

## รายงานผลการทดลองที่สิ้นสุด ปีงบประมาณ 2558

1. ชื่อชุดโครงการวิจัยวิจัย : ศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ
2. ชื่อโครงการวิจัย : การผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวลโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ  
ชื่อกิจกรรม : การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากชีวมวลเพื่ออุตสาหกรรมขนาดย่อม
3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การพัฒนาเครื่องมือแปรรูปชีวมวลในกระบวนการย่อยสลาย  
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Development of Shredders machines in the Biomass Decomposition process

#### 4. คณะผู้ดำเนินงาน

|                 |                       |                                |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------|
| หัวหน้าการทดลอง | นายวุฒิพล จันทร์สระคู | ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น |
| ผู้ร่วมงาน      | นายพินิจ จิระคกุล     | ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น |
|                 | นายมงคล ตุ่นเฮ้า      | ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น |
|                 | นายกลวัชร ทิมินกุล    | ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น |

#### 5. บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาและปรับปรุงเครื่องจักรกลต้นแบบให้สามารถใช้ในการแปรรูปชีวมวลในกระบวนการผลิตเอทานอลให้มีประสิทธิภาพ ทำการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องมือแปรรูปชีวมวลสำหรับผลิตเอทานอล ได้แก่ เครื่องหั่นย่อยเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และพืชพลังงาน ที่มีคุณสมบัตินำไปผลิตเอทานอลได้ เช่น ทะลายปาล์ม หญ้าเนเปียร์ ต้นเลา และอ้อยพลังงาน ทดสอบและประเมินผลเครื่องต้นแบบ หาสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงาน ผลการทดลองพบว่า เครื่องต้นแบบควรใช้ความเร็วรอบในการทำงาน 1,400 รอบ/นาที มีความสามารถเชิงวัสดุ 126.27 กิโลกรัม/ชั่วโมง แปรรูปวัสดุให้มีขนาด 2.58-4.76 มม. คิดเป็น 29.33% และสามารถแปรรูปวัสดุให้มีขนาดเล็กที่สุด 2.58 มม. คิดเป็น 28.82% เครื่องหั่นย่อยแบบสองใบมีดที่พัฒนาขึ้น ใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า 220 โวลต์ สามารถป้อนวัสดุได้สะดวกและปลอดภัย เคลื่อนย้ายได้โดยมีล้อเหล็กเลื่อน สามารถทำการแปรรูปวัสดุพืชชีวมวลที่มีสภาพแห้งได้ดีกว่าสภาพวัสดุที่สดหรือมีความชื้นสูง เพราะฉะนั้นก่อนการหั่นย่อยแปรรูปวัสดุต้องทำการตากแดดให้แห้งก่อนเสมอ

#### 6. คำนำ

พลังงานจัดเป็นปัจจัยสำคัญและมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ หลายๆประเทศทั่วโลกจึงแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่เพื่อเป็นหลักประกันความมั่นคงด้านพลังงานในระยะยาว ทั้งยังเป็นการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการใช้พลังงานที่ได้จากฟอสซิล เช่น น้ำมัน และ ถ่านหิน อันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในภาวะของภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ณ ปัจจุบัน น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของโลกกำลังจะหมดลง แหล่งอาหารของโลกก็ลดลงเช่นเดียวกันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ

ประชากรโลกแบบทวีคูณในขณะที่ผลิตอาหารเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเนื่องจากความแห้งแล้ง การใช้พื้นที่เพื่อการอยู่อาศัยมากขึ้นและภัยธรรมชาติต่างๆ จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนที่จะพัฒนาแหล่งของพลังงานเชื้อเพลิงเหลวจากแหล่งใหม่ที่ได้จากแหล่งคาร์บอนธรรมชาติโดยไม่รบกวนพืชอาหาร ซึ่งแหล่งของพลังงานรุ่นแรกได้แก่ ข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง อ้อยและอื่นๆ มีปริมาณจำกัดทั้งยังเป็นพืชอาหารและใช้ในการผลิตอาหารของโลก พืชพลังงานสำหรับใช้ในการผลิตเอทานอลแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรก คือ พืชน้ำตาล เช่น อ้อย ข้าวฟ่างหวาน หัวผักกาดหวาน กลุ่มที่ 2 คือ พืชแป้งที่มีหัวใช้สะสมอาหารเช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ พืชแป้งที่สะสมอาหารในรูปเมล็ดเช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าว ข้าวบาร์เลย์ และกลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ต้นพืช ต้นข้าวโพด ฟางข้าว หญ้า switch grass กากชานอ้อย กากมันสำปะหลัง เป็นต้น หากแต่ความต้องการของมนุษย์ยังมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี ดังนั้นหลายประเทศจึงมีความพยายามอย่างยิ่งที่จะหาพลังงานทางเลือกอื่น ในรูปแบบต่างๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ไบโอดีเซล พลังงานลม น้ำ แสงอาทิตย์ เพื่อที่จะนำมาทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม

ในปี ค.ศ. 2010 ทุกประเทศทั่วโลกหันมาให้ความสนใจกับการใช้ประโยชน์จากชีวมวลซึ่งจะเน้นการผลิตด้วยวัตถุดิบที่เป็นลิกโนเซลลูโลสเป็นหลัก แม้ว่าการผลิตเอทานอลส่วนใหญ่จะยังผลิตจากวัตถุดิบแป้งและน้ำตาล แต่เนื่องจากแป้งและน้ำตาลเป็นพืชอาหารอาจผลิตได้ไม่เพียงพอสำหรับการบริโภค จึงต้องใช้วัสดุอื่นทดแทน (พิสมัย, 2548) เช่นเดียวกับประเทศไทยซึ่งปัจจุบันกำลังประสบปัญหาแนวโน้มการใช้พลังงานที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และแหล่งพลังงานในประเทศมีอัตราการผลิตได้ไม่เพียงพอกับความต้องการในการใช้อุปโภคและบริโภคของประชากร ประกอบราคาน้ำมันซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในตลาดโลกมีราคาแพง และมีอยู่อย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องมีมาตรการเร่งรัด และสนับสนุนให้มีการศึกษา ค้นคว้า หาแหล่งพลังงานทดแทนซึ่งจะนำมาซึ่งพลังงานทางเลือกใหม่มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด การนำชีวมวลมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเอทานอลเพื่อทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงอย่างน้ำมันปิโตรเลียม อาทิเช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และอุตสาหกรรม อาทิเช่น เปลือกหรือแกนสับปะรด ทลายปาล์ม น้ำกากสาจากโรงงานสุรา เศษไม้ที่เหลือจากโรงงานทำไม้ ของเสียจากโรงงานทำกระดาษ ของเหลือใช้หลังจากการเก็บเกี่ยว เช่น กากถั่วเหลือง ฟางข้าว รำข้าว ชานอ้อย ชังและเปลือกข้าวโพด วัสดุเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรภายในประเทศ

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก มักมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยเฉพาะเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส จัดเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีมากในผนังเซลล์ของพืชทุกชนิด เซลลูโลสเป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลซึ่งต่อกันเป็นสายยาว การตัดเซลลูโลสอาจตัดด้วยกรดหรือเอนไซม์ พืชแต่ละชนิดก็มีสัดส่วนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินแตกต่างกัน ในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์จากชีวมวล จำเป็นต้องเปลี่ยนโครงสร้างของพืชให้ย่อยง่ายขึ้น แยกเอาเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ออกด้วยปฏิกิริยาของกรดหรือเอนไซม์ที่ได้จากเชื้อรา แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส เป็นต้น เพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลแล้วหมักด้วยยีสต์จนได้แอลกอฮอล์ แต่ข้อดีของการใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารเหล่านี้เมื่อเทียบกับวิธีทางเคมี คือ การเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์มีความจำเพาะกับสับสเตรทมากกว่า เอนไซม์ทำงานในสภาวะแวดล้อมที่ไม่รุนแรงและไม่มีการสูญเสียสับสเตรทในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ดังนั้นในด้านอุตสาหกรรมจึงได้มีการนำเอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) และไซแลนเนส (Xylanase) มาใช้อย่างกว้างขวาง เอนไซม์เซลลูเลส ถูกนำมาใช้ใน

อุตสาหกรรมการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ น้ำตาลกลูโคส และอาหารสัตว์บางชนิดเป็นต้น ส่วนเอนไซม์ไซแลนเนสสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมฟอกสีเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร และอาหารสัตว์ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตพลังงานทดแทนจากชีวมวล เป็นการใช้ประโยชน์จากความสามารถของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายประกอบเหล่านี้นี้ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ให้สามารถกลับมาใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่ามากยิ่งขึ้น ทั้งยังมีข้อดีหลายประการเช่น เป็นการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในท้องถิ่นนั้น ๆ ก่อให้เกิดการจ้างงานในท้องถิ่น ลดภาระการพึ่งพาแหล่งพลังงานจากต่างประเทศ ทำให้เกษตรกรมีรายได้ ลดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศ มีความมั่นคงทางพลังงานเพิ่มขึ้น ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนในกระบวนการผลิตจึงพึ่งพาตนเองได้ พลังงานที่ได้ในรูปของเหลวสามารถนำไปใช้กับเทคโนโลยียานยนต์ในยุคปัจจุบัน ดังนั้นการวิจัยเพื่อศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส และไซแลนเนส จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนากระบวนการผลิต เอทานอลจากชีวมวลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ดี ปัญหาอุปสรรคของการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเอทานอล ไบโอดีเซล หรือการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ ปัญหาด้านการขาดแคลนวัตถุดิบ ไม่ว่าจะเป็นมันสำปะหลัง กากน้ำตาล สำหรับการผลิตเอทานอล หรือน้ำมันปาล์ม น้ำมันพืชใช้แล้ว สำหรับการผลิต ไบโอดีเซล ซึ่งแนวทางการแก้ไขจำเป็นที่จะต้องมีการส่งเสริมการปลูก มันสำปะหลัง อ้อย ปาล์มน้ำมัน หรือ การส่งเสริมการปลูกพืชพลังงานอื่นๆที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอล หรือ ไบโอดีเซล เช่น ข้าวฟ่างหวาน สนุ่นดำ เป็นต้น แต่สำหรับปัญหาอุปสรรคของการผลิตพลังงานจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนั้น แตกต่างกันกล่าวคือ ประเทศไทยมีแหล่งชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากมายกระจายไปในภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศ ทั้งที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตเกษตร และ ไร่ นา สวนเกษตร ทำให้ศักยภาพเชิงพาณิชย์ของการใช้เชื้อเพลิงจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีอยู่มาก ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลคงเหลือ ในปี 2549 ของมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม พบว่า มีเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้า อีกกว่า 34 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานเทียบเท่ามันดิบ 7,200 ตัน (ktoe) ซึ่งการนำฟางข้าวมาผลิตเป็นเอทานอลก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งเพื่อพัฒนาพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนสำหรับประเทศไทย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณชีวมวลคงเหลือของประเทศไทย ปี 2549

| ชนิดเชื้อเพลิงชีวมวล | ปริมาณคงเหลือ (ton) | พลังงานเทียบเท่ามันดิบ (ktoe) |
|----------------------|---------------------|-------------------------------|
| ฟางข้าว              | 11,468,784.21       | 3,350.95                      |
| ใบอ้อย               | 6,854,574.70        | 2,514.43                      |
| เหง้ามันสำปะหลัง     | 3,613,504.37        | 470.10                        |
| ทะลายปาล์ม           | 957,764.30          | 164.32                        |
| ลำต้นข้าวโพด         | 2,394,527.90        | 113.48                        |
| ซังข้าวโพด           | 332,627.51          | 75.75                         |
| ใบปาล์ม              | 113,734.51          | 31.80                         |

ที่มา : มุลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2549

ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลสำหรับเป็นพลังงานทดแทนจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ทะลายปาล์ม ชังข้าวโพด และอื่นนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาระบบการเตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการหมักและการย่อยสลายของยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้อย่างรวดเร็วและคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

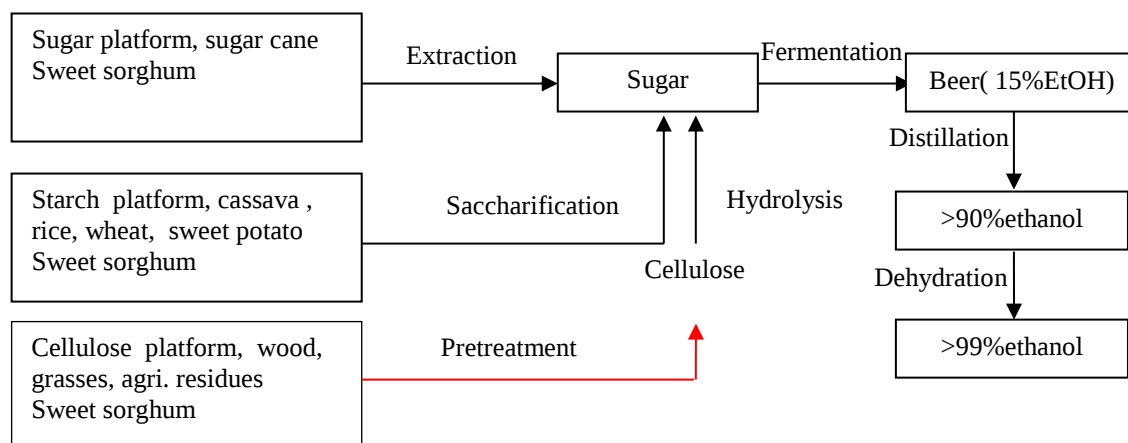
การผลิตไบโอเอทานอลจากเซลลูโลสที่ได้จากพืชและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ก็เพื่อลดปัญหาที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนและมีให้ราคาอาหารธัญพืชและน้ำตาลสูงขึ้นเนื่องจากนำไปผลิตเป็นพลังงานทดแทน ประกอบกับการผลิตพืช จะมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ฟางข้าว ต้นและใบข้าวโพด ต้นมันสำปะหลัง ทะลายปาล์ม ต้นสับปะรด ไม้ยืนต้น และวัชพืชต่างๆ ซึ่งไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ ปีละหลายร้อยล้านตัน ถ้าสามารถนำมาผลิตเป็นเอทานอลได้จะเป็นแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ได้ดี แต่การนำชีวมวลเหล่านี้มาใช้จำเป็นต้องหาเทคโนโลยี วิธีการและกระบวนการแปรรูปตามลำดับ ตั้งแต่ทำให้ชีวมวลมีขนาดเล็กลง สลาย Lignin ที่ห่อหุ้มเซลลูโลสออก จากนั้นจึงถึงขบวนการนำเซลลูโลสไปแปรรูปโดยใช้เอนไซม์ให้เป็นน้ำตาลและเอทานอลต่อไป ซึ่งวัตถุดิบแต่ละชนิดก็อาจมีวิธีการแปรรูปแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย

การผลิตเอทานอลจากชีวมวล เป็นกระบวนการซึ่งเกิดจากการหมักพืช เศษซากพืช ให้เป็นน้ำตาล แล้วเปลี่ยนจากน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งเมื่อทำให้บริสุทธิ์ 95 % จะเรียกว่า “เอทานอล” โดยการผลิตเอทานอลจากลิกโนเซลลูโลส แบ่งขั้นตอนการผลิตออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ การปรับสภาพวัตถุดิบ การย่อยหรือไฮโดรไลซิส และการผลิตเอทานอล แม้ว่าวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตเอทานอลในปัจจุบันจะใช้แป้งและน้ำตาลเป็นหลัก เช่น มันสำปะหลัง กากน้ำตาล แป้งข้าวโพด มันสำปะหลังเส้นตากแห้ง แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่เนื่องจากเป็นพืชอาหาร จึงมีการค้นคว้าหาวัสดุอื่นมาทดแทนได้แก่กลุ่มเซลลูโลสที่เรียกเอทานอลจากขบวนการผลิตเช่นนี้ว่า lignocellulosic ethanol จะสามารถผลิตได้จากต้นพืช และเศษซากพืชหรือชิ้นส่วน กากของเสียจากพืช ในต่างประเทศ เช่นสหรัฐอเมริกาและแคนาดา ผลิตจาก ต้นข้าวโพด ต้นข้าวสาลีเป็นต้น ในประเทศไทยยังมีวัตถุดิบเป็นแป้งอยู่จำนวนมากที่ไม่ใช่พืชอาหารโดยตรงได้แก่มันสำปะหลัง แต่ก็ยังเป็นพืชอาหารสัตว์และต้องมีผลกระทบโดยตรงต่อการผลิตเนื้อสัตว์อย่างแน่นอน จึงมีการค้นคว้าหาแหล่งวัตถุดิบใหม่ๆ ขึ้น เซลลูโลส คือ คาร์โบไฮเดรตชนิดที่พบมากที่สุดใเยื่อพืชจัดเป็นพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharides) ที่จะเปลี่ยนเป็นกลูโคส เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืชทุกชนิด และจัดเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่มากที่สุดในโลก เซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบไม้ ลำต้นพืช แกลบ เปลือกผลไม้ ขี้เลื่อย และเปลือกต้นไม้ม เป็นต้น

ดังนั้นแนวความคิดของการวิจัยในการออกแบบเครื่องจักรกลต้นแบบ เพื่อพัฒนาเทคนิคการผลิตไบโอเอทานอล ได้ศึกษาจากการวิจัยด้านการพัฒนากระบวนการเตรียมฟางเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอลซึ่งฟางข้าวเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีองค์ประกอบของของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ ในการผลิตน้ำตาลโดยผ่าน

กระบวนการ Hydrolysis ดังภาพที่ 1 เมื่อผ่านการหมักด้วยยีสต์จะทำให้เกิดแอลกอฮอล์ และนำมากลั่นก็จะได้อีทานอลตามลำดับ

การนำฟางข้าวมาเป็นวัตถุดิบ จะเน้นการวิจัยในระดับต้นแบบ (Pilot Scale) ที่มีความใกล้เคียงกับการใช้ประโยชน์จริงมากที่สุด มีกระบวนการและระเบียบการวิจัยที่มีเอกลักษณ์ และมีนักวิจัย (วิศวกร) มีประสบการณ์ในการพัฒนาต้นแบบหลายอย่าง เช่น ต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนขนาด 100 kW การออกแบบต้นแบบระบบถังหมัก (Hydro static) ในอุตสาหกรรมหมักต้องไขโปว ซึ่งเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆที่มีอยู่ สามารถนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบต้นแบบการเตรียมวัตถุดิบได้เป็นอย่างดี (ระวีวรรณ, 2537)



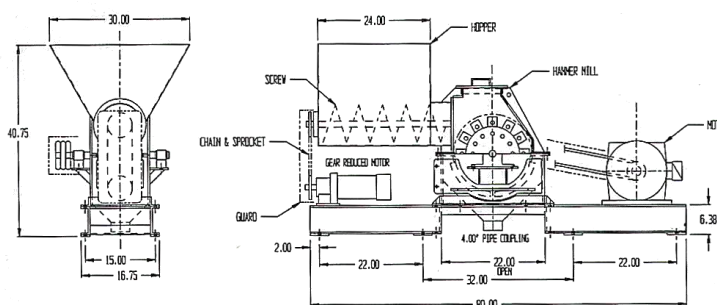
ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตเอทานอลจากวัสดุทางการเกษตรชนิดต่างๆ

ที่มา : Jay Cheng, 2010

การลดขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวล ให้มีขนาดเล็กเป็นผง ละเอียด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายนั้น จะต้องทำการบด/ย่อยลดขนาด 2 ขั้นหรือมากกว่า โดยการลดขนาดทั้งแบบเปียกและแบบแห้งจะใช้เครื่อง Chipper/Chopper เพื่อให้ได้ขนาดเล็กลงและใช้ เครื่องบด Grinder หรือ Hammer Mills ซึ่งหลักการที่ใช้ในการบด/ย่อยลดของเครื่องจักรทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกัน กล่าวคือ Grinder จะใช้แรงบีบอัด (Compression Forces) และ แรงเฉือน (Shearing forces) ส่วน Hammer Mill จะใช้แรงกระแทก (Impact Forces) และแรงเฉือน โดยลักษณะวัสดุที่จะทำการบด/ย่อย ขั้นที่ 2 นั้นแตกต่างกัน โดยที่ Grinder จะเหมาะสมกับการบด/ย่อยวัสดุที่อ่อนนุ่ม มีความชื้นสูง ส่วน Hammer Mill จะเหมาะกับวัสดุที่แข็งและมีความชื้นต่ำ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงสมบัติของเศษวัสดุเหลือใช้ เช่นฟางข้าวซึ่งผ่านการสับ/ย่อยขั้นที่ 1 มาแล้ว ความแข็งและความชื้นต่ำ การบด/ย่อยขั้นที่ 2 จึงเหมาะสมที่จะใช้เครื่องบด/ย่อยลดขนาดแบบ Hammer Mill กรณีการบดย่อยแบบแห้งส่วนการบดย่อยแบบเปียกจะ Grinder บดตามอีกครั้ง ซึ่งจะเหมาะในการเตรียมฟางแบบ Hydrolysis เป็นต้น ลักษณะเครื่อง Hammer Mill (ภาพที่ 2) โดยเครื่องจักรจะทำงานที่ความเร็วสูง 1,500-4,000 rpm ทำการตีเชื้อเพลิงชีวมวลจนกว่าจะได้ขนาดที่เล็กลงตามต้องการ ที่กำหนดโดยขนาดของรูตะแกรง ลงสู่ส่วนล่างของตัวเครื่อง โดยที่ตัวใบมีดตี จะยึดติดกับแกนเพลามีทั้งแบบหมุนได้ (Swing Type) และแบบอยู่กับที่ (Fixed Type) ส่วน Grinder จะใช้หลักการบดและแรงเฉือนซึ่งจำเป็นต้องออกแบบมีความเหมาะสมทั้งเครื่อง Hammer Mill และ Grinder เนื่องจากปัจจุบัน

เครื่องมือที่อยู่ในท้องตลาดยังมีประสิทธิภาพการบดต่ำไม่สามารถบดในปริมาณมากๆได้ หรือในเชิงพาณิชย์ ทำให้คณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการออกแบบและพัฒนาที่มีอยู่ในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (วรพจน์, 2554)

การนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอย่างเป็นรูปธรรม แต่ในวงการปศุสัตว์ ที่นิยมนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์ในฤดูแล้ง ได้มีการนำระบบ Biomass Handling ของฟางข้าว มาใช้พอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในธุรกิจฟางอัดฟ่อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การรวบรวมฟางข้าว/ใบอ้อย การอัดฟ่อน และการลำเลียงขนส่งฟางข้าว เป็นเทคโนโลยีที่ปัจจุบัน ใช้อยู่ในประเทศไทย เพียงแต่ปัจจุบันราคาของฟางข้าว มีราคาค่อนข้างแพงสำหรับนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล แต่มีราคาเหมาะสมที่จะนำไปเป็นอาหารสัตว์ในช่วงที่อาหารสัตว์ขาดแคลนและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่า (ระวีวรรณ, 2537) การนำฟางข้าวหรือใบอ้อยมาทำการอัดฟ่อนเพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลให้กับโรงงานอุตสาหกรรม หรือโรงไฟฟ้าชีวมวล จำเป็นต้องพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อให้สามารถแข่งขันได้กับอาหารเลี้ยงสัตว์ และชักจูงให้กลุ่มธุรกิจฟางอัดฟ่อนหันมาป้อนเชื้อเพลิงฟาง/ใบอ้อยอัดฟ่อนให้กับโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งเป็นตลาดใหญ่ที่ต้องการเชื้อเพลิงในปริมาณมากต่อเนื่อง ไม่มีฤดูกาล องค์กรใดก็ตาม ข้อจำกัดของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ฟางข้าว/ใบอ้อยอัดฟ่อน คือ โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล จะต้องมีการลำเลียงในโรงงานและกระบวนการแปรรูป สำหรับรองรับเชื้อเพลิงดังกล่าวให้พร้อม ซึ่งเป็นระบบการลำเลียงและแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลเข้าสู่เตาเผา ที่ประกอบไปด้วย กระบวนการตัดเชือก และการสับ/ย่อยลดขนาด



ภาพที่ 2 เครื่อง Hammer Mill

ที่มา: วรพจน์ ขำพิศ, 2554

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องจักรกลต้นแบบที่จำเป็นสำหรับขบวนการผลิตไบโอเอทานอล

## 7. วิธีดำเนินการ

- การศึกษาวิจัยนี้ไม่มีแผนการทดลอง เป็นการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องจักรกลต้นแบบให้สามารถใช้ในการแปรรูปชีวมวลในขบวนการผลิตเอทานอลให้มีประสิทธิภาพ

### อุปกรณ์

- เครื่องมือวัดขนาด เช่น เวอร์เนียร์ ไม้บรรทัด
- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง และแบบดิจิตอล
- เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานช่าง สำหรับการสร้างและปรับปรุงต้นแบบ
- วัสดุชีวมวลต่างๆ เช่น ต้นเลา หญ้าเนเปียร์ ทะลายปาล์มเปล่า

## วิธีการดำเนินงาน

1. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ถึงสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และองค์ประกอบต่างๆ ตลอดจนใช้ในการออกแบบเครื่องมือในขั้นตอนต่อไป
  2. ออกแบบกระบวนการเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับผลิตเอทานอลให้เหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงาน ซึ่งประกอบด้วย เครื่องคัดแยกทำความสะอาด (Separator) เครื่องลดขนาด (Size Reduction Machine) ขั้นที่ 1 และ 2 ให้สามารถใช้ได้กับชีวมวลหลากหลายชนิด
  3. ทำการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องมือแปรรูปชีวมวลสำหรับผลิตเอทานอล ได้แก่ เครื่องหั่นย่อยเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และพืชพลังงาน ที่มีคุณสมบัตินำไปผลิตเอทานอลได้ เช่น ทะลายปาล์ม หนุ่เนเปียร์ ต้นเลา และอ้อยพลังงาน
  4. ทดสอบและประเมินผลเครื่องต้นแบบ เพื่อหาสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานกับชีวมวลชนิดต่างๆ
  5. สรุปและเขียนรายงานผลการทดลอง
- การบันทึกข้อมูล
- ความสามารถในการทำงานของเครื่องต้นแบบ (กก./ชั่วโมง)
  - ประสิทธิภาพในการแปรรูปวัตถุดิบชีวมวลแต่ละชนิด
  - ค่าพลังงานที่ใช้ในการทำงาน

## ระยะเวลา (เริ่มต้น - สิ้นสุด)

เดือนตุลาคม 2556 ถึง เดือนกันยายน 2558

## สถานที่ดำเนินการ

ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร

## 8. ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดสอบเก็บเกี่ยวและแปรรูป ต้นเลา หนุ่เนเปียร์ยักษ์ และ ทะลายปาล์ม โดยต้นเลา และ หนุ่เนเปียร์ยักษ์ โดยใช้เครื่องหั่นฟาง ดังภาพที่ 1 และใช้ต้นกำลังขนาด 10 แรงม้า เครื่องยนต์ดีเซล ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น ET115 รอบใบมีดสับเฉลี่ย 800 รอบ ความเร็วเชิงเส้นใบมีดเฉลี่ย 22.6 ม/วินาที อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน 1.15 ลิตรต่อตัน แรงงานในการสับจำนวน 2 คน พบว่า การสับทั้งสับสดหรือแห้งไม่แตกต่างกันเนื่องจากเครื่องหั่นฟางจะมีระบบลูกกลิ้งป้อน ซึ่งมีความเหมาะสมกับการเตรียมวัตถุดิบขั้นต้น โดยสมรรถนะของสับสำหรับต้นเลาเฉลี่ย 1.872 ตันต่อชั่วโมง ที่ความชื้นเฉลี่ย 49.45 % wb โดยความหนาแน่นเฉลี่ย 111 กก/ลบ.ม ต้นทุนในการแปรรูปขั้นต้นมีค่า 100 บาท/ตัน ซึ่งขนาดของชิ้นวัสดุที่ผ่านการสับ ดังภาพที่ 2 จำเป็นต้องนำไปแปรรูปขั้นที่ 2 ต่อไป เช่นการทำ Hydrolysis หรือบดละเอียดด้วย Hammer mill สำหรับการนำไปเป็นวัตถุดิบไปโอเอทานอล



ภาพที่ 1 การทดสอบสับต้นเลาอายุ 6 เดือน ด้วยเครื่องสับฟางชนิด 2 ใบมีด



ภาพที่ 2 การลักษณะต้นเลาอายุ 6 เดือนที่ผ่านการสับด้วยเครื่องสับฟาง

ตารางที่ 1 การคำนวณต้นทุนการแปรรูปขั้นที่ 1

| ลำดับ | รายการ             | ต้นทุนเครื่องจักร<br>(บาท) | ค่าเสื่อมราคา(บาท/ปี) | ต้นทุน(บาท/ตัน) |
|-------|--------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1     | เครื่องสับฟาง      | 120,000                    | 24,000                | 7.12            |
| 2     | ค่าใบมีด           |                            | 10,000                | 2.96            |
| 3     | ค่าเชื้อเพลิง      |                            |                       | 34.5            |
| 4     | ค่าแรงงานสับ       |                            |                       | 53.42           |
| 5     | ค่าวัสดุสิ้นเปลือง |                            |                       | 1.48            |
| รวม   |                    |                            |                       | 99.48           |

หมายเหตุ: ราคาเครื่องสับฟาง 120,000 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี  
 ค่าวัสดุสิ้นเปลืองและสารหล่อลื่นไม่รวมใบมีด ปีละ 5000 บาท  
 ใบมีดชุดละ 10,000 บาท มีจำนวน 2 ใบ อายุการใช้งาน 3,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 1 ปี (330 วัน)  
 ใช้แรงงาน 2 คนๆ ละ 300 บาทต่อวัน  
 ค่าเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลราคาอัตราละ 30 บาท  
 อัตราการผลิตต่อปี = 1.872 ตันต่อชั่วโมง x 300 วันต่อปี x 6 ชั่วโมงต่อวัน = 3369 ตันต่อปี  
 ค่าแรงงานบาทต่อตัน = (300 บาทต่อคน x 2 คน) / (6 ชั่วโมงต่อวัน x 1.872 ตันต่อชั่วโมง) = 53.42 บาทต่อตัน

การทดสอบหั่นย่อยทะลายปาล์มโดยใช้เครื่องหั่นย่อยพืชเส้นใย พบว่าทางป้อนเครื่องหั่นย่อยพืชเส้นใยมีขนาดแคบ ดังภาพที่ 3 ไม่สามารถป้อนทะลายปาล์มได้จำเป็น ต้องปรับปรุงเครื่องให้มีขนาดช่องป้อนใหญ่ขึ้นให้เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของทะลายปาล์ม ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 การสับย่อยทะลายปาล์มด้วยเครื่องสับย่อยพืชเส้นใย



ภาพที่ 4 เครื่องสับย่อยพืชเส้นใย และมีระบบบด (Hammer Mill) ในเครื่องเดียวกัน

การทดสอบเครื่องหั่นย่อยเศษพืชสำหรับการแปรรูปวัสดุชีวมวลเพื่อการผลิตไบโอเอทานอล ได้ดำเนินการทดสอบและเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องมือที่มีใช้ในกรมวิชาการเกษตรเพิ่มเติมอีก 2 เครื่อง ได้แก่ เครื่องหั่นย่อยวัสดุ (สวศ.) แบบติดเครื่องยนต์เบนซิน Honda 11 HP GX 340 (ภาพที่ 5) และเครื่องหั่นย่อยต้น ถั่วลิสง (สวศ.ขก) แบบติดเครื่องยนต์เบนซิน K 002-6.5 HP (ภาพที่ 6) ทำการทดสอบวัสดุชีวมวล จำนวน 4 ชนิด คือ Kingnesia พันธุ์ปากช่อง 1 และพันธุ์จาก ม.สุรนารี ต้นเลา อ้อยลูกผสม KJ มีขนาดลำต้นโดยเฉลี่ย 13.18 - 20.91 มิลลิเมตร



ภาพที่ 5 เครื่องหั่นย่อยวัสดุ (สวศ.)



ภาพที่ 6 เครื่องหั่นย่อยต้นถั่วลิสง (ศวศ.ขก)

ผลการทดสอบโดยสรุป เครื่องมือหั่นย่อยวัสดุ (สวศ.) สามารถแปรรูปวัสดุชีวมวลที่นำมาทดสอบได้ดีระดับหนึ่ง ซึ่งชิ้นส่วนที่หั่นย่อยแล้วมีขนาดที่เล็กพอที่จะนำไปสู่ขบวนการทำให้แห้งและบดย่อยละเอียดต่อไปได้ โดยมีความสามารถในการทำงาน 71.65 - 97.96 กิโลกรัม/ชั่วโมง แต่ทั้งนี้จะไม่สามารถแปรรูปต้นพืชที่มีเส้นใยมะพร้าวได้ดีเท่าที่ควร เช่น อ้อยลวกผสม KU สำหรับเครื่องหั่นย่อยต้นถั่วลิสง (ศวศ.ขก) ไม่เหมาะที่จะนำไปพัฒนาเพื่อการแปรรูปวัสดุชีวมวลได้ เนื่องจากชิ้นส่วนที่ผ่านเครื่องหั่นย่อยแล้วมีขนาดใหญ่และไม่สามารถสับย่อยใบพืชของวัสดุที่นำมาทดสอบได้ตามที่ต้องการ

การลดขนาดของเชื้อเพลิงชีวมวล ให้มีขนาดเล็กเป็นผงละเอียด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายนั้น จะต้องทำการบด/ย่อยลดขนาด 2 ขั้นหรือมากกว่า โดยการลดขนาดทั้งแบบเปียกและแบบแห้งจะใช้เครื่อง Chipper/Chopper เพื่อให้ได้ขนาดเล็กลงและใช้ เครื่องบด Grinder หรือ Hammer Mills ซึ่งหลักการที่ใช้ในการบด/ย่อยลดของเครื่องจักรทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกัน กล่าวคือ Grinder จะใช้แรงบีบอัด (Compression Forces) และ แรงเฉือน (Shearing forces) ส่วน Hammer Mill จะใช้แรงกระแทก (Impact Forces) และแรงเฉือน โดยลักษณะวัสดุที่จะทำการบด/ย่อย ขั้นที่ 2 นั้นแตกต่างกัน โดยที่ Grinder จะเหมาะสมกับการบด/ย่อยวัสดุที่อ่อนนุ่ม มีความชื้นสูง ส่วน Hammer Mill จะเหมาะกับวัสดุที่แข็งและมีความชื้นต่ำ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงสมบัติของเศษวัสดุเหลือใช้

ลักษณะเครื่อง Hammer Mill โดยเครื่องจักรจะทำงานที่ความเร็วสูง 1,500-4,000 rpm ทำการตีเชื้อเพลิงชีวมวลจนกว่าจะได้ขนาดที่เล็กลงตามต้องการ ที่กำหนดโดยขนาดของรูตะแกรง ลงสู่ส่วนล่างของ

ตัวเครื่อง โดยที่ตัวใบมีดตี จะยึดติดกับแกนเพลลา มีทั้งแบบหมุนได้ (Swing Type) และแบบอยู่กับที่ (Fixed Type) ส่วน Grinder จะใช้หลักการบดและแรงเฉือนซึ่งจำเป็นต้องออกแบบมีความเหมาะสมทั้งเครื่อง Hammer Mill และ Grinder เนื่องจากปัจจุบันเครื่องมือที่อยู่ในท้องตลาดยังมีประสิทธิภาพการบดต่ำไม่สามารถบดในปริมาณมากๆได้ หรือในเชิงพาณิชย์ ทำให้คณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการออกแบบและพัฒนาที่มีอยู่ในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ดำเนินการทดสอบเครื่องสับและหั่นย่อยวัสดุด้วยเครื่องหั่นย่อยซากพืช โดยทดลองกับวัสดุชีวมวล 2 ชนิด คือ ต้นหญ้าเนเปียร์ พันธุ์ปากช่อง และต้นเลา เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ และแนวทางในการออกแบบ ปรับปรุงชิ้นส่วนของเครื่องหั่นย่อยแบบ 2 ระบบ ให้เหมาะสมกับการแปรสภาพวัสดุชีวมวล สำหรับขบวนการย่อยสลาย เพื่อการผลิตเอทานอล



ภาพที่ 7 วัสดุชีวมวล หญ้าเนเปียร์ และ ต้นเลา



ภาพที่ 8 การทดสอบแปรสภาพวัสดุชีวมวลด้วยเครื่องหั่นย่อย

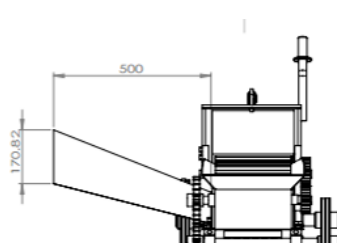
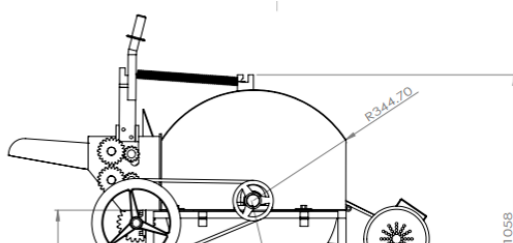
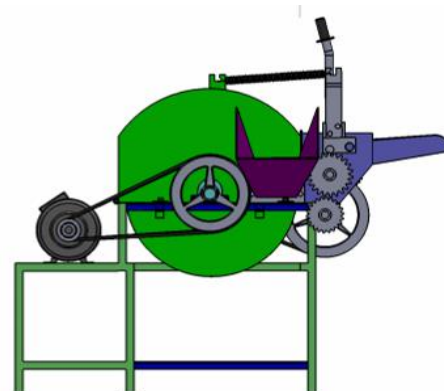
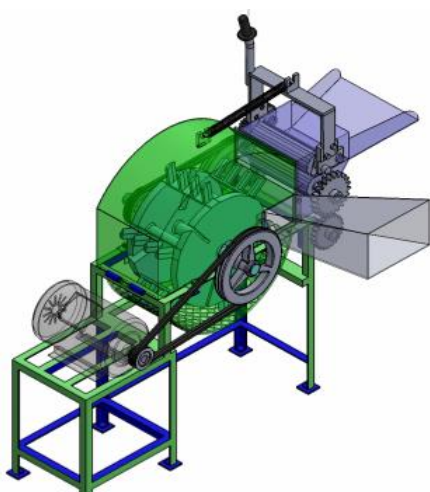


ภาพที่ 9 ลักษณะปัญหาการติดขัดของเครื่องในขณะทำการทดสอบ



ภาพที่ 10 หญ้าเนเปียร์ และต้นเลา จากการแปรสภาพด้วยเครื่องหั่นย่อย

จากผลการทดสอบเพื่อหาแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงเครื่องมือสำหรับการแปรสภาพวัสดุชีวมวลในกระบวนการผลิตไบโอเอทานอล พบว่า ต้องมีการออกแบบชุดใบมีดแก้ปัญหการติดขัดระหว่างการทำงาน ออกแบบชุดตะแกรงกำหนดขนาดของวัสดุให้สามารถถอดเปลี่ยนได้สะดวก และมีความสามารถในการทำงานที่สูงขึ้นหั่นย่อยพืชเส้นใย ตระกูลหญ้าเนเปียร์ ต้นเลา และอ้อยพลังงาน ตลอดจนทะลายปาล์มเปล่า ให้มีขนาดเล็กตามความต้องการ เพื่อนำเข้าสู่เครื่องบดละเอียดได้อย่างมีประสิทธิภาพ



### ภาพที่ 11 การออกแบบเครื่องมือแปรรูปวัสดุชีวมวลแบบใบมีด 2 ระบบ

ในการออกแบบเครื่องมือแปรรูปวัสดุชีวมวลแบบใบมีด 2 ระบบ ให้สามารถป้อนวัสดุได้ 2 ทาง ขึ้นกับลักษณะวัสดุ มีถาดป้อนสำหรับการลำเลียงที่สม่ำเสมอ และป้องกันการลำเลียงวัสดุที่อาจจะเกิดอันตรายได้ ต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า 220 โวลต์ วัสดุใบมีดทำจากเหล็กกล้ากันสนิม ตะแกรงล่างเพื่อกำหนดขนาดชิ้นส่วนวัสดุ สามารถถอดเปลี่ยนได้สะดวก และเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานในกระบวนการผลิตไบโอเอทานอลต่อไป

ในการออกแบบเครื่องมือแปรรูปวัสดุชีวมวลแบบใบมีด 2 ระบบ ให้สามารถป้อนวัสดุได้ 2 ทาง ขึ้นกับลักษณะวัสดุ มีถาดป้อนสำหรับการลำเลียงที่สม่ำเสมอ และป้องกันการลำเลียงวัสดุที่อาจจะเกิดอันตรายได้ ต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า 220 โวลต์ วัสดุใบมีดทำจากเหล็กกล้ากันสนิม ตะแกรงล่างเพื่อกำหนดขนาดชิ้นส่วนวัสดุ สามารถถอดเปลี่ยนได้สะดวก และเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานในกระบวนการผลิตไบโอเอทานอลต่อไป



ภาพที่ 12 ต้นแบบเครื่องมือแปรรูปวัสดุชีวมวลแบบไพบีด 2 ระบบ



ภาพที่ 13 ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องมือหั่นย่อยวัสดุแบบ 2 ไพบีด



ภาพที่ 14 ชุดตะแกรงกำหนดขนาดของวัสดุ / ลูกกลิ้งป้อนทะลายปาล์มเปล่าติดขัดไม่สามารถป้อนได้



ภาพที่ 15 เตรียมวัสดุต้นเลา เพื่อทดสอบเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องหั่นย่อยต้นแบบ



ภาพที่ 16 เครื่องมือแปรรูปวัสดุชีวมวลแบบใบมีด 2 ระบบ



ภาพที่ 17 การทดสอบหั่นย่อยต้นเลา



ภาพที่ 18 เศษวัสดุทะเลลายปาล์มที่ติดขัดระหว่างชุดใบมีดของเครื่องต้นแบบ

ตารางที่ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้นเลาตากแห้งที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นเครื่องต้นแบบ

| ลำดับที่ | ส่วนหัว | ส่วนกลาง | ส่วนท้าย |
|----------|---------|----------|----------|
| 1        | 21.3    | 21.2     | 21.2     |
| 2        | 28.5    | 26.3     | 24.8     |
| 3        | 14.4    | 16.1     | 13.7     |
| 4        | 22.2    | 22       | 21.2     |
| 5        | 27.7    | 27.5     | 17.3     |
| 6        | 14.4    | 15       | 15       |
| 7        | 22.2    | 24.4     | 23.1     |
| 8        | 17.8    | 18.6     | 19.1     |
| 9        | 18.1    | 17.4     | 19.2     |
| 10       | 16.8    | 17.7     | 16.1     |
| 11       | 26.1    | 24.9     | 26.4     |
| 12       | 21.9    | 21       | 21.3     |
| 13       | 16.6    | 16.8     | 14.3     |
| 14       | 22.5    | 24.6     | 20.9     |
| 15       | 17      | 16.6     | 18.1     |
| เฉลี่ย   | 20.50   | 20.67    | 19.45    |

**ตารางที่ 3** คุณสมบัติทางกายภาพทะเลายปาล์มเปล่า (น้ำหนัก, กว้าง, ยาว, หนา) ใช้ในการทดสอบเบื้องต้น  
เครื่องต้นแบบ

| ทะเลายที่ | น้ำหนัก (กก.) | กว้าง (ซม.) | ยาว (ซม.) | หนา (ซม.) |
|-----------|---------------|-------------|-----------|-----------|
| 1         | 0.8           | 23.0        | 40.0      | 17.0      |
| 2         | 1.0           | 25.0        | 39.0      | 18.0      |
| 3         | 1.4           | 24.0        | 33.0      | 17.0      |
| 4         | 3.0           | 29.0        | 36.0      | 23.0      |
| 5         | 1.2           | 24.0        | 40.0      | 18.0      |
| 6         | 1.8           | 25.0        | 35.0      | 20.0      |
| 7         | 1.8           | 23.0        | 39.0      | 20.0      |
| 8         | 1.0           | 22.0        | 38.0      | 19.0      |
| 9         | 1.8           | 24.0        | 39.0      | 20.0      |
| 10        | 2.2           | 27.0        | 43.0      | 22.0      |
| 11        | 3.8           | 32.0        | 45.0      | 27.0      |
| 12        | 1.8           | 23.0        | 42.0      | 19.0      |
| 13        | 1.4           | 21.0        | 32.0      | 16.0      |
| 14        | 1.4           | 22.0        | 33.0      | 17.0      |
| 15        | 2.0           | 30.0        | 50.0      | 23.0      |
| เฉลี่ย    | 1.8           | 24.9        | 38.9      | 19.7      |

**ตารางที่ 4** การสุ่มตัวอย่างคัดแยกขนาดเศษวัสดุต้นเลาที่ผ่านการหั่นย่อยด้วยเครื่องต้นแบบ

| ซ้ำที่ | นน. วัสดุที่ค้ำบนชั้นตะแกรงร่อน (กรัม) |        |        |
|--------|----------------------------------------|--------|--------|
|        | 9.5 mm                                 | 4.7 mm | ถาดรอง |
| 1      | 201.0                                  | 349.0  | 108.0  |
| 2      | 454.0                                  | 317.0  | 242.0  |
| 3      | 398.0                                  | 314.0  | 281.0  |
| เฉลี่ย | 351.0                                  | 326.7  | 210.3  |

ตารางที่ 5 การสุ่มตัวอย่างคัดแยกขนาดเศษวัสดุทะเลลายปาล์มที่ผ่านการหั่นย่อยด้วยเครื่องต้นแบบ

| ซ้ำที่ | นน. วัสดุที่ค้ำบนชั้นตะแกรงร่อน (กรัม) |        |        |
|--------|----------------------------------------|--------|--------|
|        | 9.5 mm                                 | 4.7 mm | ถาดรอง |
| 1      | 765.0                                  | 99.0   | 104.0  |
| 2      | 667.0                                  | 68.0   | 59.0   |
| 3      | 582.0                                  | 72.0   | 48.0   |
| เฉลี่ย | 671.3                                  | 79.7   | 70.3   |

ทั้งนี้จากการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องต้นแบบ พบว่าเครื่องมีความสามารถในการทำงาน 3.36 - 4.14 ตัน/ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 650 รอบ/นาที โดยประสิทธิภาพการหั่นย่อยยังไม่ค่อยดีเท่าที่ควร ต้องปรับปรุงและแก้ไขเครื่องต้นแบบอีกเล็กน้อย ในส่วนวัสดุที่ติดค้างในเครื่อง และความเร็วรอบที่สูงขึ้นเพื่อการหั่นย่อยแปรรูปวัสดุชีวมวลให้มีความละเอียดมากขึ้น

ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงเครื่องต้นแบบ โดยการปรับเปลี่ยนตะแกรงให้มีขนาดเล็กลง เปลี่ยนตะแกรงเจาะรูกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจาก 12 มม. เป็น 9 มม. เพื่อการบดย่อยวัสดุได้ละเอียดมากขึ้น (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนขนาดรูตะแกรงของเครื่องหั่นย่อย

ทำการออกแบบชุดใบมีดที่ 1 ให้มีความแข็งแรงและมีหน้าสัมผัสการตัดเฉือนมากขึ้น โดยการปรับมุมเอียงของช่องป้อนวัสดุหญ้าเนเปียร์ ตันเลา ให้รับกับการหมุนของใบมีดในลักษณะวงกลม และขยายช่องป้อนให้สามารถใส่ทะเลลายปาล์มเปล่าได้สะดวก (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 การเสริมชุดใบมีดที่ 1 ให้มีความแข็งแรงและมีหน้าสัมผัสการตัดเฉือนมากขึ้น



ภาพที่ 21 ติดตั้งแผ่นยางกันฝุ่นย้อนกลับ และถาดรองรับวัสดุใต้ตะแกรงเหล็ก

ออกแบบแผ่นยางกันฝุ่นย้อนกลับในขณะที่เครื่องทำงาน และถาดรองรับวัสดุใต้ตะแกรงเหล็กเพื่อสะดวกในการเก็บเศษวัสดุที่ผ่านการหั่นย่อยเสร็จแล้ว พร้อมทั้งติดตั้งกล่องชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า และโอเวอร์โวลต์ในเครื่องต้นแบบ



**ภาพที่ 22** การทดสอบหัตถ์ยอยวัสดุชีวมวลต้นเลาในสภาพแห้ง จากการปรับปรุงเครื่องต้นแบบ

ดำเนินการทดสอบการแปรสภาพของวัสดุหญ้าเนเปียร์โดยใช้เครื่องหัตถ์ยอยแบบสองใบมีดที่พัฒนาขึ้น ต้นกำลัง 2 แรงม้า ไฟฟ้า 220 โวลต์ และกล่องควบคุมมอเตอร์ ส่งกำลังผ่านพูลเลย์ และสายพาน ส่วนอุปกรณ์ป้อนเป็นลูกกลิ้ง 2 ลูก เพื่อความสม่ำเสมอ สะดวกและปลอดภัยในการป้อนวัสดุในขณะที่เครื่องทำงาน โดยใช้วัสดุที่มีการตากแดดจนแห้ง แบ่งตัวอย่างวัสดุออกเป็นกองๆ ละประมาณ 10 กิโลกรัม จำนวน 3 ซ้ำ ต่อการทดสอบหนึ่งความเร็รรอบในช่วง 1,000 – 1,400 รอบ/นาที ทำการทดสอบเพื่อหาความเร็รรอบที่เหมาะสมกับการใช้งานแปรสภาพวัสดุ โดยค่าชี้ผลประเมินจากขนาดวัสดุที่ผ่านการคัดแยกจากการสุมตัวอย่างมาทำการร่อนแยก 3 ขนาด และความสามารถในการทำงานเชิงวัสดุ (กก./ไร่) ผลการทดสอบแสดงดังในตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** การทดสอบการแปรสภาพวัสดุชีวมวลหญ้าเนเปียร์โดยเครื่องหัตถ์ยอยแบบสองใบมีดต้นแบบ

| ช่องป้อน<br>วัสดุ | ความเร็รรอบ<br>ใบมีด<br>(rpm) | เปอร์เซ็นต์ปริมาณวัสดุที่ผ่านการแปรสภาพ<br>และคัดแยกขนาดต่างๆ (%) |                 |                   | ความสามารถ<br>ในการทำงาน<br>(kg/hr) |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------|
|                   |                               | มากกว่า 4.76 มม.                                                  | 2.58 - 4.76 มม. | น้อยกว่า 2.58 มม. |                                     |
| ด้านหน้า          | 1,000                         | 39.61                                                             | 33.38           | 22.28             | 107.71                              |
|                   | 1,200                         | 34.87                                                             | 36.36           | 21.90             | 109.65                              |
|                   | 1,400                         | 26.90                                                             | 29.33           | 28.82             | 126.27                              |
| ด้านข้าง          | 1,000                         | 67.36                                                             | 63.19           | 17.16             | 63.88                               |
|                   | 1,200                         | 46.97                                                             | 68.70           | 24.44             | 65.65                               |
|                   | 1,400                         | 42.89                                                             | 59.46           | 19.91             | 18.26                               |

จากตารางผลการทดสอบพบว่า การป้อนวัสดุที่ช่องป้อนด้านหน้าจะมีความสามารถในการทำงานที่สูงกว่าการป้อนจากด้านข้าง มีความสามารถในการทำงาน 107.71 – 126.27 กิโลกรัม/ชั่วโมง และสามารถแปรสภาพวัสดุได้ละเอียดขนาดน้อยกว่า 2.58 มม. คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 22.28 – 28.82% โดยใช้ความเร็รรอบตั้งแต่ 1,000 –

1,400 รอบ/นาทีก่อนนี้การใช้ความเร็วรอบเครื่องที่สูง (1,400 รอบ/นาทีก่อน) จะให้ผลการทำงานที่ดีกว่าความเร็วรอบเครื่องที่ต่ำกว่า ทั้งนี้การใช้เครื่องหั่นย่อยต้นแบบ สามารถแปรรูปวัสดุได้ละเอียดขนาด มากกว่า 4.76 มม. คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 26.90 – 39.61% และ อยู่ในช่วง 2.58 – 4.76 มม. คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 29.33 – 36.36%

## 9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการพัฒนาเครื่องหั่นย่อยเพื่อแปรรูปวัสดุชีวมวล เช่น หญ้าเนเปียร์ ต้นเลา ที่จะนำไปสู่ขั้นตอนการผลิตไบโอเอทานอลจากพืชชีวมวล ในกระบวนการหมักต่อไป ทั้งนี้เครื่องต้นแบบควรใช้ความเร็วรอบในการทำงาน 1,400 รอบ/นาทีก่อน มีความสามารถเชิงวัสดุ 126.27 กิโลกรัม/ชั่วโมง แปรรูปวัสดุให้มีขนาด 2.58-4.76 มม. คิดเป็น 29.33% และสามารถแปรรูปวัสดุให้มีขนาดเล็กที่สุด 2.58 มม. คิดเป็น 28.82% เครื่องหั่นย่อยแบบสองใบมีดที่พัฒนาขึ้น ใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า 220 โวลต์ สามารถป้อนวัสดุได้สะดวกและปลอดภัย เคลื่อนย้ายได้โดยมีล้อเหล็กเลื่อน สามารถทำการแปรรูปวัสดุพืชชีวมวลที่มีสภาพแห้งได้ดีกว่าสภาพวัสดุที่สด เพราะฉะนั้นก่อนการหั่นย่อยแปรรูปวัสดุต้องทำการตากแดดให้แห้งก่อนเสมอ

## 10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1) ได้ต้นแบบเครื่องมือที่ช่วยในขบวนการย่อยสลาย เช่น เครื่องลดขนาดวัสดุ เครื่องมือแปรรูป
- 2) ได้เครื่องจักรกลต้นแบบที่ช่วยในการผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวล
- 3) นำเครื่องมือไปย่อยวัสดุ / พืชเหลือใช้เพื่อขบวนการหมักเอทานอล
- 4) สามารถนำเป็นข้อมูลการวิเคราะห์ในการเตรียมวัตถุดิบในการผลิตไบโอเอทานอล

## 11. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่มีส่วนช่วยสนับสนุนงานวิจัย และศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของสำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ ที่มีส่วนช่วยสนับสนุนงานวิจัยและงบประมาณในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วง

## 12. เอกสารอ้างอิง

พิสมัย เจนวนิชปัญญกุล. 2548. Biofuel Roadmap, APEC Symposium on Fore sighting Future Fuel

Technology. ณ อาคารสำนักงานใหญ่ บริษัทปตท. จำกัด (มหาชน) วันที่ 28 พฤศจิกายน 2548.

มูลนิธิพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2549. ปริมาณชีวมวลคงเหลือของประเทศไทย ปี 2549. มูลนิธิพลังงานและสิ่งแวดล้อม [online]. Available from: <http://www.effe.or.th/home.php> [2010, May 21]

ระวีวรรณ แก้วเกล้า. 2537. การผลิตเอทานอลจากฟางข้าว.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วรพจน์ ขำพิศ, และคณะ 2554.โครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (ระดับชุมชน). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

