

แบบสรุปผลงานวิจัยพร้อมข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ประโยชน์

โปรดพิมพ์โดยใช้ถ้อยคำกะทัดรัดให้ครอบคลุมหัวข้อต่อไปนี้

(ไม่เกิน 5 หน้ากระดาษ A4 และขอแผ่นซีดีบันทึกข้อมูล 1 ชุด)

1. ชื่อโครงการ **ภาษาไทย** การศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาแบบหมุนขนาดเล็กสำหรับกระบวนการทอรีแฟคชัน

ภาษาอังกฤษ The Study of Thermal Efficiency of Pilot Scale rotary Kiln for Torrefaction Process

2. คำสำคัญ **ภาษาไทย** ชีวมวล, เตาเผาแบบหมุน, ทอรีไฟร์, ระดับกึ่งห้องปฏิบัติการ, ประสิทธิภาพ, ความร้อนสูญเสีย, สมดุลพลังงาน

ภาษาอังกฤษ Biomass, rotary kiln, torrefied, pilot scale, efficiency, heat loss, energy balance

3. ชื่อผู้วิจัย/สร้างสรรค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ธาราวดี
4. คณะวิชา วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศิลปากร
5. สาขาวิชา สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีพื้นฐานทางวิศวกรรมศาสตร์
6. คำนำ หรือบทนำ (Introduction)

เนื่องด้วยปัญหาทางเศรษฐกิจและวิกฤตด้านพลังงานโลกในปัจจุบัน ทำให้ความต้องการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันเป็นพลังงานซึ่งได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลไม่สามารถผลิตขึ้นมาทดแทนได้ทันกับความต้องการในการใช้พลังงานที่มากขึ้นเนื่องจากต้องใช้เวลาในการย่อยสลายของสิ่งมีชีวิตภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาพลังงานทางเลือก (Alternative energy) ชนิดใหม่มาใช้ทดแทน เช่น พลังงานจากชีวมวล (Biomass) ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากอินทรีย์สารของพืชชนิดต่างๆ ไตแก พืชเกษตรกรรม วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เศษไม้ ฯลฯ โดยใช้กระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ ไตแก การเผาไหม้โดยตรง การผลิตก๊าซ การหมักและการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช โดยคุณสมบัติที่สำคัญของพลังงานทางเลือกคือเป็นพลังงานสะอาดมีการปลดปล่อยก๊าซมลภาวะที่น้อยกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลและสามารถสร้างทดแทนขึ้นใหม่ได้ตลอดเวลาในระยะเวลาอันสั้น

ประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรมจึงทำให้มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เนื่องด้วยปัจจัยทางด้านความแตกต่างของภูมิภาคและภูมิประเทศของประเทศไทยจึงทำให้ประเทศไทยสามารถผลิตพืชพันธุ์ทางการเกษตรได้หลากหลายชนิด ซึ่งผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตทางการเกษตรก็คือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร หากนำเศษวัสดุเหลือใช้เหล่านี้มาผลิตเป็นพลังงานก็จะทำให้สามารถประหยัดต้นทุนในการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ อีกทั้งยังสามารถช่วยลดก๊าซมลภาวะที่เกิดขึ้นในการผลิตพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลเช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ปัจจุบันทางภาครัฐและเอกชนได้มีการรณรงค์ให้ใช้พลังงานที่ผลิตได้เองในประเทศไทยโดยมีการ

คาดการณ์ว่าภายในระยะเวลา 10 ปีจะมีความสามารถผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลได้เพิ่มขึ้นถึง 25%

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการนำชีวมวลที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ผลิตพลังงานกันอย่างแพร่หลายส่งผลให้ชีวมวลบางชนิดมีราคาสูงขึ้นและเกิดปัญหาขาดแคลนในบางท้องถิ่น เช่น แกลบ ขี้เลื่อย ฯลฯ แต่ยังคงพบว่ามีชีวมวลอีกจำนวนมากที่ยังไม่ถูกนำมาใช้ผลิตพลังงาน เช่น ฟางข้าวยอดอ้อย และใบอ้อย ทางปาล์มน้ำมัน ลำต้นข้าวโพดเนื่องจากคุณสมบัติของชีวมวลดังกล่าวซึ่งเป็นวัสดุคลุมเบาและมักจะถูกกองทิ้งไว้บริเวณพื้นที่เพาะปลูกภายหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ต้นทุนในการเก็บรวบรวมและขนส่งเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นหากจะนำชีวมวลดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการผลิตพลังงาน จำเป็นต้องมีการศึกษาและกำหนดแนวทางในการเก็บรวบรวมตลอดจนบริหารจัดการชีวมวลดังกล่าวอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การแปรรูปให้เป็นชีวมวลอัดเม็ด (Biomass Pellet) หรือเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้กับชีวมวล ทำให้ต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงลดลง การปรับปรุงสภาพเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อทำลดข้อด้อยของชีวมวลเช่น การสับละเอียด การขึ้นรูป อีกทั้งกระบวนการทอรีไฟรที่ทำให้เชื้อเพลิงมีค่าความร้อนที่สูงขึ้น มีความไม่ชอบน้ำ (ทำให้สามารถจัดเก็บได้สะดวกและอยู่ได้เป็นเวลานาน) กระบวนการทอรีแฟกชัน (Torrefaction) เป็นกระบวนการเปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีด้วยความร้อนที่มีค่าอยู่ในช่วง 220 - 300 องศาเซลเซียสในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนกระบวนการทอรีแฟกชัน (Torrefaction) ทำให้เกิดปฏิกิริยาดีไฮดรอกซิเลชัน (Dehydroxylation) และปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ส่งผลต่อการลดลงของอัตราส่วนระหว่าง ออกซิเจน (O) ต่อคาร์บอน (C) และอัตราส่วนระหว่าง ไฮโดรเจน (H) ต่อคาร์บอน (C) เมื่อเทียบกับชีวมวลที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทอรีแฟกชัน (Torrefaction) ผลที่ได้คือ ค่าความหนาแน่นของพลังงานที่สูงขึ้น ส่งผลให้ชีวมวลหลังจากผ่านกระบวนการทอรีแฟกชัน (Torrefaction) มีข้อจำกัดในด้านความชื้นลดลง ซึ่งประสิทธิภาพของชีวมวลที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟกชัน (Torrefaction) วัดได้จากตัวแปรเหล่านี้ คือ ความชื้น สารระเหย ความหนาแน่น ค่าความร้อน คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของชีวมวล ซึ่งผลของตัวแปรขึ้นอยู่กับการเลือกประเภทของเตาเผาและช่วงของอุณหภูมิ

เตาเผาทอรีไฟรเป็นเตาเผาที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายสำหรับการปรับปรุงคุณสมบัติชีวมวล

แต่โดยมากเตาจะมีความไม่แน่นอนของผลผลิตที่สูงมาก กล่าวคือผลผลิตที่ได้ไม่มีความสม่ำเสมอเนื่องจากเตาแบบทั่วไปโดยส่วนใหญ่ไม่สามารถที่จะทำให้ความร้อนกระจายเข้าสู่ชีวมวลได้อย่างทั่วถึงซึ่งมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของชีวมวลเช่นกัน

เตาเผาแบบหมุน (rotary kiln) เป็นเตาเผาที่มีความน่าสนใจในการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายๆอุตสาหกรรม เช่น การเผาขยะ ปูนซีเมนต์ เป็นต้น ด้วยข้อดีคือสามารถทำให้ความร้อนกระจายสู่วัตถุดิบได้อย่างทั่วถึง สามารถปรับรูปแบบการทำงานได้อย่างหลากหลาย มีผลทำให้ผลผลิตที่ได้มีความสม่ำเสมอและมีคุณภาพที่สูงตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยมีการนำเตาเผาแบบหมุนมาใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลที่น้อยมาก ทำให้เรามีองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้และตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพที่น้อยมาก เนื่องจากลักษณะเชื้อเพลิงต่างชนิดในแต่ละงานวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทอรีไฟรเชื้อเพลิงชีวมวลในแต่ละชนิดมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวลแต่ละชนิด

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาชีวมวลแบบหมუნขนาดเล็ก รวมไปถึงความร้อนสูญเสีย และสมดุลทางพลังงานของเตาเผาแบบหมუნ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผาแบบหมუნในกระบวนการทอรีไฟร์ โดยใช้เตาเผาชีวมวลแบบหมუნขนาดเล็ก ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาแบบหมุนที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อปรับใช้กับชุมชน รั้ววิสาหกิจและโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

7. วัตถุประสงค์ของการวิจัย/สร้างสรรค์ (Objective)

1. เพื่อศึกษาค่าการสูญเสียความร้อนและสมดุลพลังงานของเตาเผาแบบหมุนขนาดเล็กที่ใช้ในกระบวนการทอรีไฟร์
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาแบบหมุนขนาดเล็ก

8. วิธีดำเนินการวิจัย/สร้างสรรค์ (Materials and Method) อาทิ ขอบเขตการวิจัย/สร้างสรรค์ กระบวนการวิจัย/สร้างสรรค์ เครื่องมือและการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น

1. ทำการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาชีวมวลแบบหมุน
2. เตาเผาแบบหมุนให้ความร้อนจากเชื้อเพลิงอัดก้อน
3. ชีวมวลที่ใช้ในการกระบวนการทอรีไฟร์มีด้วยกัน 3 ชนิดคือ เหง้ามันสำปะหลัง ฟางข้าว และซังข้าวโพด
4. ใช้อุณหภูมิในการทอรีแฟคชัน 3 ค่า คือ 250 270 และ 290 °C

9. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย/สร้างสรรค์ (อาจมีตารางสถิติสรุปประกอบเล็กน้อยได้) (Result and Discussion)

จากการทดลองสามารถสรุปได้อุณหภูมิของกระบวนการทอรีแฟคชันที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่าความร้อนสูญเสียต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นของกระบวนการทอรีแฟคชันนั้นส่งผลให้อุณหภูมิที่ผนังของเตาเผาแบบหมุน อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยค่าความร้อนสูญเสียที่มากที่สุดคือ ค่าความร้อนสูญเสียที่ผิวเตาเผาแบบหมุน ดังนั้นเมื่อนำพลังงานความร้อนที่เข้าสู่เตาเผาแบบหมุนจากเชื้อเพลิงอัดก้อนหักด้วยค่าความร้อนสูญเสียต่างๆของเตาเผาแบบหมุน จะได้พลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งค่าความร้อนสูญเสียจากปล่องไอเสียจะถูกนับเป็นความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และจะพบว่าความเร็วรอบของการทดลองนั้นมีผลต่อค่าความร้อนสูญเสียที่น้อยมาก จะพบว่าค่าความร้อนสูญเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชัน

การอบเชื้อเพลิงชีวมวลอัดก้อนด้วยแก๊สไอเสียนั้นพบว่าการใช้แก๊สไอเสียจากกระบวนการทอรีแฟคชันที่ อุณหภูมิ 270 องศาเซลเซียสนั้นใช้เวลาในการอบน้อยที่สุด เนื่องจากอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะช่วยให้สามารถระเหยความชื้นได้ดีซึ่งจะทำให้การอบแห้งทำได้เร็วกว่า

ต้นทุนของกระบวนการทอรีแฟคชันนั้นพบว่าเมื่อความเร็วรอบของกระบวนการทอรีแฟคชันเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้กำลังการผลิตของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการนั้นลดลง โดยเปรียบเทียบจากจำนวนชั่วโมงต่อวันที่เท่ากันจะพบว่าที่ความเร็วรอบที่มากกว่านั้นจะมีปริมาณของชีวมวลจากการผลิตต่อชั่วโมงที่มากกว่า เมื่อคิดเป็นปริมาณต่อวันทำให้ที่ความเร็วรอบ 3 มากกว่าที่ 1 และ 2 รอบต่อวันที่ และเมื่อเปรียบเทียบจากชนิดของชีวมวลจะเห็นว่าชีวมวลแต่ละชนิดนั้นจะมีกำลังการผลิตที่ไม่เท่ากันในแต่ละความเร็วรอบ ดังนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในหน่วย บาท/กิโลกรัม จะพบว่า

ที่ต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อวันเท่ากันนั้น นำมาเปรียบเทียบในหน่วย บาท/กิโลกรัม ส่งผลให้ที่ความเร็วรอบที่มากกว่านั้นมีค่าใช้จ่ายที่ลดลง คือ ค่าแรงงาน ค่ามวลอัดก้อน และค่าไฟฟ้า มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่ความเร็วรอบที่ต่ำ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ความเร็วรอบของกระบวนการนั้นมีผลต่อต้นทุนการผลิตเป็นอย่างมากโดยความเร็วรอบยิ่งสูงจะส่งผลให้กำลังการผลิตสูงขึ้นตามและต้นทุนลดลงตามไปด้วย ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมีผลมาจากอุณหภูมิและความเร็วรอบนั้นในการหมุนเตาเผา เมื่ออุณหภูมิของกระบวนการเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์อนุภาคของชีวมวลขนาดใหญ่มีค่าลดลง และเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการสลายตัวของชีวมวลด้วยในระหว่างกระบวนการทอรีแฟคชั่นทำให้ เซลลูโลส และ เฮมิเซลลูโลส เกิดการสลายตัว และทำให้ปริมาณความชื้นภายในชีวมวลลดลง ส่งผลให้ขนาดอนุภาคของชีวมวลมีขนาดเล็กลง ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิในกระบวนการยังสูง การสลายตัวของอนุภาคจะยิ่งสูงตามไปด้วยทำให้อนุภาคขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้นไปด้วย และที่ความเร็วรอบในการหมุนเตาที่ลดลงนั้นส่งผลให้ชีวมวลที่อยู่ในเตาเผาแบบหมุนนั้นได้รับความร้อนเป็นเวลานานมากยิ่งขึ้น ทำให้เวลาที่เกิดปฏิกิริยานั้นมากขึ้นตามไปด้วย

ผลได้เชิงมวลและผลได้เชิงพลังงานพบว่าอุณหภูมิของกระบวนการทอรีแฟคชั่นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลได้เชิงมวลนั้นลดลง เนื่องมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นนั้นทำให้เกิดการสลายตัวขององค์ประกอบภายในชีวมวลที่มากขึ้นทำให้มวลสุดท้ายของชีวมวลหลังผ่านกระบวนการทอรีแฟคชั่นนั้นลดลง เมื่อนำมาคำนวณหาค่าผลได้เชิงมวล จึงมีค่าลดลง และพบว่าเมื่อความเร็วรอบของกระบวนการเพิ่มมากขึ้นนั้นส่งผลให้ผลได้เชิงมวลของกระบวนการมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากชีวมวลนั้นจะได้ความร้อนเป็นเวลาน้อยกว่าที่ความเร็วรอบต่ำ ทำให้เกิดการสลายตัวของชีวมวลน้อยลงไปด้วย และพบว่าผลได้เชิงพลังงานนั้นที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ค่าผลได้เชิงพลังงานนั้นมีค่าลดลงและที่ความเร็วรอบที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ผลได้เชิงพลังงานนั้นเพิ่มขึ้น โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ 230 องศาเซลเซียส ความเร็ว 3 รอบต่อนาที

ดังนั้นจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าตัวเลือกที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการทอรีแฟคชั่นด้วยเตาเผาแบบหมุนนั้นคืออุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 3 รอบต่อนาที เนื่องจากมีค่าความร้อนสูญเสียที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิอื่น ค่าความชื้นเฉลี่ยของชีวมวลหลังกระบวนการทอรีแฟคชั่นนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ใช้ต้นทุนในกระบวนการทอรีแฟคชั่นที่น้อยกว่า มีค่าผลได้เชิงมวลและผลได้เชิงพลังงานที่มาก

10. ข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัย/สร้างสรรค์ไปต่อยอดหรือใช้ประโยชน์หรือนำไปสู่การแก้ปัญหาอย่างเป็นรูปธรรม ในด้านใดด้านหนึ่ง ต่อไปนี้

การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ เช่น งานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ที่นำไปสู่การพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ หรือผลิตภัณฑ์ซึ่งก่อให้เกิดรายได้ หรือนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต สามารถนำความรู้ที่ได้มาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของชีวมวล ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มมากขึ้น และยังสามารถกระจายรายได้สู่ชุมชนได้