



## รายงานโครงการวิจัย

โครงการพัฒนาระบบการผลิตวัตถุดิบจากเปลือกและขังข้าวโพด  
สำหรับอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน

Development on Biomass Feedstock Production from  
Maize Husks and Cop for Renewable Energy Industrial

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

พินิจ จิรัคคกุล

Pinit Jirukkakul

ปี พ.ศ. 2563



รายงานโครงการวิจัย

โครงการพัฒนาระบบการผลิตวัตถุดิบจากเปลือกและขังข้าวโพด  
สำหรับอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน

Development on Biomass Feedstock Production from  
Maize Husks and Cop for Renewable Energy Industrial

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย

พินิจ จิระคกุล

Pinit Jirukkakul

ปี พ.ศ. 2563

## คำปรารภ (Foreword หรือ Preface)

โครงการพัฒนาระบบการผลิตวัตถุดิบจากเปลือกและซังข้าวโพดสำหรับอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน ได้เริ่มตั้งแต่ปีงบประมาณ 2558-2562 (ตุลาคม 2558 – กันยายน 2562) ระยะเวลา 4 ปี และมีจำนวน 3 กิจกรรมโดยมีรายละเอียดดังนี้ กิจกรรมที่ 1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดและแยกซังข้าวโพดจากเปลือกและซังเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอลประกอบด้วย 1 การทดลองย่อย คือ ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดและแยกซังข้าวโพดจากเปลือกและซังเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอลกิจกรรมที่ 2 ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับจากวัสดุเหลือทิ้งของ การทดลอง 2.1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และกิจกรรมที่ 3 ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดสำหรับโรงไฟฟ้า ประกอบด้วย 3 การทดลองย่อย คือ การทดลองที่ 3.1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การทดลองที่ 3.2 ศึกษากระบวนการเก็บรักษาและการขนส่งเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และ การทดลองที่ 3.3 ศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้า โดยโครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาบูรณาการและพัฒนาต่อยอด ให้เกิดกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ประหยัดพลังงาน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ก่อของเสียจากกระบวนการผลิต (Zero Waste) เป็นเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology : CT )และสามารถดำเนินงานผลิตเชิงพาณิชย์ได้



(นายพินิจ จิรัคกุล)

หัวหน้าโครงการวิจัย

31 มีนาคม 2563

## สารบัญ

สารบัญ	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทนำ.....	ข
บทคัดย่อ.....	ฐ
1. กิจกรรมงานวิจัย 1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดและแยกซังข้าวโพดจากเปลือกและซังเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล.....	1
2. กิจกรรมงานวิจัย 2 .ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.....	28
3. ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อการเก็บรักษาและการขนส่ง.....	52
บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	116
บรรณานุกรม กิจกรรมงานวิจัยที่ 1.....	27
กิจกรรมงานวิจัยที่ 2.....	51
กิจกรรมงานวิจัยที่ 3.....	109
ภาคผนวก.....	117



## กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนทุนวิจัยโครงการบูรณาการ ประจำปี 2558 ระยะเวลาทำการวิจัย 4 ปี ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสำนักผู้เชี่ยวชาญพิจารณาโครงการ ผอ. สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมเกษตร ได้ให้คำแนะนำข้อเสนอแนะต่อคณะผู้วิจัย

## ผู้วิจัย

นายพินิจ	จิรัศคกุล	หัวหน้าโครงการวิจัย	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ขอนแก่น
นายชัยวัฒน์	เผ่าสันต์ตพาศิษย์	หัวหน้าการทดลอง	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.เชียงใหม่
นายบัณฑิต	จิตรจำนงค์	หัวหน้าการทดลอง	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี
นายอนุชา	เขาว์โชติ	ผู้ร่วมงาน	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กทม.
นายสมเดช	ไทยแท้	ผู้ร่วมงาน	กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว
นายมานพ	คันธามารัตน์	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.เชียงใหม่
นายพุทธธินันท์	จารุวัฒน์	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.จันทบุรี.
นายสากล	วีรียนันท์	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.จันทบุรี.
นายนิวัติ	อาระวิล	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.จันทบุรี.
นายอาธร	พรบุญ	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.จันทบุรี
นายพีรพงษ์	เขาวนพงษ์	ผู้ร่วมงาน	สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทาง
นายสิทธิชัย	ดาศรี	ผู้ร่วมงาน	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กทม.
นายสมเดช	ไทยแท้	ผู้ร่วมงาน	กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว
นายสมชาย	พิมพ์พันธ์กุล	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ขอนแก่น
นายอุทัย	ธานี	ผู้ร่วมงาน	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กทม.
นายโตมร	คำสุนทร	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ขอนแก่น



## บทนำ

จากวิกฤติพลังงานประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานมูลค่ามากกว่าหนึ่งล้านล้านบาท ทั้งในรูปแบบน้ำมันดิบ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ไฟฟ้าและอื่นๆ ทำให้หน่วยงานของรัฐเร่งหาแหล่งพลังงานทดแทน โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงพลังงาน กระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงพาณิชย์ และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้จัดทำนโยบายพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานหลักของประเทศด้วยการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (ปี 2555-2564) ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ของแผนเพื่อให้ประเทศไทยใช้พลังงานทดแทนเป็นพลังงานหลักของประเทศแทนการนำเข้าน้ำมันเพื่อเพิ่มความมั่นคงในการจัดหาพลังงานให้ประเทศ การพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศในช่วงที่ผ่านมาประสบปัญหาทั้งด้านขาดแคลนวัตถุดิบ ราคาวัตถุดิบมีราคาแพง และลักษณะทางกายภาพยังไม่เหมาะสมกับเทคโนโลยี วิธีการเก็บรักษาวัตถุดิบในการผลิตนอกฤดูการเพาะปลูก ปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้การผลิตพลังงานทดแทนในปัจจุบันดำเนินการไปได้ช้า ซึ่งแนวทางการแก้ไขจำเป็นต้องมีการเพิ่มเทคโนโลยีการพัฒนาเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสมและสามารถเก็บรักษาชีวมวลและสามารถนำไปใช้ในการผลิตพลังงานเชิงพาณิชย์

สถิติการเพาะปลูกและผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีเพาะปลูก 2554 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ รายงานว่า ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวโพดประมาณ 7.03 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือมากถึง 4.51 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 64.28 รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง 1.66 และ 0.86 ล้านไร่ ตามลำดับ มีผลผลิตข้าวโพด 4,611,540 ตัน (วิไลและคณะ.2546) ได้ศึกษาสถานภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากอุตสาหกรรมเกษตรและการใช้ประโยชน์ พบว่า สัดส่วนเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะมีปริมาณซึ่งต่อผลผลิตมีค่า 0.19-0.33 (เฉลี่ย 26 เปอร์เซ็นต์) เทียบกับผลผลิต ซึ่ง

หมายความว่าเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปริมาณมี 1.19 ล้านตัน แต่มีการนำไปใช้ประโยชน์เพียง 44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็นขี้ทั้งหมด โดยส่วนที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นเปลือกและขี้รวมกันซึ่งมีปริมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ หรือเทียบเท่ากับ 0.67 ล้านตัน สามารถนำไปผลิตพลังงานความร้อน 11,055 เทราจูลหรือผลิตไฟฟ้าได้ 70 เมกกะวัตต์(ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า 20 เปอร์เซ็นต์) แต่เนื่องจากเศษวัสดุเหลือใช้จากเปลือกและขี้ข้าวโพดจะขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรโดยในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่จะเก็บข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งเปลือกและฝักพร้อมกันทำให้เศษวัสดุที่เกิดขึ้นจะเป็นเปลือกพร้อมกับขี้ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เอทานอล หรือ การผลิต Furfural ได้ และมีจำนวนมากตามโรงสีหรือลานสีข้าวโพด ซึ่งยากต่อการจัดการ และลักษณะทางกายภาพของเปลือกและขี้ข้าวโพดมีลักษณะฟูไม่เหมาะต่อการนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากต้องมีการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลาไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ทำให้โรงสีข้าวโพดหรือลานนวดข้าวโพด นิยมเผาทำลายเพื่อลดการจัดการภายในพื้นที่ ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอย่างมาก ซึ่งปัจจุบันคณะผู้วิจัยได้ศึกษาพลังงานทดแทนจากชีวมวลที่เกิดขึ้นจากวัสดุเกษตร และมีประสบการณ์การวิจัยโครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (ระดับชุมชน) ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน จึงเร่งเห็นว่าการพัฒนาเครื่องจักรกลสำหรับแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลมีความจำเป็นอย่างยิ่งและสามารถส่งเสริมการใช้เศษวัสดุเหลือทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพได้ โดยใช้หลักการ Re-engineering เพื่อปรับปรุงระบบการจัดการเครื่องจักรให้เหมาะสมกับโรงสีข้าวโพดในการผลิตเชื้อเพลิงเพื่อจำหน่าย ตลอดจนสามารถเก็บรักษาเชื้อเพลิงไว้ในฤดูที่ขาดแคลนวัตถุดิบในการอบข้าวโพด จากการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ (Wood Pellet) พบว่ากระบวนการแปรรูปมีหลายขั้นตอน ใช้เครื่องจักรจำนวนมาก และการลงทุนสูง ทำให้ไม่เป็นที่นิยม จะผลิตเฉพาะเพื่อการส่งออก ทำให้คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในการผลิต โดยมีเครื่องอัดอีกประเภทหนึ่งที่สามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้ และสมรรถนะในการผลิตสูงกว่าเครื่องอัดแท่งตะเกียบที่ใช้ขนาดต้นกำลังเท่ากันคือ เครื่องอัดแท่ง CUBE ดังภาพที่ 1 ซึ่งขนาดของแท่งเชื้อเพลิงจะมีขนาดกว้าง 2x2x1 นิ้ว แต่ประสบปัญหากระบวนการจะเกิด Peak Load ของกำลังไฟฟ้า ซึ่งเมื่อผลิตออกมาพบว่า ต้นทุนการผลิตก็ยิ่งสูงกว่าเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ทั่วไปคือราคา 1200 บาทต่อตัน โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาบูรณาการและพัฒนาต่อยอด ให้เกิดกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ประหยัดพลังงาน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ก่อของเสียจากกระบวนการผลิต(Zero Waste) เป็นเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology : CT ) โดยทำการศึกษขนาดเครื่องและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อโรงสีและลานนวดข้าวโพดเพื่อหาขนาดเครื่องจักรที่เหมาะสมกับโรงสีและสามารถดำเนินงานผลิตเชิงพาณิชย์ได้

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรในการแปรรูปวัตถุดิบจากเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สำหรับผลิตพลังงานทดแทน
2. เพื่อศึกษาแนวทางการบริหารจัดการนำวัตถุดิบและลดมลภาวะทางอากาศจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อผลิตพลังงานทดแทนเชิงพาณิชย์
3. เพื่อศึกษาการผลิตวัสดุปลูกจากเศษวัสดุเหลือใช้และถ่านจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สำหรับกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับ เพื่อเพิ่มมูลค่าและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

### ขอบเขตการวิจัย

ออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรในการแปรรูปวัตถุดิบจากเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือ 1) ต้นแบบเครื่องบดและแยกซังข้าวโพดจากเปลือก 2) ต้นแบบเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือก 3) ต้นแบบเครื่องอัดก้อนถ่านจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สำหรับกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับ 4) กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และ 5) การวิเคราะห์กระบวนการผลิตวัตถุดิบและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพด

### สมมติฐาน

ข้าวโพดเป็นพืชไร่ที่ค่อนข้างทนทาน ปลูกง่ายในสภาพดินฟ้าอากาศของเมืองไทย ถ้ามีน้ำ พันธุ์ข้าวโพดที่นิยมปลูกันอยู่ในปัจจุบัน จะมีอายุปานกลาง คือ ประมาณ 110-120 วัน ดังนั้น การเลือกปลูกข้าวโพดสามารถเลือกปลูกได้ 2 ช่วง คือ ช่วงแรกปลูกในระหว่างเดือนกรกฎาคม และกลางเดือนสิงหาคม พวกที่ปลูกต้นฤดูฝนโดยทั่ว ๆ ไป มักได้ผลผลิตสูงกว่าพวกที่ปลูกปลายฤดูฝน ทั้งนี้ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร รายงานว่า ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวโพดประมาณ 7.03 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือมากถึง 4.51 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 64.28 รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง 1.66 และ 0.86 ล้านไร่ ตามลำดับ มีผลผลิตข้าวโพด 4,611,540 ตัน (วิไลและคณะ.2546) ได้ศึกษาสภาพภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากอุตสาหกรรมเกษตรและการใช้ประโยชน์ พบว่า สัดส่วนเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะมีปริมาณซึ่งต่อผลผลิตมีค่า 0.19-0.33 (เฉลี่ย 26 เปอร์เซ็นต์) เทียบกับผลผลิต ซึ่งหมายความว่าเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปริมาณมี 1.19 ล้านตัน แต่มีการนำไปใช้ประโยชน์เพียง 44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็นซังทั้งหมด โดยส่วนที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นเปลือกและซังรวมกันซึ่งมีปริมาณ

56 เปอร์เซ็นต์ หรือเทียบเท่ากับ 0.67 ล้านตัน สามารถนำไปผลิตพลังงานความร้อน 11,055 เทราจูล หรือผลิตไฟฟ้าได้ 70 เมกกะวัตต์(ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า 20 เปอร์เซ็นต์) แต่เนื่องจากเศษวัสดุเหลือใช้จากเปลือกและซังข้าวโพดจะขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรโดยในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่จะเก็บซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งเปลือกและฝักพร้อมกันทำให้เศษวัสดุที่เกิดขึ้นจะเป็นเปลือกพร้อมกับซังซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเอทานอล หรือ การผลิต Furfural ได้ และมีปริมาณมากตามโรงสีหรือลานสีข้าวโพด ซึ่งยากต่อการจัดการ ลักษณะทางกายภาพของเปลือกและซังข้าวโพดมีลักษณะฟูความหนาแน่นเพียง 20-120 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม่เหมาะต่อการนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเนื่องจากต้องมีการบ้อนเชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลาไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ทำให้โรงสีข้าวโพดหรือลานนวดข้าวโพด นิยมเผาทำลายเพื่อลดการจัดการภายในพื้นที่ ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอย่างมาก ซึ่งปัจจุบันคณะผู้วิจัยได้ศึกษาพลังงานทดแทนจากชีวมวลที่เกิดขึ้นจากวัสดุเกษตร และมีประสบการณ์การวิจัยโครงการศึกษาแนวทางการบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (ระดับชุมชน) ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน จึงเร่งเห็นว่า การพัฒนาเครื่องจักรกลสำหรับแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลมีความจำเป็นอย่างยิ่งและสามารถส่งเสริมการใช้เศษวัสดุเหลือทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพได้ ลดการนำเข้าเครื่องจักรในการแปรรูป ตลอดจนสามารถเก็บรักษาเชื้อเพลิงไว้ในฤดูที่ขาดแคลนวัตถุดิบ จากการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ (Wood Pellet) พบว่ากระบวนการแปรรูปมีหลายขั้นตอน ใช้เครื่องจักรจำนวนมาก และการลงทุนสูง ทำให้ไม่เป็นที่นิยมจะผลิตเฉพาะเพื่อการส่งออกเท่านั้น เนื่องจากเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบนั้นต้องใช้พลังงานสูงในการอัดแท่งซึ่งความหนาแน่นสูงถึง 519 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาเรื่องการขนส่งพบว่า พิกัดรถบรรทุกสิบล้อสามารถบรรทุกได้เพียง 13 ตัน ซึ่งถ้าบรรทุกเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบเต็มคันจะได้ 19.5 ตัน เพราะฉะนั้น ความหนาแน่นเชื้อเพลิงเพียง 346 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเหมาะสมต่อการขนส่งภายในประเทศและสามารถลดการใช้พลังงานอย่างมาก ทำให้คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในกระบวนการผลิต โดยเครื่องอัดอีกประเภทหนึ่งที่สามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้ และสมรรถนะในการผลิตสูงกว่าเครื่องอัดแท่งตะเกียบที่ใช้ขนาดต้นกำลังเท่ากันคือ เครื่องอัดแท่ง CUBE ดังภาพที่ 4 ซึ่งขนาดของแท่งเชื้อเพลิงจะมีขนาดกว้าง 2x2x1 นิ้ว ความหนาแน่นเชื้อเพลิงจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ แต่จากการทดสอบเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศประสบปัญหากระบวนการจะเกิด Peak Load ของกำลังไฟฟ้า ซึ่งเมื่อผลิตออกมาพบว่า ต้นทุนการผลิตก็ยิ่งสูงกว่าเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ทั่วไปคือราคา 1200 บาทต่อตัน ซึ่งโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องอัดแท่งให้มีขนาดเล็กลง

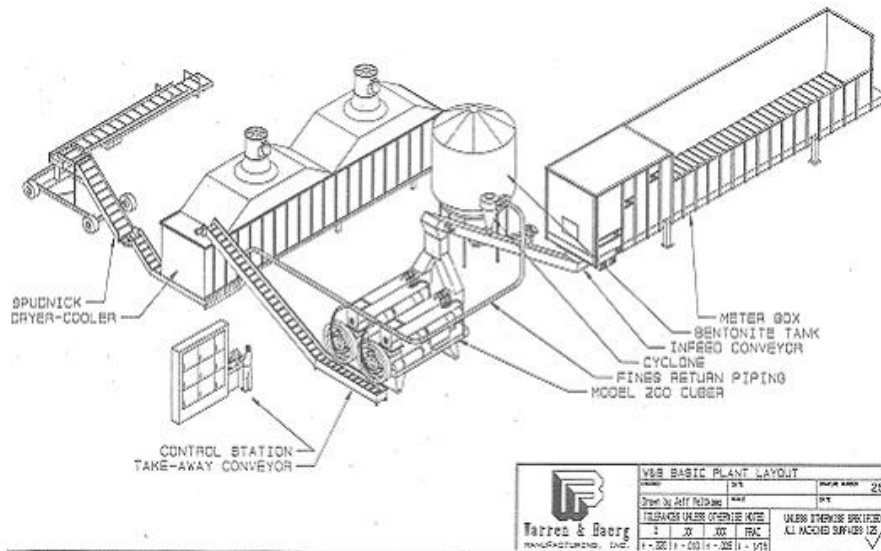
และเพื่อระบบการจัดการเชื้อเพลิงเมื่อทำการอัดแทนจะไม่ก่อให้เกิด Peak Load ตลอดจนศึกษาขนาดเครื่องที่เหมาะสมกับโรงสีและลานข้าวโพดในการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกและซังข้าวโพด ภายใต้เทคโนโลยีสะอาดประหยัดพลังงาน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ก่อให้เกิดเสียจากกระบวนการผลิต (zero waste technology) เพราะฉะนั้นแนวความคิดของโครงการวิจัยจะพัฒนาเครื่องจักรที่มีขนาดเล็กกลงและเหมาะสมกับโรงสีข้าวโพดโดยจะมีระบบการจัดการส่งวัตถุดิบ สู่โรงไฟฟ้าชีวมวล หรือโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรในการแปรรูปวัตถุดิบต่อไป



ภาพที่ 4 เครื่องอัดเชื้อเพลิงชีวมวลแบบแท่งเหลี่ยม



ภาพที่ 5 การทดสอบเครื่องอัดเชื้อเพลิงชีวมวลแบบแท่งเหลี่ยมกำจัดเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่จังหวัดเชียงราย



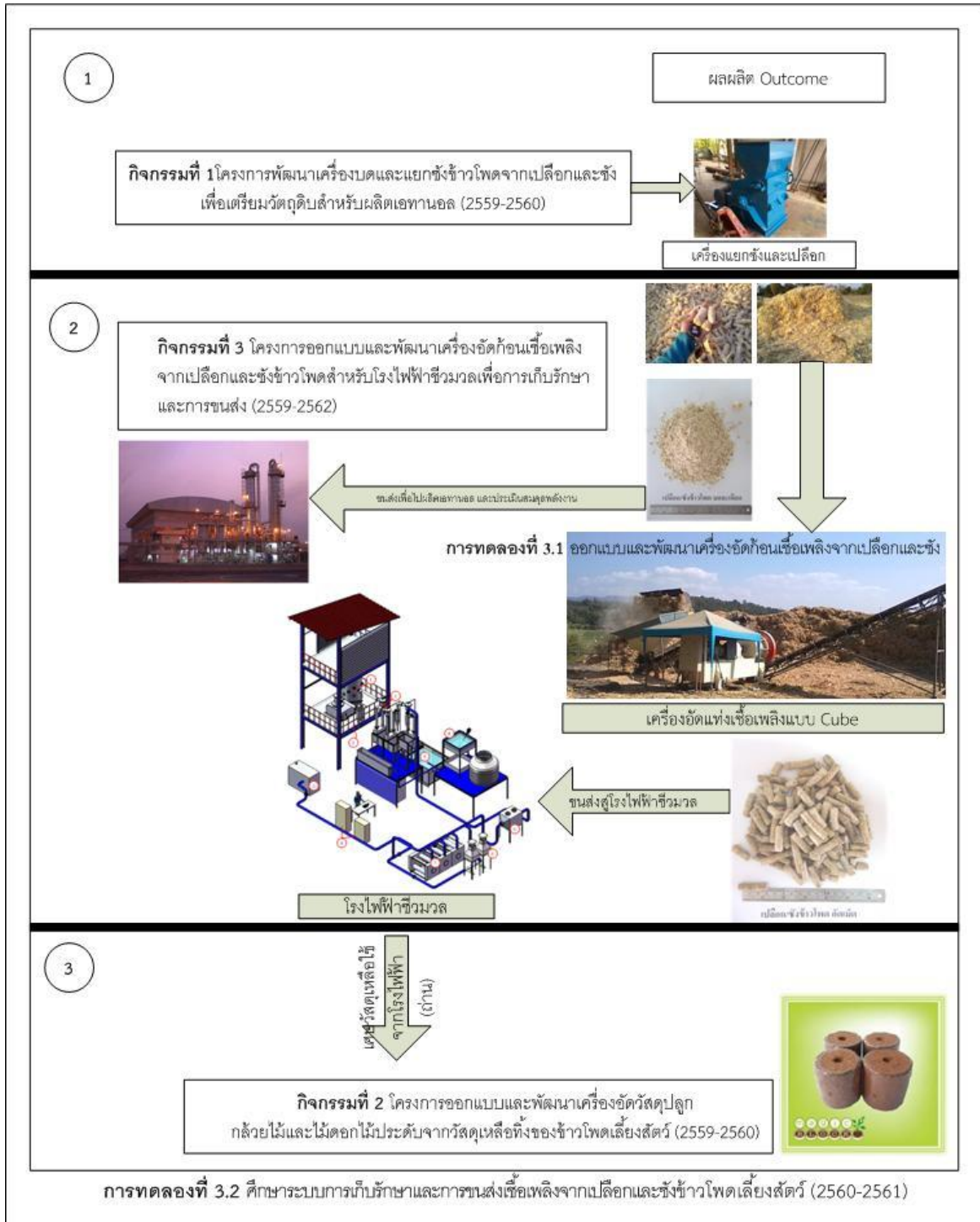
ภาพที่ 6 แบบทางวิศวกรรมของโรงงานอัดเชื้อเพลิงชีวมวลแบบแท่งเหลี่ยม

Source: S. Sokhansanj, A. F. Turhollow.2004

การศึกษาในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการแปรรูปวัตถุดิบสำหรับการเป็นเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีในปัจจุบัน สำหรับ โรงไฟฟ้าชีวมวล การหมักเอทานอล จากซังข้าวโพด เช่น การพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดสำหรับโรงไฟฟ้าในลักษณะก้อนที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีปัจจุบัน เครื่องแยกซังจากเปลือกหลังจากการแยกเมล็ดข้าวโพดเพื่อนำไปซังข้าวโพดผลิตเอทานอล เทคโนโลยีการเก็บรักษาและการขนส่ง เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยี ดังกล่าวจะเพิ่มศักยภาพในการผลิตพลังงานทดแทนมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยีการแปรรูปอื่น ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ เช่น การพัฒนาวัสดุปลูกจากถ่านโรงไฟฟ้าสำหรับกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับ โดยกระบวนการผลิตต่าง ๆ จะนำมาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ของกระบวนการแปรรูปจนเป็นพลังงานและเศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้น ตลอดจนประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตและการจัดการวัตถุดิบ เช่น การขนส่ง การเก็บรักษา การเคลื่อนย้าย และความสะอาดในการใช้งานในการผลิตพลังงานจากเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยกำหนดเป้าหมายเป็นวัตถุดิบในการในการผลิตเอทานอลและเชื้อเพลิงชีวมวล

วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย



การทดลองที่ 3.3 ศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA

ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้าและการผลิตเอทานอลจากเปลือกและขี้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2560-2562)

ผังระบบการวิจัยของกระบวนการผลิต



**กิจกรรมที่ 1** ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดและแยกซังข้าวโพดจากเปลือกและซังเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล (2559-2560) **สิ้นสุด**

**การทดลองที่ 1.1** ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดและแยกซังข้าวโพดจากเปลือกและซังเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล (2559-2560) **สิ้นสุด**

1. สำรวจและประเมินความต้องการเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดจากภาคอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมพลังงาน เช่น โรงไฟฟ้าชีวมวล โรงงานน้ำตาล โรงไฟฟ้าจากเปลือกยูคา โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ หรือกลุ่มอุตสาหกรรมที่ใช้ชีวมวล
2. ออกแบบและพัฒนาเครื่องจักร

2.1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดและแยกซังข้าวโพดจากเปลือกและซังเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

2.1.1 ทดสอบสมรรถนะเครื่องบด hammer mill เพื่อศึกษาปัจจัยในการออกแบบเครื่องบดและแยกซัง โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ประกอบด้วยปัจจัยที่ 1) ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) , 2)กำลัง(แรงม้า) และ 3) ขนาดตะแกรง(mesh) โดยผลตอบสนองคือ สมรรถนะ(กิโลกรัมต่อชั่วโมง กำหนดให้มีการติดตั้งอุปกรณ์เสริม เช่นชุดดักฝุ่น และการหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธี Response Surface Methodology(RSM)

ตารางที่ 5 แสดงค่าของตัวแปรและค่า Coded Value

ปัจจัย	ตัวแปร	Coded Value				
		- $\alpha$	-1	0	1	$\alpha$
ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที)	$X_1$	600	700	800	900	1000
กำลัง(แรงม้า)	$X_2$	5	7.5	10	12.5	15
ขนาดตะแกรง(mesh)ขนาดรู (มม.)	$X_3$	10	12.5	15	17.5	20

2.1.2 กำหนดเงื่อนไขการออกแบบเครื่องบดและแยกซังข้าวโพดจากเปลือกและซังโดยใช้ปัจจัยที่ทำการศึกษาในข้อ 2.1.1 โดยออกแบบระบบคัดแยกร่วมกับบด เป้าหมายกำลังการผลิตมากกว่า 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นไม่เกินมาตรฐานอุตสาหกรรม

2.1.3 ออกแบบตามหลักวิศวกรรมและดำเนินการสร้างเครื่องจักรต้นแบบ

2.1.4 ทดสอบเครื่องจักรและปรับปรุงแก้ไข เช่นเดียวกับข้อ 2.1.1

2.1.5 จัดทำแบบทางวิศวกรรมเพื่อการผลิตและเผยแพร่

**กิจกรรมที่ 2** ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2559-2560) **สิ้นสุด**

**การทดลองที่ 2.1** ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (สิ้นสุด)

2.1 เครื่องอัดวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับ

2.2 ทำการสำรวจและกำหนดเงื่อนไขการใช้งานของเกษตรกรและทำการออกแบบเครื่องอัดวัสดุปลูก

2.3 ออกแบบเครื่องอัดวัสดุปลูกภายใต้เงื่อนไขวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับตามหลักวิศวกรรมและดำเนินการสร้างเครื่องจักรต้นแบบ

2.4 ทดสอบเครื่องจักรและปรับปรุงแก้ไข

2.5 จัดทำแบบทางวิศวกรรมเพื่อการผลิตและเผยแพร่

**กิจกรรมที่ 3** ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อการเก็บรักษาและการขนส่ง (2559-2562)

**การทดลองที่ 3.1** ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2559-2561)

3.1.1 ศึกษาคุณลักษณะเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดที่มีการวิจัย

3.1.2 ทดสอบสมรรถนะเครื่องอัดก้อน CUBE ของต่างประเทศ เพื่อศึกษาปัจจัยในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักร โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ประกอบด้วยปัจจัยที่ 1) ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที), 2) ปริมาณเปลือกต่อซัง, 3) ความชื้นวัสดุ(%wb), 4) ขนาดชิ้นวัสดุ( มม)

ผลตอบสนองคือ สมรรถนะ(กิโลกรัมต่อชั่วโมง) และการหาสถานะที่เหมาะสม  
ด้วยวิธี Response Surface Methodology (RSM)

ตารางที่ 6 แสดงค่าของตัวแปรและค่า Coded Value

ปัจจัย	ตัวแปร	Coded Value				
		- $\alpha$	-1	0	1	$\alpha$
ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที)	$X_1$	200	300	400	500	600
ปริมาณเปลือกต่อชั่งโดยน้ำหนัก	$X_2$	1/4	1/3	1/2	2/3	1
ความชื้นวัสดุ (%Wb)	$X_3$	6	11	13	15	20
ขนาดชิ้นวัสดุยาว (มม.)	$X_4$	10	50	75	100	140

3.1.3 กำหนดเงื่อนไขการออกแบบเครื่องอัดก้อนโดยใช้ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ

3.1.2 โดยออกแบบระบบอัดก้อนเปลือกข้าวโพด เป้าหมายกำลังการผลิต  
มากกว่า 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความหนาแน่นมากกว่า 200 กิโลกรัมต่อ  
ลูกบาศก์เมตร

3.1.4 ออกแบบตามหลักวิศวกรรมและดำเนินการสร้างเครื่องจักรต้นแบบ

3.1.5 ทดสอบเครื่องจักรและปรับปรุงแก้ไข ทดสอบเครื่องจักรและปรับปรุงแก้ไข  
เช่นเดียวกับข้อ 3.1.2

3.1.6 จัดทำแบบทางวิศวกรรมเพื่อการผลิตและเผยแพร่

**การทดลองที่ 3.2** ศึกษากระบวนการเก็บรักษาและการขนส่งเชื้อเพลิงจากเปลือกและชั่งข้าวโพดเลี้ยง  
สัตว์ (2560-2561)

3.2.1 การเก็บรักษา

ศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น  
ลักษณะของขนาดที่เปลี่ยนไปของสมบัติทางเคมีวิเคราะห์หองค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate  
Value)เช่น ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matter)  
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และ ปริมาณเถ้า (Ash Content) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม  
มาตรฐาน ASTM และองค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Value) เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน  
ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง CHNS Analyzer และ

สมบัติทางชีวภาพ อุณหภูมิที่เกิดจากเก็บรักษา (Ferment) บันทึก 5 ตำแหน่ง จากกึ่งกลางออกมาจนถึงผิวภาชนะบรรจุ โดยภาชนะบรรจุขนาด 0.1, 1, 5 และ 10 ตัน ที่ความชื้นหลังการอัด การเกิดรา ปัจจัยจากศัตรูพืช ซึ่งกำหนดในการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 2 เดือน เป็นเวลา 1 ปี

### 3.2.2 การขนส่ง

ศึกษาระบบการขนส่งระยะไกล ไป-กลับ ไม่เกิน 60 กิโลเมตร และการขนส่งระยะทางไกล ไปกลับ 1200 กิโลเมตร เพื่อหาปัจจัยและความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์

### 3.2.3 พัฒนาเครื่องจักรให้เป็นระบบและเป็นกระบวนการผลิต

3.2.4 ทดสอบเครื่องจักรในพื้นที่แหล่งวัตถุดิบ เช่น โรงสีข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย ลานรับสีข้าวโพดในจังหวัดพะเยา

3.2.5 ทดสอบการใช้งานเชื้อเพลิง การเผาไหม้และประสิทธิภาพเชื้อเพลิงและทดสอบการหมักเอทานอลจากซัง ที่ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น

3.2.6 ประสานความร่วมมือกับโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงไฟฟ้าด้านข้างไบโอเอ็นเนอร์ยี เพื่อศึกษาระบบการขนส่งเชิงพาณิชย์และคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล

### 3.2.7 แบบทางวิศวกรรมสำหรับโรงงานต้นแบบ

**การทดลองที่ 3.3** ศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้าและการผลิตเอทานอลจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2560-2562)

3.3.1 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกข้าวโพดเพื่อผลิตไฟฟ้าและการผลิตเอทานอล

3.3.2 ศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้เครื่องจักรแปรรูปในการผลิตวัตถุดิบ จากเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สู่อุตสาหกรรมพลังงาน โดยแบ่งเป็นการวิเคราะห์ 1) การสร้างโรงงานแปรรูปชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2) พัฒนาต่อยอดเครื่องจักรของโรงสีข้าวโพด และ 3) การลงทุนร่วมกับโรงไฟฟ้าชีวมวล

3.3.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

3.3.2.2 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return)

3.3.2.3 วิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break Even Point Analysis: BEP)

3.3.2.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Project NPV)

### 3.3.2.5. อัตราส่วนลด(Discount Rate)

### 3.3.3 จัดทำรายงานการวิเคราะห์

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์โครงการพัฒนาระบบการผลิตวัตถุดิบจากเปลือกและซังข้าวโพดสำหรับอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน เพื่อพัฒนาเครื่องจักรในการแปรรูปเศษวัสดุเหลือใช้และนำพัฒนาประสิทธิภาพสำหรับผลิตพลังงานทดแทนชีวมวลในเชิงพาณิชย์ เพิ่มมูลค่าและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โครงการทำการสำรวจ โรงงาน ลานนวด เอกชน และสหกรณ์ จำนวน 25 แห่ง ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า การใช้เปลือกและซังข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการรณรงค์และการบังคับห้ามเผา โดยภาคเหนือในบางอำเภอสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งหมด คือ เป็นอาหารสัตว์สำหรับโค เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลในโรงงาน ส่วนผลการพัฒนาเครื่องบดและแยกซังข้าวโพดจากเปลือกและซังพบว่า การบดย่อยซังด้วย Hammer Mill สมรรถนะ 103 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และการพัฒนาเครื่องแยกเปลือกและซังจากเครื่องนวดข้าวขนาด 4 ฟุต ที่ความเร็วรอบที่ 900 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพในการแยกซังมากที่สุด 75.5% สมรรถนะ 266.67 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ส่วนการนำถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดด้วยเทคโนโลยี GASIFICATION สามารถผลิตถ่านจากซังข้าวโพดได้ 20 % by Volume ของซังข้าวโพด โดยใช้เวลา 2 ชั่วโมงครึ่งมาทำวัสดุปลูกกล้วยไม้ อัตราส่วนผสมของวัสดุปลูกเปลือก ต้นและซังข้าวโพดสับย่อย : ปูนซีเมนต์ (0.5 : 1.25 กิโลกรัม) แร่งต้นอัด 10 เมกะปาสคาลและ ถ่านซังข้าวโพด : ปูนซีเมนต์ (0.5 : 1.25 กิโลกรัม) แร่งต้นอัด 8 เม

กะปาสคาล ความสามารถผลิต 25-30 ก้อน/ชั่วโมง ขนาด กว้างxยาวxสูง 20x20x8 เซนติเมตร การวิเคราะห์ด้าน เศรษฐศาสตร์ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต 9.05 บาท/ก้อน จุดคุ้มทุน 79,278 ก้อน/ปี และระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี ที่ราคาขาย 10 บาท/ก้อน เมื่อเปรียบวัสดุปลูกทั้งสองชนิดกับกระบะกบมะพร้าวในแปลงปลูกของเกษตรกร การเจริญเติบโตและให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการทดสอบอัดเปลือกและซังเครื่องอัดแบบ CUBE นำเข้า สมรรถนะ 5 ตันต่อชั่วโมง ความหนาแน่นรวมและความหนาแน่น 543.95 ,914.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร ตามลำดับ ส่วนการอัดแบบฟอนขนาด 40x40x80 cm<sup>3</sup> สำหรับเปลือกและซังฤดูปลายฝนและฤดูหนาว มี น้ำหนัก 46-48.6 , 22.3-24.1 กิโลกรัม และ ความหนาแน่น 359.4-379.7 , 174.2-188.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร ตามลำดับ ถ้าใช้เครื่องอัดฟางความหนาแน่น 78.1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การประเมินวัฏจักรชีวิต ผลิตภัณฑ์ LCA การเผาเปลือกและซังข้าวโพดที่โรงปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1,501.72 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ผลผลิต หรือ 555.63 kg CO<sub>2</sub>-eq/rai<sup>2</sup> ถ้านำซังไปผลิตเอทานอลจะลดการปลดปล่อย 454.33 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ลดการปลดปล่อยได้ 69.7% เทียบเท่ากับเผาที่โรงแฉะ ถ้านำซังมาผลิตถ่านด้วยเทคโนโลยีแก๊ซซิฟิเคชันลดการ ปลดปล่อย 92.5% หรือปลดปล่อย 111.93 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton และถ้าผลิตถ่านอัดแท่งจากตั้งกล่าวลดการปลดปล่อย 92.0% หรือเพิ่มจากการอัด 12.63 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ส่วนการทำวัสดุปลูกกล้วยไม้จะลดการปลดปล่อย 86.5 % เศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้เครื่องจักรแปรรูปในการผลิตวัตถุดิบพบว่า การแยกเปลือกและซังเพื่อนำเปลือกไปเป็น เชื้อเพลิงและซัง 1) นำซังมาผลิตถ่านอัดก้อน และ 2) มาผลิตเป็นถ่านอัดก้อนวัสดุปลูก ระยะเวลาคืนทุนมีค่า 1.14 และ 1.53 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน 80.71 และ 52.80 % ตามลำดับ ส่วน 3) นำซังขายอุตสาหกรรม Furfural (นครราชสีมา-สระบุรี) 150 กม และ 4) นำเปลือกไปจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์และนำซังขายอุตสาหกรรม Furfural ไม่เหมาะต่อการลงทุนเนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นลบ ส่วนการนำเปลือกและซังไปใช้เป็นเชื้อเพลิง สามารถทำได้เพียงการขนส่งระยะทางใกล้

## Abstract

The objective of the raw material development system from corn peel and cob for renewable energy project was to develop by-product processing and improve the biomass energy efficiency for commercial production, value increase and environmental problem reduction. The investigation of 25 factories and thresh field of private and co-operation from North and North-east of Thailand expressed peel and cob useable increase because of campaign and regulation of burn. The part of North could be useable absolutely which was cow feed and factory biomass fuel. The grinder and cob separator development showed 103 kg/h of Hammer

mill. Cob separator from 4 feet thresh rice at 900 rpm showed the high efficiency which was 75.5% with 266.67 kg/h capacity. The corn cob bio-briquette with GASIFICATION technology could produce corn cob briquette 20% by volume of corn cob within 2.5 h. For the orchid media production, the ratio of peel and cob chop: cement was 0.5:1.25 with 10 MPa pressure and corn cob briquette: cement was 0.5:1.25 with 8 MPa. The production capacity was 25-30 cubes/h with 20x20x8 cm of size. The analysis of economics expressed 9.05 Baht/cube of cost, 79,278 cube/year of breakeven point and 1 year of payback period with 10 Baht/cube of sale price. The comparison between the both of media mixed with spathe of coconut to the growth and yield in agriculture field was not significant difference. The compression test of peel and cob cube capacity was 5 ton/h. Bulk density and density was 543.95 and 914.29 kg/m<sup>3</sup>, respectively. The 40x40x80 cm<sup>3</sup> of peel and cob sheaf size compression had 46-48.8 and 22.3-24.1 kg, respectively. The density of peel and cob sheaf were 359.4-379.7 and 174.2-188.3 kg/m<sup>3</sup>, respectively, with the 78.1 kg/m<sup>3</sup> of straw compression machine density. The evaluation of LCA product cycle life of corn peel and cob outdoor combustion produced 1,501.72 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton production or 555.63 kg CO<sub>2</sub>-eq/rai<sup>2</sup>. The ethanol production from cob could reduce 454.33 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton or 69.7% of outdoor combustion. The cob gasification could reduce 92.5% release or 111.93 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton. Moreover, the briquette could reduce 92.0% release or increased from compression 12.63 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton. While the orchid media could reduce 86.5% release. The study of economic invest form machinery process production expressed the separation of peel and cob; peel for fuel and cob for briquet or media. The payback period was 1.14 and 1.53 years. The return of invest rate was 80.71 and 52.80%, respectively. The cob could be sold at Furfural industry (Nakhon Ratchasima-Saraburi) 150 km. However, the peel that could be sold for animal feed and cob that could be sold at Furfural industry were not suitable for investment because the present value is deficit. Moreover, the fuel from peel and cob could be done only short distance transportation.

**ชื่อกิจกรรมงานวิจัย (Title)** ไทย : ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดและแยกชังข้าวโพดจากเปลือกและชังเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

อังกฤษ : Study and development on maize cob grinder and separator from waste product of maize for produce ethanol

### ชื่อผู้วิจัย

นายชัยวัฒน์	เผ่าสันต์พาณิชย์	หัวหน้าการทดลอง	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.เชียงใหม่
นายพินิจ	จิรัชกุล	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ขอนแก่น
นายอนุชา	เขาวีโชติ	ผู้ร่วมงาน	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กทม.
นายสมเดช	ไทยแท้	ผู้ร่วมงาน	กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว
นายมานพ	คันธามารัตน์	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.เชียงใหม่

### คำสำคัญ (Key words)

ชังข้าวโพด , เปลือกข้าวโพด , ชีวมวล , การจัดการชีวมวล

Maize cob, Maize husk, Biomass, Feedstock

### บทคัดย่อ (Abstract)

กิจกรรมวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องจักรแปรรูปในการบดและแยกชังข้าวโพดจากเศษวัสดุเหลือใช้ของเปลือกและชังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล ให้ได้ต้นแบบที่มีประสิทธิภาพ เพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุเหลือใช้มาผลิตพลังงานทดแทนเชิงพาณิชย์ ช่วยลดมลภาวะอากาศจากการเผาทำลายเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดำเนินการศึกษาพัฒนาเครื่องแยกชังจากเปลือกและชังข้าวโพด เพื่อการเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเชื้อเพลิงเอทานอล ได้ต้นแบบเครื่องแยกเปลือกและชังข้าวโพด ขนาด 1,970 x 2,920 x 2,700 มิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ได้แก่ ลูกนวดข้าว ทรงกระบอกแบบซี่ฟัน 47 ซี่ จำนวน 1 ลูก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร ยาว 1,200 มิลลิเมตร แผ่นเสื่อตะแกรงโค้งด้านล่าง ขนาดระยะช่องห่างของซี่กันเหล็ก 30 มิลลิเมตร และต้นกำลังใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว ขนาด 11 แรงม้า จากการทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพการแยกชัง จะแปรตาม



เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของลูกนวด และการใช้ความเร็วรอบที่ 900 รอบต่อนาทีจะมีประสิทธิภาพในการแยก  
ซังได้มากที่สุด คือ 75.5% ที่ความสามารถ 266.67 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

The objectives of this research activities were to study and develop the processing machinery in cob grinding and cob separating from waste product of maize for produce ethanol. To get the prototype machine efficient, add value in waste product of maize to produce commercial renewable energy, and decrease air pollution from burning waste product of maize. The prototype of maize cob separator had dimensions in 1970 x 2920 x 2700 mm (width x length x height). The main components are: thresher drum with 47 peg tooth has diameter 400 mm and length 1200 mm. Lower iron rod jacket has clearance of iron rod 30 mm. And 11 hp diesel engine with one cylinder. The results showed that the efficiency of cob separating has direct variation with increasing of thresher drum rotational speed. The maximum efficiency of cob separating had 75.5% at thresher drum rotational speed 900 rpm. Which had capacity 266.67 kg/hr.

## บทนำ (Introduction)

จากวิกฤติพลังงานประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานมูลค่ามากกว่าหนึ่งล้านล้านบาททั้งในรูปแบบ น้ำมันดิบ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ไฟฟ้าและอื่น ๆ ทำให้หน่วยงานของรัฐเร่งหาแหล่งพลังงานทดแทน โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงพลังงาน กระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงพาณิชย์ และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้จัดทำนโยบายพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานหลักของประเทศด้วยการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (ปี 2555-2564) ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ของแผนเพื่อให้ประเทศไทยใช้พลังงานทดแทนเป็นพลังงานหลักของประเทศแทนการนำเข้าน้ำมันเพื่อเพิ่มความมั่นคงในการจัดหาพลังงานให้ประเทศ การพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศในช่วงที่ผ่านมา ประสบปัญหาทั้งด้านขาดแคลนวัตถุดิบ ราคาวัตถุดิบมีราคาแพง และลักษณะทางกายภาพยังไม่เหมาะกับเทคโนโลยี วิธีการเก็บรักษาวัตถุดิบในการผลิตนอกฤดูการเพาะปลูก ปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้การผลิตพลังงานทดแทนในปัจจุบันดำเนินการไปได้ช้า ซึ่งแนวทางการแก้ไขจำเป็นต้องมีการเพิ่มเทคโนโลยีการพัฒนาเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสมและสามารถเก็บรักษาชีวมวลและสามารถนำไปใช้ได้ในการผลิตพลังงานเชิงพาณิชย์

สถิติการเพาะปลูกและผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีเพาะปลูก 2554 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ รายงานว่า ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวโพดประมาณ 7.03 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือมากถึง 4.51 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 64.28 รองลงมา เป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง 1.66 และ 0.86 ล้านไร่ ตามลำดับ มีผลผลิตข้าวโพด 4,611,540 ตัน (วิไลและคณะ.2546) จากสถานภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากอุตสาหกรรมเกษตรและการใช้

ประโยชน์ พบว่า สัดส่วนเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะมีปริมาณซึ่งต่อผลผลิตมีค่า 0.19-0.33 (เฉลี่ย 26 เปอร์เซ็นต์) เทียบกับผลผลิต ซึ่งหมายความว่าเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปริมาณมี 1.19 ล้านตัน แต่มีการนำไปใช้ประโยชน์เพียง 44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นส่วนซึ่งทั้งหมด โดยส่วนที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นส่วนเปลือกและซึ่งรวมกันมีปริมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ หรือเทียบเท่ากับ 0.67 ล้านตัน ซึ่งสามารถนำไปผลิตพลังงานความร้อน 11,055 เทราจูลหรือผลิตไฟฟ้าได้ 70 เมกกะวัตต์ (ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า 20 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้จากเปลือกและซึ่งข้าวโพดจะขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บเกี่ยวของเกษตรกร โดยในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่จะเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แบบทั้งฝักรวมเปลือกพร้อมกัน ทำให้เศษวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นจะมีส่วนเปลือกปนรวมอยู่กับส่วนซึ่ง ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเอทานอล หรือการผลิต Furfural ได้ พบว่ามีจำนวนมากตามโรงสีหรือลานสีข้าวโพด และยากต่อการจัดการ ซึ่งลักษณะทางกายภาพของเปลือกและซึ่งข้าวโพดเป็นวัสดุมวลเบาไม่เหมาะต่อการนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล เพราะต้องทำการบ้อนเชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลาจึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ฉะนั้นทางโรงสีข้าวโพดหรือลานนวดข้าวโพดจึงนิยมเผาทำลายเพื่อลดการจัดการภายในพื้นที่ ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอย่างมาก ปัจจุบันคณะผู้วิจัยได้ศึกษาพลังงานทดแทนจากชีวมวลที่ได้จากวัสดุเกษตร มีประสบการณ์การวิจัยโครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (ระดับชุมชน) ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน และได้เล็งเห็นว่า การพัฒนาเครื่องจักรกลสำหรับผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลมีความจำเป็นอย่างยิ่งและสามารถส่งเสริมการใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพได้ โดยใช้หลักการ Re-engineering เพื่อปรับปรุงระบบการจัดการเครื่องจักรให้เหมาะสมกับโรงสีข้าวโพดในการผลิตเชื้อเพลิงเพื่อจำหน่าย ตลอดจนสามารถเก็บรักษาเชื้อเพลิงไว้ในฤดูที่ขาดแคลนวัตถุดิบในการอบข้าวโพด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการศึกษาและพัฒนาเครื่องจักรในการแปรรูปสำหรับบดและแยกซึ่งเพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล เพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุเหลือใช้มาผลิตพลังงานทดแทนเชิงพาณิชย์ ช่วยลดมลภาวะอากาศจากการเผาทำลายเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยดำเนินการออกแบบและพัฒนาเครื่องบดและแยกซึ่งข้าวโพดของเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพด ให้ได้ต้นแบบเครื่องที่มีประสิทธิภาพ

## ทบทวนวรรณกรรม

### 1. ข้าวโพด

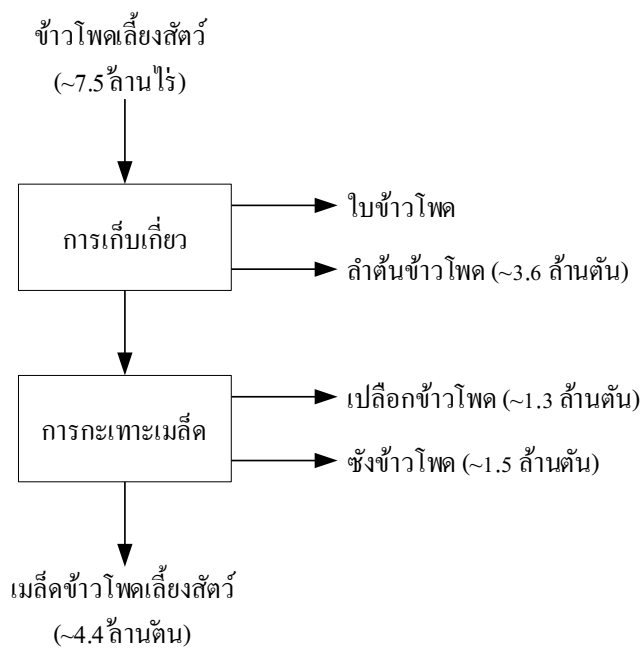
#### 1.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555) ได้สำรวจสถิติการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีเพาะปลูก 2554 ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวโพดประมาณ 7.03 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือมากถึง 4.51 ล้านไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง 1.66 และ 0.86 ล้านไร่ ตามลำดับ ดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์: เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของประเทศไทย ปี 2554

ภาค/จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก(ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก.)
	2554	2554	2554	2554
รวมทั้งประเทศ	7,031,010	6,835,670	4,611,540	656
เหนือ	4,505,780	4,398,420	3,019,780	670
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1,663,280	1,601,240	1,015,810	611
กลาง	861,950	836,010	575,950	668

ที่มา:สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)



ภาพที่ 2 สมดุลมวลผลิตผลพลอยได้จากข้าวโพดในประเทศไทย

## 2. คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพด

สมบัติของเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตความร้อนและกระแสไฟฟ้า ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบแบบประมาณ และค่าความร้อน

### 2.1 สมบัติทางกายภาพ (ขนาด ความหนาแน่นและความชื้น)

เชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีขนาดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับ ชนิด สายพันธุ์ วิธีการเก็บเกี่ยว และการแปรรูป เช่น เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร หรือ เก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคน ซึ่งการที่เชื้อเพลิงเศษ

วัสดุเหลือใช้ที่มีขนาดที่ไม่แน่นอนดังกล่าว จึงทำให้ไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงโรงอบแห้งหรือโรงไฟฟ้า เช่นความหนาแน่นต่ำ (Bulk Density) ต้องป้อนในปริมาณมากๆหรือ ทำให้ไม่คุ้มค่าในการขนส่ง ซึ่งสมบัติต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 2



ภาพที่ 2 รูปเศษวัสดุเหลือใช้ของการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ที่มา: วีรชัย อัจฉาญ,2554

## 2.2 องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Value)

เป็นสมบัติเฉพาะตัวของเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ ที่แสดงถึงสัดส่วนของ ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matter) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และ ปริมาณเถ้า (Ash Content) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM เป็นสมบัติที่นิยมใช้ประกอบการพิจารณาในการเลือกใช้เชื้อเพลิงของโรงงานอุตสาหกรรม ในส่วนของปริมาณเถ้า จะเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสมบัติต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 2

## 2.3 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Value)

เป็นสมบัติที่แสดงถึงธาตุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ อันประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง Carbon, Hydrogen,

Nitrogen and Sulfur Analyzer ซึ่งองค์ประกอบของธาตุต่างๆ จะมีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเชื้อเพลิงที่ใช้แต่ละชนิดทั้งนี้ธาตุองค์ประกอบที่สำคัญ และมีผลต่อค่าความร้อน คือ คาร์บอนและไฮโดรเจน เนื่องจากคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานในกระบวนการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม หากมีปริมาณไฮโดรเจนมาก ในปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ จะเกิดน้ำมากเช่นกัน ซึ่งเป็นผลทำให้น้ำส่วนนี้ดูดซับพลังงานไว้บางส่วน พลังงานที่ระบบปลดปล่อยออกมาจึงลดลง แสดงไว้ในตารางที่ 3

#### 2.4 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาขณะเผาไหม้เชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนักในรูปของความร้อน ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติและองค์ประกอบของเชื้อเพลิง โดยนิยามของค่าความร้อนสูง (High Heating Value; HHV) หมายถึงพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบสมบูรณ์ (Gross Calorific Value) โดยเริ่มจากเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิ 25 °C และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีอุณหภูมิ 25 °C ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่รวมถึงพลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (Latent Heat of Vaporization) ส่วนค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value; LHV) หมายถึงพลังงานความร้อนสุทธิที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง (Net Calorific Value) โดยเริ่มจากเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิ 25 °C และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีอุณหภูมิ 25 °C ซึ่งไม่รวมถึงพลังงานที่ได้จากการควบแน่น (Condensate) ไอน้ำมาใช้งาน โดยปกติค่าความร้อนใช้งานของเชื้อเพลิง จะไม่รวมถึงพลังงานที่ได้จากการควบแน่นดังกล่าวนี้ด้วย สมบัติค่าความร้อนเชื้อเพลิงแสดงไว้ใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติด้านเชื้อเพลิงของเศษวัสดุจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ชื่อเศษวัสดุเหลือใช้	ความชื้นเริ่มต้น <sup>2)</sup> %	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>3)</sup>	คุณสมบัติแบบประมาณ			ค่าความร้อนสูง <sup>7)</sup> (kJ/kg)	Cl
			ร้อยละของสารระเหย <sup>4)</sup>	ร้อยละของเถ้า <sup>5)</sup>	ร้อยละของคาร์บอน <sup>6)</sup>		
ซังข้าวโพด <sup>A)</sup>	20-55	-	80.1	1.36	18.5	18,300- 18,800	1.40%
ซังข้าวโพด <sup>1)</sup>	5.37	120.32	82.70	1.21	16.09	19,836	-
ซังข้าวโพด <sup>8)</sup>	9.97	-	83.13	1.98	14.89	15,073	
ซังข้าวโพด <sup>9)</sup>	9.94	-	84.71	2.33	12.96	16,093	
ซัง+เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	11.6	87.32	83.03	1.51	15.46	19,611	6,017 ppm
ฝอยข้าวโพด <sup>1)</sup>	5.73	20.07	75.57	3.02	21.41	17,927	-
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>1)</sup>	10.65	46.25	73.47	7.71	18.81	16,316	8,750 ppm
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>8)</sup>	6.12	-	73.35	7.20	19.45	14,975	-
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>9)</sup>	11.90	-	78.85	5.60	15.55	13,157	
เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	5.35	20.13	82.39	2.38	15.23	17,390	

หมายเหตุ <sup>A)</sup> ที่มา NalladuraiKaliyan, R. Vance Morey

<sup>1)</sup> ตัวอย่าง นำมาจากอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่

<sup>2)</sup> Moisture—Method ASTM E 871 -82

<sup>3)</sup> Bulk Density — Test Method ASTM E E873-82

<sup>4)</sup> Volatile Matter—Test Method ASTM E E 872-82

<sup>5)</sup> Ash—Test Method ASTM E D 1102-84

<sup>6)</sup> % Fix carbon =100-% Moisture - % Volatile Matter -% Ash

<sup>7)</sup> Gross Calorific Value—Test Method ASTM E E 711-87

<sup>8)</sup> ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดเพชรบูรณ์

<sup>9)</sup> ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดนครสวรรค์

ที่มา: วีรชัย อัจหาญ,2554



ตารางที่ 3 สมบัติองค์ประกอบแบบแยกธาตุด้านเชื้อเพลิง

ชื่อเศษวัสดุเหลือใช้	องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (%)				
	C	H	N	S	O
ซังข้าวโพด <sup>A)</sup>	46.58	5.87	0.47	0.21	45.46
ซังข้าวโพด <sup>1)</sup>	51.46	4.75	1.47	0.32	40.79
ซังข้าวโพด <sup>2)</sup>	44.83	6.01	0.05	0.056	47.07
ซังข้าวโพด <sup>3)</sup>	47.00	6.55	1.66	0.055	44.75
ซัง+เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	52.68	4.68	1.38	0.29	39.46
ฝอยข้าวโพด <sup>1)</sup>	46.09	5.37	2.32	0.32	42.88
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>1)</sup>	44.30	4.62	0.85	0.11	42.83
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>2)</sup>	44.53	5.88	0.17	0.047	42.16
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>3)</sup>	44.65	6.50	2.68	0.027	46.18
เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	50.86	4.86	1.55	0.34	40.01

หมายเหตุ<sup>A)</sup> ที่มา : [7]

<sup>1)</sup> ตัวอย่าง นำมาจากอำเภอมะเข่ จังหวัดเชียงใหม่

<sup>2)</sup> ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดเพชรบูรณ์

<sup>3)</sup> ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดนครสวรรค์

ที่มา: วีรชัย อัจหาญ,2554

วีรชัย อัจหาญ,2554 จากกรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่และเชียงรายพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวนมากและเป็นพื้นที่ศักยภาพการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ข้าวโพด พบว่าในพื้นที่สูงที่มีการเพาะปลูกข้าวโพดจำนวนมากไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ ในทางกลับกันกับสร้างปัญหาเรื่อง

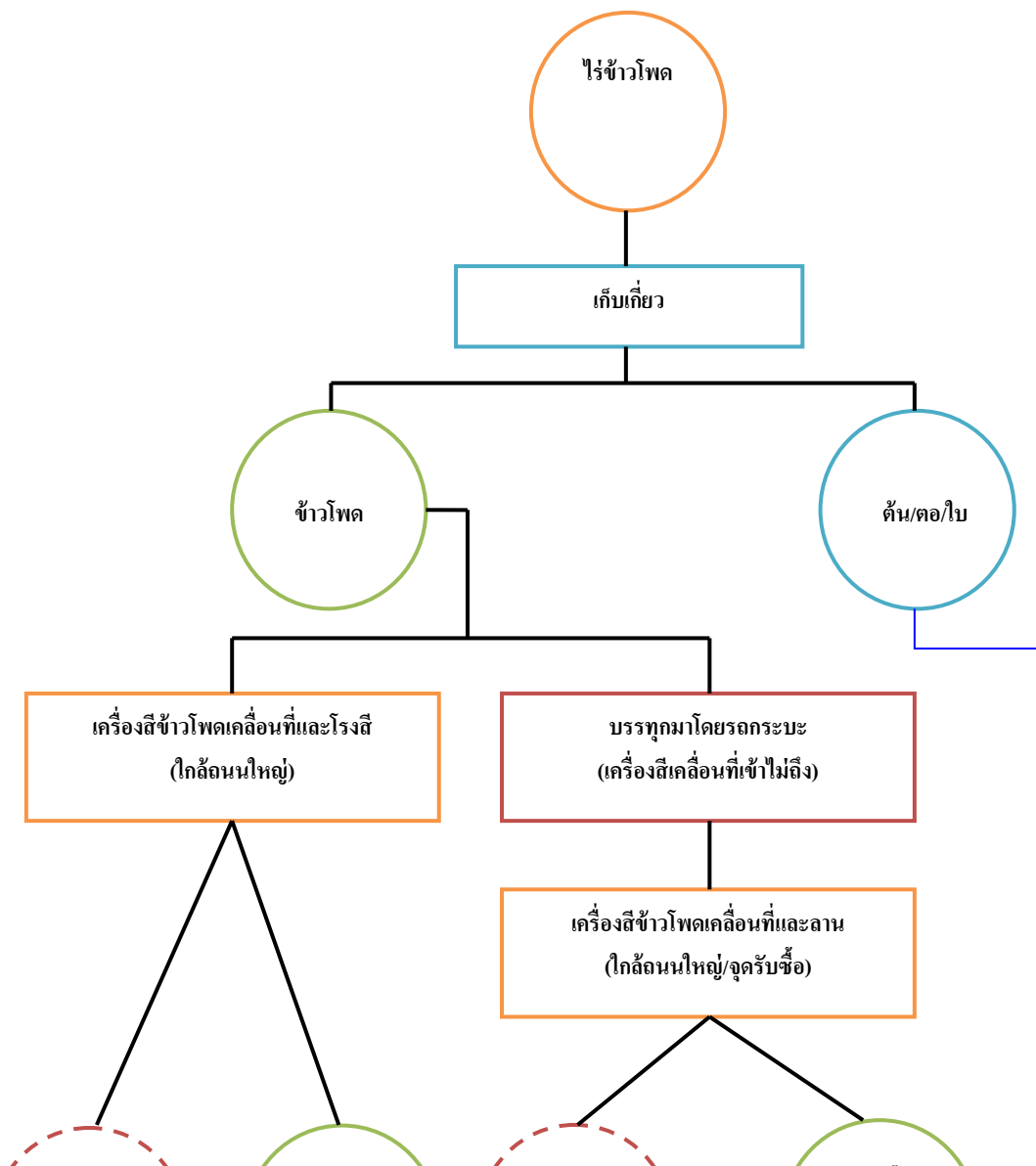
มลภาวะทางอากาศให้กับพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งจากผังภาพที่ 9-3 จะเห็นได้ว่า ในการแปรรูปเศษวัสดุเหลือใช้ จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ยังขาดเครื่องมือและเครื่องจักรที่เหมาะสมในการแปรรูปสำหรับการนำไปใช้ต่อ ทำให้ เกษตรกร หรือกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรยังนิยมเผาทิ้ง และง่ายต่อการจัดการ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2544) ผลิตก๊าซชีววมวลจากชังข้าวโพดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงอบเมล็ด ข้าวโพด ระบบการอบแห้งประกอบด้วยระบบผลิตก๊าซชีววมวล อุปกรณ์ผลิตความร้อน พัดลมดูด และ ห้อง อบแห้ง อัตราการสิ้นเปลืองชังข้าวโพด 31.16 กิโลกรัม/ชั่วโมง ใช้ปริมาณอากาศ 50.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง ส่วนประกอบของก๊าซชีววมวลที่เกิดการเผาไหม้ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และ ก๊าซมีเทน ปริมาณ 18.44%, 0.44% และ 0.27% โดยปริมาตรตามลำดับ ก๊าซชีววมวลมีค่าความร้อนประมาณ 2,457.61 กิโลจูล/ลูกบาศก์เมตร สภาพการทำงานที่เหมาะสมของการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดแบบต่อเนื่องคือที่อัตราการ ไหลของอากาศร้อนเข้าห้องอบ 1,114.41 กิโลกรัม/ชั่วโมง อุณหภูมิไต้ตะแกรงเฉลี่ย 107.5 °C ใช้อบเมล็ด ข้าวโพดประมาณ 1,000 กิโลกรัมที่ความชื้นเริ่มต้น 21.72% จนมีความชื้นสุดท้าย 15% wet basis ใช้เวลา ในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง ประสิทธิภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง 18.06% พลังงานที่ใช้ ในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด 21.59 เมกะจูล/กิโลกรัมน้ำที่ระเหย และพลังงานความร้อนที่ได้จากมอเตอร์ของ พัดลมดูดเฉลี่ยเท่ากับ 1.21 เมกะจูล/กิโลกรัมน้ำที่ระเหย โดยมีต้นทุน 9.4 บาท/กิโลกรัมน้ำที่ระเหย และ ระยะเวลาการคืนทุนภายใน 4 ปีเมื่อกำหนดอายุการใช้งานเครื่องอบแห้ง 10 ปี

Popescu and Simion (1988) ทดลองนำชังข้าวโพดมาผลิตเป็นถ่านเชื้อเพลิง โดยใช้แป้งหรือ polyvinyl acetate เป็น binding agent อัดเป็นแท่งที่ความดัน 70 daN/cm<sup>3</sup> เมื่อนำไปเผาเปรียบเทียบกับ ถ่านลิกไนต์ พบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน โดยให้ค่าพลังงาน 4,400 kcal/kg, 100% breaking index แต่ ต้นทุนต่ำกว่า

Latif and Rajoka (2001) ศึกษาการผลิตเอทานอลและไซลิทอลจากชังข้าวโพด โดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Candida tropicalis* ในการหมัก Semi-solid fermentation โดยแยก แต่ละชนิดและหมักรวม โดยใช้ชังข้าวโพดแห้ง 5-20% (w/v) ภายหลังหมัก 96 ชั่วโมง เอทานอลที่ได้จาก *Saccharomyces cerevisiae* , *Candida tropicalis* และ co-culture เท่ากับ 27, 23 และ 21 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของไซลิทอลจะสูงสุดเท่ากับ 27 กรัม/ลิตรเมื่อเลี้ยงเชื้อด้วย *Candida tropicalis* ความเข้มข้นของ substrate เพิ่มขึ้น productivity ของเอทานอลและไซลิทอลจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะได้กลีเซอรอลและกรดอะซิติกเป็นผลพลอยได้ และการใช้เชื้อ 2 ชนิดหมักร่วมกันจะให้เอทานอลและ ไซลิทอลต่ำกว่าการหมักแยก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเศษวัสดุเหลือใช้จากซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ได้ และสามารถแปรรูปเป็นเอทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การผลิตซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบอุตสาหกรรมเกษตรยังมีศักยภาพ เพียงเริ่มต้นการพัฒนากระบวนการผลิตวัตถุดิบให้มีอย่างต่อเนื่องจะทำให้การผลิตมีความยั่งยืนและค้ำึงถึงสิ่งแวดล้อม



**ภาพที่ 3** ผังการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ข้าวโพดบนพื้นที่สูงในปัจจุบัน

ที่มา: วีรชัย อัจฉาญ, 2554

**ตารางที่ 4** เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลข้าวโพด

ลักษณะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)		
			รถกระบะต่อคอก <sup>1)</sup>	รถ 10 ล้อ <sup>2)</sup>	รถพ่วง <sup>3)</sup>
เปลือก/ซึ่งข้าวโพด	11.60	87.32	0.335	3.269	6.539
ต้น/ตอ/ใบข้าวโพด	10.65	46.25	0.178	1.732	3.463
เปลือก/ซึ่งข้าวโพด บดละเอียด	7.10	216.60	0.832	8.110	16.219
ต้น/ตอ/ใบข้าวโพด บดละเอียด	9.80	98.76	0.379	3.698	7.395

เปลือก/ซังข้าวโพด อัดเม็ด	10.50	519.84	1.996/1 <sup>4)</sup>	19.463/13 <sup>4)</sup>	38.925/26 <sup>4)</sup>
ต้น/ตอ/ใบข้าวโพด อัดเม็ด	10.20	510.07	1.959/1 <sup>4)</sup>	19.097/13 <sup>4)</sup>	38.194/26 <sup>4)</sup>

หมายเหตุ <sup>1)</sup> ขนาดกะบะ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1 x 2.4 x 1.6 ลูกบาศก์เมตร

<sup>2)</sup> ขนาดกะบะ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.4 x 6.5 x 2.4 ลูกบาศก์เมตร

<sup>3)</sup> ขนาดกะบะ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.4 x 13 x 2.4 ลูกบาศก์เมตร

<sup>4)</sup> น้ำหนักบรรทุกได้จริงตามกฎหมายและลักษณะเส้นทาง

ที่มา: วีรชัย อาจหาญ, 2554

### 3 งานวิจัยที่ใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

#### เปลือกข้าวโพด

Hang and Woodams (1999) พบว่าการย่อยเปลือกข้าวโพดโดยเอ็นไซม์ *Rapidase pomaliq* (ผลิตได้จากเชื้อ *Aspergillus niger* และ *Trichoderma reesei*) สามารถผลิต soluble sugar ได้มากกว่าเอ็นไซม์ทางการค้าชนิดอื่น ๆ (Celluclast 1.5 L หรือ Clarex ML) โดยนำเปลือกข้าวโพดที่ผ่าน pretreatment ด้วย 1.25 M NaOH ที่อุณหภูมิ 50°C pH 5.0 เป็นเวลา 30 ชั่วโมง มาหมักด้วย *Rapidase pomaliq* ผลปรากฏว่าสามารถเพิ่มความเข้มข้นของ soluble sugar จากค่าเริ่มต้น 156 กรัมเป็น 600 กรัม/กิโลกรัมแห้ง เปลือกข้าวโพด เมื่อนำมาวิเคราะห์ส่วนประกอบพบว่าประกอบด้วยกลูโคส, ไซโลส, เซลโลไบโอส, ไซโลไบโอส และอร่าบิโนส

#### ซังข้าวโพด

สุภาภรณ์ (2541) ตัวดูดซับถูกเตรียมขึ้นโดยการนำซังข้าวโพดมาทำการกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส, 300 องศาเซลเซียส และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์จะได้ตัวดูดซับที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ที่สุดสำหรับการกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกจะได้ตัวดูดซับที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยที่สุด และตัวดูดซับ ทั้งหมดที่เตรียมขึ้นได้จะมีพื้นผิวแบบไม่มีขั้วเหมือนกัน ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเบนซีน โทลูอีน และออโรไซลีน ที่สภาวะเจือจางจะถูกวัดทางอ้อมโดยวิธีโครมาโตกราฟี ที่อุณหภูมิ 150-210 องศาเซลเซียส ค่าคงที่สมดุลการดูดซับและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสารรวมของไอเบนซีน โทลูอีน และ ออโรไซลีน ที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับสำหรับตัวดูดซับชนิดเดียวกัน ค่าคงที่สมดุลการดูดซับบนตัวดูดซับที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกจะมีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่ค่าคงที่สมดุลการดูดซับบนตัวดูดซับชนิดอื่นจะมีค่าสูงกว่าอย่างน้อย 100 เท่า ส่วนปริมาณความร้อนของการดูดซับของไอระเหยเหล่านี้ด้วยตัวดูดซับมีค่าประมาณ 2-3 เท่าของความร้อนแฝงของการควบแน่น

พงษ์ศักดิ์ (2539) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดและเปลือกแคง โดยทำการเผาซังข้าวโพดให้เป็นถ่านและทำการกระตุ้นด้วยเปลือกแคงเพื่อให้เป็นถ่านกัมมันต์ไปพร้อมๆ กัน แปรอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อเปลือกแคง, อุณหภูมิและเวลาในการเผา ใช้วิธีไอโอดีนนัมเบอร์เป็นตัวชี้วัดการเป็นถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองโดยพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตและค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์แล้วสามารถสรุปผลได้ว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส เวลาการเผานานเท่าไรก็ตาม เปลือกแคงไม่สามารถกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ได้ ส่วนที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส เปลือกแคงมีคุณสมบัติในการเป็นตัวกระตุ้นได้เมื่อใช้เวลาในการเผานานขึ้นจาก 30 ถึง 90 นาที โดยใช้อัตราส่วน 1:2 อุณหภูมิในการเผา 800 และ 900 องศาเซลเซียสให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์แตกต่างกันไม่มากนัก จึงควรใช้ที่ระดับอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่า ซังข้าวโพดและเปลือกแคงสามารถใช้ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้ โดยใช้ซังข้าวโพดต่อเปลือกแคงเท่ากับ 1:2 อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส เวลาเผานาน 60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก 900-2532) ดังนี้ ไอโอดีนนัมเบอร์ 621.37 มิลลิกรัมต่อกรัม (ข้อกำหนดไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม) ความชื้นร้อยละ 3.38 (ข้อกำหนดน้อยกว่าร้อยละ 8) ความแข็งร้อยละ 68 (ข้อกำหนดไม่น้อยกว่าร้อยละ 70) แต่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นี้เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบและสารกระตุ้นชนิดอื่นยังมีคุณภาพด้อยกว่าอยู่มาก เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นี้ยังมีปริมาณ ของสารระเหยได้อยู่เป็นปริมาณมาก ทำให้ความสามารถในการดูดซับต่ำ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากเงื่อนไชดังกล่าวข้างต้น มีต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมเท่ากับ 91.97 บาทต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ไม่รวมค่าแรงงานและอุปกรณ์ในการผลิต

พงศธร (2537) เตรียมถ่านกัมมันต์โดยกระตุ้นซังข้าวโพดด้วยซิงค์คลอไรด์ ซังข้าวโพดสามารถเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ อัตราส่วนของวัตถุดิบ:ซิงค์คลอไรด์ 1:2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาการเผา 3 ชั่วโมง ได้ผลผลิตร้อยละ 62.82 ค่าไอโอดีนอยู่ในเกณฑ์ 800-900 มก./ก. ค่าการฟอกสีเมธิลีนบลู 120-180 มก./ก. พื้นที่ผิว 1,000 ตรม./ก. ประสิทธิภาพการฟอกสีปานกลาง ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 และ 800 องศาเซลเซียสจะได้ถ่านซึ่งมีคุณสมบัติดีกว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณผลผลิตต่ำกว่า สำหรับการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะสิ้นเปลืองเวลาพลังงาน เมื่อกระตุ้นถ่านด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราส่วนวัตถุดิบ:ซิงค์คลอไรด์ 1:4 ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าไอโอดีน 960- 1,075 มก./ก. ค่าการฟอกสีเมธิลีนบลู 230-300 มก./ก. พื้นที่ผิว 1,140-1,300 ตรม./ก. ประสิทธิภาพการฟอกสีดีกว่าที่ 400 องศาเซลเซียส ปริมาตรผลผลิตร้อยละ 52.41

Tsai et al. (2001a) พัฒนาระบวนการผลิต activated carbon ที่สะอาดและไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยทดลองแปรอุณหภูมิในการกระตุ้น 500-800°C กับซังข้าวโพดที่แช่ใน KOH/K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจะทำ gasification พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ได้ activated carbon ที่มีพื้นที่ผิว, ความหนาแน่นและปริมาณของรูพรุนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพกับ activated carbon ทางการค้าพบว่า activated carbon ที่ผลิตได้สามารถใช้ทดแทนได้

Tsai et al. (2001b) ทดลองเตรียม granular activated carbon จากซังข้าวโพดโดยการกระตุ้นด้วยเกลือโพแทสเซียมและทางกายภาพด้วย CO<sub>2</sub> พบว่า KOH และ K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> เป็นสารกระตุ้นที่มีประสิทธิภาพในช่วงที่อุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้น 10°C/นาที่ และตามด้วยการกระตุ้นทางกายภาพ (gasification) ในช่วง soaking period ที่ 800°C โดยการใช้ 2 วิธีร่วมกัน พื้นที่ผิวที่ได้จะมีขนาดใหญ่มากกว่า 1600 m<sup>2</sup>/g นอกจากนี้ช่องว่างที่เกิดขึ้นใน activated carbon ที่ไม่ได้ล้างกรดออกจะมีความคงตัวต่ำกว่าที่ล้างกรดออก เนื่องจากยังมีเกลือโพแทสเซียมตกค้างในโครงสร้างรูพรุน

Tsai et al. (1998) ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิต activated carbon โดยวิธีกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลาย ZnCl<sub>2</sub> พบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ อัตราส่วนของ ZnCl<sub>2</sub> : ซังข้าวโพด ปริมาณรูพรุนจะลดลงเมื่ออัตราส่วนสูง อุณหภูมิในการกระตุ้นพบว่าเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิว อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต activated carbon ที่มีพื้นที่ผิวสูงด้วยวิธีกระตุ้นด้วย ZnCl<sub>2</sub> คือที่ 773°K

de Souza et al. (2001) ศึกษาผลของน้ำตาลที่ metabolize ได้ง่าย (กลูโคส, โซโลส, ฟรักโทส, มอลโตส, เซลโลไบโอส และแลคโตส) ต่อการผลิตไซลानเนส โดยเชื้อ *Aspergillus niger* ในการหมักแบบ solid-state โดยใช้รำข้าว ซังข้าวโพดและกากอ้อยเป็น substrate การเติมน้ำตาลชนิดต่างๆ ความเข้มข้น 1% ลงในกากอ้อยหรือซังข้าวโพดจะทำให้เกิด catabolic repression อย่างรุนแรง ในขณะที่การเลี้ยงเชื้อด้วย รำข้าวจะต้านทานต่อการ catabolic repression ได้ดีกว่าแม้ที่ความเข้มข้นของกลูโคสสูงถึง 10% โดยใน รำข้าวประสิทธิภาพการใช้กลูโคสจะสูงหลังจากการหมักเป็นเวลา 4 วัน ความเข้มข้นของกลูโคสลดลงเหลือน้อยกว่า 5% ในขณะที่ในซังข้าวโพดและกากอ้อยเหลือมากกว่า 60% ของความเข้มข้นกลูโคสเริ่มต้น

Singh et al. (1989) ศึกษาการทำ alkali treatment กับซังข้าวโพดที่มีผลต่อการผลิตเซลลูเลสและโปรตีนจากเชื้อ *Aspergillus niger* พบว่า การทำ alkali treatment จะเพิ่มการผลิตเซลลูเลสและโปรตีน โดยที่ความเข้มข้น 2% NaOH จะให้ผลผลิตสูงสุด furfural เป็นสารสำคัญในกลุ่ม furan ผลิตได้จากวัสดุ

เหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีเพนโตแซนเป็นองค์ประกอบ เช่น ชังข้าวโพด กากอ้อย เปลือกถั่ว เปลือกเมล็ดฝ้าย เป็นต้น ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น ใช้เป็นตัวทำละลายในการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์, เป็นตัวกลางในการสกัด butadiene จากปิโตรเลียม ใช้ผลิตเรซิน ไนลอน พลาสติก เส้นใย ยาฆ่าเชื้อโรค เป็นต้น

จันทนา (2527) ทดลองผลิต furfural จากชังข้าวโพด พบว่า เมื่อใช้ชังข้าวโพด : กรดซัลฟูริก (15% โดยปริมาตร) เท่ากับ 1 : 2 แชนท์ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จะได้ furfural ร้อยละ 9.8 โดยน้ำหนัก นำมากลั่นจะได้ furfural ร้อยละ 0.52 โดยน้ำหนัก

สมเกียรติ (2523) สังเคราะห์ 2-pyrrolidone จากชังข้าวโพด ขั้นตอนในการสังเคราะห์เป็นดังนี้ จะนำชังข้าวโพดมาสังเคราะห์เป็น Furfural ได้ yield 4.1-5.8% น้ำหนักชังข้าวโพดแห้ง, Furfural สังเคราะห์เป็น Furoic ได้ yield 50.2-67.4%, Furoic สังเคราะห์เป็น Furan ได้ yield 30.0-34.7%, Furan สังเคราะห์เป็น Tetrahydrofuran ได้ yield 79.1-85%, Tetrahydrofuran สังเคราะห์เป็น Butyrolactone ได้ yield 20-31% และ Butyrolactone สังเคราะห์เป็น 2-pyrrolidone ได้ yield 27.4-35.8% อนุพันธ์ที่ได้จาก 2-pyrrolidone ใช้เป็นสารปรุงแต่งในยาเม็ด ใช้เป็น suspending agent ในยาน้ำ และใช้เป็น thickening agent ในเครื่องสำอาง

Tia (1996) ศึกษาารูปแบบของการส่งผ่านความร้อนใน fluidized bed boiler โดยใช้ลิแกนด์และชังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง พบว่า อัตราการส่งผ่านความร้อนจาก bed ไปยัง water membrane wall และจากช่องลมร้อนไปยัง convective tube bank เท่ากับ 55-75% และ 25-45% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับ ความเร็วของลมร้อน พบว่าสัมพัทธ์ของการส่งผ่านความร้อนโดยรวมระหว่าง bed และ water membrane wall เท่ากับ  $100-300 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  ในขณะที่จากช่องลมร้อนไปยัง convective tube bank เท่ากับ  $10-30 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

วิทยาและคณะ (2543) ผลิตไซโลสจากชังข้าวโพดโดยการระเบิดด้วยไอน้ำ โดยย่อยชังข้าวโพดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางเป็นเวลา 1 คืนในเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำ ได้น้ำตาลไซโลสเกิดขึ้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยคือ ใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.4% แชนท์ชังข้าวโพด 1 คืน แล้วระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ  $180^{\circ}\text{C}$  ระยะเวลา 4 นาที ได้เปอร์เซ็นต์คืนกลับของน้ำตาลไซโลสมากกว่า 90% สารละลายที่ได้จากการย่อยสามารถนำไปทำให้บริสุทธิ์โดยกำจัดสีและสารประกอบที่ละลายในสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์

Rivas et al. (2002) เตรียม hydrolysate จากชังข้าวโพดโดยวิธี autohydrolysis (ชังข้าวโพดในน้ำ) จากนั้นนำไป posthydrolysis (เติมกรดซัลฟูริก) hydrolysate ที่ได้ทำให้ปลอดเชื้อโดย membrane



sterilization เลี้ยงเชื้อ *Debaryomyces hansenii* จะได้ไซลิทอลที่มีค่า productivity 1.49 g/l.h และ yield 0.73 g/g ซึ่งสูงกว่าการทำ prehydrolysis ชั่งข้าวโพดโดยตรง 18% และ 25% ตามลำดับ

Dominguez et al. (1997) เปรียบเทียบการใช้ hemicellulose hydrolysate ที่ได้จากการย่อยชั่งข้าวโพดบดด้วย 2% HCl ที่ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กับ hydrolysate ที่ได้จากการย่อยชั่งข้าวโพดบดด้วย 10% NH<sub>4</sub>OH ที่ 26°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อในการผลิตไซลิทอลจากยีสต์ *Candida* sp. 11-2 จากการหมักเป็นเวลา 36 ชั่วโมงพบว่า hydrolysate จาก NH<sub>4</sub>OH จะผลิตไซลิทอลได้ดีกว่า โดยมีค่า specific productivity เท่ากับ 1.94 g/l.h yield 0.57 g/g ไซโลสที่ใส่ไป ในขณะที่ hydrolysate ที่ได้จาก HCl จะต้องผ่าน anion exchanger resin ก่อนจึงจะนำไปใช้ได้ แต่ค่า specific productivity และ yield ที่ได้ใกล้เคียงกัน

Sudha Rani et al. (1998) ศึกษาการผลิตเอทานอลจากชั่งข้าวโพดที่ treat ด้วยต่างโดยใช้เชื้อ *Crostridium thermocellum* SS21 และ SS22 ใช้ความเข้มข้นของชั่งข้าวโพดในอาหารเท่ากับ 8 กรัม/ลิตร พบว่า yield ที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้เซลลูโลสบริสุทธิ์

Adesanya (1996) ศึกษาการใช้เถ้าชั่งข้าวโพดเป็น additive ราคาถูกในซีเมนต์ผสม พบว่าการใช้ Portland cement 50% และเถ้าจากชั่งข้าวโพด 20% จะทำให้ดินเหนียวและดินแดงคงตัว มีความแข็งแรงมากขึ้น การนำความร้อนลดลงและดูดน้ำลดลงกว่า cement stabilized earth และการใช้เถ้าจากชั่งข้าวโพดแทนซีเมนต์ 20% ในคอนกรีตผสม จะทำให้การดูดน้ำดีขึ้นและทนทาน ในขณะที่ความแข็งแรงของคอนกรีตที่ผสมเถ้าชั่งข้าวโพด 0% และ 20% ไม่ต่างกัน

## ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

การดำเนินงานมี ดังนี้คือ

**กิจกรรมวิจัยที่ 1** ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดและแยกขี้ข้าวโพดจากเปลือกและขี้เพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

การทดลองที่ 1.1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องบดและแยกขี้ข้าวโพดจากเปลือกและขี้เพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

วิธีการ:

1) สำรวจและประเมินความต้องการเชื้อเพลิงจากเปลือกและขี้ข้าวโพดจากภาคอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมพลังงาน

2) ศึกษาสำรวจและพัฒนาเครื่องแยกเปลือกและขี้ข้าวโพดเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

3) ศึกษาสำรวจและพัฒนาเครื่องจักรบดและแยกขี้เพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

4) พัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องแยกขี้จากเปลือกและขี้ข้าวโพด

- 5) ทดสอบเก็บข้อมูล
- 6) ปรับปรุงและทดสอบเพิ่มเติมเครื่องจักร
- 7) สรุปรายงานผลการศึกษา จัดทำรายงานผลการดำเนินงาน
- 8) เผยแพร่งานวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

- เวลาและสถานที่:

ระยะเวลาดำเนินงาน 2 ปี เริ่มต้นปี 2559 สิ้นสุดปี 2560

สถานที่ทำการวิจัย ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion )

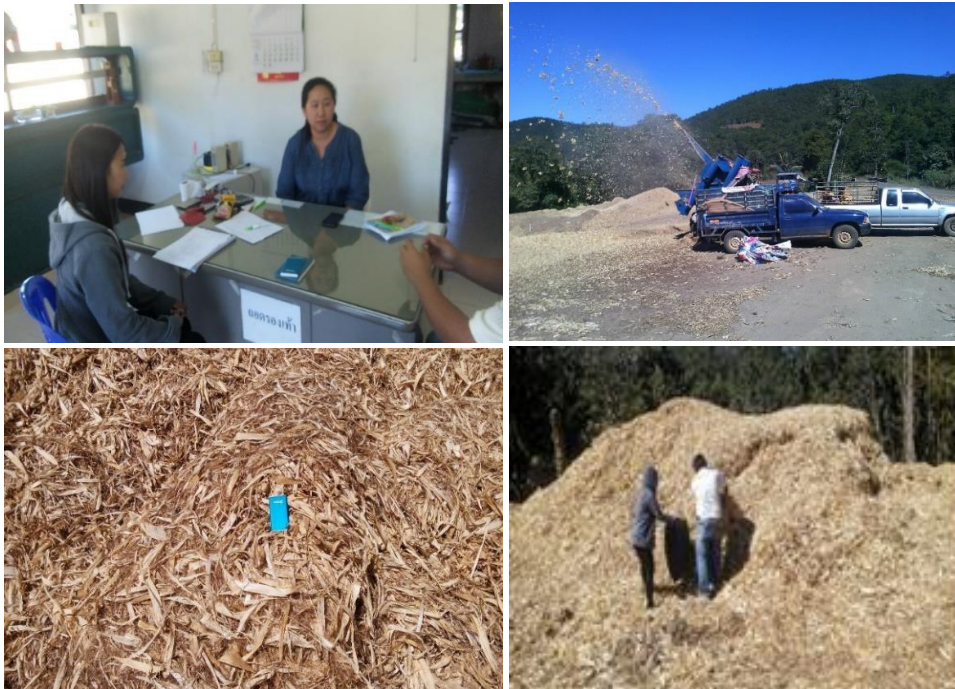
### 1 ผลสำรวจและประเมินความต้องการเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพด

การสำรวจ และประเมินความต้องการเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดจากภาคอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมพลังงาน เช่น โรงไฟฟ้าชีวมวล โรงงานน้ำตาล โรงไฟฟ้าจากเปลือกยูคา โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ หรือกลุ่มอุตสาหกรรมที่ใช้ชีวมวล โดยประชุมชี้แจงแบบสอบถามในการสำรวจและทดสอบแบบสอบถามดังภาพที่ 1.1 การดำเนินงานได้ทำการสำรวจทั้งสิ้นจำนวน 25 แห่ง (โรงงานและลานนวดข้าวโพดของเกษตรกร) โดยสำรวจภาคเหนือ ได้แก่จังหวัด เชียงใหม่ เชียงราย พะเยา แพร่ รวมจำนวน 15 แห่ง

(โรงงานและลานนวดข้าวโพดของเกษตรกร) ดังภาพที่ 1.2 ถึง 1.4 และกำแพงเพชร อีกจำนวน 2 แห่ง ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่จังหวัด นครราชสีมา ชัยภูมิ ขอนแก่น เลย รวมจำนวน 8 แห่ง ดังภาพที่ 1.5



ภาพที่ 1.1 จัดประชุมชี้แจงแบบสอบถามในการสำรวจและทดสอบแบบสอบถาม



ภาพที่ 1.2 การสำรวจที่ อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่ ยังพบปัญหาเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเหลือทิ้งในไร่



ภาพที่ 1.3 การสำรวจที่ อ.แม่สรวย จ.เชียงราย เศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดมีการนำไปใช้ประโยชน์



ภาพที่ 1.4 การสำรวจ จ.แพร่ และ จ.พะเยา เศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดมีการนำไปใช้ประโยชน์แต่ยังไม่



**ภาพที่ 1.5** การสำรวจ จ.นครราชสีมา เศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดมีการนำไปใช้ประโยชน์แล้ว แต่หากใช้รถเกี่ยวขนาดข้าวโพดในพื้นที่ เศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดยังเหลือทิ้งไว้ในแปลง

ผลจากการสำรวจพบว่า เศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เหลือทิ้งส่วนใหญ่จะอยู่ในที่เนินสูง เช่นบนดอยของ อ. แม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ และในบางพื้นที่ของ อ. แม่สรวย จังหวัดเชียงราย ส่วนจังหวัดแพร่และพะเยายังพบปัญหาการค้ำเปลือกและซังข้าวโพด ซึ่งนิยมนำไปผลิตเป็นอาหารสัตว์และปุ๋ยอินทรีย์ เช่น อ. ฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนจังหวัดนครราชสีมามีการค้ำเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงพาณิชย์อยู่แล้ว และมีการทำอาหารสัตว์อัดฟ่อน อีกทั้งพบว่ามีกลุ่มเกษตรกรได้ผลิตเครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพดแบบเกษตรกรใช้งานเอง แต่ยังต้องใช้กระบวนการหลายขั้นตอนอยู่ ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องแยกเปลือกและซังต่อยอดจากเครื่องแบบเกษตรกร

## 2. ผลศึกษำสำรวจและพัฒนำเครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพดเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

นอล

พบว่าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ใน จ.นครราชสีมา มีการเก็บเกี่ยวประมาณกลางเดือนธันวาคม มีการแยกเปลือกและซังข้าวโพดเพื่อจำหน่ำย โดยมีการใช้เครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพดแบบเกชตรกร ดังภาพที่ 1.6 ขณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาพัฒนำเครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพดต่อยอดจากเครื่องแบบเกชตรกร โดยนำรูปแบบเครื่องขนาดซำขนาด 4 ฟุตมาพัฒนำต่อ ดังภาพที่ 1.7



ภาพที่ 1.6 เครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพดแบบเกชตรกร



ภาพที่ 1.7 การศึกษาพัฒนาเครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพดต่อยอดจากเครื่องแบบเกษตรกร

### 3. ผลศึกษาร่างและพัฒนาเครื่องจักรบดและแยกซังเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

จากการทดสอบและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับการบดและแยกซัง พบว่า เครื่องสับย่อย(Hammer mill) แบบใบอยู่กับที่ของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรมไม่มีความเหมาะสมต่อการนำมาบดย่อยเนื่องจาก ซังข้าวโพด จะมีความแข็งสูง ซึ่งจะส่งผลต่อการบดย่อยทำให้ตะแกรงของเครื่องบดย่อยเสียหายได้อย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 1.8 และ 1.9 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เปลี่ยนเครื่องบดย่อยแบบใบมีดอิสระเพื่อทำการทดสอบใหม่ ดังภาพที่ 10 โดยใช้มอเตอร์ต้นกำลังขนาด 10 แรงม้า กระแสสูงสุด 15.5 แอมป์ พบว่า สภาวะไม่มีภาระใช้กระแส 5 แอมป์ และเมื่อทำการทดสอบการป้อน กระแสจะขึ้นเป็น 7 แอมป์ โดยสภาวะที่เกิดประจุนสูงสุด(Peak) มีค่า 10.5 แอมป์ โดยสมรรถนะของเครื่องมีค่าเฉลี่ย 103.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และยังพบปัญหาเรื่องเส้นใยของเปลือกข้าวโพดตกค้างภายในห้องบดย่อยจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบต่อไป และสามารถเพิ่มสมรรถนะการบดย่อย เป็น 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ได้โดยเพิ่มขนาดเครื่องจักรให้เหมาะสมกับลานนวดข้าวโพด โดยคาดว่าต้องใช้ต้นกำลังประมาณ 30 แรงม้า

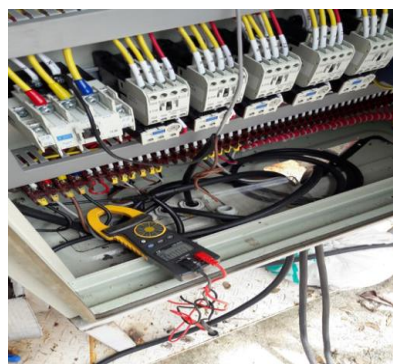


ภาพที่ 1.8 การทดสอบเครื่องสับย่อย (Hammer mill) แบบใบอยู่กับที่ของสถาบันวิจัยเกษตร





ภาพที่ 1.9 ลักษณะตะแกรงเครื่องบดย่อยที่เกิดความ



**ภาพที่ 1.10** การทดสอบการบดย่อยด้วยเครื่องบดย่อยแบบใบมีดอิสระ

ผลการศึกษาค่าปริมาณความชื้นของเปลือกและซังข้าวโพด และค่าความหนาแน่นของเปลือกและซังข้าวโพดทั้งก่อนและหลังการบดย่อย เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบการขนส่งและการเก็บรักษาเพื่อนำไปผลิตเป็นพลังงานทั้งเชื้อเพลิงเอทานอลและเชื้อเพลิงชีวมวล ดังตารางที่ 1.1 และ 1.2 ซึ่งพบว่า ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของเปลือกและของซังข้าวโพด มีความชื้นไม่สูงอยู่ในระดับแห่งที่เหมาะสม และเหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องสับย่อย (Hammer mill) ซึ่งมีข้อด้อยที่ไม่เหมาะกับวัสดุที่เปื่อยหรือความชื้นสูง และเป็นไฟเบอร์เส้นใยเหนียว เมื่อทำการบดย่อยเปลือกและซังข้าวโพดแล้วถ้าทำการอัดให้แน่นก่อนการขนส่ง จะเพิ่มความหนาแน่นได้อีก 2.23 เท่า ซึ่งลักษณะทางกายภาพของเปลือกและซังข้าวโพดที่ผ่านการบดย่อยแล้ว แสดงดังภาพที่ 1.11

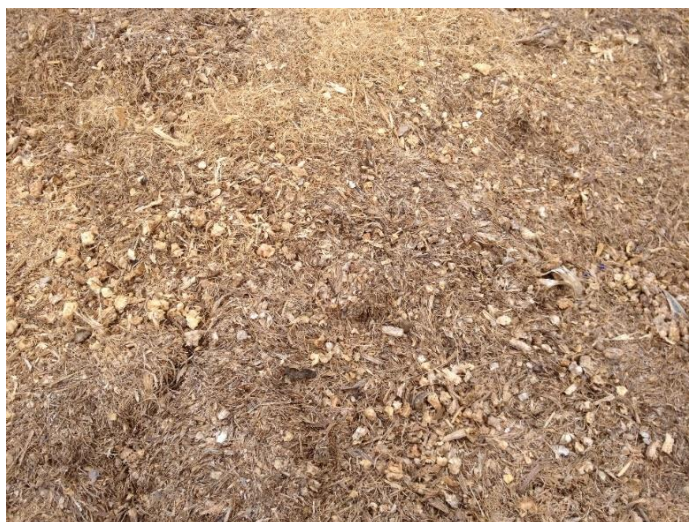
**ตารางที่ 1.1** ค่าปริมาณความชื้นในเปลือกและซังข้าวโพด

ตัวอย่าง	% ความชื้น(wb)	
	ซัง	เปลือก
1	7.47	7.26
2	6.27	5.39
3	7.92	9.67
เฉลี่ย	7.22	7.44

**ตารางที่ 1.2** ค่าความหนาแน่นของเปลือกและซังข้าวโพดทั้งก่อนและหลังการบดย่อย

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)			
	ไม่ผ่านการย่อย		ผ่านการย่อย	
	ไม่กต (ซัง+เปลือก)%	กต(ซัง+เปลือก)%	ไม่กต	กต

1	21.64 (28.56+71.44)	37.86 (13.96+86.06)	94.66	149.64
2	24.34 (24.99+75.01)	48.68 (32.75+67.25)	86.54	135.23
3	13.52 (3.28+96.72)	45.98 (30.01+69.99)	73.02	143.34
เฉลี่ย	19.83	44.17	84.74	142.74



ภาพที่ 1.11 ลักษณะเปลือกและซังข้าวโพดที่ผ่านการบดย่อยด้วยเครื่องบดย่อยแบบใบมีด

#### 4. ผลการพัฒนาและสร้างต้นแบบเครื่องแยกซังจากเปลือกและซังข้าวโพด

การศึกษาพัฒนาเครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพด ได้นำรูปแบบเครื่องขนาดข้าว ขนาดลูกนวด ยาว 1200 มิลลิเมตร (4 ฟุต) มาพัฒนาต่อ ดังภาพที่ 1.12 โดยทำการทดสอบเบื้องต้นการแยกซัง จากเปลือก และซังข้าวโพด (เศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์) เพื่อหาแนวทางในการออกแบบสร้างต้นแบบ

##### ข้อพิจารณาแนวทางออกแบบพัฒนาสร้างเครื่องต้นแบบ ที่ได้มีดังนี้คือ

การสร้างต้นแบบ จะมุ่งเน้นให้เป็นเครื่องแบบเคลื่อนที่ได้ สามารถแยกเปลือกและซังได้ในตัวโดยไม่จำเป็นต้องใช้พัดลมและถาดตะแกรงในการแยกเปลือกอีกครั้ง

- 1) ลูกนวด ใช้ลูกนวดข้าวทรงกระบอกแบบซี่ฟัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร จำนวน 1 ลูก นวดตีแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 12-2 และ ภาพที่ 12-3
- 2) พัดลมทำความสะอาดแบบใบพัดแบบใบตรง ปรับถอดลดออก ดังแสดงในภาพที่ 12-1
- 3) ถาดตะแกรงทำความสะอาดแบบโยกสั่น ปรับถอดลดออก ดังแสดงในภาพที่ 12-4



ภาพที่ 1.12 การศึกษาพัฒนาเครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพด

## 5 ผลการทดสอบการใช้งานเครื่องต้นแบบหลังจากแก้ไขปรับปรุงแล้ว

### การแก้ไขปรับปรุงเครื่องต้นแบบ มีดังนี้คือ

- 1) ปรับปรุงระบบการป้อน โดยการติดตั้งเพิ่มส่วนลื่นบังคับทิศทางไหลของวัสดุ เพื่อให้ส่วนเปลือกข้าวโพด ไม่หมุนย้อนกลับมาขวางการป้อนวัสดุที่ทางเข้าของลูกนวด ทำให้สามารถป้อนวัสดุได้อย่างต่อเนื่อง
- 2) ขยายขนาดระยะช่องห่างซี่ก้านเหล็กของแผ่นสีกตะแกรงโค้งด้านล่างของลูกนวด เพื่อให้ส่วนซังข้าวโพดที่ผ่านการตีหลุดร่วงลงผ่านแผ่นสีกตะแกรงโค้งด้านล่างไปได้ โดยแก้ไขให้ระยะช่องห่าง จากเดิม 12 มิลลิเมตร เป็น 30 มิลลิเมตร

### ทดสอบสมรรถนะการใช้งานเครื่องต้นแบบ

- 1) ผลทดสอบต้นแบบเครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพดเมื่อแก้ไขปรับปรุง และได้ตามเกณฑ์กำหนดแล้ว จึงดำเนินการทดสอบเครื่องต้นแบบ ดังแสดงในภาพที่ 1.13



ภาพที่ 1.13 ได้ต้นแบบเครื่องแยกซังจากเปลือกและซังข้าวโพด และดำเนินการทดสอบเก็บ

ตารางที่ 1.3 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบในการคัดแยกซังและเปลือกข้าวโพด

ความเร็วลูกนวด (rpm)	ความสามารถ ค่าเฉลี่ย (kg/hr)	ในระบบการคัดแยกซัง		ในระบบการคัดแยก เปลือก		ประสิทธิภาพการแยกซัง (%โดย น.น.)
		(%โดย น.น.)		(%โดย น.น.)		
		ซัง	เปลือก	เปลือก	ซัง	
500	262.77	11.78	11.40	70.36	6.51	11.78/18.29=64.4%
700	288.00	17.70	10.00	64.32	7.97	17.70/25.67=69.0%
900	266.67	13.74	15.20	66.59	4.47	13.74/18.21=75.5%

หมายเหตุ: ใช้ตัวอย่างครั้งละ 5 กิโลกรัม ทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ

ประสิทธิภาพการแยกซัง = ปริมาณซังที่เครื่องแยกได้/ซังที่มีอยู่

เปลือกและซังที่ใช้ในการทดสอบผ่านการอัดฟ่อนจากแปลงเกษตรกร

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

จากการพัฒนาเครื่องแยกซังจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ได้ต้นแบบเครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพด ขนาด 1,970 x 2,920 x 2,700 มิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ได้แก่ ลูกนวดข้าว ทรงกระบอกแบบซี่ฟัน 47 ซี่ จำนวน 1 ลูก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร ยาว 1,200 มิลลิเมตร แผ่นเสื่อตะแกรงโค้งด้านล่าง ขนาดระยะช่องห่างของซี่ก้านเหล็ก 30 มิลลิเมตร และต้นกำลังใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ขนาด 11 แรงม้า จากการทดสอบ พบว่า ประสิทธิภาพการแยกซัง จะแปรตามเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของลูกนวด และการใช้ความเร็วรอบที่ 900 รอบต่อนาทีจะมีประสิทธิภาพในการแยกซังได้มากที่สุด คือ 75.5% ที่ความสามารถ 266.67 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

#### การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์:

เมื่อเสร็จสิ้นโครงการในปี 2560 กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จะได้รับการเผยแพร่และสาธิตการใช้ต้นแบบเครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพดจากเศษวัสดุเหลือใช้ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อใช้ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการแยกซังและแยกเปลือกจำหน่ายได้ ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

## เอกสารอ้างอิง (References)

- กรมวิชาการเกษตร. 2542. ระบบข้อมูลวิชาการ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. [Online], Available: <http://www.doa.go.th>. สืบค้น 24 มีนาคม 2557.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2553. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร.
- จันทนา พุทธธรร. 2528. เพอร์ฟิวรัลจากซังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วิไล สันติโสภาศรี และคณะ. 2546. รายงานการวิจัยสถานภาพของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรและการใช้ประโยชน์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. หน้า 2-54

**ชื่อกิจกรรมงานวิจัย (Title)** ไทย : ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้  
ดอกไม้ประดับจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

อังกฤษ : Design and development on Maize Waste

Compressed Machine for Growing Media of Orchids

### ชื่อผู้วิจัย

นายบัณฑิต	จิตรจ้านงค์	หัวหน้าการทดลอง	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี
นายพินิจ	จิรัศคกุล	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ขอนแก่น
นายพุทธธินันท์	จารุวัฒน์	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.จันทบุรี.
นายสากล	วีรียนันท์	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.จันทบุรี.
นายนิวัติ	อาระวิล	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.จันทบุรี.
นายอาธร	พรบุญ	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.จันทบุรี

### คำสำคัญ (Key words)

ซังข้าวโพด , เปลือกข้าวโพด , ชีวมวล , การจัดการชีวมวลมวล

Maize cob, Maize husk, Biomass, Feedstock

### บทคัดย่อ (Abstract)

ทำการวิจัยและพัฒนาเครื่องมือสำหรับผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สำหรับนำมาใช้ทดแทนกาบมะพร้าว ซึ่งประสบปัญหาจากการที่มีพื้นที่การเพาะปลูกลดลงและปัญหาเนื่องจากการระบาดของหนอนหัวดำ แมลงดำหนาม ดั้วงวงและด้วงแรด ทำให้ปริมาณผลผลิตและผลิตภัณฑจากมะพร้าวลดลง ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้ ซึ่งจำเป็นต้องใช้กาบมะพร้าวเป็นวัสดุปลูก โดยกาบมะพร้าวมีไม่เพียงพอและราคาสูงขึ้น ได้ทำการศึกษาและทดสอบการใช้วัสดุปลูกจากสิ่งเหลือทิ้งจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเพิ่มมูลค่าและลดปัญหาดังกล่าว โดยผลการศึกษาทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุปลูกเปลือก ต้นและซังข้าวโพดสับย่อย:ปุ๋ยมูลสัตว์ คือ 0.5 กิโลกรัม:1.25 กิโลกรัม และ ถ่านซังข้าวโพด:ปุ๋ยมูลสัตว์ คือ 0.5 กิโลกรัม:1.25 กิโลกรัม เช่นเดียวกันเครื่องอัดวัสดุปลูกต้นแบบมีขนาด (กว้างxยาวxสูง) 0.4x1.2x1.8 เมตร ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิกที่ควบคุมการทำงานด้วยวาล์วคันโยก อัดวัสดุปลูกเปลือก ต้นและซังข้าวโพดสับย่อยที่แรงดัน 10 เมกะปาสกาลอัดวัสดุปลูกถ่านซังข้าวโพดที่แรงดัน 8 เมกะปาสกาลมีความสามารถในการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ขนาด (กว้างxยาวxสูง) 20x20x8 เซนติเมตร ได้ 25-30 ก้อน/ชั่วโมง ก้อนวัสดุปลูก 1 ก้อน สามารถปลูกกล้วยไม้ได้ 1 ต้น ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า เครื่องต้นแบบมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 9.05 บาท/ก้อน จุดคุ้มทุนเมื่อทำการผลิต 79,278 ก้อน/ปี และระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี ที่ราคาขายก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 10 บาท/ก้อน เมื่อเปรียบวัสดุปลูกทั้งสองชนิดกับกระบะกาบมะพร้าวในแปลงปลูกของเกษตรกร พบว่ากล้วยไม้มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ

Studied and development on maize waste compressed machine for growing medias of orchids and Flowers to substitute coconut husk which had the price increased due to cause from insect pests of coconut As a result of the coconut used as planting materials has



decreased area and quantity and effect to cost of production of orchid farmers and entrepreneurs. Studied and tested on growing media from maize waste to add value and reduce the problem. The results of the study and test suitable mixing ratio of growing media. The ratio of chopped maize waste: cement was 0.5: 1.25 kg. The ratio of charcoal cob maize waste: cement was 0.5 : 1.25 kg. The compressed machine has dimension 0.4 x 1.2 x 1.8 m with a hydraulic system control by hydraulic hand valve. Pressure to compressed husks, trunk, cob maize at 10 MPa. Pressure to compressed charcoal cob maize at 8 MPa. The capacity of prototype was 25-30 pieces/hour and could be used to grow 1 plant per piece. The results of engineering economic study were showed the breakeven point when produced 79,278 pieces/year and 1 year of the payback period at the price of substituted plant material 10 baht/piece. The orchid's growth and yield were not significantly different when compared the two type growing medias with the coconut husk in the farmer's orchid farm.

## บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับ เป็นสินค้าเกษตรกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญสามารถส่งออก และสร้างรายได้ให้กับประเทศไทย โดยกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายมีการผลิตและส่งออกมากเป็นอันดับหนึ่งของ ประเทศประมาณร้อยละ 90 ของผลผลิตกล้วยไม้ทั้งหมด ประเทศคู่ค้าที่สำคัญได้แก่ จีน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา อินเดียและเวียดนาม โดยในปีพ.ศ. 2559มีปริมาณการผลิต 46,375ตัน ปริมาณการส่งออก 23,651ตัน คิดเป็น มูลค่า 2,234 ล้านบาทส่วนที่เหลือจะจำหน่ายภายในประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560)โดยมี แรงสนับสนุนหลาย ๆ ปัจจัยที่ทำให้ประเทศไทยมีจุดแข็ง ทั้งจากการส่งเสริมของภาครัฐและเอกชนตลอดจน สมาคมต่างๆที่เกี่ยวข้อง แต่ในปัจจุบันเกษตรกรและผู้ประกอบการยังพบกับปัจจัยเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อ การส่งออก ทั้งปัญหาด้านการตลาด ปัจจัยการผลิตที่สูงขึ้น การขยายพื้นที่เพาะปลูกยังทำได้จำกัด และปัญหา ความเสี่ยงจากมาตรการกีดกันทางการค้าของประเทศคู่ค้าโดยเฉพาะในสหภาพยุโรป

วัสดุปลูกหรือเครื่องปลูกมีหน้าที่ให้รากเกาะยึดเพื่อให้ลำต้นของกล้วยไม้ตั้งตรง ไม้ออนเอนหรือลัม วัสดุปลูกยังทำหน้าที่เก็บความชื้นและธาตุอาหารเพื่อให้รากดูดไปใช้ขณะเดียวกันวัสดุปลูกก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับ การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศรอบๆระบบราก การพิจารณาเลือกวัสดุปลูกต้องคำนึงถึงคุณสมบัติคือ ช่วยให้ระบบรากและต้นกล้วยไม้เจริญงอกงามดีหาได้ง่ายต้นทุนต่ำทนทานไม่ย่อยสลายเร็วเกินไปปราศจาก สารพิษเจือปนและสะดวกต่อการใช้ปลูก (ชมรมส่งเสริมเกษตรชีวภาพ, 2554) วัสดุปลูกที่นิยมใช้ในการปลูก กล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายได้แก่ กาบมะพร้าว ปัจจุบันสืบเนื่องจากปัญหาผลผลิตมะพร้าวของไทยลดลงอย่าง มาก จากพื้นที่การเพาะปลูกที่ลดลงและปัญหาเนื่องจากการระบาดของแมลงดำหนาม และแมลงอื่นๆทำให้ ส่งผลกระทบต่อเกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวาย ซึ่งจำเป็นต้องใช้กาบมะพร้าวเป็นวัสดุปลูกทำให้ กาบมะพร้าวมีไม่เพียงพอและราคาสูงขึ้น จากเดิมกระบะปลูกกล้วยไม้ ราคา 5-7 บาทขยับเป็น 15-20 บาท หรือ กาบมะพร้าวเหมารถ 6 ล้อต่อคัน 2,500 บาท เพิ่มขึ้นเป็นมากกว่า 5,000 บาทโดยทั่วไปเกษตรกรที่ปลูก กล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายหลังจากปลูกไปแล้วทุก ๆ 3-5 ปีจะต้องมีการรื้อต้นกล้วยไม้เก่าและกาบมะพร้าวที่ เป็นวัสดุปลูกออกเพื่อปลูกต้นใหม่เนื่องจากกล้วยไม้มีจำนวนลำลูกกล้วยมากและหนาแน่น การระบายอากาศ ไม่ดีและมีการสะสมของโรคในลำเก่า ๆ ประกอบกับกาบมะพร้าวจะเริ่มผุและเปื่อยยุ่ยส่งผลให้ผลผลิตดอก กล้วยไม้ลดลงโดยเกษตรกรเจ้าของแปลงกล้วยไม้ต้องมีการวางแผนในการหากาบมะพร้าวให้ได้แน่นอนก่อนที่จะ ทำการรื้อแปลงเพราะหากหากาบมะพร้าวไม่ได้จะต้องทิ้งแปลงให้ว่างเปล่าส่งผลให้ขาดรายได้ (หนังสือพิมพ์ เดลินิวส์, 2554)การศึกษาและพัฒนาวัสดุปลูกที่เหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับนำมาใช้ในการปลูกกล้วยไม้ตัด ดอกสกุลหวายทดแทนกาบมะพร้าว จะเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยลดปริมาณการใช้กาบมะพร้าว ช่วยลด ต้นทุนการผลิตให้เกษตรกรผู้ปลูกกล้วยไม้ตัดดอกสกุลหวายได้ และช่วยเพิ่มมูลค่าเพิ่มของวัสดุเหลือทิ้งทาง การเกษตรได้อีกแนวทางหนึ่ง

ข้าวโพดเป็นพืชไร่ที่ค่อนข้างทนทาน ปลูกง่ายในสภาพดินฟ้าอากาศของเมืองไทยในปีเพาะปลูก 2559 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ รายงานว่า ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวโพด เลี้ยงสัตว์ประมาณ 7.15ล้านไร่ มีผลผลิตข้าวโพด 4,611,540 ตันวิไลและคณะ2546 ได้ศึกษาสภาพของ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากอุตสาหกรรมเกษตรและการใช้ประโยชน์ พบว่า สัตว์เศษวัสดุเหลือใช้จาก

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะมีปริมาณซังต่อผลผลิตมีค่า 0.19-0.33 (เฉลี่ย 26 เปอร์เซ็นต์) เทียบกับผลผลิต นอกจากนั้นส่วนของต้นและเปลือกข้าวโพดที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตก็เป็นสิ่งเหลือทิ้งเช่นกัน เศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เหล่านี้มีปริมาณถึง 1.19 ล้านตัน แต่มีการนำไปใช้ประโยชน์เพียง 44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็นส่วนของซังข้าวโพดทั้งหมดส่วนที่เหลือซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นต้น เปลือกและซังรวมกันมีปริมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ หรือเทียบเท่ากับ 0.67 ล้านตัน สามารถนำไปผลิตพลังงานความร้อนหรือผลิตไฟฟ้าได้ แต่เนื่องจากเศษวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรโดยในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่จะเก็บข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งเปลือกและฝักพร้อมกันทำให้เศษวัสดุที่เกิดขึ้นจะเป็นเปลือกพร้อมกับซังซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเอทานอล หรือ การผลิต Furfural ได้ และมีจำนวนมากตามโรงสีหรือลานสีข้าวโพดซึ่งยากต่อการจัดการ และลักษณะทางกายภาพของเปลือกและซังข้าวโพดมีลักษณะฟูไม่เหมาะต่อการนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเนื่องจากต้องมีการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลาไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ทำให้โรงสีข้าวโพดหรือลานนวดข้าวโพด นิยมเผาทำลายเพื่อลดการจัดการภายในพื้นที่ ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอย่างมากดังนั้นหากสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นวัสดุปลูกกล้วยไม้ได้ จะสามารถแก้ปัญหาการขาดแคลนและราคาเพิ่มสูงขึ้นมากของกาบมะพร้าว และเพิ่มมูลค่าให้กับสิ่งเหลือทิ้งจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ โดยในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้และ ทดสอบหาอัตราส่วนผสมของวัสดุในการผลิตวัสดุปลูก และทำการวิจัยพัฒนาเครื่องจักรกลสำหรับผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้จากถ่านและสิ่งเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

## ทบทวนวรรณกรรม

### 1. ข้าวโพด

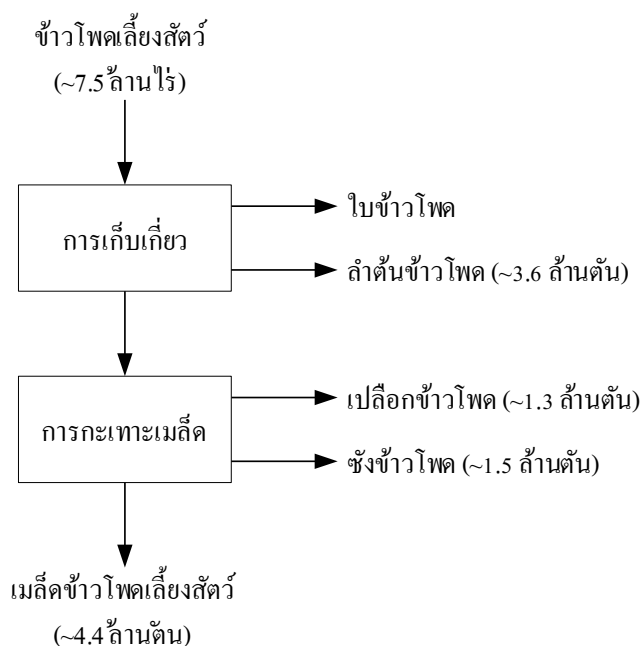
#### 1.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555) ได้สำรวจสถิติการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีเพาะปลูก 2554 ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวโพดประมาณ 7.03 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือมากถึง 4.51 ล้านไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง 1.66 และ 0.86 ล้านไร่ ตามลำดับ ดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์: เนื้อที่ ผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของประเทศไทย ปี 2554

ภาค/จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก(ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก.)
	2554	2554	2554	2554
รวมทั้งประเทศ	7,031,010	6,835,670	4,611,540	656
เหนือ	4,505,780	4,398,420	3,019,780	670
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1,663,280	1,601,240	1,015,810	611
กลาง	861,950	836,010	575,950	668

ที่มา:สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)



ภาพที่ 2 สมดุลมวลผลิตผลพลอยได้จากข้าวโพดในประเทศไทย

## 2. คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพด

สมบัติของเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตความร้อนและกระแสไฟฟ้า ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบแบบประมาณ และค่าความร้อน

### 2.1 สมบัติทางกายภาพ (ขนาด ความหนาแน่นและความชื้น)

เชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีขนาดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับ ชนิด สายพันธุ์ วิธีการเก็บเกี่ยว และการแปรรูป เช่น เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร หรือ เก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคน ซึ่งการที่เชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ที่มีขนาดที่ไม่แน่นอนดังกล่าว จึงทำให้ไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงโรงอบแห้งหรือโรงไฟฟ้า เช่นความหนาแน่นต่ำ (Bulk Density) ต้องป้อนในปริมาณมาก ๆ หรือ ทำให้ไม่คุ้มค่าในการขนส่ง ซึ่งสมบัติต่าง ๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 2



ภาพที่ 2 รูปเศษวัสดุเหลือใช้ของการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ที่มา: วีรชัย อัจหาญ,2554

## 2.2 องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Value)

เป็นสมบัติเฉพาะตัวของเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ ที่แสดงถึงสัดส่วนของ ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matter) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และ ปริมาณเถ้า (Ash Content) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM เป็นสมบัติที่นิยมใช้ประกอบการพิจารณาในการเลือกใช้เชื้อเพลิงของโรงงานอุตสาหกรรม ในส่วนของปริมาณเถ้า จะเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสมบัติต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 2

## 2.3 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Value)

เป็นสมบัติที่แสดงถึงธาตุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ อันประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง Carbon, Hydrogen, Nitrogen and Sulfur Analyzer ซึ่งองค์ประกอบของธาตุต่างๆ จะมีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเศษวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดทั้งนี้ธาตุองค์ประกอบที่สำคัญ และมีผลต่อค่าความร้อน คือ คาร์บอนและไฮโดรเจน เนื่องจากคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดเป็น คาร์บอนได-ออกไซด์ น้ำ และพลังงานในกระบวนการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม หากมีปริมาณไฮโดรเจนมาก ในปฏิกิริยา

การเผาไหม้แบบสมบูรณ์ จะเกิดน้ำมากเช่นกัน ซึ่งเป็นผลทำให้น้ำส่วนนี้ดูดซับพลังงานไว้บางส่วน พลังงานที่ระบบปลดปล่อยออกมาจึงลดลง แสดงไว้ในตารางที่ 3

#### 2.4 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาขณะเผาไหม้เชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนักในรูปของความร้อน ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติและองค์ประกอบของเชื้อเพลิง โดยนิยามของค่าความร้อนสูง (High Heating Value; HHV) หมายถึงพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบสมบูรณ์ (Gross Calorific Value) โดยเริ่มจากเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิ 25 °C และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีอุณหภูมิ 25 °C ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่รวมถึงพลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (Latent Heat of Vaporization) ส่วนค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value; LHV) หมายถึงพลังงานความร้อนสุทธิที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ของเชื้อเพลิง (Net Calorific Value) โดยเริ่มจากเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิ 25 °C และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีอุณหภูมิ 25 °C ซึ่งไม่รวมถึงพลังงานที่ได้จากการควบแน่น (Condensate) ไอน้ำมาใช้งาน โดยปกติค่าความร้อนใช้งานของเชื้อเพลิง จะไม่รวมถึงพลังงานที่ได้จากการควบแน่นดังกล่าวนี้ด้วย สมบัติค่าความร้อนเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดแสดงไว้ใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติด้านเชื้อเพลิงของเศษวัสดุจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ชื่อเศษวัสดุเหลือใช้	ความชื้น	ความ	คุณสมบัติแบบประมาณ		
----------------------	----------	------	--------------------	--	--

	เริ่มต้น <sup>2)</sup> %	หนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>3)</sup>	ร้อยละของ สารระเหย <sup>4)</sup>	ร้อยละของ เถ้า <sup>5)</sup>	ร้อยละของ คาร์บอน <sup>6)</sup>	ค่าความร้อนสูง <sup>7)</sup> (kJ/kg)	CI
ซังข้าวโพด <sup>A)</sup>	20-55	-	80.1	1.36	18.5	18,300- 18,800	1.40%
ซังข้าวโพด <sup>1)</sup>	5.37	120.32	82.70	1.21	16.09	19,836	-
ซังข้าวโพด <sup>8)</sup>	9.97	-	83.13	1.98	14.89	15,073	
ซังข้าวโพด <sup>9)</sup>	9.94	-	84.71	2.33	12.96	16,093	
ซัง+เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	11.6	87.32	83.03	1.51	15.46	19,611	6,017 ppm
ฝอยข้าวโพด <sup>1)</sup>	5.73	20.07	75.57	3.02	21.41	17,927	-
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>1)</sup>	10.65	46.25	73.47	7.71	18.81	16,316	8,750 ppm
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>8)</sup>	6.12	-	73.35	7.20	19.45	14,975	-
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>9)</sup>	11.90	-	78.85	5.60	15.55	13,157	
เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	5.35	20.13	82.39	2.38	15.23	17,390	

หมายเหตุ <sup>A)</sup> ที่มา NalladuraiKaliyan, R. Vance Morey

<sup>1)</sup> ตัวอย่าง นำมาจากอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่

<sup>2)</sup> Moisture—Method ASTM E 871 -82

<sup>3)</sup> Bulk Density — Test Method ASTM E E873-82

<sup>4)</sup> Volatile Matter—Test Method ASTM E E 872-82

<sup>5)</sup> Ash—Test Method ASTM E D 1102-84

<sup>6)</sup> % Fix carbon =100-% Moisture - % Volatile Matter -% Ash

<sup>7)</sup> Gross Calorific Value—Test Method ASTM E E 711-87

<sup>8)</sup> ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดเพชรบูรณ์

<sup>9)</sup> ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดนครสวรรค์

ที่มา: วีรชัย อัจหาญ,2554



ตารางที่ 3 สมบัติองค์ประกอบแบบแยกธาตุด้านเชื้อเพลิง

ชื่อเศษวัสดุเหลือใช้	องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (%)				
	C	H	N	S	O
ซังข้าวโพด <sup>A)</sup>	46.58	5.87	0.47	0.21	45.46
ซังข้าวโพด <sup>1)</sup>	51.46	4.75	1.47	0.32	40.79
ซังข้าวโพด <sup>2)</sup>	44.83	6.01	0.05	0.056	47.07
ซังข้าวโพด <sup>3)</sup>	47.00	6.55	1.66	0.055	44.75
ซัง+เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	52.68	4.68	1.38	0.29	39.46
ฝอยข้าวโพด <sup>1)</sup>	46.09	5.37	2.32	0.32	42.88
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>1)</sup>	44.30	4.62	0.85	0.11	42.83
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>2)</sup>	44.53	5.88	0.17	0.047	42.16
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>3)</sup>	44.65	6.50	2.68	0.027	46.18
เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	50.86	4.86	1.55	0.34	40.01

หมายเหตุ<sup>A)</sup> ที่มา : [7]

<sup>1)</sup> ตัวอย่าง นำมาจากอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่

<sup>2)</sup> ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดเพชรบูรณ์

<sup>3)</sup> ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดนครสวรรค์

ที่มา: วีรชัย อัจหาญ,2554

วีรชัย อัจหาญ,2554 จากกรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่และเชียงรายพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวนมากและเป็นพื้นที่ศักยภาพการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ข้าวโพด พบว่าในพื้นที่สูงที่มีการเพาะปลูกข้าวโพดจำนวนมากไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ ในทางกลับกันกับสร้างปัญหาเรื่องมลภาวะทางอากาศให้กับพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งจากผังภาพที่ 9-3 จะเห็นได้ว่า ในการแปรรูปเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ยังขาดเครื่องมือและเครื่องจักรที่เหมาะสมในการแปรรูปสำหรับการนำไปใช้ต่อ ทำให้เกษตรกร หรือกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรยังนิยมเผาทิ้ง และง่ายต่อการจัดการ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2544) ผลิตก๊าซชีววมวลจากขี้วัวโพดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงอบเมล็ดข้าวโพด ระบบการอบแห้งประกอบด้วยระบบผลิตก๊าซชีววมวล อุปกรณ์ผลิตความร้อน พัดลมดูด และ ห้องอบแห้ง อัตราการสิ้นเปลืองขี้วัวโพด 31.16 กิโลกรัม/ชั่วโมง ใช้ปริมาณอากาศ 50.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง ส่วนประกอบของก๊าซชีววมวลที่เกิดการเผาไหม้ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และ ก๊าซมีเทน ปริมาณ 18.44%, 0.44% และ 0.27% โดยปริมาตรตามลำดับ ก๊าซชีววมวลมีค่าความร้อนประมาณ 2,457.61 กิโลจูล/ลูกบาศก์เมตร สภาพะการทำงานที่เหมาะสมของการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดแบบต่อเนื่องคือที่อัตราการไหลของอากาศร้อนเข้าห้องอบ 1,114.41 กิโลกรัม/ชั่วโมง อุณหภูมิไต้ตะแกรงเฉลี่ย 107.5 °C ใช้อบเมล็ดข้าวโพดประมาณ 1,000 กิโลกรัมที่ความชื้นเริ่มต้น 21.72% จนมีความชื้นสุดท้าย 15% wet basis ใช้เวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง ประสิทธิภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง 18.06% พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด 21.59 เมกะจูล/กิโลกรัมน้ำที่ระเหย และพลังงานความร้อนที่ได้จากมอเตอร์ของพัดลมดูดเฉลี่ยเท่ากับ 1.21 เมกะจูล/กิโลกรัมน้ำที่ระเหย โดยมีต้นทุน 9.4 บาท/กิโลกรัมน้ำที่ระเหย และระยะเวลาการคืนทุนภายใน 4 ปีเมื่อกำหนดอายุการใช้งานเครื่องอบแห้ง 10 ปี

Popescu and Simion (1988) ทดลองนำขี้วัวโพดมาผลิตเป็นถ่านเชื้อเพลิง โดยใช้แป้งหรือ polyvinyl acetate เป็น binding agent อัดเป็นแท่งที่ความดัน 70 daN/cm<sup>3</sup> เมื่อนำไปเผาเปรียบเทียบกับถ่านลิกไนต์ พบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน โดยให้ค่าพลังงาน 4,400 kcal/kg, 100% breaking index แต่ต้นทุนต่ำกว่า

Latif and Rajoka (2001) ศึกษาการผลิตเอทานอลและไซลิทอลจากขี้วัวโพด โดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Candida tropicalis* ในการหมัก Semi-solid fermentation โดยแยกแต่ละชนิดและหมักรวม โดยใช้ขี้วัวโพดแห้ง 5-20% (w/v) ภายหลังหมัก 96 ชั่วโมง เอทานอลที่ได้จาก *Saccharomyces cerevisiae* , *Candida tropicalis* และ co-culture เท่ากับ 27, 23 และ 21 กรัม/ลิตรตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของไซลิทอลจะสูงสุดเท่ากับ 27 กรัม/ลิตรเมื่อเลี้ยงเชื้อด้วย *Candida tropicalis* ความเข้มข้นของ substrate เพิ่มขึ้น productivity ของเอทานอลและไซลิทอลจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะได้กลีเซอรอลและกรดอะซิติกเป็นผลพลอยได้ และการใช้เชื้อ 2 ชนิดหมักร่วมกันจะให้เอทานอลและไซลิทอลต่ำกว่าการหมักแยก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเศษวัสดุเหลือใช้จากขี้วัวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ได้ และสามารถแปรรูปเป็นเอทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การผลิตขี้วัวโพดเป็นวัตถุดิบ

อุตสาหกรรมเกษตรยังมีศักยภาพ เพียงเริ่มต้นการพัฒนาระบบการผลิตวัตถุดิบให้มีความต่อเนื่องจะทำให้การผลิตมีความยั่งยืนและคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลข้าวโพด

ลักษณะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	น้ำหนักบรรทุก (ตัน)		
			รถกระบะต่อคอก <sup>1)</sup>	รถ 10 ล้อ <sup>2)</sup>	รถพ่วง <sup>3)</sup>
เปลือก/ซึ่งข้าวโพด	11.60	87.32	0.335	3.269	6.539
ต้น/ตอ/ใบข้าวโพด	10.65	46.25	0.178	1.732	3.463
เปลือก/ซึ่งข้าวโพด บดละเอียด	7.10	216.60	0.832	8.110	16.219
ต้น/ตอ/ใบข้าวโพด บดละเอียด	9.80	98.76	0.379	3.698	7.395
เปลือก/ซึ่งข้าวโพด อัดเม็ด	10.50	519.84	1.996/1 <sup>4)</sup>	19.463/13 <sup>4)</sup>	38.925/26 <sup>4)</sup>
ต้น/ตอ/ใบข้าวโพด อัดเม็ด	10.20	510.07	1.959/1 <sup>4)</sup>	19.097/13 <sup>4)</sup>	38.194/26 <sup>4)</sup>

หมายเหตุ <sup>1)</sup> ขนาดกระบะ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1 x 2.4 x 1.6 ลูกบาศก์เมตร

<sup>2)</sup> ขนาดกระบะ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.4 x 6.5 x 2.4 ลูกบาศก์เมตร

<sup>3)</sup> ขนาดกระบะ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.4 x 13 x 2.4 ลูกบาศก์เมตร

<sup>4)</sup> น้ำหนักบรรทุกได้จริงตามกฎหมายและลักษณะเส้นทาง

ที่มา: วีรชัย อาจหาญ, 2554

### 3. การพัฒนาวัสดุปลูก

- กาบมะพร้าวสับ เป็นวัสดุปลูกพื้นบ้านหาง่าย เหมาะสำหรับกล้วยไม้ทุกประเภท แต่มีข้อเสียคือฝุ่นและควรแช่น้ำและเปลี่ยนถ่ายน้ำหลายๆครั้งจนน้ำใส ก่อนใช้งาน มิฉะนั้นยางมะพร้าวจะชะงักการเติบโตของกล้วยไม้
- ถ่าน เป็นวัสดุปลูกที่หาได้ง่าย ไม่อู้มน้ำมาก ใช้ได้นาน เหมาะสำหรับกล้วยไม้ทุกชนิด ก่อนนำมาใช้ให้ใช้กรรไกรตัดกิ่งหรือมีด สับให้มีขนาดเท่าๆ กัน เป็นก้อนสี่เหลี่ยม
- โฟม เป็นวัสดุเหลือใช้หาได้ง่ายในท้องถิ่น หากซัดให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ จะใช้ผสมกับเครื่องปลูกรองเท้านารีได้ หากตัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมจะนำไปรองตะกร้ากล้วยไม้ไว้ป้องกันรากพันตะกร้า และช่องระบายอากาศในภาชนะให้โปร่งได้ดี หรือจะใช้หนีบไม้ไว้ก็ได้ ข้อดีคือมีความทนทาน ข้อเสียคือไม่ค่อยเก็บความชื้น ต้องใช้วัสดุปลูกอื่นช่วยเพื่อเพิ่มความชื้นให้กล้วยไม้
- สเฟกนัมมอส เป็นวัสดุปลูกที่ราคาตามเกรด ใช้ปลูกไม้กล้วยไม้นี้เป็นส่วนใหญ่ และใช้เป็นส่วนผสมเครื่องปลูกรองเท้านารี ข้อดีคือ อู้ความชื้นได้ดี ข้อเสียคือ ฝุ่น และอู้มน้ำมากเกินไปหากรดน้ำมาก
- รากชายผ้าสีดา / กระเช้าสีดาแห้ง เป็นวัสดุปลูกที่เลี้ยงกล้วยไม้ได้หลากหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สกุลหวายไทย รักษาความชื้นและความโปร่งได้ดี
- ออสมันดา เป็นรากของเฟินออสมันดา ปัจจุบันมีราคาแพงมาก ออสมันดามักใช้หนีบไม้กล้วยไม้นี้เพราะโปร่งและเก็บความชื้นได้ปานกลางไม่แห้งหรือแฉะเกิน
- พีทมอส นิยมใช้เป็นส่วนผสมเป็นเครื่อง ปลูกรองเท้านารีและกล้วยไม้ดินได้ หลายชนิดเนื่องจากให้ความชื้นได้ดี และใช้ผสมเป็นเครื่องปลูกหม้อข้าวหม้อแกงลิงด้วย ไม้ใบไม้กระถางต่างๆเช่นเฟิน ข้อเสียคือมีราคาแพง
- ขุยมะพร้าว นิยมใช้ผสมเป็นเครื่องปลูกรองเท้านารีแทนพีทมอส เนื่องจากพีทมอสมีราคาแพง ก่อนนำมาใช้ต้องแช่และถ่ายน้ำหลายๆครั้ง จนน้ำที่แช่ใส เพื่อเจือจางยางสีน้ำตาลในขุยมะพร้าว (สารแทนนิน)
- กรวดหยาบ ใช้ผสมกับเครื่องปลูกรองเท้านารีเพื่อให้เครื่องปลูกโปร่งขึ้น และใช้โรยกลบนหน้ากระถางรองเท้านารีเพื่อไม่ให้ผิว เครื่องปลูกถูกน้ำชะล้างออกไปได้โดยง่าย ช่วยทำให้ความชื้นอยู่ได้นานข้อดีหาง่าย มีทั่วไป ข้อเสีย อาจเป็นที่อยู่ของแมลงเช่น มด
- ทรายหยาบใช้ผสมเป็นเครื่องปลูกรองเท้านารี ช่วยให้เครื่องปลูกโปร่งมากขึ้น ระบายน้ำดีเก็บความชื้นได้มากขึ้น
- ไฮโดรตรอน เป็นเม็ดดินเผา มักใช้ปลูกรองเท้านารี ใช้เป็นส่วนผสมหลักของเครื่องปลูก มีข้อดีคือสะอาด โปร่ง น้ำหนักเบา และใช้ได้นาน มีข้อเสียคือ ราคาแพง และเมื่อใช้งานไปนานๆ มักเกิดราขาวและอาจเป็นที่อยู่ของแมลงเช่น มด ได้เนื่องจากเม็ดไฮโดรตรอน โปร่งและเย็น

- หินภูเขาไฟ ใช้เป็นส่วนผสมเครื่องปลูกรองเท่านั้น มีหลายขนาด ใช้ตามความเหมาะสม หินภูเขาไฟเป็นวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ ใช้ปลูกกล้วยไม้ได้ดี เนื่องจากหินภูเขาไฟมีองค์ประกอบของแร่ธาตุสูงไม่เป็นอันตรายกับต้นไม้ น้ำหนักเบาและลอยน้ำได้ แต่มีข้อเสียคือราคาค่อนข้างสูง

- ออสโมซิส เป็นเครื่องปลูกที่ทำได้ง่ายตามร้านค้าทั่วไป ต้นทุนต่ำและไม่มีราคาหากเป็นของใช้แล้วนำมาหันขอยใช้เป็นเครื่องปลูกรองเท่านั้น ช่วยเพิ่มความชื้นได้ดี และทนกว่าวัสดุที่เป็นกาบมะพร้าว

- แกลบเผา ใช้ผสมเป็นเครื่องปลูกรองเท่านั้นและกล้วยไม้ดิน รวมไปถึงไม้ดอกไม้ประดับทุกชนิดทำให้เครื่องปลูกโปร่ง พอเวลาผ่านไปย่อยสลายเป็นธาตุอาหารได้อีกด้วย ราคาถูกหาซื้อได้ตามร้านค้าเกษตรทั่วไป

นิรนาม (2553) ได้รายงานว่า หจก.นิมุต เอ็นจิเนียริ่ง ได้พัฒนาเครื่องสับย่อยเนกประสงค์ มีขนาด 135x210x170 ซม. (กว้างxยาวxสูง) น้ำหนัก 400 ก.ก. มีความสามารถในการสับย่อย 800 - 1,000 ก.ก./ชม. (ขึ้นกับชนิดวัสดุและความละเอียดชิ้นงาน) สามารถหัน/บด/ย่อย อินทรีย์วัตถุทุกชนิด เช่น กิ่งไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 - 4 นิ้ว เศษพืชที่เหลือใช้จากการเกษตร เป็นต้น

ชัยรัตน์ (2550) ได้รายงานว่ ศูนย์เรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้มีงานวิจัยพัฒนาเครื่องบดย่อยเนกประสงค์ เครื่องหั่นย่อยเนกประสงค์ และเครื่องสับเนกประสงค์ ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ดังนี้ เครื่องบดย่อยเนกประสงค์ ใช้บดย่อยปุ๋ยหมัก หอยเชอรี่ เพื่อนำมาทำปุ๋ยน้ำชีวภาพ ใช้ย่อยใบไม้แห้งและกิ่งไม้แห้งขนาดเล็ก เพื่อลดการเผาใบไม้และกิ่งไม้ บดย่อยเมล็ดข้าวโพด กระจุกข้าว หนู เครื่องหั่นย่อยเนกประสงค์ มีคุณสมบัติในการย่อยเหมือนกับเครื่องบดย่อยเนกประสงค์ แต่มีคุณสมบัติเพิ่มเติมขึ้นมาคือ สามารถใช้หั่นย่อยกิ่งไม้สดได้ และ เครื่องสับเนกประสงค์ ใช้สำหรับสับ ต้นข้าวโพด กิ่งกระถิน ฟางข้าว หญ้า เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือทำฟีดหมัก

Anonymous (2011) กล่าวถึงความสัมพันธ์ของวัสดุปลูกต่อการให้น้ำ โดยวัสดุที่อุ้มน้ำได้ดีกว่าจะแห้งช้ากว่าซึ่งสามารถยืดระยะเวลาที่จะเริ่มทำการให้น้ำครั้งต่อไป อย่างไรก็ตามแม้ที่ผิวของวัสดุปลูกจะแห้งแต่ที่ระดับลึกลงไปอาจจะยังชื้นอยู่ การตรวจสอบความชื้นในวัสดุปลูกด้วยนิ้วมือหรือแห้งไม้จะช่วยกำหนดการให้น้ำได้ถูกต้องเหมาะสมมากขึ้น โดยความชื้นที่เหมาะสมควรเป็นความชื้นแบบหมาดๆ (Damp) ไม่ชื้นแฉะ (Soggy) หรือแห้งมากเกินไป

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา (2548) ได้สำรวจและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการจากวัสดุอินทรีย์ที่ได้จากส่วนต่างๆของพืช พบว่า มีวัสดุหลายชนิด เช่น ขุยมะพร้าว ทะลายปาล์ม ฝักข้าวโพด ฯลฯ ที่สามารถให้ทั้งปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ และมี C/N ratio ในช่วง/25-30 ซึ่งย่อยสลายได้ดี เหมาะสมต่อการนำมาหมักเป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุ

ชนะ ผิวเหลืองและคณะ (2542) ขุยมะพร้าวใส่ปุ๋ย osmocote และขุยมะพร้าวผสมเชื้อไมคอร์ไรซา (อัตราส่วน 3:1)และใส่ปุ๋ย osmocote เป็นวัสดุเพาะชำ มีความเหมาะสมต่อการเพาะชำ กล้าไม้ยางแดงในเรือนเพาะชำ เชื้อไมคอร์ไรซาและปุ๋ย osmocote มีความสัมพันธ์ทางด้านบวกต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ในวงศ์ไม้ยาง(*Dipterocarpus turbinatus* Gaertn. F)

ประยูร ปัญญา (2540) ศึกษาผลของวัสดุปลูกและธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้รองเท้านารี โดยใช้วัสดุปลูกผสม กากตะกอนอ้อย:ถ่านลิกไนต์:ดินเบา 7 อัตราส่วน (4:1:1, 3:1:1, 2:1:1, 1:1:1, 1:4:1, 1:3:1 และ 1:2:1) กับปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารเสริม(Trace element) 2 ชนิด คือ Minerass No.1 และ Minerass No.1-S พบว่า ในรองเท้านารีสุชะกุลและคางคก วัสดุปลูกผสมอัตรา 4:1:1 ให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก จำนวนใบ ความยาวใบ จำนวนดอกและจำนวนหน่อสูงกว่าวัสดุปลูกอัตราอื่นๆ และปุ๋ยชนิด Minerass No.1 ให้ผลดีต่อวัสดุปลูกทุกสูตร วัสดุปลูกผสมอัตรา 4:1:1 ให้ธาตุ N P Fe สูงกว่าวัสดุปลูกอื่นๆ แต่ให้ธาตุ Cu ต่ำสุด

ทิพย์จรูณี สิทธินาม (2547) ศึกษาวัสดุปลูกที่หาได้ง่ายในประเทศไทยมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเปรียบเทียบกับพืพบว่า ขุยมะพร้าวสดร่อนหยาบ,ขุยมะพร้าวสดร่อนละเอียด, ขุยมะพร้าวหมักนาน 2 เดือน, ขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน, วัสดุผสมขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน : แกลบหมักนาน 4 เดือน อัตรา 2:1, วัสดุผสมขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน : แกลบหมักนาน4 เดือน อัตรา 3 : 1 และวัสดุผสมขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน : ทราย อัตรา 1:1 มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพืต ซึ่งเมื่อนำไปใช้เป็นวัสดุเพาะเมล็ดบานชื่นพันธุ์ Profusion Cherry พบว่า เมล็ดบานชื่นที่เพาะในขุยมะพร้าวสดร่อนหยาบมีอัตราความงอกดีที่สุด แต่บานชื่นที่เพาะในพืตมีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยวัสดุผสมขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน:แกลบหมักนาน 4 เดือน อัตรา 2:1 ทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตดีใกล้เคียงกับต้นกล้าที่เพาะในพืต เมื่อนำวัสดุทั้งสามชนิดนี้ไปวิเคราะห์และปรับปริมาณธาตุปุ๋ย วัสดุผสมขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน:แกลบหมักนาน4 เดือน อัตรา 2:1 ซึ่งปรับให้มีปริมาณธาตุปุ๋ยใกล้เคียงกับพืตโดยเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 1.018 กรัม/วัสดุปลูก 1 กิโลกรัม ทำให้อัตราความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าใกล้เคียงกับพืตที่สุด

สุคนธ์ แสงแก้ว (2538) ศึกษาผลของวัสดุปลูกและอัตราปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพริกหวาน พันธุ์ California Wonder ในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมระหว่างดินผสมปุ๋ยคอก ดิน ผสมปุ๋ยหมัก ดินผสมแกลบดิน ดินผสมถ่านแกลบ ในอัตราส่วน 1:1 1:2 2:1 และดิน พบว่าดินผสมปุ๋ยหมักอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าที่ดีที่สุด โดยมีความสูงของต้น จำนวนใบ ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งของต้นสูงสุด ส่วนน้ำหนักแห้งของรากนั้นดินผสมถ่านแกลบอัตราส่วน 1:1 ให้น้ำหนักแห้งสูงสุด

สุชาดา จิตรภิมย์ศรี (2539) ศึกษาการนำขี้เลื่อยที่ผ่านการเพาะเห็ดมาใช้ในรูปวัสดุปลูกไม้กระถาง คือประทัดฟิลิปปินส์ (*Hamelia patens*) พบว่า ขี้เลื่อยที่ผ่านการเพาะเห็ดมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุปลูกไม้แตกต่างจากวัสดุปลูกผสมมากนัก และเมื่อนำขี้เลื่อยที่ผ่านการเพาะเห็ดมาหมักก่อนจะทำให้ปริมาณธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อนำไปปลูกประทัดฟิลิปปินส์ขี้เลื่อยที่ผ่านการเพาะเห็ดแล้วหมักจะทำให้การเจริญเติบโตของประทัดฟิลิปปินส์ดีกว่าวัสดุปลูกผสมที่ระดับการให้ปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟต ความเข้มข้นเท่ากัน

ธีระยุทธ (2552) รายงานว่า การศึกษาชนิดวัสดุปลูกและวิธีการผสมใช้ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้สกุลหวาย พบว่า การใช้แกลบดำทำให้กล้วยไม้สกุลหวายตายน้อยที่สุด รองลงมาคือ เปลือกถั่วลิสง ขุยมะพร้าว กากขี้เอย เศษกระดาษ และแกลบดิบ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้แกลบดิบและเปลือกถั่วเหลือง ทำให้น้ำหนักต้นและรากไม้ในกล้วยไม้สกุลหวายน้อยที่สุด ส่วนขุยมะพร้าวและแกลบดำ ทำให้กล้วยไม้ในสกุลหวายมีน้ำหนักมากที่สุด และเมื่อร่วมกับกรรมวิธีการให้ปุ๋ยทำให้มีการแตกหน่อและน้ำหนักต้นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

นิบล (2547) รายงานว่า ขนาดของวัสดุปลูกพบว่าการปลูกกล้วยไม้สกุลหวายในกระบะกาบมะพร้าว สี่เหลี่ยมปลูก 4 ต้นต่อกระบะจะมีผลให้การเจริญเติบโตทางต้นและการให้ผลผลิตมากกว่าการปลูกในกระถางพลาสติก 1 ต้นต่อกระถางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในทางตรงกันข้าม ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบพบว่า ทุกตำหรับการทดลองไม่พบความแตกต่างของธาตุอาหารหลักในใบกล้วยไม้

Chita (2009) รายงานว่า ผลของวัสดุปลูก ปุ๋ย ความถี่ของการให้น้ำ ต่อการเจริญเติบโตและออกดอกของเอื้องแซะหอม พบว่า ต้นกล้าเอื้องแซะหอมที่ใช้สแฟคนัมมอสเป็นวัสดุปลูกร่วมกับการให้น้ำ 2 ครั้งต่อวัน ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนลำลูกกล้วยมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ และต้นกล้าในกรรมวิธีที่ได้รับปุ๋ย 2.3N:1P:2.3K ที่ความเข้มข้นของไนโตรเจน 50 มก./ล. ทุก 5 วัน มีจำนวนลำลูกกล้วยมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ต้นเอื้องแซะหอมในระยะเจริญพันธุ์ที่ใช้สแฟคนัมมอสเป็นวัสดุปลูกมีจำนวนเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวลำลูกกล้วย ความกว้างใบและความยาวใบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ การให้น้ำวันละครั้งทำให้มีจำนวนลำลูกกล้วยมาก

ที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ และการได้รับปุ๋ย 3.2N:1P:3K ที่ความเข้มข้นของไนโตรเจน 50 มก./ล. ทุก 14 วัน ทำให้มีความยาวลำลูกกล้วย ความยาวใบ เปอร์เซ็นต์ต้นที่เกิดดอก และจำนวนดอกมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

Ramahsamay,K.D. (2008) รายงานว่า การนำใบปาล์มน้ำมันสับย่อยผสมกับกากตะกอนน้ำทิ้ง ในสัดส่วน 3:1 หมักทิ้งไว้นาน 12 สัปดาห์ สามารถนำมาเป็นวัสดุปลูกเบญจมาศได้ผลดี ใช้แทน peat ได้ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย

Muhammad et al. (2007) รายงานว่า วัสดุปลูกผสมดิน: FYM:leaf-mold ผลให้ *Jajoba* (*Simmondsia chinensis*) มีเปอร์เซ็นต์การรอดตาย จำนวนต้น ความยาวต้น ปริมาณใบต่อต้น สูงสุด เท่ากับ 76.80 %, 3.72, 7.70 ซม. และ 12.60 ใบ ตามลำดับ

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตข้าวโพดอาหารสัตว์มีสมบัติที่ดีต่อการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การพัฒนาเครื่องจักรสำหรับแปรรูปจะช่วยเพิ่มศักยภาพการใช้ชีวมวลสำหรับโรงไฟฟ้าเพื่อเป็นเชื้อเพลิงเสริม และสามารถพัฒนาสู่ระบบการผลิตพัฒนาเชิงพาณิชย์ หรือนำไปผลิตเป็นวัตถุดิบสำหรับเอทานอลต่อไป



## ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

### อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 100 กิโลกรัม ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
2. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 2 กิโลกรัม ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
3. ตู้อบไฟฟ้า
4. สายวัดและไม้บรรทัด
5. เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์
6. นาฬิกาจับเวลา

### วิธีดำเนินการ

1) ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตวัสดุปลูกทดลองจากสิ่งเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทดสอบเบื้องต้นและปรับปรุงแก้ไขเครื่องให้สมบูรณ์

2) ศึกษาหาวิธีการจัดการสิ่งเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อผลิตเป็นก้อนวัสดุปลูกได้แก่ การหั่นย่อยลดขนาด การหาอัตราส่วนผสมของวัสดุ การอัดขึ้นรูป และการชะล้างความเป็นต่างของส่วนผสมปูนซีเมนต์ในวัสดุปลูก เป็นต้น

3) ทดสอบคุณสมบัติของก้อนวัสดุปลูกที่ผลิตได้ทางกายภาพได้แก่ ค่าการอุ้มน้ำ (%/m), ค่า Bulk density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) และทางเคมี ได้แก่ ค่า pH, ค่า EC ( $\text{dS}/\text{m}$ ), ค่า OC (%/m), ค่า C/N, ค่า Total N (%/m),

ค่า Total P (%/m), ค่า Total K (%/m) ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ดินและพืช (กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, 2536)

4) ทดสอบเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ได้แก่ จำนวนและขนาดของหน่อ, จำนวนราก, จำนวนและขนาดของใบ เป็นต้น โดยการจัดทำแปลงทดลองกล้วยไม้ในระดับโรงเรือนเกษตรกร พื้นที่ 150 ตารางเมตร วางแผนการทดลองแบบ RCRD (Randomized Complete Block Design) จำนวน 3 ซ้ำซ้ำละ 10 ก้อนวัสดุปลูกต่อกรรมวิธี

5) สรุปรายงานผลการศึกษา จัดทำรายงานผลการดำเนินงาน

6) เผยแพร่งานวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

### เวลาและสถานที่

ระยะเวลาเริ่มต้น ตุลาคม 2559 – ระยะเวลาสิ้นสุด กันยายน 2560

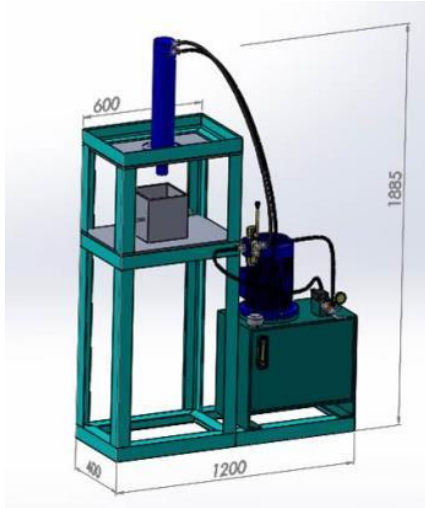
สถานที่ดำเนินการ

-ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมจันทบุรี ต.พลับพลา อ.เมือง จ.จันทบุรี

-สวนกล้วยไม้ศุภาฟาร์ม ต.คลองม่วง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion )

ได้ทำการออกแบบเครื่องอัดวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (ภาพที่ 2.1) โดยเครื่องต้นแบบมีขนาด 0.4x1.2x1.8 เมตร (กว้างxยาว xสูง) อัดด้วยระบบไฮดรอลิก โดยกระบอกติดตั้งที่ด้านบนของเครื่อง จะอัดจากบนลงล่าง ใช้วาล์วคันโยกควบคุมกระบอกไฮดรอลิกขึ้นลง สามารถตั้งแรงดันในการอัดได้ มีเกจวัดแรงดันในการอัด แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปมีขนาด 20x20x8เซนติเมตร



ภาพที่ 2.1 แบบเครื่องอัดวัสดุปลูกจากสิ่งเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

จากนั้นทำการสร้างเครื่องต้นแบบอัดวัสดุปลูกโดยใช้ระบบไฮดรอลิกในการอัด ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า (ภาพที่ 2.2) ควบคุมการทำงานด้วยวาล์วคันโยกปรับตั้งแรงดันในการอัดได้ (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.2 เครื่องอัดวัสดุปลูก



ภาพที่ 2.3 วาล์วคันโยกและเกจวัดแรงดัน

การเตรียมวัสดุดิบจากสิ่งเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มี 2 ชนิดดังนี้

1) เปลือก ต้นและซังข้าวโพดหั่นย่อย ผลการศึกษาพบว่า การหั่นย่อยวัสดุจะใช้เครื่องหั่นย่อยกิ่งไม้ที่พัฒนาโดยสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร โดยความเร็วรอบเครื่องยนต์ต้นกำลังที่เหมาะสมประมาณ 1,000 รอบต่อนาที (ภาพที่ 2.4 และภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.4 การหั่นย่อยเปลือก ต้นและซังข้าวโพด



ภาพที่ 2.5 เปลือกต้น และซังข้าวโพดหั่นย่อย

2) ถ่านซังข้าวโพด การเผาซังข้าวโพดเป็นถ่าน biochar coal ใช้หลักการ Gasification ซึ่งจะเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงกว่ากระบวนการ carbonization ซึ่งได้ bio charcoal ที่มีคุณภาพสูงกว่า ซึ่งเผา Gasification เป็นชนิด downdraft โดยผลการทดสอบพบว่าสามารถผลิต bio charcoal จากซังข้าวโพดได้ 20% โดยปริมาตร (ภาพที่ 2.6 และภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.6 เตาเผา Biocharcoal จากเปลือกและซังข้าวโพดและการไล่ความชื้น



ภาพที่ 2.7 ลักษณะ Biocharcoal จากซังข้าวโพดที่เผาได้เพื่อนำไปเป็นวัสดุปลูกกล้วยไม้

จากนั้นทำการทดสอบผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ด้วยเครื่องต้นแบบโดยใช้วัสดุที่ทำการศึกษาข้างต้น นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้ก้อนวัสดุปลูกที่อัดได้เป็นก้อนไม่แตกยุ่ย และเพิ่มความแข็งแรงให้วัสดุปลูกมีอายุการใช้งานที่นาน (ภาพที่ 2.8-ภาพที่ 2.10) ผลการศึกษาทดสอบพบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือวัสดุเปลือก ต้นและซังข้าวโพดหั่นย่อย 0.5 กก/ปูนซีเมนต์ 1.25 กก ใช้แรงอัดที่ 10 เมกะปาสคาล และถ่านซังข้าวโพด 0.5 กก/ปูนซีเมนต์ 1.25 กก แรงอัดที่ 8 เมกะปาสคาลความสามารถของเครื่องในการผลิตก้อนวัสดุปลูกได้ประมาณ 25-30 ก้อน/ชั่วโมง หลังการอัดขึ้นรูปก้อนวัสดุปลูกด้วยเครื่องต้นแบบแล้วจะนำก้อนวัสดุปลูกไปตากแดดให้แห้งและแข็งตัวประมาณ 3 วันและทำการแช่ก้อนวัสดุปลูกเพื่อสลายความเป็นด่างของปูนซีเมนต์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก้อนวัสดุปลูกที่ได้จะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และนำไปปลูกกล้วยไม้เพื่อเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นต่อไป (ภาพที่ 2.11 และ ภาพที่ 2.12)



ภาพที่ 2.8 การทดสอบผลิตก้อนวัสดุปลูกด้วยเครื่องต้นแบบ



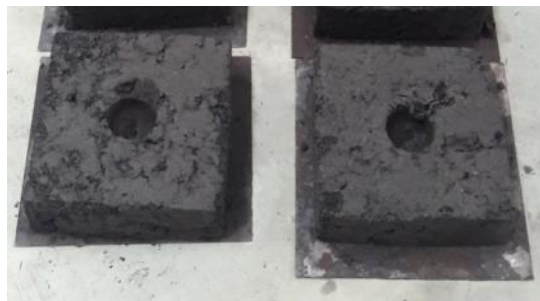
ภาพที่ 2.9 การอัดขึ้นรูปก้อนวัสดุปลูกจาก เปลือก ต้น และซังข้าวโพด



ภาพที่ 2.10 การอัดขึ้นรูปก้อนวัสดุปลูกจากถ่านซังข้าวโพด



ภาพที่ 2.11 ก้อนวัสดุปลูกจาก เปลือก ต้น และซังข้าวโพด



ภาพที่ 2.12 ก้อนวัสดุปลูกจากถ่านซังข้าวโพด

ได้ทำการนำก้อนวัสดุปลูกที่ผลิตได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่าการอุ้มน้ำ (%/m), ค่า Bulk density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) และทางเคมี ได้แก่ ค่า pH, ค่า EC ( $\text{dS}/\text{m}$ ), ค่า OC (%/m), ค่า C/N, ค่า Total N (%/m), ค่า Total P (%/m), ค่า Total K (%/m) ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ดินและพืช ที่กองวิจัย พัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร โดยเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกเดิมคือกาบมะพร้าว

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของก้อนวัสดุปลูกชนิดต่างๆที่ทำการศึกษา

วัสดุปลูก	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	การอุ้มน้ำ (%/m)
เปลือก ต้นและซังข้าวโพด+ปูนซีเมนต์	0.78b	36.83b
ถ่านซังข้าวโพด+ปูนซีเมนต์	0.80b	29.08c
กาบมะพร้าว	1.16a	72.91a

หมายเหตุ; ตัวอักษรเหมือนกันแสดงถึงค่าที่ไม่แตกต่างกันเมื่อทำการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 2.2. คุณสมบัติทางเคมีของก้อนวัสดุปลูกชนิดต่าง ๆที่ทำการศึกษา

วัสดุปลูก	pH	EC	OC	C/N	Total N	Total P	Total K
		(dS/m)	(%/m)		(%/m)	(%/m)	(%/m)
เปลือก ต้นและซัง							
ข้าวโพด+ปูนซีเมนต์	11.35b	1.12a	5.23b	18.72b	0.28b	0.04c	0.21b
ถ่านซังข้าวโพด+ ปูนซีเมนต์	12.02b	1.26a	2.35b	8.82c	0.27b	0.18a	0.44a
กาบมะพร้าว	6.52a	0.24b	48.79a	114.73a	0.43a	0.07b	0.02c

หมายเหตุ; ตัวอักษรเหมือนกันแสดงถึงค่าที่ไม่แตกต่างกันเมื่อทำการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากข้อมูลการวิเคราะห์ในตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2 เมื่อนำมาวิเคราะห์ในภาพรวมพบว่าก้อนวัสดุปลูกที่ให้ผลการวิเคราะห์เรียงตามลำดับจากคะแนนการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดได้แก่ กาบมะพร้าว เปลือกต้นและซังข้าวโพดถ่านซังข้าวโพดตามลำดับ อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ต้องนำก้อนวัสดุทดลองทั้งหมดไปทำการปลูกกล้วยไม้เพื่อดูผลการตอบสนองของกล้วยไม้อีกครั้ง และนำผลการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้ที่ปลูกบนวัสดุปลูกทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ร่วมกับผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีอีกครั้ง จึงจะสามารถสรุปเลือกวัสดุปลูกสำหรับนำมาทดแทนกาบมะพร้าวสำหรับปลูกกล้วยไม้ได้



จากนั้นนำก้อนวัสดุปลูกที่ศึกษาไปทดสอบปลูกที่สวนกล้วยไม้ของเกษตรกร เพื่อเก็บข้อมูลอายุการใช้งานของวัสดุปลูกที่ผลิตขึ้น และบันทึกการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้ โดยปลูกเปรียบเทียบกับวัสดุปลูกเดิมคือกาบมะพร้าว ดังแสดงในภาพที่ 2.13 และภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.13 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของกล้วยไม้จากวัสดุจากกะบะพร้าวกับวัสดุจากซังข้าวโพด



ภาพที่ 2.14 กล้วยไม้ที่เจริญเติบโตโดยใช้วัสดุปลูกจากการทดลอง

ตารางที่ 2.3. การเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้กล้วยไม้ในวัสดุปลูกแต่ละชนิด

วัสดุปลูก	หน่อกล้วยไม้			จำนวนรากกล้วยไม้	ใบกล้วยไม้		
	จำนวน	กว้าง	ยาว		จำนวน	กว้าง	ยาว
	(หน่อ)	(ซม.)	(ซม.)		(ใบ)	(ซม.)	(ซม.)
1. เปลือก ต้นและซังข้าวโพด+ปูนซีเมนต์	3	1.10a	8.17a	11	4	2.17a	9.87a
2. ถ่านซังข้าวโพด+ปูนซีเมนต์	3	1.07a	9.33a	12	4	2.30a	9.77a
3. กาบมะพร้าว	3	1.12a	8.00a	12	4	2.47a	10.17a

หมายเหตุ; ตัวอักษรเหมือนกันแสดงถึงค่าที่ไม่แตกต่างกันเมื่อทำการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้ในวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิดในตารางที่ 3 พบว่าวัสดุปลูกเปลือกต้นและซังข้าวโพด ถ่านซังข้าวโพดและกากมะพร้าวให้ผลการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างกันเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน(Analysis of variance)และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ (Conclusion and Suggestion)

เครื่องมือผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้มีขนาด(กว้างxยาวxสูง) 0.4x1.2x1.8 เมตร ใช้ระบบไฮดรอลิค ควบคุมการทำงานด้วยวาล์วคันโยกอัตราส่วนผสมของวัสดุปลูกเปลือกต้นและซังข้าวโพดสับย่อย : ปูนซีเมนต์ (0.5 : 1.25 กิโลกรัม) ใช้แรงดันในการอัด 10 เมกะปาสคาลและ ถ่านซังข้าวโพด : ปูนซีเมนต์(0.5 : 1.25 กิโลกรัม)ใช้แรงดันในการอัด 8 เมกะปาสคาล ความสามารถของเครื่องในการผลิตก่อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ได้ 25-30 ก้อน/ชั่วโมง วัสดุปลูกกล้วยไม้ที่อัดแล้วมีขนาด (กว้างxยาวxสูง) 20x20x8 เซนติเมตร ก้อนวัสดุปลูก 1 ก้อนสามารถปลูกกล้วยไม้ได้ 1 ต้น ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า เครื่องต้นแบบมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตก่อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 9.05 บาท/ก้อน จุดคุ้มทุนเมื่อทำการผลิต 79,278 ก้อน/ปี และระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี ที่ราคาขายก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 10 บาท/ก้อน เมื่อเปรียบวัสดุปลูกทั้งสองชนิดกับกระบะกากมะพร้าวในแปลงปลูกของเกษตรกร พบว่ากล้วยไม้มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ

### การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

เผยแพร่วารสารวิชาการเกษตร, การประชุมวิชาการระดับชาติ, คู่มือสำหรับเกษตรกร

### เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560.สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญปี 2560. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา

[http://www.oae.go.th/download/document\\_tendency/agri\\_situation2560.pdf](http://www.oae.go.th/download/document_tendency/agri_situation2560.pdf), เข้าดูเมื่อ 8/12/2560.

ชมรมส่งเสริมเกษตรชีวภาพ. 2554. วัสดุปลูกและภาชนะปลูกกล้วยไม้. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา

<http://orchids21.tripod.com/Html/media.html>, เข้าดูเมื่อวันที่ 24/1/2553.

**ชื่อกิจกรรมงานวิจัย (Title)** ไทย : ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและ  
ซังข้าวโพดสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อการเก็บรักษาและ  
การขนส่ง

อังกฤษ : Design and Development Maize Husks and Cop Balers of  
Biomass Feedstock for Biomass Power Plant

### ชื่อผู้วิจัย

นายพินิจ	จิรัชคกุล	หัวหน้ากิจกรรม	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ขอนแก่น
นายอนุชา	เขาว์โชติ	ผู้ร่วมงาน	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กทม.
นายสิทธิชัย	ดาศรี	ผู้ร่วมงาน	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กทม.
นายสมเดช	ไทยแท้	ผู้ร่วมงาน	กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว
นายสมชาย	พิมพ์พันธ์กุล	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ขอนแก่น
นายอุทัย	ธานี	ผู้ร่วมงาน	สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กทม.
นายโตมร	คำสุนทร	ผู้ร่วมงาน	ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรม จ.ขอนแก่น

### คำสำคัญ (Key words)

ซังข้าวโพด , เปลือกข้าวโพด , ชีวมวล , การจัดการชีวมวล

Maize cob, Maize husk, Biomass, Feedstock

## บทคัดย่อ (Abstract)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA และเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าและการผลิตเอทานอลจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อหาระบบการจัดการที่เหมาะสมต่อสิ่งแวดล้อม โดยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันจะสามารถลดการปลดปล่อยได้ 92.5% หรือปลดปล่อย 111.93 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton และสามารถพัฒนาต่อไปในการผลิตถ่านอัดก้อนหรือวัสดุปลูกกล้วยไม้ ซึ่งจะทำให้ลดการเผาที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เกิดขึ้นมีค่าปริมาณปล่อย CO<sub>2</sub>-eq/kg 1,501.72 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ผลผลิต หรือ 555.63 kg CO<sub>2</sub>-eq/rai<sup>2</sup> โดยการศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้เครื่องจักรแปรรูปในการผลิตวัตถุดิบพบว่า นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังมาผลิตเป็นถ่านอัดก้อนและนำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังมาผลิตเป็นถ่านอัดก้อนวัสดุปลูก มีแนวโน้มที่สามารถดำเนินการผลิตเชิงพาณิชย์ได้โดยระยะเวลาคืนทุนมีค่า 1.14 และ 1.53 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน 80.71 และ 52.80 % ตามลำดับ ส่วนการแปรรูปอื่นยังไม่เหมาะสมต่อการลงทุน

The evaluation of LCA product cycle life and economic of biomass fuel production for power plant and ethanol from maize peel and cob was done for determine the suitable system method for environment friendly. The gasification could reduce 92.5% release or 111.93 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton. Moreover, it could be developed to briquet or orchid media which reduced combustion. Greenhouse effect from maize peel and cob was CO<sub>2</sub>-eq/kg 1,501.72 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton production or 555.63 kg CO<sub>2</sub>-eq/rai<sup>2</sup>. The study of economic return of invest form machinery process production expressed the separation of peel and cob; peel for fuel and cob for briquet or media which trended to commercial production. The payback period was 1.14 and 1.53 years. The return of invest rate was 80.71 and 52.80% for peel and cob processing, respectively. However, other processing was not proper to invest.

## บทนำ (Introduction)

จากวิกฤติพลังงานประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานมูลค่ามากกว่าหนึ่งล้านล้านบาท ทั้งในรูปแบบ น้ำมันดิบ น้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ไฟฟ้าและอื่น ๆ ทำให้หน่วยงานของรัฐเร่งหาแหล่งพลังงานทดแทน โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงพลังงาน กระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงพาณิชย์ และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้จัดทำนโยบายพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานหลักของประเทศด้วยการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (ปี 2555-2564) ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ของแผนเพื่อให้ประเทศไทยใช้พลังงานทดแทนเป็นพลังงานหลักของประเทศแทนการนำเข้าน้ำมันเพื่อเพิ่มความมั่นคงในการจัดหาพลังงานให้ประเทศ การพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของประเทศในช่วงที่ผ่านมา ประสบปัญหาทั้งด้านขาดแคลนวัตถุดิบ ราคาวัตถุดิบมีราคาแพง และลักษณะ

ทางกายภาพยังไม่เหมาะกับเทคโนโลยี วิธีการเก็บรักษาวัตถุดิบในการผลิตนอกฤดูการเพาะปลูก ปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้การผลิตพลังงานทดแทนในปัจจุบันดำเนินการไปได้ช้า ซึ่งแนวทางการแก้ไขจำเป็นต้องมีการเพิ่มเทคโนโลยีการพัฒนาเชื้อเพลิงให้มีความเหมาะสมและสามารถเก็บรักษาชีวมวลและสามารถนำไปใช้ได้ในการผลิตพลังงานเชิงพาณิชย์

สถิติการเพาะปลูกและผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีเพาะปลูก 2554 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ รายงานว่า ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวโพดประมาณ 7.03 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือมากถึง 4.51 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 64.28 รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง 1.66 และ 0.86 ล้านไร่ ตามลำดับ มีผลผลิตข้าวโพด 4,611,540 ตัน (วิไลและคณะ.2546) ได้ศึกษาสถานภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากอุตสาหกรรมเกษตรและการใช้ประโยชน์ พบว่า สัดส่วนเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะมีปริมาณซึ่งต่อผลผลิตมีค่า 0.19-0.33 (เฉลี่ย 26 เปอร์เซ็นต์) เทียบกับผลผลิต ซึ่งหมายความว่าเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปริมาณมี 1.19 ล้านตัน แต่มีการนำไปใช้ประโยชน์เพียง 44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็นซึ่งทั้งหมด โดยส่วนที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นเปลือกและซึ่งรวมกันซึ่งมีปริมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ หรือเทียบเท่ากับ 0.67 ล้านตัน สามารถนำไปผลิตพลังงานความร้อน 11,055 เทราชูลหรือผลิตไฟฟ้าได้ 70 เมกกะวัตต์(ประสิทธิภาพโรงไฟฟ้า 20 เปอร์เซ็นต์) แต่เนื่องจากเศษวัสดุเหลือใช้จากเปลือกและซึ่งข้าวโพดจะขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรโดยในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่จะเก็บข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งเปลือกและฝักพร้อมกันทำให้เศษวัสดุที่เกิดขึ้นจะเป็นเปลือกพร้อมกับซึ่งซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เอทานอล หรือ การผลิต Furfural ได้ และมีจำนวนมากตามโรงสีหรือลานสีข้าวโพด ซึ่งยากต่อการจัดการ และลักษณะทางกายภาพของเปลือกและซึ่งข้าวโพดมีลักษณะฟูไม่เหมาะต่อการนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเนื่องจากต้องมีการป้อนเชื้อเพลิงอยู่ตลอดเวลาไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ทำให้โรงสีข้าวโพดหรือลานนวดข้าวโพด นิยมเผาทำลายเพื่อลดการจัดการภายในพื้นที่ ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศอย่างมาก ซึ่งปัจจุบันคณะผู้วิจัยได้ศึกษาพลังงานทดแทนจากชีวมวลที่เกิดขึ้นจากวัสดุเกษตร และมีประสบการณ์การวิจัยโครงการศึกษาแนวทางการบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน (ระดับชุมชน) ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน จึงเร่งเห็นว่า การพัฒนาเครื่องจักรกลสำหรับแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวลมีความจำเป็นอย่างยิ่งและสามารถส่งเสริมการใช้เศษวัสดุเหลือทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพได้ โดยใช้หลักการ Re-engineering เพื่อปรับปรุงระบบการจัดการเครื่องจักรให้เหมาะสมกับโรงสีข้าวโพดในการผลิตเชื้อเพลิงเพื่อจำหน่ายตลอดจนสามารถเก็บรักษาเชื้อเพลิงไว้ในฤดูที่ขาดแคลนวัตถุดิบในการอบข้าวโพด จากการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ (Wood Pellet) พบว่ากระบวนการแปรรูปมีหลายขั้นตอน ใช้เครื่องจักรจำนวนมาก และการลงทุนสูง ทำให้ไม่เป็นที่นิยม จะผลิตเฉพาะเพื่อการส่งออก ทำให้คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในการผลิต โดยมีเครื่องอัดอีกประเภทหนึ่งที่สามารถอัดแท่งเชื้อเพลิงได้ และสมรรถนะในการผลิตสูงกว่าเครื่องอัดแท่งตะเกียบที่ใช้ขนาดต้นกำลังเท่ากันคือ เครื่องอัดแท่ง CUBE ดังภาพที่ 1 ซึ่งขนาดของแท่งเชื้อเพลิงจะมีขนาดกว้าง 2x2x1 นิ้ว แต่ประสบปัญหากระบวนการจะเกิด Peak Load ของกำลังไฟฟ้า ซึ่ง

เมื่อผลิตออกมาพบว่า ต้นทุนการผลิตก็ยิ่งสูงกว่าเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ทั่วไปคือราคา 1200 บาทต่อตัน โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาบูรณาการและพัฒนาต่อยอด ให้เกิดกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ประหยัดพลังงาน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ก่อให้เกิดของเสียจากกระบวนการผลิต (Zero Waste) เป็นเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology : CT ) โดยทำการศึกษานาขนาดเครื่องและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อโรงสีและลานนวดข้าวโพดเพื่อหาขนาดเครื่องจักรที่เหมาะสมกับโรงสีและสามารถดำเนินงานผลิตเชิงพาณิชย์ได้

## ทบทวนวรรณกรรม

### 1 ข้าวโพด

#### 1.1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย

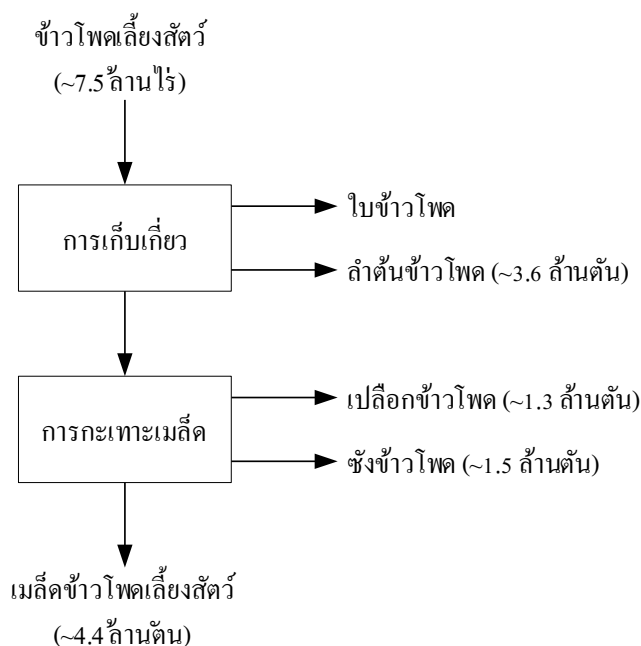
สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555) ได้สำรวจสถิติการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีเพาะปลูก 2554 ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวโพดประมาณ 7.03 ล้านไร่ พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือมากถึง 4.51 ล้านไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง 1.66 และ 0.86 ล้านไร่ ตามลำดับ ดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลข้าวโพดเลี้ยงสัตว์: เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของประเทศไทย ปี 2554

ภาค/จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก(ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก.)
	2554	2554	2554	2554
รวมทั้งประเทศ	7,031,010	6,835,670	4,611,540	656
เหนือ	4,505,780	4,398,420	3,019,780	670
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1,663,280	1,601,240	1,015,810	611
กลาง	861,950	836,010	575,950	668

ที่มา:สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)





ภาพที่ 1 สมดุลมวลผลิตผลพลอยได้จากข้าวโพดในประเทศไทย

## 2 คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพด

สมบัติของเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตความร้อนและกระแสไฟฟ้า ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบแบบประมาณ และค่าความร้อน

### 2.1 สมบัติทางกายภาพ (ขนาด ความหนาแน่นและความชื้น)

เชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีขนาดไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับ ชนิด สายพันธุ์ วิธีการเก็บเกี่ยว และการแปรรูป เช่น เก็บเกี่ยวด้วยเครื่องจักร หรือ เก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคน ซึ่งการที่เชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ที่มีขนาดที่ไม่แน่นอนดังกล่าว จึงทำให้ไม่เหมาะสมต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงโรงอบแห้งหรือโรงไฟฟ้า เช่นความหนาแน่นต่ำ (Bulk Density) ต้องป้อนในปริมาณมาก ๆ หรือ ทำให้ไม่คุ้มค่าในการขนส่ง ซึ่งสมบัติต่าง ๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 2



ภาพที่ 2 รูปเศษวัสดุเหลือใช้ของการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ที่มา: วีรชัย อัจฉาญ, 2554

## 2.2 องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Value)

เป็นสมบัติเฉพาะตัวของเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ ที่แสดงถึงสัดส่วนของ ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matter) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และ ปริมาณเถ้า (Ash Content) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM เป็นสมบัติที่นิยมใช้ประกอบการพิจารณาในการเลือกใช้เชื้อเพลิงของโรงงานอุตสาหกรรม ในส่วนของปริมาณเถ้าจะเป็นของเสียที่เกิดขึ้นจากการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสมบัติต่างๆ แสดงไว้ใน ตารางที่ 2

## 2.3 องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Value)

เป็นสมบัติที่แสดงถึงธาตุองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ อันประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง Carbon, Hydrogen, Nitrogen and Sulfur Analyzer ซึ่งองค์ประกอบของธาตุต่างๆ จะมีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับ

กับสายพันธุ์ของเศษวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดทั้งนี้ธาตุองค์ประกอบที่สำคัญ และมีผลต่อค่าความร้อน คือ คาร์บอนและไฮโดรเจน เนื่องจากคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานในกระบวนการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม หากมีปริมาณไฮโดรเจนมาก ในปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ จะเกิดน้ำมากเช่นกัน ซึ่งเป็นผลทำให้น้ำส่วนนี้ดูดซับพลังงานไว้บางส่วน พลังงานที่ระบบปลดปล่อยออกมาจึงลดลง แสดงไว้ในตารางที่ 3

## 2.4 ค่าความร้อน (Heating Value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง แสดงถึงปริมาณพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมาขณะเผาไหม้เชื้อเพลิง ต่อหน่วยน้ำหนักในรูปของความร้อน ซึ่งค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติและองค์ประกอบของเชื้อเพลิง โดยนิยามของค่าความร้อนสูง (High Heating Value; HHV) หมายถึง พลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบสมบูรณ์ (Gross Calorific Value) โดยเริ่มจากเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิ 25 °C และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีอุณหภูมิ 25 °C ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนที่รวมถึง พลังงานความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ (Latent Heat of Vaporization) ส่วนค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value; LHV) หมายถึงพลังงานความร้อนสุทธิที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้แบบ สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง (Net Calorific Value) โดยเริ่มจากเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิ 25 °C และผลิตภัณฑ์สุดท้ายมี อุณหภูมิ 25 °C ซึ่งไม่รวมถึงพลังงานที่ได้จากการควบแน่น (Condensate) ไอน้ำมาใช้งาน โดยปกติค่าความ ร้อนใช้งานของเชื้อเพลิง จะไม่รวมถึงพลังงานที่ได้จากการควบแน่นดังกล่าวนี้ด้วย สมบัติค่าความร้อนเศษวัสดุ เหลือใช้จากข้าวโพดแสดงไว้ใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติด้านเชื้อเพลิงของเศษวัสดุจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ชื่อเศษวัสดุเหลือใช้	ความชื้น เริ่มต้น <sup>2)</sup> %	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>3)</sup>	คุณสมบัติแบบประมาณ			ค่าความร้อนสูง <sup>7)</sup> (kJ/kg)	CI
			ร้อยละของสารระเหย <sup>4)</sup>	ร้อยละของเถ้า <sup>5)</sup>	ร้อยละของคาร์บอน <sup>6)</sup>		
ขังข้าวโพด <sup>A)</sup>	20-55	-	80.1	1.36	18.5	18,300-	1.40%

						18,800	
ซังข้าวโพด <sup>1)</sup>	5.37	120.32	82.70	1.21	16.09	19,836	-
ซังข้าวโพด <sup>8)</sup>	9.97	-	83.13	1.98	14.89	15,073	-
ซังข้าวโพด <sup>9)</sup>	9.94	-	84.71	2.33	12.96	16,093	-
ซัง+เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	11.6	87.32	83.03	1.51	15.46	19,611	6,017 ppm (0.602%)
ฝอยข้าวโพด <sup>1)</sup>	5.73	20.07	75.57	3.02	21.41	17,927	-
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>1)</sup>	10.65	46.25	73.47	7.71	18.81	16,316	8,750 ppm (0.875%)
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>8)</sup>	6.12	-	73.35	7.20	19.45	14,975	-
ต้น/ใบข้าวโพด <sup>9)</sup>	11.90	-	78.85	5.60	15.55	13,157	-
เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	5.35	20.13	82.39	2.38	15.23	17,390	-

หมายเหตุ <sup>A)</sup> ที่มา NalladuraiKaliyan, R. Vance Morey

- 1) ตัวอย่าง นำมาจากอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่
- 2) Moisture—Method ASTM E 871 -82
- 3) Bulk Density — Test Method ASTM E E873-82
- 4) Volatile Matter—Test Method ASTM E E 872-82
- 5) Ash—Test Method ASTM E D 1102-84
- 6) % Fix carbon =100-% Moisture - % Volatile Matter -% Ash
- 7) Gross Calorific Value—Test Method ASTM E E 711-87
- 8) ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดเพชรบูรณ์
- 9) ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดนครสวรรค์

ที่มา: วีรชัย อัจหาญ,2554

ตารางที่ 3 สมบัติองค์ประกอบแบบแยกธาตุด้านเชื้อเพลิง

ชื่อเชื้อเพลิง	องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (%)				
	C	H	N	S	O
ซังข้าวโพด <sup>A)</sup>	46.58	5.87	0.47	0.21	45.46
ซังข้าวโพด <sup>1)</sup>	51.46	4.75	1.47	0.32	40.79
ซังข้าวโพด <sup>2)</sup>	44.83	6.01	0.05	0.056	47.07
ซังข้าวโพด <sup>3)</sup>	47.00	6.55	1.66	0.055	44.75
ซัง+เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	52.68	4.68	1.38	0.29	39.46
ฝอยข้าวโพด <sup>1)</sup>	46.09	5.37	2.32	0.32	42.88
ต้นใบข้าวโพด <sup>1)</sup>	44.30	4.62	0.85	0.11	42.83
ต้นใบข้าวโพด <sup>2)</sup>	44.53	5.88	0.17	0.047	42.16
ต้นใบข้าวโพด <sup>3)</sup>	44.65	6.50	2.68	0.027	46.18
เปลือกข้าวโพด <sup>1)</sup>	50.86	4.86	1.55	0.34	40.01

หมายเหตุ<sup>A)</sup> ที่มา : [7]

- 1) ตัวอย่าง นำมาจากอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่
- 2) ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดเพชรบูรณ์
- 3) ตัวอย่าง นำมาจาก จังหวัดนครสวรรค์

ที่มา: วีรชัย อัจหาญ,2554

วีรชัย อัจหาญ,2554 จากกรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่และเชียงรายพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวนมากและเป็นพื้นที่ศักยภาพการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงเศษวัสดุเหลือใช้ข้าวโพด พบว่าในพื้นที่สูงที่มีการเพาะปลูกข้าวโพดจำนวนมากไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ ในทางกลับกันกับสร้างปัญหาเรื่องมลภาวะทางอากาศให้กับพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งจากผังรูปที่ 9-3 จะเห็นได้ว่า ในการแปรรูปเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ยังขาดเครื่องมือและเครื่องจักรที่เหมาะสมในการแปรรูปสำหรับการนำไปใช้ต่อ ทำให้เกษตรกร หรือกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรยังนิยมเผาทิ้ง และง่ายต่อการจัดการ

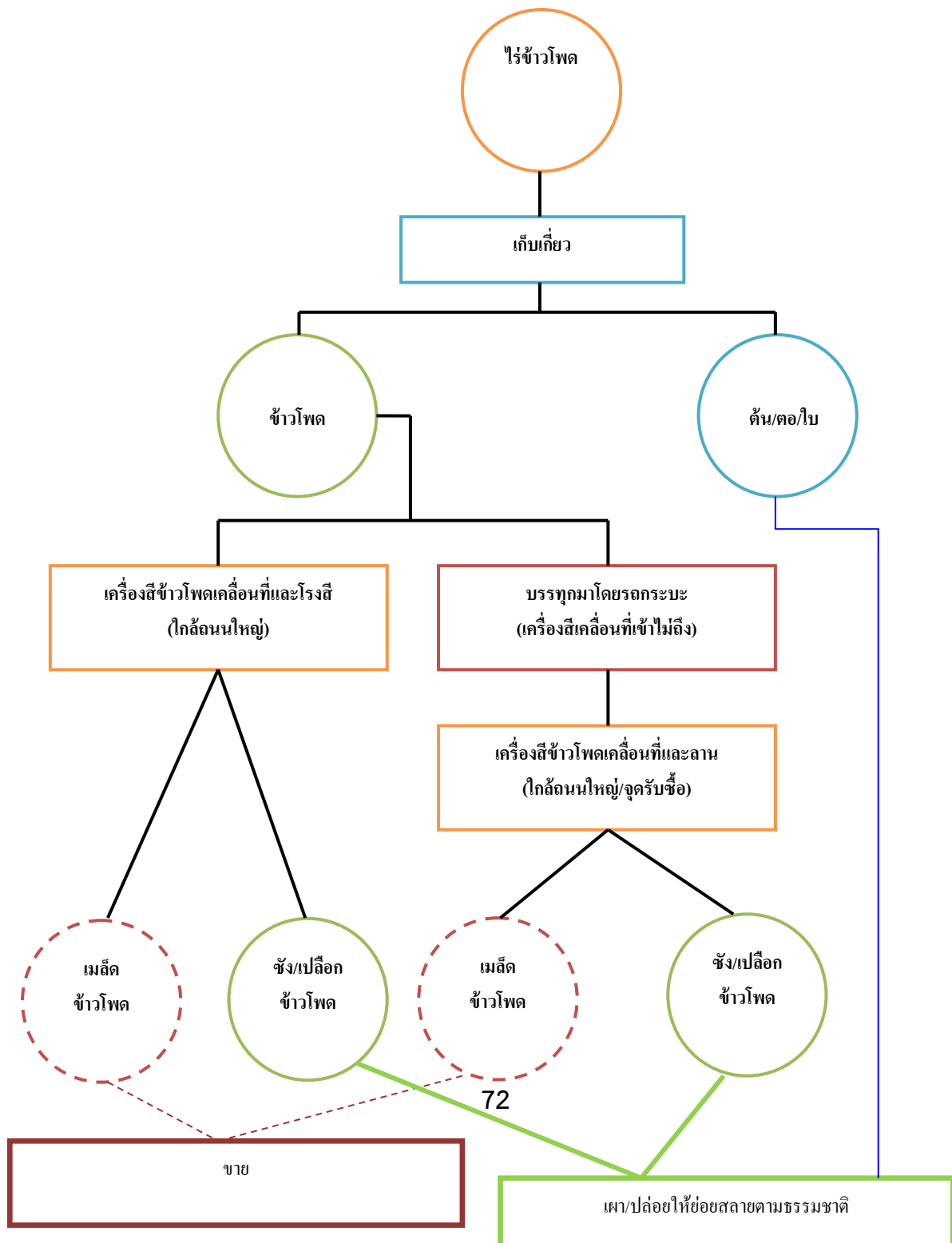
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2544) ผลิตก๊าซชีววมวลจากซังข้าวโพดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงอบเมล็ดข้าวโพด ระบบการอบแห้งประกอบด้วยระบบผลิตก๊าซชีววมวล อุปกรณ์ผลิตความร้อน พัดลมดูด และ ห้องอบแห้ง อัตราการสิ้นเปลืองซังข้าวโพด 31.16 กิโลกรัม/ชั่วโมง ใช้ปริมาณอากาศ 50.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง ส่วนประกอบของก๊าซชีววมวลที่เกิดการเผาไหม้ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และ ก๊าซมีเทน ปริมาณ 18.44%, 0.44% และ 0.27% โดยปริมาตรตามลำดับ ก๊าซชีววมวลมีค่าความร้อนประมาณ 2,457.61

กิโลจูล/ลูกบาศก์เมตร สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดแบบต่อเนื่องคือที่อัตราการไหลของอากาศร้อนเข้าห้องอบ 1,114.41 กิโลกรัม/ชั่วโมง อุณหภูมิได้ตะแกรงเฉลี่ย 107.5 °C ใช้อบเมล็ดข้าวโพดประมาณ 1,000 กิโลกรัมที่ความชื้นเริ่มต้น 21.72% จนมีความชื้นสุดท้าย 15% wet basis ใช้เวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง ประสิทธิภาพและความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง 18.06% พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด 21.59 เมกะจูล/กิโลกรัมน้ำที่ระเหย และพลังงานความร้อนที่ได้จากมอเตอร์ของพัดลมดูดเฉลี่ยเท่ากับ 1.21 เมกะจูล/กิโลกรัมน้ำที่ระเหย โดยมีต้นทุน 9.4 บาท/กิโลกรัมน้ำที่ระเหย และระยะเวลาการคืนทุนภายใน 4 ปีเมื่อกำหนดอายุการใช้งานเครื่องอบแห้ง 10 ปี

Popescu and Simion (1988) ทดลองนำซังข้าวโพดมาผลิตเป็นถ่านเชื้อเพลิง โดยใช้แป้งหรือ polyvinyl acetate เป็น binding agent อัดเป็นแท่งที่ความดัน 70 daN/cm<sup>3</sup> เมื่อนำไปเผาเปรียบเทียบกับถ่านลิกไนต์ พบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน โดยให้ค่าพลังงาน 4,400 kcal/kg, 100% breaking index แต่ต้นทุนต่ำกว่า

Latif and Rajoka (2001) ศึกษาการผลิตเอทานอลและไซลิทอลจากซังข้าวโพด โดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Candida tropicalis* ในการหมัก Semi-solid fermentation โดยแยกแต่ละชนิดและหมักรวม โดยใช้ซังข้าวโพดแห้ง 5-20% (w/v) ภายหลังหมัก 96 ชั่วโมง เอทานอลที่ได้จาก *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida tropicalis* และ co-culture เท่ากับ 27, 23 และ 21 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้นของไซลิทอลจะสูงสุดเท่ากับ 27 กรัม/ลิตรเมื่อเลี้ยงเชื้อด้วย *Candida tropicalis* ความเข้มข้นของ substrate เพิ่มขึ้น productivity ของเอทานอลและไซลิทอลจะเพิ่มขึ้นด้วย และจะได้กลีเซอรอลและกรดอะซิติกเป็นผลพลอยได้ และการใช้เชื้อ 2 ชนิดหมักร่วมกันจะให้เอทานอลและไซลิทอลต่ำกว่าการหมักแยก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเศษวัสดุเหลือใช้จากซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ได้ และสามารถแปรรูปเป็นเอทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การผลิตซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบอุตสาหกรรมเกษตรยังมีศักยภาพ เพียงเริ่มต้นการพัฒนากระบวนการผลิตวัตถุดิบให้มีอย่างต่อเนื่องจะทำให้การผลิตมีความยั่งยืนและค้ำประกันถึงสิ่งแวดล้อม



### ภาพที่ 3 ผังการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ข้าวโพดบนพื้นที่สูงในปัจจุบัน

ที่มา: วีรชัย อัจฉาญ,2554

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลข้าวโพด

ลักษณะ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	น้ำหนักบรรจุทุก (ตัน)		
			รถกระบะต่อคอก <sup>1)</sup>	รถ 10 ล้อ <sup>2)</sup>	รถพ่วง <sup>3)</sup>
เปลือก/ซังข้าวโพด	11.60	87.32	0.335	3.269	6.539
ต้น/ตอ/ใบข้าวโพด	10.65	46.25	0.178	1.732	3.463
เปลือก/ซังข้าวโพด บดละเอียด	7.10	216.60	0.832	8.110	16.219
ต้น/ตอ/ใบข้าวโพด บดละเอียด	9.80	98.76	0.379	3.698	7.395
เปลือก/ซังข้าวโพด อัดเม็ด	10.50	519.84	1.996/1 <sup>4)</sup>	19.463/13 <sup>4)</sup>	38.925/26 <sup>4)</sup>
ต้น/ตอ/ใบข้าวโพด อัดเม็ด	10.20	510.07	1.959/1 <sup>4)</sup>	19.097/13 <sup>4)</sup>	38.194/26 <sup>4)</sup>

หมายเหตุ <sup>1)</sup> ขนาดกระบะ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1 x 2.4 x 1.6 ลูกบาศก์เมตร

<sup>2)</sup> ขนาดกระบะ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.4 x 6.5 x 2.4 ลูกบาศก์เมตร

<sup>3)</sup> ขนาดกระบะ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.4 x 13 x 2.4 ลูกบาศก์เมตร

<sup>4)</sup> น้ำหนักบรรจุทุกได้จริงตามกฎหมายและลักษณะเส้นทาง

ที่มา: วีรชัย อัจฉาญ,2554

### งานวิจัยที่ใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

#### เปลือกข้าวโพด

Hang and Woodams (1999) พบว่าการย่อยเปลือกข้าวโพดโดยเอ็นไซม์ Rapidase pomaliq (ผลิตได้จากเชื้อ *Aspergillus niger* และ *Trichoderma reesei*) สามารถผลิต soluble sugar ได้มากกว่าเอ็นไซม์ทางการค้าชนิดอื่น ๆ (Celluclast 1.5 L หรือ Clarex ML) โดยนำเปลือกข้าวโพดที่ผ่าน pretreatment ด้วย 1.25 M NaOH ที่อุณหภูมิ 50°C pH 5.0 เป็นเวลา 30 ชั่วโมง มาหมักด้วย Rapidase



*pomaliq* ผลปรากฏว่าสามารถเพิ่มความเข้มข้นของ soluble sugar จากค่าเริ่มต้น 156 กรัมเป็น 600 กรัม/กิโลกรัมแห้ง เปลือกข้าวโพด เมื่อนำมาวิเคราะห์ส่วนประกอบพบว่าประกอบด้วยกลูโคส, โซโลส, เซลโลไบโอส, ไซโลไบโอส และอราบิโนส

#### ซังข้าวโพด

สุภาภรณ์ (2541) ตัวดูดซับถูกเตรียมขึ้นโดยการนำซังข้าวโพดมาทำการกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก และสารละลายซิงค์คลอไรด์ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส, 300 องศาเซลเซียส และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การกระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์จะได้ตัวดูดซับที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ที่สุดสำหรับการกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกจะได้ตัวดูดซับที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยที่สุด และตัวดูดซับ ทั้งหมดที่เตรียมขึ้นได้จะมีพื้นผิวแบบไม่มีขั้วเหมือนกัน ค่าคงที่สมดุลการดูดซับของเบนซีน โทลูอิน และออโรไซลีน ที่สถานะเดือดจะถูกวัดทางอ้อมโดยวิธีโครมาโตกราฟี ที่อุณหภูมิ 150-210 องศาเซลเซียส ค่าคงที่สมดุลการดูดซับและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสารรวมของไอเบนซีน โทลูอิน และ ออโรไซลีน ที่วัดได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับสำหรับตัวดูดซับชนิดเดียวกัน ค่าคงที่สมดุลการดูดซับบนตัวดูดซับที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดซัลฟูริกจะมีค่าต่ำที่สุด ในขณะที่ค่าคงที่สมดุลการดูดซับบนตัวดูดซับชนิดอื่นจะมีค่าสูงกว่าอย่างน้อย 100 เท่า ส่วนปริมาณความร้อนของการดูดซับของไอระเหยเหล่านี้ด้วยตัวดูดซับมีค่าประมาณ 2-3 เท่าของความร้อนแฝงของการควบแน่น

พงษ์ศักดิ์ (2539) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดและเปลือกแคง โดยทำการเผาซังข้าวโพดให้เป็นถ่านและทำการกระตุ้นด้วยเปลือกแคงเพื่อให้เป็นถ่านกัมมันต์ไปพร้อมๆ กัน แปรอัตราส่วนของซังข้าวโพดต่อเปลือกแคง, อุณหภูมิและเวลาในการเผา ใช้วิธีไอโอดีนนัมเบอร์เป็นตัวชี้วัดการเป็นถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองโดยพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตและค่าไอโอดีนนัมเบอร์ของถ่านกัมมันต์แล้วสามารถสรุปผลได้ว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส เวลาการเผานานเท่าไรก็ตาม เปลือกแคงไม่สามารถกระตุ้นให้เป็นถ่านกัมมันต์ได้ ส่วนที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส เปลือกแคงมีคุณสมบัติในการเป็นตัวกระตุ้นได้เมื่อใช้เวลาในการเผานานขึ้นจาก 30 ถึง 90 นาที โดยใช้อัตราส่วน 1:2 อุณหภูมิในการเผา 800 และ 900 องศาเซลเซียสให้ค่าไอโอดีนนัมเบอร์แตกต่างกันไม่มากนัก จึงควรใช้ที่ระดับอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่า ซังข้าวโพดและเปลือกแคงสามารถใช้ผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้ โดยใช้ซังข้าวโพดต่อเปลือกแคงเท่ากับ 1:2 อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส เวลาเผานาน 60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้มีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกับข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก 900-2532) ดังนี้ ไอโอดีนนัมเบอร์ 621.37 มิลลิกรัมต่อกรัม (ข้อกำหนดไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม) ความชื้นร้อยละ 3.38 (ข้อกำหนดน้อยกว่าร้อยละ 8) ความแข็งร้อยละ 68 (ข้อกำหนดไม่น้อยกว่าร้อยละ 70) แต่ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นี้เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบและสารกระตุ้นชนิดอื่นยังมีคุณภาพด้อยกว่าอยู่มาก เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นี้ยังมีปริมาณ ของสารระเหยได้อยู่เป็นปริมาณมาก

ทำให้ความสามารถในการดูดซับต่ำ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้จากเอนไซม์ดังกล่าวข้างต้น มีต้นทุนการผลิตต่อกิโลกรัมเท่ากับ 91.97 บาทต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ไม่รวมค่าแรงงานและอุปกรณ์ในการผลิต

พงศธร (2537) เตรียมถ่านกัมมันต์โดยกระตุ้นซังข้าวโพดด้วยซิงค์คลอไรด์ ซังข้าวโพดสามารถเปลี่ยนเป็นถ่านกัมมันต์ได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ อัตราส่วนของวัตถุดิบ:ซิงค์คลอไรด์ 1:2 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลาการเผา 3 ชั่วโมง ได้ผลผลิตร้อยละ 62.82 ค่าไอโอดีนอยู่ในเกณฑ์ 800-900 มก./ก. ค่าการฟอกสีเมธิลีนบลู 120-180 มก./ก. พื้นที่ผิว 1,000 ตรม./ก. ประสิทธิภาพการฟอกสีปานกลาง ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นที่อุณหภูมิการกระตุ้น 600 และ 800 องศาเซลเซียสจะได้ถ่านซึ่งมีคุณสมบัติดีกว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณผลผลิตต่ำกว่า สำหรับการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะสิ้นเปลืองเวลาพลังงาน เมื่อกระตุ้นถ่านด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส อัตราส่วนวัตถุดิบ:ซิงค์คลอไรด์ 1:4 ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีค่าไอโอดีน 960- 1,075 มก./ก. ค่าการฟอกสีเมธิลีนบลู 230-300 มก./ก. พื้นที่ผิว 1,140-1,300 ตรม./ก. ประสิทธิภาพการฟอกสีดีกว่าที่ 400 องศาเซลเซียส ปริมาตรผลผลิตร้อยละ 52.41

Tsai et al. (2001a) พัฒนาระบวนการผลิตactivated carbon ที่สะอาดและไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยทดลองแปรอุณหภูมิในการกระตุ้น 500-800°C กับซังข้าวโพดที่แช่ใน KOH/K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจะทำ gasification พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ได้ activated carbon ที่มีพื้นที่ผิว, ความหนาแน่นและปริมาตรของรูพรุนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกายภาพกับ activated carbon ทางการค้าพบว่า activated carbon ที่ผลิตได้สามารถใช้ทดแทนได้

Tsai et al. (2001b) ทดลองเตรียม granular activated carbon จากซังข้าวโพดโดยการกระตุ้นด้วยเกลือโพแทสเซียมและทางกายภาพด้วย CO<sub>2</sub> พบว่า KOH และ K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> เป็นสารกระตุ้นที่มีประสิทธิภาพ ในช่วงที่อุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้น 10°C/นาที่ และตามด้วยการกระตุ้นทางกายภาพ (gasification) ในช่วง soaking period ที่ 800°C โดยการใช้ 2 วิธีร่วมกัน พื้นที่ผิวที่ได้จะมีขนาดใหญ่มากกว่า 1600 m<sup>2</sup>/g นอกจากนี้ช่องว่างที่เกิดขึ้นใน activated carbon ที่ไม่ได้ล้างกรดออกจะมีความคงตัวต่ำกว่าที่ล้างกรดออก เนื่องจากยังมีเกลือโพแทสเซียมตกค้างในโครงสร้างรูพรุน

Tsai et al. (1998) ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิต activated carbon โดยวิธีกระตุ้นทางเคมีด้วยสารละลาย ZnCl<sub>2</sub> พบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ อัตราส่วนของ ZnCl<sub>2</sub>: ซังข้าวโพดปริมาณรูพรุนจะลดลงเมื่ออัตราส่วนสูง อุณหภูมิในการกระตุ้นพบว่าเมื่อพื้นที่ผิว อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต activated carbon ที่มีพื้นที่ผิวสูงด้วยวิธีกระตุ้นด้วย ZnCl<sub>2</sub> คือที่ 773°K

de Souza et al. (2001) ศึกษาผลของน้ำตาลที่ metabolize ได้ง่าย (กลูโคส, โซโลส, ฟรักโทส, มอลโตส, เซลโลไบโอส และแลคโตส) ต่อการผลิตไซลเลนส์ โดยเชื้อ *Aspergillus niger* ในการหมักแบบ solid-state โดยใช้รำข้าว ซังข้าวโพดและกากอ้อยเป็น substrate การเติมน้ำตาลชนิดต่างๆ ความเข้มข้น 1% ลงในกากอ้อยหรือซังข้าวโพดจะทำให้เกิด catabolic repression อย่างรุนแรง ในขณะที่การเลี้ยงเชื้อ

ด้วย รำข้าวจะต้านทานต่อการ catabolic repression ได้ดีกว่าแม้ที่ความเข้มข้นของกลูโคสสูงถึง 10% โดยใน รำข้าวประสิทธิภาพการใช้กลูโคสจะสูงหลังจากการหมักเป็นเวลา 4 วัน ความเข้มข้นของกลูโคสลดลงเหลือน้อยกว่า 5% ในขณะที่ในซังข้าวโพดและกากอ้อยเหลือมากกว่า 60% ของความเข้มข้นกลูโคสเริ่มต้น

Singh et al. (1989) ศึกษาการทำ alkali treatment กับซังข้าวโพดที่มีผลต่อการผลิตเซลลูเลสและโปรตีนจากเชื้อ *Aspergillus niger* พบว่า การทำ alkali treatment จะเพิ่มการผลิตเซลลูเลสและโปรตีน โดยที่ความเข้มข้น 2% NaOH จะให้ผลผลิตสูงสุด furfural เป็นสารสำคัญในกลุ่ม furan ผลิตได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีเพนโตแซนเป็นองค์ประกอบ เช่น ซังข้าวโพด กากอ้อย เปลือกถั่ว เปลือกเมล็ดฝ้าย เป็นต้น ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น ใช้เป็นตัวทำละลายในการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์, เป็นตัวกลางในการสกัด butadiene จากปิโตรเลียม ใช้ผลิตเรซิน ไนลอน พลาสติก เส้นใย ยาฆ่าเชื้อโรค เป็นต้น

จินทนา (2527) ทดลองผลิต furfural จากซังข้าวโพด พบว่า เมื่อใช้ซังข้าวโพด : กรดซัลฟูริก (15% โดยปริมาตร) เท่ากับ 1 : 2 แชนจ์ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง จะได้ furfural ร้อยละ 9.8 โดยน้ำหนัก นำมากลั่นจะได้ furfural ร้อยละ 0.52 โดยน้ำหนัก

สมเกียรติ (2523) สังเคราะห์ 2-pyrrolidone จากซังข้าวโพด ขั้นตอนในการสังเคราะห์เป็นดังนี้ จะนำซังข้าวโพดมาสังเคราะห์เป็น Furfural ได้ yield 4.1-5.8% น้ำหนักซังข้าวโพดแห้ง, Furfural สังเคราะห์เป็น Furoic ได้ yield 50.2-67.4%, Furoic สังเคราะห์เป็น Furan ได้ yield 30.0-34.7%, Furan สังเคราะห์เป็น Tetrahydrofuran ได้ yield 79.1-85%, Tetrahydrofuran สังเคราะห์เป็น Butyrolactone ได้ yield 20-31% และ Butyrolactone สังเคราะห์เป็น 2-pyrrolidone ได้ yield 27.4-35.8% อนุพันธ์ที่ได้จาก 2-pyrrolidone ใช้เป็นสารปรุงแต่งในยาเม็ด ใช้เป็น suspending agent ในยาน้ำ และใช้เป็น thickening agent ในเครื่องสำอาง

Tia (1996) ศึกษาารูปแบบของการส่งผ่านความร้อนใน fluidized bed boiler โดยใช้ลิแกนด์และซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง พบว่า อัตราการส่งผ่านความร้อนจาก bed ไปยัง water membrane wall และจากช่องลมร้อนไปยัง convective tube bank เท่ากับ 55-75% และ 25-45% ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับ ความเร็วของลมร้อน พบว่าสัมพันธของการส่งผ่านความร้อนโดยรวมระหว่าง bed และ water membrane wall เท่ากับ  $100-300 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  ในขณะที่จากช่องลมร้อนไปยัง convective tube bank เท่ากับ  $10-30 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$

วิทยาและคณะ (2543) ผลิตไซโลสจากซังข้าวโพดโดยการระเบิดด้วยไอน้ำ โดยย่อยซังข้าวโพดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเจือจางเป็นเวลา 1 ชั่วโมงในเครื่องระเบิดด้วยไอน้ำ ได้น้ำตาลไซโลสเกิดขึ้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการย่อยคือ ใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.4% แชนจ์ซังข้าวโพด 1 คีน แล้วระเบิดด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ  $180^{\circ}\text{C}$  ระยะเวลา 4 นาที ได้เปอร์เซ็นต์คีนกลับของน้ำตาลไซโลสมากกว่า 90% สารละลายที่ได้จากการย่อยสามารถนำไปทำให้บริสุทธิ์โดยกำจัดสีและสารประกอบที่ละลายในสารละลายด้วยถ่านกัมมันต์

Rivas et al. (2002) เตรียม hydrolysate จากซังข้าวโพดโดยวิธี autohydrolysis (ซังข้าวโพดในน้ำ) จากนั้นนำไป post hydrolysis (เติมกรดซัลฟูริก) hydrolysate ที่ได้ทำให้ปลอดเชื้อโดย membrane sterilization เลี้ยงเชื้อ *Debaryomyces hansenii* จะได้ไซลิทอลที่มีค่า productivity 1.49 g/l.h และ yield 0.73 g/g ซึ่งสูงกว่าการทำ prehydrolysis ซังข้าวโพดโดยตรง 18% และ 25% ตามลำดับ

Dominguez et al. (1997) เปรียบเทียบการใช้ hemicellulose hydrolysate ที่ได้จากการย่อยซังข้าวโพดบดด้วย 2% HCl ที่ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง กับ hydrolysate ที่ได้จากการย่อยซังข้าวโพดบดด้วย 10% NH<sub>4</sub>OH ที่ 26°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อในการผลิตไซลิทอลจากยีสต์ *Candida* sp. 11-2 จากการหมักเป็นเวลา 36 ชั่วโมงพบว่า hydrolysate จาก NH<sub>4</sub>OH จะผลิตไซลิทอลได้ดีกว่า โดยมีค่า specific productivity เท่ากับ 1.94 g/l.h yield 0.57 g/g ไซโลสที่ใช้ไป ในขณะที่ hydrolysate ที่ได้จาก HCl จะต้องผ่าน anion exchanger resin ก่อนจึงจะนำไปใช้ได้ แต่ค่า specific productivity และ yield ที่ได้ใกล้เคียงกัน

Sudha Rani et al. (1998) ศึกษาการผลิตเอทานอลจากซังข้าวโพดที่ treat ด้วยต่างโดยใช้เชื้อ *Crostridium thermocellum* SS21 และ SS22 ใช้ความเข้มข้นของซังข้าวโพดในอาหารเท่ากับ 8 กรัม/ลิตร พบว่า yield ที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้เซลลูโลสบริสุทธิ์

Adesanya (1996) ศึกษาการใช้เถ้าซังข้าวโพดเป็น additive ราคาถูกในซีเมนต์ผสม พบว่าการใช้ Portland cement 50% และเถ้าจากซังข้าวโพด 20% จะทำให้ดินเหนียวและดินแดงคงตัว มีความแข็งแรงมากขึ้น การนำความร้อนลดลงและดูน้ำลดลงกว่า cement stabilized earth และการใช้เถ้าจากซังข้าวโพดแทนซีเมนต์ 20% ในคอนกรีตผสม จะทำให้การดูน้ำดีขึ้นและทนทาน ในขณะที่ความแข็งแรงของคอนกรีตที่ผสมเถ้าซังข้าวโพด 0% และ 20% ไม่ต่างกัน

### การพัฒนาวัสดุปลูก

- กาบมะพร้าวสับ เป็นวัสดุปลูกพื้นบ้านหาง่าย เหมาะสำหรับกล้วยไม้ทุกประเภท แต่มีข้อเสียคือฟูไว และควรแช่น้ำและเปลี่ยนถ่ายน้ำหลายๆครั้งจนน้ำใส ก่อนใช้งาน มิฉะนั้นยางมะพร้าวจะชะงักการเติบโตของกล้วยไม้

- ถ่าน เป็นวัสดุปลูกที่ทำได้ง่าย ไม่อุ้มน้ำมาก ใช้ได้นาน เหมาะสำหรับกล้วยไม้ทุกชนิด ก่อนนำมาใช้ให้ใช้กรรไกรตัดกิ่งหรือมีด สับให้มีขนาดเท่าๆ กัน เป็นก้อนสี่เหลี่ยม

- โฟม เป็นวัสดุเหลือใช้ทำได้ง่ายในท้องถิ่น หากตัดให้เป็นเม็ดเล็ก ๆ จะใช้ผสมกับเครื่องปลูกรองเท่านั้นได้ หากตัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมจะนำไปรองตะกร้ากล้วยไม้ไว้ป้องกันรากพันตะกร้า และช่องระบายอากาศในภาชนะให้โปร่งได้ดี หรือจะใช้หนีบไม้ก็ได้อีก ข้อดีคือมีความทนทาน ข้อเสียคือไม่ค่อยเก็บความชื้น ต้องใช้วัสดุปลูกอื่นช่วยเพื่อเพิ่มความชื้นให้กล้วยไม้

- สเฟกนัมมอส เป็นวัสดุปลูกที่ราคาตามเกรด ใช้ปลูกไม้กล้วยไม้เนื้อแข็งเป็นส่วนใหญ่ และใช้เป็นส่วนผสมเครื่องปลูกรองเท้านารี ข้อดีคือ อุ้มความชื้นได้ดี ข้อเสียคือ ฟูไว และอุ้มน้ำมากเกินไปหากรดน้ำมาก

- รากชายผ้าสีดา / กระเช้าสีดาแห้ง เป็นวัสดุปลูกที่เลี้ยงกล้วยไม้ได้หลากหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สกุลหวายไทย รักษาความชื้นและความโปร่งได้ดี

- ออสมันดา เป็นรากของเฟินออสมันดา ปัจจุบันมีราคาแพงมาก ออสมันดามักใช้หนีบน้ำกล้วยไม้เนื้อแข็ง เพราะโปร่งและเก็บความชื้นได้ปานกลางไม่แห้งหรือแฉะเกิน

- พีทมอส นิยมใช้เป็นส่วนผสมเป็นเครื่อง ปลูกรองเท้านารีและกล้วยไม้ดินได้ หลายชนิดเนื่องจากให้ความชื้นได้ดี และใช้ผสมเป็นเครื่องปลูกหม้อข้าวหม้อแกงลิงด้วย ไม้ใบไม้กระถางต่างๆเช่นเฟิน ข้อเสียคือมีราคาแพง

- ขุยมะพร้าว นิยมใช้ผสมเป็นเครื่องปลูกรองเท้าแทนพีทมอส เนื่องจากพีทมอสมีราคาแพง ก่อนนำมาใช้ต้องแช่และถายน้ำหลายๆครั้ง จนน้ำที่แช่ใส เพื่อเจือจางยางสีน้ำตาลในขุยมะพร้าว (สารแทนนิน)

- กรวดหยาบ ใช้ผสมกับเครื่องปลูกรองเท้านารีเพื่อให้เครื่องปลูกโปร่งขึ้น และใช้โรยกลบน้ากระถางรองเท้านารีเพื่อไม่ให้ผิว เครื่องปลูกถูกน้ำชะล้างออกไปได้โดยง่าย ช่วยทำให้ความชื้นอยู่ได้นานข้อดีหาง่าย มีทั่วไป ข้อเสีย อาจเป็นที่อยู่ของแมลงเช่น มด

- ทรายหยาบใช้ผสมเป็นเครื่องปลูกรองเท้านารี ช่วยให้เครื่องปลูกโปร่งมากขึ้น ระบายน้ำดีเก็บความชื้นได้มากขึ้น

- ไฮโดรตรอน เป็นเม็ดดินเผา มักใช้ปลูกรองเท้านารี ใช้เป็นส่วนผสมหลักของเครื่องปลูก มีข้อดีคือสะอาด โปร่ง น้ำหนักเบา และใช้ได้นาน มีข้อเสียคือ ราคาแพง และเมื่อใช้งานไปนานๆ มักเกิดราขาวและอาจเป็นที่อยู่ของแมลงเช่น มด ได้เนื่องจากเม็ดไฮโดรตรอน โปร่งและเย็น

- หินภูเขาไฟ ใช้เป็นส่วนผสมเครื่องปลูกรองเท้านารี มีหลายขนาด ใช้ตามความเหมาะสม หินภูเขาไฟเป็นวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ ใช้ปลูกกล้วยไม้ได้ดี เนื่องจากหินภูเขาไฟมีองค์ประกอบของแร่ธาตุสูงไม่เป็นอันตรายกับต้นไม้ น้ำหนักเบาและลอยน้ำได้ แต่มีข้อเสียคือราคาค่อนข้างสูง

- ออสโมซิส เป็นเครื่องปลูกที่หาได้ง่ายตามร้านค้าทั่วไป ต้นทุนต่ำและไม่มีราคาหากเป็นของใช้แล้วนำมาหั่นซอยใช้เป็นเครื่องปลูกรองเท้านารี ช่วยเพิ่มความชื้นได้ดี และทนกว่าวัสดุที่เป็นกาบมะพร้าว

- แกลบเผา ใช้ผสมเป็นเครื่องปลูกรองเท้านารีและกล้วยไม้ดิน รวมไปถึงไม้ดอกไม้ประดับทุกชนิดทำให้เครื่องปลูกโปร่ง พอเวลาผ่านไปย่อยสลายเป็นธาตุอาหารได้อีกด้วย ราคาถูกหาซื้อได้ตามร้านค้าเกษตรทั่วไป

นิรนาม (2553) ได้รายงานว่า หจก.นิมุต เอ็นจิเนียริ่ง ได้พัฒนาเครื่องสับย่อยเนกประสงค์ มีขนาด 135x210x170 ซม. (กว้างxยาวxสูง) น้ำหนัก 400 ก.ก. มีความสามารถในการสับย่อย 800 - 1,000 ก.ก./ช.ม. (ขึ้นกับชนิดวัสดุและความละเอียดชิ้นงาน) สามารถหั่น/บด/ย่อย อินทรีย์วัตถุทุกชนิด เช่น กิ่งไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 - 4 นิ้ว เศษพืชที่เหลือใช้จากการเกษตร เป็นต้น

ชัยรัตน์ (2550) ได้รายงานว่ ศูนย์เรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้มีงานวิจัยพัฒนาเครื่องบดย่อยเนกประสงค์ เครื่องหั่นย่อยเนกประสงค์ และเครื่องสับเนกประสงค์ ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ดังนี้ เครื่องบดย่อยเนกประสงค์ ใช้บดย่อยปุ๋ยหมัก หอยเชอรี่ เพื่อนำมาทำปุ๋ยน้ำชีวภาพ ใช้ย่อยใบไม้แห้งและกิ่งไม้แห้งขนาดเล็ก เพื่อลดการเผาใบไม้และกิ่งไม้ บดย่อยเมล็ดข้าวโพด กระตู่ควัว หมู เครื่องหั่นย่อยเนกประสงค์ มีคุณสมบัติในการย่อยเหมือนกับเครื่องบดย่อยเนกประสงค์ แต่มีคุณสมบัติเพิ่มเติมขึ้นมาคือ สามารถใช้หั่นย่อยกิ่งไม้สดได้ และ เครื่องสับเนกประสงค์ ใช้สำหรับสับ ต้นข้าวโพด กิ่งกระถิน ฟางข้าว หญ้า เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือทำฟีดหมัก

Anonymous (2011) กล่าวถึงความสัมพันธ์ของวัสดุปลูกต่อการให้น้ำ โดยวัสดุที่อุ้มน้ำได้ดีกว่าจะแห้งช้ากว่าซึ่งสามารถยืดระยะเวลาที่จะเริ่มทำการให้น้ำครั้งต่อไป อย่างไรก็ตามแม้ที่ผิวของวัสดุปลูกจะแห้งแต่ที่ระดับลึกลงไปอาจจะยังชื้นอยู่ การตรวจสอบความชื้นในวัสดุปลูกด้วยนิ้วมือหรือแห้งไม้จะช่วยกำหนดการให้น้ำได้ถูกต้องเหมาะสมมากขึ้น โดยความชื้นที่เหมาะสมควรเป็นความชื้นแบบหมาดๆ (Damp) ไม่ชื้นแฉะ (Soggy) หรือแห้งมากเกินไป

กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา (2548) ได้สำรวจและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการจากวัสดุอินทรีย์ที่ได้จากส่วนต่างๆของพืช พบว่า มีวัสดุหลายชนิด เช่น ขุยมะพร้าว ทะลายปาล์ม ฝักข้าวโพด ฯลฯ ที่สามารถให้ทั้งปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ และมี C/N ratio ในช่วง/25-30 ซึ่งย่อยสลายได้ดี เหมาะสมต่อการนำมาหมักเป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุ

ชนะ ผิวเหลืองและคณะ (2542) ขุยมะพร้าวใส่ปุ๋ย osmocote และขุยมะพร้าวผสมเชื้อไมคอร์ไรซา (อัตราส่วน 3:1) และใส่ปุ๋ย osmocote เป็นวัสดุเพาะชำ มีความเหมาะสมต่อการเพาะชำ กล้าไม้ยางแดงในเรือนเพาะชำ เชื้อไมคอร์ไรซาและปุ๋ย osmocote มีความสัมพันธ์ทางด้านบวกต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ในวงศ์ไม้ยาง(*Dipterocarpus turbinatus* Gaertn. F)

ประยูร ปัญญา (2540) ศึกษาผลของวัสดุปลูกและธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้รองเท้านารี โดยใช้วัสดุปลูกผสม กากตะกอนอ้อย:ถ่านลิกไนต์:ดินเบา 7 อัตราส่วน (4:1:1, 3:1:1, 2:1:1, 1:1:1, 1:4:1, 1:3:1 และ 1:2:1) กับปุ๋ยที่ให้ธาตุอาหารเสริม(Trace element) 2 ชนิด คือ Minerass No.1 และ Minerass No.1-S พบว่า ในรองเท้านารีสุชะกุลและคางคก วัสดุปลูกผสมอัตรา 4:1:1 ให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก จำนวนใบ ความยาวใบ จำนวนดอกและจำนวนหน่อสูงกว่าวัสดุปลูกอัตราอื่นๆ และปุ๋ยชนิด Minerass No.1 ให้ผลดีต่อวัสดุปลูกทุกสูตร วัสดุปลูกผสมอัตรา 4:1:1 ให้ธาตุ N P Fe สูงกว่าวัสดุปลูกอื่นๆ แต่ให้ธาตุ Cu ต่ำสุด

ทิพย์ดรุณี สิทธินาม (2547) ศึกษาวัสดุปลูกที่หาได้ง่ายในประเทศไทยมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพเปรียบเทียบกับที่พบว่า ขุยมะพร้าวสดร่อนหยาบ,ขุยมะพร้าวสดร่อนละเอียด, ขุยมะพร้าวหมักนาน 2 เดือน, ขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน, วัสดุผสมขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน : แกลบหมักนาน 4 เดือน อัตรา 2:1, วัสดุผสมขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน : แกลบหมักนาน 4 เดือน อัตรา 3 : 1 และวัสดุผสมขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน : แกลบหมักนาน 4 เดือน อัตรา 4 : 1

มะพร้าวหมักนาน 4 เดือน : ทราย อัตรา 1:1 มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพีต ซึ่งเมื่อนำไปใช้เป็นวัสดุเพาะเมล็ด บานชื่นพันธุ์ Profusion Cherry พบว่า เมล็ดบานชื่นที่เพาะในขุยมะพร้าวสตรอนหยาบมีอัตราความงอกที่ดีที่สุด แต่บานชื่นที่เพาะในพีตมีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยวัสดุผสมขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน:แกลบหมักนาน 4 เดือน อัตรา 2:1 ทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับต้นกล้าที่เพาะในพีต เมื่อนำวัสดุทั้งสามชนิดนี้ ไปวิเคราะห์และปรับปริมาณธาตุปุ๋ย วัสดุผสมขุยมะพร้าวหมักนาน 4 เดือน:แกลบหมักนาน 4 เดือน อัตรา 2:1 ซึ่งปรับให้มีปริมาณธาตุปุ๋ยใกล้เคียงกับพีตโดยเติมปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต 1.018 กรัม/วัสดุปลูก 1 กิโลกรัม ทำให้อัตราความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าใกล้เคียงกับพีตที่สุด

สุคนธ์ แสงแก้ว (2538) ศึกษาผลของวัสดุปลูกและอัตราปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพริกหวาน พันธุ์ California Wonder ในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมระหว่างดินผสมปุ๋ยคอก ดิน ผสมปุ๋ยหมัก ดินผสมแกลบดิน ผสมถ่านแกลบ ในอัตราส่วน 1:1 1:2 2:1 และดิน พบว่าดินผสมปุ๋ยหมักอัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร ให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าที่ดีที่สุด โดยมีความสูงของต้น จำนวนใบ ความกว้างทรงพุ่ม พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งของต้นสูงสุด ส่วนน้ำหนักแห้งของรากนั้นดินผสมถ่านแกลบอัตราส่วน 1:1 ให้น้ำหนักแห้งสูงสุด

สุชาดา จิตรภรณ์ศรี (2539) ศึกษาการนำขี้เลื่อยที่ผ่านการเพาะเห็ดมาใช้ในรูปวัสดุปลูกไม้กระถาง คือประทัดฟิลิปปินส์ (*Hamelia patens*) พบว่า ขี้เลื่อยที่ผ่านการเพาะเห็ดมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุปลูกไม่แตกต่างจากวัสดุปลูกผสมมากนัก และเมื่อนำขี้เลื่อยที่ผ่านการเพาะเห็ด หมักก่อนจะทำให้ปริมาณธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อนำไปปลูกประทัดฟิลิปปินส์ขี้เลื่อยที่ผ่านการเพาะเห็ด แล้วหมักจะให้การเจริญเติบโตของประทัดฟิลิปปินส์ดีกว่าวัสดุปลูกผสมที่ระดับการให้ปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟต ความเข้มข้นเท่ากัน

ธีระยุทธ (2552) รายงานว่า การศึกษาชนิดวัสดุปลูกและวิธีการผสมใช้ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ กล้วยไม้สกุลหวาย พบว่า การใช้แกลบดำทำให้กล้วยไม้สกุลหวายตายน้อยที่สุด รองลงมาคือ เปลือกถั่วลิสง ขุยมะพร้าว กากขี้เอย เศษกระดาษ และแกลบดิบ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้แกลบดิบและเปลือกถั่วเหลือง ทำให้น้ำหนักต้นและรากไม้ในกล้วยไม้สกุลหวายน้อยที่สุด ส่วนขุยมะพร้าวและแกลบดำ ทำให้กล้วยไม้ในสกุล หวายมีน้ำหนักมากที่สุด และเมื่อร่วมกับกรรมวิธีการให้ปุ๋ยทำให้มีการแตกหน่อและน้ำหนักต้นเพิ่มขึ้นอย่าง ชัดเจน

นิลกุล (2547) รายงานว่า ขนาดของวัสดุปลูกพบว่าการปลูกกล้วยไม้สกุลหวายในกระบะกาบมะพร้าว สี่เหลี่ยมปลูก 4 ต้นต่อกระบะจะมีผลให้การเจริญเติบโตทางต้นและการให้ผลผลิตมากกว่าการปลูกในกระถาง พลาสติก 1 ต้นต่อกระถางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในทางตรงกันข้าม ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ พบว่า ทุกตำหรับการทดลองไม่พบความแตกต่างของธาตุอาหารหลักในใบกล้วยไม้

Chita (2009) รายงานว่า ผลของวัสดุปลูก ปุ๋ย ความถี่ของการให้น้ำ ต่อการเจริญเติบโตและออกดอก ของเอื้องแซะหอม พบว่า ต้นกล้าเอื้องแซะหอมที่ใช้สแฟคนัมมอสเป็นวัสดุปลูกร่วมกับการให้น้ำ 2 ครั้งต่อวัน ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนลำลูกกล้วยมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ และต้นกล้าในกรรมวิธีที่ได้รับปุ๋ย 2.3N:1P:2.3K ที่ ความเข้มข้นของไนโตรเจน 50 มก./ล. ทุก 5 วัน มีจำนวนลำลูกกล้วยมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ต้นเอื้องแซะ

หอมในระยะเจริญพันธุ์ที่ใช้สแฟคนัมมอสเป็นวัสดุปลูกมีจำนวนเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวลำลูกกล้วย ความกว้างใบและความยาวใบมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ การให้น้ำวันละครั้งทำให้มีจำนวนลำลูกกล้วยมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ และการได้รับปุ๋ย 3.2N:1P:3K ที่ความเข้มข้นของไนโตรเจน 50 มก./ล. ทุก 14 วัน ทำให้มีความยาวลำลูกกล้วย ความยาวใบ เปอร์เซ็นต์ต้นที่เกิดดอก และจำนวนดอกมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

Ramahsamay,K.D. (2008) รายงานว่า การนำใบปาล์มน้ำมันสับย่อยผสมกับกากตะกอนน้ำทิ้ง ในสัดส่วน 3:1 หมักทิ้งไว้นาน 12 สัปดาห์ สามารถนำมาเป็นวัสดุปลูกเบญจมาศได้ผลดี ใช้แทน peat ได้ ทำให้ลดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย

Muhammad et al. (2007) รายงานว่า วัสดุปลูกผสมดิน: FYM:leaf-mold ผลให้ Jojoba (*Simmondsia chinensis*) มีเปอร์เซ็นต์การรอดตาย จำนวนต้น ความยาวต้น ปริมาณใบต่อต้น สูงสุด เท่ากับ 76.80 %, 3.72, 7.70 ซม. และ 12.60 ใบ ตามลำดับ

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการนำเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตข้าวโพดอาหารสัตว์มีสมบัติที่ดีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การพัฒนาเครื่องจักรสำหรับแปรรูปจะช่วยเพิ่มศักยภาพการใช้ชีวมวลสำหรับโรงไฟฟ้าเพื่อเป็นเชื้อเพลิงเสริม และสามารถพัฒนาระบบการผลิตพัฒนาเชิงพาณิชย์ หรือนำไปผลิตเป็นวัตถุดิบสำหรับเอทานอลต่อไป

## ระเบียบวิธีการวิจัย (Research Methodology)

**กิจกรรมที่ 3** ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลเพื่อการเก็บรักษาและการขนส่ง (2559-2562)

**การทดลองที่ 3.1** ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2559-2561)

- 3.1.1 ศึกษาคุณลักษณะเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดที่มีการวิจัย
- 3.1.2 ทดสอบสมรรถนะเครื่องอัดก้อน CUBE ของต่างประเทศ เพื่อศึกษาปัจจัยในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักร โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ประกอบด้วยปัจจัยที่ 1) ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที), 2) ปริมาณเปลือกต่อซัง, 3) ความชื้นวัสดุ(%wb), 4) ขนาดชิ้นวัสดุ(มม) ผลตอบสนองคือ สมรรถนะ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง) และการหาสถานะที่เหมาะสมด้วยวิธี Response Surface Methodology (RSM)



ตารางที่ 6 แสดงค่าของตัวแปรและค่า Coded Value

ปัจจัย	ตัวแปร	Coded Value				
		$-\alpha$	-1	0	1	$\alpha$
ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที)	$X_1$	200	300	400	500	600
ปริมาณเปลือกต่อซังโดยน้ำหนัก	$X_2$	1/4	1/3	1/2	2/3	1
ความชื้นวัสดุ (%Wb)	$X_3$	6	11	13	15	20
ขนาดชิ้นวัสดุยาว (มม.)	$X_4$	10	50	75	100	140

3.1.3 กำหนดเงื่อนไขการออกแบบเครื่องอัดก้อนโดยใช้ปัจจัยที่ทำการศึกษาในข้อ 3.1.2 โดยออกแบบระบบอัดก้อนเปลือกข้าวโพด เป้าหมายกำลังการผลิตมากกว่า 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความหนาแน่นมากกว่า 200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.1.5 ออกแบบตามหลักวิศวกรรมและดำเนินการสร้างเครื่องจักรต้นแบบ

3.1.5 ทดสอบเครื่องจักรและปรับปรุงแก้ไข ทดสอบเครื่องจักรและปรับปรุงแก้ไข เช่นเดียวกับข้อ 3.1.2

3.1.6 จัดทำแบบทางวิศวกรรมเพื่อการผลิตและเผยแพร่

**การทดลองที่ 3.2** ศึกษากระบวนการเก็บรักษาและการขนส่งเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2560-2561)

3.2.1 การเก็บรักษา

ศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่น ลักษณะของขนาดที่เปลี่ยนไป มุมกอง สมบัติทางเคมีวิเคราะห์ องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Value) เช่น ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณสารที่ระเหยได้ (Volatile Matter) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) และ ปริมาณเถ้า (Ash Content) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM และ องค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Value) เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่อง CHNS Analyzer และสมบัติทางชีวภาพ อุณหภูมิที่เกิดจากเก็บรักษา

(Ferment) บันทึกราย 5 ตำแหน่ง จากกึ่งกลางออกมาจนถึงผิวภาชนะบรรจุ โดยภาชนะบรรจุขนาด 0.1, 1, 5 และ 10 ตัน ที่ความชื้นหลังการอัด การเกิดรา ปัจจัยจากศัตรูพืช ซึ่งกำหนดในการเก็บตัวอย่าง ทุกๆ 2 เดือน เป็นเวลา 1 ปี

### 3.2.3 การขนส่ง

ศึกษาระบบการขนส่งระยะใกล้ ไป-กลับ ไม่เกิน 60 กิโลเมตร และการขนส่งระยะทางไกล ไปกลับ 1200 กิโลเมตร เพื่อหาปัจจัยและความเป็นไปได้ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์

### 3.2.3 พัฒนาเครื่องจักรให้เป็นระบบและเป็นกระบวนการผลิต

3.2.4 ทดสอบเครื่องจักรในพื้นที่แหล่งวัตถุดิบ เช่น โรงสีข้าวโพดในจังหวัดเชียงราย ลานรับสีข้าวโพดในจังหวัดพะเยา

3.2.8 ทดสอบการใช้งานเชื้อเพลิง การเผาไหม้และประสิทธิภาพเชื้อเพลิงและทดสอบการหมักเอทานอลจากซัง ที่ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น

3.2.9 ประสานความร่วมมือกับโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงไฟฟ้าด้านข้างไปโอเอ็นเนอร์รี่ เพื่อศึกษาระบบการขนส่งเชิงพาณิชย์และคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวล

### 3.2.10 แบบทางวิศวกรรมสำหรับโรงงานต้นแบบ

**การทดลองที่ 3.3** ศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้าและการผลิตเอทานอลจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2560-2562)

3.3.3 ประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกข้าวโพดเพื่อผลิตไฟฟ้าและการผลิตเอทานอล

3.3.4 ศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้เครื่องจักรแปรรูปในการผลิตวัตถุดิบ จากเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สู่อุตสาหกรรมพลังงาน โดยแบ่งเป็นการวิเคราะห์ 1) การสร้างโรงงานแปรรูปชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2) พัฒนาต่อยอดเครื่องจักรของโรงสีข้าวโพด และ 3) การลงทุนร่วมกับโรงไฟฟ้าชีวมวล

3.3.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

3.3.2.2 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return)

3.3.2.3 วิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break Even Point Analysis: BEP)

3.3.2.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Project NPV)

3.3.2.5. อัตราส่วนลด(Discount Rate)

3.3.3 จัดทำรายงานการวิเคราะห์

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion )

### ผลการทดลองที่ 3.1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

#### 3.1.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพด

ผลการศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเปลือกและซังข้าวโพด ได้นำเครื่องอัดก้อนชีวมวลที่เป็นลักษณะ CUBE มาพัฒนาต่อยอดดังภาพที่ 3.1 เนื่องจาก เครื่อง pellet ใช้ในการอัดแท่งชีวมวลจะมีข้อจำกัดเรื่องการใช้พลังงานที่สูงต่ออัตราการผลิต ซึ่งปัจจุบันทางคณะผู้วิจัยได้นำเครื่องอัดแท่งแบบ CUBE มาศึกษาระบบกลไกในการบดย่อยและอัดแท่ง พบว่า เครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบ CUBE ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ใช้หลักการเดียวกับเครื่อง Pellet แต่ต้นกำลังมีขนาดเล็กกว่า ซึ่งในเครื่องที่นำมาศึกษาใช้มอเตอร์ขนาด 150 แรงม้า 1460 รอบ กระแส 210 แอมป์ ใช้เกียร์ทดในการเพิ่มแรงบิดในการบดอัด และมีคลัสเป็นอุปกรณ์ในการตัดต่อกำลัง ดังภาพที่ 3.2 โดยเครื่องอัดแบบ CUBE เปลี่ยนระบบกลไกของรูอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยม และมีลูกเหยียบเป็นลูกเดี่ยวขนาดใหญ่ดังภาพที่ 3.3 ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการอัดแต่จะไม่มี การบดย่อยจากลูกเหยียบเนื่องจากบริเวณผิวของลูกเหยียบเป็นลักษณะผิวเรียบไม่ส่งผลต่อการบด



ภาพที่ 3.1 การขนย้ายเครื่องอัดก้อนชีวมวลจากโรงงานเอกชนมาเพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการบริหารจัดการชีวมวลที่เกิดจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

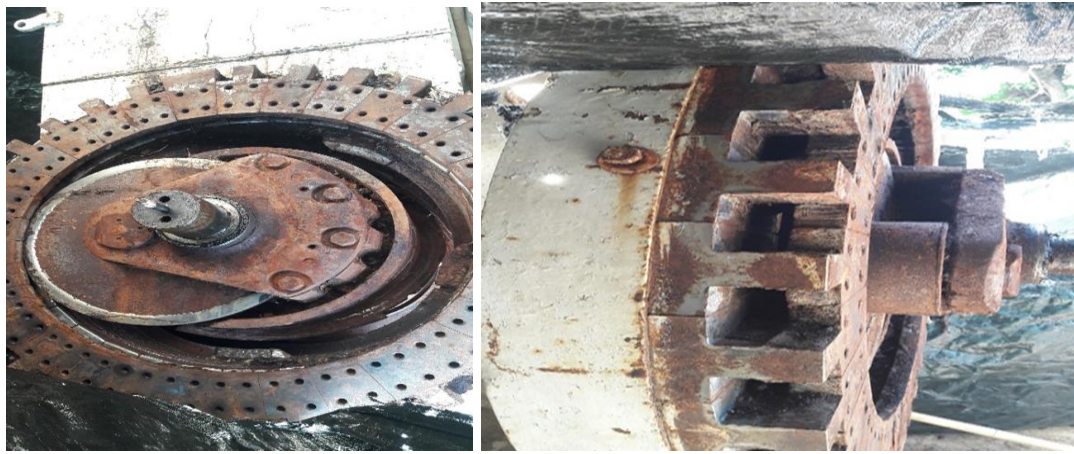
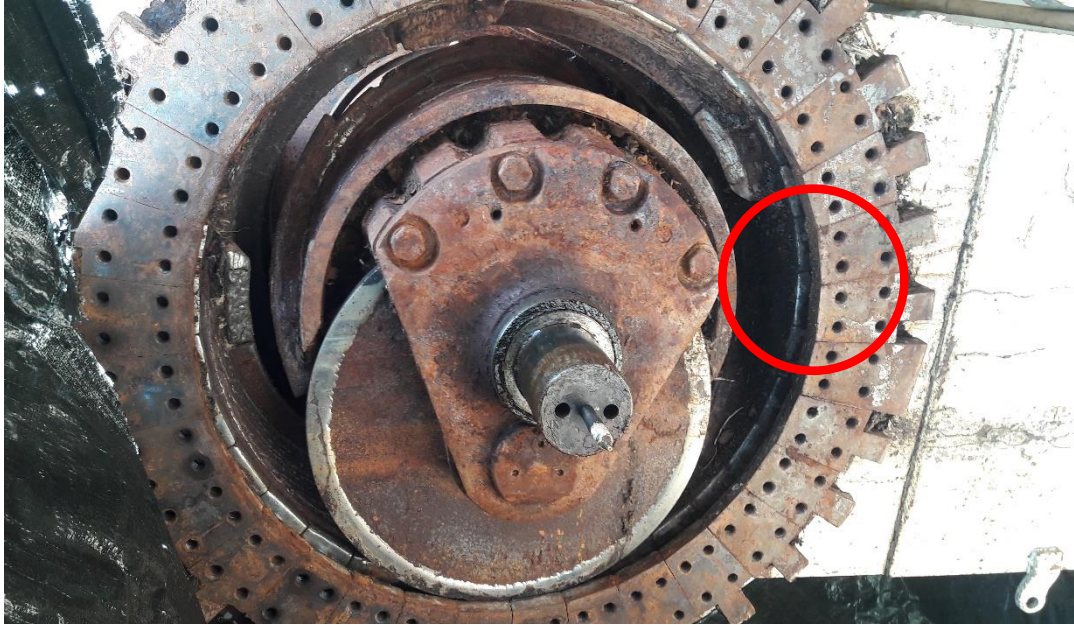


ภาพที่ 3.2 ต้นกำลังเครื่องอัดก้อนชีวมวลจากโรงงานเอกชนมาเพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการบริหารจัดการชีวมวลที่เกิดจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น

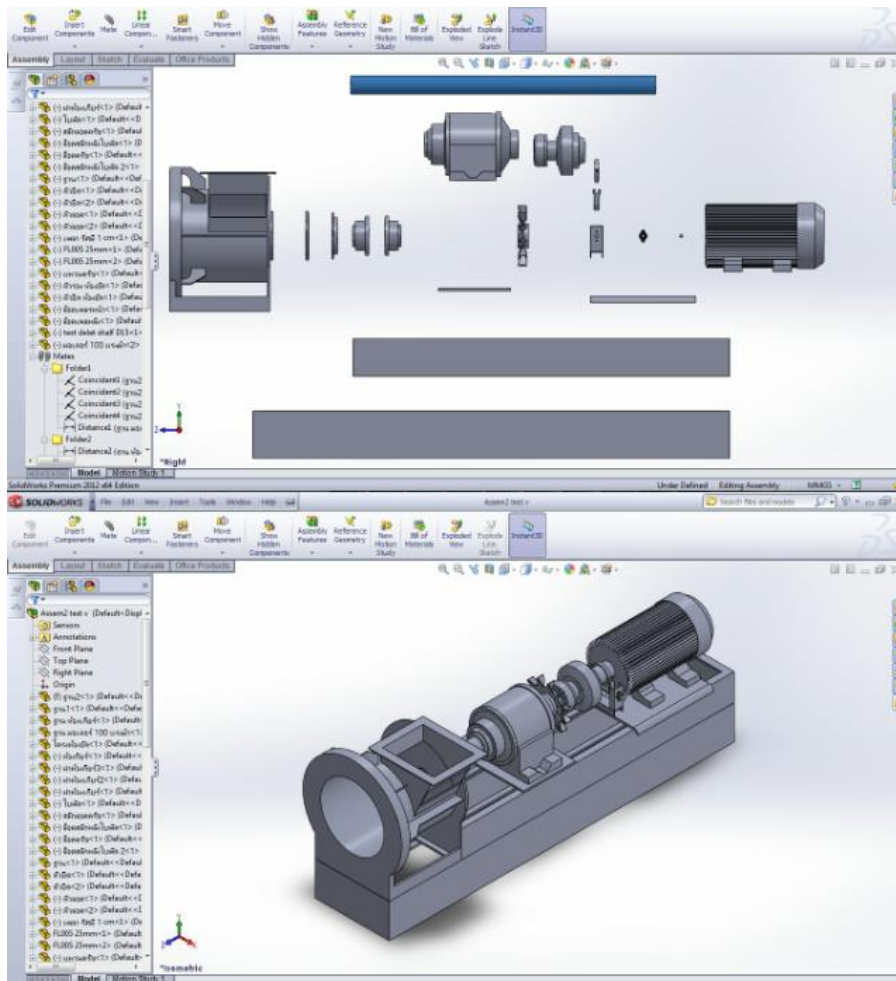
ผลการศึกษาระบบกลไกจะมีคลัชเป็นตัวตัดต่อกำลังโดยมีคั่นโยกคลัชเพื่อทำให้การตัดกำลังการหมุนจากมอเตอร์มายังเครื่องอัดและมีชุดเกียร์ทดเป็นตัวเปลี่ยนเป็นแรงบิดที่สูงขึ้น โดยระบบการป้อนเป็นระบบแบบ gravity ซึ่งไม่มีความเหมาะสมต่อการใช้กับชีวมวลที่มีลักษณะฟูหรือมีความหนาแน่นต่ำ ทำให้ผู้วิจัยมีแนวทางการพัฒนาระบบป้อนให้มีความสม่ำเสมอและสามารถอัดก้อนชีวมวลให้ได้อย่างต่อเนื่องและมีคุณภาพ โดยระบบช่องป้อนจะมีแม่เหล็กเพื่อป้องกันเศษวัสดุอื่นๆที่ไม่ประสงค์ลงไปเช่น โลหะ ซึ่งจะส่งต่อความเสียหายต่อเครื่องอัด ซึ่งในปัจจุบันได้ทำแบบทางวิศวกรรมและพัฒนาเครื่องต้นแบบดังภาพที่ 3.3-3.5 ซึ่งเครื่องจักรจะทำการทดสอบในช่วง เดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์



ภาพที่ 3.3 มีคั่นโยกคลัชเพื่อทำให้การตัดกำลังการหมุนจากมอเตอร์มายังเครื่องอัดและมีแม่เหล็กเพื่อป้องกันเศษวัสดุอื่นๆที่ไม่ประสงค์ลงไปเช่น โลหะ ซึ่งจะส่งต่อความเสียหายต่อเครื่องอัด



ภาพที่ 3.4 ลักษณะระบบกลไกการอัดและหัวอัดที่ผ่านการปรับปรุงมาใช้ในการทดสอบอัดเปลือกข้าวโพด



ภาพที่ 3.5 แบบทางวิศวกรรมของเครื่องอัดแบบ CUBE ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ



ภาพที่ 3.6 ลักษณะหัวอัดที่นำไปพัฒนาโดยใช้เหล็กหล่อเหนียวและปรับองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อวัสดุ

จากการส่งหัวอัดไปวิเคราะห์ที่โรงหล่อ วัสดุที่ใช้เป็นหลักเหนียวซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงสูตรของวัสดุ เพื่อให้สามารถทนการเสียดสีได้สูง ซึ่งจากวิเคราะห์และวัดน้ำหนักเบื้องต้น หัวอัดหนึ่งชิ้นจะมีน้ำหนัก ประมาณ 10 กิโลกรัม ดังภาพที่ 3.6 ค่าวัสดุกิโลกรัมละ 80 บาท เฉพาะค่าวัสดุตัวละ 800 บาท และค่าขึ้นรูป ประมาณราคา 1200 บาทต่อตัว ซึ่งในหนึ่งชุดจะใช้ 48 ตัว ทำให้ต้นทุนหัวอัดใช้งบประมาณ 96,000 บาท ซึ่ง งบประมาณไม่เพียงพอ จำเป็นต้องพัฒนาเครื่องจักรที่มีราคาถูก ทำให้นักวิจัยหาแนวทางการพัฒนา เครื่องจักรที่มีต้นทุนต่ำ จึงพบว่าเราสามารถนำเครื่องอัดฟางมาใช้ในการแปรรูปเปลือกให้เป็นฟอน โดยใช้ ระบบการแยกเปลือกและซังอยู่บนช่องป้อน ซึ่งได้ทดสอบจากเครื่องจักรที่มีอยู่และเครื่องจักรของเกษตรกร ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การทดสอบและการพัฒนาเครื่องต้นแบบ

3.1.2 ทดสอบสมรรถนะเครื่องอัดก้อน CUBE ของต่างประเทศ เพื่อศึกษาปัจจัยในการออกแบบและพัฒนา เครื่องจักร โดยวางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ประกอบด้วยปัจจัยที่ 1) ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที), 2) ปริมาณเปลือกต่อซัง, 3) ความชื้นวัสดุ(%wb), 4) ขนาดชิ้นวัสดุ(มม) ผลตอบสนองคือ สมรรถนะ(กิโลกรัมต่อชั่วโมง) และการหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธี Response Surface Methodology (RSM)

จากข้อมูลการทดสอบเบื้องต้นโดยการใช้เครื่องอัดฟองฟางในการอัดเปลือกและซังข้าวโพด พบว่า ประสพปัญหาซังข้าวโพดจะสะสมอยู่ด้านล่าง และทำให้อ่อนที่ผ่านการอัดไม่สามารถมัดได้แน่น อีกทั้งการใช้



เครื่องอัดฟ่อนที่เป็นแบบคนป้อนยังประสบปัญหาต้องใช้แรงงาน 5-6 คน ไม่สะดวกและเป็นการเพิ่มต้นทุน ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ เพราะฉะนั้นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น จะต่อกับระบบการแยกเปลือกและซัง โดยเครื่องต้นแบบที่พัฒนาใช้รูปแบบแนวตั้ง และสามารถเปิดฝาข้างหน้าได้ ทำให้สะดวกต่อการจัดการและความปลอดภัย เครื่องเครื่องต้นแบบได้สร้างเสร็จแล้ว และจะทำการทดสอบต่อไป ดังภาพที่ 3.8 – 3.10 ซึ่งจากการออกแบบเป็นการออกแบบเครื่องอัดแนวตั้ง เพื่อให้ได้ขนาดก้อนชีวมวลขนาด 50x50x60 cm<sup>3</sup> โดยใช้เครื่องต้นกำลังขนาด 2 แรงม้า 1 เฟส 50 เฮิร์ตซ์ และใช้เกียร์บีบในการผลิตความดัน ซึ่งเป็นบีบที่เพิ่มความดันอย่างต่อเนื่องเมื่อมีแรงกระทำ ซึ่งขนาดของอัตราการไหลบีบมีขนาด 10 cc/rev โดยขับบีบที่ความเร็วรอบ 725 รอบต่อนาที และใช้วาล์ว 4/3 ในการควบคุม ขึ้น-ลง



ภาพที่ 3.8 เครื่องต้นแบบเครื่องอัดเปลือกข้าวโพดแนวตั้ง



ภาพที่ 3.9 การทดสอบอัดก้อนเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์



ภาพที่ 3.10 ก้อนเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ผ่านการอัด

จากการทดสอบเบื้องต้น ขนาดก้อน 50x50x60 cm<sup>3</sup> มีน้ำหนัก 46-48.6 กิโลกรัม หรือ ความหนาแน่น 306.67-324.0 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับเปลือกและซังข้าวโพดฤดูการเก็บเกี่ยวปลายฝน และ มีน้ำหนัก 22.3-24.1 กิโลกรัม หรือ ความหนาแน่น 148.7-160.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับเปลือกและซังข้าวฤดูการเก็บเกี่ยวฤดูหนาวที่มีสภาพแห้งมาก จากเดิมที่ใช้เครื่องอัดฟางได้ความหนาแน่นเพียง 78.1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้สามารถขนส่งได้ง่ายและสามารถป้อนโรงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นทดสอบในโรงสีข้าวโพดหรือลานข้าวโพดต่อไป

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบอัดก้อนเปลือกและซังข้าวฤดูการเก็บเกี่ยวปลายฝน (ก.ย.-ต.ค.)

ก้อนที่	ซ้ำ 1		ซ้ำ 2		ซ้ำ 3	
	น.น. (กก)	เวลา(นาที)	น.น. (กก)	เวลา(นาที)	น.น. (กก)	เวลา(นาที)
1	62	17	53	15	47	9
2	49	9	51	10	53	14
3	42	7	34	6	33	6
4	50	9	47	8	43	7
5	40	7	49	8	54	9
เฉลี่ย	48.6	9.8	46.8	9.4	46	9
ความหนาแน่น (กก/ลบ.ม)	324		312		306.7	

หมายเหตุ: สภาพเปลือกและซังมีความชื้นสูงแต่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบอัดก้อนเปลือกและซังข้าวฤดูการเก็บเกี่ยวฤดูหนาว (พ.ย.-ก.พ.)

ก้อนที่	ซัง 1		ซัง 2		ซัง 3	
	น.น. (กก)	เวลา(นาที)	น.น. (กก)	เวลา(นาที)	น.น. (กก)	เวลา(นาที)
1	17	11	20	13	26	22
2	20	12	22	11	28	23
3	19	12	24	15	27	24
4	25	15	24	16	28	24
5	23	15	25	16	22	15
6	26	16	24	15	19	13
7	22	12	24	16	23	16
8	24	14	25	18	21	14
9	25	14	25	17	25	20
10	22	12	25	18	22	14
เฉลี่ย	22.3	13.3	23.8	15.5	24.1	18.5
ความหนาแน่น(กก/ลบ.ม)	148.7		158.7		160.7	

หมายเหตุ: สภาพเปลือกและซังมีความชื้นแห้งมากแต่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลและอาหารสัตว์ได้ดี



ภาพที่ 3.11 การพัฒนาไส้ตันกำลังมอเตอร์ต้นกำลัง 2 แรงม้า 1 เฟส บีบเฟือง 10 cc/rev วาล์ว 4/3 ซึ่งจากการทดสอบเบื้องต้นเวลาต่อก่อน 5 นาที 40 วินาที ในสภาวะเปลือกข้าวโพดแห้งมาก

#### การทดสอบในแปลงเกษตรกร

การทดสอบเครื่องอัดก้อนชีวมวลได้ทำการพัฒนาขึ้นและทำการศึกษาโดยใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า และเครื่องยนต์ต้นกำลัง 5.5 แรงม้า (เครื่องยนต์เบนซิน) ดังภาพที่ 3.12-3.13 และทำการเปรียบเทียบเครื่องอัดก้อนต่างประเทศยี่ห้อ Presall ของประเทศออสเตรเลีย สิทธิบัตรเลขที่ 13942/66 ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.12 การทำงานของเครื่องอัดชีวมวลแบบไฮดรอลิกที่มีการพัฒนาขึ้น



ภาพที่ 3.13 การทดสอบเครื่องอัดชีวมวลแบบไฮดรอลิกที่มีการพัฒนาขึ้นกับต้นกำลังเครื่องยนต์เบนซินขนาด 5.5 แรง



ภาพที่ 3.14 การทดสอบอัดก้อนเปลือกและซังข้าวโพดโดยใช้เครื่องอัดก้อนชีวมวลที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ



ภาพที่ 3.15 นำซีวมวลออกจากเครื่องอัดก้อนและทำการชั่งน้ำหนัก โดยบันทึกระยะเวลาการอัดก้อน ตั้งแต่เริ่มกระบวนการของการอัดซีวมวล 1 ก้อน

ตารางที่ 3.3 แสดงระยะเวลาและน้ำหนักในการอัดก้อนซีวมวลด้วยเครื่องอัดชนิดต่างๆ

เครื่องอัด	ระยะเวลาในการอัดก้อนซีวมวลด้วยเครื่องอัดต่างประเทศ *					
	(นาที)					
	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
เครื่องอัดต่างประเทศ	7.00	26.08	6.07	31.23	5.49	34.40
แบบไฮดรอลิกต้นกำลังเบนซิน	5.36	26.04	5.50	26.58	6.21	32.52
แบบไฮดรอลิกโดยใช้ไฟฟ้า	5.07	24.44	5.30	26.79	5.41	30.90

ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบสมรรถนะการอัดซีวมวลของเครื่องอัด

เครื่องอัดซีวมวล	จำนวนก้อน เฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง	เวลาในการ อัดเฉลี่ยแต่ ละก้อน (นาที)	น้ำหนักของ ซีวมวลรวม ทดสอบ (กิโลกรัม)	น้ำหนักซีว มวลต่อก้อน (กิโลกรัม)	ความ หนาแน่น กก/ลบ.ม
เครื่องอัดต่างประเทศ <sup>1</sup>	10	6.17	1,360.65	29.85	124.38 <sup>1</sup>
แบบไฮดรอลิกต้น กำลังเบนซิน	11	5.55	393.20	27.56	183.7
แบบไฮดรอลิกโดยใช้ ไฟฟ้า	12	5.00	1,232.00	28.08	187.2

หมายเหตุ : <sup>1</sup>ขนาดก้อน 50x60x80 เซนติเมตร

จากการทดสอบพบว่าการออกแบบเครื่องอัดในแนวตั้งจะทำให้ก้อนอัดเปลือกข้าวโพดมีความหนาแน่นสูงกว่าแบบแนวนอน ซึ่งการใช้ต่อกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าจะมีความต่อเนื่องมากกว่าการใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์เล็ก

### การทดลองที่ 3.2 ศึกษากระบวนการเก็บรักษาและการขนส่งเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2560-2561)

นำตัวอย่างไปหาคุณสมบัติสำหรับการบริหารจัดการ การเก็บรักษาและขนส่งเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดังนี้

ผลการศึกษา

#### 3.2.1 การเก็บรักษา

- ความหนาแน่น (Bulk Density)
- ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

การเก็บรักษาเปลือกและซังข้าวโพดหลังจากการแยกเมล็ด,เปลือกและซังข้าวโพดออกจากกัน โดยทางลานรับซื้อจะเก็บรักษาเปลือกและซังข้าวโพด ด้วยวิธีการกองไว้ที่ลานไม่ให้รวมกับเมล็ดและที่ตากหรือพีซชนิดอื่นที่รับซื้อ จากการสำรวจพบว่า จะมีเกษตรกรมาซื้อเพื่อไปเป็นอาหารของโคนมเพื่อทดแทนหญ้า ในพื้นที่ใกล้เคียง



ภาพที่ 3.16 การแยกเมล็ด,เปลือก,ซังข้าวโพดและการเก็บรักษาเปลือกและซังข้าวโพด



ภาพที่ 3.17 ลักษณะเปลือกและซังข้าวโพด หลังจากการแยกเมล็ดออก

- ความหนาแน่น (Bulk Density)



ภาพที่ 3.18 การทดลองเปลือก ซัง เปลือกและซังข้าวโพด

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าความหนาแน่นของซังและเปลือกข้าวโพด

ชื่อวัสดุ (แบบการทดสอบ)	ความชื้นของวัสดุที่ทำการทดสอบหาความหนาแน่น (%)	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )
เปลือก	6.55	18.35 <sup>2)</sup>
เปลือก (อัด)	6.55	30.58 <sup>2)</sup>
ซังและเปลือก	5.51	140.21 <sup>1)</sup>
ซังและเปลือก	5.51	30.58 <sup>2)</sup>
ซังและเปลือก (อัด)	5.51	48.92 <sup>2)</sup>
ซัง	5.73	128.44 <sup>2)</sup>
ซัง (อัด)	5.73	152.90 <sup>2)</sup>

หมายเหตุ <sup>1)</sup>ขนาดกะบะรถบรรทุก 6 ล้อ คอกสูง กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.3 x 5.5 x 1.4 ลูกบาศก์เมตร

<sup>2)</sup>ขนาดภาชนะที่ทำการทดสอบ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 0.31 x 0.31 x 0.34 ลูกบาศก์เมตร



-การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content) ตามมาตรฐาน ASTM E871-82

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าความชื้นของซังและเปลือกข้าวโพด

ชื่อวัสดุ	ปริมาณความชื้น (%)			
	ค่ามากที่สุด (Max)	ค่าน้อยที่สุด (Min)	ค่าเฉลี่ย (Average)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
ซังข้าวโพด	39.43	30.31	34.94	3.78
เปลือกข้าวโพด	14.22	12.04	13.07	0.78

ตารางที่ 3.7 สมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเปลือกและซังแบบประมาณ (Proximate Value) และแบบแยกธาตุ (Ultimate Value)

คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง		เปลือก	ซัง
ร้อยละความชื้นเริ่มต้น(Wet basis)		6.9	9.38
องค์ประกอบ แบบประมาณ (Dry basis)	ร้อยละของสารระเหย (%VM)	87.35	81.31
	ร้อยละของเถ้า (%Ash)	3.63	1.80
	ร้อยละของคาร์บอนคงตัว(%FC)	2.15	7.51
องค์ประกอบ แบบละเอียด (Dry basis)	ร้อยละของคาร์บอน (%C)	50.86 <sup>(1)</sup>	48.45
	ร้อยละของไฮโดรเจน (%H)	4.86 <sup>(1)</sup>	6.49
	ร้อยละของไนโตรเจน (%N)	1.55 <sup>(1)</sup>	0.45
	ร้อยละของซัลเฟอร์(%S)	0.34 <sup>(1)</sup>	0.16
	ร้อยละของออกซิเจน (%O)	40.01 <sup>(1)</sup>	43.11
ค่าความร้อนสูง LHV (kJ/kg)		15,379	16,883

หมายเหตุ <sup>1)</sup>ที่मा วีรชัย และคณะ 2554

พบว่าองค์ประกอบโดยประมาณของซังและเปลือกข้าวโพดมีความชื้นอยู่ที่ 6.9 % และ 9.38 % ความชื้นฐานเปียก ปริมาณสารที่ระเหยได้ 81.31% และ 87.35% ส่วนของเถ้าอยู่ที่ 1.83 และ 2.66 ส่วนของคาร์บอนคงตัวอยู่ที่ 7.51 และ 2.51 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นบริเวณเปลือกข้าวโพดมีความสูงสูงกว่าบริเวณของซัง ส่วนปริมาณของสารระเหยของทั้งเปลือกและซังอยู่ในร้อยละที่ใกล้เคียงกันและปริมาณของเถ้าหรือสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่จะพบในเปลือกข้าวโพดสูงกว่าในส่วนของซัง และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุในส่วนของซังข้าวโพดพบว่าในซังข้าวโพดมีปริมาณคาร์บอน 48.5 % ไฮโดรเจน 6.49% ไนโตรเจน 0.45% ซัลเฟอร์ 0.16% และออกซิเจน 43.35% เห็นได้ชัดเจนว่าในเปลือกข้าวโพดมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงกว่าเปลือกข้าวโพด และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบแบบแยกธาตุ ในซังข้าวโพดแล้วยังพบธาตุคาร์บอนสูงกว่าธาตุอื่นจึงมีแนวโน้มนำซังข้าวโพดเข้าสู่กระบวนการทดสอบเพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิงและนำเชื้อเพลิงที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพในลำดับต่อไป

### 3.2.2 การขนส่ง

จากการศึกษาการขนส่ง ระยะทาง 200 กิโลเมตร จากสหกรณ์การเกษตรเพื่อการตลาดลูกค้า ธกส. นครราชสีมา อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา มายัง ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น จ.ขอนแก่น

ทีมวิจัยได้ดำเนินการศึกษาวิธีการขนส่งซังและเปลือกข้าวโพดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันในพื้นที่ศึกษาวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการขนส่ง ครั้งนี้ได้ศึกษาการขนส่งเปลือกและซังข้าวโพดโดยรถ 6 ล้อและรถกระบะ โดยศึกษาตั้งแต่วิธีการขนย้ายเปลือกและซังข้าวโพดจากกองที่ลานรับซื้อเพื่อบรรทุกบนรถขึ้นใส่รถ 6 ล้อและรถกระบะ วิธีการขนย้ายเปลือกและซังข้าวโพดลงจากรถ น้ำหนักที่บรรทุกได้ โดยการขนย้ายจากกองที่ลานรับซื้อเพื่อบรรทุกบนรถขึ้นใส่รถ 6 ล้อและรถกระบะใช้รถตักขนาดใหญ่เป็นเป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็ว ดังภาพที่ 3.19-3.21 และวิธีการขนเปลือกและซังข้าวโพดลงจากรถ 6 ล้อ ได้ใช้แรงงานคนในการขนย้ายซึ่งทำได้ค่อนข้างลำบากและใช้เวลานาน เนื่องจากรถ 6 ล้อที่ทำการศึกษเป็นแบบไม่มีดัมพ์ ดังภาพที่ 3.21 แต่ถารถ 6 ล้อเป็นแบบดัมพ์ลงได้ก็จะทำได้สะดวกและรวดเร็ว และการศึกษาพบว่ารถ 6 ล้อใช้อัตราเชื้อเพลิงในการขนส่ง 5 กิโลเมตรต่อน้ำมันเชื้อเพลิง 1 ลิตร

สำหรับการขนส่งโดยรถกระบะ ได้ศึกษาเฉพาะวิธีการขนย้ายเปลือกและซังข้าวโพดจากกองที่ลานรับซื้อเพื่อบรรทุกบนรถขึ้นใส่รถกระบะ ด้วยรถตักขนาดใหญ่เป็นเป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็วดังภาพที่ 3.22-3.23

จากการศึกษาพบว่า น้ำหนักที่บรรทุกได้และเวลาที่ใช้ในการขนย้ายจากกองที่ลานรับซื้อเพื่อบรรทุกบนรถของรถ 6 ล้อและรถกระบะ 4 ล้อแตกต่างกันดังตาราง 3.8

**ตารางที่ 3.8** น้ำหนักที่บรรทุกได้ของรถบรรทุก 2 ชนิด

ชนิดของรถบรรทุก	เวลาที่ใช้ในขนย้ายเพื่อบรรทุก (นาที)	น้ำหนักที่บรรทุกได้ (กิโลกรัม)
-----------------	--------------------------------------	--------------------------------

รถกระบะ	9	1,525
รถ6ล้อ	17	3,370



ภาพที่ 3.19 การขนย้ายซังและเปลือกข้าวโพดจากลานขึ้นบรรทุกบนรถ6ล้อด้วยรถตัก (CAT รุ่น 910F)



ภาพที่ 3.20 การขนย้ายซังและเปลือกข้าวโพดจากลานขึ้นบรรทุกบนรถ6ล้อ ด้วยรถตัก (CAT รุ่น 910F)



ภาพที่ 3.21 รถบรรทุก 6 ล้อขณะกำลังซังน้ำหนั และขั้นตอนการลงเปลือกและซังข้าวโพดจากรถโดย แรงงานคน



ภาพที่ 3.22 รถกะบะ และการขนย้ายซังและเปลือกข้าวโพดจากลานขึ้นบรรทุกบน รถกะบะด้วยรถตัก (CAT รุ่น 910F)



ภาพที่ 3.23 รถกะบะบรรทุกซังและเปลือกข้าวโพดและซังน้ำหนักร

จากการศึกษาการขนส่ง ระยะทาง 70 กิโลเมตร จากลานไทยเจริญพืชผล อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น มายัง ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น จ.ขอนแก่น

ทีมวิจัยได้ดำเนินการศึกษาวิธีการขนส่งซังและเปลือกข้าวโพดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันในพื้นที่ศึกษา วิเคราะห์ ประสิทธิภาพการขนส่ง ครั้งนี้ได้ศึกษาการขนส่งเปลือกและซังข้าวโพดโดยรถล้อและรถพ่วง โดยศึกษาตั้งแต่วิธีการขนย้ายเปลือกและซังข้าวโพดจากกองที่ลานรับซื้อเพื่อบรรทุกบนรถขึ้นใส่รถล้อและรถพ่วง วิธีการขนย้ายเปลือกและซังข้าวโพดลงจากรถ น้ำหนักที่บรรทุกได้ โดยการขนย้ายจากกองที่ลานรับซื้อเพื่อ บรรทุกบนรถขึ้นใส่รถล้อและรถพ่วงโดยใช้รถตักขนาดใหญ่เป็นเป็นวิธีการที่สะดวกและรวดเร็ว ดังภาพที่ 3.24-3.29 และวิธีการขนเปลือกและซังข้าวโพดลงจากรถล้อ ได้ใช้แรงงานคนในการขนย้ายซึ่งทำได้ค่อนข้าง ลำบากและใช้เวลานาน เนื่องจากรถล้อที่ทำการศึกษเป็นแบบไม่มีดัมพ์ ดังภาพที่ 3.26-3.27 แต่ถ้รถล้อ เป็นแบบดัมพ์ลงได้ก็จะทำได้สะดวกและรวดเร็ว ส่วนการขนเปลือกและซังข้าวโพดลงจากรถพ่วงต้องทำอย่าง ระมัดระวังโดยการขนย้ายลงจะต้องค่อยๆดัมพ์ลงเพื่อจะไม่ทำให้เปลือกและซังข้าวโพดอัดตัวกันแน่นเนื่อง จากการดัมพ์ลงอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 3.30 แต่ถ้รียบดัมพ์ลงอย่างรวดเร็วจะทำให้เปลือกและซังข้าวโพดอัดตัวกัน แน่นที่ด้านหลังของดัมพ์จึงต้องใช้แรงงานคนในการแก้ไข ดังภาพที่ 3.31 เพื่อให้สามารถดัมพ์ลงได้อย่าง สะดวกแต่วิธีการนี้ใช้เวลานานในการแก้ไข ดังภาพที่ 3.32-3.33 จากการศึกษาพบว่า น้ำหนักที่บรรทุกได้และ เวลาที่ใช้ในการขนย้ายจากกองที่ลานรับซื้อเพื่อบรรทุก บนรถของรถล้อ ดังตารางนี้

ตารางที่ 3.8 น้ำหนักที่บรรทุกได้ของรถบรรทุก6ล้อ

ชนิดของรถบรรทุก	เวลาที่ใช้ในการขึ้นชีวมวล (นาที)	น้ำหนักที่บรรทุกได้ (กิโลกรัม)
รถ6ล้อ	10	1,535
รถพ่วง (2พ่วง)	24	8,585



ภาพที่ 3.24 บริเวณด้านหน้าลานไทยเจริญพืชผล อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น



ภาพที่ 3.25 การขนย้ายเปลือกและซังข้าวโพดจากลานตากขึ้นบรรทุกบนรถ6ล้อด้วยรถดัก (komatsu)



ภาพที่ 3.26 รถ 6 ล้อบรรทุกเปลือกและซังข้าวโพดและซังน้ำหนัก



ภาพที่ 3.27 การนำเปลือกและซังข้าวโพดลงจากรถโดยแรงงานคน



ภาพที่ 3.28 การขนย้ายเปลือกและซังข้าวโพดจากลานตากขึ้นบรรทุกบนรถพ่วงด้วยรถตัก (komatsu)



ภาพที่ 3.29 รถพ่วงขณะซังน้ำหนัก



ภาพที่ 3.30 การตม้พแล้วเกิดปัญหาเปลือกและอัดตัวแน่น



ภาพที่ 3.31 ใช้แรงงานคนในการแก้ไขเปลือกและซ่งข้าวโพดที่อัดตัว



ภาพที่ 3.32 ใช้แรงงานคนในการแก้ไขเปลือกและซ่งข้าวโพดที่อัดตัวและใช้แรงงานคนในการแก้ไขเปลือกและซ่งข้าวโพดที่อัดตัว



ภาพที่ 3.33 การตม้ฟลงของเปลือกและซังข้าวโพดหลังจากการแก้ไข

เมื่อมีการนำเครื่องอัดก่อนมาใช้จากการศึกษาลักษณะการบรรจุทุกเคลื่อนย้ายก้อนชีวมวลจากการศึกษาอัตราบรรจุทุกชีวมวลของรถ 6 ล้อ มีขนาดพื้นที่ 9.03 ตารางเมตร (รถบรรจุทุก 6 ล้อขนาดกลาง ความกว้าง 2.10 เมตรยาว 4.30 เมตร ) สามารถเรียงก้อนชีวมวลขนาดปริมาตร 0.15 ลบ.ม. (กxยxส 0.5x0.6x0.5) ได้  $9 \times 3 \times 4 = 108$  ก้อน เทียบเท่ากับน้ำหนัก 3,032 ตัน และการเรียงก้อนชีวมวลขนาดปริมาตร 0.24 ลบ.ม. (กxยxส 0.5x0.8x0.6) ได้  $6 \times 3 \times 4 = 72$  ก้อน เทียบเท่ากับน้ำหนัก 2,149 ตัน จากเดิม 1,535 ตัน และมีทำการจัดเรียงจะได้เพียง 68 ก้อน ซึ่งในการขนส่งจะสามารถเพิ่มความสูงได้



ภาพที่ 3.34 รถบรรจุทุกที่ทำการขนส่งชีวมวลมีความกว้าง 2.10 เมตรยาว 4.30 เมตร ระยะความสูงในการบรรจุทุกก้อนชีวมวลอยู่ที่ 2 เมตร จัดเรียงได้ 3 แถว จำนวนแถวละ 4 ก้อน สำหรับแถวด้านข้าง และ 3 ก้อนสำหรับแถวกลาง

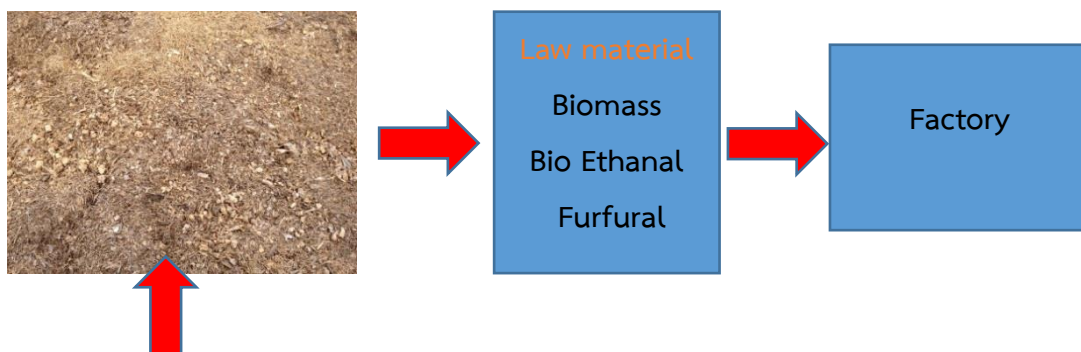




ภาพที่ 3.35 การจัดเรียงก้อนชีวมวลสำหรับขนส่ง 1 ครั้ง สำหรับรถบรรทุกที่มี (รถบรรทุก 6 ล้อขนาดกลาง) สามารถบรรทุกชีวมวลได้เต็มอัตราจำนวน 68 ก้อน

ผลการทดลองที่ 3.3 ศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้าและการผลิตเอทานอลจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2560-2562)

สำหรับผลการวิจัยใช้เครื่องจักรในการประเมินแสดงดังภาพที่ 3.36





ภาพที่3.36 เครื่องจักรที่นำมาประเมิน LCA



ภาพที่3.37 การสร้างโรงงานต้นแบบเพื่อแปรรูปเปลือกและซังสำหรับการเป็นเชื้อเพลิง



1 เครื่องแยกเปลือกและซังข้าวโพด



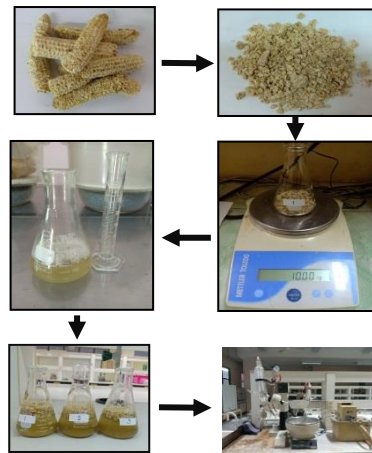
2 เครื่องอัดก้อนเปลือกและซังข้าวโพด



3 เครื่องบดและย่อยซังข้าวโพด



4. การผลิตถ่านจากซังข้าวโพด



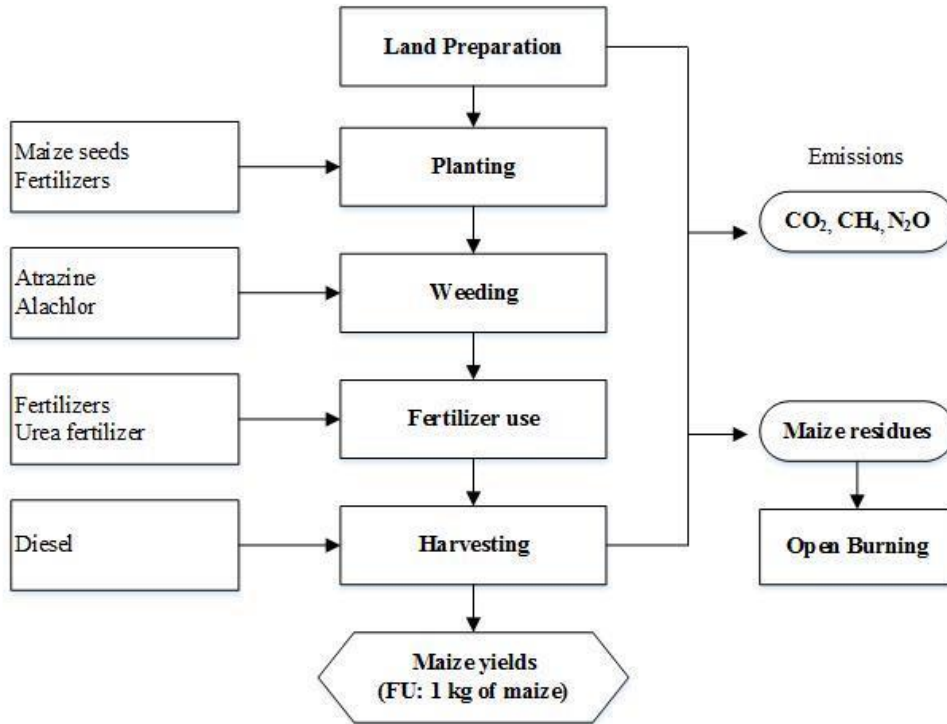
5. การผลิตเอทานอลจากซังข้าวโพด



6. เครื่องอัดก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ และเครื่องอัดถ่านจากซังข้าวโพด

**ภาพที่ 3.38** กระบวนการแปรรูปเปลือกและซังสำหรับการเป็นเชื้อเพลิง

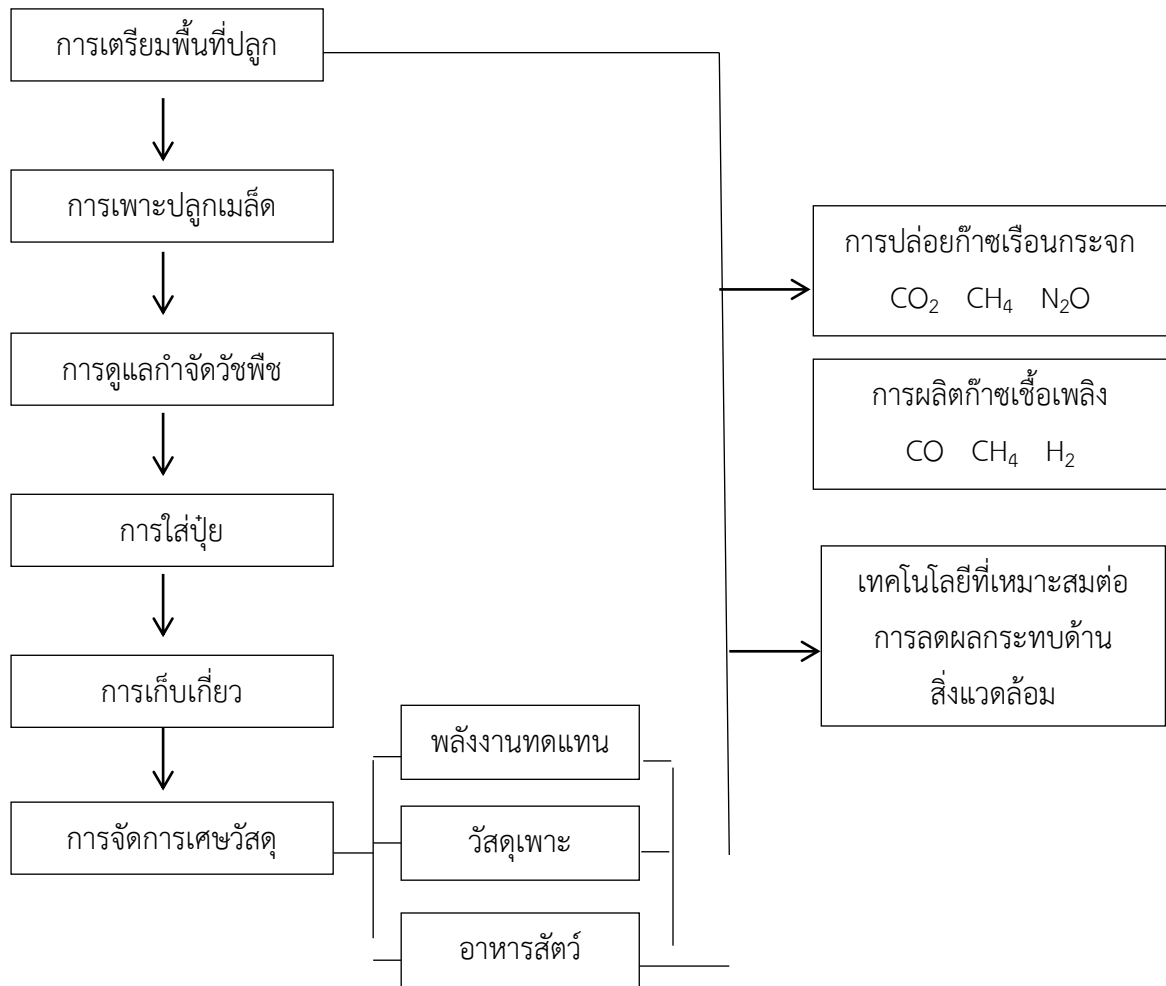
และผลจากการตรวจเอกสารของ (ฐิฎาพร และคณะ, 2559) cradle-to-farm gate ประกอบด้วย ขั้นตอนการปลูก ได้แก่ การเตรียมพื้นที่ปลูก การหยอดเมล็ด กำจัดวัชพืช และการใส่ปุ๋ย ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว ผลผลิต และขั้นตอนการจัดการเศษวัสดุด้วยวิธีการเผา ขอบเขตการศึกษาแสดงดังภาพที่ 3.39



**ภาพที่ 3.39** การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะสร้างมลพิษทางอากาศ CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> และ N<sub>2</sub>O จากการปลูก และเผาในที่โล่งแจ้ง

ที่มา: ฐิฎาพร และคณะ, 2559

การกำหนดขอบเขตการพิจารณาแบบ Cradle to Grave จะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ (ธรรมชาติ) จนถึงขั้นตอนการจัดการเศษวัสดุหรือทำลายซาก (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2551) เป็นการประเมินตั้งแต่ การเตรียมพื้นที่ปลูก การปลูก การดูแลกำจัดวัชพืช การใส่ปุ๋ย ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว การจัดการเศษวัสดุ เช่น การนำไปเผาเป็นถ่านอัดก้อนเป็นชีวมวล ผลิตเอทานอล และนำไปเป็นอาหารสัตว์ ขอบเขตการศึกษาแสดงดังภาพที่ 3.40



ภาพที่ 3.40 ขอบเขตการศึกษากิจกรรมการแปรรูปเปลือกและซังโพดเลี้ยงสัตว์

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองการหมักเอทานอลในระดับห้องปฏิบัติการ

ขวดที่	น้ำหนักซังข้าวโพด (g)	ปริมาณเอทานอลที่กลั่นได้จากการ ทดลอง (mL.)	ปริมาณเอทานอล ใน การใช้ซังข้าวโพด 100 g
1	10.01	5.2	51.94
2	10.02	5.0	49.90
3	10.00	4.8	48.00
<b>เฉลี่ย</b>	<b>10.01</b>	<b>5.0</b>	<b>49.95</b>

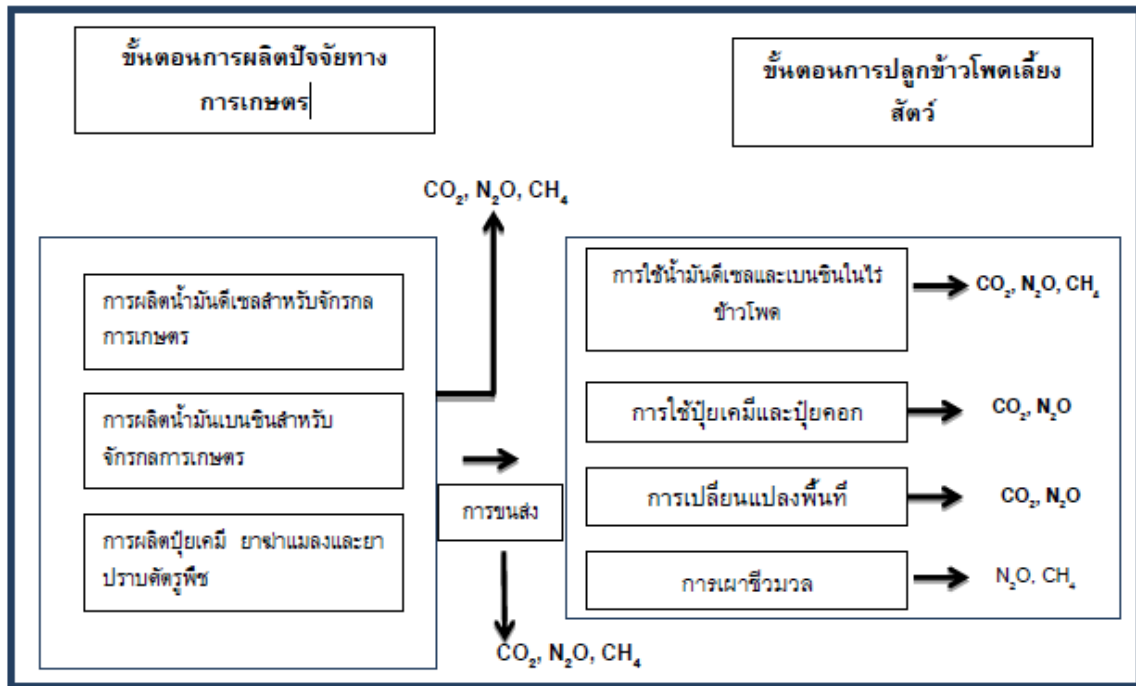
ผลการทดลองจากการหมักซังข้าวโพดเพื่อผลิตเอทานอลโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* พบว่าการใช้ซังข้าวโพด 10 g ต่อปริมาณเชื้อในอาหารเหลว 100 ml ให้ปริมาณเอทานอล ที่กลั่นระเหยได้ 5.0 ml เมื่อเทียบเป็นการใช้วัตถุดิบซังข้าวโพด 100 g ต่อปริมาณเชื้อ 1000 ml. ให้ปริมาณเอทานอล 49.95 ml หรือให้ผลผลิตการย่อยร้อยละ 49.95 ในปี 2007 chen และคณะ ได้ทำการย่อยซังข้าวโพดโดยการนำซังข้าวโพดมาปรับสภาพก่อนการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียสนาน นาน 3 ชั่วโมง จากนั้นนำซังข้าวโพดที่ได้ ล้างกรดซัลฟิวริกออกจนเป็นกลาง และและอบแห้งเข้าสู่กระบวนการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* ให้ผลผลิตการย่อยร้อยละ 67.5 และในปี 2010 Kahar และคณะ ทำการปรับสภาพซังข้าวโพดด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นร้อยละ 5.0 ที่อุณหภูมิ 122 องศาเซลเซียสนาน นาน 20 นาที และทำการย่อยต่อด้วยเซนไซม์อะไมเลส 3 วัน จากนั้นหมักต่อด้วยเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* NBRC2114 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสนาน 36 ชั่วโมง ได้ผลผลิตการย่อยร้อยละ 77

ตารางที่ 3.10 แสดงกระบวนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

สารขาเข้า	กระบวนการ	สารขาออก
-น้ำ	-เตรียมพื้นที่ปลูก	- ผลผลิต ,ผลผลิตร่วม
- ปุ๋ยเคมี	-การเพาะปลูก	- มลพิษอากาศ
- สารกำจัดวัชพืช	-การดูแลกำจัดวัชพืช	CO <sub>2</sub> , CO , NO <sub>x</sub> , NMVOC, PM <sub>10</sub> , NH <sub>3</sub>
- สารกำจัดแมลงศัตรูพืช	-การใส่ปุ๋ย	-ก๊าซเรือนกระจก
- สารป้องกันและรักษาโรคพืช	-การเก็บเกี่ยว	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
- น้ำมันเชื้อเพลิง	-การจัดการเศษวัสดุ	- มลพิษทางน้ำ
-ไฟฟ้า	-การเผาซังข้าวโพด (Gasifier)	N, P
-วัสดุอุปกรณ์อื่นๆ	-การอัดก้อนชีวมวล	
- พื้นที่ดิน	-การผลิตเอทานอล	
	-การผลิตปุ๋ยอินทรีย์	
	-การผลิตอาหารสัตว์	

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2551

จากฐานข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคเกษตรในปี 2554 พบว่าการผลิตปัจจัยทางการเกษตรตลอดช่วงเวลากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.41



ภาพที่ 3.41 ขอบเขตการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์  
ที่มา: บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ,2555

ตารางที่ 3.11 การคำนวณการปล่อยก๊าซ N<sub>2</sub>O จากการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปี พ.ศ. 2559 จากข้อมูลการสำรวจข้อมูลในพื้นที่ปลูกจังหวัดเชียงใหม่

ประเภทข้อมูล (หน่วย)	สูตรการคำนวณ	ผลการคำนวณ
(1) พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	-	186,107
(2) อัตราการใช้ปุ๋ย N	-	33
(3) ปริมาณ N จากปุ๋ย (kg)	(1) × (2)	6,141,531
(4) ปริมาณการปล่อยก๊าซ N <sub>2</sub> O โดยตรง (kg N <sub>2</sub> O )	ปริมาณ N × ค่าการปล่อย × 44/28	=6,141,531×0.01×44/28=96,483.45
(5) ปริมาณการปล่อยก๊าซ N <sub>2</sub> O โดยอ้อมจากการตกสะสมของ NH <sub>3</sub> +NO <sub>x</sub> (kg N <sub>2</sub> O )	ปริมาณ N × สัดส่วนการสูญเสีย N จากการระเหย × ค่าการปล่อย × 44/28	=6,141,531×0.1×0.01×44/28 =9,648.35
(6) ปริมาณการปล่อยก๊าซ N <sub>2</sub> O โดยอ้อมจากการไหลป่าและซึมผ่านชั้นดิน (kg N <sub>2</sub> O )	ปริมาณ N × สัดส่วนการสูญเสีย N จากการชะล้าง × ค่าการปล่อย × 44/28	=6,141,531×0.3×0.0075×44/28 =21,694.96
(7) การปล่อย N <sub>2</sub> O รวม (kg N <sub>2</sub> O )		127,826.76
(8) การปล่อย N <sub>2</sub> O รวมใน CO <sub>2</sub> e	(7) × 310	39,626,295.06



---

(kg CO<sub>2</sub>e)

---

ที่มา : บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ,2 การใช้ปุ๋ยในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2559 ส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซ N<sub>2</sub>O ประมาณ 40 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 3.12 บัญชีรายการการประเมินวัฏจักรชีวิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ขั้นตอน	วิธีการ	วัตถุดิบ	สารและปริมาณก๊าซเรือนกระจกขาเข้าในกิจกรรม			
			ปริมาณ	ระยะการขนส่ง (กม.)	ค่าแฟคเตอร์การปล่อย (กก.คาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่าต่อหน่วย วัตถุดิบ)	ค่าแฟคเตอร์การปล่อย (กก.ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ต่อหน่วยวัตถุดิบ )
เตรียมพื้นที่ปลูก	การหยอดเมล็ด	เมล็ดข้าวโพด	3 กก./ไร่	15	0.2670	0.0048
		ปุ๋ยซีโก้	200 กก./ไร่	-	0.1097	0.0004
		ปุ๋ย 15-15-15	50 กก./ไร่	15	5.3726	0.0011
	การกำจัดวัชพืช	แอทธราซีน	0.35 กก./ไร่	15	5.0100	0.0154
		อะลาคลอร์	0.5 กก./ไร่	15	8.0900	0.0077
	การใส่ปุ๋ย	ปุ๋ย 15-15-15	15 กก./ไร่	15	5.3726	0.0011
		ปุ๋ย 46-0-0	50 กก./ไร่	15	3.3036	0.0077
เก็บเกี่ยวผลผลิต	-	น้ำมันดีเซล	0.834 ลิตร/ไร่	10	0.3282	0.0011
การจัดการเศษวัสดุ	เผา	น้ำมันดีเซล	-	10	2.7446	0.0093

ที่มา: ฐิฎาพร และคณะ, 2559



ตารางที่ 3.13 การประเมินก๊าซเรือนกระจกและค่าการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กจากการเผาเศษเปลือกและซังข้าวโพด

ก๊าซเรือนกระจก	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (กก.มวลสาร/ตันซังข้าวโพด)	การปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็ก (กก.มวลสาร/ตันซังข้าวโพด)
CO <sub>2</sub>	1,350	-
CH <sub>4</sub>	110	-
N <sub>2</sub> S	41.72	-
<b>GHGs</b>	<b>1,501.72</b>	<b>-</b>
NO <sub>x</sub>	-	1.80
Sox	-	0.20
NH <sub>3</sub>	-	2.40
PM10	-	6.20
PM2.5	-	6.00
PM10	-	13.40

ที่มา: ฐิฎาพร และคณะ, 2559

มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 2,976.538 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กเท่ากับ 26.539 ตันฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 ซึ่งฝุ่นละอองขนาดเล็กพบสูงที่สุดในกระบวนการเผาเศษเปลือกและซังข้าวโพดในที่โล่งคิดเป็นร้อยละ 86% รองลงมาคือขั้นตอนการปลูก 14% และ 0.22% จากการเก็บเกี่ยว

พรพรรณ (2559) ประเมินวัฏจักรชีวิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พบว่าในกระบวนการผลิตมีการปล่อยก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) เฉลี่ย 37.48 g CO<sub>2</sub>-eq/kg และปล่อยก๊าซ N<sub>2</sub>O 261.19 g CO<sub>2</sub>-eq/kg **รวม 298.67 g CO<sub>2</sub>-eq/kg ผลผลิต** เนื่องจากมีการใช้สารกำจัดวัชพืชปริมาณมาก

สูตรการคำนวณที่ใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2556ก)

1. ปริมาณปุ๋ย คิดเป็นปุ๋ย N P และ K ที่ใช้ต่อ 1 กิโลกรัมผลผลิต
2. ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณผลผลิต (ดีเซล) = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (ลิตร/กก. ผลผลิต) x ความหนาแน่นน้ำมันดีเซล (กก./ลิตร)
3. ปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณผลผลิต (เบนซิน) = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (ลิตร/กก. ผลผลิต) x ความหนาแน่นน้ำมันเบนซิน (กก./ลิตร)

4. ความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล = 0.85 กก./ลิตร และความหนาแน่นของน้ำมันเบนซิน = 0.73 กก./ลิตร

5. ปริมาณมีเทน (CH<sub>4</sub>) = ปริมาณเชื้อเพลิง (กก.เชื้อเพลิง/กก. ผลผลิต) x Emission Factor (g/tonne fuel)

Emission Factor = 55 g/tonne fuel (น้ำมันดีเซล)

Emission Factor = 2,200 g/tonne fuel (น้ำมันเบนซิน)

6. ปริมาณ SO<sub>2</sub> = 2 x S x F เมื่อ S = ปริมาณซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง (% by wt) ; F = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ต่อ กก. ผลผลิตปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำมันดีเซล = 0.035 % ; ปริมาณซัลเฟอร์ในน้ำมันเบนซิน = 0.05 %

7. มลพิษอากาศจากการฟุ้งกระจายของดินในการเตรียมแปลง และดูแลรักษาในแปลง (PM10) คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10  $\mu$ m = Emission Factor (kg/ha) x 1 / (6.25 x ผลผลิตต่อไร่)

Emission Factor = 1.56 kg/ha

8. ปริมาณมลพิษอากาศ NH<sub>3</sub> จากการใช้ปุ๋ยเคมี E (NH<sub>3</sub>) = FC x EF x 17/14

FC = ปริมาณปุ๋ย N ที่ใช้ต่อกิโลกรัมผลผลิต

Emission factor ของปุ๋ย NPK = 4% ; Emission factor ของปุ๋ย urea = 15%

9. ปริมาณมลพิษอากาศ N<sub>2</sub>O จากการใช้ปุ๋ยเคมี E (N<sub>2</sub>O) = FC x EF x 44/28

FC = ปริมาณปุ๋ย N ที่ใช้ต่อกิโลกรัมผลผลิต

Emission factor ของปุ๋ยเคมีที่ให้ N<sub>2</sub>O = 0.0117 (ไม่มีหน่วย)

10. ปริมาณมลสารทางน้ำ (สารขาออกในรูปของ N)

N leaching + runoff / กก. ผลผลิต = NFERT x FRACLEACH (=0.2)

NFERT = ปริมาณปุ๋ย N ที่ใช้ต่อกิโลกรัมผลผลิต

FRACLEACH = สัดส่วน N ที่หายไปกับน้ำ (ไม่มีหน่วย) = 0.2

11. ปริมาณมลสารทางน้ำ (สารขาออกในรูปของ P) : Pro = Prol x Fro

Pro = ปริมาณ P ที่ถูกชะต่อพื้นที่เพาะปลูก (kg P/ha)

Prol = ปริมาณ P ที่ถูกชะไปกับน้ำโดยเฉลี่ย มีค่า = 0.175 kg P/ha สำหรับพื้นที่เพาะปลูก (arable land)

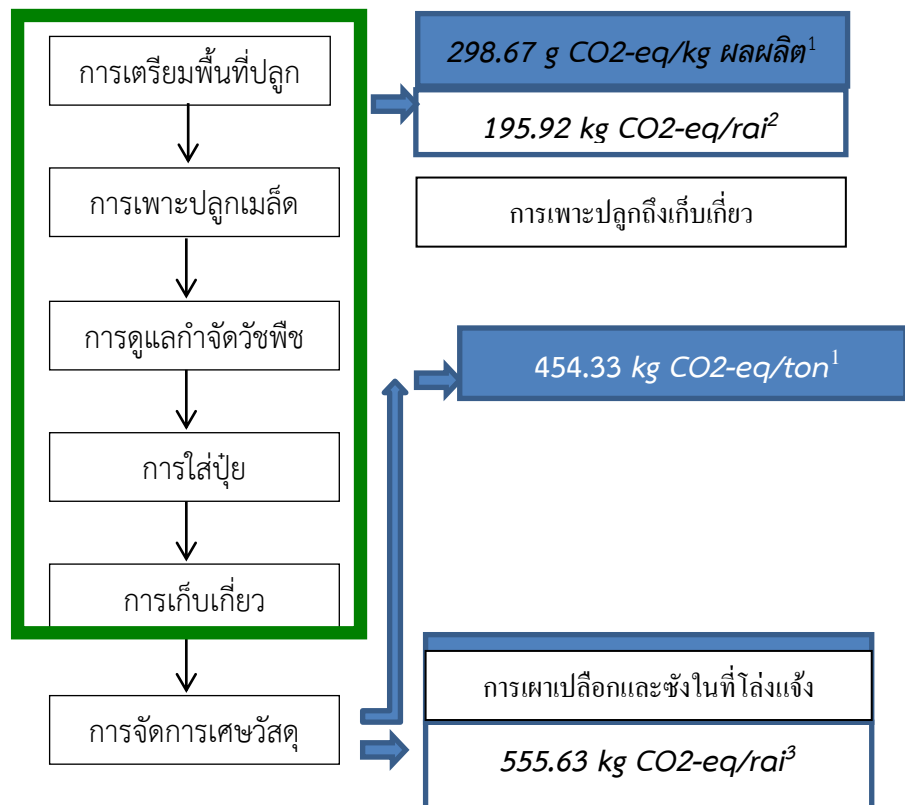
Fro = ค่า correction factor คำนวณจากสมการ

Fro = 1 + (0.2/80 x P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) = (1/ผลผลิตต่อไร่) + [(0.2/80) x (ปุ๋ย P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ที่ใช้ต่อไร่ x 6.25)]

ตารางที่ 3.14 บัญชีรายการประเมินวัฏจักรชีวิตจากการจัดการเศษวัสดุจากเปลือกและซังข้าวโพด

กระบวนการ	วิธีการ	วัสดุ/ อุปกรณ์	สารและปริมาณก๊าซเรือนกระจกขาเข้าในกิจกรรม				
			ปริมาณ	เชื้อเพลิง ที่ใช้	ก๊าซ เรือน กระจก ที่นำมา คำนวณ	ค่าแฟค เตอร์การ ปล่อย (กก. ก๊าซเรือน กระจก เทียบเท่าต่อ หน่วย วัตถุดิบ)	ปริมาณ (กก.ก๊าซ เรือนกระจก เทียบเท่าต่อ ตันวัตถุดิบ)
การเผาซัง ข้าวโพด (Gassifier) 1 ครั้งการผลิต	เผาซัง ข้าวโพดด้วย อุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ ถ่าน	เตาเผา ซังข้าวโพด	62 กก.	น้ำมัน เบนซิน	CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O	6.54	<b>105.48</b>
การอัดก้อนชีว มวล 1 ก้อน	อัดก้อนซัง ข้าวโพด	เครื่องอัด ก้อนชีวมวล เปลือกและ ซังข้าวโพด	22.3- 24.1 กก./ ก้อน	-ไฟฟ้า -น้ำมัน เบนซิน	CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub>	0.111 0.306	4.61 12.70

การผลิตเอทานอล	หมักซังข้าวโพดด้วยเชื้อจุลินทรีย์	เชื้อจุลินทรีย์ซังข้าวโพด	20 g	-	CO <sub>2</sub>	0.14	7





$$1.83 + 4.62 + 105.48 = 111.93 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/ton}$$

การสร้างก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัตถุดิบเปลือกอัดก้อนและถ่านซังข้าวโพด



$$\text{กรณี นำถ่านซังข้าวโพดไปทำวัสดุปลูกกล้วยไม้ } 91.39 \text{ & - kg CO}_2$$

ภาพที่ 3.42 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณี ปลูก-เก็บเกี่ยว, เผาในที่โล่ง, เอทานอล, ถ่าน และวัสดุปลูก

หมายเหตุ

<sup>1</sup>พรพรรณ (2559)

<sup>2</sup>ผลผลิตเฉลี่ยทั้งประเทศ 656 กิโลกรัมต่อไร่ (2554) สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)

<sup>3</sup>สัดส่วนเปลือก/ซังต่อผลผลิต มีค่า 37% วีรชัย อางหาญ และคณะ (2555)





ภาพที่ 3.43 กระบวนการผลิตเปลือกและซังข้าวโพดที่นำมาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

จากภาพที่ 3.43 แสดงถึงผลลัพธ์จากขั้นตอนการวิจัยตั้งแต่กิจกรรมที่ 1 ซึ่งได้เครื่องแยกเปลือกและซัง และนำมาต่อยอดในการแยกเปลือกและซังเพื่อนำซังข้าวโพดไปผ่านกระบวนการเผาด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันเพื่อให้ถ่านชีวภาพและลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก และนำเอาถ่านไปผลิตวัสดุปลูกสำหรับการผลิตกล้วยไม้เชิงอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งจากกระบวนการดังกล่าวข้างต้น การวิจัยนี้มุ่งเน้นหาทางเลือกให้กับเกษตรกรเหมาะสมต่อพื้นที่ วัฒนธรรมแรงงานซึ่งได้ศึกษาถึงการผลิตถ่านจำหน่ายเชิงพาณิชย์และขายเปลือกข้าวโพดอัดก้อนเพื่อเป็นอาหารสัตว์ เช่น โคและกระบือ โดยการวิเคราะห์ผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์จะดังนี้

การศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้เครื่องจักรแปรรูปในการผลิตวัสดุคูดิบจากเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สู่อุตสาหกรรมพลังงาน ดังภาพที่ 14  
ราคาเชื้อเพลิงชีวมวลจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ณ. ม.ค. 2563

อ. น้ำพอง จ. ขอนแก่น ราคารับซื้อหน้าโรงงานไฟฟ้าชีวมวล

- ซังข้าวโพด/ซังปนเปลือก ความชื้น 40 %MC ค่าความร้อน 9,451 kJ/kg ราคา 750 บาท ราคาเฉลี่ย 695 บาท
- เปลือกข้าวโพด/ซังปนเปลือก ความชื้น 40 %MC ค่าความร้อน 10,151 kJ/kg ราคา 650 บาท ราคาเฉลี่ย 605 บาท
- ราคาถ่านอัดแท่ง 15 บาทต่อกิโลกรัม

### 1) การสร้างโรงงานแปรรูปชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

โรงงานต้นแบบแปรรูปชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะพิจารณาในการแปรรูปเป็นถ่านจากซังและเปลือกลำไปเป็นเชื้อเพลิงโรงไฟฟ้าชีวมวลหรือนำไปเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เช่น วัว

#### โรงงานต้นแบบประกอบด้วย

1. เครื่องแยกเปลือกและซัง ราคา 120,000 บาท
2. รถตัก(ลานข้าวโพดจะมีอยู่แล้ว) ราคาค่าตัดตันละ 40 บาท
3. เครื่องอัดก้อนชีวมวล(อัดเปลือก)ราคา 50,000 บาท + ค่าเชือกมัดม้วนละ 480 บาท
4. เตาเผาชีวมวลสำหรับเผาถ่านโดยใช้ต้นกำลังพัดลม 2.3-2.8 kW/h ราคา 50,000 บาท
5. เครื่องอัดแท่งถ่านพร้อมชุดต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า 10 แรง ราคา 60,000 บาท
6. เครื่องอัดก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 25-30 ก้อน/ชั่วโมง หรือ 10 บาท/ก้อน (ถ่านซังข้าวโพด 0.5 กก/ก้อน) 55,000 บาทต่อเครื่อง
7. เครื่องบดย่อยและระบบกำจัดฝุ่น 180,000 บาท
8. แรงงานจำนวน 1 คน (เพิ่มเติมจากเดิม)

#### รายรับ

1. ถ่านอัดก้อนกิโกรัมละ 15 บาท
2. วัสดุปลูกกล้วยไม้อัดก้อน 10 บาท
3. เปลือกข้าวโพดราคาเฉลี่ย 605 บาท
4. เปลือกข้าวโพดอัดก้อน 25 บาท/ก้อน
5. บดย่อยซังข้าวโพดเพื่อนำไปผลิต Furfural ราคาซังจะมีค่า 1,200-2,000 บาทต่อตัน

*เงื่อนไขกำลังการผลิตเปลือกและซัง 600 ตันต่อฤดูกาลเก็บเกี่ยว ครอบคลุมพื้นที่ 2,471 ไร่ ในอัตราการผลิต 656 กิโลกรัมต่อไร่ crop residue ratio 0.37 ของเปลือกและซัง*

#### ตารางที่ 3.15 ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในกรณีต่าง ๆ

กรณี	ระยะเวลาคืนทุน	อัตราผลตอบแทนการ	วิเคราะห์จุดคุ้มทุน	มูลค่าปัจจุบัน	อัตราส่วนลด
case	(Payback Period: PB)	ลงทุน	(Break Even	สุทธิ	(Discount
		(Internal Rate of	Point Analysis:	(Project NPV)	Rate %)
		Return %)	BEP)		
1	1.14	80.71	684 ตัน	1.7	8.59

2	1.53	52.80	1,836 ตัน (206,550 ก้อน)	0.95	8.60
3	7.78	-27.67	4,668 ตัน	-0.61	9.40
4	3.52	6.55	2,112 ตัน	-0.05	9.20

กรณีที่ 1 นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังมาผลิตเป็นถ่านอัดก้อน

กรณีที่ 2 นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังมาผลิตเป็นถ่านอัดก้อนวัสดุปลูก

กรณีที่ 3 นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังขายอุตสาหกรรม Furfural(นครราชสีมา-สระบุรี) 150 กม

กรณีที่ 4 นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์และนำซังขายอุตสาหกรรม Furfural

ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อการลงทุนในกรณีต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.15

## 2) พัฒนาต่อยอดเครื่องจักรของโรงสีข้าวโพด

ราคาซัง/เปลือก 400 บาทต่อตัน , ราคาขายซัง 800 บาทต่อตัน ณ. โรงสีข้าวโพด อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น (ธ.ค. 2562)

การแยกเปลือกและซังจะทำให้มูลค่าของซังข้าวโพดมีมูลค่าสูงขึ้น จากสัดส่วนของการเก็บเกี่ยวจะมีซัง/เปลือก 37% เทียบกับผลผลิต และมี 19% เป็นซังข้าวโพดซึ่งหมายถึง 51.4%จากเศษวัสดุเหลือใช้และราคาการรับซื้อซังจะสูงมากกว่าเปลือกมากขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน เช่น การนำไปเป็นเชื้อเพลิงในโรงผลิตอาหารสัตว์ราคา 1200 บาทต่อตัน หรือการนำไปผลิต Furfural ราคาซังจะมีค่า 1,200-2,000 บาทต่อตัน (ซังต้องสะอาด) แหล่งรับซื้อสระบุรี เพราะฉะนั้นการแยกเปลือกและซังจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์เศษวัสดุเหลือใช้จากเปลือกและซังข้าวโพด ซึ่งจะสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้ เช่น ถ่าน เอทานอล furfural และเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งราคาเครื่องแยกเปลือกและซัง 120,000 บาท (พร้อมต้นกำลังมอเตอร์เกียร์ทด) สมรรถนะ 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง **ข้อจำกัดไม่เหมาะสมกับเปลือกและซังเก่า** เพราะฉะนั้นสามารถแยกเปลือกและซังได้วันละ 4 ตันต่อ 8 ชั่วโมง ซึ่งเป็นซัง 2.05 ตัน และเป็นเปลือก 1.95 ตัน เพราะฉะนั้นมูลค่าเพิ่มจากเดิม 820 บาทต่อวัน หรือ **205 บาทต่อตันวัตถุดิบ** โดยระยะเวลาการเก็บเกี่ยวข้าวโพด 4 เดือน หรือ 120 วัน เพราะฉะนั้นการลงทุนเครื่องแยกเปลือกและซังมูลค่า 120,000 บาท รายได้ต่อปี  $120 \times 820 = 98,400$  บาทต่อปี ทำให้

ระยะเวลาการคืนทุนจะเป็นปีที่ 2 หรือ 1 ปี และปีที่ 2 (เดือนที่ 1 ฤดูกาลเก็บเกี่ยว จำนวน 26 วัน) หรือ 586 ต้นวัตถุดิบต่อปีขึ้นไป ก็สามารถคืนทุนได้ภายใน 1 ปี เพราะฉะนั้นกรณีเหมาะกับลานข้าวโพดที่อยู่ในจังหวัดนครราชสีมา เช่น ลานข้าวโพด อ.ปักธงชัย ส่งซังให้กับโรงผลิตอาหารสัตว์ จ.นครราชสีมา และโรงงานผลิต Furfural จ.สระบุรี

### 3) การลงทุนร่วมกับโรงไฟฟ้าชีวมวล

- ซังข้าวโพด/ซังปนเปลือก ความชื้น 40 %MC ค่าความร้อน 9,451 kJ/kg ราคา 750 บาท ราคาเฉลี่ย 695 บาท
- ซังปนเปลือกที่หน้าโรงสีข้าวโพด 400 บาทต่อตัน (ราคาจำหน่ายโรงสีข้าวโพด อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น)
- รถบรรทุกพ่วง พิกัด 25-30 ตัน เครื่องยนต์ 300-400 แรงม้า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน 2.5-3.0 กิโลเมตรต่อลิตร ราคาน้ำมันดีเซล 30.74 บาท (4 ม.ค. 2563)  
ค่าการบรรทุกขนส่งในการเคลื่อนย้ายชีวมวลระยะสั้นไม่รวมค่าน้ำมันเชื้อเพลิง 30 บาทต่อตัน (พิกัด)

ในทางเศรษฐศาสตร์การลงทุนร่วมกับโรงไฟฟ้าชีวมวล การบรรทุกเปลือกและซังของรถพ่วง (แม่และลูก) น้ำหนักพิกัดบรรทุก 30 ตัน สามารถบรรทุกได้ 8.59 ตัน ซึ่งเมื่อพิจารณาชีวมวลมีมูลค่า 5,970 บาทต่อเที่ยว เพราะฉะนั้นราคาวัตถุดิบมูลค่า 3,436 บาทต่อเที่ยว ค่าขนส่ง 2,534 บาท หรือ 295 บาทต่อตันวัตถุดิบ (เทียบเท่ากับ 84 บาทต่อตันพิกัดบรรทุก) เพราะฉะนั้นการขนส่งละ 10.25 บาทต่อกิโลเมตร ทำให้สามารถจัดทำระบบการขนส่งได้ไม่เกิน 247.3 กิโลเมตร(ไป-กลับ) หรือไม่เกิน 123 กิโลเมตรต่อเที่ยว

กรณีจ้างขนย้ายชีวมวลเข้าสู่โรงไฟฟ้าชีวมวล ค่าขนส่งหักค่าจ้างเหมา 1,634 บาทต่อเที่ยว ซึ่งค่าน้ำมันเชื้อเพลิง 10.25 บาทต่อกิโลเมตร เพราะฉะนั้นทำให้สามารถขนส่งได้ไม่เกิน 159.4 กิโลเมตร(ไป-กลับ) หรือไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อเที่ยว ซึ่งจะส่งผลให้ใน 1 วันสามารถขนส่งได้ ไม่เกิน 3 เที่ยวไปกลับ ทำให้ระบบการขนส่งชีวมวลจำเป็นต้องใช้รถขาดเดียวเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง เพราะฉะนั้นกรณีเหมาะกับลานข้าวโพดที่อยู่ใกล้โรงไฟฟ้า เช่น ลานข้าวโพด อ.ชุมแพ ส่งเชื้อเพลิงให้กับโรงไฟฟ้าชีวมวลภูเขียวไปโอเอ็นเนอร์ยี

1. สรุปผลการศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA และเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้าและการผลิตเอทานอลจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยการศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของการผลิตมีการปล่อยก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ก๊าซ N<sub>2</sub>O และ CO<sub>2</sub> จากการวิจัยของช่วงการปลูก พรพรรณ (2559) การผลิตมีการปล่อย CO<sub>2</sub>-eq/kg รวม 298.67 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ผลผลิต หรือ 195.92 kg CO<sub>2</sub>-eq/rai<sup>2</sup> และมีการใช้สารกำจัดวัชพืชปริมาณมาก และจากการศึกษาการใช้เครื่องจักรในการแปรรูป

เปลือกและซังข้าวโพด พบว่า ถ้าปลอดให้มีการเผาเปลือกและซังข้าวโพดจะส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณปล่อย CO<sub>2</sub>-eq/kg รวม 1,501.72 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ผลผลิต หรือ 555.63 kg CO<sub>2</sub>-eq/rai<sup>2</sup> ซึ่งถ้านำซังไปผลิตเอทานอลจะลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเหลือ 454.33 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ลดการปลดปล่อยได้ 69.7% เทียบเท่ากับการเผาไหม้เปลือกและซังในที่โล่งแจ้ง ถ้านำซังไปเผาไหม้และนำมาผลิตถ่านด้วยเทคโนโลยีแก๊ซซิฟิเคชันจะสามารถลดการปลดปล่อยได้ 92.5% หรือปลดปล่อย 111.93 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton และถ่านถ่านมาอัดแท่งจะลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 92.0% หรือเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 12.63 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton และถ่านถ่านไปแปรรูปอัดแท่งวัสดุปลูกกล้วยไม้จะลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 86.5 % หรือเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 91.39 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton เทียบเท่ากับการเผาไหม้เปลือกและซังในที่โล่งแจ้ง

การศึกษาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้เครื่องจักรแปรรูปในการผลิตวัตถุดิบพบว่า นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังมาผลิตเป็นถ่านอัดก้อนและนำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังมาผลิตเป็นถ่านอัดก้อนวัสดุปลูก มีแนวโน้มที่สามารถดำเนินการผลิตเชิงพาณิชย์ได้โดยระยะเวลาคืนทุนมีค่า 1.14 และ 1.53 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน 80.71 และ 52.80 % ตามลำดับ ส่วนกรณีที่ 3 นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังขายอุตสาหกรรม Furfural (นครราชสีมา-สระบุรี) 150 กม และกรณีที่ 4 นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์และนำซังขายอุตสาหกรรม Furfural ไม่เหมาะต่อการลงทุนเนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นลบ ส่วนการนำเปลือกและซังไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสามารถทำได้เพียงการขนส่งระยะทางใกล้

#### การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ :

เมื่อมีผู้นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์แล้ว สามารถช่วยให้เกษตรกรชาวไร่ข้าวโพดมีรายได้ที่เพิ่มขึ้นและช่วยลดต้นทุนการผลิต และลดการใช้แรงงานในภาคการผลิต และส่งเสริมให้เกษตรกรและกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรมีเครื่องจักรที่มีราคาต้นทุนที่ต่ำลง ในด้านสิ่งแวดล้อมจะเข้าไปช่วยลดการเผาซังข้าวโพดในพื้นที่ผลิตลงทำให้ไม่เกิดมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

## เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2542. ระบบข้อมูลวิชาการ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. [Online], Available:  
<http://www.doa.go.th>. สืบค้น 24 มีนาคม 2557.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2553. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร  
สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร.
- กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา. 2548. วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยคอก ในพื้นที่ทำการเกษตร. เอกสารวิชาการกรม  
วิชาการเกษตร. 19/2548.
- จันทนา พุทธธรร. 2528. เฟอร์ฟูลจากชังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
, กรุงเทพฯ.
- ชนะ ผิวเหลือง, สมยศ กิจคำและ จุติเทพ โพธิ์ปักษ์. 2542. ผลกระทบของวัสดุเพาะชำ ต่อการ  
เจริญเติบโตของกล้าไม้ยางแดง. รายงานนวนวัฒนวิจัย ประจำปี 2542 ส่วนนวนวัฒนวิจัย  
สำนักวิชาการป่าไม้ กรุงเทพฯ
- ชัยรัตน์ สัมฉุน. 2550. เครื่องสับหั่นบด..แม่โจ้ สู้ปัจจัยเครือข่ายเกษตรกรรม. หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ  
ฉบับวันอังคาร ที่ 14 สิงหาคม 2550.
- ชมรมส่งเสริมเกษตรชีวภาพ, 2554. วัสดุปลูกและภาชนะปลูกกล้วยไม้. [Online], Available:  
<http://orchids21.tripod.com/Html/media.html>, [Accessed 24 มกราคม พ.ศ.2553]
- ทิพย์ศรีณี สิทธินาม. 2547. ผลของวัสดุปลูกและปุ๋ยต่อการงอกและการเจริญเติบโตของไม้ดอก  
กระถาง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (พืชสวน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.  
กรุงเทพฯ.
- ประยูร ปัญญา. 2540. ผลของวัสดุปลูกและธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้รองเท้านารี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 64 น.
- พงศธร ไคว์ชกรณ. 2537. ถ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- พงษ์ศักดิ์ โอซารส. 2539. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากชังข้าวโพดโดยใช้  
เกลือแองเป็นสารกระตุ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- สุภาภรณ์ มั่นไทรทอง. 2541. การหาหารดูดซับไอของโกลูอินและไซลีนบนถ่านกัมมันต์ซึ่งเตรียมจาก  
ชังข้าวโพดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
กรุงเทพฯ

- สุคนธ์ แสงแก้ว. 2538. ผลของวัสดุปลูกและอัตราปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพริกหวาน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์). พีชสวน (พีชสวน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สุชาดา จิตรภิมย์ศรี. 2539. การใช้ประโยชน์ขี้เลื่อยเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดสำหรับเป็นวัสดุปลูกไม้กระถาง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต.(เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร) มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.
- ธีระยุทธ นาคแดง. 2552. การพัฒนาวัสดุปลูกกล้วยไม้สกุลหวายตัดดอกพร้อมกับเทคโนโลยีทางปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุอินทรีย์ในท้องถิ่น. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,ขอนแก่น. 23 หน้า.
- นิลุบล เหลืองช่อสีรี . 2547. การศึกษาขนาดวัสดุปลูกและความถี่การให้ปุ๋ยในระบบน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพของดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์บอมโจ. วิทยานิพนธ์ (วท.ม.)-สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 46 หน้า. ISBN: 974-324-993-1
- นิรนาม. 2553. ศูนย์ส่งเสริมการเกษตรและสิ่งแวดล้อมแบบยั่งยืน. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://dmxtechnology.blogspot.com/2010/03/blog-post.html>
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2544. การผลิตก๊าซชีววมวลจากขังข้าวโพดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงอบเมล็ดข้าวโพด. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- วิทยา ปั่นสุวรรณ, นงค์นุช ธนุแสง และ บุญญฤทธิ์ ชูประยูร. 2543. ไซโลสจากขังข้าวโพดโดยการระเบิดด้วยไอน้ำ. หน้า 507. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 38 วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2543. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วีรชัย อัจหาญและคณะ. 2554. โครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและลดการเกิดหมอกควัน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- วิไล สันติโสภาคี และคณะ. 2546. รายงานการวิจัยสถานภาพของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรและการใช้ประโยชน์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. หน้า 2-54
- สมเกียรติ รุจิรวัดน์. 2523. สายการสังเคราะห์ 2- pyrrolidone ที่อาจเป็นได้จากขังข้าวโพดเพื่อใช้ในทางเภสัชกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

หนังสือพิมพ์เดลินิวส์, 2554. มะพร้าวขาดแคลนกระทบชาวสวนกล้วยไม้.

[Online], Available: <http://www.dailynews.co.th/newstartpage/index.cfm?page=category&categoryId=343>, [Accessed 10 มิถุนายน พ.ศ.2554]

Adesanya, D. A. 1996. Evaluation of blended cement mortar, concrete and stabilized earth made from ordinary Portland cement and Maize cob ash. *Construction and Building Materials*. 10(6): 451-456.

Anonymous. 2011. Watering your orchid. Available:

[http://www.beautifulorchids.com/orchids/orchid\\_care\\_tips/watering/watering.html](http://www.beautifulorchids.com/orchids/orchid_care_tips/watering/watering.html) (15/06/2011).

Chita Inpar. 2009. Effect of Potting Media, Fertilizer and Watering Frequency on Growth and Flowering of *Dendrobium scabrilingue* Lindl. *Journal of Agr. Research & Extension* 26(3): 1-11

de Souza, F. D., C. G. M. de Souza and R. M. Peralta. 2001. Effect of easily metabolizable sugars in the production of xylanase by *Aspergillus tamarisii* in solid-state fermentation. *Proc. Biochem.* 36(8-9): 835-838.

Dominguez, J. M. C. Ningjun, C. S. Gong and G. E. Tsao. 1997. Dilute acid hemicellulose hydrolysates from Maize cobs for xylitol production by yeast. *Bioresource Tech.* 61(1): 85-90.

Muhammad A. B., M. Ahmad and M. A. Anjum. 2007. Effect of various potting media on growth of rooted Jojoba (*Simmondsia chinensis*) cuttings. *International Journal of agriculture & Biology* : 147-151

Ramahsamay, K.D. 2008. Oil Palm Waste and Sewage Sludge Composts as Potting Media For Chrysanthemum. Master Thesis, Universiti Putra Malaysia.

Rivas, B., J. M. Dominguez, H. Dominguez and J. C. Parajo. 2002. Bioconversion of posthydrolysed autohydrolysis liquors: an alternative for xylitol production from Maize cobs. *Enzyme and Microbial Tech.* 4(2): 431-438.



- Singh, A., A. B. Abidi, A. K. Agrawal and N. S. Darmwal. 1989. Evaluation of alkali treatment for biodegradation of Maize cobs by *Aspergillus niger*. *Folia Microbiologie*.34(6): 479-484.
- กรมวิชาการเกษตร. 2542. ระบบข้อมูลวิชาการ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. [Online], Available: <http://www.doa.go.th>. สืบค้น 24 มีนาคม 2557.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2553. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มสื่อส่งเสริมการเกษตร สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร.
- กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา. 2548. วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยคอก ในพื้นที่ทำการเกษตร. เอกสารวิชาการกรมวิชาการ เกษตร.19/2548.
- จันทนา พุทธธรร. 2528. เฟอร์ฟูลจากซังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ.
- ชนะ ผิวเหลือง, สมยศ กิจคำและ จุติเทพ โพธิ์ปักษ์. 2542. ผลกระทบของวัสดุเพาะชำ ต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ยางแดง. *รายงานงานวิจัย ประจำปี 2542 ส่วนงานวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรุงเทพฯ*
- ชัยรัตน์ สัมฉุน. 2550. เครื่องสับหั่นบด..แม่โจ้ สู่ปัจจัยเครือข่ายเกษตรกรรม. หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ ฉบับวันอังคาร ที่ 14 สิงหาคม 2550.
- ชมรมส่งเสริมเกษตรชีวภาพ, 2554. วัสดุปลูกและภาชนะปลูกกล้วยไม้. [Online], Available: <http://orchids21.tripod.com/Html/media.html>, [Accessed 24 มกราคม พ.ศ.2553]
- ทิพย์ดรุณี สิทธินาม. 2547. ผลของวัสดุปลูกและปุ๋ยต่อการงอกและการเจริญเติบโตของไม้ดอกกระถาง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (พืชสวน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ประยูร ปัญญา. 2540. ผลของวัสดุปลูกและธาตุอาหารเสริมต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้รองเท้านารี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 64 น.

- พงศธร โค้วชาภรณ์. 2537. ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- พงษ์ศักดิ์ โอซารส. 2539. การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพดโดยใช้เกลือแกงเป็นสารกระตุ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.
- สุภาภรณ์ มั่นไทรทอง. 2541. การหาหารดูดซับไอของโพลูอินและไซลีนบนถ่านกัมมันต์ซึ่งเตรียมจากซังข้าวโพดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ
- สุนันท์ แสงแก้ว. 2538. ผลของวัสดุปลูกและอัตราปุ๋ยที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพริกหวาน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์). พีชสวน (พีชสวน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สุชาดา จิตรภิมย์ศรี. 2539. การใช้ประโยชน์ขี้เลื่อยเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดสำหรับเป็นวัสดุปลูกไม้กระถาง.วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต.(เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร) มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.
- ธีระยุทธ นาคแดง. 2552. การพัฒนาวัสดุปลูกกล้วยไม้สกุลหวายตัดดอกพร้อมกับเทคโนโลยีทางปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุอินทรีย์ในท้องถิ่น. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,ขอนแก่น. 23 หน้า.
- นิลุบล เหลืองช่อสีรี . 2547. การศึกษาขนาดวัสดุปลูกและความถี่การให้ปุ๋ยในระบบน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพของดอกกล้วยไม้สกุลหวายพันธุ์บอมโจ. วิทยานิพนธ์ (วท.ม.)-สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 46 หน้า. ISBN: 974-324-993-1
- นิรนาม. 2553. ศูนย์ส่งเสริมการเกษตรและสิ่งแวดล้อมแบบยั่งยืน. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก: <http://dmxtechnology.blogspot.com/2010/03/blog-post.html>
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2544. การผลิตก๊าซชีววมวลจากซังข้าวโพดเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงอบเมล็ดข้าวโพด. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- วิทยา ปันสุวรรณ, นงคันุช ธนุแสง และ บุญญฤทธิ์ ชูประยูร. 2543. ไซโลสจากซังข้าวโพดโดยการระเบิดด้วยไอน้ำ. หน้า 507. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 38 วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2543. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- วีรชัย อัจฉาญและคณะ.2554. โครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและลดการเกิดหมอกควัน.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- วิไล สันติโสภาศรี และคณะ. 2546. รายงานการวิจัยสถานภาพของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรและการใช้ประโยชน์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. หน้า 2-54
- สมเกียรติ รุจิรวัดน์. 2523. สายการสังเคราะห์ 2- pyrrolidone ที่อาจเป็นได้จากซังข้าวโพดเพื่อใช้ในทางเภสัชกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- หนังสือพิมพ์เดลินิวส์, 2554. มะพร้าวขาดแคลนกระทบชาวสวนกล้วยไม้.  
[Online],Available:<http://www.dailynews.co.th/newstartpage/index.cfm?page=category&categoryid=343>, [Accessed 10 มิถุนายน พ.ศ.2554]
- Adesanya, D. A. 1996. Evaluation of blended cement mortar, concrete and stabilized earth made from ordinary Portland cement and Maize cob ash. *Construction and Building Materials*. 10(6): 451-456.
- Anonymous. 2011. Watering your orchid. Available: [http://www.beautifulorchids.com/orchids/orchid\\_care\\_tips/watering/watering.html](http://www.beautifulorchids.com/orchids/orchid_care_tips/watering/watering.html) (15/06/2011).
- Chita Inpar. 2009. Effect of Potting Media, Fertilizer and Watering Frequency on Growth and Flowering of *Dendrobium scabrilingue* Lindl. *Journal of Agr. Research & Extension* 26(3): 1-11
- de Souza, F. D., C. G. M. de Souza and R. M. Peralta. 2001. Effect of easily metabolizable sugars in the production of xylanase by *Aspergillus tamarisii* in solid-state fermentation. *Proc. Biochem.* 36(8-9): 835-838.
- Dominguez, J. M. C. Ningjun, C. S. Gong and G. E. Tsao. 1997. Dilute acid hemicellulose hydrolysates from Maize cobs for xylitol production by yeast. *Bioresource Tech.* 61(1): 85-90.

- Muhammad A. B., M. Ahmad and M. A. Anjum. 2007. Effect of various potting media on growth of rooted Jojoba (*Simmondsia chinensis*) cuttings. *International Journal of agriculture & Biology* : 147–151
- Ramahsamay, K.D. 2008. Oil Palm Waste and Sewage Sludge Composts as Potting Media For Chrysanthemum. Master Thesis, Universiti Putra Malaysia.
- Rivas, B., J. M. Dominguez, H. Dominguez and J. C. Parajo. 2002. Bioconversion of posthydrolysed autohydrolysis liquors: an alternative for xylitol production from Maize cobs. *Enzyme and Microbial Tech.* 4(2): 431-438.
- Singh, A., A. B. Abidi, A. K. Agrawal and N. S. Darmwal. 1989. Evaluation of alkali treatment for biodegradation of Maize cobs by *Aspergillus niger*. *Folia Microbiologie*. 34(6): 479-484.
- S. Sokhansanj, A. F. Turhollow, 2004. BIOMASS DENSIFICATION – CUBING OPERATIONS AND COSTS FOR MAIZE STOVER. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 20(4): 495–499
- Sudha Rani, K. M. V. Swamy and G. Seenaya. 1998. Production of ethanol from various pure and natural cellulosic biomass by *Clostridium thermocellum* strains SS21 and SS22. *Proc. Biochem.* 33(4): 435-44.
- Tia, S. 1996. Heat transfer characteristics in a small-scale fluidized bed boiler. *Fuel and Energy Abs.* 37(5): 365.
- Tsai, W. T., C. Y. Chang, S. Y. Wang, C. F. Chang, S. Chien and H. F. Sun. 2001a. Utilization of agricultural waste Maize cob for the preparation of carbon adsorbent. *J. Env. Science and Health*. Part B, Pesticides, Foods Contaminants, and Agricultural Wastes. 36(2): 677-686.
- Tsai, W. T., C. Y. Chang, S. Y. Wang, C. F. Chang, S. Chien and H. F. Sun. 2001b. Preparation of activated carbon from Maize cob catalyzed by potassium salts and subsequent gasification with CO<sub>2</sub>. *Bioresource Tech.* 78(2): 203-20

## บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลความก้าวหน้าของโครงการจากการสำรวจจำนวน 25 แห่ง ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า การนำเศษวัสดุเหลือใช้จากเปลือกและซังข้าวโพดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งเนื่องจากการการรณรงค์และการบังคับขบการเผาเศษวัสดุเหลือใช้จากเปลือกและซังข้าวโพด โดยภาคเหนือในบางอำเภอสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทั้งสิ้น คือ เป็นอาหารสัตว์สำหรับโค และเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งภายในโครงการได้ศึกษาและพัฒนาเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการนำเปลือกและซังข้าวโพด โดยจากการทดสอบบดย่อยของการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 1 การบดย่อยซังด้วย Hammer Mill สมรรถนะ 103 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ต้องขยายขนาดเครื่องให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ความสามารถเป็น 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถทำได้ โดยเพิ่มขนาดเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเหมาะสมกับลานนวดข้าวโพด โดยคาดว่าจะต้องใช้ต้นกำลัง ประมาณ 30 แรงม้า ส่วนเครื่องแยกเปลือกและซังเป็นการพัฒนาต่อยอดจากเครื่องเกษตรกร แต่กำหนดเงื่อนไขให้มีขนาดเล็กลงและเพิ่มระบบกลไกเพิ่มขึ้นเพื่อลดอุปกรณ์ในส่วนการคัดแยกเช่นพัดลม ซึ่งปัจจุบันได้นำรูปแบบเครื่องนวดข้าวขนาด 4 ฟุต มาพัฒนาต่อยอดใช้ในการออกแบบ จากการพัฒนาเครื่องบดแยกเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์การใช้ความเร็วรอบที่ 900 รอบต่อนาทีจะมีประสิทธิภาพในการแยกซังได้มากที่สุด 75.5% สมรรถนะ 266.67 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

การทดลองที่ 2 การเพิ่มมูลค่าของเปลือกและซังข้าวโพด ปัจจุบันได้พัฒนาเตาเผาซังข้าวโพดโดยใช้หลักการผลิตก๊าซชีวภาพ(GASIFICATION) มาพัฒนาระบบเผาถ่านเพื่อให้ได้ถ่านชีวภาพ (BIOCHACOAL) ที่มีประสิทธิภาพสูงและรวดเร็ว ซึ่งปัจจุบัน สามารถผลิตถ่านจากซังข้าวโพดได้ 20 % by Volume ของซังข้าวโพด โดยใช้เวลา 2 ชั่วโมงครึ่ง และเมื่อพัฒนาเครื่องมือผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้มีขนาด(กว้างxยาวxสูง) 0.4x1.2x1.8 เมตร ใช้ระบบไฮดรอลิค ควบคุมการทำงานด้วยวาล์วคั่นโยกอัตราส่วนผสมของวัสดุปลูกเปลือก ต้นและซังข้าวโพดสับย่อย : ปูนซีเมนต์ (0.5 : 1.25 กิโลกรัม) ใช้แรงดันในการอัด 10 เมกะปาสคาลและ ถ่านซังข้าวโพด : ปูนซีเมนต์(0.5 : 1.25 กิโลกรัม)ใช้แรงดันในการอัด 8 เมกะปาสคาล ความสามารถของเครื่องในการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ได้ 25-30 ก้อน/ชั่วโมง วัสดุปลูกกล้วยไม้ที่อัดแล้วมีขนาด (กว้างxยาวxสูง) 20x20x8 เซนติเมตร ก้อนวัสดุปลูก 1 ก้อน สามารถปลูกกล้วยไม้ได้ 1 ต้น ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า เครื่องต้นแบบมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 9.05 บาท/ก้อน จุดคุ้มทุนเมื่อทำการผลิต 79,278 ก้อน/ปี และระยะเวลาคืนทุนประมาณ 1 ปี ที่ราคาขายก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 10 บาท/ก้อน เมื่อเปรียบวัสดุปลูกทั้งสองชนิดกับกระบะกาบมะพร้าวในแปลงปลูกของเกษตรกร พบว่ากล้วยไม้มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การทดลองที่ 3 การพัฒนาระบบผลิตเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ ซึ่งปัจจุบันได้นำเครื่องอัดแท่งจากต่างประเทศเข้ามาศึกษาและต่อยอดระบบการผลิต พบว่า เครื่องอัดแบบ CUBE เป็นเครื่องจักรที่สามารถผลิตขึ้นได้ในประเทศจากการศึกษาและออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่สามารถเปลี่ยนอุปกรณ์เมื่อเกิดความเสียหายกับหัวอัดได้ประหยัดกว่าเครื่องอัดแบบ Pellet ซึ่งปัจจุบันคณะผู้วิจัยได้ศึกษาแบบจากต้นแบบ และจะทำการทดสอบเครื่องเพื่อทดสอบสมรรถนะในฤดูการที่จะถึง ธันวาคม-มีนาคม 2560 โดยจากการสอบถามข้อมูลจากโรงงานเอกชนเจ้าของเครื่องจักร เครื่อง CUBE นี้มีสมรรถนะประมาณ 5 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งโครงการวิจัยนี้จะใช้เทคนิค RE-ENGINEERING เพื่อเพิ่มสมรรถนะ และลดขนาดเครื่องจักรให้เหมาะสมกับลานนวดข้าวโพดต่อไป จากการดำเนินงานวิจัยในปี 59 การทดสอบเครื่องอัดได้ดำเนินการเดินระบบไฟฟ้า

เรียบร้อยแล้ว และการเตรียมวัตถุดิบเพียงพอต่อการทดสอบโดยเตรียมไว้ประมาณ 20 ตัน จากการทดสอบเครื่องอัดแท่งเปลือกและซังจากต่างประเทศ Bulk density 543.95 kg/m<sup>3</sup>, density 914.29 kg/m<sup>3</sup> ส่วนการพัฒนาเครื่องจักรที่เป็นการอัดแท่ง จะทำการปรับปรุงเป็นแบบพอนเนื่องจากงบประมาณและครุภัณฑ์ในโครงการไม่ได้ตามเงื่อนไข ไม่สามารถทำได้ จากการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอัดพอน ขนาดก้อน 40x40x80 cm<sup>3</sup> มีน้ำหนัก 46-48.6 กิโลกรัม หรือ ความหนาแน่น 359.4-379.7 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับเปลือกและซังข้าวฤดูการเก็บเกี่ยวปลายฝน และ มีน้ำหนัก 22.3-24.1 กิโลกรัม หรือ ความหนาแน่น 174.2-188.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับเปลือกและซังข้าวฤดูการเก็บเกี่ยวฤดูหนาวที่มีสภาพแห้งมาก จากเดิมที่ใช้เครื่องอัดฟางได้ ความหนาแน่นเพียง 78.1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะทำให้สามารถขนาดส่งได้ง่ายและสามารถป้อนโรงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้ทดสอบในในศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่นและแปลงเกษตรกรที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งส่วนที่เพิ่มเติมคือต้องปรับปรุงต้นกำลัง โดยได้ออกแบบให้ใช้ปั๊มไฮดรอลิกชนิดเฟืองที่อัตราการไหล 10 cm<sup>3</sup>/rev และความดันที่ 7 Mpa

การศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA และเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้าและการผลิตเอทานอลจากเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยการศึกษาประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA ของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของการผลิตมีการปล่อยก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ก๊าซ N<sub>2</sub>O และ CO<sub>2</sub> การผลิตมีการปล่อย CO<sub>2</sub>-eq/kg รวม 298.67 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ผลผลิต หรือ 195.92 kg CO<sub>2</sub>-eq/rai<sup>2</sup> และมีการใช้สารกำจัดวัชพืชปริมาณมาก และจากการศึกษาการใช้เครื่องจักรในการแปรรูปเปลือกและซังข้าวโพด พบว่า ถ้าปล่อยให้มีการเผาเปลือกและซังข้าวโพดจะส่งผลกระทบต่อ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณปล่อย CO<sub>2</sub>-eq/kg รวม 1,501.72 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ผลผลิต หรือ 555.63 kg CO<sub>2</sub>-eq/rai<sup>2</sup> ซึ่งถ้านำซังไปผลิตเอทานอลจะลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเหลือ 454.33 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ลดการปลดปล่อยได้ 69.7% เทียบเท่ากับการเผาไหม้เปลือกและซังในที่โล่งแจ้ง ถ้านำซังไปเผาไหม้และนำมาผลิตถ่านด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันจะสามารถลดการปลดปล่อยได้ 92.5% หรือปลดปล่อย 111.93 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton และถ้านำถ่านมาอัดแท่งจะลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 92.0% หรือเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 12.63 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton และถ้านำถ่านไปแปรรูปอัดแท่งวัสดุปลูกกล้วยไม้จะลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 86.5 % หรือเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 91.39 kg CO<sub>2</sub>-eq/ton ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนใช้เครื่องจักรแปรรูปในการผลิตวัตถุดิบพบว่า นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังมาผลิตเป็นถ่านอัดก้อนและนำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังมาผลิตเป็นถ่านอัดก้อนวัสดุปลูก มีแนวโน้มที่สามารถดำเนินการผลิตเชิงพาณิชย์ได้โดยระยะเวลาคืนทุนมีค่า 1.14 และ 1.53 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน 80.71 และ 52.80 % ตามลำดับ ส่วนกรณีที่ 3 นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงและนำซังขายอุตสาหกรรม Furfural (นครราชสีมา-สระบุรี) 150 กก และกรณี

ที่ 4 นำเปลือกและซังมาแยกเพื่อนำเปลือกไปจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์และนำซังขายอุตสาหกรรม Furfural ไม่เหมาะต่อการลงทุนเนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นลบ ส่วนการนำเปลือกและซังไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสามารถทำได้เพียงการขนส่งระยะทางใกล้

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

## การผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้และไม้ดอกไม้ประดับจากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

### 1. การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายของการผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้

กำหนดให้

- ราคาเครื่องมือผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้	55,000 บาท
- อายุการใช้งาน	10 ปี
- มูลค่าซาก 1% ของราคาเครื่อง	550 บาท
- ค่าซ่อมบำรุงเครื่อง	1,100 บาท/ปี
- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	8 เปอร์เซ็นต์/ปี
- ค่าจ้างแรงงาน	300 บาท/วัน
- ค่าไฟฟ้า	3.00 บาท/หน่วย

ต้นทุนคงที่

- ค่าเสื่อมราคาเครื่อง

สมการค่าเสื่อมราคาเครื่องแบบเส้นตรง (P-L)/N

โดย  $P =$  ราคาซื้อเครื่องจักร, บาท

$L =$  ราคาซากเครื่องจักร, บาท

$N =$  อายุการใช้งาน, ปี

$$\begin{aligned} \text{ค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้} &= (55,000-550)/10 \text{ บาท/ปี} \\ &= 5,445 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

- ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน

$$\begin{aligned} \text{สมการค่าดอกเบี้ย} & \quad [(P+L)/2] \times (i/100) \\ \text{โดย } i &= \text{อัตราดอกเบี้ย/ปี, เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าดอกเบี้ยลงทุนเครื่องมือผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้} &= [(55,000+550)/2] \times (8/100) \text{ บาท/ปี} \\ &= 6,060 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นต้นทุนคงที่รวม} &= \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่อง} + \text{ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน} \\ &= 5,445 + 2,178 \quad \text{บาท/ปี} \\ &= 7,623 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

### ต้นทุนผันแปร

- ค่าวัสดุทางการเกษตรหั่นย่อย (เปลือก ต้นและซังข้าวโพด)

= ค่าแรงงานในการตัด รวบรวม และหั่นย่อยวัสดุทางการเกษตร

ค่าแรงงานในการตัดและรวบรวมวัสดุทางการเกษตร 300 บาท/วัน/คน

ใช้แรงงานทั้งหมด 2 คน ดังนั้นต้นทุนค่าแรงงานในการตัดและรวบรวมวัสดุทางการเกษตร = 600 บาท/วัน

= ค่าแรงงานในการหั่นย่อยวัสดุทางการเกษตร 300 บาท/วัน/คน

เครื่องมือผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้ต้นแบบสามารถผลิตวัสดุปลูกได้มากที่สุด 30 ก้อน/ชม ใช้วัสดุทางการเกษตรหั่นย่อย 0.5 กิโลกรัม/ก้อน ทำงานวันละ 8 ชม

ดังนั้นต้องใช้วัสดุปลูกหั่นย่อย  $30 \times 0.5 \times 8 = 120$  กิโลกรัม/วัน

เครื่องหั่นย่อยมีความสามารถในการทำงาน 300 กิโลกรัม/ชม. ใช้แรงงาน 1 คน ในการปฏิบัติงาน

ดังนั้นทำงาน 0.5 วัน ต้นทุนค่าแรงงานในการหั่นย่อย =  $0.5 \text{ วัน} \times 300 \text{ บาท/วัน/คน} \times 1 \text{ คน}$   
= 150 บาท/วัน

ค่าเชื้อเพลิงเครื่องหั่นย่อย 2.5 ลิตร/ชั่วโมง ใช้เวลาในการทำงาน 0.4 ชม. เพื่อหั่นย่อยวัสดุให้ได้ 120 กก/วันโดยค่าน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล 25 บาท/ลิตร

ดังนั้น ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง =  $2.5 \text{ ลิตร/ชั่วโมง} \times 0.4 \text{ ชั่วโมง/วัน} \times 25 \text{ บาท/ลิตร}$   
= 25 บาท/วัน

รวมค่าใช้จ่ายวัสดุทางการเกษตรหั่นย่อย =  $600 + 150 + 25 = 775 \text{ บาท/วัน}$

- ค่าใช้จ่ายในการผสมตัวประสานปูนซีเมนต์กับวัสดุทางการเกษตร

= ค่าแรงงานในการผสมตัวประสานปูนซีเมนต์กับวัสดุทางการเกษตรใช้แรงงาน 1 คน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นต้นทุนค่าแรงงาน} &= 300 \text{ บาท/วัน/คน} \times 1 \text{ คน} \\ &= 300 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

ค่าพลังงานไฟฟ้าเครื่องผสมตัวประสานกับวัสดุทางการเกษตร

เครื่องผสมมีความสามารถในการผสมวัสดุทางการเกษตร 36 กิโลกรัม/ชม. ดังนั้นต้องใช้เวลา 3.33 ชม. เพื่อผสมวัสดุกับตัวประสานทั้งหมด 120ก.ก.

ใช้พลังงานไฟฟ้าขณะทำงาน 8.7 A แรงดัน 220 โวลต์ คิดเป็น 1.914 กิโลวัตต์ ทำงานวันละ 3.33 ชม. ดังนั้นใช้พลังงานไฟฟ้า 6.37กิโลวัตต์/วันหรือ 6.37หน่วย/วันอัตราค่าไฟฟ้า 3.00 บาท/หน่วย

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่าพลังงานไฟฟ้าเครื่องผสม} &= 6.37 \text{ หน่วย/วัน} \times 3.00 \text{ บาท/หน่วย} \\ &= 19.11 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

ค่าตัวประสานปูนซีเมนต์

วัสดุปลูก 1 ก้อน ใช้ตัวประสานปูนซีเมนต์ 1.25กิโลกรัม ,เครื่องอัดก้อนวัสดุปลูกมีความสามารถในการผลิตได้ 240 ก้อน/วัน ดังนั้นต้องใช้ปูนซีเมนต์ 300ก.ก./วัน และราคาปูนซีเมนต์ 2.4 บาท/ก.ก.

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่าใช้จ่ายตัวประสานปูนซีเมนต์} &= 300 \text{ ก.ก./วัน} \times 2.4 \text{ บาท/ก.ก.} \\ &= 720 \text{ บาท/ก.ก.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการผสมตัวประสานปูนซีเมนต์กับวัสดุทางการเกษตร} &= 300+19.11+720 \\ &= 1,039.11 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

- ค่าใช้จ่ายในการอัดก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ด้วยเครื่องต้นแบบ

= ค่าแรงงานในการอัดก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ใช้แรงงาน 1 คน

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นต้นทุนค่าแรงงาน} &= 300 \text{ บาท/วัน/คน} \times 1 \text{ คน} \\ &= 300 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

= ค่าพลังงานไฟฟ้าเครื่องมือผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้

เครื่องมือผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ใช้พลังงานไฟฟ้าขณะทำงาน 4.3 A แรงดัน 380 โวลต์ทำงานวันละ 8 ชม. ดังนั้นใช้พลังงานไฟฟ้า 13.07 กิโลวัตต์/วันหรือ 13.07 หน่วย/วันอัตราค่าไฟฟ้า 3.00 บาท/หน่วย

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นค่าพลังงานไฟฟ้าเครื่องผสม} &= 13.07 \text{ หน่วย/วัน} \times 3.00 \text{ บาท/หน่วย} \\ &= 39.21 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการอัดก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ด้วยเครื่องต้นแบบ} = 300+39.21 = 339.21 \text{ บาท/วัน}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนผันแปรรวม} &= 775 + 1,039.11 + 339.21 \text{ บาท/ปี} \\ &= 2,153.32 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ทำงาน 365 วัน/ปี ดังนั้นต้นทุนผันแปรรวม} &= 2,153.32 \text{ บาท/วัน} \times 365 \text{ วัน/ปี} \\ &= 785,961.8 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นต้นทุนรวมทั้งหมด} &= 7,623 + 785,961.8 \text{ บาท/ปี} \\ &= 793,584.8 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

ระยะเวลา 1 ปี เครื่องอัดก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้สามารถทำงานได้ = 87,600 ก้อน/ปี

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ต้นทุนค่าใช้จ่ายของการผลิตวัสดุปลูกกล้วยไม้} &= (979,224.80 \text{ บาท/ปี}) / (87,600 \text{ ก้อน/ปี}) \\ &= 9.05 \text{ บาท/ก้อน} \end{aligned}$$

## 2 การคำนวณจุดคุ้มทุนจากการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ด้วยเครื่องต้นแบบ

- ราคาขายก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ 10 บาท/ก้อน

- เครื่องมือผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้มีความสามารถในการผลิตได้ 87,600 ก้อน/ปี

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นมีรายได้} &= 10 \text{ บาท/ก้อน} \times 87,600 \text{ ก้อน/ปี} \\ &= 876,000 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้นมีกำไรจากการจำหน่ายก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้

$$\begin{aligned} &= 876,000 - 793,584.8 \text{ บาท/ปี} \\ &= 82,415.2 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

- หาจุดคุ้มทุนจากการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ด้วยเครื่องต้นแบบ

$$\text{รายรับ} = \text{ต้นทุนค่าใช้จ่าย}$$

$$\text{ดังนั้นได้ว่า} \quad 10 \text{ บาท/ก้อน} \times N \text{ ก้อน/ปี} = 9.05 \text{ บาท/ก้อน} \times 87,600 \text{ ก้อน/ปี}$$

$$\begin{aligned} N &= \text{ปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุน, ก้อน/ปี} \\ &= (9.05 \times 87,600) / 10 \text{ ก้อน/ปี} \\ &= 79,278 \text{ ก้อน/ปี} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นจุดคุ้มทุนจากการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ด้วยเครื่องต้นแบบ} = 79,278 \text{ ก้อน/ปี}$$

## 3 การคำนวณระยะเวลาคืนทุนของการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ด้วยเครื่องต้นแบบ

ระยะเวลาคืนทุนหาได้จากความสัมพันธ์, ระยะเวลาคืนทุน = ราคาเครื่อง/มูลค่าเพิ่ม

$$= (55,000 \text{ บาท}) / (82,415.2 \text{ บาท/ปี})$$

$$\text{ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนของการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ด้วยเครื่องต้นแบบ} = 0.67 \text{ ปี}$$

$$\text{ประมาณ} = 1 \text{ ปี}$$

## 4 การคำนวณอัตราผลตอบแทนเงินลงทุนของการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ด้วยเครื่องต้นแบบ

อัตราผลตอบแทนเงินลงทุนหาได้จากความสัมพันธ์,

$$\begin{aligned} \text{อัตราผลตอบแทนเงินลงทุน} &= (\text{มูลค่าเพิ่ม/ราคาเครื่อง}) \times 100 \text{ เปอร์เซ็นต์} = (82,415.2 \text{ บาท/} \\ &\text{ปี}) / 55,000 \text{ บาท} \times 100 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราผลตอบแทนเงินลงทุนของการผลิตก้อนวัสดุปลูกกล้วยไม้ด้วยเครื่องต้นแบบ  
=149.85เปอร์เซ็นต์/ปี