j 4509

การสกัดน้ำมันจากขยะพลาสติกโดยอาศัยเตาเชื้อเพลิงชีวมวล

วีระพล อารวรรณ

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อ 1) ออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่เป็นต้นแบบเพื่อย่อยสลายขยะพลาสติกด้วยเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล 2) ทดลองหาจุดทำงานที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ที่สร้างขึ้นในกระบวนการย่อยสลายขยะพลาสติก วิธีดำเนินการวิจัยประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคัดเลือกและกำหนดเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลโดยศึกษาทฤษฎีต่างๆ เป็นข้อมูลจากเอกสาร ตำรา และสัมภาษณ์พูดคุยกับปราชญ์ชาวบ้านเกี่ยวกับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีใช้ในท้องถิ่นหนองจอกและดำเนินการคัดเลือกจากคุณสมบัติของเตาเผามาใช้ในการวิจัย ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนของการออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่เพื่อใช้ย่อยสลายขยะพลาสติก ขั้นตอนที่สาม ขั้นตอนของการเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ และวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด ขั้นตอนที่สี่ ขั้นทำการทดลองเพื่อรวบรวมข้อมูล ขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลหาจุดทำงานที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ในการย่อยสลายพลาสติกที่สร้างขึ้นเป็นต้นแบบโดยเลือกเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบเตาแกลบของท้องถิ่นหนองจอก เป็นตัวเผาเครื่องปฏิกรณ์เพื่อย่อยสลายขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมัน และได้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่บรรจุขยะพลาสติกที่จะใช้ย่อยสลายตามที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการเผาให้ความร้อนจนขยะพลาสติกสลายกลายเป็นน้ำมันที่อุณหภูมิ 397 C และกลายเป็นไอ (เป็นแก๊ส) 411 C ระยะเวลาในการเผาตั้งแต่เริ่มต้นจนกลายเป็นน้ำมันนาน 45 นาที และเป็นไอ (เป็นแก๊ส) นาน 60 นาที จำนวนเชื้อเพลิงชีวมวล (แกลบ ถ่านไม้) ที่ใช้ในการเผาคิดเป็นน้ำหนักถ่านไม้จำนวน 5 กิโลกรัม แกลบจำนวน 40 กิโลกรัม

คำสำคัญ : ขยะพลาสติก เครื่องปฏิกรณ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
E-mail : peg7999@yahoo.co.th

Oil Extraction from Plastic Waste by Biomass Stove

Veerapone Aravan

Abstract

The purposes of this research were to ;1) design and develop pyrolysis stove for master plan to digest Plastic waste with biomass stove. 2) to research appropriate work point of pyrolysis stove. There were 5 stage in the research procedure including; 1) select the biomass stove. 2) designing and developing pyrolysis stove for master plan to digest plastic waste with biomass stove. 3) preparing the material and instrument for use research. 4) Experimental and copy data. 5) Data analysis. The results of research, Research selected biomass stove type paddy husk stove of locality Nongjoak to burn pyrolysis stove in order to extract oil from plastic waste, and got pyrolysis stove according to design and construct. The experiment found that the temperature to digest plastic waste extraction oil at 397 °C and to be gas at 411°C, use the time 45 minutes and 60 minutes respectively. It used the paddy husk fuel biomass weigth 40 kgs. and wood charcoal 5 kgs.

Keywords : Plastic waste, Pyrolysis stove

Assistant Professor Faculty of Industrial Technology.
Phranakhon Rajabhat University
E-mail: peg7999@yahoo.co.th

ความสำคัญของปัญหา

พลาสติกเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันอย่างมาก เนื่องจากสามารถนำพลาสติกมาปรับปรุงสมบัติต่างๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้หลายประเภท จึงมีการใช้พลาสติกในปริมาณมากทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องจากขยะพลาสติก ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์พลาสติกเกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติได้ยาก จึงมีการศึกษาการสลายตัวของพลาสติกเพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นรวมถึงการนำกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน (สมไทย วงษ์เจริญ. 2543 :) ในสภาวะที่เชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งนับวันจะลดน้อยลงและมีราคาสูงขึ้น ขยะพลาสติกในฐานะนำมาสร้างหรือพัฒนาเป็นพลังงานหมุนเวียนทดแทน เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ผลิต ผลิตน้ำมันได้เช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากขยะพลาสติกมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอย่างหนึ่งเช่นเดียวกับน้ำมัน เพียงแต่ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่มีค่าน้อยกว่า น้ำมันดีเซลจะมีคาร์บอน 12-20 ตัว เบนซินจะมี 6 -12 ตัว เพียงแต่พลาสติกจะมีโซ่พันธะโครงสร้างที่ยาวมากมีคาร์บอนเป็นพันเป็นหมื่นตัวขึ้นอยู่กับชนิดของโพลีเมอร์นั้นๆ (ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และ สาโรช ฐิติเกียรติพิพงศ์. 2539 : 238) การที่จะเปลี่ยนให้เป็นน้ำมันได้ก็จะต้องตัดโซ่ให้สั้นลง กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะสามารถแตกสลายพันธะนี้ได้

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำเอาขยะพลาสติกมาแปรรูปย่อยสลายเป็นน้ำมันตามกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่เป็นต้นแบบ เพื่อย่อยสลายขยะพลาสติกด้วยเตาเผาเชื้อเพลิง ชีวมวล
2. ทดลองหาจุดทำงานที่เหมาะสมของเครื่องปฏิกรณ์ที่สร้างขึ้นในกระบวนการย่อยสลายขยะพลาสติก

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ กระบวนการการย่อยสลายด้วยความร้อนในที่อับอากาศ
2. เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass fuel) คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากวัสดุทางการเกษตร เช่น แกลบ ไม้ฟืน ฟางหญ้า เป็นต้น
3. ขยะชุมชน คือ ขยะพลาสติกเก่าประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เคยใช้บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ต้องการใช้และมีความต้องการที่จะทำลายทิ้งไปโดยไม่ให้เกิดมลภาวะ
4. เครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่ คือ เครื่องปฏิกรณ์ที่ค้างติดตั้งแบบฝังลงไปในเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในระดับที่คงที่ไม่ให้ขยับได้ขณะทำการเผาให้ความร้อน เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้บรรจุขยะพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกเท่าที่ไม่ใช้แล้วมาเผาให้ความร้อนจนขยะพลาสติกย่อยสลายในที่อับอากาศโดยไม่เกิดมลภาวะ

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ จากเอกสาร ตำรา นักทดลองโดยนำมาเสนอตาม

หัวข้อต่อไปนี้ ความหมายของพลาสติก ลักษณะของพลาสติกประเภทของพลาสติก การคัดแยกประเภทชนิดของพลาสติกและที่มาของพลาสติกเก่า กระบวนการแปรรูปพลาสติกเก่าให้กลับมาใช้ใหม่ กระบวนการเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมันเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล เครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยลักษณะการวิจัยแบบทดลองมีการดำเนินงาน 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและและกำหนดเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล

1.1 ศึกษาทฤษฎีต่างๆ เป็นข้อมูลจากเอกสาร ตำรา และพิจารณาสภาพพื้นที่ที่จะใช้ในการวิจัย คือ ต้องมีสภาพเป็นชนบท สะดวกในการทำวิจัยของผู้วิจัย จัดหาเชื้อเพลิงชีวมวลได้ง่าย เช่น แกลบ ไม้ฟืน กิ่งไม้ ถ่านไม้ โดยไม่ต้องซื้อ และมีเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลใช้อยู่ในท้องที่นั้น ผู้วิจัยเห็นว่าท้องถิ่นหนองจอกมีความเหมาะสมมากที่จะทำการวิจัย ได้พบปะพูดคุยกับปราชญ์ชาวบ้านที่ใครๆ ก็รู้จักในพื้นที่แถบคลอง 12 หนองจอก ทุกคนแถบนั้นรู้จักกันดี ในนามคุณลุงเฮียธง เป็นผู้ซึ่งมีความรู้เรื่องเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลของหนองจอกเป็นอย่างดี สรุปข้อมูลจากการศึกษาพบว่าเตาเผาเชื้อเพลิง ชีวมวลของท้องถิ่นหนองจอกมีอยู่ 3 แบบ คือ

1.1.1 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบเตาอั้งโล่

1.1.2 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบเตาแกลบ

1.1.3 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบเตาแก๊ส

1.2 คัดเลือกความเหมาะสม ชนิด แบบ และขนาดเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลของท้องถิ่นหนองจอก โดยมีเกณฑ์การคัดเลือก ดังนี้

1.2.1 พิจารณาจากคุณสมบัติของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละแบบในด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเตา

1.2.2 พิจารณาจากโครงสร้างตัวเตาเผาที่จะต้องทนทานต่อความร้อนสูงมีศักยภาพสามารถรับความร้อนสูงๆ ได้ไม่แตกสลาย

1.2.3 ด้านการให้ความร้อนและนำความร้อนสามารถทำอุณหภูมิสูงได้อย่างรวดเร็ว

1.2.4 ด้านขนาดและรูปร่างตัวเตาเผาจะต้องเหมาะสมที่จะไปสร้างเครื่องปฏิกรณ์เป็นต้นแบบใช้ทดลอง

1.2.5 ราคาต้องไม่แพง

1.3 ผู้วิจัยกำหนดเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลของท้องถิ่นหนองจอกแบบเตาแกลบใช้ในการวิจัยมีขนาดความใหญ่โตขนาดกลางเป็นไปตามเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้ เป็นเตาที่ผลิตจากการหล่อในแบบด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กเส้น 6 มม. ขนาดความกว้างของเตา 27 ซม. ความยาว 100 ซม. ความสูงตัวเตา 38.5 ซม. ความหนา 5 ซม. ช่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดความกว้าง 17 ซม. สูง 35 ซม. ห้องเผาไหม้ให้ความร้อนภายในเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกตัวเตา 50 ซม. ปล่องระบายควันหล่อด้วยปูนผสมทรายเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 ซม. มีความยาว (ความสูง) 100 ซม. ต่อ 1 ท่อน ราคาชุด

เตาเผานี้ทั้งหมด 1,000 บาท

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่เพื่อย่อยสลายขยะพลาสติก

2.1 ออกแบบเขียนแบบกำหนดขนาดสัดส่วน กำหนดวัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่

2.1.1 เกณฑ์การออกแบบเขียนแบบกำหนดขนาด จะใช้เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผู้วิจัยคัดเลือกไว้เป็นหลักในการออกแบบเขียนแบบกำหนดขนาดซึ่งจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมที่เครื่องปฏิกรณ์จะเข้าไปอยู่ในช่องการให้ความร้อนของเตาเผาชีวมวลได้ไม่คับเกินไปหรือหลวมเกินไป ได้รูปแบบและขนาดดังนี้ เป็นเครื่องปฏิกรณ์มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกโครงสร้างทั้งหมดมีชิ้นส่วนอยู่ 2 ชิ้น คือ ชิ้นส่วนตัวเครื่องกับชิ้นส่วนฝาปิดชิ้นส่วนตัวเครื่องเป็นกระบอกกลมเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 30 ซม. ความสูงของตัวเครื่อง (ความลึก) 30 ซม. ด้านบนขอบข้างตัวเครื่องทำเป็นบ่ารับฝาปิดโดยรอบมีความกว้าง 10 ซม. ฝาปิดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม.

2.1.2 กำหนดวัสดุในการสร้างเครื่องปฏิกรณ์

- ท่อเหล็กความหนา 5 ม.ม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. ยาว 30 ซม. จำนวน 1 ชิ้น
- เหล็กแผ่นหนา 5 ม.ม. ขนาด 50 ซม. × 50 ซม. จำนวน 2 แผ่น
- ลวดเชื่อมไฟฟ้า 3.2 ม.ม. จำนวน 1 กล่อง
- โบลท์พร้อมน๊อต ขนาดเบอร์ 14 ยาว 2.5 ซม. จำนวน 6 ตัว
- แหวนอีแปะและแหวนสปริง ขนาดเบอร์ 14 ยาว 2.5 ซม. จำนวน 6 ตัว
- กระดาษทรายเบอร์ 240 จำนวน 6 แผ่น
- สีสเปรย์ สีดำ จำนวน 6 กระป๋อง

2.2 สร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่ตามที่ได้ออกแบบเขียนแบบไว้ ขั้นตอนการสร้างมีดังนี้

2.2.3 นำวัสดุเหล็กแผ่นขนาด 50 ซม. × 50 ซม. ความหนา 5 มม. จำนวน 1 แผ่น มาตัดเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. เพื่อทำเป็นฝาปิดเครื่องปฏิกรณ์

2.2.4 นำแผ่นเหล็กอีก 1 แผ่น ขนาด 50 ซม. × 50 ซม. ความหนา 5 มม. อีก 1 แผ่น มาตัดเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. และในแผ่นเหล็กเดียวกันนี้เจาะตัดเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม.

2.2.5 นำท่อเหล็กความหนา 5 มม. ทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. ยาว 30 ซม. เชื่อมปิดด้วยแผ่นเหล็กหนา 5 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. ที่ตัดเตรียมไว้จะได้เป็นตัวเครื่องปฏิกรณ์มีลักษณะเป็นกระป๋องที่ยังไม่มีบ่ารับฝาปิด

2.2.6 นำตัวเครื่องปฏิกรณ์ที่มีลักษณะเป็นกระป๋องที่ยังไม่มีบ่ารับฝาปิดมาเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กที่เหลือที่มีลักษณะเป็นแหวนอีแปะความหนา 5 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 50 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 30 ซม. ความกว้างเป็นวงรอบกว้าง 10 ซม. เมื่อเชื่อมเสร็จจะกลายเป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่มีบ่ารับฝาปิด

2.2.7 ทำการติดตั้งหูฝาปิดและติดตั้ง

อุปกรณ์เครื่องมือวัดอุณหภูมิและเกจวัดความดันไอที่บนฝาเครื่องปฏิกรณ์

2.2.8 ได้เครื่องปฏิกรณ์ที่เสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะไปทดสอบ (Try Out) เพื่อหาข้อบกพร่องและนำมาปรับปรุงแก้ไข

ขั้นตอนที่ 3 จัดเตรียมเครื่องมือ/อุปกรณ์/วัตถุดิบ ที่ใช้ในการวิจัยและทดลอง

1.1 จัดเตรียมเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้คัดเลือกไว้ใช้ในการวิจัย

1.2 จัดเตรียมเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่ที่ได้สร้างขึ้นใช้ในการวิจัย

1.3 เตรียมวัตถุดิบ (ขยะพลาสติก) ประเภทเทอร์โมพลาสติกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เตรียมไว้ 30 กก.

1.4 เตรียมเชื้อเพลิงชีวมวล (แกลบ + ถ่านไม้) แกลบ จำนวน 30 กก. ถ่านไม้จำนวน 20 กก.

1.5 เตรียมเครื่องชั่งน้ำหนัก

1.6 เตรียมเครื่องมือวัดอุณหภูมิ (เทอร์โมคับเปิ้ล) และเกจวัดความดันไอติดตั้งบนฝาปิดเครื่องปฏิกรณ์

1.7 เตรียมกระบอกตวงเพื่อวัดปริมาณน้ำมัน

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดลอง / เก็บรวบรวมข้อมูลในการทดลอง

1.1 ทำการทดลอง 2 ครั้ง

1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลสิ่งที่ต้องเก็บจดบันทึก

1.2.1 ปริมาณขยะพลาสติกที่ใช้ทดลองย่อยสลายวัดด้วยวิธีชั่งน้ำหนัก

1.2.2 ปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ไปในการทดลองวัดด้วยวิธีชั่งน้ำหนัก

1.2.3 วัดอุณหภูมิการเผาให้ความร้อนเป็นองศาเซลเซียสด้วยเทอร์โมคับเปิ้ล

1.2.4 จับระยะเวลาการให้ความร้อนเพื่อดูผลที่เกิดขึ้นด้วยนาฬิกาจับเวลา

1.2.5 วัดปริมาณน้ำมันที่ได้ด้วยกระบอกตวง

4.3 สถานที่ทำการทดลองเลขที่ 44/7 หมู่ 2 แขวงลำต้อยติ่ง เขตหนองจอก กรุงเทพฯ

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1.1 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคัดเลือกและกำหนดเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล

1.2 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่

1.3 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

1.3.1 จับวัดอุณหภูมิในการเผาขยะพลาสติกจนย่อยสลายเป็นน้ำมันและก๊าซ

1.3.2 จับระยะเวลาในการเผาจนถึงอุณหภูมิที่ขยะพลาสติกย่อยสลายกลายเป็นน้ำมันและก๊าซ

1.3.3 จำนวนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ไปในการทดลอง (แกลบ, ถ่านไม้) เผาขยะพลาสติกจนย่อยสลายกลายเป็นน้ำมันและก๊าซ

1.3.4 จำนวนผลผลิตที่ได้

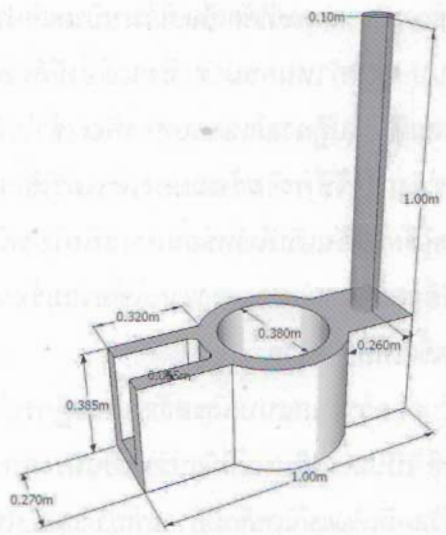
1.4 การแปรผลข้อมูลจะอธิบายเป็นความเรียง

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

1. คัดเลือกและกำหนดเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล

การศึกษาข้อมูลเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลภูมิปัญญาชาวบ้าน ที่ผลิตขายและใช้อยู่ในชีวิตประจำวันได้พูดคุยกับปราชญ์ชาวบ้านท้องถิ่นเขตหนองจอกกรุงเทพมหานคร พบว่าเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลมีอยู่ 3 แบบ คือ 1. เตาอั้งโล่ 2. เตาแกลบ 3. เตาแก๊สชีวมวล ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกจากคุณสมบัติของเตาเผาเชื้อเพลิงแต่ละแบบในด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเตา ด้านความทนทานต่อความร้อนสูง ด้านการให้ความร้อนและนำความร้อนได้รวดเร็ว

ผลการคัดเลือกได้เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบชนิดเตาแกลบของท้องถิ่นคลองสิบสองเขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร มาใช้ในการวิจัย เป็นเตาที่ผลิตจากการหล่อในแบบด้วยคอนกรีตเสริม เหล็กเส้น 6 มม. ขนาดความกว้างของเตา 27 ซม. ความยาว 100 ซม. ความสูงตัวเตา 38.5 และความร้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 38 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกตัวเตา 50 ซม. ปล่องระบายควันหล่อด้วยปูนผสมทรายเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 ซม. มีความยาว (ความสูง) 100 ซม. ต่อ 1 ท่อน ดังภาพที่แสดงต่อไปนี้หนา 5 ซม. ช่องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลขนาดความกว้าง 17 ซม. สูง 35 ซม. ส่วนห้องเผาไหม้ให้ความร้อนขนาดศูนย์กลางภายใน 38 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกตัวเตา 50 ซม. ปล่องระบายควันหล่อด้วยปูนผสมทรายเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 ซม. มีความยาว (ความสูง) 100 ซม. ต่อ 1 ท่อน ดังภาพที่แสดงต่อไปนี้



ภาพที่ 1 แบบรูปทรงและขนาดของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล แบบเตาแกลบของท้องถิ่นหนองจอก ที่ผู้วิจัยคัดเลือกใช้ในการวิจัย

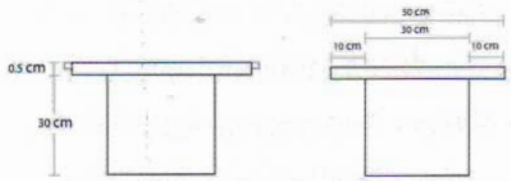
ภาพที่ 2 ภาพถ่ายเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบเตาแกลบของท้องถิ่นหนองจอก ที่ผู้วิจัยคัดเลือกใช้ในการวิจัย

2. ออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่เพื่อย่อยสลายขยะพลาสติก

การออกแบบและสร้างเตาปฏิกรณ์แบบเบทคงที่เพื่อย่อยสลายขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมัน (ในกระบวนการ Pyrolysis) ผู้วิจัยใช้เตาเผาเชื้อเพลิง

ชีวมวลแบบเตาแกลบที่คัดเลือกไว้มาเป็นหลักในการออกแบบ และกำหนดขนาด ซึ่งจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมที่เตาปฏิกรณ์แบบเบทคงที่จะเข้าไปฝังตัวอยู่ในช่องการให้ความร้อนของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลได้ ไม่คับเกินไปหรือหลวมเกินไปหรือลึกเกินไปซึ่งจะมีผลต่อการเผาและให้ความร้อนของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล

ผลการออกแบบและสร้างเตาปฏิกรณ์แบบเบทคงที่ เป็นเตาปฏิกรณ์ที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกกลมใช้วัสดุที่เป็นแผ่นเหล็กมีความหนา 5 มม. ในการสร้างทั้งหมดมีชิ้นส่วนอยู่ 2 ชิ้น คือ ชิ้นตัวเตากับชิ้นส่วนฝาปิด ตัวเตาเป็นทรงกระบอกกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 30 ซม. ความสูงของตัวเตา (ความลึก) 30 ซม. ด้านบนขอบข้างของตัวเตาเชื่อมด้วยเหล็กมีความหนา 5 มม. เท่ากันทำเป็นบ่ารับฝาปิดเตาโดยรอบมีความกว้าง 10 ซม. ฝาปิดเตาทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 5 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. เจาะรูทำเกลียวเพื่อติดตั้งท่อนำแก๊สและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ (เทอร์โมคับเปิ้ล) ฝาปิดเตาเจาะรูทะลุถึงบ่ารับของตัวเตายึดด้วยสกรูและน็อตจำนวน 2 จุด ให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยากับขยะพลาสติกที่บรรจุอยู่ภายในเตาได้ (ที่อับอากาศ) ดังภาพที่แสดงต่อไปนี้



ภาพที่ 3 แสดงแบบรูปทรงและขนาดของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่ ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ

3. ผลการทดลองได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลข้อมูลการทดลอง

เวลา	อุณหภูมิ°C	เชื้อเพลิงที่ใช้		ผลที่เกิดขึ้น	หมายเหตุ
		ถ่าน	แกลบ		
13.30 น.	-	P	P	-	เริ่มทดลอง
13.45 น.	39°	P	P	-	-
14.00 น.	91°	P	-	-	-
14.08 น.	200°	P	P	-	ทำการเร่งไฟให้ความร้อนใช้เชื้อเพลิง 2 อย่างพร้อมกัน ตัวเตาปฏิกรณ์สังเกตมีสีแดงอร่ามอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว
14.11 น.	377°	P	P	-	
14.12 น.	392°	P	P	-	
14.15 น.	397°	P	P	เริ่มมีน้ำมันไหลออกมาเล็กน้อยสามารถวัดได้ ½ ถ้วย หรือประมาณ 2 oz	น้ำมันเล็ดลอดออกมาตามแนวฝาปิดเตา 2 จุด
14.30 น.	411°	P	P	มีแก๊สพุ่งออกมาตามท่อนำไอ แก๊สสามารถจุดไฟได้	
14.32 น.	410°	-	-		ชลอไฟและลดความร้อนจนเสร็จการทดลองได้คาร์บอนเป็นถ่านของขยะพลาสติกหนัก1.5 กก.

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการเผาให้ความร้อนขยะพลาสติกจนสลายกลายเป็นน้ำมันที่อุณหภูมิ 397 °C และเป็นไอแก๊สสามารถจุดไฟได้ที่อุณหภูมิ 411 °C รวมระยะเวลาที่ใช้ในการเผานาน 45 นาที และ 60 นาที จำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้ไปทั้งหมดคิดเป็นน้ำหนักที่ใช้ไปแกลบ 40 กก. ถ่าน 5 กก. และได้คาร์บอนหรือถ่านของขยะพลาสติกคิดเป็นน้ำหนัก 1.5 กก. ได้ของเหลว (น้ำมัน) 2 oz

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. ได้เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบเตาแกลบของห้องถิ่นหนองจอกมีขนาดของห้องป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล กว้าง 17 ซม. ความสูง 35 ซม. ความกว้างของตัวเตา 27 ซม. ความสูงของตัวเตา 38.5 ซม. ความยาวตลอดตัวเตา 100 ซม. ห้องให้ความร้อนและเก็บความร้อน (ห้องเผาไหม้) เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 38 ซม. ปล่องระบายควันเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. ตัวเตาผลิตจากซีเมนต์ผสมทรายเสริมด้วยเหล็กเส้นขนาด 6 มม. หล่อลงในแบบที่ทำจากแผ่นเหล็ก เพื่อใช้เป็นเตาเผาเครื่องปฏิกรณ์ในการย่อยสลายขยะพลาสติกในที่อับอากาศ

2. ได้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่สำหรับบรรจุขยะพลาสติกเพื่อใช้ย่อยสลายขยะพลาสติกที่ทำจากแผ่นเหล็กหนา 5 มม. มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ขอบรองรับ ฝาปิดเป็นวงกลมโดยรอบมีขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ฝาปิดทำด้วยแผ่นเหล็กขนาดหนา 5 มม. เท่ากับตัวเตา บนฝาปิดเจาะเป็นรูทำเกลียวเพื่อติดตั้งเทอร์โมคับเปิ้ลและท่อนำไอ

3. ผลการทดลองเผาเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่ที่บรรจุขยะพลาสติกไว้ในตัวเตา (ที่อับอากาศ) ด้วยเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อหาจุดทำงานที่เหมาะสมในกระบวนการย่อยสลายขยะพลาสติก พบว่า

3.1 อุณหภูมิในการเผาให้ความร้อนกับขยะพลาสติกจนสลายกลายเป็นน้ำมันที่อุณหภูมิ 397 °C และเป็นไอ (เป็นแก๊ส) ที่อุณหภูมิ 411 °C

3.2 ระยะเวลาในการเผาให้ความร้อนขยะพลาสติกจนกลายเป็นน้ำมันนาน 45 นาที และเป็นไอ (เป็นแก๊ส) นาน 60 นาที

3.3 จำนวนเชื้อเพลิงชีวมวล (แกลบ + ถ่านไม้) ที่ใช้ไปในการเผาให้ความร้อนขยะพลาสติกจนกลายเป็นน้ำมันและไอแก๊ส จำนวนถ่านไม้ 5 กก. แกลบ จำนวน 40 กก.

3.4 ได้ของเหลว (น้ำมัน) 2 oz.

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นไปได้ในผลผลิตที่เกิดขึ้น คือได้ผลผลิตที่เป็นแก๊ส น้ำมันและคาร์บอน (ถ่าน) ที่เป็นของแข็งอันเป็นไปตามสมมติฐานในการวิจัยที่ตั้งไว้ ในกระบวนการไพโรไลซีส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการย่อยสลายด้วยความร้อนในที่อับอากาศ ซึ่งกระบวนการนี้จะกระทำอย่างได้ผลจะมีตัวแปรที่สำคัญอยู่ 2 ตัว ในระบบ คือ อุณหภูมิของการไพโรไลซีสและอัตราความเร็วในการทำให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ให้ความร้อนมีอุณหภูมิถึงระดับไพโรไลซ์ที่

ต้องการโดยเร็วที่สุดประมาณ 300 – 500 °C ในระยะเวลาไม่ควรเกิน 1 ชม. การเลือกของตัวแปรด้านระดับอุณหภูมิและอัตราความเร็วของการให้ความร้อนจะเป็นตัวกำหนดลักษณะผลผลิตที่ได้ (http:www. dowiseasia.com/Pyrolysis_plant. htm17/12/2553) ผู้วิจัยได้คัดเลือกเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบชนิดเตาแกลบของท้องถิ่นคลองสิบสองหนองจอก เนื่องจากได้ศึกษาข้อมูลด้านวัสดุที่ใช้ในการผลิตเตา ด้านให้ค่าความร้อนและความทนทานจากการเผาที่อุณหภูมิสูงเตาแบบและชนิดนี้น่าจะทนได้ไม่พังเสียหาย

สำหรับการออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่เพื่อบรรจุขยะพลาสติกไว้ภายในปิดฝาสนิทไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้าได้ (ที่อับอากาศ) ในขณะเผาให้ความร้อนใช้เทคนิคเครื่องเผาถ่านของภูมิปัญญาชาวบ้าน เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบเตาแกลบจะใช้เชื้อเพลิงที่เป็นแกลบ+ถ่านไม้ เผาเครื่องปฏิกรณ์ที่บรรจุขยะพลาสติกไว้ภายในด้วยความร้อนที่สูงและรวดเร็ว เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลจะต้องทนทานได้และเร่งความร้อนให้รวดเร็วได้ เครื่องปฏิกรณ์ก็จะต้องรับความร้อนและอมความร้อนในระยะเวลาที่รวดเร็วเช่นกัน ผู้วิจัยจึงเลือกวัสดุที่เป็นเหล็กมีความหนา 5 มม. มาทำเป็นตัวเตาเพราะเห็นว่าจะสามารถรับความร้อนได้รวดเร็วและอมสะสมความร้อนไว้ในระยะเวลาสั้นๆ ได้ สำหรับแบบและขนาดจะต้องสัมพันธ์กับเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล การเผาทดลองครั้งนี้มีจุดบกพร่องในส่วนของฝาปิดเครื่องยังไม่สามารถควบคุมไม่ให้อากาศเข้าได้ 100% ซึ่งสังเกตได้จากขณะเผาจนอุณหภูมิถึง 411 °C จะมีไอควันแก๊สพ่นออกมาตามท่อนำไอ และมีบางส่วนเล็ดลอดออกตามแนวขอบฝาปิดเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งจะต้องมีการแก้ไขและพัฒนาต่อไป

การทดลองสกัดน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยการย่อยสลายพันธะของพลาสติกให้กลายเป็นพลังงานทางเลือก (น้ำมัน แก๊ส) ในรูปแบบกระบวนการไพโรไลซิส ผู้วิจัยมีความเห็นว่าสามารถทำได้ในทุกท้องถิ่นที่มีวัตถุดิบโดยเฉพาะตามชุมชนที่เป็นชนบท เนื่องจากกระบวนการนี้ใช้ความร้อนในการเผาที่อุณหภูมิต่ำ (ไม่สูงมากนัก) และวัตถุดิบเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น แกลบ กิ่งไม้ ใบไม้มีมาก ต่างจากกระบวนการเทอร์มอลดีโพลีเมอไรเซชั่น (Thermal depolymerization) หรือ TDP ซึ่งต้องใช้ความร้อนอุณหภูมิและแรงดันที่สูง เทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการนี้ประเทศไทยยังไม่มีผู้ใดกระทำได้สำเร็จอยู่ระหว่างการค้นคว้าซึ่งต้องใช้ต้นทุนและความรู้ขั้นสูง (เจริญ นาคะสรรค์. 2542 : 40)

จากการทดลองเผาเครื่องปฏิกรณ์แบบเบทคงที่ที่บรรจุขยะพลาสติกไว้ในตัวเครื่องปฏิกรณ์ (ที่อับอากาศ) ด้วยเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมล ได้ผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันและเป็นแก๊สที่อุณหภูมิ 397 °C และอุณหภูมิ 411 °C แก๊สที่ได้เป็นแก๊สมีเทน (CH_4) ซึ่งทดสอบได้ด้วยการติดไฟแก๊สสามารถติดไฟ (ดังภาพที่ 4) น้ำมันที่ได้เป็นเพนเทน (C_5H_{12}) สภาพเป็นของเหลว พาราฟิน ($C_{18}H_{38}$) มีสีเหลืองอ่อนสภาพเป็นกึ่งเหลว (Gel) และเป็นกากเถ้าถ่านคาร์บอนด์ (C) ที่เกิดจากการย่อยสลายพันธะของพลาสติก โดยปกติการเกิดพลาสติกนั้นจะประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเป็นธาตุหลักและจะจับตัวกับธาตุอื่นๆ ปัจจุบันนักเคมีได้ใช้ธาตุเพียง 8 ธาตุ

จากร้อยกว่าธาตุที่มีอยู่เพื่อจับตัว กับคาร์บอนเป็นพลาสติกชนิดต่างๆ กว่าพันชนิด ธาตุ 8 ธาตุเหล่านี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงทั้งน้ำหนักอะตอมและความสามารถในการเกาะตัว (Energy bonding Capacities) กล่าวคือ ขีดแต่ละขีดข้างๆ สัญลักษณ์ของธาตุแต่ละตัวแสดงถึงแขนที่สามารถยึดเกาะกับอะตอมของธาตุเดียวกันหรือธาตุอื่นๆ ได้อีก 1 ตัว เพื่อให้ได้เป็นโมเลกุลที่มีเสถียรภาพ

ตารางที่ 2 กลุ่มธาตุที่ใช้สังเคราะห์พลาสติกหรือโพลิเมอร์

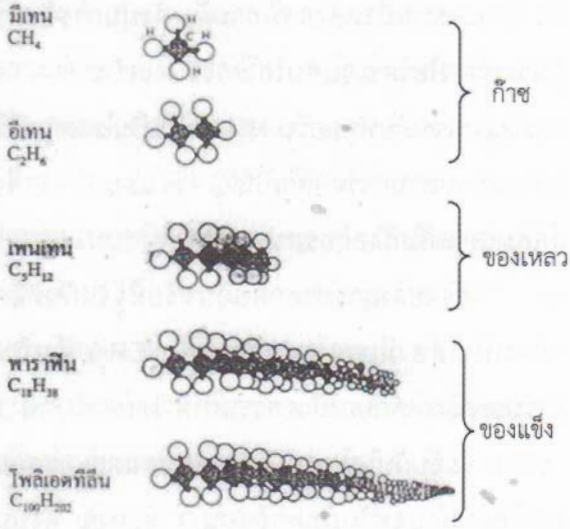
ธาตุ	น้ำหนักอะตอม	จำนวนแขนยึดเกาะ
ไฮโดรเจน (H)	1	H-
คาร์บอน (C)	12	- C -
ไนโตรเจน (N)	14	- N -
ออกซิเจน (O)	16	- O -
ฟลูออรีน (F)	19	- F
ซิลิคอน (Si)	29	- Si -
กำมะถัน (S)	32	- S -
คลอรีน (Cl)	35	- Cl -

ที่มา : ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และสาโรช ฐิติเกียรพิพงศ์. 2539. : 237

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงการรวมตัวของอะตอมเหล่านี้ จะก่อให้เกิดโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นและมีโครงสร้างที่สลับซับซ้อน อย่างไรก็ตามอะตอมแต่ละอะตอมจะรวมตัวกันได้หรือไม่นั้นก็ขึ้น อยู่กับพลังการเกาะตัว (Energy Bonds) และทุกๆ อะตอมในโมเลกุลที่มีเสถียรภาพจะต้องใช้พลังงานเกาะตัวจนหมด เช่น ไฮโดรเจนจับกับอะตอมอื่นได้เพียงตัวเดียว ในขณะที่คาร์บอนต้องจับกับอะตอมอื่นๆ ถึง 4 ตัว จึงจะครบหนึ่งพลังการเกาะตัว ดังนั้นการจับตัวกันระหว่างไฮโดรเจนกับไฮโดรเจนจะเป็น H – H และไฮโดรเจนกับฟลูออรีน H – F จึงเป็นโมเลกุลที่มีเสถียรภาพ ส่วนการจับตัวเป็น C – H และ Si – C จึงเป็นโมเลกุลที่ไม่มีเสถียรภาพ

ตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ที่รู้จักกันดีอีกชนิดหนึ่ง คือ มีเทน (Methane : CH_4) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักของก๊าซธรรมชาติ โดยคาร์บอน 1 อะตอม จะจับกับไฮโดรเจน 4 อะตอม แต่ละอะตอมของไฮโดรเจนจะจับกับคาร์บอน 1 อะตอม ดังนั้นพลังงานการเกาะตัวจึงใช้ไปทั้งหมด และสารประกอบนี้จึงเป็นสารประกอบที่สมบูรณ์และมีเสถียรภาพ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับน้ำหนักรวมของอะตอมของธาตุที่ประกอบกันเป็นมีเทน คือ 16 หากเติมธาตุคาร์บอนให้กับมีเทนหลายๆ อะตอม แล้วเติมธาตุไฮโดรเจนให้ครบถ้วนกับแขนที่เหลือของคาร์บอน ก็จะได้โมเลกุลที่หนักขึ้น เช่น ได้ก๊าซอีเทน(Ethane : C_2H_6) ซึ่งจะหนักกว่ามีเทนเพราะมีธาตุคาร์บอนมากกว่า 1 อะตอม และธาตุไฮโดรเจน 2 อะตอม รวมแล้วก๊าซอีเทนจะมีน้ำหนักโมเลกุลเป็น 30 โดยทำนองเดียวกันน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบกลุ่มนี้ จะเพิ่มขึ้นเป็นอนุกรมพีชคณิตที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 14 (เป็นน้ำหนักของธาตุคาร์บอน 1 อะตอมและธาตุไฮโดรเจน 2 อะตอม) จนกระทั่งเป็นสารประกอบของเพนเทน (C_5H_{12} : Pen thane) หากเพิ่มกลุ่ม CH_2 เข้าไปอีกเรื่อยๆ จะทำให้สารประกอบใหม่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเมื่อเป็น $C_{18}H_{28}$

สารประกอบที่เกิดขึ้นก็จะเป็นของแข็งมีชื่อว่าพาราฟินหรือขี้ผึ้งพาราฟิน (Paraffin wax) ดังแสดงในภาพ 5



ภาพที่ 5 แสดงการเจริญเติบโตของพลาสติกหรือโพลิเมอร์

ที่มา : ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา และสาโรช ฐิติเกียรติพิพงศ์, 2539. : 238

ขณะที่โมเลกุลมีความยาวและมีน้ำหนักมากขึ้น ขี้ผึ้งพาราฟินที่กล่าวข้างต้นจะแข็งแรงและหยุ่นมากขึ้น เช่น $C_{100}H_{202}$ เป็นวัสดุที่หยุ่นพอจะเรียกเป็นพลาสติกได้ $C_{100}H_{200}$ นี้คือ โพลิเอทธีลีนที่มีน้ำหนักในโมเลกุลต่ำ และเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด เมื่อเพิ่ม CH_2 เข้าไปเรื่อยๆ โมเลกุลของกลุ่มก็จะเพิ่มความแข็งความหยุ่นขึ้นไปอีก โพลิเอทธีลีนที่มีความหยุ่นที่สุดประกอบด้วย CH_2 เกือบห้าแสนกลุ่มและมีชื่อว่า โพลิเอทธีลีนชนิดน้ำหนักโมเลกุลมากพิเศษ (Ultrahigh–Molecular–WeightPolyethylene)

จะเห็นได้ว่าการเกิดพลาสติกหรือโพลิเมอร์ได้นั้นจะต้องใช้ห่วงโซ่ที่ยาวมากมีคาร์บอนเป็นพันเป็นหมื่นตัวขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกหรือโพลิเมอร์นั้นๆ ในทำนองกลับกันหากฉุกคิดย้อนกลับอยากให้พลาสติกหรือโพลิเมอร์ กลับเป็นธาตุตั้งต้นดั้งเดิมคือเป็นน้ำมันหรือเป็นแก๊สเราก็จะต้องตัดห่วงโซ่ของการเกาะยึดให้สั้นลงกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการที่สามารถแตกสลายพันธะห่วงโซ่ของการเกาะยึดนี้ กระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการเผาให้ความร้อนกับพลาสติกในที่อับอากาศ (ไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยาได้) ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องออกแบบและสร้างเครื่องปฏิกรณ์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวิจัยโดยบรรจุขยะพลาสติกและนำไปเผาให้ความร้อนเพื่อย่อยสลายขยะพลาสติกตัดโซ่การเกาะยึดโมเลกุลของธาตุให้สั้นลงโดยที่อากาศภายนอกไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับพลาสติกที่บรรจุอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ได้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ทำมีวิธีอย่างไรที่จะควบคุมไม่ให้แก๊สและน้ำมันที่ได้จากการย่อยสลายเล็ดลอดออกมาทางฝาปิดเครื่องปฏิกรณ์

2. เห็นควรให้มีการใช้เวลาการทดลองเผาให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นและนานขึ้นเพื่อดูผลสมรรถนะความทนทานและสมบัติของเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลแบบชนิดเตาแกลบของท้องถิ่นคลองสิบสอง เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร

3. เห็นควรนำแนวคิดการสกัดน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยเตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลไปขยายผลและพัฒนาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

เจริญ นาคะสรรค์. (2542). **กระบวนการแปรรูปพลาสติก.** กรุงเทพฯ : เม็ดสีการพิมพ์

ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยาและสาโรช ฐิติเกียรติพิพงศ์. (2539). **วัสดุศาสตร์.** กรุงเทพฯ : ม.ป.ท.

นิเวช วิญญา. (2531). **งานพลาสติกเบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : คณะวิชาอุตสาหกรรมศึกษา.

ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์. (2525). **เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ ตอนที่ 1.** กรุงเทพ : คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. (2536). **พลาสติก.** กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.สัมพันธ์พาณิชย์.

มนตรี พิรุณเกษตร. (2536). **เทอร์โมไดนามิกส์.** กรุงเทพ : บริษัทซีเอ็ด จำกัด.

วีระพล อารวรรณ. (2549). **พลาสติกเสริมกำลัง.** กรุงเทพฯ : เกษมศรี ซี พี.

สมไทย วงษ์เจริญ. (2543). **การคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลเชิงธุรกิจ.** นครสวรรค์ : นิวเสรีนคร.

แสวง กะระนา. (2542). **หม้อไอน้ำ.** สงขลา : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่.

M.Nacati OZ:SIK. (1985). **Heat Tranffer A Basic Approach.** Mc Graw-Hill United State. http;// www.dowiseasia.com pyrolysis_Plant.htm 17/12/2553 Translation Series. 2721.

Yan, Y. and Liang, Y. (2002). Abundance and production of Limnodrilus hoffmeisteri (Oligochaeta: Tubificidae) in algae-dominated Lake Houhu (Wuhan, China). Chinese Journal of Oceanology and Limnology. 20(1): 81-85.

Yan, Y. and Liang, Y. (2004). Energy flow in Branchiura sowerbyi (Oligochaeta: Tubificidae) in a shallow macrophyte-dominated lake, Biandantang Lake. Chinese Journal of Oceanograghy and Limnology. 22: 403-407.

Zbikowski, J. (2007). Various reproductive strategies of two species of Oligochaeta: Limnodrilus hoffmeisteri and Tubifex tubifex. Oceanological an Hydrobiological Studies. 36(4): 109-117.