

การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากเศษอาหารที่สภาวะจุดวิกฤตน้ำ

The Study of Bio-Crude Production from Food Waste at Supercritical Water Condition

ธเนศ อุทิศธรรม¹ ปฐมพร พูลสวัสดิ์¹

¹ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน, ¹ฝ่ายเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 35 หมู่ที่ 3 ต. คลองห้า อ. คลองหลวง ปทุมธานี 10120

โทร 0-2577-9499 โทรสาร 0-2577-9506 E-mail: thanes@tistr.or.th

Thanes Utistham¹ Pathomporn Pulsawad¹

¹Energy Department, ¹Ecological and Environmental Department, Thailand Institute of Scientific and Technological Research

35 Moo 3, Tambon Khlong 5, Amphoe Khlong Luang, Pathum Thani. 12120

Tel: 0-2577-9499 Fax: 0-2577-9506 E-mail: thanes@tistr.or.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากเศษอาหารภายใต้สภาวะจุดวิกฤตน้ำ (Supercritical water condition) ตัวแปรที่ใช้ศึกษาเป็นเวลาที่ทำปฏิกิริยาภายหลังจากที่อุณหภูมิถึง 380 องศาเซลเซียสแล้ว

จากการทดลองใช้เศษอาหารสดเฉลี่ย 175 กรัม ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส ความดันเฉลี่ย 240 บาร์ ในเวลา 30-60 นาที พบว่า ได้ผลผลิตเชื้อเพลิงเหลวร้อยละ 7.11 ของน้ำหนักเศษอาหารสดและออกซิเจนลดลงเหลือร้อยละ 19.6 วิธีนี้ได้แสดงศักยภาพของการเปลี่ยนชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่สูง

คำสำคัญ: สภาวะจุดวิกฤตน้ำ; เศษอาหาร; เชื้อเพลิงเหลว; พลังงาน

Abstract

The objective of this paper is to study the producing bio-crude from food waste at supercritical water condition. The variable to investigate is holding time after temperature reaches to 380 °C.

With average 175 grams of feeding food waste, 380 °C of reaction, average pressure 240 bars in reactor and 30-60 minutes of holding time, the results showed that bio-crude was gained 7.11% of feeding food waste and oxygen content was reduced to 19.6%. With this method, it was promising due to high potential of bio-crude production.

Keyword: critical water condition, food waste, bio-crude, energy

1. บทนำ

ประเทศไทยได้กำหนดแผนยุทธศาสตร์พลังงาน เพื่อการจัดหาและผลิตพลังงาน โดยมีเป้าหมายให้เพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนจากร้อยละ 0.5 ในปี 2545 ไปเป็นร้อยละ 8.0 ภายในปี 2554 (1) และเป็นร้อยละ 20.3 ภายในปี 2565 (2) โดยที่ขยะเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่ถูกกำหนดไว้ในแผนนี้

ในปี พ.ศ. 2548 ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากชุมชนทั่วประเทศมีจำนวนประมาณ 14.33 ล้านตัน (3) องค์ประกอบของขยะนั้นมีความแตกต่างกันตามแต่ละท้องที่เนื่องจากมีหลายปัจจัย เช่น สภาพความเป็นอยู่ในท้องถิ่นนั้นๆ ฤดูกาล ระบบโภชนาการของชุมชน ประเภทของอุปกรณ์ในการรวบรวมขยะ เป็นต้น องค์ประกอบและสัดส่วนของขยะสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

- ขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร ใบไม้ กิ่งไม้ เป็นต้น มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 40.1
- ขยะที่เป็นผลิตภัณฑ์จากอนุพันธ์ของปิโตรเลียม เช่น พลาสติกทุกชนิด เชือกไนลอน ยาง ผ้าใบ เป็นต้น มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 14.8
- ขยะประเภทเครื่องใช้ เช่น สิ่งทอ กระดาษ เป็นต้น มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 27.9
- ขยะอื่นๆ เช่น ขยะที่ไม่ติดไฟประเภท วัสดุก่อสร้าง เหล็ก แก้ว เป็นต้น มีสัดส่วนประมาณร้อยละ 17.2

ขยะจากทั้ง 4 กลุ่ม ขยะอินทรีย์เป็นกลุ่มที่มีศักยภาพสูงที่จะผลิตเป็นพลังงาน แต่ปัญหาของการใช้ขยะอินทรีย์เป็นเชื้อเพลิงคือความชื้นที่สูงจึงไม่มีความคุ้มค่าในการนำไปใช้ ดังนั้น การเลือกใช้เทคโนโลยีที่ไม่ต้องมีกระบวนการกำจัดความชื้นในขยะอินทรีย์ออกก่อน จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

กระบวนการทำงานภายใต้สภาวะจุดวิกฤตน้ำ เป็นวิธีที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง เช่น สลัดน้ำเสีย ขยะอินทรีย์ เป็นต้น

ผลผลิตที่ได้จากวิธีนี้เป็นเชื้อเพลิงเหลว (Bio-crude) งานวิจัยของ Suzuki และคณะ (4) ได้นำสัลเฟอร์ที่เสียมมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวโดยศึกษาผลของตัวแปรที่ให้ผลผลิตสูง ซึ่งผลการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมเป็นช่วงอุณหภูมิ 270-300 องศาเซลเซียส เวลาที่ทำปฏิกิริยา 60 นาที งานวิจัยของ Minowa และคณะ (5) ใช้เศษชีวมวลเป็นวัตถุดิบ พบว่า ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส ความดัน 100 บาร์ ใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารเร่งปฏิกิริยา ให้ผลผลิตเป็นน้ำมันสูงร้อยละ 21-36 งานวิจัยของ Yang และคณะ (6) ใช้สาหร่ายเป็นวัตถุดิบ พบว่า สภาวะที่ให้ผลผลิตสูงถึงร้อยละ 33 ที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 340 องศาเซลเซียส เวลาที่ทำปฏิกิริยา 30 นาที ใช้สารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง (Alkali catalyst) ร้อยละ 5

ดังนั้น การนำวิธีดังกล่าวนี้มาประยุกต์ใช้กับขยะอินทรีย์ซึ่งมีความชื้นสูงจึงเป็นสิ่งที่นำมาพิจารณา

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อศึกษาแนวทางการผลิตเชื้อเพลิงเหลว จากเศษอาหารภายใต้สภาวะจุดวิกฤตน้ำ ตัวแปรที่ใช้ศึกษาเป็นเวลาที่ทำปฏิกิริยา

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

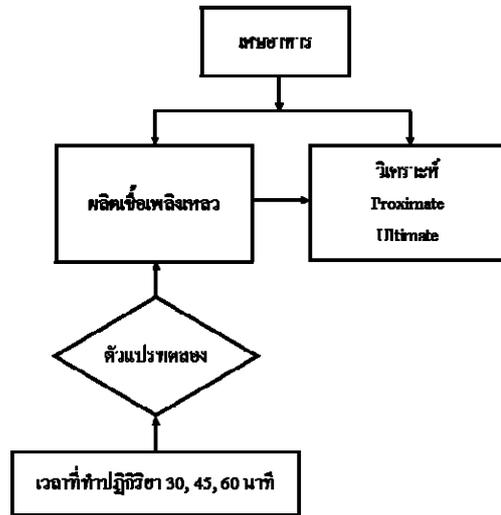
เครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องยี่ห้อ Parr รุ่น 4843 ที่สามารถทนความดันได้สูงสุด 340 บาร์ และอุณหภูมิสูงสุด 500 °ซ ตามที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องปฏิกรณ์ความดันและอุณหภูมิสูง

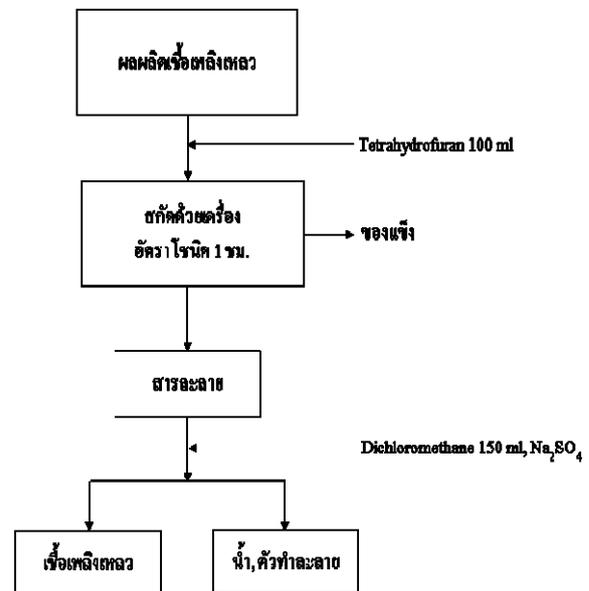
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบที่ใช้เป็นเศษอาหารที่ได้จากโรงอาหาร ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ใช้การสุ่มเก็บจากถังเก็บรวมของแต่ละวันที่จะทำการทดลอง เศษอาหารนี้นำมากรองแยกน้ำออกก่อนนำไปสับย่อยเล็กน้อย จึงบรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์จำนวน 100, 150 และ 200 กรัม ก่อนการทดลองจะต้องทำการไล่อากาศที่อยู่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยก๊าซไนโตรเจนไม่น้อยกว่า 3 ครั้ง เพื่อไม่ให้มีก๊าซอื่น ๆ ติดค้างในระบบ ภายหลังจากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิเป็น 380 °ซ เมื่ออุณหภูมิสูงถึงค่าที่กำหนดจะหน่วงเวลาไว้อีก 30, 45 และ 60 นาที วิธีการทดลองตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทดลอง

ผลผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ จะนำไปสกัดแยกน้ำและของแข็งออกตามที่แสดงขั้นตอนในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการแยกน้ำและของแข็งออกจากเชื้อเพลิงเหลว

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของเศษอาหาร

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติปริมาณกลุ่มสาร (Proximate analysis) และปริมาณธาตุ (Ultimate analysis) ของเศษอาหาร ตามวิธีวิเคราะห์ ASTM D 3172, ASTM D 3177, ASTM D 5373 และ ASTM D 5865 ดังแสดงผลในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติปริมาณกลุ่มสารและปริมาณธาตุของเศษอาหาร

รายการ	เศษอาหาร	
	ตามสภาพ นำส่ง	ตามสภาพ แห้ง
Proximate, %		
ความชื้น	89.55	0.00
สารระเหย	7.88	75.33
คาร์บอนคงตัว	2.01	19.20
เถ้า	0.57	5.47
Ultimate, %		
คาร์บอน	4.81	6.89
ไฮโดรเจน	10.67	45.98
ออกซิเจน	83.66	38.83
กำมะถัน	0.03	0.25
ค่าความร้อนต่ำ (กิโลจูล/กก.)	462	4,423

แหล่งที่มา: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2553.

เศษอาหารที่กรองน้ำออกแล้วนี้ นำมาวิเคราะห์หาค่าความชื้นพบว่า ยังมีค่าความชื้นสูงร้อยละ 89.55 และมีค่าความร้อนต่ำเพียง 462 กิโลจูล/กก. เศษอาหารมีค่าความร้อนค่อนข้างต่ำเนื่องจากพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ส่วนหนึ่งถูกใช้ไปกับการระเหยน้ำ จึงทำให้ค่าพลังงานความร้อนของเศษอาหารต่ำ แต่เศษอาหารที่มีความชื้นร้อยละ 0.00 จึงไม่ต้องมีการนำพลังงานความร้อนไปใช้ระเหยน้ำ ดังนั้นค่าความร้อนของเศษอาหารแห้งจึงมีค่าสูงถึง 4,423 กิโลจูล/กก. ดังนั้นการนำเศษอาหารที่มีความชื้นสูงมาใช้เผาไหม้จึงมีปัญหาอย่างมาก

แต่การนำเศษอาหารมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว ภายใต้สภาวะจุดวิกฤตน้ำนี้ ปริมาณความชื้นในเศษอาหารมีผลไม่มากนักต่อการผลิตเชื้อเพลิงเหลว

4.1 ผลผลิตเชื้อเพลิงเหลว

ภายใต้ตัวแปรการทดลองที่ควบคุม คือ เวลาที่หน่วงภายหลังจากที่อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึง 380 °C พบว่า เวลาที่หน่วงนาน 60 นาที ได้ผลผลิตเชื้อเพลิงเหลวเฉลี่ยสูงสุดร้อยละ 7.11 ของเศษอาหารสดที่เติม (ตารางที่ 2) และลดต่ำลงเหลือร้อยละ 7.04 และ 6.73 ที่ระยะเวลาที่หน่วงนาน 45 และ 30 นาทีตามลำดับ สรุปได้ว่า ระยะเวลาของการทำปฏิกิริยาที่นาน ให้ผลผลิตเชื้อเพลิงเหลวสูงกว่าระยะเวลาที่น้อย

ตารางที่ 2 ผลผลิตเชื้อเพลิงเหลว

เวลาที่หน่วง (นาที)	เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ (%)
30	6.73
45	7.04
60	7.11

4.2 คุณสมบัติเชื้อเพลิงเหลว

นำผลผลิตเชื้อเพลิงเหลวไปวิเคราะห์คุณสมบัติ พบว่า เวลาที่ทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที ได้ผลผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่มีสัดส่วนออกซิเจนลดลงเหลือร้อยละ 19.6 (ตารางที่ 3) ซึ่งสัดส่วนออกซิเจนลดลงมากกว่าเวลาที่ทำปฏิกิริยาที่ 30 และ 45 นาที แต่สัดส่วนของคาร์บอนและไฮโดรเจน

กลับสูงขึ้น ซึ่งสัดส่วนของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่สูงเป็นสิ่งที่ดีเนื่องจากเป็นส่วนที่แสดงถึงสารไฮโดรคาร์บอนที่มีในเชื้อเพลิงเหลว ทั้งนี้เป็นผลจากที่เวลาของการทำปฏิกิริยานานขึ้น ทำให้ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับคาร์บอนได้สมบูรณ์ และเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตาม เชื้อเพลิงเหลวที่ได้นี้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้เผาไหม้เพื่อเป็นแหล่งพลังงานความร้อนเท่านั้น ส่วนการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เพื่อทดแทนน้ำมันเบนซินหรือดีเซลนั้น ยังต้องมีการพัฒนาคุณสมบัติอีก

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลวเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาทำปฏิกิริยานานขึ้นสอดคล้องกับสัดส่วนของคาร์บอนและไฮโดรเจนที่สูงขึ้น ค่าความร้อนต่ำ (Low heating value) สูงสุดที่ 8,603 (กิโลจูล/กก.) ที่เวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที ซึ่งยังเป็นค่าที่ต่ำเมื่อเทียบกับค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลที่สูงถึง 36,420 กิโลจูล/ลิตร (7) แต่เพียงพอต่อการนำไปใช้เผาไหม้เพื่อผลิตพลังงานความร้อน

ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุและพลังงานของเชื้อเพลิงเหลว

เวลาที่หน่วง (นาที)	ปริมาณธาตุ (%)			ค่าความร้อนต่ำ (กิโลจูล/กก.)
	C	H	O	
30	66.8	9.7	23.3	7,404
45	69.4	9.9	20.4	7,440
60	69.7	10.5	19.6	8,603

4.2 พลังงานที่ได้

จากการทดลองนำเศษอาหารไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว ภายใต้สภาวะจุดวิกฤตน้ำนี้ได้ผลผลิตสูงสุดร้อยละ 7.11 ของเศษอาหารสดที่เติม และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติแล้ว พบว่า มีค่าความร้อนเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้ได้ เมื่อนำผลผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ ไปเปรียบเทียบเชิงพลังงานที่ได้กับการนำเศษอาหารไปเผาไหม้โดยตรง พบว่า การนำเศษอาหารไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวได้พลังงานสูงถึง 2,559 กิโลจูล (ตารางที่ 4) ในขณะที่นำเศษอาหารจำนวนเดียวกันไปเผาไหม้ได้พลังงานเพียง 462 กิโลจูล ซึ่งเป็นผลจากที่เศษอาหารยังมีความชื้นปนอยู่ร้อยละ 89.55 จึงได้พลังงานค่อนข้างต่ำ แต่การนำเศษอาหารไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวภายใต้สภาวะจุดวิกฤตน้ำนั้น ความชื้นที่มีในเศษอาหารจะถูกแยกออกจากเชื้อเพลิงเหลวแล้ว จึงได้พลังงานสูงกว่าอย่างเด่นชัด

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากการนำไปเผาไหม้โดยตรงและผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวจากขยะสด 1 กิโลกรัม

รายการ	เวลาที่ หน่วง (นาที)	เชื้อเพลิง ที่ได้ (กก.)	พลังงานที่ได้ตาม สภาพนำส่ง (กิโลจูล)
นำไปเผาไหม้ โดยตรง	-	1.0	462
นำไปผลิต เชื้อเพลิงเหลว	30	0.067	2,084
	45	0.070	2,191
	60	0.071	2,559

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การผลิตเชื้อเพลิงเหลวภายใต้สภาวะจุดวิกฤตน้ำ โดยใช้เศษอาหารเป็นวัตถุดิบที่อัตราการเติมเฉลี่ย 175 กรัม ความดันสุดท้ายเฉลี่ย 240 บาร์ และอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ 380 °ซ พบว่าภายหลังจากที่สภาวะความดันและอุณหภูมิถึงจุดที่กำหนดแล้ว เวลาที่หน่วงนาน 60 นาที ได้ผลผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวสูงสุดร้อยละ 7.11 ของเศษอาหารสดที่เติม เชื้อเพลิงเหลวนี้นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้ได้ แต่ยังไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

พิจารณาเปรียบเทียบเชิงพลังงานที่ได้ ระหว่างการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวกับการนำไปเผาไหม้โดยตรง พบว่า การนำเศษอาหารไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวได้พลังงานสูงถึง 2,559 กิโลจูล แต่นำไปเผาไหม้โดยตรงได้พลังงานเพียง 462 กิโลจูล

5.2 ข้อเสนอแนะ

- เศษอาหารที่นำมาใช้ทดลอง ได้จากสุ่มเก็บจากโรงอาหารในแต่ละวัน ผลการทดลองจึงยังมีความเบี่ยงเบนสูง ซึ่งควรจะได้มีการปรับปรุง โดยการนำขยะมาให้เพียงพอต่อการทดลองในแต่ละชุด หรือกำหนดชนิดของขยะขึ้นมาเพื่อจะได้ขยะที่มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกชุดการทดลอง
- พิจารณานำสารเร่งปฏิกิริยามาใช้ในการทดลอง เพื่อลดความดัน อุณหภูมิ และเวลาที่หน่วง นอกจากนี้ ยังช่วยให้ได้ผลผลิตเชื้อเพลิงเหลวสูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

1. Thongsathitya, A., "Workshop on Renewable Energy and Energy Efficiency with International Experiences," August 28th, Bangkok, 2006.
2. กรมควบคุมมลพิษ, (2553), <http://www.thaienvimonitor.net/Database/garbage.htm#garbage1>, กุมภาพันธ์.
3. Jai-in, S., "Biorefinery Concept: The Role of Small & Smart Solution," Seminar on Bio-energy Technology through the Research Cooperatopn between Japan and Thailand, Bangkok, Thailand, 2010.
4. Suzuki, A., Nakamura, T. and Yokoyama, S., "Effect of Operating Parameters on Thermochemical Liquefaction of Sewage Sludge," J. Chem. Eng. Japan, 23, 6, 1990.
5. Minowa, T., Kondo, T. and Sudirjo, S.T., "Thermochemical Liquefaction of Indonesian Biomass Residues," Biomass and Bioenergy, Volume 14, Issues 5-6, May-June 1998, Pages 517-524.
6. Yang, Y.F., Feng, C.P., Inamori, Y. and Maekawa, T., "Analysis of Energy Conversion Characteristics in

Liquefaction of Algae," Resources Conservatio & Recycling, Volume 43, Issue 1, December 2004, Pages 21-33.

7. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน "รายงานพลังงานของประเทศไทย," กระทรวงพลังงาน, 2524 – 2544.