

การไพโรไลซิสซีลี้อยู่ร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ที่สังเคราะห์จากวัสดุเหลือทิ้งเพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพ

Pyrolysis of sawdust with CaO synthesized from wastes for bio-oil production

พัชราภรณ์ คุณชื่น¹, คันธรส จันทรนวล¹ และรัตนกร ยวงสวัสดิ์^{1,*}

Patcharaporn Kuncheun¹, Kantaros Channon¹ and Ratanaporn Yuangsawad^{1,*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

*ติดต่อ E-mail:ratanaporn.y@mail.rmutk.ac.th, เบอร์โทรศัพท์:081-3716357

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการไพโรไลซิสซีลี้อยู่ร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่สังเคราะห์จากวัสดุเหลือทิ้งเพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพ โดยวัตถุดิบที่ใช้สังเคราะห์ CaO ได้แก่ เปลือกไข่ และเปลือกหอยนางรม จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่า CaCO_3 ในเปลือกไข่และเปลือกหอยนางรมสามารถเปลี่ยนเป็น CaO ได้เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 900 °C ในบรรยากาศของอากาศ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง CaO ที่สังเคราะห์ได้จาก เปลือกไข่ (CaO-ES) และเปลือกหอยนางรม (CaO-OS) มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 139.10 และ 54.57 m^2/g ตามลำดับ การไพโรไลซิสซีลี้อยู่แบบใช้และไม่ใช้ CaO กระทำในบรรยากาศของไนโตรเจน อุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสระหว่าง 350 – 550 °C อัตราส่วนระหว่างซีลี้อยู่และ CaO เท่ากับ 5 : 1 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบผลได้และองค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพระหว่างการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ CaO และแบบใช้ CaO ร่วมในการไพโรไลซิส พบว่าการไพโรไลซิสซีลี้อยู่แบบไม่ใช้ CaO ได้น้ำมันชีวภาพสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 55.77 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 450 °C ในขณะที่การไพโรไลซิสร่วมกับ CaO มีผลได้สูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 47.7 ที่อุณหภูมิ 350 °C และ 52.64 ที่อุณหภูมิ 550 °C สำหรับ CaO-ES และ CaO-OS ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันชีวภาพที่ได้ด้วย GC-MS พบว่าการไพโรไลซิสร่วมกับ CaO ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เหลวที่มีสัดส่วนของสารเคมีที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น กรดอะซิติกและอะซีโตน ในปริมาณสูงกว่าการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ CaO ดังนั้นการไพโรไลซิสซีลี้อยู่ร่วมกับ CaO จึงเป็นวิธีการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งเพื่อผลิตน้ำมันชีวภาพอันประกอบด้วยสารเคมีที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

คำสำคัญ: ไพโรไลซิส, ซีลี้อยู่, แคลเซียมออกไซด์, น้ำมันชีวภาพ, วัสดุเหลือทิ้ง

Abstract

The pyrolysis of sawdust with CaO catalyst derived from waste materials for bio-oil production was investigated. The CaO catalysts were synthesized from egg shell and oyster shell wastes which mainly consisting of calcium carbonate (CaCO_3). The XRD pattern confirmed that CaCO_3 was completely transformed into CaO when the egg shell and oyster shell were calcined under atmosphere at 900°C for 5 h. The specific surface area of catalyst synthesized from egg shell (CaO-ES) and oyster shell (CaO-OS) were 139.09 and $54.57\text{ m}^2/\text{g}$, respectively. The pyrolysis was carried out under N_2 atmosphere. The pyrolysis temperature was varied in the range of 350 - 550°C and the mass ratio of catalyst/sawdust was 1:5. The liquid product or bio-oil was collected at the reactor outlet. The product yield was compared between the pyrolysis with and without catalyst. In case of pyrolysis without catalyst, the highest yield of bio-oil was obtained at 55.77 wt% at the pyrolysis temperature of 450°C , while the pyrolysis of sawdust with CaO catalyst, the bio-oil yield reached the maximum at 47.7 wt% ($T=350^\circ\text{C}$) and 52.64 wt% ($T=550^\circ\text{C}$) for CaO-ES and CaO-OS, respectively. The composition of bio-oil was analyzed by GC-MS. The results indicated that the useful chemical fraction (e.g. acetic acid and acetone) obtained from the pyrolysis with catalyst was higher than that of the pyrolysis without catalyst. Therefore, the pyrolysis of sawdust with CaO is a promising technique to utilize the waste materials for bio-oil production which can be used as a resource of useful chemicals.

Keywords: Pyrolysis, Sawdust, CaO, Bio-oil, Waste materials

บทนำ

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งฟอสซิลที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี ในขณะที่แหล่งฟอสซิลตามธรรมชาติมีอยู่อย่างจำกัดทำให้มีการกระตุ้นในการแสวงหาแหล่งพลังงานจากทรัพยากรแหล่งใหม่เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันมีการศึกษาด้านพลังงานทดแทนอย่างกว้างขวางจึงมีเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์พลังงานทดแทนมากมาย เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล พลังงานน้ำ หรือแม้แต่พลังงานจากขยะ เป็นต้น [1]

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ในแต่ละปีมีวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้โดยการเผาเป็นการก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงจึงเป็นทางเลือกที่กำลังได้รับการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ชีวมวลทางการเกษตร เช่น กากชานอ้อย เนื้อในเมล็ดปาล์ม กากมันสำปะหลัง กะลาปาล์ม รวมถึงเศษไม้และขี้เลื่อย มีองค์ประกอบเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภท lignocellulose (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน) ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบต่างๆ ได้ เมื่อผ่านกระบวนการทางความร้อน เช่น การไพโรไลซิส และ แก๊สซิฟิเคชัน [2-4] การไพโรไลซิส คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ความร้อน ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยเมื่อให้ความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลในองค์ประกอบ โดย

ผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย ของแข็ง ของเหลว (pyrolysis oil หรือ Bio-oil) และแก๊ส Salei Al Arni [5] ศึกษาการไพโรไลซิสกากขานอ้อยเพื่อผลิตแก๊สไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง โดยพบว่าปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตได้สูงสุดคิดเป็น 45 vol% ที่อุณหภูมิ 953 K Hawash และคณะ [6] ทำการไพโรไลซิสวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่างๆ เช่น เมล็ดสับดูดำ เปลือกสับดูดำ เมล็ดมะกอก เมล็ดอินทผลัม และสาหร่ายสไปรูไลนา เป็นต้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 773 K ประกอบด้วยน้ำมันชีวภาพและถ่านชีวภาพ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ โดยเมล็ดสับดูดำให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพ 24.29 wt% และค่าความร้อนสูง (HHV) สูงสุดเท่ากับ 38 MJ/kg และ เมล็ดอินทผลัมได้ผลิตภัณฑ์เป็นถ่านชีวภาพ 43 wt% และค่า HHV สูงสุด เท่ากับ 23.34 MJ/kg Ma และคณะ [7] ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสฟางข้าว โดยศึกษาในช่วงอุณหภูมิ 673 -873 K พบว่าองค์ประกอบในน้ำมันชีวภาพประกอบด้วย สารประกอบจำพวก กรด แอลกอฮอล์ ฟิวเรโนล คีโตน อะซีตัล และฟีนอล โดยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นจะได้สารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นด้วย นอกเหนือจากการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสชีวมวลโดยตรงแล้ว ยังได้มีการพัฒนากระบวนการเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากน้ำมันชีวภาพประกอบด้วยสารเคมีที่มีคุณค่าและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม ทั้งเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการและใช้เป็นตัวทำละลายต่างๆ เช่น คีโตน กรดคาร์บอกซิลิก แอลกอฮอล์ และฟีนอล เป็นต้น Saraçoğlu และคณะ [8] ทำการปรับปรุงน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสขี้เลื่อยโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Fe/ZSM-5 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบฟีนอลและอะโรมาติกเพิ่มมากขึ้น Zhang และคณะ [9] นำตัวเร่งปฏิกิริยา CaO และ Fe(III)/CaO มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไพโรไลซิสขี้เลื่อยพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ได้ปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไป CaO สังเคราะห์ได้จากการสลายตัวของ CaCO_3 ที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 °C ซึ่งแหล่งของ CaCO_3 สามารถหาได้ทั่วไปในธรรมชาติ เช่น การทับถมของกากตะกอนคาร์บอนเนต เปลือกแข็งในสัตว์ เป็นต้น [10]

งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำมันชีวภาพจากการไพโรไลซิสขี้เลื่อยไม่ยางนาร่วมกับ CaO ซึ่งสังเคราะห์จากเปลือกไข่และเปลือกหอยนางรม โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการไพโรไลซิสและการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการไพโรไลซิสต่อผลได้ของน้ำมันชีวภาพและองค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพที่ผลิตได้ โดยวิธีการดังกล่าวนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้ง แล้วยังสามารถเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการในการผลิตสารตั้งต้นเพื่อใช้ในการผลิตสารเคมีต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัตถุดิบชีวมวลสำหรับไพโรไลซิส

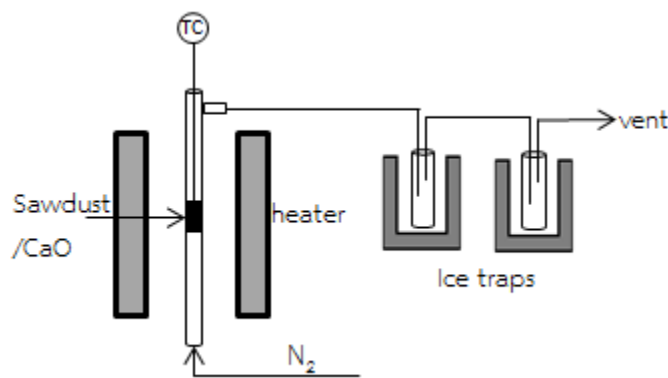
ชีวมวลสำหรับการไพโรไลซิสในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ขี้เลื่อยไม่ยางนา ซึ่งเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการทำเฟอร์นิเจอร์ของสาขาวิชาออกแบบเครื่องเรือน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ อบขี้เลื่อยที่อุณหภูมิ 110 °C นานข้ามคืนจากนั้นเก็บในโถสุญญากาศเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการไพโรไลซิสต่อไป

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO สังเคราะห์จากเปลือกไข่และเปลือกหอยนางรมซึ่งเก็บรวบรวมจากร้านอาหารในพื้นที่ใกล้เคียง ล้างเปลือกไข่และเปลือกหอยให้สะอาด ตากให้แห้ง บดเพื่อลดขนาดและเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และหาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค Brunauer-Emmett-Teller (BET) โดยตัวเร่งปฏิกิริยา CaO ที่สังเคราะห์จากเปลือกไข่และเปลือกหอยนางรม เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ CaO-ES และ CaO-OS ตามลำดับ

การไพโรไลซิสชีวมวล

ขั้นตอนของการไพโรไลซิสแบ่งเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 การไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และตอนที่ 2 เป็นการไพโรไลซิสร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา CaO-ES และ CaO-OS อุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสอยู่ในช่วง 350 – 550 °C ในกรณีของการไพโรไลซิสร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา กำหนดให้อัตราส่วนโดยมวลของขี้เลื่อย: ตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 5:1 โดยบรรจุขี้เลื่อย (และตัวเร่งปฏิกิริยา) ณ ตำแหน่งกึ่งกลางเครื่องปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 1 ป้อนแก๊สไนโตรเจนทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ที่อัตราการไหล 100 cm³/min แก๊สผลิตภัณฑ์จะถูกพาออกทางด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งต่อกับชุดควบแน่น เพื่อควบแน่นแก๊สผลิตภัณฑ์ให้เป็นผลิตภัณฑ์เหลวหรือน้ำมันชีวภาพ ที่อุณหภูมิ 0 °C เมื่อครบกำหนดเวลาจึงนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งที่เหลือและน้ำมันชีวภาพไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละของผลได้ และวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS)



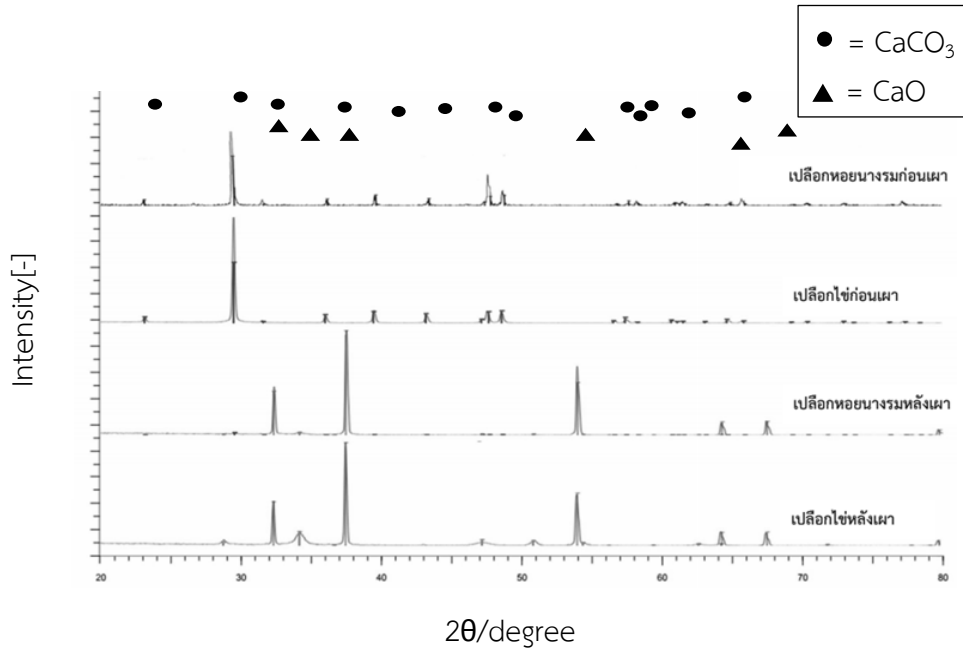
รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการไพโรไลซิส

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตัวเร่งปฏิกิริยา

รูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จากเปลือกไข่และเปลือกหอยนางรม จากรูปแสดงให้เห็นว่า ข้อมูล XRD ของเปลือกไข่และเปลือกหอยนางรมก่อนการเผาแสดงตำแหน่งพีคที่แสดงคุณลักษณะของ CaCO₃ และเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตรวจพบพีคที่แสดงคุณลักษณะของ CaO โดยไม่พบพีคที่แสดงถึงการมีอยู่ของ CaCO₃ แสดงให้เห็นว่า CaCO₃ ที่เป็นองค์ประกอบ

ของเปลือกไข่และเปลือกหอยนางรมสามารถเปลี่ยนเป็น CaO อย่างสมบูรณ์เมื่อผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ดังสมการ (1)



รูปที่ 2 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

ตารางที่ 1 พื้นที่ผิวจำเพาะ และขนาดรูพรุน ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย BET

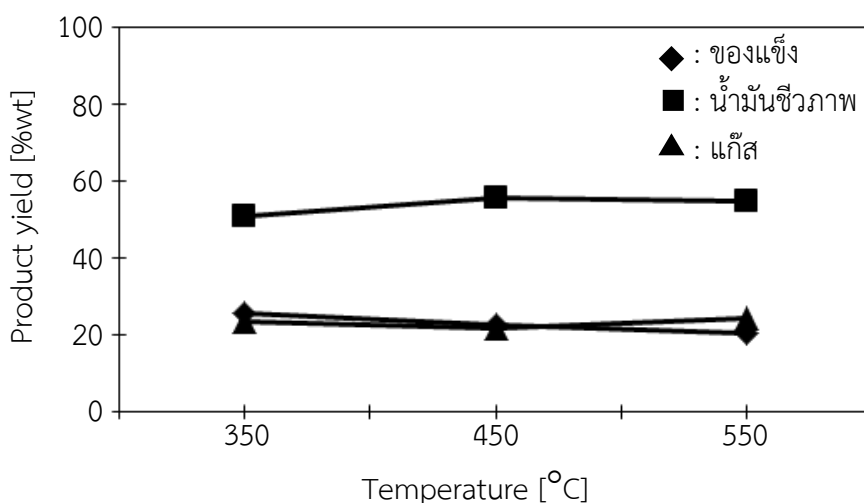
ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m ² /g)	ขนาดรูพรุน (Å)
CaO-ES	139.09	58.05
CaO-OS	54.57	66.94

พื้นที่ผิวจำเพาะและขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET ของ CaO-ES และ CaO-OS แสดงในตารางที่ 1 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา CaO-ES มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 139.09 m²/g ขนาดรูพรุน 58.05 Å และตัวเร่งปฏิกิริยา CaO-OS มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 54.57 m²/g ขนาดรูพรุน 66.94 Å โดยขนาดของรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองอยู่ในช่วงเมโซพอร์

การไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสซึ่งเลื่อยโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการกระจายผลิตภัณฑ์ในรูปของ ของแข็ง น้ำมันชีวภาพ และแก๊ส แสดงดังรูปที่ 3 จากการทดลองพบว่าการไพโรไลซิสที่

อุณหภูมิ 450 °C เป็นอุณหภูมิที่ให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพมากที่สุดถึงร้อยละ 55.77 โดยน้ำหนัก ในขณะที่ของแข็งและแก๊สมีปริมาณร้อยละ 22.46 และ 21.77 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นอุณหภูมิที่ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของแข็งมากที่สุดคือ ร้อยละ 25.59 โดยน้ำหนัก และที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นอุณหภูมิที่ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สมากที่สุดคือร้อยละ 24.52 โดยน้ำหนัก และเมื่ออุณหภูมิในการไพโรไลซิสเพิ่มสูงขึ้นแนวโน้มการเกิดแก๊สผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นด้วย ในขณะที่ปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ได้ลดลงทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวด้วยความร้อนของชีวมวลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และขณะเดียวกันเมื่ออัตราการเกิดขึ้นของแก๊สเพิ่มทำให้ความสามารถในการควบแน่นแก๊สผลิตภัณฑ์ลดลง

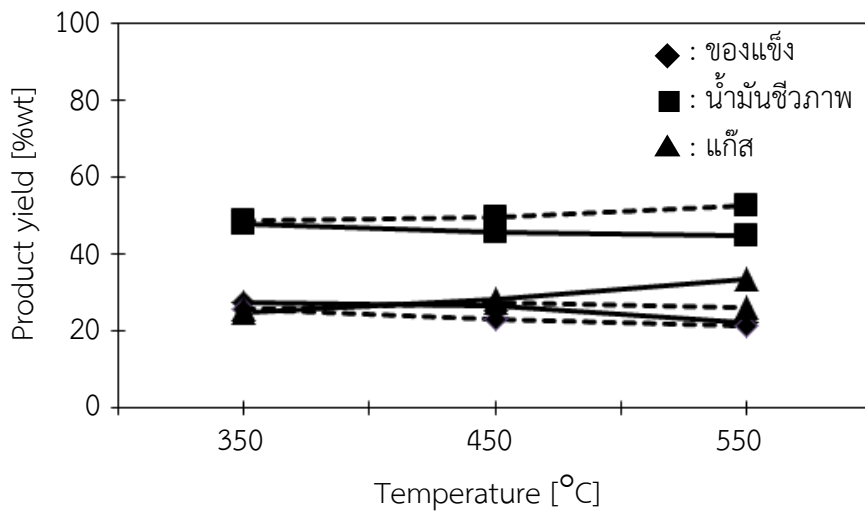


รูปที่ 3 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสต่อการกระจายผลิตภัณฑ์ (ซีลี้อย = 5 g, เวลาไพโรไลซิส = 30 นาที)

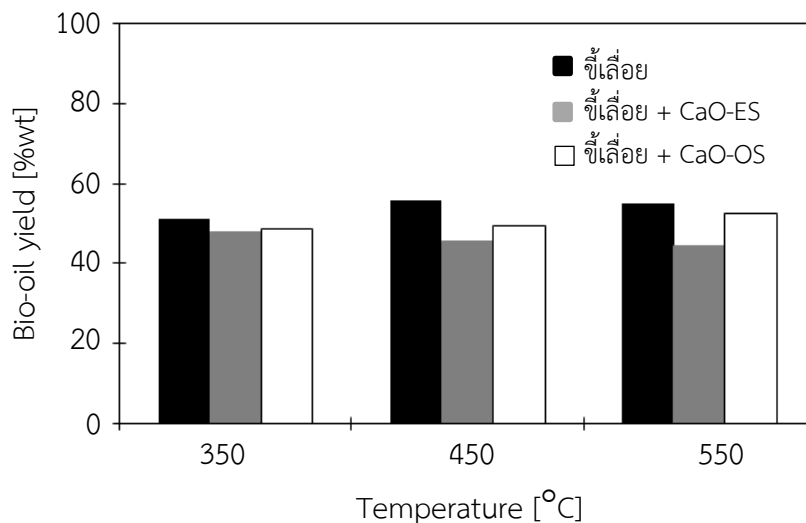
การไพโรไลซิสโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

การไพโรไลซิสซีลี้อยร่วมกับ CaO-ES และ CaO-OS โดยกำหนดให้อัตราส่วนระหว่าง ซีลี้อย : ตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 5:1 โดยน้ำหนัก ทำการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 350 450 และ 550 °C เป็นเวลา 30 นาที ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO-ES ที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นอุณหภูมิที่ได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดคือร้อยละ 47.70 โดยน้ำหนัก และจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO-OS จะได้ปริมาณน้ำมันชีวภาพสูงสุดร้อยละ 52.64 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 550 °C นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลได้ของน้ำมันชีวภาพกับการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง CaO-ES และ CaO-OS จะทำให้ปริมาณร้อยละน้ำมันชีวภาพที่ได้ลดน้อยลงกว่าการไพโรไลซิสโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saraçoğlu และคณะ [8] ซึ่งได้ทำการไพโรไลซิสซีลี้อยไม้ปืชโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ZSM-5 และ Fe/ZSM-5 พบว่าเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ปริมาณของน้ำมันชีวภาพลดลง แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบว่าสารประกอบฟีนอลมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากเดิมและงานวิจัยของ Chen และคณะ [11] ซึ่งได้ทำการไพโรไลซิส Cotton stalk พบว่าได้น้ำมันชีวภาพถึงร้อยละ 51 โดยน้ำหนัก และเมื่อไพโรไลซิสร่วมกับ

ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO โดยให้อัตราส่วน CaO/biomass เป็น 0.2-1.0 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ได้ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของ CaO โดยองค์ประกอบของสารที่ได้มีความซับซ้อนน้อยลง



รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายผลิตภัณฑ์สำหรับการไพโรไลซิสชีเลื่อยร่วมกับ CaO
(— : CaO-ES, : CaO-OS, ชีเลื่อย : CaO = 5 :1 โดยน้ำหนัก, เวลาไพโรไลซิส = 30 นาที)



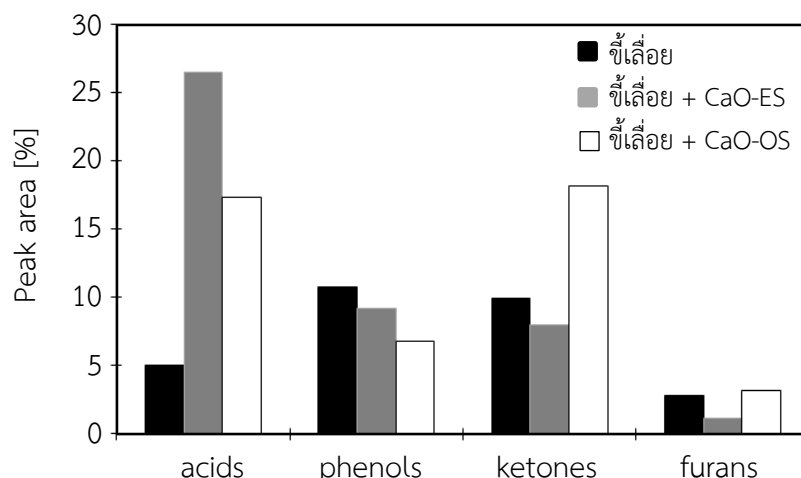
รูปที่ 5 อิทธิพลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับการไพโรไลซิสต่อผลได้น้ำมันชีวภาพที่อุณหภูมิต่างๆ
(ชีเลื่อย : CaO = 5 :1 โดยน้ำหนัก, เวลาไพโรไลซิส = 30 นาที)

เมื่อพิจารณาผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ CaO-OS และ Ca-ES พบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO-OS จะให้ปริมาณร้อยละน้ำมันชีวภาพสูงกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO-ES ในทุกช่วงอุณหภูมิ ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก ปฏิกิริยาปฏิกิริยาจากการแตกตัวด้วยความร้อนของลิกโนเซลลูโลส จะได้ผลิตภัณฑ์เหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง [12] ซึ่งองค์ประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่และโครงสร้างที่มีความซับซ้อนทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่ผ่านรูพรุน

ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดเล็กของ CaO-ES เป็นไปด้วยความลำบาก จึงเกิดปฏิกิริยาเฉพาะที่ผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็นจาก 350 °C เป็น 450 และ 550 °C ผลได้ของน้ำมันชีวภาพจึงลดลง เนื่องจากความสามารถในเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยความร้อนมากขึ้นส่งผลให้ได้ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ในขณะที่ CaO-OS มีรูพรุนขนาดใหญ่กว่าจึงทำให้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาปฏิกิริยาสามารถเคลื่อนผ่านและเกิดการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งภายนอกพื้นผิวและภายในรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เหลวมากกว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 450 °C และ 550 °C

องค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพ

รูปที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในน้ำมันชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์พบว่าการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วยองค์ประกอบมากกว่า 25 ชนิด โดยองค์ประกอบหลักคือสารจำพวกฟีนอลมีปริมาณร้อยละ 10.73 ของพื้นที่ใต้กราฟ โดยมี 2,6-dimethoxyphenol ปริมาณมากที่สุดคิดเป็นพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับร้อยละ 5.71 และองค์ประกอบอื่นอีกปริมาณเล็กน้อย ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความซับซ้อนขององค์ประกอบน้อยกว่า โดยองค์ประกอบหลักที่พบ คือ acetic acid ซึ่งมีพื้นที่ใต้กราฟสูงถึงร้อยละ 17.33 สำหรับการไพโรไลซิสโดยใช้ CaO-OS และ ร้อยละ 25.63 สำหรับการไพโรไลซิสโดยใช้ CaO-ES นอกจากนี้การไพโรไลซิสร่วมกับ CaO-OS ยังพบสารประกอบจำพวกคีโตน ได้แก่ acetone butanone cyclopentanone เป็นต้น โดยเฉพาะ acetone ตรวจพบในสัดส่วนที่สูงถึงร้อยละ 10.66 ของพื้นที่ใต้กราฟซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen และคณะ [11] ซึ่งได้ทำการไพโรไลซิส Cotton stalk พบว่าเมื่อไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้มีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบจำพวกกรดคาร์บอกซิลิกและฟีนอล และเมื่อไพโรไลซิสร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา CaO พบว่าผลิตภัณฑ์เหลวมีองค์ประกอบหลักเป็นสารประกอบจำพวกคีโตน และกรดคาร์บอกซิลิก ในขณะที่สารประกอบฟีนอลมีอัตราส่วนที่ลดน้อยลงซึ่งทั้ง acetic acid และ acetone เป็นสารเคมีที่ใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง



รูปที่ 6 องค์ประกอบในน้ำมันชีวภาพจากการไพโรไลซิสชี้เลื่อยและการไพโรไลซิสชี้เลื่อยร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาจากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS

สรุปผลการทดลอง

การไพโรไลซิสชี้เลื่อยจากการผลิตเฟอร์นิเจอร์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO จากวัสดุเหลือทิ้งในครัวเรือน ได้แก่ เปลือกไข่ และเปลือกหอยนางรม สามารถผลิตน้ำมันชีวภาพที่มีความซับซ้อนขององค์ประกอบลดลงเมื่อเทียบกับการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยารวมไปถึงมีความแตกต่างขององค์ประกอบในน้ำมันชีวภาพ โดยการไพโรไลซิสแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาองค์ประกอบหลักในน้ำมันชีวภาพเป็นสารประกอบของฟีนอล ในขณะที่การไพโรไลซิสชี้เลื่อยร่วมกับ CaO-ES และ CaO-OS จะได้น้ำมันชีวภาพที่ประกอบด้วย acetic acid และ acetone เป็นองค์ประกอบหลักตามลำดับ ซึ่งสารเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นและตัวทำละลายในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนั้นกระบวนการไพโรไลซิสชี้เลื่อยร่วมกับ CaO จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dincer, I. (2000). Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2), 157-175.
- [2] Ni, M., Leung, D. Y. C., Leung, M. K. H. & Sumathy, K. (2006). An overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Processing Technology*, 87(5), 461-472.
- [3] Yaman, S. (2004). Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. *Energy Conversion and Management*, 45, 651-671.
- [4] Valenzuela, M. B., Jones, C. W. & Agrawal, P. K. (2006). Batch aqueous-phase reforming of woody biomass. *Energy & Fuels*, 20, 1744-1752.

- [5] Arni, S. A. (2018). Comparison of slow and fast pyrolysis for converting biomass into fuel. *Renewable Energy*, 124, 197-201.
- [6] Hawash, S. I., Farah, J.Y.& El-Diwani, G. (2017). Pyrolysis of agriculture wastes for bio-oil and char production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 124, 369-372.
- [7] Ma, S., Zhang, L., Zhu, L. & Zhu, X. (2018). Preparation of multipurpose bio-oil from rice husk by pyrolysis and fractional condensation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 131, 113-119.
- [8] Saracoglu, E., Uzun, B. B. & Apaydin-Varol, E. (2017). Upgrading of fast pyrolysis bio-oil over Fe modified ZSM-5 catalyst to enhance the formation of phenolic compounds. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(33), 21476-21486.
- [9] Zhang, X., Sun, L., Chen, L., Xie, X., Zhao, B., Si, H. & Meng, G. (2014). Comparison of catalytic upgrading of biomass fast pyrolysis vapours over CaO and Fe(III)/CaO catalysts. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 108, 35-40.
- [10] Boonyuen, S., Malaithong, M. & Prokaew, A. (2015). Decomposition study of calcium carbonate in shells. *Thai Journal of Science and Technology*, 4(2), 115-122.
- [11] Chen, X., Chen, Y., Yang, H., Chen, W., Wang, X. & Chen, H. (2017). Fast pyrolysis of cotton stalk biomass using calcium oxide. *Bioresource Technology*, 233, 15-20.
- [12] Du, Z.Y., Wang, X., Zhang, Z. H., Feng, J., Qin, Y.H., Zhang, B. B. & Li, W. Y. (2016). Evolution properties of cellulose-and lignin-derived pyrolysis tars after interacting with coal chars. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 122, 332-341.