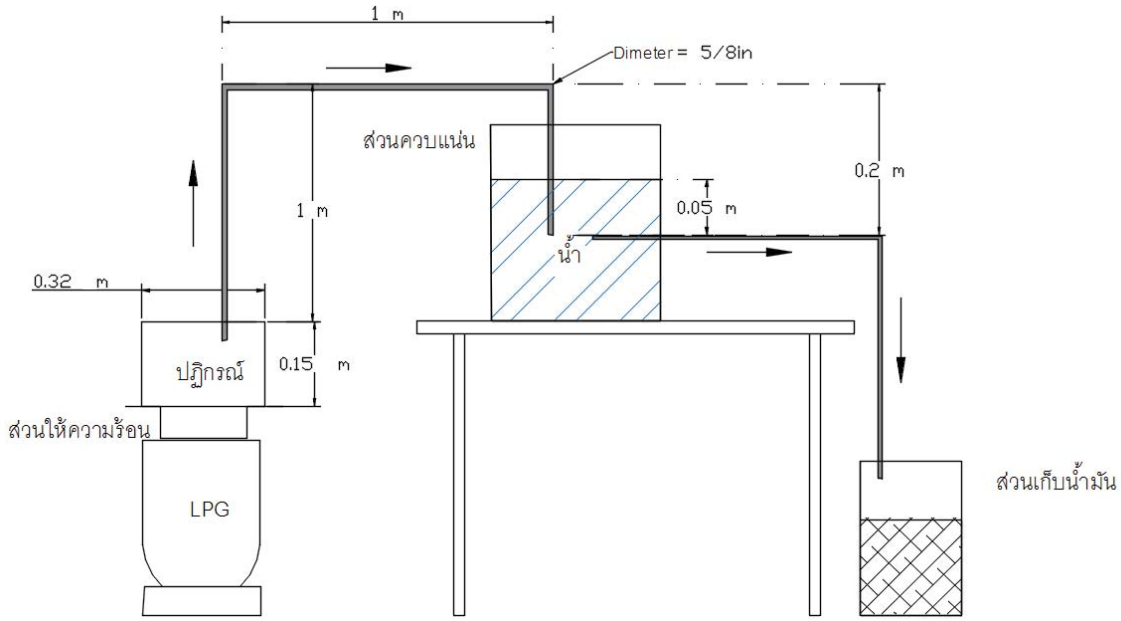
3.2.8 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.2.9 นำผลการวิจัยที่ได้ไปนำเสนอสู่สาธารณะและมีการบริการวิชาการด้วยการเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยสู่ชุมชน

3.3 การออกแบบไพโรไลซิสอย่างง่าย

3.3.1 โครงสร้างเตาไพโรไลซิส

การออกแบบเตาไพโรไลซิสเพื่อการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกและโฟม สามารถทำได้โดยการนำเอาเตาแก๊สหุงต้ม LPG มาเป็นแหล่งให้ความร้อนแก่ปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ซึ่งเตาแก๊ส LPG นี้สามารถให้ความร้อนได้มากกว่า 700 $^{\circ}$C และสามารถหาซื้อได้ง่ายจากท้องตลาด โดยแก๊สที่ใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงจะมีขนาด 4 kg ดังแสดงในภาพที่ 3.5 โดยสามารถนำปฏิกรณ์มาวางไว้ได้ ซึ่งปฏิกรณ์ในการทดลองนี้สร้างจากหม้อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 cm และมีความสูง 15 cm ดังแสดงในภาพที่ 3.6 และมีโครงสร้างของระบบไพโรไลซิสดังแสดงในภาพที่ 3.7 และ 3.8 ซึ่งท่อนำก๊าซนี้จะใช้ท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5/8 นิ้ว และหุ้มฉนวนแอร์โรเฟลกซ์กันความร้อนถ่ายเทออกจากท่อนำก๊าซ แล้วต่อท่อนี้ไปยังส่วนควบแน่นซึ่งเป็นระบบควบแน่นแบบสัมผัสโดยจะให้ปลายท่อทองแดงอยู่ต่ำจากระดับน้ำ 0.05 m ก๊าซที่ได้จะมีการสัมผัสกับน้ำหล่อเย็นโดยตรงและถ่ายเทความร้อนออกไปสู่น้ำหล่อเย็น และผลที่ได้นี้คือจะได้น้ำมันไพโรไลซิสที่แยกชั้นกับน้ำหล่อเย็นและไหลลงไปสู่ส่วนเก็บกักน้ำมัน

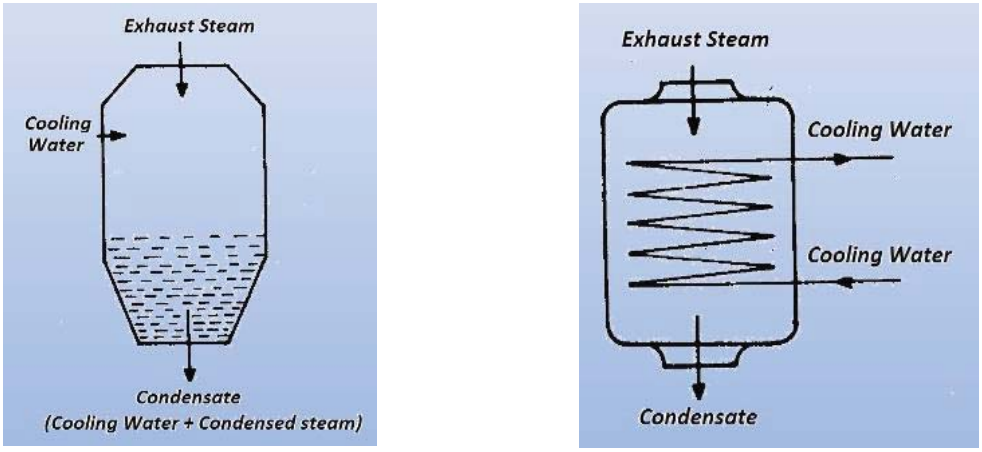


ภาพที่ 3.7 โครงสร้างของระบบไพโรไลซิสอย่างง่าย ที่ใช้ระบบควบแน่นก๊าซด้วยระบบควบแน่นแบบสัมผัส

ภาพที่ 3.8 ระบบไพโรไลซิสอย่างง่าย ที่ต่อสายวัดอุณหภูมิและเก็บผลข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล data logger รุ่น MT100

3.3.2 การออกแบบส่วนควบแน่น (Condensation)

ระบบการควบแน่นที่ใช้ในการระเหย แบ่งเป็นระบบควบแน่นพื้นผิว (Surface condenser) และระบบควบแน่นแบบสัมผัส (contact condenser) โดยที่ระบบการควบแน่นแบบพื้นผิวจะให้ความเย็นผ่านผนังกั้นเช่นเดียวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไป โดยให้ไอระเหยและน้ำระบายความร้อนไม่สัมผัสกันโดยตรง แต่เนื่องจากตัวเครื่องมีราคาสูง จึงใช้ในกรณีที่ต้องเดินเครื่องภายใต้สุญญากาศ (ความดันต่ำมากๆ) หรือกรณีที่ต้องนำของเหลวควบแน่นกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ให้น้ำเย็นเข้าไปปนกับของเหลวควบแน่น หรือต้องนำของเหลวควบแน่นออกไปแปรรูปต่อ ส่วนระบบการควบแน่นแบบสัมผัสเป็นเครื่องควบแน่นที่จะให้ไอระเหยสัมผัสกับน้ำโดยตรง ซึ่งจะมีการระบายความร้อนจำนวนมากและมีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและราคาถูก และยังมีประสิทธิภาพในการควบแน่นดีจึงเคยใช้กันมากที่สุดในการระเหย แต่ปัจจุบันเนื่องจากก่อปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารระเหยกับน้ำจะผสมกันและต้องมีกระบวนการแยกสารออกในภายหลัง ดังแสดงในภาพที่ 3.7 และ 3.9 ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการควบแน่นด้วยระบบการควบแน่นแบบสัมผัส (contact condenser) ซึ่งมีต้นทุนในการสร้างระบบที่ต่ำกว่าและง่ายต่อการใช้งานกว่าระบบการควบแน่นแบบพื้นผิว



(a) (b)

ภาพที่ 3.9 (a) แบบจำลองระบบควบแน่นพื้นผิว (Surface condenser) และ (b) ระบบควบแน่นแบบสัมผัส (contact condenser)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำวัตถุดิบที่จะใช้ในการทดลองนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นเป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนาวัตถุดิบมาตัดให้มีขนาดที่เล็กลง โดยมีขนาดทดลอง คือ 1.0 ถึง 2.0 cm^2 โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองคือพลาสติก ชนิด PP และโฟม ชนิด PS

3.4.2 การทดสอบการใช้งานเตาไพโรไลซีส

การพัฒนาเตาไพโรไลซีสอย่างง่าย ซึ่งได้ทำการออกแบบและจัดสร้างแล้วทำการทดสอบการใช้งาน โดยทดสอบสกัดน้ำมันดิบจากพลาสติก ชนิด PP (ถุงพลาสติก) น้ำหนัก 0.5 kg ด้วยจำนวนการสอดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง

3.4.3 การทดลองสกัดน้ำมันดิบจากเตาไพโรไลซีส

การทดลองสกัดน้ำมันดิบจากเตาไพโรไลซีส ด้วยวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองคือพลาสติก ชนิด PP และโฟม ชนิด PS เพื่อสกัดตัวอย่างและนำไปตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางฟิสิกส์และเคมีจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ

3.4.4 ศึกษาระบบการควบแน่นสัมผัส (contact condenser)

ในส่วนของการควบแน่นแก๊สระเหยที่ได้จากเตาปฏิกรณ์ จะสามารถตรวจวัดอุณหภูมิที่ได้เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และสามารถนำสู่ไปคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนได้ ตามสมการสมดุลพลังงานความร้อน สมการที่ (3.1)

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้สามารถวิเคราะห์ปริมาณตามในหัวข้อดังนี้

3.5.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบสกัดน้ำมันดิบจากพลาสติก ชนิด PP (ถุงพลาสติก) น้ำหนัก 0.5 kg จำนวนการสอดสอบทั้งหมด 4 ครั้ง โดยสามารถวิเคราะห์ด้วยจุดวัดอุณหภูมิดังแสดงในภาพที่ 3.8 และ 3.10

3.5.1.1 วิเคราะห์การใช้พลังงานความร้อนจากแก๊ส LPG ของเตาปฏิกรณ์

3.5.1.2 วิเคราะห์การถ่ายโอนความร้อนของส่วนควบแน่นด้วยวิธีการควบแน่นแบบสัมผัส

3.5.1.3 วิเคราะห์ปริมาณเชิงสถิติของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ได้ดังนี้

1. การหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ไม่ได้แจกแจงความถี่ $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$

2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD $= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[x_i - \bar{x}]^2}{n-1}}$

3.5.2 วิเคราะห์ปริมาณทางฟิสิกส์และเคมีน้ำมันดิบที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจากพลาสติก ชนิด PP และโฟม ชนิด PS ได้แก่ ค่าpH ปริมาณความหนาแน่น จุดวาบไฟ ค่าความร้อนการเผาไหม้แบบกรอส และปริมาณน้ำและตะกอน

3.5.3 การวิเคราะห์อัตราการถ่ายโอนความร้อนของส่วนควบแน่นแบบสัมผัสโดยจะใช้น้ำเป็นสารหล่อเย็น จะได้อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนต่อเวลาจากไอระเหยไปสู่น้ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) สมการสมดุลพลังงาน

$$q = \frac{[mc_p(T_H - T_C)]}{t} \qquad (3.1)$$

เมื่อ q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน [W]

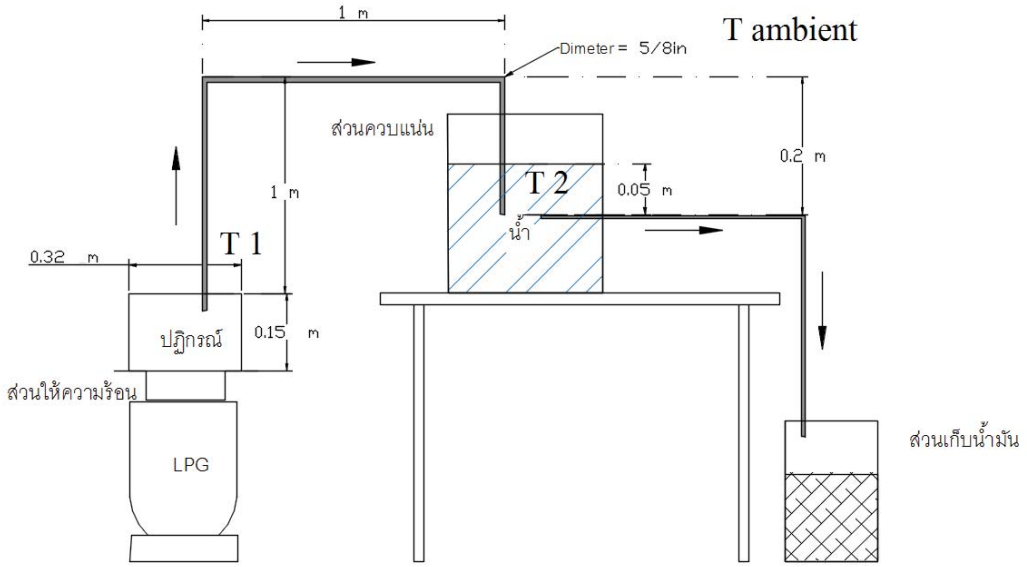
m คือ มวลของน้ำหล่อเย็น [kg]

c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ 4.187 kJ/kg.K

T_H คือ อุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้น [K]

T_C คือ อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น [K]

t คือ เวลาของการนำงานของส่วนควบแน่น [s]



ภาพที่ 3.10 จุดวัดอุณหภูมิเพื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบสกัดน้ำมันจากเตาไพโรไลซีส เมื่อ T1 คือ อุณหภูมิเฉลี่ยเตาปฏิกรณ์ (^{o}C), T2 คือ อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำหล่อเย็นของระบบความแน่นแบบสัมผัส (^{o}C), T water คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นเริ่มต้นที่ 29.8 ^{o}C และTambient คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (^{o}C)