รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร
โครงการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวล (Biomass to Liquid: BTL) ด้วยกระบวนการ Fast Pyrolysis

1. หลักการและเหตุผล

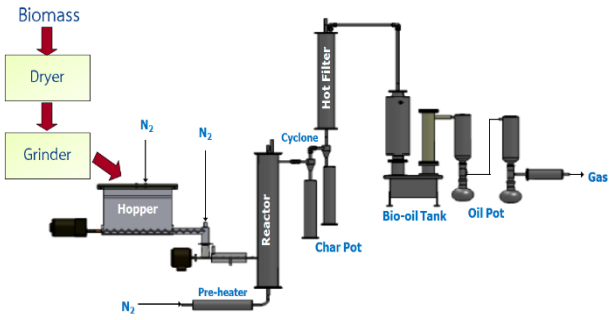
ปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเข้าน้ำมันดิบเฉลี่ย 900,000 บาร์เรล คิดเป็นเงินประมาณ 900,000 ล้านบาทต่อปีและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี การจัดหาน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้เองในประเทศ จึงเป็นหนทางหนึ่งในการที่จะพึ่งพาตนเองด้านพลังงาน ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเพาะปลูกพืช ดังนั้นจึงมีชีวมวลที่เหลือใช้เป็นจำนวนมาก ชีวมวลหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรถือเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่มีความสำคัญมากในประเทศเกษตรกรรมอย่างไทย เพราะไม่เพียงถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงหรือแปรรูปเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ เท่านั้น หากแต่ในอนาคตประเทศเกษตรกรรมที่มีชีวมวลมากอาจมีความสามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงได้เองจากชีวมวลเหล่านี้ เนื่องจากขณะนี้มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์ชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเหมือนน้ำมันหรือน้ำมันสังเคราะห์จากชีวมวล (Biomass to Liquid : BTL) แล้วในหลายประเทศ จึงสมควรที่จะต้องทำการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวล ซึ่งกระบวนการหลักสำหรับเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง คือ กระบวนการ Pyrolysis และ Fischer-Tropsch โดยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ของกระบวนการ Fischer-Tropsch มาบ้างแล้ว ซึ่งพบว่าปัจจุบันยังไม่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนในเชิงธุรกิจ ดังนั้น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน จึงเห็นสมควรที่จะต้องทำการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวล (Biomass to Liquid : BTL) ด้วยกระบวนการ Fast Pyrolysis เพื่อเตรียมความพร้อมในการจัดหาน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

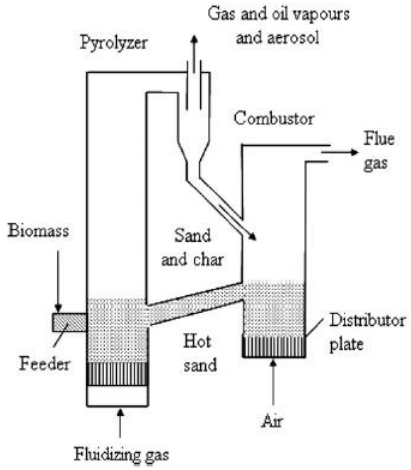
เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวล (Biomass to Liquid: BTL) ด้วยกระบวนการ Fast Pyrolysis

3. เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวลด้วยกระบวนการ Fast Pyrolysis

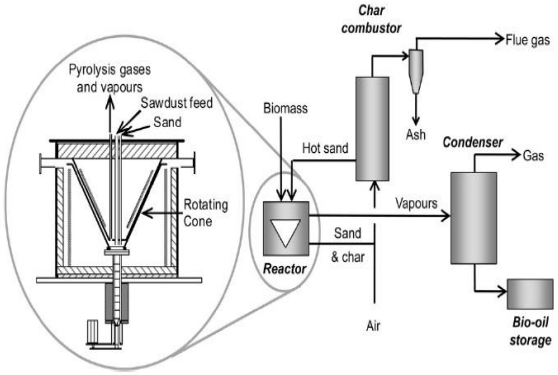
กระบวนการ Fast Pyrolysis คือ การให้ความร้อนกับชีวมวลในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน ทำให้ชีวมวลสลายตัวกลายเป็นควัน และนำควันมาควบแน่นอย่างรวดเร็ว ทำให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่นิยมเรียกว่า “ไบโอออยล์ (Bio-oil)” ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีลักษณะหนืดคล้ายน้ำมันดิบ โดยกระบวนการนี้เกิดขึ้นภายในเตาปฏิกรณ์ (Reactor) ซึ่งมีหลายชนิดดังรูปที่ 3-1



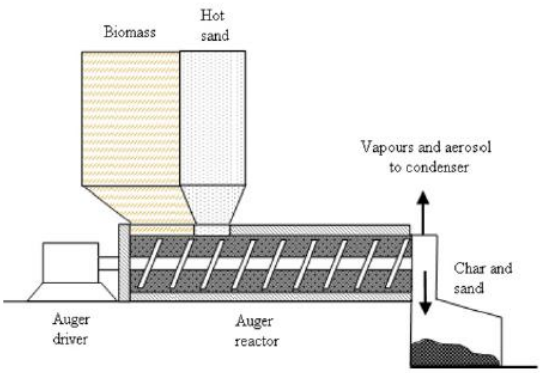
(1) เตาปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบฟอง



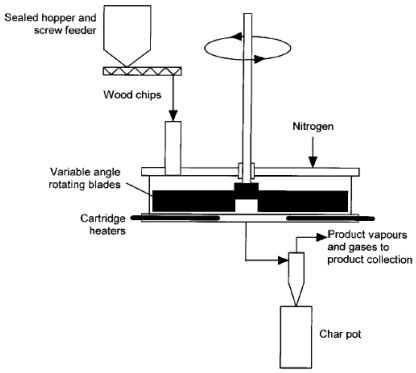
(2) เตาปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนวน [1]



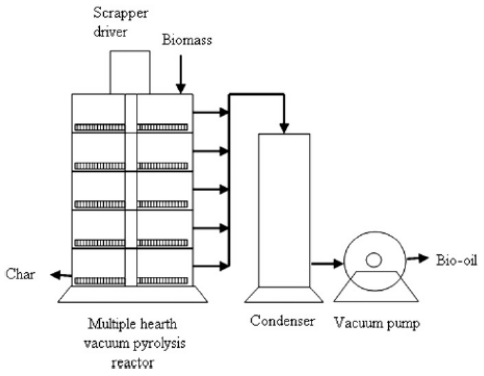
(3) เตาปฏิกรณ์แบบกรวยหมุน [2]



(4) เตาปฏิกรณ์แบบสกรู [1]



(5) เตาปฏิกรณ์แบบเสียดละลาย [3]



(6) เตาปฏิกรณ์แบบสุญญากาศ [1]

รูปที่ 3-1 ชนิดของเตาปฏิกรณ์

ไบโอออยล์สามารถนำมาผลิตเป็นความร้อน กระแสไฟฟ้า เชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะ และสารเคมีโดยผ่านอุปกรณ์หรือกระบวนการต่าง ๆ เช่น ในการนำไบโอออยล์ไปผลิตความร้อนและกระแสไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ คือ หม้อไอน้ำ (Boiler) เครื่องยนต์ (Engine) หรือ กังหัน (Turbine) ไบโอออยล์ต้องผ่านข้อกำหนดมาตรฐานของน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากกระบวนการ Pyrolysis (ASTM D7544) ดังตารางที่ 3-1 หากต้องการนำไบโอออยล์ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก่อน และหากต้องการไบโอออยล์เป็นสารเคมี จำเป็นต้องมีการสกัดหรือผ่านการทำปฏิกิริยาเคมีก่อน เนื่องจากไบโอออยล์ประกอบด้วยสารเคมีหลายร้อยชนิดและมีสารประกอบออกซิเจน (Oxygenated Compounds) ในปริมาณมาก

ตารางที่ 3-1 ข้อกำหนดมาตรฐานของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการ Pyrolysis (ASTM D7544-12) [4, 5]

สมบัติ	ค่ากำหนด
ค่าความร้อนสูง (HHV, MJ/kg)	ไม่ต่ำกว่า 15
ค่าปริมาณน้ำ (Water Content, wt%)	ไม่สูงกว่า 30
ค่าปริมาณของแข็ง (Solids Content, wt%)	ไม่สูงกว่า 2.5* หรือไม่สูงกว่า 0.25**
ความหนืดจลน์ (Kinematic Viscosity, cSt @ 40°C)	ไม่สูงกว่า 125
ความหนาแน่น (Density, kg/dm^3 @ 20°C)	1.1 – 1.3
ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulfur Content, wt%)	ไม่สูงกว่า 0.05
ปริมาณเถ้า (Ash Content, wt%)	ไม่สูงกว่า 0.25* หรือสูงกว่า 0.15**
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	รายงาน
จุดวาบไฟ (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า 45
จุดไหลเท (Pour Point, °C)	ไม่สูงกว่า -9

หมายเหตุ: **กรณีใช้เป็นเชื้อเพลิงเกรด G สำหรับเตาเผาอุตสาหกรรม*
***กรณีใช้เป็นเชื้อเพลิงเกรด D สำหรับเตาเผาอุตสาหกรรม/เชิงพาณิชย์ที่ต้องการเชื้อเพลิงที่มีของแข็งและเถ้าต่ำ*

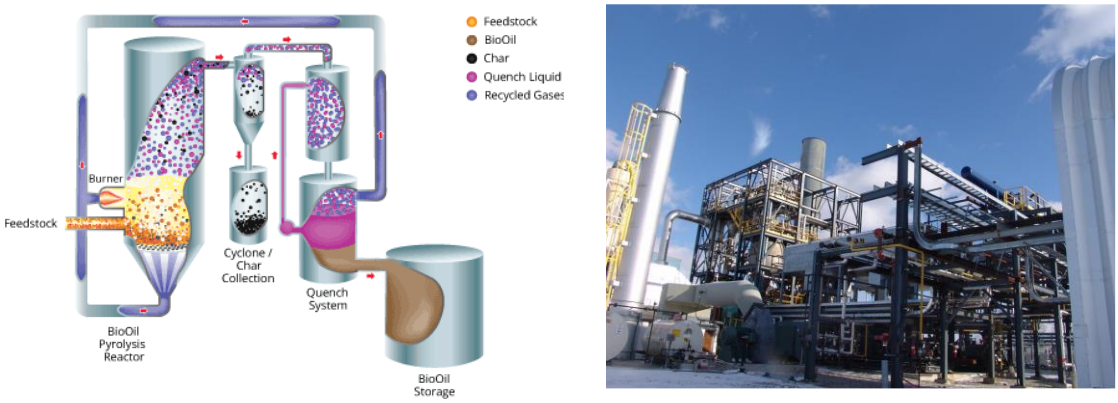
เทคโนโลยี Fast pyrolysis ในประเทศไทยขณะนี้อยู่ในระดับห้องปฏิบัติการหรือวิจัย โดยมีหลายหน่วยงานกำลังดำเนินงานศึกษาอยู่ เช่น มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว) ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

ต่างประเทศมีการพัฒนากระบวนการ Fast Pyrolysis ในระดับอุตสาหกรรมมาเป็นเวลากว่า 20 ปีแล้ว ซึ่งตารางที่ 3-2 สรุปสถานะของเทคโนโลยี Fast Pyrolysis ระดับอุตสาหกรรมทั่วโลกชนิดกระบวนการที่ใช้และกำลังการผลิตสูงสุด จากตารางแสดงให้เห็นว่า ปัจจุบันนี้ประเทศที่มีความรุดหน้าทางเทคโนโลยี Fast pyrolysis คือ ประเทศแคนาดา ซึ่งมีโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่สุดในโลก รองลงมาคือประเทศเนเธอร์แลนด์ ขณะที่ประเทศที่อยู่ในละแวกใกล้เคียงกับประเทศไทยที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ในระดับอุตสาหกรรมแล้วคือ ประเทศจีน

ตารางที่ 3-2 สรุปสถานะของเทคโนโลยี Fast Pyrolysis ระดับอุตสาหกรรมของต่างประเทศ [2, 6, 7]

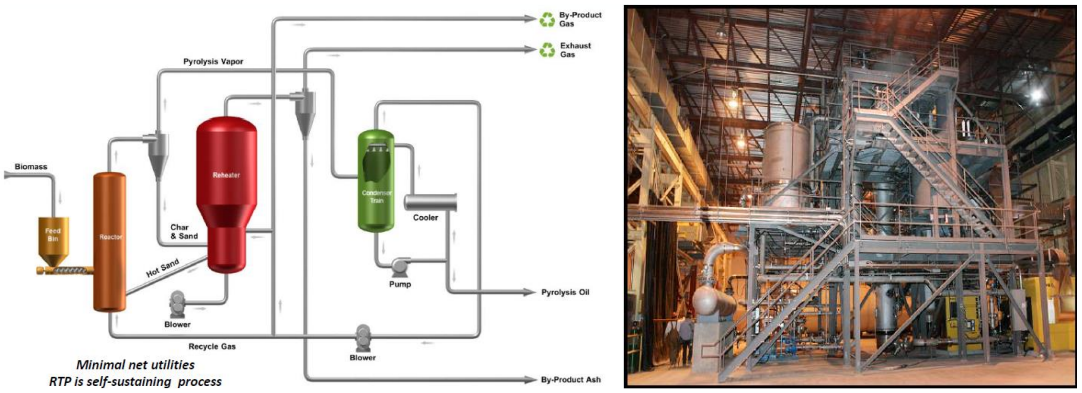
ประเทศ	ชื่อบริษัท/มหาวิทยาลัย	ชนิดของกระบวนการ	กำลังการผลิตสูงสุด (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
แคนาดา	Dynamotive	Fluid bed	8,000
	Ensyn	Transported bed & CFB	4,000
	ABRI-Tech	Augur or Screw	2,083
	Agri-Therm	Fluid bed	200
เนเธอร์แลนด์	Biomass Technology Group (BTG)	Rotating Cone Integral Catalytic Pyrolysis	2,000
จีน	Shanxi Yingjiliang Bio-Energy Co.,Ltd	Fluid bed	2,000
เยอรมัน	Lurgi LR	Augur or Screw	500

กระบวนการผลิตไบโอออยล์ด้วยเทคโนโลยี Fast Pyrolysis ของบริษัท Dynamotive ประเทศแคนาดาแสดงได้ดังรูปที่ 3-2 บริษัท Dynamotive ได้จดสิทธิบัตรกระบวนการ Fast Pyrolysis โดยเป็นการให้ความร้อนกับชีวมวลอย่างรวดเร็วในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน ชีวมวลที่ถูกเตรียมให้มีขนาดที่เหมาะสมซึ่งอยู่ในช่วง 1 - 2 มิลลิเมตร และมีความชื้นน้อยกว่า 10% ถูกป้อนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบฟองซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 450-500 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราป้อนชีวมวลสูงสุด 200 ตัน/วัน ไบโอออยล์ที่ได้จากกระบวนการ Fast Pyrolysis ของบริษัท Dynamotive สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำในเตาเผาหรือกังหันแก๊สได้ แต่ไม่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ที่ยังไม่มีการปรับปรุงได้



รูปที่ 3-2 กระบวนการผลิตและโรงงานขนาด 200 ตันต่อวัน ของบริษัท Dynamotive [8-10]

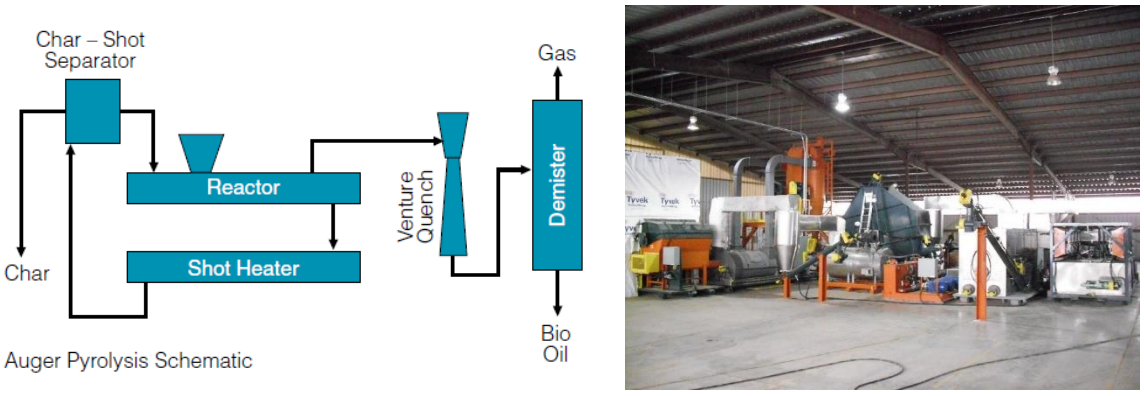
กระบวนการ Fast Pyrolysis ของบริษัท Ensyn แสดงได้ดังรูปที่ 3-3 เตาปฏิกรณ์เป็นแบบฟลูอิไดซ์เบดชนิดหมุนวน (Circulating Fluidised-bed Reactor: CFB) โดยจดทะเบียนการค้าชื่อ Rapid Thermal Processing (RTP^{TM}) กำลังการผลิตสูงสุด 100 ตัน/วัน กระบวนการใช้ทรายร้อนที่อยู่ภายในเตาปฏิกรณ์ทำหน้าที่ถ่ายโอนความร้อน ในกระบวนการนี้ แก๊สที่เข้าสู่เตาปฏิกรณ์ทางด้านล่างได้มาจากแก๊สที่เป็นผลิตภัณฑ์หมุนวนกลับมาใช้ (Recycle gas) อุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์ประมาณ 500–525 องศาเซลเซียส ไบโอออยล์ที่ได้ สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาเพื่อผลิตความร้อนและกระแสไฟฟ้า และสามารถใช้ในกังหันแก๊สเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ ในอนาคตสามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ตั้งอยู่กับที่เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ หรือนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการปรับปรุงเพื่อผลิตเป็นน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซลและน้ำมันอากาศยาน



รูปที่ 3-3 กระบวนการผลิตและโรงงานขนาด 100 ตันต่อวัน ของบริษัท Ensyn [11, 12]

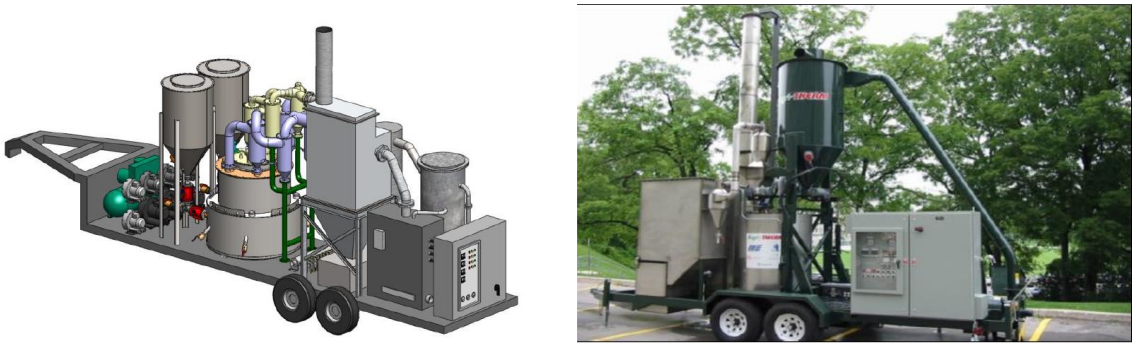
แผนภาพกระบวนการผลิตไบโอออยล์ของบริษัท ABRI-Tech แสดงดังรูปที่ 3-4 ซึ่งประกอบไปด้วยเตาปฏิกรณ์ชนิดสกรู โดยทั่วไปแล้วระบบไพโรไลซีสแบบสกรูมีข้อจำกัดในแง่ของการถ่ายโอนความร้อนจากผนังไปยังชีวมวล บริษัท ABRI-Tech ได้แก้ปัญหานี้โดยการผสมชีวมวลกับตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนที่มี

ความหนาแน่นสูงเข้าไปในเตาปฏิกรณ์แบบสกรู ชีวมวลและตัวกลางถ่ายโอนความร้อนสัมผัสกันอย่างใกล้ชิด ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนจากตัวกลางถ่ายเทความร้อน (Heat carrier) เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว



รูปที่ 3-4 กระบวนการผลิตและโรงงานขนาด 50 ตันต่อวัน ของบริษัท ABRI-Tech [13, 14]

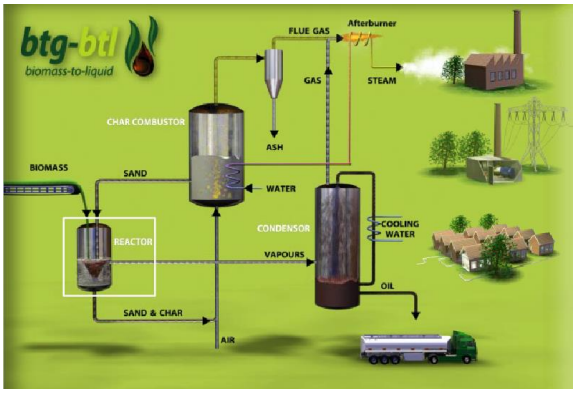
กระบวนการผลิตไบโอออยล์ของบริษัท Agri-Therm ถูกออกแบบมาให้มีขนาดกะทัดรัดและสามารถวางอยู่บนรถพ่วงบรรทุก (Trailer) ขนาด 8 x 2.4 เมตร ดังรูปที่ 3-5 ซึ่งระบบ Fast Pyrolysis นี้ใช้เตาปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบฟอง โดยหลักการออกแบบและการทำงานของเตาปฏิกรณ์นี้มีลักษณะจำเพาะและมีการจดสิทธิบัตรไว้ โดยประกอบด้วยท่อทรงกระบอกสองชั้น ภายนอกเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาไพโรไลซีส ขณะที่ท่อภายในเป็นห้องเผาไหม้ตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งใช้ทรายหมุนวนจากท่อภายนอกเข้ามายังท่อภายในผ่านท่อ Lift Tube เพื่อรับความร้อนจากห้องเผาไหม้ และหมุนวนออกไปภายนอก บริเวณเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซีสทรายเกิดการฟลูอิไดซ์และทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้กับชีวมวลที่เข้ามา



รูปที่ 3-5 โรงงาน Fast Pyrolysis ที่เคลื่อนที่ได้ขนาด 10 ตันต่อวัน ของบริษัท Agri-Therm [15, 16]

การผลิตไบโอออยล์โดยกระบวนการ Fast Pyrolysis ของบริษัท Biomass Technology Group (BTG) แสดงได้ดังรูปที่ 3-6 เตาปฏิกรณ์ที่ใช้เป็นแบบกรวยหมุน (Rotating Cone) โดยชีวมวลที่อุณหภูมิห้องถูกป้อนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์พร้อมกับทรายร้อน เพื่อทำปฏิกิริยาบริเวณส่วนล่างของกรวยที่หมุนอยู่ เมื่อทรายร้อน

และชีวมวลผสมกันทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อน ทรายพร้อมชีวมวลถูกเคลื่อนที่ขึ้นด้วยการด้วยการหมุนของกรวย จากหลักการของเตาปฏิกรณ์ชนิดนี้ ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนอย่างรวดเร็วและเวลาคงอยู่ของไอสั้น บริษัท BTG มีอุปกรณ์ Fast Pyrolysis จำนวนมากมายสำหรับใช้ในการทดสอบ โดยชุดอุปกรณ์ขนาดเล็กมีอัตราการป้อนชีวมวล 1-5 กิโลกรัม/ชั่วโมง ถูกออกแบบสำหรับใช้เพื่อทดสอบชีวมวลเบื้องต้นและเพื่อประเมินสมดุลมวลและสมดุลพลังงานเบื้องต้น นอกจากนี้ยังมีโรงงานต้นแบบสำหรับภาคสนาม (Pilot Plant) ที่มีขนาดอัตราป้อนชีวมวลถึง 200 กิโลกรัม/ชั่วโมง นอกจากนี้บริษัท BTG ยังมีโรงงานขนาดใหญ่เต็มรูปแบบที่มีอัตราป้อนชีวมวล 2 ตัน/ชั่วโมง หรือเทียบเท่ากับ 50 ตัน/วัน ซึ่งอยู่ที่ประเทศมาเลเซีย ไบโอออยล์ที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ในการเผาไหม้โดยตรงในหม้อต้มน้ำหรือเตาเผาเพื่อผลิตความร้อนใน ซึ่งการใช้งานลักษณะนี้เป็นการใช้งานที่ง่ายที่สุดเพื่อทดแทนน้ำมันเตาหนักและน้ำมันเตาเบาได้ นอกจากนี้บริษัท BTG ยังได้มีการทดสอบการเผาไหม้ร่วมของไบโอออยล์ในโรงไฟฟ้าที่ใช้แก๊สธรรมชาติในระดับอุตสาหกรรมพบว่าประสบความสำเร็จด้วยดี ในการทดสอบนี้ดำเนินการในโรงไฟฟ้าขนาด 350 เมกะวัตต์ ที่เมือง Harculo ประเทศเนเธอร์แลนด์ ในปี พ.ศ.2546

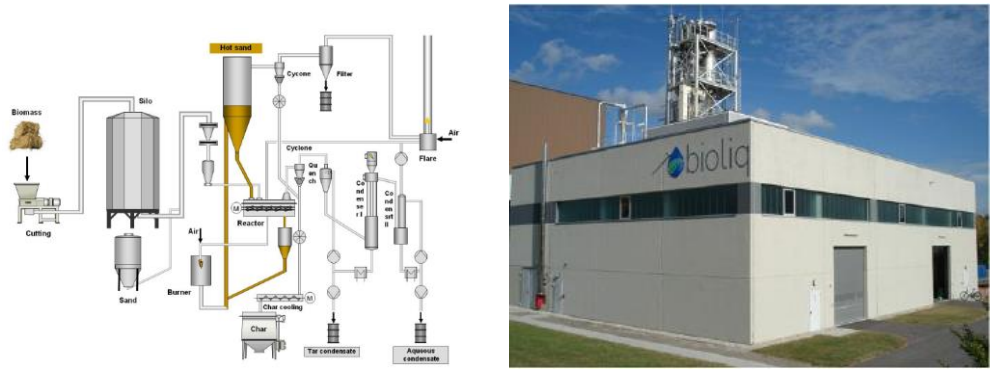


รูปที่ 3-6 กระบวนการและโรงงาน Fast Pyrolysis ของบริษัท BTG ที่ตั้งอยู่ที่ประเทศมาเลเซีย [17]

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพของบริษัท Lurgi หรือของ KIT เรียกว่า Bioliq ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็น Bioslurry ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สสังเคราะห์ และแก๊สสังเคราะห์นำมาใช้ผลิตเป็นไดเมทิลอีเทอร์ (DME) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล กระบวนการผลิตเริ่มจากนำชีวมวลมาทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ ในสภาวะที่ปราศจากอากาศ โดยได้รับความร้อนที่มากเพียงพอ ซึ่งการให้ความร้อนสามารถให้ได้โดยตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายโอนความร้อน เช่น ทราย หรือลูกเหล็กกล้าไร้สนิท (Stainless Steel Ball) โดยกระบวนการ Fast Pyrolysis ที่ใช้โดยสถาบัน KIT นี้ เป็นเตาปฏิกรณ์แบบสกรูคู่ (Twin – Screw Mixer Reactor) ซึ่งเตาปฏิกรณ์ชนิดนี้พัฒนามาจากระบบ Lurgi - Ruhrgas เมื่อชีวมวลทำปฏิกิริยาทางความร้อน โดยการสลายตัวได้เป็นไอไพโรไลซีส และไอน้ำ หลังจากนั้นไอดังกล่าวถูกควบแน่นกลายเป็นของเหลว ซึ่งทั้งหมดนี้ใช้เวลาเพียง 1 – 2 วินาที ปริมาณของเหลวที่ควบแน่นได้มีค่าสูงถึง 45–75% Pyrolysis ปริมาณผลได้ของถ่านชาร์ อยู่ในช่วงประมาณ 10-35% ค่าความร้อนของแก๊ส

ที่ได้มีค่าประมาณ 9 MJ/kg โดยค่าพลังงานโดยรวมของแก๊ส คิดเป็นประมาณ 10% ของค่าความร้อนของชีวมวล ซึ่งค่าความร้อนจากแก๊สนี้ มีค่าเพียงพอที่จะให้พลังงานกับระบบ Fast Pyrolysis หากมีการออกแบบที่ดีเพียงพอ

บริษัท Lurgi หรือ KIT มีการพัฒนาโรงงาน Fast Pyrolysis ระดับภาคสนามที่มีอัตราขนาดป้อนชีวมวล 500 กิโลกรัม/ชั่วโมง หรือเทียบเท่าได้กับประมาณ 12 ตัน/วัน ซึ่งลักษณะภายนอกโรงงานและแผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3-7 โดยโรงงานนี้ มีขนาดเทียบเท่ากับ 2 เมกะวัตต์ความร้อน โดยมีการทดสอบใช้ทรายเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อน และมีระบบยกทรายเพื่อวนแบบนิวเมตริก ปัจจุบันโรงงานนี้ได้มีการดำเนินงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553



รูปที่ 3-7 แผนผังการทำงานและภาพโรงงาน Fast Pyrolysis ระดับภาคสนามขนาดอัตราป้อนชีวมวล 500 กิโลกรัม/ชั่วโมง ของ KIT [18, 19]

4. การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวลในประเทศไทย

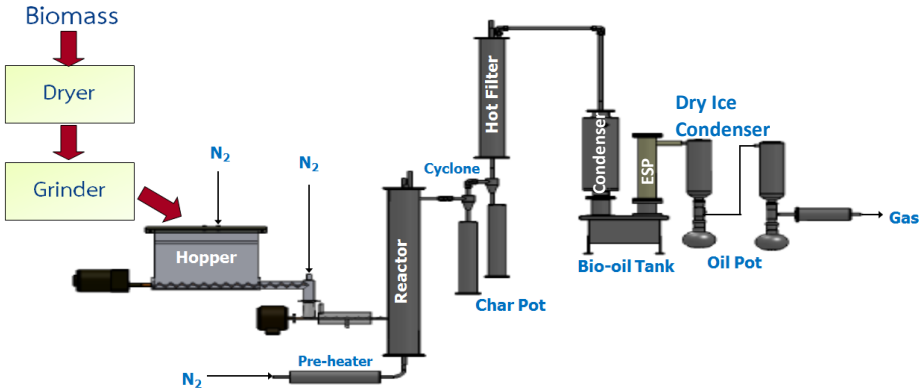
ประเทศไทยจัดว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีชีวมวลหลากหลายชนิดในปริมาณที่มาก ดังนั้นเพื่อให้ครอบคลุมการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์ วัตถุดิบชีวมวลที่ใช้ศึกษามีทั้งสิ้น 12 ชนิด และแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ดังนี้

กลุ่ม 1 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ (1) ฟางข้าว (2) แกลบ (3) ใบอ้อย (4) ยอดอ้อย (5) ลำต้นมันสำปะหลัง และ (6) เหง้ามันสำปะหลัง

กลุ่ม 2 กากพืชน้ำมัน ได้แก่ (7) กากเมล็ดปาล์ม (8) กากเมล็ดสบู่ดำ และ (9) กากเมล็ดมะเยาหิน

กลุ่ม 3 ชีวมวลจากไม้เศรษฐกิจและพืชพลังงาน ได้แก่ (10) ขี้เลื่อย (11) ไม้กระถินยักษ์ และ (12) เปลือกไม้ยูคาลิปตัส

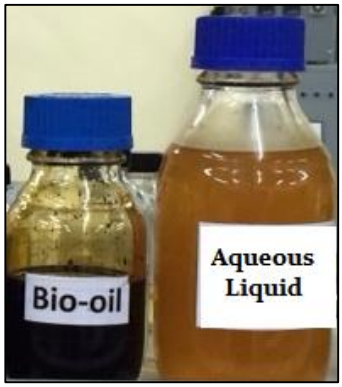
ชีวมวลทั้ง 12 ชนิด ถูกนำมาผ่านกระบวนการ Fast Pyrolysis โดยหลักการทำงานของระบบที่ใช้แสดงได้ดังรูปที่ 4-1 ขณะที่รูปที่ 4-2 แสดงรูปเครื่องที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์



รูปที่ 4-1 แผนภาพกระบวนการ Fast Pyrolysis โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด

รูปที่ 4-2 ชุดเครื่องผลิตไบโอออยล์ด้วยกระบวนการ Fast Pyrolysis

จากการทดสอบการทำงานของระบบ Fast Pyrolysis ของหน่วยปฏิบัติการวิจัยพลังงานชีวภาพและทรัพยากรหมุนเวียน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยระบบ Fast Pyrolysis นี้ผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์เหลวที่เรียกว่าไบโอออยล์ และมีของเหลวอีกส่วนหนึ่งที่ได้จากการควบแน่นไอไพโรไลซีสที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งส่วนนี้มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักและไม่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ อีกทั้งยังมีความเป็นกรดสูงหรือมีค่าพีเอชต่ำมากนั่นเอง แต่สามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อประโยชน์อย่างอื่น เช่น ใช้เป็นสารไล่แมลง ลักษณะทางกายภาพของของเหลวที่ได้ทั้งสองแสดงได้ดังรูปที่ 4-3 อย่างไรก็ตามการศึกษานี้จะมุ่งเน้นผลิตภัณฑ์เหลวไบโอออยล์



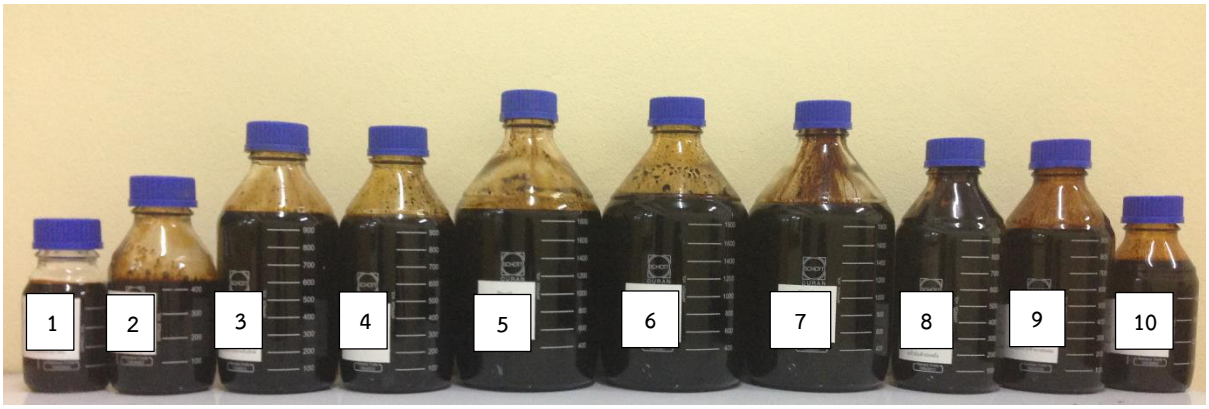
รูปที่ 4-3 การเปรียบเทียบสีของไบโอออยล์ (Bio-oil) และน้ำส้มหรือของเหลวที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก (Aqueous liquid)

ผลการผลิตไบโอออยล์จากชีวมวลทั้ง 12 ชนิด สรุปได้ดังตารางที่ 4-1 โดยมีปริมาณสะสมรวมไม่ต่ำกว่า 10 ลิตร ดังรูปที่ 4-4 และผลพลอยได้คือถ่านชาร์ ดังรูปที่ 4-5 ปริมาณผลได้ของไบโอออยล์อยู่ในช่วง 31.5-58.1% โดยขี้เลื่อยให้ไบโอออยล์สูงที่สุดและ ฟางข้าวให้ไบโอออยล์ต่ำที่สุด และจากการศึกษาสมบัติของไบโอออยล์เมื่อใช้ชีวมวลต่างชนิดกันโดยทั่วไปไม่ต่างกันมากนักเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่มีขายในท้องตลาด ดังนั้นไบโอออยล์ที่ได้จากขี้เลื่อยจึงเลือกเป็นตัวแทนเพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี และเปรียบเทียบกับสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่ขายในท้องตลาด

ตารางที่ 4-1 ปริมาณผลได้และค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ Fast Pyrolysis

ชีวมวล	ปริมาณผลได้ (% ของชีวมวลแห้ง)				ค่าความร้อน (MJ/kg)	
	ไบโอออยล์	น้ำส้ม	ถ่านชาร์	แก๊ส	ไบโอออยล์	ถ่านชาร์
ขี้เลื่อย	58.1	9.3	18.4	14.2	19.98	24.38
กากเมล็ดมะเยาหิน	56.4	17.6	14.7	11.3	29.9	15.5
ไม้กระถินยักษ์	46.2	18.4	17.1	18.3	20.33	20.0
กากเมล็ดปาล์ม	44.6	16.5	29.5	9.4	27.1	20.0
แกลบ	42.6	10.7	30.7	16.0	15.4	21.0
เหง้ามันสำปะหลัง	42.5	15.5	25.3	16.7	22.1	25.5
ลำต้นมันสำปะหลัง	41.4	13.0	21.8	23.8	22.2	24.7
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	40.8	16.6	29.1	13.5	16.3	20.0
กากเมล็ดสบู่ดำ	40.7	8.3	33.6	17.4	23.4	20.0
ยอดอ้อย	35.0	16.0	30.5	18.5	20.0	22.8
ใบอ้อย	33.9	12.0	26.5	27.6	21.7	21.9

ชีวมวล	ปริมาณผลได้ (% ของชีวมวลแห้ง)				ค่าความร้อน (MJ/kg)	
	ไบโอออยล์	น้ำส้ม	ถ่านชาร์	แก๊ส	ไบโอออยล์	ถ่านชาร์
ฟางข้าว	31.5	15.5	30.7	22.3	18.5	22.0



รูปที่ 4-4 ไบโอออยล์จากชีวมวลที่ผลิตจากกระบวนการ Fast Pyrolysis รวมไม่ต่ำกว่า 10 ลิตร

เรียงจากซ้ายไปขวา คือ

1. ไบโอออยล์จากกากเมล็ดมะเยาหินปริมาณ 0.25 ลิตร
2. ไบโอออยล์จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสปริมาณ 0.5 ลิตร
3. ไบโอออยล์จากไม้กระถินยักษ์ปริมาณ 1 ลิตร
4. - 6. ไบโอออยล์จากขี้เลื่อยปริมาณรวม 5 ลิตร
7. - 8. ไบโอออยล์จากเหง้ามันสำปะหลังปริมาณรวม 3 ลิตร
9. -10. ไบโอออยล์จากชีวมวลผสมปริมาณรวม 1.5 ลิตร

รูปที่ 4-5 ตัวอย่างถ่านชาร์ที่ผลิตได้จากระบบ Fast Pyrolysis

ผลการทดสอบสมบัติและคุณภาพไบโอออยล์ ด้วยวิธีการตาม ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน (ธพ.) เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเตา (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2547 แสดงดังตารางที่ 4-2 โดยเปรียบเทียบกับ

น้ำมันเตาชนิดที่ 1 หรือน้ำมันเตาเอ (A) ซึ่งพบว่าไบโอออยล์ปริมาณกำมะถัน ความหนืด จุดวาบไฟ จุดไหลเท เถ้า และน้ำและตะกอน ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด แต่ค่าความถ่วงจำเพาะ ปริมาณความร้อน และสีของไบโอออยล์ ไม่ผ่านเกณฑ์ โดยปริมาณความร้อนของไบโอออยล์มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำมันเตาชนิดที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากไบโอออยล์มีปริมาณน้ำที่วัดตามมาตรฐาน ASTM E 203 ด้วยวิธี Volumetric Karl Fischer Titration (ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณน้ำทั้งหมดทั้งที่ปะปนทางกายภาพและเคมี) สูงถึง 20.85% โดยมวล

ตารางที่ 4-2 สมบัติของไบโอออยล์ที่วิเคราะห์ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน (ธพ.) เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเตา

ข้อกำหนด	วิธีทดสอบ	ไบโอออยล์	น้ำมันเตา ชนิดที่ 1
ปริมาณกำมะถัน ร้อยละโดยมวล (Sulphur content, wt%)	ASTM D 4294	0.016	≤ 2.0
ค่าความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 °ซ (Specific Gravity at 15.6/15.6 °C)	ASTM D 1298	1.2681	≤ 0.985
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 50 °ซ. เซนติสโตกส์ (Viscosity, cSt)	ASTM D 445	69.17	7-80
จุดวาบไฟ °ซ. (Flash Point, °C)	ASTM D 93	65.0	≥ 60
จุดไหลเท °ซ. (Pour Point, °C)	ASTM D 97	-9	≤ 24
ปริมาณความร้อน Cal/g และ MJ/kg (Gross Heat of Combustion, Cal/g and MJ/kg)	ASTM D 240	4,773/19.97	≥10,000 /41.84
เถ้า (ร้อยละโดยมวล) (Ash content, wt%)	ASTM D 482	0.091	≤ 0.1
น้ำและตะกอน ร้อยละโดยปริมาตร (Water and Sediment, vol%)	ASTM D 1796	0.30	≤ 1.0
สี (Colour)	ASTM D 1500	> 8.0	≥8.0

ที่มา: ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน (ธพ.) เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพน้ำมันเตา (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2547

ผลการเปรียบเทียบสมบัติของไบโอออยล์ที่ผลิตได้กับ ASTM D7544 – 12 (ตารางที่ 3-1) พบว่าไบโออออยล์ที่ผลิตได้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D7544 – 12 ซึ่งอาจกล่าวได้ในเบื้องต้นว่าไบโอออยล์ที่ผลิตได้มีคุณภาพและมาตรฐานเทียบเท่าไบโอออยล์ที่ผลิตจากกระบวนการ Fast Pyrolysis ตาม ASTM D7544 – 12 ที่เป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับทั่วโลก และมีประเด็นที่น่าสนใจ คือ ค่าความร้อนของไบโอออยล์ที่ผลิตได้จากชีวมวลในประเทศไทยและจากเทคโนโลยีในประเทศไทย มีค่าสูงถึง 19.98 MJ/kg โดยมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของ ASTM D7544 – 12 ที่กำหนดไว้เพียง 15 MJ/kg ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของไบโอออยล์ที่ผลิตได้นี้มีค่าสูงกว่ามาตรฐานสากลมาก

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงคุณภาพของไบโอออยล์ที่ผลิตได้หลัก ๆ ไม่ว่าจะต้องการปรับปรุงให้ได้เป็นน้ำมันเตา น้ำมันดีเซล หรือน้ำมันเบนซิน จำเป็นต้องเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีพื้นฐานของไบโอออยล์โดยการ

ดึงออกซิเจนออก โดยปฏิกิริยาที่ใช้คือ ปฏิกิริยาดีออกซิจิเนชั่น (Deoxygenation) ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นเพื่อให้มีการพัฒนาการผลิตไบโอออยล์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ตามท้องตลาด ควรมีการศึกษาวิธีการปรับปรุงสมบัติของไบโอออยล์ที่ได้จากกระบวนการ Fast Pyrolysis โดยอาจสามารถปรับปรุงภายในกระบวนการก่อนที่จะผลิตออกมาเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ Catalytic Fast Pyrolysis หรือปรับปรุงภายหลังจากที่ผลิตเป็นไบโอออยล์หรือไบโอออยล์แล้ว ด้วยกระบวนการ Hydrotreating และ Hydrocracking

5. การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินผลทางเศรษศาสตร์ของการผลิตน้ำมันสังเคราะห์จากชีวมวลแบ่งได้เป็น 3 แนวทางหลัก ๆ ซึ่งได้แก่ กระบวนการ Fast Pyrolysis สำหรับผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเตา กระบวนการ Catalytic Fast Pyrolysis สำหรับผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเบนซิน และกระบวนการ Fast Pyrolysis ตามด้วย Bio-oil upgrading ด้วยวิธี Hydrotreating และ Hydrocracking สำหรับผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเบนซินและดีเซล แต่การคำนวณในกรณีสุดท้ายนี้คำนวณเทียบเท่าน้ำมันเบนซินเป็นหลักเนื่องจากสัดส่วนของน้ำมันดีเซลมีเพียง 5% โดยทั้ง 3 แนวทางนี้มีการศึกษาเพื่อประเมินราคาน้ำมันสังเคราะห์ในหน่วย บาท/ลิตร และมีการศึกษาปัจจัยที่ใช้ประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ ซึ่งได้แก่ อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) ของปัจจัยเหล่านี้ด้วย

ในการศึกษากระบวนการ Fast Pyrolysis สำหรับผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเตาที่มีอัตราป้อนชีวมวล 20 ตัน/วัน พบว่าต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้างโรงงานมีค่าประมาณ 45 ล้านบาท โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 5-1 และตารางที่ 5-2 สรุปผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของชีวมวลทั้ง 12 ชนิด ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 8-21 บาท/ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชีวมวลที่ใช้ โดยราคาต่ำที่สุดนี้ได้มาจากการใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ (8.41 บาท/ลิตร) รองลงมาคือกากมะเยาหิน (9.15 บาท/ลิตร) และลำต้นมันสำปะหลัง (10.34 บาท/ลิตร) ขณะที่แกลบเป็นชีวมวลที่ทำให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์มีค่าสูงที่สุด (21.10 บาท/ลิตร) จากการวิเคราะห์สัดส่วนของราคาต้นทุนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์นี้ พบว่าราคาชีวมวลส่งผลต่อราคาน้ำมันสูงถึง 45% ดังรูปที่ 5-1 นอกจากนี้ยังพบว่าโครงการ Fast Pyrolysis ให้ผลตอบแทนภายในอยู่ในช่วง 12-46% และระยะเวลาคืนทุน 4-12 ปี โดยกากเมล็ดมะเยาหินและเหง้ามันสำปะหลังเป็นชีวมวลที่ให้ผลตอบแทนสูงที่สุดและระยะเวลาคืนทุนต่ำที่สุด ขณะที่แกลบเป็นชีวมวลที่ให้ผลตอบแทนต่ำที่สุดและระยะเวลาคืนทุนนานที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม แกลบเป็นชีวมวลที่คุ้มค่าต่อการลงทุน ดังนั้นในการศึกษาการวิเคราะห์ความอ่อนไหวโครงการ Fast Pyrolysis ที่ใช้แกลบเป็นวัตถุดิบจึงเป็นกรณีตัวอย่างสำหรับการศึกษาวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ โดยพบว่าการขยายกำลัง

การผลิตของโรงงานส่งผลต่อผลตอบแทนมากที่สุด รองลงมาคือการเปลี่ยนแปลงราคาชีวมวล โดยหากขยายกำลังการผลิตเป็น 100 ตัน/วัน ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์สามารถลดลงได้ถึง 8 บาท/ลิตร

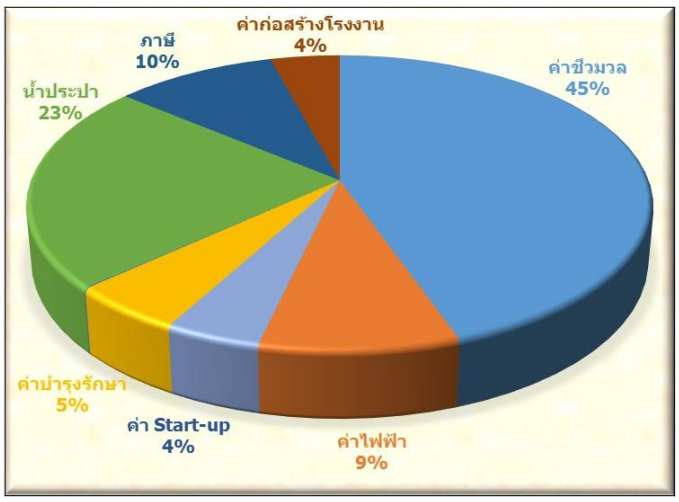
ตารางที่ 5-1 ค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบ Fast Pyrolysis ขนาดอัตราป้อนชีวมวลแห้ง 20 ตัน/วัน ที่ใช้ในแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์

ลำดับที่	อุปกรณ์	ราคา (บาท)
1	ชุดอบแห้ง	3,140,000
2	ระบบบดย่อย	1,880,000
3	ชุดเก็บและป้อนชีวมวล	1,250,000
4	เครื่องปฏิกรณ์	3,140,000
5	ชุดไซโคลน	1,880,000
6	ชุดกรองไอร้อน	3,140,000
7	ระบบดักไอน้ำมันด้วยไฟฟ้าสถิต	6,270,000
8	ชุดควบแน่น	1,880,000
9	ถังเก็บน้ำมัน	1,250,000
10	ระบบโครงสร้างและอื่น ๆ	21,320,000
รวม		**45,150,000**

ตารางที่ 5-2 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวลทั้ง 12 ชนิด ด้วยกระบวนการ Fast Pyrolysis แบบไม่มีการปรับปรุง

ชีวมวล	ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเตา (บาทต่อลิตร)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (ล้านบาท) (Net Present Value: NPV)	อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)	อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี) (Payback Period)
เหง้ามันสำปะหลัง	8.41	145	34%	4.66	5
กากเมล็ดมะเยาหิน	9.15	236	46%	6.96	4
ลำต้นมันสำปะหลัง	10.34	120	31%	4.04	6
ไม้กระถินยักษ์	11.41	153	35%	4.86	5
กากเมล็ดปาล์ม	12.38	132	31%	4.33	6
ขี้เลื่อย	12.74	115	29%	3.91	6

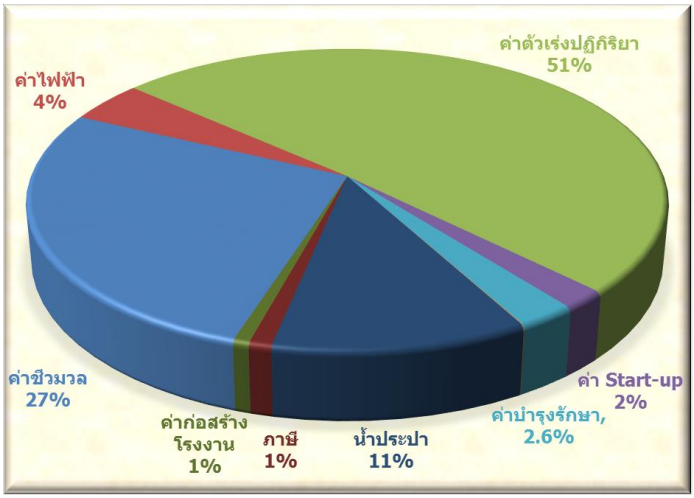
ชีวมวล	ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเตา (บาทต่อลิตร)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (ล้านบาท) (Net Present Value: NPV)	อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)	อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี) (Payback Period)
ยอดอ้อย	15.49	60	20%	2.52	8
ฟางข้าว	16.14	49	19%	2.23	8
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	16.79	49	19%	2.25	8
ใบอ้อย	17.98	38	17%	1.97	9
กากเมล็ดสบู่ดำ	20.33	18	13%	1.46	12
แกลบ	21.10	13	12%	1.33	12



รูปที่ 5-1 สัดส่วนของค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเตาจากกระบวนการ Fast Pyrolysis

กระบวนการ Catalytic Fast Pyrolysis สำหรับผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเบนซินมีสมมุติฐานที่สำคัญว่า ต้นทุนค่าก่อสร้างโรงงานมีค่าเท่ากับกระบวนการ Fast Pyrolysis แต่ที่แตกต่างกันคือมีค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มเข้ามา ซึ่งกำหนดไว้ 50,000 บาท/ตัน และปริมาณตัวเร่งที่ใช้คือ 1 (ตันของตัวเร่งปฏิกิริยา/ตันของชีวมวลแห้ง)/ปี โดยจากการวิเคราะห์พบว่าราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ผลิตได้นี้มีราคาสูงถึง 70 บาท/ลิตร ซึ่งราคานี้ส่วนใหญ่ (51%) มาจากค่าใช้จ่ายของตัวเร่งปฏิกิริยา ขณะที่ 27% มาจากค่าวัตถุดิบชีวมวล ดังรูปที่ 5-2 เนื่องจากปัจจุบันราคาน้ำมันเบนซินมีค่าประมาณ 30-40 บาท/ลิตร ทำให้โครงการยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนเพื่อให้ได้ผลตอบแทนภายในที่ 10% ดังนั้นมูลค่าปัจจุบันสุทธิของ

โครงการจึงมีค่าติดลบ อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการเพื่อหาจุดที่ทำให้โครงการคุ้มค่าต่อการลงทุนพบว่าหากมีสถานการณ์เกิดขึ้น 3 รูปแบบ สามารถทำให้โครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนที่อัตราผลตอบแทนภายใน 10% ดังนี้ (1) อัตราการสิ้นเปลืองและราคาตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงลดลงอย่างละ 20% (2) ราคาวัตถุดิบที่ใช้เป็นชีวมวลลดลงจาก 1,500 บาท/ตัน เหลือ 615 บาท/ตัน และ (3) ปริมาณผลได้ของน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เพิ่มขึ้นจาก 5% เป็น 16%



รูปที่ 5-2 สัดส่วนของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเบนซินจากกระบวนการ Catalytic Fast Pyrolysis

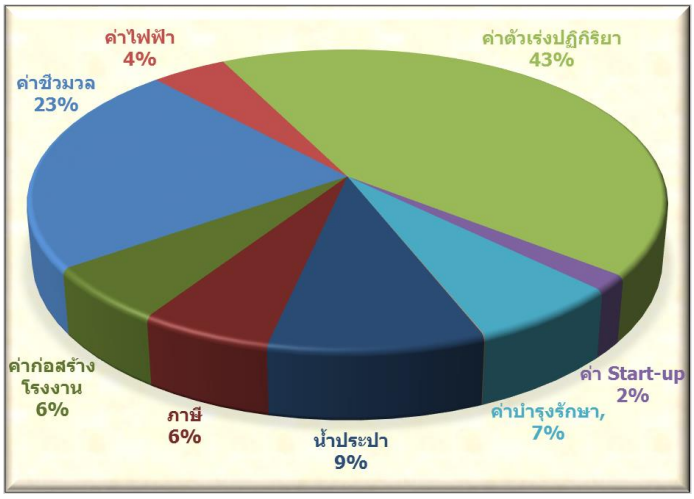
กรณีกระบวนการ Fast Pyrolysis ตามด้วย Bio-oil upgrading สำหรับผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเบนซินและดีเซล พบว่าต้นทุนการลงทุนมีค่าประมาณ 138 ล้านบาท ดังตารางที่ 5-3 และผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สรุปได้ดังตารางที่ 5-4 โดยโครงการคุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากให้อัตราผลตอบแทนภายใน 10.5% แต่ระยะเวลาคืนทุนของโครงการคือ 13 ปี ซึ่งค่อนข้างยาวนาน เนื่องจากต้นทุนการลงทุนที่สูงในส่วนของ Bio-oil upgrading แต่ถึงกระนั้นก็ดี ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ผลิตได้เทียบเท่าน้ำมันเบนซินคือ 28 บาท/ลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าราคาน้ำมันเบนซินในท้องตลาดปัจจุบัน รูปที่ 5-3 แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างราคาของน้ำมันที่ผลิตได้นี้มาจากตัวเร่งปฏิกิริยาสูงถึง 43% และวัตถุดิบชีวมวลสูงถึง 23% จากการวิเคราะห์ยังพบว่าหากเพิ่มกำลังการผลิตของโรงงานจากเดิม 20 ตัน/วัน เป็น 50 ตัน/วัน ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์สามารถลดลงได้ 4 บาท/ลิตร แต่ถ้าใช้โรงงานขนาดเท่าเดิม แล้วปรับลดปริมาณการใช้และราคาตัวเร่งปฏิกิริยาลงอย่างละ 20% จะทำให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ลดลงเหลือ 22 บาท/ลิตร ซึ่งทำให้โครงการมีความน่าสนใจในการลงทุนมายิ่งขึ้น

ตารางที่ 5-3 ค่าต้นทุนระบบ Fast Pyrolysis ตามด้วยระบบ Bio-oil Upgrading ขนาดอัตราป้อนชีวมวลแห้ง 20 ตัน/วัน ที่ใช้ในแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์

ลำดับที่	อุปกรณ์	ราคา (บาท)
1	ระบบ Fast Pyrolysis	45,150,000
2	ระบบ Hydrotreater	38,200,000
3	ระบบ Hydrocracker	13,680,000
4	ระบบผลิตแก๊สไฮโดรเจน	40,550,000
รวม		**137,580,000**

ตารางที่ 5-4 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตสังเคราะห์จากชีวมวลด้วยกระบวนการ Fast Pyrolysis และมีการปรับปรุงภายนอกกระบวนการ

ตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์	ผลการวิเคราะห์	หน่วย
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	7.98	ล้านบาท
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR)	10.5	%
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR)	1.07	-
ระยะเวลาคืนทุน	13	ปี
ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเบนซิน	28	บาท/ลิตร
ราคาชีวมวลที่สามารถรับได้ที่อัตราผลตอบแทน 10%	1,575	บาท/ตัน



รูปที่ 5-3 สัดส่วนของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์เทียบเท่าน้ำมันเบนซินจากกระบวนการ Fast Pyrolysis ตามด้วยกระบวนการ Bio-oil Upgrading

โดยสรุปแล้วการปรับปรุงกระบวนการ Fast Pyrolysis ทั้ง 2 วิธี มีความน่าสนใจทั้งทางด้านการลงทุนและการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ทดแทนน้ำมันเบนซินและดีเซล โดย

ประเด็นของการพัฒนาอยู่ที่การค้นคว้าหาวิธีการเพื่อเพิ่มปริมาณผลได้ของน้ำมันและลดการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งหากมีการค้นคว้าหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีราคาถูกหรือสามารถหาได้ในท้องถิ่นจะทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ลดลงได้มาก

6. การเสนอแนะมาตรการหรือนโยบายของภาครัฐ

มาตรการหรือนโยบายของภาครัฐในการส่งเสริมเทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวลด้วยกระบวนการ Fast Pyrolysis แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ตามช่วงระยะเวลา ได้แก่ การส่งเสริมระยะสั้น (พ.ศ. 2557-2559) และการส่งเสริมในระยะยาว (พ.ศ. 2560-2565) โดยรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

6.1 การส่งเสริมระยะสั้น (พ.ศ. 2557-2559)

6.1.1 การวิจัยและพัฒนา

สนับสนุนทุนการศึกษาวิจัยให้กับนักศึกษาในระดับปริญาตรี โท และเอก ที่ทำวิจัยในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ Fast Pyrolysis รวมทั้งวิจัยการปรับปรุงกระบวนการ และการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ และส่งเสริมการศึกษาวิจัยในภาคการศึกษา และภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเทคโนโลยี Fast Pyrolysis เพื่อลดต้นทุนในการผลิต โดยกรอบหัวข้อวิจัยและพัฒนามีดังนี้

1) การศึกษาวิจัยออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ที่ช่วยเพิ่มปริมาณผลได้ของน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ และให้สมบัติของน้ำมันสังเคราะห์ดีขึ้น
2) การศึกษาวิจัยเพื่อลดการใช้พลังงานและทรัพยากรในกระบวนการ Fast Pyrolysis เช่น ลดการใช้พลังงานความร้อนในการเริ่มต้นระบบ ลดการใช้ไฟฟ้าภายในโรงงาน ลดการใช้หรือการสูญเสียน้ำสำหรับการหล่อเย็นระบบควบแน่น การเพิ่มประสิทธิภาพการควบแน่น การนำความร้อนทิ้งจากระบบกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น
3) การศึกษาวิจัยกระบวนการ Catalytic Fast Pyrolysis โดยมุ่งเน้นให้ได้ปริมาณผลได้สูงขึ้น ลดสัดส่วนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา วิจัยเพื่อค้นหาตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่นหรือในประเทศไทย โดยอาจเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาธรรมชาติ หรือการนำตัวเร่งปฏิกิริยาธรรมชาติมาสังเคราะห์ ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการซื้อตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้งาน
4) การศึกษาวิจัยกระบวนการปรับปรุงไบโอออยล์ (Bio-oil Upgrading) ด้วยเทคนิค Hydrotreating และ Hydrocracking เพื่อเพิ่มปริมาณผลได้ของน้ำมันสังเคราะห์ และลดสัดส่วนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังควรค้นหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีราคาถูกและสามารถผลิตได้ในประเทศไทย
5) การศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งวัตถุดิบชีวมวลที่มีราคาถูก โดยราคาชีวมวลสามารถลดลงได้ หากมีการจัดการด้านการขนส่งที่ดีขึ้น หรือมีการศึกษาวิจัยเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งโรงงาน Fast Pyrolysis ที่เหมาะสมเพื่อให้ระยะทางในการขนส่งชีวมวลมายังโรงงานต่ำที่สุดและจะทำให้ค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนราคาชีวมวลลดลง

6.1.2 การจัดตั้งโรงงานต้นแบบนำร่อง

ปัจจุบันนี้องค์ความรู้ในด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ Fast Pyrolysis ในระดับห้องปฏิบัติการในประเทศไทยได้มีการพัฒนาไปมาก โดยมีการออกแบบและสร้างโรงงานจำลองขนาดห้องปฏิบัติการหลายรูปแบบ ในขั้นตอนถัดไปภาครัฐควรส่งเสริมให้มีการพัฒนา ออกแบบ และสร้างโรงงานต้นแบบหรือโรงงานนำร่อง โดยอาจร่วมมือกับต่างประเทศที่มีความเชี่ยวชาญแล้ว เพื่อนำโรงงานต้นแบบนี้ไปใช้ในการทดลองผลิตน้ำมันสังเคราะห์จากชีวมวลในประเทศไทย อีกทั้งนำน้ำมันที่ได้ไปปรับปรุงสมบัติเพื่อให้ได้น้ำมันเทียบเท่าน้ำมันเบนซินและดีเซล โดยโรงงานต้นแบบนำร่องนี้สามารถออกแบบให้เป็นโรงงานขนาดย่อมที่ตั้งอยู่ที่ใดที่หนึ่ง (Stationary Fast Pyrolysis Pilot Plant) หรือออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ได้หรือที่เรียกว่า Mobile Fast Pyrolysis Plant เพื่อเคลื่อนที่โรงงานไปยังแหล่งชีวมวล ซึ่งจะสามารถทำให้ลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบได้

6.1.3 การจัดตั้งศูนย์เรียนรู้และเผยแพร่

เนื่องจากกระบวนการ Fast Pyrolysis ที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวลยังไม่เป็นที่รู้จักกันมากนักในหมู่นักลงทุน ดังนั้นการประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ Fast Pyrolysis สามารถดึงดูดให้ผู้ประกอบการที่สนใจทำการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีนี้มากยิ่งขึ้น โดยการจัดตั้งเป็นศูนย์เรียนรู้และเผยแพร่องค์ความรู้ โดยหากมีโรงงานต้นแบบแล้วจะช่วยให้การเผยแพร่ความรู้ดียิ่งขึ้น ซึ่งอาจจัดทำอยู่ในแผนการพัฒนาอุทยานวิทยาศาสตร์ส่วนภูมิภาค โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโซนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ซึ่งมีโรงงานจำลองขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมาก ณ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม นอกจากนี้หากมีการสนับสนุนการจัดการฝึกอบรมให้กับผู้สนใจทั่วไปก็จะทำให้เทคโนโลยี Fast Pyrolysis มีการพัฒนามากยิ่งขึ้น

6.2 การส่งเสริมในระยะยาว (พ.ศ. 2560-2565)

การส่งเสริมระยะยาวสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1) ส่งเสริมการลงทุนสร้างโรงงานระดับสาธิต (Demonstration plant) ขนาดอย่างน้อย 10 ตัน/วัน โดยภาครัฐ เช่น กระทรวงพลังงาน หรือสถาบันวิจัยในประเทศไทย มีส่วนร่วมในการพัฒนาโรงงานระดับสาธิตร่วมกับต่างประเทศ
2) สนับสนุนการใช้วัตถุเหลือใช้ในการนำมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ เนื่องจากมีวัตถุดิบจำพวกเปลือกไม้เหลือใช้เป็นจำนวนมาก หรือโรงงานที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกรรม เช่น โรงงานปาล์มน้ำมัน (มีทะลายปาล์มและกากปาล์มเหลือใช้) โรงงานแป้งมัน (มีเหง้ามันสำปะหลังเหลือหลังการตัดเอาหัวมันออก) โรงงานข้าวโพด (มีซังข้าวโพดเหลือหลังจากนำเมล็ดออก) โรงงานเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (มีเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เหลืออยู่) นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสังเคราะห์เพื่อใช้เองในโรงงาน โดยรัฐบาลสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการออกแบบและสร้างโรงงาน เพื่อกระตุ้นให้บริษัทเอกชนร่วมลงทุน

เอกสารอ้างอิง

1. Isahak, W.N.R.W., et al., *A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. **16**(8): p. 5910-5923.
2. Bridgwater, A.V., *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading.* Biomass and Bioenergy, 2012. **38**(0): p. 68-94.
3. Bridgwater, A.V. and G.V.C. Peacocke, *Fast pyrolysis processes for biomass.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2000. **4**(1): p. 1-73.
4. ASTM, *Standard Specification for Pyrolysis Liquid Biofuel (ASTM D7544 - 12)*. 2012, American Society for Testing and Materials.
5. Oasmaa, A., et al., *Guidelines for Transportation, Handling, and Use of Fast Pyrolysis Bio-Oil. 1. Flammability and Toxicity.* Energy & Fuels, 2012. **26**(6): p. 3864-3873.
6. Meier, D., et al., *State-of-the-art of fast pyrolysis in IEA bioenergy member countries.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **20**(0): p. 619-641.
7. Butler, E., et al., *A review of recent laboratory research and commercial developments in fast pyrolysis and upgrading.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. **15**(8): p. 4171-4186.
8. Radlein, D. and A. Quignard, *A Short Historical Review of Fast Pyrolysis of Biomass.* Oil & Gas Science and Technology – Revue d'IFP Energies nouvelles, 2013. **68**(4): p. 765-783.
9. Dynamotive. *Proven Technology Backed by World Renowned Partners: Fast Pyrolysis*. 2014 [cited 2014 1 January]; Available from: http://dynamotive.com/technology/; http://dynamotive.com/fuels/.
10. Stucley, C., *Fast pyrolysis, for renewable liquid fuels from wood*. 2010: Biofuels Conference Wellington New Zealand.
11. ENSYN, *The RTP pyrolysis pathway maximizing value of biomass residues*. 2011.
12. Lupton, S., *Biomass conversion to heat, power & fuels: rapid thermal processing (RTP™) and pyrolysis oil upgrading*. 2011, USDA-ARSTeleseminar Series on Chemical Conversion Technologies.
13. Marshall, A.J. *Commercial application of pyrolysis technology in agriculture*. 2013 [cited 2013.

14. ABRI-Tech. *ABRI-Tech Inc.* 2014 1 January]; Available from: http://www.advbiorefineryinc.ca/.
15. Berruti, F., et al., *A mobile pyrolyzer for converting agricultural and forestry residues into liquid bio-oil and bio-char*. 2009, Agri-Therm Inc.
16. Berruti, F.M., *ICFAR, Mobile Pyrolysis System (MPS200), LPS100, MFR & Feeding Technology, Pyrolysis Future Outlook*. 2013, Agri-Therm Inc.
17. BTG. *Biomass Technology Group (BTG), http://www.btg-btl.com/en/*. 2014; Available from: http://www.btg-btl.com/en/.
18. Dahmen, N., et al., *The bioliq(R) bioslurry gasification process for the production of biosynfuels, organic chemicals, and energy.* Energy, Sustainability and Society, 2012. **2**(1): p. 3.
19. Henrich, E., et al., *The karlsruhe "bioliq" process for biomass gasification*, in *2nd European Summer School on Renewable Motor Fuels*. 2007: Warsaw, Poland.