# การผลิตเชื้อเพลิงเหลวทดแทนดีเซลจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกและชีวมวล

รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้รับผิดชอบหลักของบทความ email: prasert.r@chula.ac.th

## บทนำ

ขยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะพลาสติก เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม อันก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่าง ๆ ตามมาอีกมากมายในปัจจุบัน ที่ผ่านมาการจัดการขยะพลาสติกในประเทศไทยใช้วิธีการฝังกลบ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานในการย่อยสลายขยะพลาสติกเหล่านั้น ทำให้ปัจจุบันยังมีขยะพลาสติกที่คงค้างรอการจัดการหรือกำจัดอย่างถูกต้องอยู่ในปริมาณมาก ประกอบกับการสร้างขยะพลาสติกในปัจจุบันที่ยังคงมีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าแนวโน้มการรักษ์โลกและลดปริมาณการใช้พลาสติกเพียงครั้งเดียวจะเพิ่มขึ้นก็ตาม แต่สถานการณ์ขยะพลาสติกยังคงเป็นปัญหาสำคัญที่ประเทศต้องหาวิธีการจัดการและกำจัดให้มีประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

แนวทางหนึ่งในการจัดการขยะพลาสติกให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดประโยชน์และสามารถนำมาใช้ได้ นั่นคือ การจัดการขยะพลาสติกให้มีมูลค่าเพิ่มหรือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ใหม่อีกครั้ง โดยวิธีการหนึ่งคือ การแปรรูปขยะพลาสติกให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเชื้อเพลิงเหลวที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลใช้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตรเพื่อลดต้นทุนให้กับเกษตรกรได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกด้วย จะเห็นว่า การแปรรูปขยะไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นที่มีมูลค่า สามารถนำไช้ประโยชน์ได้ และไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษในด้านอื่น ๆ นั้น เป็นสิ่งที่ควรได้รับการสนับสนุนและส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาต่อยอดและมีการเผยแพร่องค์ความรู้และเทคโนโลยีดังกล่าว ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อประชาชนในชุมชนและสร้างความยั่งยืนในระยะยาวได้

Designed by Freepik

## การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากขยะพลาสติกและชีวมวล

เชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) เป็นผลผลิต (product) ที่ได้จากการจัดการขยะวิธีหนึ่ง โดยการปรับปรุงและแปลงสภาพของขยะมูลฝอยให้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง เช่น การคัดแยกวัสดุ ที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (heating value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่นที่เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน

การผลิตเชื้อเพลิงเหลวในงานวิจัยนี้ มีวัตถุดิบ 2 ประเภท ได้แก่ ขยะพลาสติกและชีวมวล โดยวัตถุดิบที่ใช้มีหลายชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 1) ดังนี้

*1) ขยะพลาสติก (plastic)* ที่ใช้ในกระบวนการเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่

- พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เป็นสารประกอบที่ได้จากเอทิลีน (ethylene: $CH_2$=$CH_2$) พอลิเอทิลีน แบ่งเป็น พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง (MDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยผลิตภัณฑ์จากพอลิเอทิลีนทั่วไป ได้แก่ ขวดใส่สารเคมี ขวดใส่น้ำ ลังหรือกล่องบรรจุสินค้า ภาชนะต่าง ๆ เครื่องเล่นของเด็ก ถุงเย็น ชิ้นส่วนแบตเตอรี ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ฉนวนไฟฟ้า ถุงใส่ของ แผ่นฟิล์มสำหรับห่อของ โต๊ะ และเก้าอี้

- พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) หรือ พีพี เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟิน ผลิตจากโพรพิลีน พอลิโพรพิลีน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน ได้แก่ ไอโซแทกทิกโพลิโพรพิลีน (isotactic polypropylene) ซินดิโอแทกทิกพอลิโพรพิลีน (syndiotactic polypropylene) และแอแทกทิกพอลิโพรพิลีน (atactic polypropylene) ผลิตภัณฑ์ทั่วไปที่ผลิตจากพอลิโพรพิลีน ได้แก่ กล่องเครื่องมือ ปกแฟ้มเอกสาร กล่องและตลับเครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือน กล่องบรรจุอาหาร วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์การแพทย์ ขวดใส่สารเคมี กระป๋อง น้ำมันเครื่อง กระสอบข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย นอกจากชนิดของพลาสติกที่กล่าวมาข้างต้น ยังมีพลาสติกเอบีเอส (Acrylonitrile-butadiene-styrene: ABS) พอลิยูรีเทน (Polyurethane: PU) เป็นต้น

- พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) ผลิตภัณฑ์ทั่วไป ได้แก่ ถ้วยจาน แก้วน้ำ ช้อนส้อม กล่องบรรจุอาหารและผลไม้เทียม ไม้บรรทัด อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของเล่น ขวดหรือกระปุกใส่ยา เฟอร์นิเจอร์บางประเภท ชิ้นส่วนในตู้เย็น โฟมกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์ และฉนวนความร้อน

โดยเชื้อเพลิงที่ได้จากขยะพลาสติกแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ เชื้อเพลิงเหลว เชื้อเพลิงแก๊ส และเชื้อเพลิงแข็ง

*2) ชีวมวล (biomass)* หมายถึง สารอินทรีย์ที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตที่มีหลากหลายชนิดและรูปแบบ เช่น ชีวมวลที่ได้หรือเหลือใช้จากการเกษตร (ได้แก่ แกลบ ชานอ้อย และฟางข้าว เป็นต้น) ขยะมูลฝอย น้ำเสียจากโรงงาน หรือแม้กระทั่งมูลสัตว์ต่าง ๆ เป็นต้น ชีวมวลจัดเป็นแหล่งพลังงานทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจน โดยชีวมวลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สถานะ ได้แก่

พอลิเอทิลีน
(Polyethylene: PE)
แบ่งเป็น HDPE และ LDPE

พอลิโพรพิลีน
(Polypropylene: PP)

พอลิสไตรีน
(Polystyrene: PS)

ชีวมวลของแข็ง
(Solid biomass)

เชื้อเพลิงชีวภาพเหลว
(Liquid biofuel)

แก๊สชีวมวล (Biogas)

**ภาพที่ 1** วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงเหลว
**ที่มา :** ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2561)

- ชีวมวลของแข็ง (solid biomass) ได้แก่ เศษไม้ เศษกระดาษ รวมไปถึงเปลือกของเมล็ดพืชต่าง ๆ

- เชื้อเพลิงชีวภาพเหลว (liquid biofuel) คือ เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากชีวมวลของแข็ง ตัวอย่างพลังงานประเภทนี้ได้แก่ เมทานอล เอทานอล และน้ำมันไบโอดีเซล เป็นต้น

- ก๊าซชีวมวล (biogas) เช่น เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นแก๊สซึ่งผลิตจากกระบวนการที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความดัน

วัตถุดิบส่วนใหญ่ที่คณะผู้วิจัยนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ พลาสติกซึ่งถูกนำมาใช้แปรรูป/ผลิตเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากวัตถุดิบประเภทพลาสติกผลิตขึ้นจากปิโตรเลียม ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน จึงมีความง่ายต่อการแปรรูปให้อยู่ในรูปของเหลวและได้น้ำมันในรูปของเหลวในปริมาณที่มากกว่าการใช้วัตุดิบที่เป็นชีวมวลเมื่อเปรียบเทียบโดยใช้วัตถุดิบในปริมาณที่เท่ากัน

## กระบวนการไพโรไลซิส

ไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ กระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนที่ไม่สมบูรณ์ในภาวะที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนน้อยที่สุด โดยความร้อนทำให้พันธะที่เชื่อมกันระหว่างโมเลกุลเกิดการแตกตัว (break bond) จากโมเลกุลที่เชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่พันธะเคมียาว ๆ กลายเป็นสายโซ่สั้น ๆ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบคาร์บอนที่ระเหยได้จะกลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง (gases) บางส่วนที่ถูกควบแน่นจะกลายเป็นของเหลว หรือน้ำมันไพโรไลซิส (pyrolysis oil) ที่มีลักษณะคล้ายน้ำมันเตา ซึ่งน้ำมันดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์และต่อยอดได้หลากหลาย เนื่องจากมีค่าความร้อนสูง (heating value) จึงสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ เช่น อุตสาหกรรมแก้ว และปูนซีเมนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ น้ำมันเตาดังกล่าวยังสามารถนำไปเข้ากระบวนการปรับปรุงคุณภาพให้สูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการกลั่นและการปรับสภาพทางเคมีเพื่อปรับปรุงให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ใช้งานกันในท้องตลาด จนสามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ทั่วไปและใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังเหลือส่วนที่เป็นของแข็งด้วย (Jones, 1978) โดยวิธีการให้ความร้อนด้วยกระบวนการไพโรไลซิส แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

*1) การไพโรไลซิสแบบช้า (slow pyrolysis)* มีอัตราการให้ความร้อนน้อยกว่า 10 องศาเซลเซียส/นาที และอุณหภูมิที่ใช้น้อยกว่า 500 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันดิน (tar) และถ่านไม้ (char)

*2) การไพโรไลซิสแบบเร็ว (fast หรือ flash pyrolysis)* มีอัตราการให้ความร้อนอยู่ในช่วง 10-10,000 องศาเซลเซียส/นาที และอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 400-1,000 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่ คือ ก๊าซและของเหลว

ช่วงอุณหภูมิของการไพโรไลซิสมีผลกระทบต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารระเหยที่ได้ โดยการไพโรไลซิสแบ่งได้เป็น 3 ขั้น คือ

- ขั้นแรก ที่อุณหภูมิระหว่าง 200-300 องศาเซลเซียส จะมีการปลดปล่อยสารระเหยเล็กน้อย และก๊าซจะประกอบด้วยออกไซด์ของคาร์บอนและน้ำเป็นส่วนใหญ่

- ขั้นที่สอง ที่อุณหภูมิระหว่าง 300-500 องศาเซลเซียส จะมีการสลายตัวปล่อยสารระเหยออกมาประมาณสามในสี่ของสารระเหยทั้งหมด

- ขั้นที่สาม ที่อุณหภูมิระหว่าง 500-800 องศาเซลเซียส จะมีการไล่ก๊าซออกอีกเป็นครั้งที่สอง พร้อมกับมีการเปลี่ยนแปลงของชาร์ รวมไปถึงการปลดปล่อยก๊าซที่ไม่สามารถควบแน่นได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกไฮโดรเจนและมีเทน

## ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการไพโรไลซิส มีดังนี้

*1) องค์ประกอบของสารตั้งต้น* สารตั้งต้นมีความสำคัญกับกระบวนการไพโรไลซิสเนื่องจากประเภทของสารแต่ละประเภทมีความสามารถในการสลายตัวและมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน หากสารตั้งต้นใดมีปริมาณสารระเหยสูงย่อมมีโอกาสที่จะสลายตัวให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้สูง

*2) อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิส* อุณหภูมิการสลายตัวของกระบวนการไพโรไลซิสนั้นมีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เช่น อุณหภูมิการสลายตัวของยางรถยนต์ใช้แล้วจะแบ่งช่วงการสลายตัวเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงอุณหภูมิ 150-310 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของสารเติมแต่งต่าง ๆ เช่น พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) ซึ่งเป็นการสลายตัวอย่างช้า ๆ ช่วงอุณหภูมิ 310-430 องศาเซลเซียส เป็นช่วงการสลายตัวของยางธรรมชาติ และช่วงสุดท้าย คือ ช่วงอุณหภูมิ 350-490 องศาเซลเซียส เป็นช่วงการสลายตัวของยางสังเคราะห์

*3) อัตราการให้ความร้อน* อัตราการให้ความร้อนเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อปริมาณและองค์ประกอบของสารระเหยที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส แต่เดิมภาวะในการให้ความร้อนถูกแบ่งได้โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อวินาที ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการปลดปล่อย

สารระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว ดังนั้น อัตราการให้ความร้อนต่ำจะถูกนิยามให้มีผลต่างของอุณหภูมิเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนด โดยทั่ว ๆ ไปอัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจะมีผลต่างของอุณหภูมิมากกว่า 103-105 องศาเซลเซียส/วินาที

## การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวในห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองการผลิตเชื้อเพลิงเหลวในระดับห้องปฏิบัติการ (ภาพที่ 2) เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในแต่ละสภาวะ และข้อสรุปของสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการ รวมถึงการเตรียมวัตถุดิบแต่ละชนิด สัดส่วนหรือองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในระบบ ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของระบบและผลิตภัณฑ์ที่ได้ก่อน แล้วจึงนำไปพัฒนาให้เป็นระบบที่ใหญ่ขึ้นและสามารถนำไปใช้ได้จริงในพื้นที่ ซึ่งการศึกษาในห้องปฏิบัติการเริ่มต้นจากการเตรียมวัตถุดิบก่อนการเผา ในที่นี้ใช้ขยะพลาสติกเป็นหลัก (ภาพที่ 3) โดยต้องทำความสะอาดวัตถุดิบเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีการปนเปื้อนน้อยที่สุด นอกจากนั้น สิ่งสำคัญคือ ต้องเตรียมวัตถุดิบให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 20 ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเผา เนื่องจากความชื้นในวัตถุดิบยิ่งมากจะยิ่งส่งผลประสิทธิภาพในการเผาลดลง จากนั้นนำวัตถุดิบเข้าเตาเผาและเปิดเครื่องให้ระบบทำงานสลายวัตถุดิบด้วยความร้อน (ภาพที่ 4) ผลผลิต

**ภาพที่ 2** เตาเผาไพโรไลซิส
**ที่มา** : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2563)

**ภาพที่ 3** พลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการเผา
**ที่มา** : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2563)

**ภาพที่ 4** เตาเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิส
**ที่มา** : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2563)

**ภาพที่ 5** ผลผลิตที่เป็นของเหลวที่ได้จากการเผาแบบไพโรไลซิส (น้ำมันไพโรไลซิส)
**ที่มา** : ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2563)

หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีทั้งในรูปของของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของเตาเผาไพโรไลซิสที่มีขยะพลาสติกเป็นวัตถุดิบ จะให้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลว (น้ำมัน) มากถึงร้อยละ 70-80 (ภาพที่ 5) ซึ่งเชื้อเพลิงเหลวหรือน้ำมันที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไปได้ โดยน้ำมัน 1 ลิตร สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 3-4 หน่วย

เนื่องจากผลผลิตหนึ่งของการวิจัยคือ การผลิตเชื้อเพลิงเหลวที่สามารถนำไปใช้ได้กับเครื่องจักรขนาดเล็กหรือเครื่องจักรกลทางการเกษตรได้ ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพและสมบัติของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ เพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในภาคเกษตรกรรม โดยผลการตรวจสอบสมบัติของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสตามเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซล (ตารางที่ 1) พบว่า มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซลหมุนช้า และจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหลวดังกล่าวสามารถนำไปใช้ทดแทนหรือใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซลได้ในเครื่องยนต์ขนาดเล็กหรือเครื่องจักรกลทางการเกษตรได้ (ภาพที่ 6) นอกจากนั้นในมิติด้านสิ่งแวดล้อมจะพบว่า การเผาด้วยเตาเผาระบบปิดแบบไพโรไลซิสนี้ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ เพราะอุณหภูมิที่ใช้เผาไม่สูงมากนัก ดังนั้น ผลผลิตในรูปของก๊าซที่ได้จึงมิใช่ก๊าซที่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์หรือเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม หรือหากมีการปะปนของสารที่เป็นพิษในวัตถุดิบที่ใช้ เช่น โลหะหนัก ด้วยกระบวนการเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส โลหะหนักเหล่านี้จะยังคงอยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งสามารถกำจัดหรือทำลายได้ง่ายกว่าในสถานะที่เป็นก๊าซ

## แนวทางความมั่นคงและยั่งยืนของพลังงานในระดับชุมชน

หนึ่งในความคาดหวังที่สำคัญของคณะผู้วิจัยต่อองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้จากโครงการนี้ คือ การนำไปปฏิบัติและประยุกต์ใช้ได้จริงในพื้นที่ระดับชุมชน ซึ่งนั่นหมายถึง การเผยแพร่และการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีสู่ชุมชนในระดับพื้นที่จริงด้วยการสนับสนุนของหน่วยงานภาครัฐ เอกชน หรือหน่วยงานอื่น ๆ ที่ต้องการให้เกิดความยั่งยืนขึ้นในพื้นที่ เนื่องด้วยระบบการจัดการขยะพลาสติกหรือชีวมวลด้วยเตาเผาไพโรไลซิสที่ช่วงอุณหภูมิ 450-600 องศาเซลเซียสนั้น มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนไม่สูงมากนัก เตาเผามีขนาดไม่ใหญ่มาก มีความสามารถในการรองรับปริมาณขยะพลาสติกและชีวมวลในระดับชุมชนได้ตามปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจริง โดยสามารถรองรับขยะได้ 200-1,000 กิโลกรัม/วัน ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ในการสร้างและติดตั้งเตาเผาแบบไพโรไลซิสมากกว่าการก่อสร้างโรงงานกำจัดขยะขนาดใหญ่ ซึ่งยังคงเป็นปัญหาและประชาชนยังคงต่อต้านไม่ให้ก่อสร้างในบริเวณพื้นที่ที่อยู่อาศัย ทั้งนี้ ด้วยกระบวนการและเทคโนโลยีในการแปรรูปขยะให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงหรือต่อยอดนำไปผลิตกระแสไฟฟ้านั้น จะเห็นว่า ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงเหลวหรือกระแสไฟฟ้าที่ได้ ล้วนเป็นแหล่งพลังงานที่ตอบสนองความต้องการของประชาชนในแต่ละช่วงเวลาได้ เช่น ในช่วงเวลาที่ราคาน้ำมันดีเซลสูง ประชาชนสามารถนำเชื้อเพลิงไพโรไลซิสนี้ไปใช้ได้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตร ซึ่งเป็นช่องทางหนึ่งในการประหยัดค่าใช้จ่ายของประชาชน หรือในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้ามีราคาแพงขึ้น ประชาชนก็สามารถนำเชื้อเพลิงเหลวนี้ไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าใช้เองในชุมชน จะเห็นว่า ชุมชนมีศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวและกระแสไฟฟ้าได้เอง ซึ่งแสดงถึงการมีความมั่นคงและความยืดหยุ่นในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น

## บทสรุป

คณะผู้วิจัยมีความเชื่อมั่นว่า ผลผลิตที่เกิดจากโครงการ ***"การศึกษาเทคโนโลยีและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานขยะ"*** ไม่ว่าจะเป็นองค์ความรู้ เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงเหลวทดแทนดีเซลจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกและชีวมวล หรือกระทั่งผลผลิตที่เกิดขึ้นซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการผลิตและการใช้พลังงานนั้น สามารถนำไปขยายผล อันจะเป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติในวงกว้าง เพราะนับเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการจัดการปัญหาขยะประเภทพลาสติกที่กำลังเป็นปัญหาสำคัญของโลกและประเทศ โดยการแปรรูปและนำกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบอื่น อาจนับได้ว่า เป็นการแปรรูปและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับขยะที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งหากมีแนวคิดในการเผยแพร่และขยายผลการดำเนินงานลงไปในระดับพื้นที่ชุมชนจริง ๆ ด้วยการบริหารจัดการและการดำเนินการอย่างถูกต้องและเหมาะสมตามบริบทของพื้นที่และภูมิสังคมในแต่ละแหล่ง ย่อมเป็นประโยชน์ต่อประชาชนในพื้นที่นั้น แต่ทั้งหมดทั้งมวลสิ่งสำคัญที่จะทำให้การดำเนินการจะเกิดขึ้นและดำเนินไปได้อย่างยั่งยืนนั้นคือ ความตระหนักและเห็นความสำคัญของหน่วยงานภาครัฐที่รับผิดชอบรวมไปถึงทุกภาคส่วนในพื้นที่ ซึ่งการดำเนินการจะก่อให้เกิดประสิทธิผลและประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องมีการบริหารจัดการ การดำเนินการ และการติดตามประเมินผลอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ เพื่อให้สามารถปรับปรุงและพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดต่อไปได้ในอนาคต

**ตารางที่ 1** ผลการวิเคราะห์สมบัติน้ำมันไพโรไลซิส

| รายการ | ข้อกำหนด | อัตราสูง ต่ำ | น้ำมันดีเซล หมุนเร็ว | หมุนช้า | วิธีทดสอบ | D.1 | D.2 | D.3 | D.4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6°C (Specific Gravity at 15.6/15.6 °C) | ไม่ต่ำกว่า<br>ไม่สูงกว่า | 0.81<br>0.87 | -<br>0.92 | ASTM D 1298 | 0.8165 | 0.809 | 0.8388 | 0.8008 |
| 2 | จำนวนซีเทน (Cetane Number)ดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index) | ไม่ต่ำกว่า<br>ไม่ต่ำกว่า | 50<br>50 | 45<br>45 | ASTM D613<br>ASTM D976 | 48.1 | 64.4 | 58.2 | - |
| 3 | ความหนืด เซนติสโตกส์ (Viscosity, cSt) | | | | ASTM D445 | | | | |
| | 3.1 ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (at 40°C) | ไม่ต่ำกว่า<br>ไม่สูงกว่า | 1.8<br>4.1 | -<br>8 | | 1.785 | 2.568 | 3.105 | 2.32 |
| | 3.2 ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (at 50°C) | ไม่สูงกว่า | - | 6 | | | | | |
| 4 | จุดไหลเท องศาเซลเซียส (Pour Point, °C) | ไม่สูงกว่า | 10 | 16 | ASTM D97 | -6 | 6 | -9 | 21 |
| 5 | กำมะถัน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphur, %wt.) | ไม่สูงกว่า | 0.01 | 1.5 | ASTM D2622 | 0.04546 | 0.06692 | 0.3 | 0.0185 |
| 6 | การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion) | ไม่สูงกว่า | หมายเลข 1 | - | ASTM D130 | 1a | 1b | 1a | 1a |
| 7 | เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน กรัม/ลูกบาศก์เมตร (Oxidation Stability, g/m$^3$) | ไม่สูงกว่า | 25 | - | ASTM D2274 | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 8 | กากถ่าน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Carbon Residue, %wt.) | ไม่สูงกว่า | 0.05 | | ASTM D189 | 0.11 | 0.27 | 0.05 | 0.053 |
| 9 | น้ำและตะกอน ร้อยละโดยปริมาตร (Water and Sediment, %vol.) | ไม่สูงกว่า | 0.05 | 0.3 | ASTM D 2709 | 0.025* | N/A | 0.025* | 0 |
| 10 | เถ้า ร้อยละโดยน้ำหนัก (Ash, %wt.) | ไม่สูงกว่า | 0.01 | 0.02 | ASTM D 482 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | จุดวาบไฟ องศาเซลเซียส (Flash Point, °C) | ไม่ต่ำกว่า | 52 | 52 | ASTM D 93 | 36 | 40 | 31 | 25 |
| 12 | การกลั่น องศาเซลเซียส (Distillation, °C) อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (90% recovered) | ไม่สูงกว่า | 357 | - | ASTM D 86 | 330.9 | 354.6 | 397.5 | 374 |
| 13 | โพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, % wt.) | ไม่สูงกว่า | 11 | - | ASTM D 2425 | | | | |
| 14 | สี (Colour) | | | | | | | | |
| | 14.1 ชนิดของสี (Hue) | | เหลือง | น้ำตาล | | เหลือง | เหลือง | เหลือง | เหลือง |
| | 14.2 ความเข้มของสี (Intensity) | ไม่ต่ำกว่า<br>ไม่สูงกว่า | -<br>4 | 4.5<br>7.5 | ASTM D 1500<br>ไม่สูงกว่า | >5 | 1.2 | >5 | 3* |
| 15 | ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน ร้อยละโดยปริมาตร (Methyl Ester of Fatty Acids, %vol.) | ไม่ต่ำกว่า<br>ไม่สูงกว่า | 4.5<br>5 | -<br>- | EN 14078 | | | | |
| 16 | คุณสมบัติการหล่อลื่น รอยขีดข่วน ไมโครเมตร (Lubricity , Wear Scar mm) | ไม่สูงกว่า | 460 | - | CEC F – 06 - 96 | | | | |
| 16 | สารเติมแต่ง (Additives) (ถ้ามี) | ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน | | | | | | | |

**ที่มา** : สถาบันวิจัยพลังงาน (2557)

**ภาพที่ 6** การใช้น้ำมันไพโรไลซิสกับเครื่องยนต์
**ที่มา** : สถาบันวิจัยพลังงาน (2557)

## กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของผลการศึกษาโครงการ ***"การศึกษาเทคโนโลยีและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานขยะ"*** ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองบริหารกองทุนวิจัยและนวัตกรรม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

**เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม**

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2561). *การศึกษาเทคโนโลยีและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานขยะ*. รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัดสำเนา)

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2563). *การศึกษาเทคโนโลยีและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานขยะ*. รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัดสำเนา)

สถาบันวิจัยพลังงาน. (2557). *การศึกษาแนวทางพัฒนาและส่งเสริมน้ำมันจากขยะพลาสติก*. รายงานฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัดสำเนา)