รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

---

1. ชุดโครงการวิจัย : ศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ

2. โครงการวิจัย : การผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวลโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ

3. กิจกรรม : การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลจากชีวมวลเพื่ออุตสาหกรรมขนาดย่อม

4. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : การพัฒนาเครื่องจักรกลในกระบวนการหมักของการผลิตเอทานอลจากชีวมวล

ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ): Development of Machine in fermentation process for Bio-ethanal form biomass

5. คณะผู้ดำเนินงาน

หัวหน้าการทดลอง	: นายพินิจ จิรัคคกุล	สังกัด ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
ผู้ร่วมงาน	: นายวุฒิพล จันทร์สระคู	สังกัด ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น
	: นางบุญเรือนรัตน์ เรืองวิเศษ	สังกัด สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ
	: นายอนุชา เชาวโชติ	สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
	: นายสิทธิชัย ดาศรี	สังกัด สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

6. บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลในกระบวนการหมักของการผลิตเอทานอลจากชีวมวล เป็นการบูรณาการเครื่องจักรและเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อผลิตพลังงาน โดยเครื่องจักรในกระบวนการผลิตจะต้องประกอบด้วยเครื่องสับย่อยหยาบและเครื่องบดหยอดละเอียดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ โดยกระบวนการเตรียมวัตถุดิบก่อนใช้งาน (Pre-treatment) สามารถทำได้โดยทั้งทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพ หรือใช้ร่วมกันขึ้นอยู่ชนิดชีวมวลและความเหมาะสมของสมบัติทางกายภาพและเคมีในชีวมวล โดยเครื่องจักรในกระบวนการผลิตจะประกอบด้วย1) ถังหมักแบบกะ ขนาด 600 ลิตร มีระบบการให้ความร้อนและมีระบบควบคุมด้วยระบบ PID สามารถควบคุมอุณหภูมิและใบกวนตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ 2) ปั๊มชนิด เกียร์ปั๊มใช้ในการดึงของเหลวจากถังหมักผ่านถังกรอง 3) ถังกรองซึ่งจะมีชั้นกรองหยาบและละเอียดภายใต้ความดัน ไม่เกิน 3 bar 4) ชุดให้ความร้อนก่อนเข้ากระบวนการกลั่นพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ 5) ถังกลั่นลำดับส่วนใช้ในการกลั่นเอทานอลออกจากน้ำ 6) เครื่องควบแน่นใช้ระบบเครื่องทำความเย็นมาประยุกต์ใช้ 7) ถังบรรจุ ซึ่งกระบวนการผลิตเอทานอลจากชีวมวลที่ออกแบบมี ปริมาตรการหมัก 480 ลิตร กำลังการผลิตเอทานอล 48 ลิตรต่อกะ ที่ปริมาณเอทานอลหลังการหมัก 10 เปอร์เซ็นต์

Abstract

The research and development of machine in fermented processing of ethanol from biomass were integrated of machine and biotechnology for energy production. The machine composed of chipper and hammer mill machine which increased the efficiency of microbial activity. The pre-treatment was prepared from physical, chemical and microbial or composition which depended on type, physical and chemical of biomass. The machine in production system consisted of 1) fermenter 600 liters with heater and IPD controller systems which can be used to control the temperature and mixer 2) gear pump which induced liquid to filter 3) filter with rough and fine layers which processed under 3 bar pressure 4) pre-heating with temperature control system which set before distillation 5) fractional distillation which separated ethanol and oil 6) condenser which applied from refrigeration system 7) container for fermentation 480 liters. The ethanol capacity was 48 liters per batch or 10% of raw materials.

7. คำนำ

พลังงานจัดเป็นปัจจัยสำคัญและมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ หลายๆประเทศทั่วโลกจึงแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่เพื่อเป็นหลักประกันความมั่นคงด้านพลังงานในระยะยาว ทั้งยังเป็นการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการใช้พลังงานที่ได้จากฟอสซิล เช่น น้ำมัน และ ถ่านหิน อันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในภาวะของภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ณ ปัจจุบัน น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของโลกกำลังจะหมดลง แหล่งอาหารของโลกก็ลดลงเช่นเดียวกันเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกแบบทวีคูณในขณะที่ผลิตอาหารเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงเนื่องจากความแห้งแล้ง 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 หญ้าswitch grass กากชานอ้อย กากมันสำปะหลัง เป็นต้น หากแต่ความต้องการของมนุษย์ยังมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี ดังนั้นหลายประเทศจึงมีความพยายามอย่างยิ่งที่จะหาพลังงานทางเลือกอื่นในรูปแบบต่างๆ 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 น้ำกากส่าจากโรงงานสุรา เศษไม้ขี้เลื่อยจากโรงงานทำไม้ ของเสียจากโรงงานทำกระดาษ ของเหลือใช้หลังจากการเก็บเกี่ยว เช่น กากถั่วเหลือง ฟางข้าว รำข้าว ชานอ้อย ซังและเปลือกข้าวโพด ขี้เลื่อยเป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรภายในประเทศ ซึ่งมีการรายงานประมาณการของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของประเทศไทย ดังตารางที่1

ตารางที่ 1 ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	ปริมาณ (ล้านตัน/ปี)
1. ฟางข้าว	40
2. ใบ ลำต้น เปลือกและซังข้าวโพด	6.4
3. ลำต้นและใบสับปะรด	4
4. ปาล์ม : ทะลายเปล่า กากเนื้อ เส้นใย กาก เมล็ดในและกะลา	2.7
5. ลำต้นและใบมันสำปะหลัง	1.7
6. กาบมะพร้าว กะลาเปล่า และกากมะพร้าว	1.1
รวม	**55.9**

วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก มักมีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยเฉพาะเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส จัดเป็นโพลิเซคคาไรด์ที่มีมากในผนังเซลล์ของพืชทุกชนิด

เซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ของน้ำตาลซึ่งต่อกันเป็นสายยาว การตัดเซลลูโลสอาจตัดด้วยกรดหรือเอนไซม์ พืชแต่ละชนิดก็มีสัดส่วนของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินแตกต่างกัน ในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์จากชีวมวลจำเป็นต้องเปลี่ยนโครงสร้างของพืชให้ย่อยง่ายขึ้น แยกเอาเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ออกด้วยปฏิกิริยาของกรดหรือเอนไซม์ที่ได้จากเชื้อรา แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส เป็นต้น เพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลแล้วหมักด้วยยีสต์จนได้แอลกอฮอล์ แต่ข้อดีของการใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารเหล่านี้เมื่อเทียบกับวิธีทางเคมี คือ การเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เอนไซม์มีความจำเพาะกับสับสเตรทมากกว่า เอนไซม์ทำงานในสภาวะแวดล้อมที่ไม่รุนแรง และไม่มีการสูญเสียสับสเตรทในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ดังนั้นในด้านอุตสาหกรรมจึงได้มีการนำเอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase) และไซแลนเนส (Xylanase) มาใช้อย่างกว้างขวาง เอนไซม์เซลลูเลส ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเอทิลแอลกอฮอล์ น้ำตาลกลูโคส และอาหารสัตว์บางชนิดเป็นต้น ส่วนเอนไซม์ไซแลนเนส สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมฟอกสีเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร และอาหารสัตว์ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตพลังงานทดแทนจากชีวมวล เป็นการใช้ประโยชน์จากความสามารถของจุลินทรีย์ในการย่อยสารประกอบเหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ให้สามารถกลับมาใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่ามากยิ่งขึ้น ทั้งยังมีข้อดีหลายประการ เช่น เป็นการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในท้องถิ่นนั้น ๆ ก่อให้เกิดการจ้างงานในท้องถิ่น ลดภาระการพึ่งพาแหล่งพลังงานจากต่างประเทศ ทำให้เกษตรกรมีรายได้ ลดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศ มีความมั่นคงทางพลังงานเพิ่มขึ้น ใช้เทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนในกระบวนการผลิตจึงพึ่งพาตนเองได้ พลังงานที่ได้ในรูปของเหลวสามารถนำไปใช้กับเทคโนโลยียานยนต์ในยุคปัจจุบัน ดังนั้นการวิจัยเพื่อศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส และไซแลนเนส จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนากระบวนการผลิตเอทานอลจากชีวมวลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ดี ปัญหาอุปสรรคของการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ไม่ว่าจะเป็นการผลิตเอทานอล ไบโอดีเซล หรือการผลิตไฟฟ้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ ปัญหาด้านการขาดแคลนวัตถุดิบ ไม่ว่าจะเป็น มันสำปะหลัง กากน้ำตาล สำหรับการผลิตเอทานอล หรือน้ำมันปาล์ม น้ำมันพืชใช้แล้ว สำหรับการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งแนวทางการแก้ไขจำเป็นที่จะต้องมีการส่งเสริมการปลูก มันสำปะหลัง อ้อย ปาล์มน้ำมัน หรือการส่งเสริมการปลูกพืชพลังงานอื่นๆที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอล หรือ ไบโอดีเซล เช่น ข้าวฟ่างหวาน สบู่ดำ เป็นต้น

แต่สำหรับปัญหาอุปสรรคของการผลิตพลังงานจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนั้น แตกต่างกัน กล่าวคือ ประเทศไทยมีแหล่งชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากมายกระจัดกระจายไปในภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศ ทั้งที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตเกษตร และ ไร่ นา สวนเกษตร ทำให้ศักยภาพเชิงพาณิชย์ของการใช้เชื้อเพลิงจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีอยู่มาก ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลคงเหลือ ในปี 2549 ของมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม พบว่า มีเชื้อเพลิงชีวมวลที่ยังไม่ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานความร้อนหรือไฟฟ้า อีกกว่า 34 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานเทียบเท่ามันดิบ 7,200 ตัน (ktoe) ซึ่งการนำฟางข้าวมาผลิตเป็นเอทานอลก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งเพื่อพัฒนาพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนสำหรับประเทศไทย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณชีวมวลคงเหลือของประเทศไทย ปี 2549

ชนิดเชื้อเพลิงชีวมวล	ปริมาณคงเหลือ (ton)	พลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ (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
ใยปาล์ม	113,734.51	31.80

ที่มา : มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2549

ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลสำหรับเป็นพลังงานทดแทนจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ทะลายปาล์ม ซังข้าวโพด และอื่นนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาระบบการเตรียมวัตถุดิบที่เหมาะสมต่อการหมักและการย่อยสลายของยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้อย่างรวดเร็วและคุ้มค้าเชิงเศรษฐศาสตร์

8. วิธีดำเนินการ

1. รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ถึงสมบัติทางกายภาพทางเคมี และองค์ประกอบต่างๆ ตลอดจนใช้ในการออกแบบเครื่องมือ เช่น ความหนาแน่น ความชื้น สภาพของวัสดุเปียกหรือแห้ง ขนาดเริ่มต้นและขนาดที่ทำการแปรรูปขั้นตอนที่ 1 และ 2 ดังในกิจกรรมที่ 4.1

2. ทำการออกแบบเครื่องบดละเอียด(Colloid Mill) เพื่อบดชีวมวลที่ผ่านการบดขั้นตอนที่ 1 และ 2 ในสภาพเปียกและสภาพแห้ง

3. ทำการศึกษาการใช้ระบบ Hydrostatic ในการย่อยสลายโครงสร้าง โดยเพิ่มปัจจัยการการศึกษาใช้อุณหภูมิรวม หรือใช้ Alkaline (NaOH) รวม เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมและปริมาณ Alkaline ที่เหมาะสมในการนำไป Hydrolysis ในระดับห้องปฏิบัติการ

4. ออกแบบและทดสอบการเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับผลิตเอทานอลให้เหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่กิจกรรมข้างต้น 1-3 สำหรับผลิตพลังงาน โดยมีเป้าหมายความต้องการเชื้อเพลิงอย่างน้อยวันละ 3 ตัน ซึ่งประกอบด้วย กิจกรรมที่ 4.1 เครื่องคัดแยกทำความสะอาด (Separator) เครื่องลดขนาด (Size Reduction Machine) ขั้นที่ 1 และ 2 และ กิจกรรมที่ 4.2 เครื่องบดละเอียด(Colloid Mill) ถังย่อยชนิดความดันสำหรับ Hydrolysis ให้สามารถใช้ได้กับชีวมวลหลากหลายชนิด

5. ประเมินผลเครื่องต้นแบบ เพื่อหาสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานกับชีวมวลชนิดต่างๆ

6. ประเมินการใช้พลังงานต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง, ปริมาณการน้ำ ปริมาณการใช้สารเคมี ปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นและปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตามหลัก Clean Technology (CT)

7. ประเมินต้นทุนการผลิตในเชิงธุรกิจ (Financial Costs) ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์โครงการทางด้านการเงินของปัจจัยการผลิต การประเมินผลตอบแทนทางการเงินของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) อัตราผลตอบแทนต่อค่าใช้จ่าย (Benefit Cost Ratio : BCR) ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) และมูลค่าปัจจุบันของโครงการ (Net Present Value : NPV)

การบันทึกข้อมูล

- สมบัติทางกายภาพของชีวมวลชนิดต่างที่กิจกรรมที่ 1-3 กำหนด คืน ความหนาแน่น(กก/ลบ.ม), ความชื้น(%wb), สภาพของวัสดุเปียกหรือแห้ง(สดหรือแห้ง) ขนาดเริ่มต้นและขนาดที่ทำการแปรรูปขั้นตอนที่ 1 และ 2 ดังในกิจกรรมที่ 4.1 (ซม) และการคัดแยกด้วยตะแกรงมาตรฐาน
- ความสามารถในการทำงานของเครื่องต้นบดละเอียดแบบ (กก./ชั่วโมง)
- ระยะเวลาการย่อยใช้ Hydrostatic วัดอุณหภูมิภายในถัง (องศาเซลเซียส) ปริมาตร NaHO (กรัม) ความดันภายในถัง(bar)
- สมรรถนะ(กก/ชม)และประสิทธิภาพ(เปอร์เซ็นต์)ในการแปรสภาพวัตถุดิบชีวมวลแต่ละชนิด
- ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการทำงาน (kw-hrs/kg)

สถานที่ทำการทดลอง/วิจัย

- ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร
- สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ กรมวิชาการเกษตร

ระยะเวลาทำการวิจัย

ตุลาคม 2556 – กันยายน 2558 รวม 3 ปี

9. ผลการทดลองและวิจารณ์

9.1 การแปรรูปชีวมวลแบบหยาบ

1) การแปรรูปชีวมวลที่มีลักษณะเป็นต้นยาว

การทดสอบแปรรูปเพื่อลดขนาดอ้อยพลังงานและเลาให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน จากลักษณะสมบัติทางกายภาพของพืชทั้งสองชนิดมีลักษณะใกล้เคียงกัน มีลักษณะยาวและเป็นลำ ผู้วิจัยจึงเลือกทดสอบกับเครื่องสับที่มีลักษณะของลูกป้อนโดยใช้เครื่องหั่นฟาง ดังภาพที่ 9.1 และใช้ต้นกำลังขนาด 10 แรงม้า เครื่องยนต์ดีเซล ยี่ห้อคูโบต้า รุ่น ET115 รอบใบมีดสับเฉลี่ย 800 รอบ ความเร็วเชิงเส้นใบมีดเฉลี่ย 22.6 เมตรต่อวินาที แรงงานในการสับจำนวน 2 คน พบว่า การสับทั้งสับสดหรือแห้งสามารถทำการสับได้ไม่แตกต่างกันเนื่องจากเครื่องหั่นฟางจะมีระบบลูกกลิ้งป้อน และ โดยสมรรถนะของสับสำหรับต้นเลาเฉลี่ย

1.872 ตันต่อชั่วโมง ที่ความชื้นเฉลี่ย 49.45 % wb ขนาดชิ้นที่สับเฉลี่ย 3 เซนติเมตรโดยความหนาแน่นหลังสับมีค่าเฉลี่ย 111 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน 1.15 ลิตรต่อตัน ต้นทุนในการแปรรูปขั้นต้นมีค่า 99.5 บาทต่อตัน ดังตารางที่ 3.1-1 ซึ่งขนาดของชิ้นวัสดุที่ผ่านการสับ ดังภาพที่ 2 เครื่องที่ใช้ในการทดสอบสามารถนำไปแปรรูปในแปลงได้เช่นเดียวกัน เมื่อนำสมรรถนะเทียบต่อการใช้พลังงานค่าพลังงานจำเพาะในการแปรรูปมีค่า 12.5 kWh/ton

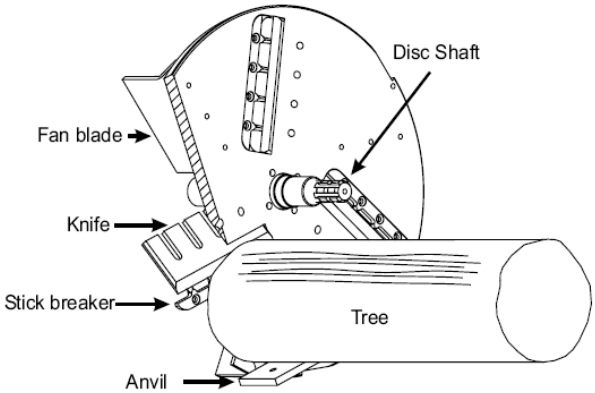
ภาพที่ 9.1 การทดสอบสับต้นเลาอายุ 6 เดือน ด้วยเครื่องสับฟางชนิด 2 ใบมีด

ภาพที่ 9.2 การลักษณะต้นเลาอายุ 6 เดือนที่ผ่านการสับด้วยเครื่องสับฟาง

2) การแปรรูปชีวมวลที่มีลักษณะเป็นหัวหรือทะลาย

การแปรรูปชีวมวล เช่น ทะลายปาล์ม เปลือกมะพร้าว และอื่นๆ สามารถใช้เครื่องสับในการแปรรูปได้ โดยปัจจุบันเครื่องสับที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ประเภทคือ หัวสับชนิดจานกลม (Flywheel Type) และ หัวสับชนิดทรงกระบอก (Cylinder Type) ดัง**ภาพที่ 9.3** ซึ่งจากการทดสอบทะลายปาล์มกับเครื่องสับชนิดจานกลม พบว่า ขนาดของทะลายมีขนาดใหญ่กว่าช่องป้อนทำให้ไม่สามารถสับได้ ดัง**ภาพที่ 9.4** แต่ถ้าเป็นเครื่องจักรที่มีช่องป้อนขนาดใหญ่ดัง**ภาพที่ 9.5** การแปรรูปทะลายปาล์มจะมีประสิทธิภาพเนื่องจากความยาวที่สับได้จะมีค่าเท่ากับความหนาของใบมีด ส่วนการใช้เครื่องสับแบบหัวสับชนิดทรงกระบอกดัง**ภาพที่ 9.6**

พบว่าสามารถสับทะลายปาล์มได้และใช้ต้นกำลังน้อยกว่าแบบจาน โดยสมรรถนะทั้งสองชนิดอยู่ประมาณ 10 ตัน/ชั่วโมง



(ก) หัวสับชนิดจานกลม (Flywheel Type) (ข) หัวสับชนิดทรงกระบอก (Cylinder Type)

ภาพที่ 9.3 ประเภทของเครื่องสับ/ย่อยลดขนาด จำแนกตามประเภทของหัวสับ

ภาพที่ 9.4 การสับย่อยทะลายปาล์มด้วยเครื่องสับย่อยพืชเส้นใย

ภาพที่ 9.5 การสับย่อยทะลายปาล์มด้วยเครื่องสับแบบหัวสับชนิดจานกลมขนาดใหญ่และขนาดชิ้นหลังการสับ

ภาพที่ 9.6 การสับย่อยทะลายปาล์มด้วยเครื่องสับแบบหัวสับชนิดทรงกระบอกและขนาดชิ้นหลังการสับ

3) การแปรรูปชีวมวลที่มีลักษณะเป็นเหง้า

จากการศึกษาการแปรรูปชีวมวลที่มีลักษณะแข็งแต่เปราะ เครื่องจักรที่มีความเหมาะสมต่อการแปรรูปคือเครื่องบดแบบค้อน(Hammer Mill) ซึ่งสามารถบดและย่อยชีวมวลที่มีลักษณะแข็งและเปราะได้อย่างมีประสิทธิภาพตัวอย่างเช่นการบดเหง้ามันสำปะหลังดัง**ภาพที่ 9.7** แต่การงานนำเหง้ามันสำปะหลังมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไอโอเอทานอลในทางกายภาพพบว่า ภายในเหง้ามันสำปะหลังจะมีดินจำนวนมากที่อยู่ในเหง้ามันสำปะหลังเนื่องจากการเพาะปลูกดัง**ภาพที่ 9.8**

ภาพที่ 9.7 การสับย่อยเหง้ามันสำปะหลัง

ภาพที่ 9.8 ลักษณะดินที่ที่สะสมในเหง้ามันสำปะหลัง

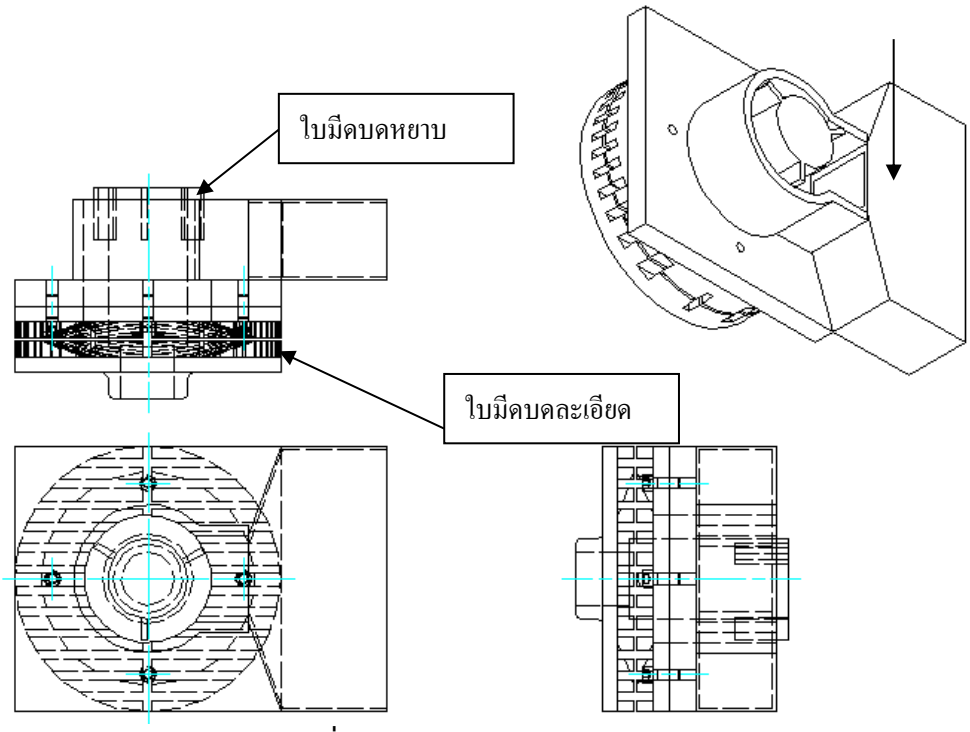
9.2 การออกแบบเครื่องบดละเอียด(Colloid Mill) เพื่อบดชีวมวล

การพัฒนาเครื่องจักรกลในกระบวนการหมักของการผลิตเอทานอลจากชีวมวล ได้ศึกษาและออกแบบเครื่องจักรในกระบวนการย่อยละเอียดจนถึงกระกระบวนการหมักและกลั่นเอทานอล (ต่ำกว่า 95%) โดยการออกแบบเครื่องบด(Colloid mill) ได้ออกแบบให้มี 2 ระบบคือ ระบบบดหยาบโดยจะใช้ใบมีดจำนวน 3 ใบ ในการบดก่อนเข้าชุดใบมีดบดละเอียด ดังภาพที่ 9.9 ใบมีดบดละเอียดได้ออกแบบและ เลือกใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S 45C ซึ่งสภาพปกติ จะมีความแข็งประมาณ 20.45 HRC และเมื่อผ่านการชุบแข็งแล้วจะมีความแข็งประมาณ 27.6 HRC ในการทดสอบจะใช้เหล็กเกรด S45C ก่อนเป็นต้นแบบ การผลิตเครื่องบด ถ้าการผลิตส่วนใหญ่ของใบมีดตัดหรือบดจะใช้เหล็ก DC53 ซึ่งเมื่อผ่านการชุบแข็งแล้วจะมีความแข็งประมาณ 52-62 HRC ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการชุบแข็ง โดยมีการทดสอบเบื้องต้นดังภาพที่ 9.10 ซึ่งการขึ้นรูปใบมีดบด ตามแบบดังภาพที่ 9.11 ซึ่งสามารถบดชีวมวลได้ละเอียดเป็นลักษณะครีมก่อนเข้ากระบวนหมักสำหรับการผลิตเอทานอลจากชีวมวล ดังภาพที่ 9.12

ภาพที่ 9.9 ลักษณะใบมีดบดหยาบ

ภาพที่ 9.10 การทดสอบการบดชีวมวลสำหรับชีวมวลที่ความชื้นมากกว่า 50%wb ด้วยเครื่องบดขนาดเล็ก

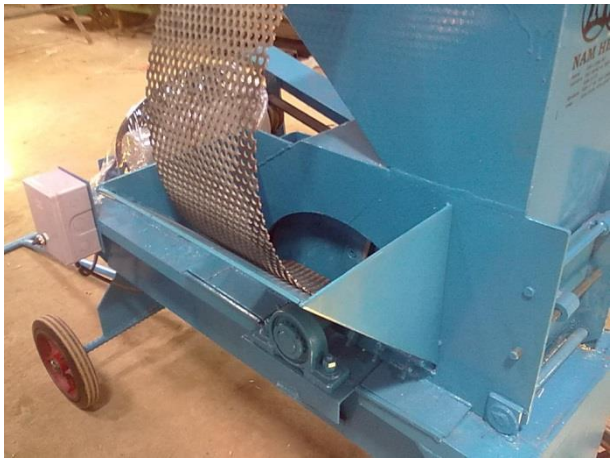
ถังบรรจุ



ภาพที่ 9.11 ส่วนประกอบชุดใบมีดบดละเอียด

ภาพที่ 9.12 การทดสอบการบดชีวมวลที่ผ่านการ pre treatment ด้วยเคมี

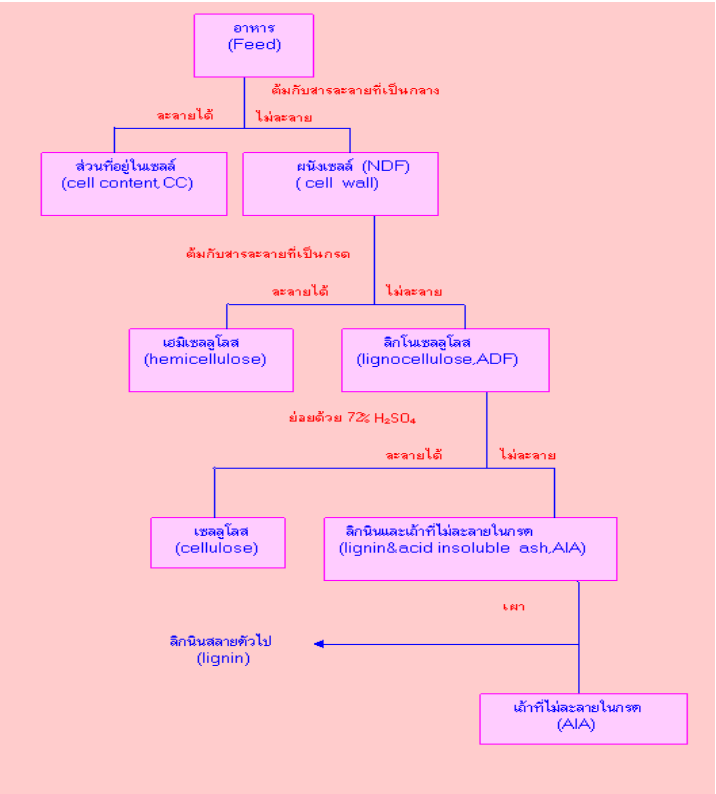
9.3 การศึกษาการใช้ระบบ Hydrolysis ในการย่อยสลายโครงสร้าง โดยเพิ่มปัจจัยการการศึกษาใช้อุณหภูมิรวมโดยการต้ม หรือใช้ Alkaline (NaOH) รวม ในระดับห้องปฏิบัติการการแปรรูปขั้นต้นควรมีการแปรรูปขั้นที่ 2 ต่อไปเช่นการทำ Hydrolysis หรือบดละเอียดด้วย Hammer mill ดังภาพที่ 9.13 สำหรับก่อนการนำไปเป็นวัตถุดิบไบโอเอทานอล ซึ่งขนาดชีวมวลจะมีขนาดยาว1-2 มิลลิเมตร แต่สามารถบดได้เฉพาะชีวมวลที่มีลักษณะที่แห้งหรือเปราะ ไม่เหมาะกับพืชเส้นใย ถ้าจะใช้กับพืชเส้นใยจำเป็นต้องสับให้มีขนาดเป็นชิ้นขนาดเล็กก่อน



ภาพที่ 9.13 เครื่องสับย่อยพืชเส้นใย และมีระบบบด (Hammer Mill) ในเครื่องเดียวกัน

การศึกษาระบบการเตรียมวัตถุดิบก่อนใช้งาน (Pre-treatment) ซึ่งเป็นการเตรียมวัตถุดิบขั้นที่สองสำหรับเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเอทานอล จำเป็นต้องทำลายพันธะไฮดรอเจน ของเฮมิเซลลูโลส ด้วยการ Pre treatment ด้วยวิธีต่างๆ เช่น ใช้กรด ด่างอ่อน หรือ ด่างแก่ ปัจจุบันได้ทำการศึกษา Pre treatment ในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาแนวโน้มการใช้ด่างอ่อน และด่างแก่ โดยใช้ NaOH ในอัตรา 0.4 % 1% 2% และ 20 % เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งพิจารณาสมบัติทางกายภาพมีลักษณะที่เหมาะสมดังภาพที่ 9.14 และนำไปวิเคราะห์ปริมาณ เซลลูโลส เฮมิเซลลูส และลิกนิน ของตัวอย่าง ดังตารางที่ 3 และนำไปย่อยในเครื่องบดละเอียด(Colloid mill) ต่อไป โดยวิธีการวิเคราะห์เซลลูโลส เฮมิเซลลูส และลิกนิน ใช้วิธี Detergent method หรือที่เรียกว่าวิธีการวิเคราะห์แบบ Forage fiber analysis แทน วิธีวิเคราะห์แบบนี้พัฒนาโดย Goering และ Van Soest โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้สามารถแยกแยะปริมาณองค์ประกอบของผนังเซลล์พืชได้ โดยแผนผังการวิเคราะห์องค์ประกอบของผนังเซลล์พืชด้วยวิธี Detergent method ดังภาพที่ 9.15

ภาพที่ 9.14 แสดงลักษณะทางกายภาพของต้นเลา(แห้ง) ที่ผ่านการย่อยด้วยด่าง (NaOH)เปรียบเทียบกับการย่อยหญ้าเนเปียยักษ์



ภาพที่ 9.15 ขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบของผนังเซลล์พืชด้วยวิธี Detergent method

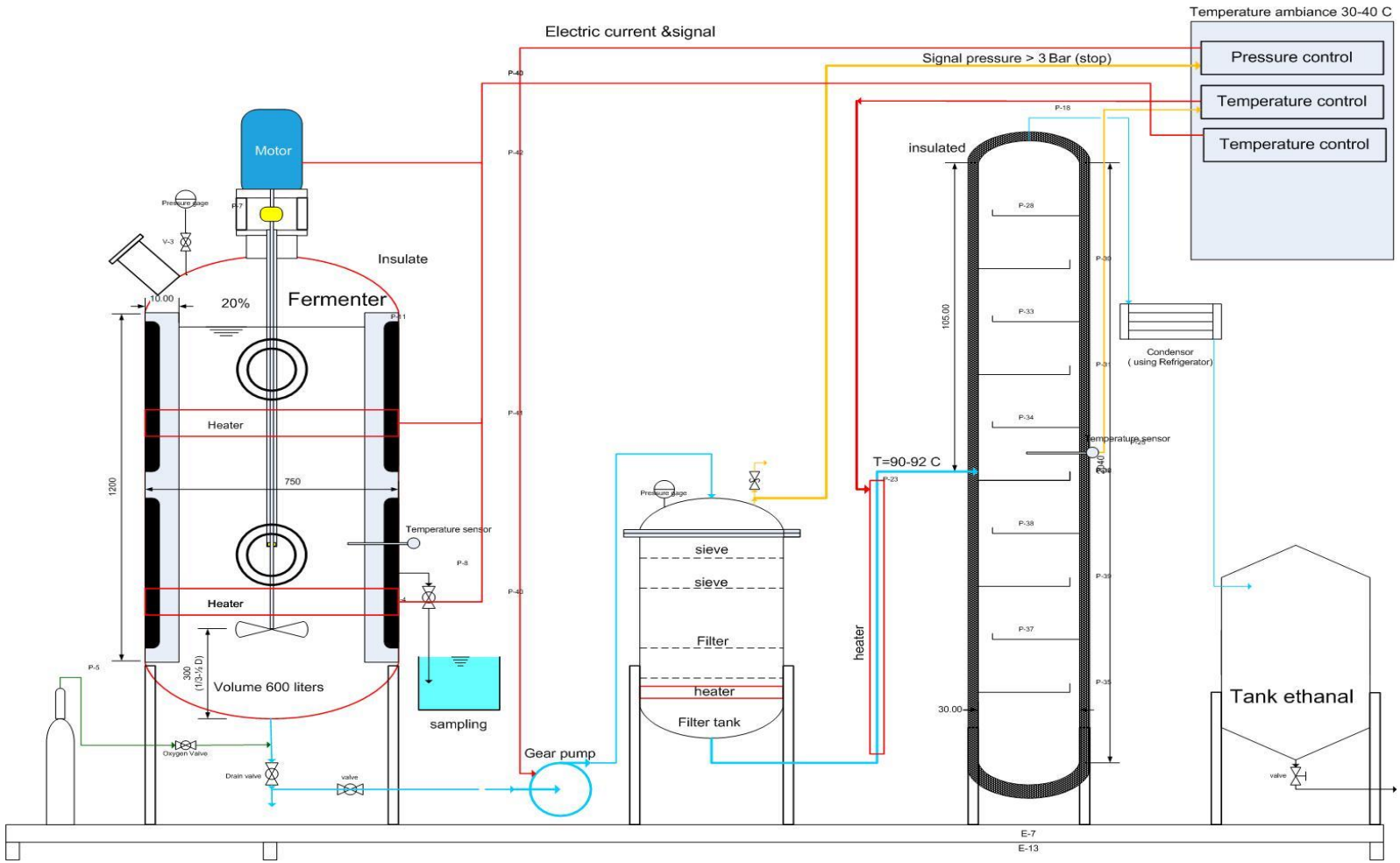
ที่มา : http://www.dld.go.th/ncna_nak/index/Detergent%20analysis.html

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ของต้นเลาและหญ้าเนเปียร์ยักษ์

ต้นเลา	รายการ	Lignin%	Hemi%	Cellulose%
1	ไม่ย่อย NaOH	8.04	33.02	27.92
2	ย่อย NaOH 0.4%	9.43	32.85	26.84
3	ย่อย NaOH 1%	8.29	33.17	29.19
4	ย่อย NaOH 2%	7.26	31.15	31.21
5	ย่อย NaOH 20%	7.09	26.90	34.65
หญ้าเนเปียร์ยักษ์	รายการ	Lignin%	Hemi%	Cellulose%
1	ไม่ย่อย NaOH	5.11	37.15	24.39
2	ย่อย NaOH 0.4%	3.50	35.55	29.49
3	ย่อย NaOH 1%	3.57	33.17	29.72
4	ย่อย NaOH 2%	4.86	34.21	27.39
5	ย่อย NaOH 20%	4.42	24.75	39.06

9.4. ออกแบบและทดสอบระบบผลิตไบโอเอทานอล

การออกแบบระบบการหมักได้ออกแบบกระบวนการผลิตเอทานอลจากชีวมวล ปริมาตรการหมัก 480 ลิตร กำลังการผลิตเอทานอล 48 ลิตรต่อกะ ที่ปริมาณเอทานอลหลังการหมัก 10 เปอร์เซ็นต์ จากการออกแบบระบบการผลิตเอทานอลสำหรับชุมชน ได้ออกแบบเป็นลักษณะต้นแบบซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่าระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย 1) ถังหมักแบบกะ ขนาด 600 ลิตร มีระบบการให้ความร้อนและมีระบบควบคุมด้วยระบบ PID สามารถควบคุมอุณหภูมิและใบกวนตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ 2) ปั๊มชนิด เกียร์ปั๊มใช้ในการดึงของเหลวจากถังหมักผ่านถังกรอง 3) ถังกรองซึ่งจะมีชั้นกรองหยาบและละเอียดภายใต้ความดัน ไม่เกิน 3 bar 4) ชุดให้ความร้อนก่อนเข้ากระบวนการกลั่นพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ 5) ถังกลั่นลำดับส่วนใช้ในการกลั่นเอทานอลออกจากน้ำ 6) เครื่องควบแน่นใช้ระบบเครื่องทำความเย็นมาประยุกต์ใช้ 7) ถังบรรจุ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 9.16 ปัจจุบันอุปกรณ์ต่างๆได้อยู่ในขั้นตอนการสร้างและทดสอบเครื่องจักร ดังภาพที่ 9.17



ภาพที่ 9.16 ผังกระบวนการผลิตเอทานอลจากชีวมวล ปริมาตรการหมัก 480 ลิตร กำลังการผลิตเอทานอล 48 ลิตรต่อกะ

ภาพที่ 9.17 การก่อสร้างและอุปกรณ์ในการสร้างต้นแบบ เครื่องบดชีวมวลแบบละเอียดและถังหมัก

ภาพที่ 9.18 ลักษณะถังกรองชีวมวลหลังการหมัก

ภาพที่ 9.19 ลักษณะถังหมัก ถังกรองชีวมวล และหม้อต้นก่อนเข้าระบบการกลั่น

ภาพที่ 9.20 เครื่องควบแน่นเอทานอลและขั้นตอนการติดตั้งและเริ่มดำเนินการเดินระบบ

การออกแบบระบบการหมักได้ออกแบบกระบวนการผลิตเอทานอลจากชีวมวล ปริมาตรการหมัก 480 ลิตร กำลังการผลิตเอทานอล 48 ลิตรต่อกะ ที่ปริมาณเอทานอลหลังการหมัก 10 เปอร์เซ็นต์ จากการออกแบบระบบการผลิตเอทานอลสำหรับชุมชน ได้ออกแบบเป็นลักษณะต้นแบบซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่าระดับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย 1) ถังหมักแบบกะ ขนาด 600 ลิตร มีระบบการให้ความร้อนและมีระบบควบคุมด้วยระบบ PID สามารถควบคุมอุณหภูมิและใบกวนตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ 2) ปั๊มชนิด เกียร์ปั๊มใช้ในการดึงของเหลวจากถังหมักผ่านถังกรอง 3) ถังกรองซึ่งจะมีชั้นกรองหยาบและละเอียดภายใต้ความดัน ไม่เกิน 3 bar 4) ชุดให้ความร้อนก่อนเข้ากระบวนการกลั่นพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ 5) ถังกลั่นลำดับส่วนใช้ในการกลั่นเอทานอลออกจากน้ำ 6) เครื่องควบแน่นใช้ระบบเครื่องทำความเย็นมาประยุกต์ใช้ 7) ถังบรรจุ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 9.20

1. **ถังหมัก**
2. **ปั๊มเฟืองขนาด 60 ลิตรต่อนาที**
3. **ถังกรองขนาด 20 ลิตร**
4. **ปั๊มเฟืองขนาด 60 ลิตรต่อนาที**
5. **หอกลั่น**

6. **ชุดควบแน่น**
7. **ตู้ควบคุม**

ภาพที่ 9.20 อุปกรณ์เครื่องต้นแบบในการผลิตไบโอเอทานอล

ซึ่งโรงงานต้นแบบได้ทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขของกิจกรรม 1-3 และปรับปรุงให้ตรงกับเงื่อนไขที่ต้องการ ซึ่งปัจจุบันพร้อมที่จะเคลื่อนย้ายมาติดตั้งที่ สังกัดสำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ จังหวัดปทุมธานี โดยระบบไฟฟ้าและระบบกลั่นจะทำการหุ้มฉนวนโดยทำการติดตั้งที่หน้างานเพื่อลงความเสียจากการเคลื่อนย้าย

9.5 ประเมินผลเครื่องต้นแบบ เพื่อหาสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานกับชีวมวลชนิดต่างๆ

จากการทดสอบการหมักเพื่อผลิตน้ำตาลและผลิตไบโอเอทานอลพบว่า ถังหมักสามารถหมักได้โดยระบบมีการควบคุมอุณหภูมิการหมัก ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส โดยถังหมักจะมีใบกวนที่เป็นลักษณะใบพัดเรือจำนวน 1 ใบ หมุนด้วยความเร็วรอบ 145 รอบต่อนาที (ระบบสามารถปรับความเร็วรอบได้) ซึ่งกระบวนการหมักและการเดินทั้งระบบจะทำในกิจกรรมข้างต้นต่อไป

ภาพที่ 9.21 การทดสอบอุปกรณ์เครื่องต้นแบบในการผลิตไบโอเอทานอลในการหมัก

ภาพที่ 9.22 การทดสอบชนิดเชื้อและการหมักกับเครื่องต้นแบบเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์

ซึ่งต้นแบบสามารถใช้ในการทดสอบการผลิตไบโอเอทานอลและสามารถใช้ในการทดสอบการผลิตเอทานอลภายใต้เงื่อนไขของการผลิต ซึ่งในการประเมินผลเครื่องต้นแบบ เพื่อหาสมรรถนะ ประสิทธิภาพการทำงานกับชีวมวลชนิดต่างๆ และประเมินการใช้พลังงานต่อหน่วยน้ำหนักแห้งจะทำการประเมินในโครงการ

10. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับกระบวนการหมักของการผลิตเอทานอลจากชีวมวล ประกอบด้วย1) ถังหมักแบบกะ ขนาด 600 ลิตร มีระบบการให้ความร้อนและมีระบบควบคุมด้วยระบบ PID สามารถควบคุมอุณหภูมิและใบกวนตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ 2) ปั๊มชนิด เกียร์ปั๊มใช้ในการดึงของเหลวจากถังหมักผ่านถังกรอง 3) ถังกรองซึ่งจะมีชั้นกรองหยาบและละเอียดภายใต้ความดัน ไม่เกิน 3 bar 4) ชุดให้ความร้อนก่อนเข้ากระบวนการกลั่นพร้อมระบบควบคุมอุณหภูมิ 5) ถังกลั่นลำดับส่วนใช้ในการกลั่นเอทานอลออกจากน้ำ 6) เครื่องควบแน่นใช้ระบบเครื่องทำความเย็นมาประยุกต์ใช้ 7) ถังบรรจุ สามารถสรุปส่วนถังหมักโดยใช้ใบกวนมีความเหมาะสมต่อการหมักชีวมวลเนื่องจากใบกวนจะช่วยในการทำให้ชีวมวลลอยและจุลรินทร์สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ แต่ต้องมีระบบการล้างด้วยนำร้อนเพิ่มเติมเนื่องจากการหมักครั้งต่อไป ถ้าทำความสะอาดไม่สะอาดจะส่งผลต่อผลการทดลอง ส่วนระบบกรองควรศึกษาตำแหน่งทางออกที่เหมาะสม เนื่องจากปัจจุบันทางออกของน้ำและกากตะกอนจะออกด้านล่างส่งผลให้กรองเต็มเร็ว ซึ่งทางออกควรมีความสูงจะก้นถังประมาณ 30 ซ.ม. เพื่อลดปัญหาเรื่องตะกอน โดยทางออกควรมีขนาดที่ใหญ่เพิ่มขึ้น จากท่อ 1 นิ้วเป็น 2 นิ้ว เนื่องจากการใช้บอลวาล์วรูที่น้ำผ่านจะมีขนาดเพียง ½ นิ้ว หรือปรับเปลี่ยนเป็นเกจวาล์ว โดยระบบการกลั่นระบบจะควบคุมอัตโนมัติจาก Temperature Control ด้วยระบบ PID โดยระบบมีปริมาตรการหมัก 480 ลิตร กำลังการผลิตเอทานอล 48 ลิตรต่อกะ ที่ปริมาณเอทานอลหลังการหมัก 10 เปอร์เซ็นต์

11. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- ได้ต้นแบบเครื่องจักรกลในกระบวนการหมักของการผลิตเอทานอลจากชีวมวลสามารถนำไปเป็นเครื่องจักรในการผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวลโดยต้นแบบจะต้องมีการพัฒนาให้เป็นโรงงานขนาดเล็กสำหรับชุมชนหรือกลุ่มสหกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแปรรูปผลิตทางการเกษตร

12. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนเพื่อการวิจัยและพัฒนาโครงการวิจัยนี้ และสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพและหน่วยงานภายในกรมวิชาการเกษตรขอขอบคุณ ช่วยเหลือสนับสนุนในด้านต่างๆ ซึ่งล้วนแต่มีส่วนส่งเสริมให้โครงการวิจัยนี้ดำเนินงานจนเป็นผลสำเร็จ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

13. เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2552. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง พลังงานทางเลือกจากชีวมวล 13 พฤษภาคม 2552 ณ อาคารทรัพยากรพันธุกรรมพืชสิรินธร สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ อ. ธัญญบุรี จ. ปทุมธานี

ดุษฎีพรรณ พงษ์สุวรรณ และ สายสมร ลำยอง. 2550. การคัดกรองหาแอคติโนมัยซิสที่สร้างเอนไซม์เซลลูเลสและไซลาเนส.

นิรนาม. 2549. เซลลูโลสสู่แอลกอฮอล์ www.vcharkarn.com/include/vcafe/showkratoo.php?Cid=103&Pid=59868&PHP...

นิรนาม. 2549. เอทานอลจากจุลินทรีย์. www.jobpub.com/articles/showarticle.asp?id=793

นิรนาม. 2005. ผ่านโยบาย “เอทานอล/แก๊สโซฮอล์” ผลประโยชน์ตกอยู่กับใคร. www.consumerthai.org/egat_board/view.php?id=503

พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2548. Biofuel Roadmap, APEC Symposium on Foresighting Future Fuel Technology. ณ อาคารสำนักงานใหญ่ บริษัทปตท. จำกัด (มหาชน) วันที่ 28 พฤศจิกายน 2548.

วราศิรินทร์ สอนเล็ก, อุกฤษฎ์ รัตนโฉมศรี, เบญจพร บัวบาน, รัชดาภรณ์ ศรีปรางค์, สุทิพา ธนพงษ์พิพัฒน์ และลิลี่ เอื้อวิไลจิตร. 2009. การศึกษาสมบัติและการแยกเอนไซม์ไซแลนเนสจากเชื้อรา *Trichoderma koningii* (BCC4555) ที่แยกได้จากประเทศไทย . http://www.thaiscience.info/Article for ThaiScience/Article/5

สุรพงษ์ เจริญรัถ. 2546. เอทานอล (Ethanol) จากมันสำปะหลัง พลังงานเชื้อเพลิงทดแทนของไทย. www. Matichon.co.th/techno/techno.php?srctag=0504150846&srcday=2003/08..

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

ระวีวรรณ แกล้วเกล้า. 2537. การผลิตเอทานอลจากฟางข้าว.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

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

Alves –Prado HF, Pavezzi FC, Leitwe RS, de Oliveira VM, Sette LD, Dasilva R. 2010. Screening and Production of Microbial Xylanase Producers from Brazillian Cerrado. *Appl Biochem Biotechnol*. 161(1-8):333-46.

Buchert, J., Tenkanen, M., Kantelinen, A. and Viikari, L. 1994. Application of xylanases in the pulp and paper industry. Bioresource Technology 50: 65-72.

Chapple, C., Meilan, R. and Ladisch, M. Manipulation of Lignin Biosynthesis to Maximize Ethanol Production from Populus Feedstocks. http://genomicsgtl.energy.gov/research/DOEUSDA/2006Chapple_abstract.shtml

Collmer, A., and D. B. Wilson. 1983. Cloning and expression of a *Thermomonospora* YX endocellulase gene in E. coli. Bio/Technology 1:594-601.

Cornet, P., J. Millet, P. Beguin, and J. P. Aubert. 1983.Characterization of two cel (cellulose degradation) genes of *Clostridium thermocellum* coding for endoglucanases. Bio/Technology 1:589-594.

Gill, S.R., M. Pop, R.T. Deboy, P.B. Eckburg, P.J. Turnbaugh, B.S. Samuel, J.I. Gordon, D.A. Relman, C.M. Fraser-Liggett, and K.E. Nelson. 2006. Metagenomic analysis of the human distal gut microbiome. Science 312(5778): 1355-1359.

Isil Seyis and Nilufer Aksoz. 2005. Xylanase Production from Trichoderma harzianum 1073 D3 with Alternative Carbon and Nitrogen Sources. *Food Technol. Biotechnol*. 43(1) 37-40.

Jones, B.V., M. Begley, C. Hill, C.G.M. Gahan, and J.R. Marchesi. 2008. Functional and comparative metagenomic analysis of bile salt hydrolase activity in the human gut microbiome. PNAS 105(36): 13580-13585.

Kavya V, Padmavathi T. 2009. Optimization of Growth Conditions for Xylanase Production by *Aspergillus niger* in Solid State Fermentation. *Pol J Microbiol*. 58(2):125-30.

Koide, Y., A. Nakamura, T. Uozumi, and T. Beppu. 1986. Molecular cloning of a cellulase gene from *Bacillus subtilis* and its expression in *Escherichia coli*. Agric. Biol. Chem. 50: 233-237.

Kurokawa, K., T. Itoh, T. Kuwahara, K. Oshima, H. Toh, A. Toyoda, H. Takami, H. Morita, V.K. Sharma, T.P. Srivastava, T.D. Taylor, H. Noguchi, H. Mori, Y. Ogura, D.S. Ehrlich, K. Itoh, T. Takagi, Y. Sakami, T. Hayashi, and M. Hattori. 2007. Comparative metagenomics revealed commonly enriched gene sets in human gut microbiomes. DNA Research 14: 1-13.

Lee, S.W., K. Won, H.K. Lim, J.C. Kim, G.J. Choi, and Y. Cho. 2004. Screening for novel lipolytic enzymes from uncultured soil microorganisms. Appl. Microbiol. Biotechnol. 65: 720-726.

Lynd, R. J. Lee, Paul Weimer, H. Willem and S. Pretorius, 2002. Microbial cellulose utilization. Fundament.

Biotechnol. Am. Soc. Microbial, 66: 506-577. DOI: 10.1128/MMBR.66.3.506–577.2002

Manichanh, C., C.E. Chapple, L. Frangeul, K. Gloux, R. Guigo, and J. Dore. 2008. A comparison of random sequence reads versus 16S rDNA sequence for estimating the biodiversity of a metagenomic library. Nucleic Acids Research 36(16): 5180-5188.

Rapp, P and Wagner, F. 1986. Production and Properties of xylan-degrading enzymes from *Cellulomonas uda*. *Appl. Environ. Microbiol*., 51,746-752.

Robyt, J. F. and R. J. Ackerman. 1972. Complex carbohydrates Part B. Method in Enzymology. Newyork : Academic Press.

Sartor, R.B. 2008. Therapeutic correction of bacterial dysbiosis discovered hy molecular techniques. PNAS 105(43): 16413-16414.

Tirawongsaroj, P., R. Sriprang, P. Harnpicharnchai, T. Thongaram, V. Champreda, S. Tanapongpipat, K. Pootanakit, and L. Eurwilaichitr. 2008. Novel thermophilic and thermostable lipolytic enzymes from a Thailand hot spring metagenomic library. Journal of Biotechnology 133: 42-49.

Viikari, L., Kantelinen, Al, Sundquist, J. and Linko, M. 1994. Xylanases in bleaching: From an idea to the industry. FEMS Microbiology Reviews 13: 335-350.

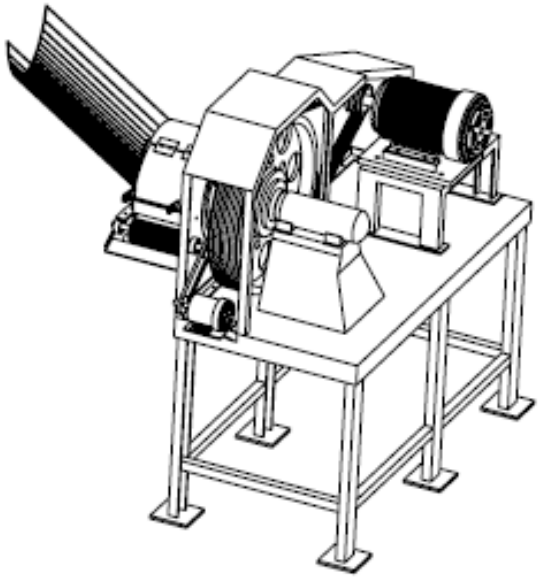
Whittle, D. J., D. G. Kilburn, R. A. J. Warren, and R. C. Miller, Jr. 1982. Molecular cloning of a *Cellulomonas fimi* cellulose gene in Escherichia coli. Gene 17:139-145.

Wolbring, G. 2009. Metagenomics. (cited 2 september 2009) Available from: http:// *innovationwatch-archive.com/.../choiceisyours-2009-01-15.htm*

Wolff, B. R., T. A. Mudry, B. R. Glick, and J. J. Pasternak.1986. Isolation of endoglucanase genes from *Pseudomonas fluorescens* subsp. cellulosa and a *Pseudomonas* sp. Appl.Environ. Microbiol. 51:1367-1369.

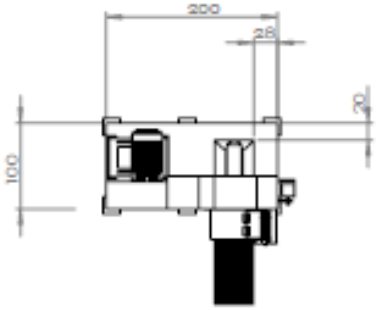
ภาคผนวก

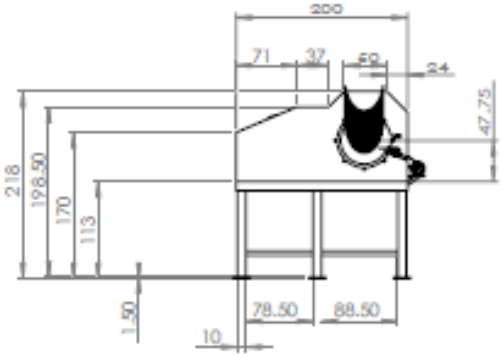
แบบทางวิศวกรรม



เครื่องสับมันเส้น

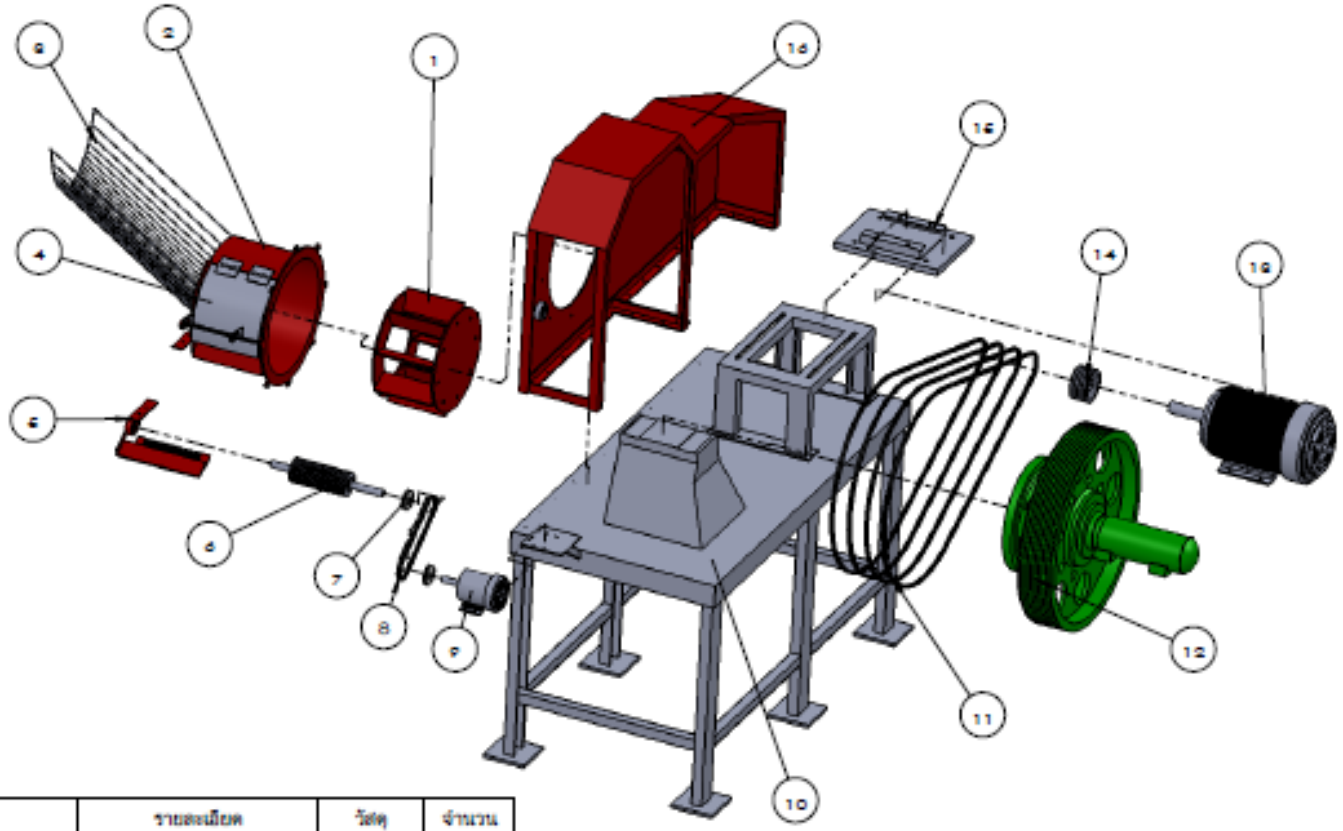
A3





เครื่องสับมันเส้น

A3



หมายเลข	รายการ	รายละเอียด	วัสดุ	จำนวน
1	ใบพา			1
2	ฝาครอบ			1
3	ตะแกรงน่าส่ง			1
4	ประตู			1
5	โครงรับเพลาใบมีด			1
6	ใบมีด			28
7	มูเล่ Ø 3 นิ้ว			1
8	ตายพานร่อง B-35			1
9	มอเตอร์ไฟฟ้า 1 แรงม้า			1
10	โต๊ะ			1
11	ตายพานร่อง B-153			4
12	มูเล่ Ø 36 นิ้ว			1
13	มอเตอร์ไฟฟ้า 30 แรงม้า			1
14	มูเล่ Ø 6 นิ้ว 4 ร่อง			1
15	แผ่นรองมอเตอร์			1
16	ฝาครอบเครื่อง			1

เครื่องสับมันเส้น

A3