



รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครื่องมือเพื่อการจัดการฟาร์มแม่นยำสูงในการผลิตโคนม
สำหรับเกษตรกรรายย่อย

Development of precision farm management tools in dairy
production for smallholder farmers

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครื่องมือเพื่อการจัดการฟาร์มแม่นยำสูงในการผลิตโคนม
สำหรับเกษตรกรรายย่อย
Development of precision farm management tools in dairy
production for smallholder farmers

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์

สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางสัตว์

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ผู้ร่วมวิจัย

อาจารย์ ดร. ธนาวิทย์ กุศลตันรักษ์

นาย เพลิน เมินกระโทก

นาย วิฑิตย แสนขวา

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีปีงบประมาณ 2561

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบในการจัดการฟาร์มโคนมเชิงเกษตรกรรมแม่นยำสูง โดยบูรณาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร ในการสร้างนวัตกรรมที่ใช้ในฟาร์มโคนมสำหรับเกษตรกรรายย่อย โดยแบ่งออกเป็น 3 งานวิจัย

การทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ไอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี การย่อยได้โภชนะทั้งหมด (TDN_{1x}) และค่าพลังงานย่อยได้ (DE_{1x}) ในฟางข้าวสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มทดลองๆ ละ 6 ซ้ำ ได้แก่ กลุ่มควบคุม (control: CTL), ฟางข้าวแช่น้ำ (rice straw soaked water: RSW), และฟางข้าวแช่น้ำอบไอโซน (rice straw soaked water and ozone: RSO) จากการทดลองพบว่า RSO ส่งผลให้ค่า CP, NDF, ADF, ADL และ ADICP มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังส่งผลให้ค่า TDN_{1x} และ DE_{1x} เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับ CTL และ RSO ดังนั้นการใช้ไอโซนสามารถส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและสามารถเพิ่ม TDN_{1x} และ DE_{1x} ของฟางข้าวได้

การทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบพัฒนาเครื่องผลิตพีชหมักถุงแบบอัตโนมัติ โดยชุดเครื่องมือดังกล่าวประกอบไปด้วย 1. เครื่องสับพีชที่หลังจากสับให้มีขนาดเหมาะสมกับการหมัก 2. เครื่องบรรจุและอัดก้อนพีชอัตโนมัติ ทำทดสอบโดยบรรจุหญ้าในถุง Polypropylene (PP) และ High Density Polyethylene (HDPE) โดยใช้ถุงขนาด 50, 55 และ 60 เซนติเมตร ทำการปรับอุณหภูมิฮีตเตอร์ของถุง PP ที่ 70-80 องศาเซลเซียส และ ถุง HDPE ที่ 90-110 องศาเซลเซียส โดยตั้งเวลาในการซีลที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที ผลการทดสอบ พบว่า ถุงพลาสติกที่เหมาะสมในการทดสอบคือถุง HDPE เนื่องจากการยึดตัวน้อยกว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 90-100 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการซีล 1-3 วินาที และเวลาที่ใช้ในการบรรจุต่อครั้งโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 5-10 นาที

การทดลองที่ 3 มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือการให้คะแนนร่างกายโคนมด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิทัลที่สามารถวัดความลึกของภาพโดยกล้อง Kinect V2 บริเวณพื้นผิวของภาพที่ถ่ายได้ โดยบันทึกภาพ TOP VIEW และพัฒนาโปรแกรมที่มีคุณสมบัติในการวิเคราะห์ภาพถ่าย จากการทดสอบพบว่า กล้องวัดระดับความลึกและโปรแกรมสามารถทำงานได้ดี สามารถช่วยให้ผู้ประเมินสามารถตัดสินใจในการให้คะแนน BSC อย่างถูกต้องมากขึ้น โดยมีหลักฐานและข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมในการสนับสนุน รวมถึงยังสามารถเก็บข้อมูลของโคนมแต่ละตัว แต่ละระดับช่วงอายุเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสภาพร่างกาย ซึ่งบ่งบอกถึงสุขภาพและสภาพการจัดการได้เป็นอย่างดี

Abstract

The purpose of this research is to develop a system for managing a precision agriculture for dairy farm by integrating engineering and agricultural technology to create innovations used in dairy farms for smallholder farmers. Divided into 3 experiments.

Experiment 1 the objective of this study was to evaluate the ozonization on rice straw (RS) compositions, Total digestible nutrient (TDN_{1x}) and Digestible energy (DE_{1x}) for ruminant animals. The experiment was designed in completely randomized design (CRD) with 3 treatments and 6 replications of each treatment: 1) control, CTL 2) RS soaked water, RSW 3) RS soaked water and ozone, RSO. RS compositions and detergent fibers were analyzed as used to determine TDN_{1x} and DE_{1x} . The results showed CP, NDF, ADF and ADL had statistically significant difference ($P < 0.05$) by lower in RSO than other groups. Also, TDN_{1x} and DE_{1x} had statistically significant difference ($P < 0.05$) by greater in RSO. Therefore, the ozonization can affect to RS compositions and can improve TDN_{1x} and DE_{1x} .

The second experiment aims to develop an automatic bag silage machine. The set of tools includes: 1. Chopping machine, after chopping to a suitable size for fermentation. 2. Automatic briquette machine. The grass was tested in Polypropylene (PP) and High Density Polyethylene (HDPE) bags, using 50, 55 and 60 centimeters bags, adjusting the heater temperature of PP bags at 70-80 C and HDPE bags at 90 - 110 C with sealing times 1, 2, 3, 4 and 5 seconds. The results showed that the suitable plastic bags for the test were HDPE bags due to their less elasticity. The optimum temperature is in the range of 90-100 ° C, the sealing time is 1 - 3 seconds and the average filling time is 5 - 10 minutes.

The third experiment aims to develop a dairy cows scoring (BSC) tool by analyzing photographs obtained by digital cameras that can measure the depth of the image (Deep Camera) of the Kinect V2 camera on the surface of the captured image. By recording TOP VIEW image and develop a computer program with photo analysis features. From testing, it was found that the Kinect V2 camera and the computer program produced good results. It can help assessors to make effective BSC assessments decisions. The evidence and data obtained from the computer program are also able to collect data of each dairy cows at different ages to analyze changes in physical condition, which indicate health and management conditions.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
Abstract.....	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารหยาบ โดยใช้ไอโซน.....	11
บทที่ 4 การพัฒนาเครื่องผลิตพีชหมักแบบอัตโนมัติสำหรับเกษตรกรรายย่อย.....	17
บทที่ 5 การพัฒนาเครื่องมือการให้คะแนนร่างกายโคเพื่อการจัดการฟาร์มโคนม.....	31
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	49
เอกสารอ้างอิง	50
ประวัตินักวิจัย	54

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ผลของการแช่น้ำและการใช้ไอโซนต่อองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว (LSM \pm SE)14
3.2	ผลของการแช่น้ำและการใช้ไอโซนต่อเยื่อใยและลิกนินในฟางข้าว (LSM \pm SE)15
3.3	ผลของการแช่น้ำและการใช้ไอโซนต่อคุณค่าพลังงานของฟางข้าว (LSM \pm SE)16
3.4	ผลของการแช่น้ำและการใช้ไอโซนต่อการย่อยได้โภชนะของฟางข้าว (LSM \pm SE)16



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงปฏิกิริยาการเกิดโอโซน (O ₃)	5
2.2 การเกิดปฏิกิริยาลูกลูโซ่ ทำให้โครงสร้างลิกนินแตกตัว.....	6
2.3 แสดงการตั้งค่าการรับภาพด้วยวาล์วกล้อง 3 มิติ (3 มิติ) จากมุมมองด้านข้างและด้านบน.....	9
2.4 แสดงรูปแบบผังการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมและเชื่อมต่อกับกล้อง 3 มิติ (3-D) ตัวรับสัญญาณระบุตัวตน (ID).....	10
4.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องหุ่นสับพืชอาหารสัตว์.....	18
4.2 หลักการทำงานของเครื่องแพ็คแบบสูญญากาศ.....	19
4.3 ชุดเครื่องจักรต้นแบบเครื่องแพ็คหญ้าหมักบรรจุถุงแบบสูญญากาศที่ได้ออกแบบ ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง.....	20
4.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง (ด้านข้าง).....	20
4.5 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง (ด้านบน).....	21
4.6 ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบ PID	22
4.7 ระบบควบคุมแบบ PLC	22
4.8 ชุดถังไซโล ไบโกลานและมอเตอร์ขับ.....	23
4.9 ลูกตุ้มเยื้องศูนย์.....	23
4.10 ชุดกระบอกลมควบคุมการจับปากถุง.....	24
4.11 เครื่องดูดอากาศที่แปลงจากเครื่องดูดฝุ่นและชุดท่อดูดอากาศ.....	24
4.12 ชุดแถบซิลควบคุมด้วยระบบนิวแมติกส์ (a-d).....	24
4.13 เครื่องควบคุมความร้อนฮีตเตอร์.....	25
4.14 เครื่องตั้งเวลาการซีล.....	26
4.15 Programmable Logic Control (PLC).....	26
4.16 การใส่ถุงบรรจุและการจับปากถุงของชุดกระบอกลม.....	27
4.17 หญ้าไหลลงสู่ถุงบรรจุ.....	27
4.18 ลักษณะการไล่อากาศและประคองถุง.....	28
4.19 กำมปูจับปากถุงถอยออก.....	28
4.20 แถบซิลและกระบอกชุดซีลฮีตเตอร์เลื่อนเข้า.....	28
4.21 ลักษณะถุงที่ผ่านการบรรจุแบบเปิดเครื่องดูดอากาศ.....	29

ภาพที่	หน้า
5.1	รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนนสภาพร่างกายโคนมโดยดูจากภาพตัดในตำแหน่งต่างๆ.....33
5.2	ภาพตัดตามขวางของลำตัวโค แสดงถึงขนาดกล้ามเนื้อแผ่นหลังตามลำดับ Body Condition Score เป็นภาพถ่ายด้วยกล้อง Kinect v2 แสดงความลึกของภาพหลังโคด้วยเฉดสีที่ BCS ระดับต่างๆ.....34
5.3	BCS ของโคที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ 5 ระดับ ซึ่งได้จากการประมวลผลภาพถ่าย top view ในส่วนด้านหลังของโค จากกล้อง Kinect v2. ของคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น.....34
5.4	แสดงการออกแบบของบังคับโคของทีมวิจัยเพื่อใช้บังคับโคในการถ่ายรูป.....35
5.5	กล้องดิจิทัล Deep Camera Kinect37
5.6	การทำงานของกล้องดิจิทัล Deep Camera Kinect.....38
5.7	แสดงภาพระดับความลึกที่ได้จากงานวิจัย แสดงออกเป็นเฉดสีต่างๆ ของส่วนหลังของโคนม ส่วนที่มีสีแดงจะอยู่ห่างจากกล้องมากที่สุด ส่วนที่มีสีน้ำเงินจะอยู่ใกล้กล้องมากที่สุด.....39
5.8	แสดงส่วนประกอบของของบังคับโคเพื่อการถ่ายภาพ.....39
5.9	แสดงการทำงานของของบังคับโคขณะเปิด-ปิด.....40
5.10	แสดงตำแหน่งการติดตั้งกล้อง Kinect v2. ที่บนส่วนหลังของลำตัวโค.....40
5.11	แสดงการทำงานใน Record Mode41
5.12	แสดงการทำงานของ Edit Mode ใน Function Show section (a).....42
5.13	แสดงการทำงานของ Edit Mode ใน Function Show section (b).....43
5.14	แสดงการทำงานของ Measurement Mode43
5.15	แสดงตำแหน่งการติดตั้งกล้อง Kinect และตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าเข้ากับของบังคับโค.....44
5.16	แสดงการติดตั้ง Computer and Program44
5.17	แสดงการนำโคเข้าของบังคับเพื่อทำการถ่ายภาพระดับความลึก.....45
5.18	แสดงขณะทำการบันทึกภาพในโหมด Edit function show section45
5.19	แสดงการเปรียบเทียบความลึกพื้นผิวด้วยเฉดสีของโคนมที่มี BSC ระดับต่างๆ 5 ระดับ จากโคนมที่คัดเลือกจากผู้เชี่ยวชาญ.....46
5.20	แสดง Cross section ของลำตัวส่วนท้ายของโคนมที่ ระดับ BSC ต่างๆ ที่ตำแหน่ง 50 % Pin-Hook หลังจากปรับแต่งเส้นระดับความลึก.....47
5.21	แสดงการเปรียบเทียบเส้น Cross suction ของ BSC ทั้ง 5 ระดับ เมื่อให้ส่วนบนสุดของแนวกระดูกสันหลังทับกัน.....47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาในการวิจัย

พืชอาหารสัตว์เป็นแหล่งอาหารหลัก โคมนควรได้รับปริมาณอาหารหยาบอย่างเพียงพอ เนื่องจากอาหารหยาบเป็นอาหารประเภทเยื่อใยสูง มีลักษณะทางกายภาพที่มีความฟุ้งสูง มีความสามารถในการกระตุ้นส่งเสริมการบดเคี้ยวอาหาร และช่วยในการเคี้ยวเอื้อง ดังนั้นคุณภาพของอาหารหยาบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการเลี้ยงโค ถ้าอาหารหยาบที่ใช้เลี้ยงโคมีคุณภาพต่ำ ปริมาณอาหารชั้นที่จะใช้เสริมจำเป็นต้องมีคุณค่าทางอาหารสูงขึ้น โดยเฉพาะโครีดนม ที่ต้องได้รับอาหารหยาบอย่างเพียงพอ ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ อย่างไรก็ตามพืชอาหารสัตว์คุณภาพดีจะมีปริมาณเพียงพอในช่วงฤดูฝนเท่านั้น ส่งผลให้เกิดการแคลนพืชอาหารสัตว์คุณภาพดีในช่วงฤดูแล้ง เกษตรกรส่วนใหญ่จะมีปริมาณอาหารหยาบไม่พอเพียงในฟาร์มสำหรับโคมนตลอดทั้งปี เกษตรกรต้องสำรองอาหารหยาบในช่วงฤดูแล้ง อาหารหยาบที่สำรองไว้ใช้ในฟาร์มส่วนใหญ่เป็นอาหารหยาบที่แห้งอัดเป็นฟ่อนหรือเป็นอาหารหยาบหมักที่อัดใส่ถุงหมัก สามารถเก็บสำรองได้มาก การนำไปใช้สะดวก แต่เกษตรกรมักจะมีปัญหาในประสิทธิภาพการหมักที่ไม่ดีพอ ทำให้อาหารหมักมีคุณภาพต่ำ นอกจากนี้การใช้ผลพลอยได้จากการเกษตรในการเลี้ยงโคมนก็มีความสำคัญ เช่น ฟางข้าว ซึ่งอาหารหยาบดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการย่อยได้ต่ำ ส่งผลให้ปริมาณการกินอาหารของสัตว์และผลผลิตลดลงได้

การเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารหยาบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ฟางข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำเนื่องจากลิกนิน (lignin) ที่มีอยู่ในฟางข้าวทำให้ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์และการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Kamla et al., 2015) ส่งผลให้ปริมาณการกินได้ลดลง ที่ผ่านมามีการศึกษาการเพิ่มการย่อยสลายได้ของฟางข้าว เช่น การใช้วิธีทางกล และการใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ เป็นต้น โดยวิธีดังกล่าวสามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง lignocellulosic ทำให้เพิ่มการย่อยสลายได้ของฟางข้าวเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้วิธีดังกล่าวนั้น อาจสามารถส่งผลต่อตัวสัตว์และไม่เหมาะสมต่อเกษตรกรเนื่องจากใช้แรงงานเพิ่มขึ้น (Aquino et al., 2020) ที่ผ่านมามีการนำวิธีการ Ozonization ซึ่งเป็นการใช้โอโซนเพื่อสลายหรือเปลี่ยนโครงสร้างของ Lignocellulosic ทำให้ปริมาณ lignin ลดลง (Li et al., 2015; Kádár et al., 2015) ดังนั้นวิธีการ Ozonization อาจสามารถเพิ่มการย่อยสลายได้ของฟางข้าวในกระเพาะรูเมนได้ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่พบการศึกษาถึงวิธีการใช้โอโซนดังกล่าว ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้โอโซนต่อองค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ และค่าพลังงานของฟางข้าวเพื่อนำไปประกอบสูตรอาหารโคมน

นอกจากนี้ สิ่งที่มีความสำคัญกับการจัดการฟาร์มโคนมอีกประการหนึ่งคือการให้คะแนนร่างกายโคนม การใช้ระบบให้แบบคะแนนนี้ จะช่วยให้ผู้เลี้ยงจัดแบ่งกลุ่มโคเลี้ยงได้ง่าย และทำให้ทราบสถานการณ์ของโคว่า ได้รับอาหารเพียงพอต่อความต้องการของร่างกายหรือไม่ เกษตรกรจะได้ทราบว่าโคที่เลี้ยงอยู่มีมาตรฐานคะแนนร่างกายเท่าใด อ้วนหรือผอม จะต้องเสริมหรือไม่เสริมอาหารหรือไม่ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจัดการฟาร์ม การให้คะแนนร่างกายโดยทั่วไป ก็ควรให้เป็นประจำทุกเดือนๆ ละ 1-2 ครั้งเป็นอย่างน้อย และมีการลงบันทึกเพื่อใช้เปรียบเทียบในแต่ละช่วงแต่ละเดือน ว่าโคมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร แต่การให้คะแนนร่างกายโคนม ผู้ประเมินต้องมีความชำนาญเพียงพอ ถ้ามีอุปกรณ์ที่สามารถช่วยในการประเมินได้จะทำให้เกษตรกรมีความแม่นยำในการจัดการฟาร์มโคนมมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตรขั้นสูงร่วมกับระบบเครื่องรับรู้ (sensor) ในการพัฒนาฟาร์มโคนมเชิงเกษตรกรรมแม่นยำสูง (precision agriculture)
2. การบูรณาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตรเพื่อการสร้างเครื่องมือหรือสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในฟาร์มโคนม
3. สร้างเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมรายย่อย

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. การใช้ไอโซนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายได้ของพืชอาหารสัตว์ได้
2. การพัฒนาเครื่องผลิตพืชหมักแบบอัตโนมัติสำหรับเกษตรกรรายย่อยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพืชหมักของเกษตรกรได้
3. การพัฒนาเครื่องมือการให้คะแนนร่างกายโคเพื่อการจัดการฟาร์มโคนมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการฝูงโคนม การให้อาหารและผลผลิตของโคนมได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในโครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีการเกษตรร่วมกับระบบเครื่องรับรู้ สร้างสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมที่จะนำไปสู่การพัฒนาฟาร์มโคนมเชิงเกษตรกรรมแม่นยำสูง โดยเน้นผู้ใช้ประโยชน์เป็นผู้ประกอบการผลิตโคนมรายย่อย ซึ่งมีความต้องการใช้เครื่องมือดังกล่าวจะเป็นเครื่องมือที่ลดการใช้แรงงาน เพิ่มความแม่นยำในการทำงาน ได้แก่

1. ชุดเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารหยาบ โดยใช้ไอโซน
2. การพัฒนาเครื่องผลิตพืชหมักแบบอัตโนมัติสำหรับเกษตรกรรายย่อย

3. การพัฒนาเครื่องมือการให้คะแนนร่างกายโคเพื่อการจัดการฟาร์มโคนม

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้เครื่องมือการผลิตไอโซนในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของพืชอาหารสัตว์ได้
2. ได้เครื่องผลิตพีชหมักแบบอัตโนมัติสำหรับเกษตรกรรายย่อย
3. ได้เครื่องมือการให้คะแนนร่างกายโคในการจัดการฟาร์มโคนมที่ประสิทธิภาพ



บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

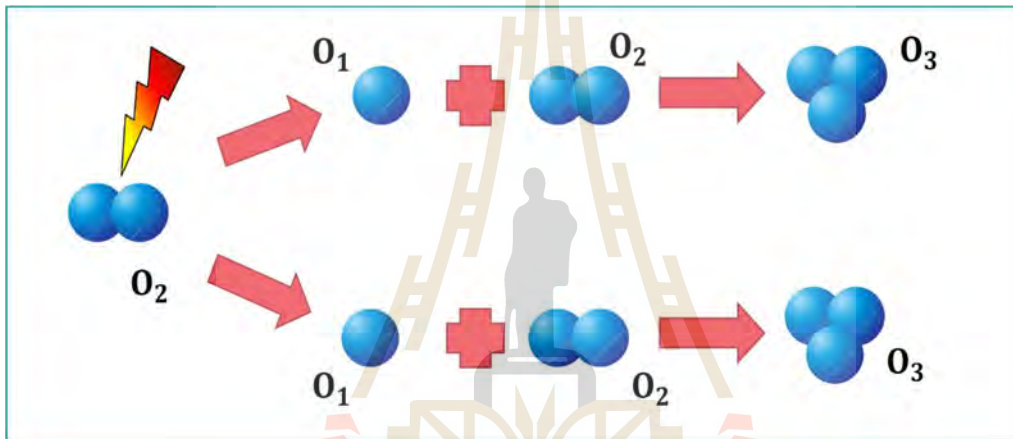
2.1 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารหยาบ โดยใช้โอโซน

ในการเลี้ยงโคนมเพื่อการผลิตน้ำนมให้ได้ผลผลิตตรงตามพันธูกรรมแล้ว โคนมต้องได้รับโภชนาการตามความต้องการของร่างกาย ในการจัดการให้อาหารโคนม อาหารหยาบเป็นอาหารที่จำเป็นต่อสัตว์เคี้ยวเอื้อง ถ้าไม่มีการให้อาหารหยาบแก่สัตว์เคี้ยวเอื้องเลย จะทำให้สภาวะในกระเพาะหมักสูญเสียไป เพราะในกระเพาะหมักสามารถนำโภชนาการที่ได้จากกระบวนการหมักคือกรดไขมันระเหยได้ แหล่งอาหารหยาบสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือพืชอาหารสัตว์ และผลพลอยได้ทางการเกษตร อย่างไรก็ตามผลพลอยได้ทางการเกษตรส่วนใหญ่มีความสามารถในการย่อยได้ต่ำ การจะนำมาใช้ในการเลี้ยงโคจึงควรต้องมีการปรับปรุงคุณภาพก่อน ฟางข้าวมีบทบาทสำคัญต่อการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องเนื่องจากเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีราคาถูกและมีจำนวนมากในท้องถิ่น แต่อย่างไรก็ตามฟางข้าวมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนต่ำส่งผลให้ฟางข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ เนื่องจากลิกนิน (lignin) ที่มีอยู่ในฟางข้าวทำให้ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์และการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก (Kamla et al., 2015) ส่งผลให้ปริมาณการกินได้ลดลง การปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลพลอยได้จากการเกษตรมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีกายภาพ วิธีทางเคมีและวิธีชีวภาพ โดยวิธีทางเคมีที่เป็นที่นิยมและใช้การอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ยูเรีย จะทำให้คุณภาพของอาหารหยาบดีขึ้นได้แก่ การกินและการย่อยได้สูงขึ้น 8 – 15 % มีปริมาณของโปรตีนเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า (พานิช, 2535) การทำฟางข้าวหมักยูเรียจะช่วยเพิ่มการย่อยได้ของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งจะช่วยให้จุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์ฟางปรุงแต่งในการสร้าง VFA ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มการย่อยได้ของโภชนาการอื่นๆ ได้ดีขึ้น ดังนั้นเมื่อวัดค่า TDN ของฟางปรุงแต่งจะพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากฟางปกติ จาก 44.7% เป็น 49.5% (สมคิด, 2535) อย่างไรก็ตามการทำฟางหมักยูเรีย ซึ่งเป็นสารเคมี อาจมีการตกค้างและยูเรียมีความเป็นด่าง อาจมีผลต่อตัวสัตว์ได้

การใช้โอโซนจึงเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจในการปรับปรุงคุณภาพของอาหารหยาบ โอโซนเป็นก๊าซที่มีโครงสร้างไม่เสถียร หลังทำปฏิกิริยา โอโซนจะแปรสภาพกลับเป็นก๊าซออกซิเจนซึ่งไม่เป็นอันตราย หรือส่งผลกระทบใดๆ ต่อมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม มีรายงานการศึกษาการใช้โอโซนในการทรีตกับฟางข้าวสาเลี พบว่าสามารถเพิ่มการย่อยได้ของฟางข้าวสาเลีทำให้สามารถลดปริมาณลิกนินลงได้ 60% (Gitifar et al. 2013) ซึ่งการใช้โอโซนเพื่อสลายหรือเปลี่ยนโครงสร้างของ Lignocellulosic ทำให้ปริมาณ lignin ลดลง (Li et al., 2015; Kádár et al., 2015)

2.1.1 โอโซน (Ozone)

โอโซนเป็นสารอยู่ในสถานะก๊าซประกอบด้วยโมเลกุลของออกซิเจน 3 โมเลกุล ก๊าซโอโซนเกิดได้เองในธรรมชาติจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงในอากาศเนื่องจากฟ้าผ่าหรือฟ้าแลบทำให้ก๊าซออกซิเจนซึ่งปกติประกอบด้วยออกซิเจน 2 อะตอม รวมกันเป็น 1 โมเลกุล (O_2) แตกตัวเป็นออกซิเจน 1 อะตอม (O) อิสระแล้วรวมกับก๊าซออกซิเจนโมเลกุลอื่น เกิดเป็นโอโซน 1 โมเลกุล (O_3) ดังแสดงในรูปที่ 3 นอกจากนี้ รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ก็ทำให้ออกซิเจนแตกตัว เกิดก๊าซโอโซนได้เช่นกัน O_3 ที่เกิดโดยวิธีนี้มีความปริมาณเพียง 0.02-0.2 ppm เท่านั้น (Horvath et al., 1985)

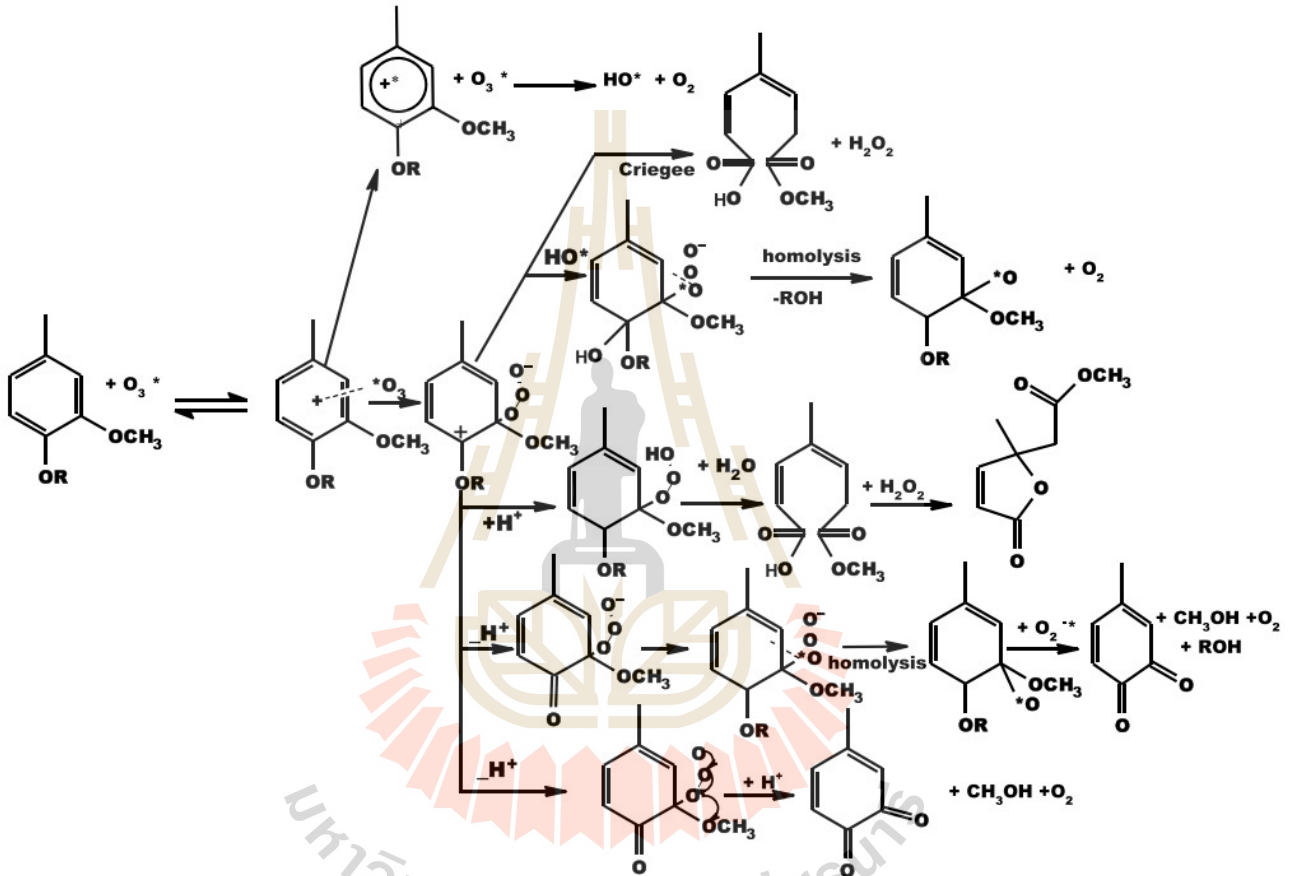


ภาพที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาการเกิดโอโซน (O_3)

แม้จะเกิดจากโมเลกุลของออกซิเจนเหมือนกันแต่ O_2 และ O_3 กลับมีคุณสมบัติต่างกันมาก กล่าวคือ O_2 สามารถคงสภาพอยู่ได้ดีกว่า เนื่องจากพันธะที่ยึดอะตอมของออกซิเจน 2 อะตอมไว้ด้วยกันมีความแข็งแรง นั่นคือมีความเสถียรสูง ในขณะที่ O_3 เป็นมีการเติมอะตอมของออกซิเจนเพิ่มเข้ามาอีก 1 อะตอม ทำให้โมเลกุลใหม่ที่ได้มีพลังงานสูง มีความเสถียรต่ำทำให้เสียสภาพได้ง่ายจากปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความดันและการเกิดปฏิกิริยากับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดการออกซิเดชัน อย่างรวดเร็วด้วยการให้อะตอมของออกซิเจน 1 อะตอม และได้ผลิตผลกลับเป็น O_2 ที่มีพลังงานต่ำกว่านั่นเอง พบว่า O_3 มีความแรงปฏิกิริยา (Oxidation potential) สูงถึง 2.07 Electron Volt (eV) (Razumovskii et al., 1984)

2.1.2 ปฏิกิริยาโอโซนไลซิส (Ozonolysis)

ลิกนินมีโครงสร้างเป็นวงอะโรมาติก จับกันหลายโมเลกุล ลิกนินจะลดลงภายใต้สภาวะที่ถูกกระตุ้น โดยเกิดเป็น free radical ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เกิดออกซิเดชันจาก oxygen ในสภาวะ free radical โดยเข้าไปทำ reaction กับหมู่คาร์บอนิล ทำให้โครงสร้างวงอะโรมาติก เกิดการแตกตัวเป็น phenoxly-radicals การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้โครงสร้างแตกตัวได้



ภาพที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ทำให้โครงสร้างลิกนินแตกตัว (M'Arimi et al., 2020)

จากงานวิจัยของ Mahesh et al. (2013) ได้ศึกษาผลของโอโซนในการปรับปรุงการผลิตน้ำตาลที่ผ่านกระบวนการหมักโดยการย่อยด้วยเอนไซม์ไฮโดรไลซิสในฟางสาลี พบว่า โครงสร้างของลิกนินมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 ซึ่งมีค่าเพิ่มจาก 13.11% เป็น 63.17%

ความชื้นเป็นตัวแปรสำคัญในการผลิตน้ำตาล โดยเมื่อทำการพ่นไอโซนใส่ฟางข้าวสาลี ทำให้มีปริมาณลิกนินมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4% เป็น 11% หลังจากการปล่อยไอโซน 2 ชั่วโมง

จากงานวิจัยของ Ali et al. (2015) ได้ศึกษาผลของการเพิ่มปริมาณไอโซนที่ทำปฏิกิริยากับลิกนินในฟางข้าวสาลี โดยมีขั้นตอนการทำ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ทำการสลายโครงสร้างลิกนินโดยใช้ไอโซน ที่อัตราการไหล 1 L/min ความเข้มข้นไอโซน 3 wt% และขั้นตอนที่ 2 ทำการล้างฟางข้าวสาลีให้เป็นกลาง ในกระบวนการนี้เป็นารเปรียบเทียบปริมาณการลดลงของลิกนินที่ไม่ละลายในกรด (ADL) จาก 13.04 wt% (หลังจากพ่นไอโซน 30 นาที ตามขั้นตอนที่ 1) เป็น 9.34 wt% (หลังจากผ่านขั้นตอนที่ 2 เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการล้างสารออกจกกัน) การเลือกใช้วิธีการนี้ ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำตาลที่หมักได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ ทำให้มีผลผลิตของน้ำตาลเพิ่มขึ้น จาก 60% เป็น 80% ปริมาณลิกนินที่ไม่ละลายในกรด มีค่าลดลงเหลือ 7.36% และมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น 90%

2.2 การพัฒนาเครื่องผลิตพีชหมักถุงแบบอัตโนมัติสำหรับเกษตรกรรายย่อย

การผลิตพีชอาหารหมักเป็นอาหารที่เตรียมโดยอาศัยกระบวนการหมัก (fermentation) ของพีชอาหารที่มีความชื้นสูง กระบวนการหมักเกิดขึ้นเนื่องจากการควบคุมให้มีการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติก ขบวนการหมักเป็นวิธีหนึ่งในการรักษาคุณค่าทางอาหารของพีชอาหาร (Kung et al., 2000) เอาไว้ โดยการหมักมักจะมีการทำใน Silo หรือ Bunker ซึ่งขบวนการหมักที่ดีจะต้องไร้อากาศทั้งนี้เพราะอากาศมีออกซิเจน ถ้าในขบวนการหมักมีอากาศ ยีสต์และราซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการเน่าเสียในพีชหมัก ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนจะมีการสะสมของกรด lactic ทำให้ pH ลดลงส่งผลให้จุลินทรีย์หยุดการทำงานลง แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกษตรกรมักพบได้บ่อยคือความสามารถในการไล่อากาศออกจากถุงหมัก จึงทำให้เกิดการเน่าเสียของพีชหมัก การออกแบบพัฒนาเครื่องผลิตพีชหมักถุงแบบอัตโนมัติจะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี โดยชุดเครื่องมือดังกล่าวประกอบไปด้วย 1. เครื่องสับพีชที่ออกแบบให้ได้พีชหลังจากสับมีขนาดเหมาะสมกับการหมัก เพื่อช่วยให้การบีบอัดพีชในภาชนะมีประสิทธิภาพ 2. เครื่องบรรจุและอัดก้อนพีชอัตโนมัติ ทำให้ได้พีชหมักที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงโค

2.3 การพัฒนาเครื่องมือการให้คะแนนร่างกายโคเพื่อการจัดการฟาร์มโคนม

ประสิทธิภาพของการจัดการฝูงโคนม สิ่งที่มีความสำคัญอีกประการหนึ่งคือ การประเมินสภาพของโคนม โดยการให้คะแนนความสมบูรณ์ร่างกายโค จะช่วยให้ผู้เลี้ยงสามารถประเมินคุณภาพการจัดการของตนเองได้ แต่การให้คะแนนความสมบูรณ์ร่างกายโค ผู้ประเมินจะต้องมีความชำนาญ การใช้เทคโนโลยีการให้คะแนนร่างกายโค (Body condition score; BCS) โดยการติดตั้งกล้อง ซึ่งจะมีการคำนวณภาพและคำนวณคะแนนร่างกายของโคนมในแต่ละวันโดยอัตโนมัติ คะแนนการประเมินจะถูกส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมประเมิน ซึ่งเกษตรกร

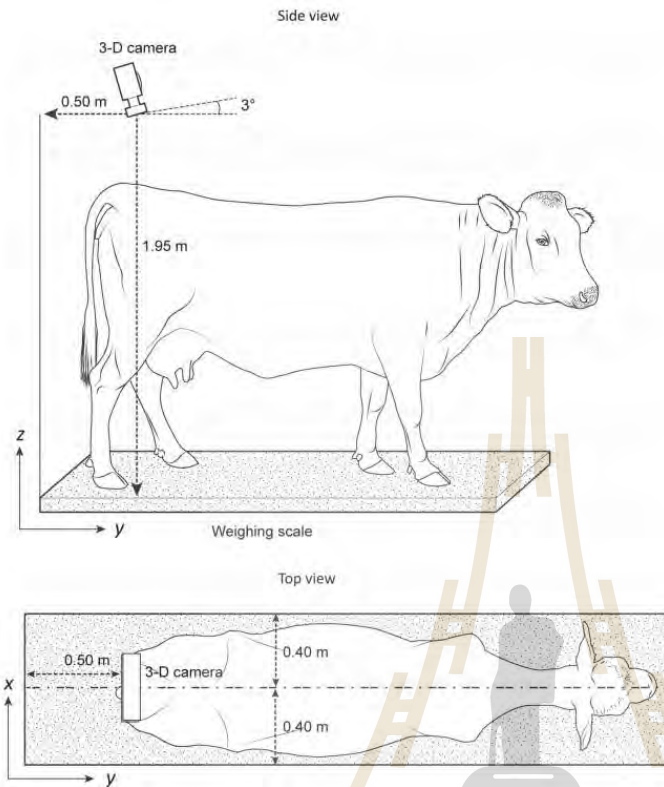
สามารถดูและวิเคราะห์ข้อมูลของโคแต่ละฝูง เมื่อเกษตรกรมีคะแนนร่างกายโคทุกวัน สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์

การให้คะแนนร่างกายโค เป็นการประเมินทางอ้อมถึงระดับของพลังงานที่ร่างกายโคเก็บสะสมไว้ในรูปของไขมันและกล้ามเนื้อ โดยประเมินจากจุดต่างๆ ที่มีการสะสมไขมัน, กล้ามเนื้อที่สัมพันธ์กับการให้ผลผลิตและความสมบูรณ์พันธุ์ วิธีการให้คะแนนจะต้องมีการจัดให้โคอยู่ในช่องเดี่ยวเพื่อให้ผู้ประเมินสามารถพิจารณาตามจุดต่างๆ ของร่างกายโค การให้คะแนนความสมบูรณ์ร่างกายของโคมีใช้กันหลายระบบ เช่น ในประเทศออสเตรเลียใช้ระบบ 8 คะแนน ส่วนประเทศนิวซีแลนด์ใช้ระบบ 10 คะแนน แต่ที่จะกล่าวถึงเป็นระบบที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาและอังกฤษมีคะแนนเต็ม 5 คะแนน การใช้ระบบให้แบบคะแนนนี้ จะช่วยให้ผู้เลี้ยงจัดแบ่งกลุ่มโคเลี้ยงได้ง่าย การเฝ้าติดตามของ BW ของโคนม อย่างไรก็ตามการลดลงของแรงงานภาคการเกษตรเป็นปัญหาในการจัดการดูแลโคนม เพราะถ้ามีจำนวนโคนมปริมาณมากก็จะต้องมีความต้องการแรงงานสูง (Barkema et al., 2015) มีความจำเป็นที่จะลดภาระของเกษตรกรในการทำกิจกรรมบางอย่างโดยการมีเครื่องมืออัตโนมัติในการทำกิจกรรมที่ต้องใช้แรงงานมาก เช่น การรีดนมและการให้อาหาร (Jacobs and Siegford, 2012) การตรวจสอบการให้คะแนนร่างกายโคโดยใช้อุปกรณ์อัตโนมัติมีการศึกษาค่อนข้างน้อย โดยการพัฒนาล่าสุดมีการนำเทคโนโลยีเซ็นเซอร์มาใช้ในการตรวจสอบการให้คะแนนร่างกายของโคนม โดยการรวบรวมข้อมูลประจำวัน เกี่ยวกับสถานะทางกายภาพของโคแต่ละตัว (Rutten et al., 2013)

การเปลี่ยนแปลงร่างกายของโคนมจะสะท้อนให้เห็นถึงความสมดุลของพลังงานในโค (Mäntysaari and Mäntysaari, 2015) ความสมดุลของพลังงานเชิงลบในระยะยาวอาจทำให้เกิดปัญหาได้สุขภาพและการสืบพันธุ์ (de Vries et al., 1999; Collardet et al., 2000) เพื่อประมาณผลของพลังงานเชิงลบสมดุล BW ที่วัดได้บ่งชี้สามารถใช้ในฟาร์มได้เพื่อการจัดการ (Thorup et al., 2012) ดังนั้นการตรวจสอบ BW สามารถช่วยเกษตรกรในการตัดสินใจในการจัดการเกี่ยวกับสถานะสุขภาพของโค (van der Tol and van der Kamp, 2010) ที่สำคัญกว่านั้น BW ของโคนมแต่ละตัวจะต้องได้รับการตรวจวัดและติดตาม โดยอัตโนมัติเพื่อป้องกันการขาดแคลนแรงงานและเพื่อให้แน่ใจว่าเกษตรกรมีเวลาในการรักษาและการดูแลเป็นรายตัว (Maltz, 1997) ดังนั้นระบบอัตโนมัติที่มีต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีระบบซึ่งน้ำหนัก BW สามารถเป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกเหนือจากการใช้เครื่องชั่งเพื่อทำนายที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับน้ำหนัก (Heinrichs et al., 1992)

การตรวจวัดลักษณะทางกายภาพเหล่านี้ นอกจากจะต้องใช้แรงงานมากแล้ว กระบวนการวัดผลอาจทำให้โคเครียดได้ (Dickinson et al., 2013) เพื่อให้ลักษณะทางกายภาพเป็นไปโดยอัตโนมัติ การวัดผลเทคนิคใหม่ๆ เช่น การตรวจสอบด้วยคอมพิวเตอร์ (computer vision) (Marinello et al, 2015) ถูกกำหนดและวัดเป็นระยะทางหรือพื้นที่ระหว่างจุดสังเกตทางกายวิภาคที่ระบุไว้ล่วงหน้าบนพื้นผิวของร่างกายของโค (Kuzuhara et al., 2015) โดยกายวิภาคเหล่านี้มีจุดสังเกตที่มักจะมองเห็นได้ชัดเจน เช่น กระดูกสะโพกและกระดูกสันหลังยื่น

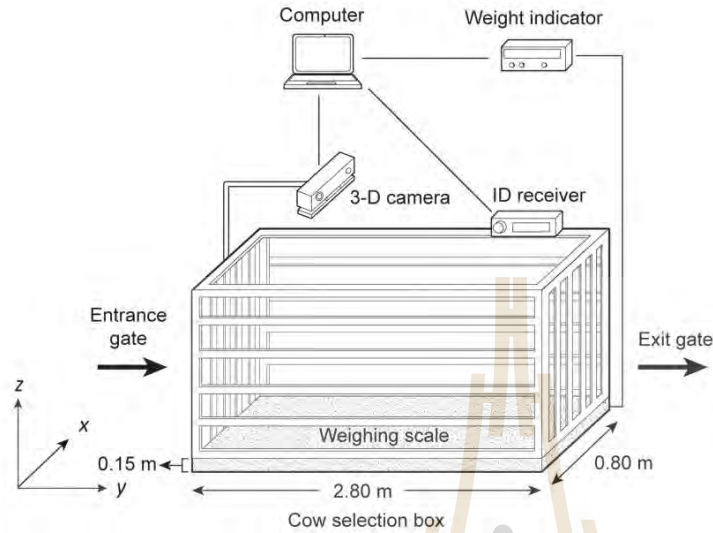
ออกมาจากพื้นที่โดยรอบ (Kawasue et al, 2013) การระบุจุดสังเกตทางกายวิภาคด้วยการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์เป็นพื้นฐานสำหรับการวัดโดยอัตโนมัติลักษณะทางกายภาพ (ดังภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 แสดงการตั้งค่าการรับภาพด้วยกล้อง 3 มิติ (3 มิติ) จากมุมมองด้านข้างและด้านบน (Song et al., 2017)

ปัจจุบันใช้เทคนิคการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ในการวัดลักษณะทางกายภาพของโคนมประกอบด้วย 2 มิติ (2-D) การมองเห็นความร้อน (Stajanko et al., 2008) การมองเห็นโดยใช้กล้อง 2 มิติที่ปรับเทียบแล้วหลายตัว (multiple calibrated 2-D cameras) (Tasdemir et al., 2011) และการมองเห็น 3 มิติ (3-D) โดยใช้กล้อง 3 มิติหลายตัว (multiple 3-D cameras) (Marinello et al., 2015; Salau et al, 2016) ภาพที่ถ่ายด้วยการมองเห็น 3 มิติตรงกันข้ามกับการมองเห็น 2 มิติแสดงความแตกต่างเชิงลึกที่ชัดเจนระหว่างโคและพื้นหลัง ความแตกต่างดังกล่าวนี้มีนัยสำคัญ สามารถลดความซับซ้อนของการแบ่งส่วนพื้นหลัง (Rosell-Polo et al, 2015) ยิ่งไปกว่านั้นภาพที่ถ่ายด้วยการมองเห็น 3 มิติยังรวมถึง ข้อมูลเชิงลึกบนพื้นผิวของร่างกายในขณะที่ 2-D และภาพความร้อนรวมเฉพาะรูปร่างของร่างกายและข้อมูลพื้นที่หน้าตัด นอกจากนี้บางลักษณะทางกายภาพที่วัดโดยใช้การมองเห็น 3 มิติคือ มีความสัมพันธ์อย่างมากกับค่าอ้างอิงที่วัดได้ด้วยตนเองเมื่อเทียบกับการมองเห็นสเตอริโอ (Tasdemir et al, 2011; Marinello et al., 2015)

ในกรณีศึกษานี้ นักวิจัยเลือกที่จะการให้คะแนนร่างกายโคนม โดยดูจากลักษณะทางกายภาพของร่างกาย โดยการประมวลผลโดยอัตโนมัติ ภาพที่ถ่ายด้วยระบบกล้อง 3 มิติ ในการประมวลผลภาพอัตโนมัติในการให้คะแนนร่างกายโคนมลักษณะซึ่งอาจส่งผลอย่างมากต่อการทำนาย BSC



ภาพที่ 2.4 แสดงรูปแบบผังการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมและเชื่อมต่อกับกล้อง 3 มิติ (3-D) ตัวรับสัญญาณระบุตัวตน (ID) (Song et al., 2017)

บทที่ 3

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารหยาบ โดยใช้ O_3

3.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานทดลอง

ฟางข้าวมีบทบาทสำคัญในการเลี้ยงโค ซึ่งเป็นแหล่งอาหารหยาบที่มีราคาถูกและมีจำนวนมากในท้องถิ่น แต่อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดในการนำมาใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทั้งนี้เนื่องจากฟางข้าวมีอัตราการย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากลิกนิน (lignin) ที่มีอยู่ในฟางข้าว นั้นจะไปขัดขวางการย่อยของเอนไซม์และจุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก ส่งผลทำให้โคลดปริมาณการกินได้และได้รับสารอาหารที่จำเป็นลดลง ดังนั้นจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มการย่อยสลายได้ของฟางข้าว เช่น 1. การบด, 2. การใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เป็นต้น โดยวิธีที่กล่าวมานั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนโครงสร้างของ lignocellulosic ซึ่งประกอบไปด้วย lignin, hemicellulose, และ cellulose ทำให้เพิ่มการย่อยสลายได้ของฟางข้าวเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้วิธีดังกล่าวนี้สามารถส่งผลเสียต่อตัวสัตว์และไม่เหมาะสมต่อเกษตรกรเนื่องจากใช้แรงงานเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้วิธี Ozonolysis ซึ่งเป็นการใช้โอโซนในการสลายหรือเปลี่ยนโครงสร้างของ lignocellulosic ทำให้ปริมาณ lignin ลดลง จึงอาจสามารถเพิ่มการย่อยสลายได้ของฟางข้าวในกระเพาะรูเมนได้ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่พบเกี่ยวกับการใช้ Ozonolysis ในการประเมินคุณค่าทางโภชนา และคุณค่าพลังงานสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ดังนั้นวัตถุประสงค์ในครั้งนี้เพื่อศึกษาการใช้ ozonolysis ในการสลาย lignin ในฟางข้าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ของฟางข้าวในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง

3.2 วัตถุประสงค์งานทดลอง

งานทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาผลของการใช้โอโซนในฟางข้าวต่อคุณค่าทางโภชนา และคุณค่าพลังงานสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง

3.3 สมมติฐานงานทดลอง

การใช้โอโซนในฟางข้าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาและคุณค่าพลังงานสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง

3.4 วิธีดำเนินงานทดลอง

3.4.1 ทริทเมนต์และการออกแบบงานทดลอง

งานทดลองนี้ได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) โดยมีจำนวน 3 ทริทเมนต์ คือ 1. กลุ่มควบคุม (control) 2. ฟางแช่น้ำ (rice straw soaked with water; RSW) 3. ฟางอบโอโซน (rice straw soaked with ozone; RSO) โดยแบ่งออกเป็นทริทเมนต์ละ 6 ซ้ำ ซึ่งจำนวนซ้ำดังกล่าวมาจากการคำนวณ sample size โดยใช้โปรแกรม Rstudio รุ่น 3.6.2 (RStudio, 2020) โดยคำนวณ effect size ที่ ± 1.2 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ยของแต่ละค่าสังเกตของประชากร ฟางข้าว ($\mu \pm 1.2 \times \sigma$) และได้คำนวณค่า power of analysis ที่ระดับ 80% และได้กำหนดค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.25 เนื่องจาก 2-way ANOVA

3.4.2 การสุ่ม การเตรียมตัวอย่าง และการดำเนินการทดลอง

งานทดลองนี้ได้ทำการสุ่มฟางข้าวที่ส่วนงานฟาร์มโคนม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการสุ่มครั้งละประมาณ 1 กิโลกรัม จำนวน 18 ครั้ง หลังจากนั้นนำฟางที่ทำการสุ่มมารวมกันและคลุกเคล้าให้เข้ากัน หลังจากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างโดยทำการสุ่มฟางที่ได้ทำการคลุกเคล้าเข้ากันจำนวน 0.56 กิโลกรัมใส่ถุงเตรียมไว้ทั้งหมด 18 ถุง หลังจากนั้นทำการจับฉลากแต่ละถุงเพื่อระบุทริทเมนต์ หลังจากนั้นทำการใส่น้ำจำนวน 6.8 กิโลกรัม (ยกเว้นกลุ่มควบคุม) เพื่อปรับความชื้นให้ได้ประมาณ 92% หลังจากนั้นนำไปใส่เครื่องปั่นโอโซนต่อไป ซึ่งในกลุ่ม RSW ได้ทำการปั่นเป็นระยะเวลา 30 นาที โดยไม่ได้ทำการปล่อยก๊าซโอโซนเข้าไปในเครื่องปั่น แต่กลุ่ม RSO ได้ดำเนินการปั่นเช่นเดียวกับกลุ่ม RSW และได้ทำการปล่อยก๊าซโอโซนเข้าไปในเครื่องปั่นในปริมาณ 223.3 มิลลิกรัมโอโซน/ ลิตร ในอัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ปริมาณ 30 มิลลิกรัมโอโซน/ ลิตร ในอัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

3.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำตัวอย่างที่ได้จากเครื่องปั่นโอโซนในแต่ละทริทเมนต์มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่น DM, CP, EE, Ash โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ (AOAC, 1995) ปริมาณเยื่อใย NDF (Van Soest et al., 1991), ADF, และ ADL (AOAC, 1990) ปริมาณ NDIN, ADIN (Goering and Van Soest, 1970)

การประเมินคุณค่าพลังงาน

การประเมินคุณค่าพลังงานในฟางข้าวได้ใช้สมการที่ระบุในความต้องการโภชนะสำหรับโคนม (NRC, 2001) โดยการนำค่าการวิเคราะห์ทางเคมีดังกล่าวข้างต้นมาประเมินคุณค่าการย่อยได้จริงของ non-fibrous carbohydrate (tdNFC) คุณค่าการย่อยได้จริงของโปรตีนในพืชอาหารสัตว์ (tdCPF) คุณค่าการย่อยได้จริงของกรดไขมัน (tdFA) คุณค่าการย่อยได้จริงของเยื่อใย NDF (tdNDF) ดังสมการที่ 1-4 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการดังกล่าวมาคำนวณค่าพลังงานย่อยได้ทั้งหมดที่ระดับตำรังชีพ (TDN_{1x}) และค่าพลังงานที่สามารถย่อยได้ที่ระดับตำรังชีพโดย (DE_{1x}) ดังสมการที่ 5-6 ตามลำดับ

สมการประเมินโภชนะที่ย่อยได้จริงและพลังงานที่ย่อยได้ในระดับตำรังชีพในโคนม (NRC, 2001)

Truly Digestible NFC (tdNFC)

$$= 0.98 (100 - [(NFC - NDICP) + CP + EE + Ash]) \times PAF \dots \dots \dots (eq.1)$$

Truly Digestible CP for forages (tdCPF)

$$= CP \times \exp^{-1.2 \times (ADICP/CP)} \dots \dots \dots (eq.2)$$

Truly Digestible FA (tdFA)

$$= FA \text{ Note: If } EE < 1, \text{ then } FA = 0 \dots \dots \dots (eq.3)$$

Truly Digestible NDF (tdNDF)

$$= 0.75 \times (NDFn - L) \times [1 - (L/NDFn)^{0.667}] \dots \dots \dots (eq.4)$$

Total Digestible Nutrient_{1x} (%)

$$= tdNFC + tdCPF + (tdFA \times 2.25) + tdNDF - 7 \dots \dots \dots (eq.5)$$

Digestible Energy_{1x} (Mcal/kg)

$$= (tdNFC/100) \times 4.2 + (tdNDF/100) \times 4.2 + (tdCP/100) \times 5.6 + (FA/100) \times 9.4 - 0.3 \dots \dots (eq.6)$$

หมายเหตุ : NDICP = neutral detergent insoluble N x 6.25, PAF = processing adjustment factor (see below), ADICP = acid detergent insoluble N x 6.25, FA = fatty acids (i.e., EE - 1), L = acid detergent lignin, and NDFn = NDF - NDICP. All values are expressed as a percent of dry matter.

3.4.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

งานทดลองนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่น 23 (IBM Corp, 2016) โดยทำการวิเคราะห์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ซึ่งก่อนทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน ได้นำค่าตัวแปรตามที่ได้จากผลการวิเคราะห์ผลการทดลองมาทดสอบเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน ได้แก่ 1.) ค่าการกระจายปกติของข้อมูลโดยใช้ Shapiro-Wilk normality test ($P > 0.05$) 2.) ทดสอบความเท่ากัน

ของความแปรปรวนระหว่างทรีทเมนต์ 3.) ค่า kurtosis และ skewness ให้อยู่ในช่วงระหว่าง -0.5 ถึง 0.5 แต่อย่างไรก็ตามหากค่าตัวแปรตามที่ได้จากผลการวิเคราะห์ผลการทดลองไม่เป็นไปตามเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนจึงทำการแปลงข้อมูล (data transformations) โดยใช้วิธีการ Box Cox (Box and Cox, 1964) โดยใช้โปรแกรม Rstudio รุ่น 3.6.2 (RStudio, 2020) และได้วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์โดยใช้ Turkey's HSD ($P < 0.05$)

3.5 ผลและอภิปรายผลงานทดลอง

3.5.1 ผลของการแช่น้ำและการใช้โอโซนต่อองค์ประกอบทางเคมี เยื่อใย และคุณค่าทางพลังงานของ ฟางข้าว

จากการศึกษาพบว่าการใช้โอโซนมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีและเยื่อใยของฟางข้าว ตารางที่ 3.1-3.2 นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะที่แท้จริงในระดับตำรังค์ซีพ (TDN_{1x}) และพลังงานที่ย่อยได้ที่ระดับตำรังค์ซีพ (DE_{1x}) ในฟางข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเนื่องจากในกลุ่ม RSW ให้ผลที่แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมถึงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี เปอร์เซ็นต์การย่อยได้ของโภชนะที่แท้จริงในระดับตำรังค์ซีพ (TDN_{1x}) และพลังงานที่ย่อยได้ที่ระดับตำรังค์ซีพ (DE_{1x}) ในฟางข้าว ดังตารางที่ 3.1 ดังนั้นความแตกต่างที่เกิดขึ้นจึงสามารถระบุได้ถึงอิทธิพลของโอโซนที่สนใจมีผลต่อค่าสังเกต

ตารางที่ 3.1 ผลของการแช่น้ำและการใช้โอโซนต่อองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว (LSM \pm SE)

Treatments	Dry matter	Crude protein	Ether extract	Ash
	% of DM			
control	96.95 \pm 1.02	3.60 \pm 0.07 ^a	0.88 \pm 0.08	11.72 \pm 0.19
RSW	97.20 \pm 0.90	3.59 \pm 0.47 ^a	0.90 \pm 0.06	11.40 \pm 0.15
RSO	96.30 \pm 0.98	2.44 \pm 0.24 ^b	1.40 \pm 0.45	10.38 \pm 0.17

หมายเหตุ : RSW¹ = rice straw soaked with water, RSO² = rice straw soaked with ozone

จากผลของการใช้โอโซนต่อการลดลงขององค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว เช่น %CP, %NDF, %ADF, และ %Lignin แต่ไม่ส่งผลถึง %DM, %EE และ %Ash ทั้งนี้เนื่องจากโอโซนเป็นสาร oxidizing agent ซึ่งสามารถทำลายพันธะที่อยู่ในองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวได้

ตารางที่ 3.2 ผลของการแช่น้ำและการใช้โอโซนต่อเยื่อใยและลิกนินในฟางข้าว (LSM \pm SE)

Treatments	NDF	ADF	Lignin
	% of DM		
control	80.44 \pm 0.56 ^a	51.30 \pm 0.55 ^a	4.88 \pm 0.50 ^a
RSW	77.95 \pm 0.42 ^a	51.58 \pm 0.75 ^a	4.45 \pm 0.06 ^a
RSO	63.74 \pm 3.82 ^b	41.85 \pm 3.21 ^b	2.56 \pm 0.10 ^b

หมายเหตุ : RSW¹ = rice straw soaked with water, RSO² = rice straw soaked with ozone

ตารางที่ 3.2 ผลของการแช่น้ำและการใช้โอโซนต่อองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว (LSM \pm SE) (ต่อ)

Treatments	NDICP ³	ADICP ⁴
	% of DM	
control	3.45 \pm 0.18	2.34 \pm 0.13 ^b
RSW ¹	3.26 \pm 0.07	2.47 \pm 0.11 ^b
RSO ²	3.85 \pm 0.35	3.48 \pm 0.28 ^a

หมายเหตุ : RSW¹ = rice straw soaked with water, RSO² = rice straw soaked with ozone, NDICP³ = neutral detergent insoluble crude protein, ADICP⁴ = acid insoluble crude protein

แต่อย่างไรก็ตามจากการใช้โอโซนสามารถเพิ่มปริมาณการย่อยสลายได้ ทั้งนี้จากการทดลองนี้ได้ใช้ค่า TDN_{1x} และค่า DE_{1x} เป็นตัวบ่งบอกถึงการย่อยสลายได้ของฟางข้าวในแต่ละทรีทเมนต์ ซึ่งพบว่าการใช้โอโซนส่งผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ TDN_{1x} และค่า DE_{1x} เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมและกลุ่ม RSW ทั้งนี้เนื่องจากการใช้โอโซนทำให้เปอร์เซ็นต์ของลิกนินลดลง ทำให้โครงสร้าง lignocellulosic เปลี่ยนแปลง ส่งผลทำให้โอโซนสามารถสลายพันธะของ hemicellulose และ cellulose ได้ ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ของ NDF และ ADF ลดลง และจากการทำลายพันธะของ hemicellulose และ cellulose ส่งผลทำให้กลูโคสเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปริมาณกลูโคสเพิ่มสูงขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณ tdNFC เพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ TDN_{1x} และค่า DE_{1x} ในกลุ่ม RSO เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3.3 ผลของการแช่น้ำและการใช้โอโซนต่อคุณค่าพลังงานของฟางข้าว (LSM \pm SE)

Treatments	TDN _{1x} (% DM) ³	DE _{1x} (Mcal/ kg DM) ⁴
control	46.70 \pm 0.29 ^b	1.99 \pm 0.01 ^b
RSW ¹	48.34 \pm 0.17 ^b	2.06 \pm 0.01 ^b
RSO ²	60.32 \pm 1.44 ^a	2.54 \pm 0.06 ^a

หมายเหตุ : RSW¹ = rice straw soaked with water, RSO² = rice straw soaked with ozone,
 TDN_{1x} (%DM)³ = tdNFC + tdCP + (tdFA x 2.25) + tdNDF - 7

ตารางที่ 3.4 ผลของการแช่น้ำและการใช้โอโซนต่อการย่อยได้โภชนะของฟางข้าว (LSM \pm SE)

Treatments	tdNFC ³	tdCPF ⁴	tdFA ⁵	tdNDF ⁶
control	5.70 \pm 0.66 ^b	2.51 \pm 0.12 ^a	0.01 \pm 0.01 ^{NS}	45.49 \pm 0.33 ^{NS}
RSW ¹	8.25 \pm 0.37 ^b	2.41 \pm 0.09 ^a	0.01 \pm 0.01 ^{NS}	44.65 \pm 0.29 ^{NS}
RSO ²	21.93 \pm 2.92 ^a	1.06 \pm 0.22 ^b	0.64 \pm 0.34 ^{NS}	42.89 \pm 2.79 ^{NS}

หมายเหตุ : RSW¹ = rice straw soaked with water, RSO² = rice straw soaked with ozone, tdNFC = 0.98 (100 - [(NFC - NDICP) + CP + EE + Ash]) x PAF, tdCPF = CP x exp^[-1.2 x (ADICP/CP)], tdFA = FA Note: If EE < 1, then FA = 0, tdNDF = 0.75 x (NDFn - L) x [1 - (L/NDFn)^{0.667}]

3.6 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าการใช้โอโซนในฟางข้าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนะและคุณค่าพลังงานสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยการใช้โอโซนสามารถทำลายพันธะที่อยู่ในองค์ประกอบทางเคมีได้ จึงส่งผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ในฟางข้าวลดลง แต่อย่างไรก็ตามการใช้โอโซนสามารถเพิ่มคุณค่าทางพลังงานในฟางข้าวสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องได้ เช่น TDN_{1x} DE_{1x} ได้ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของคุณค่าทางพลังงานดังกล่าวสามารถระบุได้ว่าการใช้โอโซนทำให้เพิ่มการย่อยสลายได้ของฟางข้าวในกระเพาะหมักสูงขึ้น ข้อจำกัดของงานทดลองนี้คือการตัดแปลงอุปกรณ์ปั่นฟางข้าวร่วมกับโอโซนมีขนาดเล็ก ดังนั้นอาจมีความผิดพลาดเมื่อนำผลการทดลองไปใช้ในขนาดอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้งานทดลองนี้ไม่ได้ศึกษาถึงระดับผลผลิตในสัตว์ เนื่องจากงานทดลองนี้ได้ดำเนินการในระดับขนาดเล็กดังกล่าว

ข้อเสนอแนะ

- 1.) ควรศึกษาในระดับการนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรมเพื่อยืนยันผลต่อไป
- 2.) ควรศึกษาขยายผลในระดับการผลิตของสัตว์เพื่อบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้โอโซนต่อการเพิ่มการย่อยสลายได้ในกระเพาะรูเมนต่อไป

บทที่ 4

การพัฒนาเครื่องผลิตพืชหมักแบบอัตโนมัติสำหรับเกษตรกรรายย่อย

4.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานทดลอง

พืชหมักได้มาจากพืชอาหารสัตว์ที่มีอยู่จำนวนมากในช่วงฤดูฝน และฤดูฝนก็ไม่สามารถการทำหญ้าแห้งได้ ดังนั้นการทำพืชหมักจึงเป็นตัวช่วยเกษตรกรอีกทางหนึ่ง ซึ่งจะทำให้โคมีอาหารในยามขาดแคลนหรือฤดูแล้ง อย่างไรก็ตาม การที่จะได้พืชหมักที่ดี สิ่งสำคัญคือการอัดหญ้าลงในภาชนะที่ใช้หมักนั้นต้องอัดให้แน่นเพื่อไล่อากาศ ที่มีอยู่ในภาชนะออกให้มากที่สุด ซึ่งจะช่วยให้การหมักเกิดได้อย่างสมบูรณ์ และพืชหมักมีโอกาสูญเสียให้น้อยที่สุด การใช้แรงงานคนจึงมีโอกาที่จะเกิดการสูญเสียได้ง่าย การออกแบบพัฒนาเครื่องผลิตพืชหมักแบบอัตโนมัติจะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี โดยชุดเครื่องมือดังกล่าวประกอบไปด้วย

1. เครื่องสับพืชที่ออกแบบให้ได้พืชหลังจากสับมีขนาดเหมาะสมกับการหมัก เพื่อช่วยให้การบีบอัดพืชในภาชนะมีประสิทธิภาพ
2. เครื่องบรรจุและอัดก้อนพืชอัตโนมัติ ทำให้ได้พืชหมักที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงโค

4.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

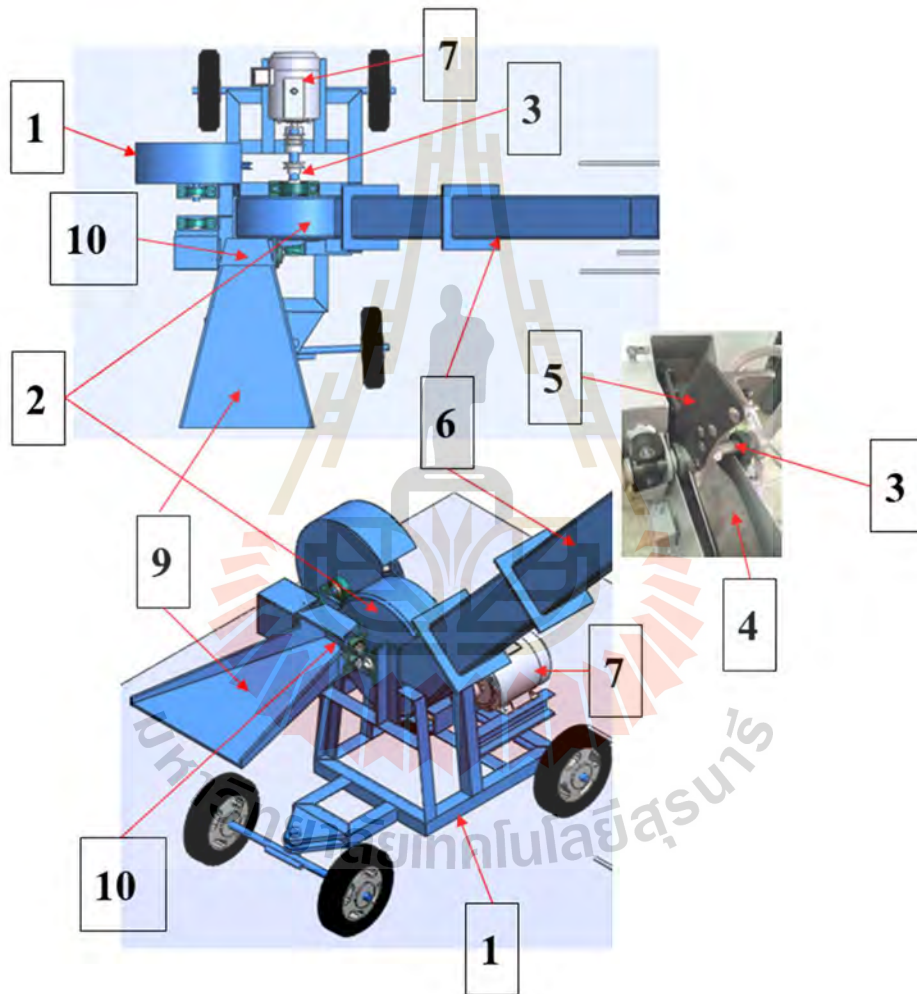
วิธีดำเนินงานวิจัย สำหรับงานวิจัยนี้ เน้นไปในแนวจัดทำสิ่งประดิษฐ์ เนื้อหาส่วนใหญ่ จึงเป็นการอธิบายขั้นตอนการทำอุปกรณ์ขึ้นมา เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกร นำไปประยุกต์ใช้งานได้ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องหั่นสับหญ้าอาหารสัตว์ที่วางขายอยู่ตามท้องตลาด
- 2) ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องบรรจุถุงพลาสติกแบบสูญญากาศ
- 3) ดำเนินการออกแบบส่วนประกอบต่างๆของเครื่องจักรตามหลักการทำงานที่ได้ศึกษา
- 4) จัดหาเครื่องมือ ชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญ ที่จะทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ โดยการหาซื้อหรือจัดทำขึ้น
- 5) ประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้เครื่องต้นแบบ
- 6) ทำการทดลองใช้งานและประเมินผลที่ได้จากการทำงานของอุปกรณ์ในขั้นต้นด้วยตัวเอง
- 7) ปรับปรุงแก้ไขเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพมากพอที่จะสามารถทำงานได้
- 8) นำเครื่องจักรที่ได้ไปทดสอบในพื้นที่ทำงานในสถานการณ์จริงเพื่อเก็บข้อมูลและสรุปผล

4.3 หลักการทำงานของเครื่องสับหญ้าอาหารสัตว์

ส่วนประกอบหลักของเครื่องหั่นสับพืชอาหารสัตว์

- | | |
|---|-------------------|
| 1. ตัวเครื่องทำจากเหล็กเหนียว | 6. ท่อส่ง |
| 2. ห้องใบมีด | 7. มอเตอร์ขับ |
| 3. แกนเพลลาใบมีด | 8. สายพานส่งกำลัง |
| 4. ใบพัดลม ติดตั้งบนแกนเพลลา | 9. ถาดป้อนหญ้า |
| 5. ใบมีด ประมาณ 3-6 ใบ ติดตั้งบนใบพัดลม | 10. ชุดเฟืองป้อน |

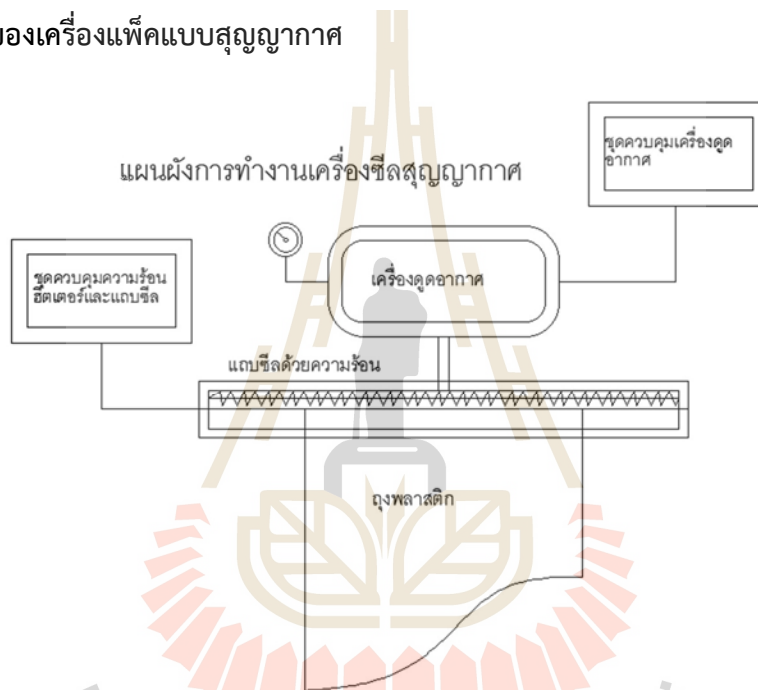


ภาพที่ 4.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องหั่นสับพืชอาหารสัตว์

หลักการทำงาน

เมื่อเดินเครื่องเปิดสวิทช์จ่ายไฟให้กับมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์ขับจะหมุนส่งกำลังไปตามสายพานเพื่อขับเพลลาใบมีดและชุดเฟืองป้อน ให้หมุนจนถึงรอบทำงาน หลังจากนั้นนำหญ้าอาหารสัตว์ วางบนถาดป้อนหญ้า หญ้าจะถูกชุดเฟืองป้อนดึงเข้าสู่ห้องสับและถูกใบมีดสับที่ติดบนแกนเพลลาที่หมุนด้วยความเร็ว ประมาณ 350 รอบ/นาที จนเป็นชิ้นเล็กๆจากนั้น หญ้าที่ถูกหั่นสับจะถูกใบพัดลมที่ติดบนแกนเพลลาใบมีดผลักดันและเหวี่ยงออกจากห้องสับ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเสื้อพัดลม ด้วยแรงดันลมและแรงเหวี่ยงทำให้หญ้าที่ถูกหั่นไหลไปตามท่อส่งและพุ่งออกทางปลายท่อลงสู่ภาชนะที่ต้องการ

4.4 หลักการทำงานของเครื่องแพ็คแบบสูญญากาศ

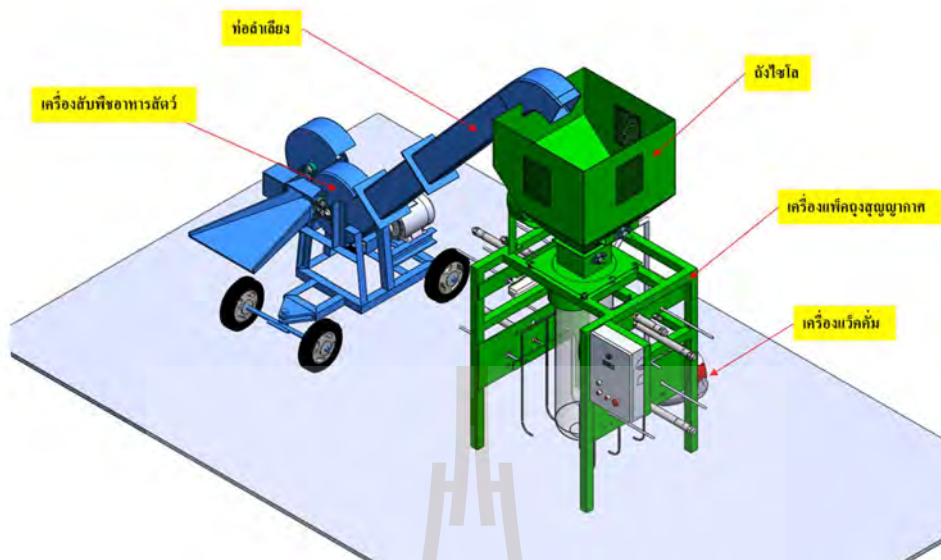


ภาพที่ 4.2 หลักการทำงานของเครื่องแพ็คแบบสูญญากาศ

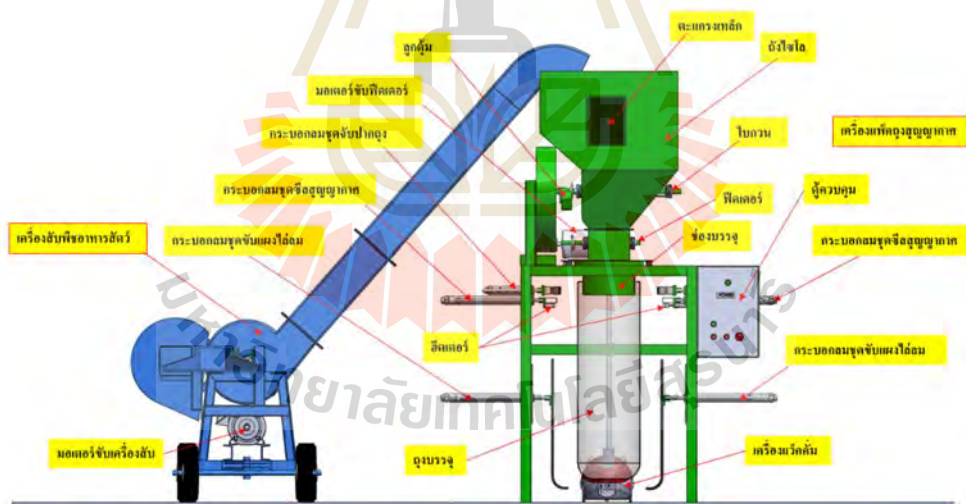
หลักการทำงาน

เริ่มจากการเลือกถุงพลาสติกที่ต้องการ ซึ่งต้องมีความหนาที่เหมาะสมกับน้ำหนักที่บรรจุ และขนาดปากถุงต้องพอดีหรือเล็กกว่าความยาวของแกบซิล ขั้นต่อไปต้องดูดอากาศออกจากถุงพลาสติกให้มากที่สุด แล้วจึงทำการปิดผนึกปากถุงด้วยการซีลด้วยความร้อนเพื่อไม่ให้อากาศไหลกลับเข้าไปในถุงได้อีก

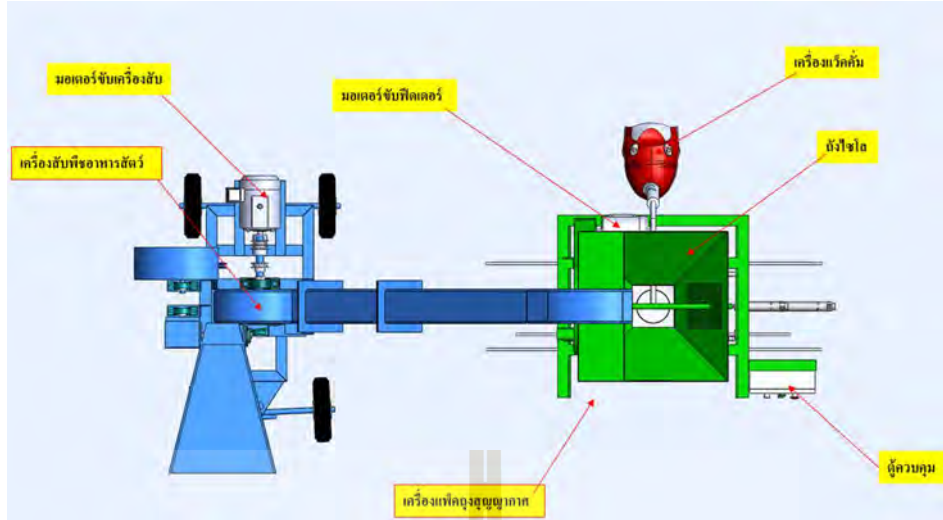
4.5 การออกแบบ



ภาพที่ 4.3 ชุดเครื่องจักรต้นแบบเครื่องแปรรูปน้ำหมักบรรจุแบบสูญญากาศที่ได้ออกแบบ ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง



ภาพที่ 4.4 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง (ด้านข้าง)



ภาพที่ 4.5 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง (ด้านบน)

หลักการทำงาน

หญ้าอาหารสัตว์ จะถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลง ขนาดขึ้นมีความยาวไม่เกิน 1 นิ้ว ด้วยเครื่องสับพืชอาหารสัตว์ พืชอาหารสัตว์ที่ถูกสับแล้วจะถูกส่งไปยังถังไซโลด้วยแรงลม จนกระทั่งเต็มถัง ถังบรรจุจะถูกใส่เข้าไปที่ช่องบรรจุกระบอกลมชุดจับปากถุงจะทำงานทำให้ก้ามปูที่ติดตั้งอยู่ที่ปลายกระบอกลมบีบถุงให้ติดกับช่องบรรจุ เมื่อกดปุ่มเริ่มบรรจุมอเตอร์พีดีจะหมุนเพื่อป้อนพืชอาหารสัตว์เข้าสู่ถังบรรจุ เมื่อพืชอาหารสัตว์เข้าไปบรรจุในถุงได้ตามต้องการแล้ว ก็กดปุ่มชุดซีลถุง ซึ่งชุดกระบอกลมชุดซีลสุญญากาศและชุดกระบอกลมขับแผงไล่ลมจะทำงาน เครื่องแควคัมจะทำการดูดอากาศออกจากถุงบรรจุ จนได้ระดับที่ต้องการ แล้วไฟฟ้าจะถูกจ่ายให้กับฮีตเตอร์เพื่อทำการซีลปากถุงให้ปิดสนิท เมื่อกดปุ่มปล่อยระบบซีลจะหยุดทำงานกระบอกลมจะถอยกลับตำแหน่งเริ่มต้นถุงบรรจุหญ้าจะถูกปล่อยลงพื้นอย่างอิสระ



ภาพที่ 4.6 ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบ PID



ภาพที่ 4.6 สวิตช์ควบคุมแบบ MANUAL และ AUTO



ภาพที่ 4.7 ระบบควบคุมแบบ PLC

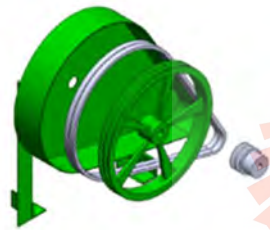
ส่วนประกอบที่สำคัญของชุดเครื่องแพ็คหญ้าหมักบรรจุถุงสุญญากาศประกอบด้วย

1. เครื่องหั่นสับพืชอาหารสัตว์ จำนวน 1 เครื่อง ขับด้วยมอเตอร์ 220 V ขนาด 3 แรงม้า ทำหน้าที่สับพืชอาหารสัตว์ให้เป็นชิ้นเล็กๆตามต้องการและลำเลียงขึ้นถังไซโลเพื่อรอการบรรจุ
2. ถังไซโล สี่เหลี่ยมติดตั้งตะแกรงเพื่อเป็นช่องมองวัสดุและระบายอากาศ ภายในติดตั้งใบกวนซึ่งส่งกำลังขับมาจากมอเตอร์ขนาด เพื่อทำหน้าที่หมุนกวนหญ้าให้ไหลลงสู่ถุงบรรจุ



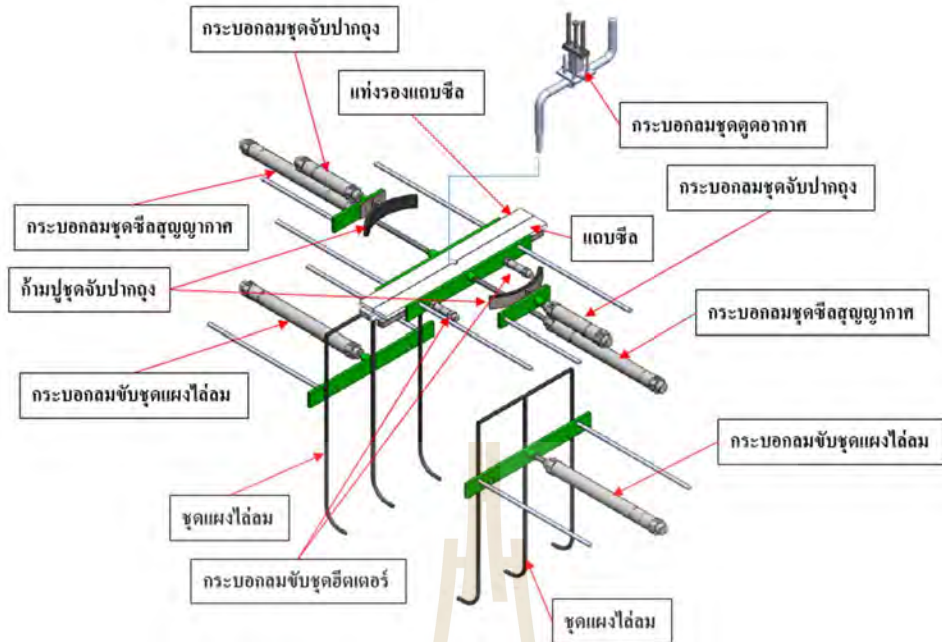
ภาพที่ 4.8 ชุดถังไซโล ใบกวนและมอเตอร์ขับ

3. ลูกตุ้มเยื้องศูนย์ ทำงานด้วยการหมุนจากขาของมอเตอร์ชุดเดียวกันกับใบกวนเนื่องจากติดตั้งบนเพลลาเดียวกัน ทำให้เกิดการสั่นเพื่อทำหน้าที่เขย่าถังเพื่อให้หญ้าไหลลงสู่ถุงบรรจุ



ภาพที่ 4.9 ลูกตุ้มเยื้องศูนย์

4. ฟีดเดอร์ ทำหน้าที่ป้อนหญ้าที่บรรจุอยู่ในถังลงสู่ถุงบรรจุในอัตราที่สม่ำเสมอ ถูกขับจากมอเตอร์ชุดเดียวกันกับมอเตอร์ขับใบกวน
5. ชุดกระบอกกลมควบคุมการจับปากถุง ไล่อากาศ แว็คคัม และซีลปิดผนึก ใช้แรงดันอากาศที่ 3-5 บาร์



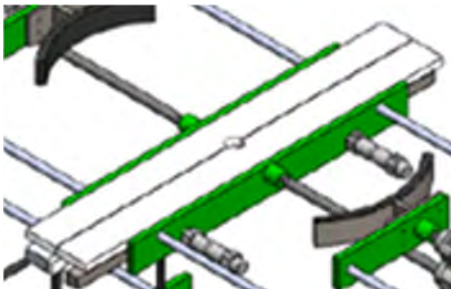
ภาพที่ 4.10 ชุดกระบอกลมควบคุมการจับปากถุง

6. เครื่องดูดอากาศหรือแบริคัม 220 v 2000 W มีหน้าที่ดูดอากาศออกจากถุงบรรจุให้ได้มากที่สุดก่อนการซีลปิดผนึก



ภาพที่ 4.11 เครื่องดูดอากาศที่แปลงจากเครื่องดูดฝุ่นและชุดท่อดูดอากาศ

7. แถบซีล ลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมสองแท่งเลื่อนประกบกันโดยหนึ่งในแท่งนั้นติดตั้งฮีตเตอร์เพื่อกำหนดความร้อนที่ทำให้ถุงพลาสติกละลายติดกัน



ภาพที่ 4.12 ชุดแถบซีลควบคุมด้วยระบบนิวแมติกส์ (a-d)



(a) ชุดลวดฮีตเตอร์



(b) แท่งรองพร้อมฮีตเตอร์



(c) ยางรองแท่งแถบซีล



(d) การติดตั้งยางรองชุดแถบซีล

8. ตู้ควบคุมเครื่องแพ็คหมึกกับบรรจุถุง ประกอบไปด้วยสวิทช์ควบคุม ทั้งแบบ auto และ manual, มีฟังก์ชันการควบคุมดังต่อไปนี้

- การควบคุมความร้อนของแถบซีล เครื่องควบคุมความร้อนแบบ PID ของชุดแถบซีลซึ่งภายในติดตั้งฮีตเตอร์ความร้อนแบบเส้นลวดยาว 50 ซม. สามารถตั้งอุณหภูมิของฮีตเตอร์ได้ถึง 200 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.13 เครื่องควบคุมความร้อนฮีตเตอร์

- การตั้งเวลา เครื่องตั้งเวลา สามารถตั้งเวลาในการซีลถุงบรรจุ ได้ตั้งแต่ 0.1 วินาทีถึง 10 นาที เพื่อให้ได้ความแข็งแรงและเหมาะสมที่สุดของรอยต่อที่เกิดจากการซีล



ภาพที่ 4.14 เครื่องตั้งเวลาการซีล

- ระบบ PLC เป็นกลไกการสั่งการหลัก เพื่อใช้ควบคุมการทำงานและขั้นตอนการบรรจุแบบอัตโนมัติ

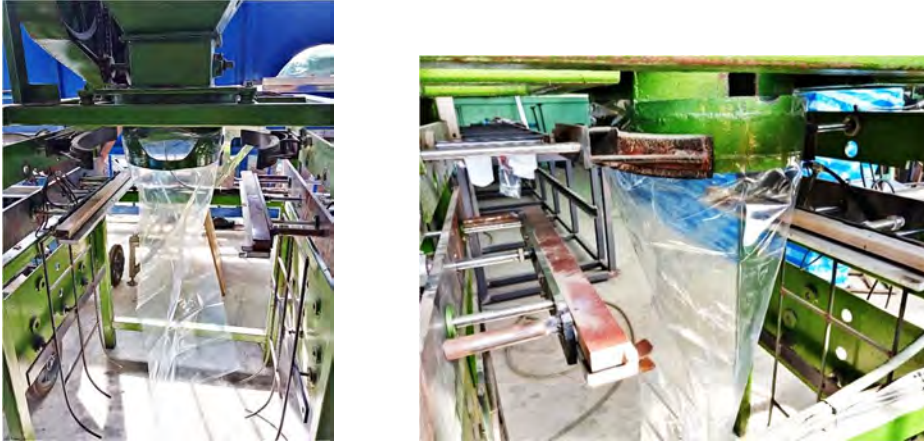


ภาพที่ 4.15 Programmable Logic Control (PLC)

ผลการทดลอง

การทดลองบรรจุหญาในระบบ Manual

1. การเตรียมถุงพลาสติก โดยเลือกใช้ถุงพลาสติกขนาด 50, 55 และ 60 เซนติเมตร
2. การปรับอุณหภูมิฮีตเตอร์
 - ถุง PP ที่ 70 - 80 องศาเซลเซียส
 - ถุง HD ที่ 90 - 110 องศาเซลเซียส
3. ปรับตั้งเวลาในการซีลที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 วินาที
4. ตั้งเวลาในการแฉีกคัม ตามความเหมาะสมขณะทดลองโดยให้มีการดูอากาศออกให้ได้มากที่สุด
5. เตรียมหญาเนเปียมาสับโดยผ่านเครื่องสับหญาอาหารสัตว์แล้วพ่นลงสู่ถังไซโลเพื่อรอการบรรจุโดยใช้หญาเนเปียสดหนัก 10 กิโลกรัมต่อครั้ง
6. เริ่มการบรรจุลงถุงโดยนำถุงพลาสติกเข้าไปสวมในปากกรวยที่ติดอยู่ทางออกของถังไซโล และเปิดสวิทช์ กระบอกลมชุดจับปากถุง



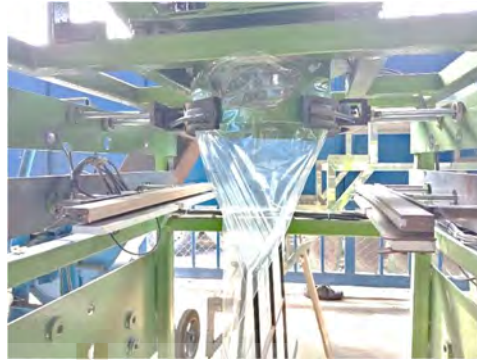
ภาพที่ 4.16 การใส่ถุงบรรจุและการจับปากถุงของชุดกระบอกลม

7. เปิดชุดกวานและชุดพีตเตอร์เพื่อป้อนหญ้าที่อยู่ในถังไซโลลงถุงบรรจุ โดยการเปิดปิดเป็นจังหวะเพื่อให้หญ้าไหลลงสู่ถุงอย่างต่อเนื่อง จนได้น้ำหนักตามต้องการ

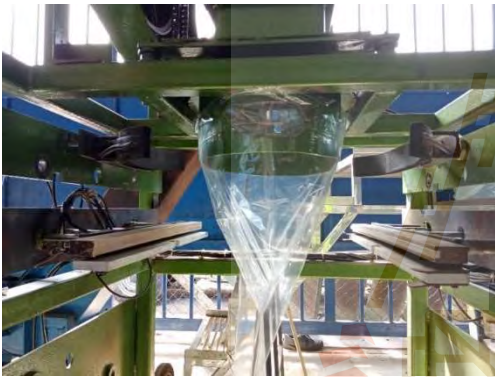


ภาพที่ 4.17 หญ้าไหลลงสู่ถุงบรรจุ

8. เปิดชุดกระบอกลมดันแผงไล่อากาศออกจากถุงบรรจุและประคองถุงให้ลอยอยู่ได้เพื่อลดแรงดึงระหว่างจุดยึดปากถุงและน้ำหนักบรรจุ



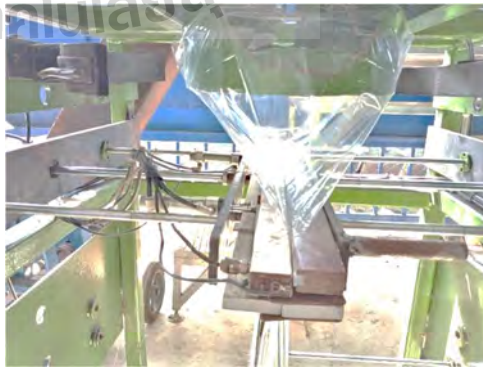
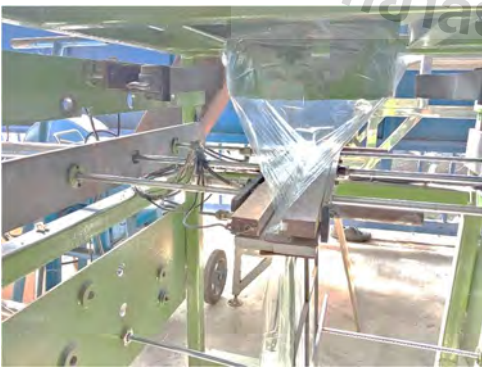
ภาพที่ 4.18 ลักษณะการไล่อากาศและประกองถุง



ภาพที่ 4.19 ก้ามปูจับปากถุงถอยออก

9. ปลดชุดกระบอกลมจับปากถุง

10. เปิดชุดดูดอากาศโดยกระบอกลมชุดแถบซิลิโคนอากาศจะเลื่อนเข้าประกบปากถุงเพื่อทำการดูดอากาศออกจากถุงบรรจุ



ภาพที่ 4.20 แถบซิลและกระบอกดูดซิลิโคนเลื่อนเข้า

11. เมื่อดูดูอากาศออกจากถุงบรรจุได้มากที่สุดแล้ว ก็ทำการเปิดสวิทซ์ซีลปากถุงด้วยกระบอกลมชุดขับเคลื่อน ซึ่งจะใช้เวลาอุณหภูมิและเวลาซีลตามที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วกระบอกลมชุดขับเคลื่อนก็จะถอยออกทำให้เกิดรอยซีลที่ถุงพลาสติก

12. เปิดกระบอกลมชุดขับเคลื่อนใส่อากาศให้ถอยออก ถุงก็จะหล่นลงบนพื้นด้วยน้ำหนักของหญ้าที่บรรจุ



ภาพที่ 4.21 ลักษณะถุงที่ผ่านการบรรจุแบบเปิดเครื่องดูอากาศ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ดังนี้

1. ถุงพลาสติกที่เหมาะสมในการทดสอบคือถุง HDPE หรือถุงขาวรุ่นบรรจุร้อนคุณภาพการซีลจะดีกว่าถุงใส PP เนื่องจากการยึดตัวน้อยกว่า
2. อุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง 90 - 100 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการซีล 1 - 3 วินาที ซึ่งขึ้นอยู่กับความแน่นอนของอุปกรณ์ควบคุมที่ต้องปรับปรุงต่อไป
3. เวลาที่ใช้ในการบรรจุต่อครั้งตั้งแต่สวมปากถุงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 5-10 นาทีเนื่องจากเป็นเครื่องต้นแบบที่กลไกการบรรจุยังมีการติดขัดบ้าง ต้องใช้คนช่วยแก้การติดขัดและทำความสะอาดปากถุงก่อนการซีล

ปัญหาและอุปสรรคในการทดสอบและแนวทางการแก้ไขในการทดลองขั้นต้น

1. ถุงพลาสติกมีขนาดความหนาและเนื้อพลาสติกที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้การซีลไม่สม่ำเสมอ
2. ถุงทั่วไปที่ในท้องตลาดที่นำมาใช้มีความบาง ไม่เพียงพอที่จะรับน้ำหนักบรรจุมากได้เนื่องจากถุงมีการยึดตัว ทำให้ความหนาของถุงลดลงเป็นผลให้เกิดการละลายตัวจนขาดขณะทำการซีล และฉีกขาดขณะเคลื่อนย้าย ทำให้การน้ำหนักในบรรจุหญ้าในการทดสอบไม่มากเท่าที่ควร ส่วนถุงหนานั้นมีราคาแพงเกินกว่าจะนำมาใช้บรรจุหญ้าหมักสำหรับเกษตรกร

3. การบรรจุหญาจำนวนมากลงถังไซโลเพื่อรอบรรจุ ทำให้เกิดการอุดตันในขณะเปิดเครื่องฟีดเดอร์ ฉะนั้นขณะทดลองต้องใส่หญาลงในถังบรรจุไม่เกิน ครึ่งหนึ่งของความสูงของถัง
4. คุณภาพการซีลยังไม่ดีพอเนื่องจากมีเศษฝุ่นเกาะติดปากถุงขณะซีลต้องใช้คนคอยทำความสะอาดและจัดปากถุงก่อนการซีล



บทที่ 5

การพัฒนาเครื่องมือการให้คะแนนร่างกายโคเพื่อการจัดการฟาร์มโคนม

5.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานทดลอง

การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพโคนมในประเทศไทยได้มีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง แต่พบว่าผลที่ได้ยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควรเนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากมายหลายปัจจัย เช่น การขาดแคลนแหล่งอาหาร หยาดคุณภาพดีสำหรับเลี้ยงโคนม การขาดองค์ความรู้ในการจัดการฟาร์มให้ได้มาตรฐาน การปรับปรุงพันธุ์โคนมให้เหมาะสมกับประเทศไทยเป็นไปอย่างล่าช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการปรับปรุงพันธุ์โคนมพบว่ายังมีปัจจัยอื่นอีกมากมายที่ทำให้ไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เช่น การกำหนด เป้าหมายของการปรับปรุงพันธุ์ไม่ชัดเจน ขาดองค์ความรู้และเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับใช้ในการ ประเมินพันธุกรรมและคัดเลือกโคนมที่มีพันธุกรรมดี เก็บไว้ขยายพันธุ์ต่อไป

การคัดเลือกโคนมนั้นต้องมีการให้คะแนนสภาพร่างกายของโคนม (Body Condition Scoring , BCS) ซึ่งในการจัดการโคนมรูปแบบเดิมนั้นต้องใช้ความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ตรวจประเมินเป็นอย่างสูง ซึ่งหาได้ยาก ในการให้คะแนนผู้ประเมินต้องใช้สายตาเพ่งมองโคในมุมต่างๆซึ่งต้องอาศัยระยะเวลาในการตรวจประเมินที่นาน ทำให้มีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดเนื่องจากความเมื่อยล้าและความเครียดที่เกิดจากผลการประเมิน ในปัจจุบัน ได้มีเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) คือการทำให้คอมพิวเตอร์ได้รับรู้ภาพหรือมองเห็นภาพได้เหมือนมนุษย์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ก็คือการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถดึงข้อมูลสารสนเทศจากรูปภาพออกมานั่นเอง เป็นเทคโนโลยีการให้คะแนนร่างกายโค (BCS) โดยการติดตั้งกล้อง ซึ่งจะมีการคำนวณภาพและคำนวณคะแนนร่างกายของโคนมในแต่ละวันโดยอัตโนมัติ คะแนนจะถูกส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมประเมิน ซึ่งเกษตรกรสามารถดูและวิเคราะห์ข้อมูลของโคแต่ละฝูง เมื่อเกษตรกรมีคะแนนร่างกายโคทุกวัน สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ 1. การให้อาหารที่แม่นยำ โดยเกษตรกรสามารถวางแผนและเพิ่มประสิทธิภาพการให้อาหารตามคะแนนร่างกายโค หรือเพื่อการปรับปรุงคะแนนร่างกายโคให้เหมาะสมกับช่วงต่างๆ ของโค 2. โคมีสุขภาพที่ดีขึ้น ลดค่าใช้จ่ายด้านการรักษาและการจัดการด้านอาหารที่เหมาะสม 3. เพิ่มประสิทธิภาพการผสมพันธุ์และการคลอด โดยสามารถตรวจสอบความพร้อมสำหรับการผสมเทียมและการคลอดตลอดจนการตั้งครรภ์เพื่อลดปัญหาการคลอดและปัญหาหลังคลอดและทำให้ลูกโคแข็งแรง 4. เพิ่มผลผลิตน้ำนม โดยเกษตรกรสามารถคัดเลือกโคที่มีสภาพร่างกายที่เหมาะสมสำหรับช่วงการให้นมและช่วยให้ผลผลิตนมสอดคล้องกับปริมาณการให้อาหารสัตว์

หลักการคือ ขั้นตอนแรกต้องติดตั้งกล้องให้กับคอมพิวเตอร์ คือกล้องถ่ายภาพ (Smart Camera) หรือกล้องดิจิทัล (Digital Camera) ก็เปรียบได้กับดวงตาของมนุษย์ และสิ่งถัดมาคือ โปรแกรมให้คอมพิวเตอร์รู้จักจำกัความของวัตถุต่างๆ เรียกว่าการประมวลผลภาพ (Image Processing) และทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพผ่านทางโปรแกรม (Software) ซึ่งขั้นตอนนี้ก็เปรียบได้เหมือนกับการมองของมนุษย์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์หาความเหมือน ทำความจดจำ และทำการแยกแยะวัตถุ เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำการตัดสินใจทำงานได้ถูกต้องตามคำสั่งที่ต้องการ

5.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีดำเนินงานวิจัยสำหรับงานวิจัยนี้ เน้นไปในแนวจัดทำสิ่งประดิษฐ์ เนื้อหาส่วนใหญ่ จึงเป็นการอธิบายขั้นตอนการทำอุปกรณ์ขึ้นมา โดยเริ่มต้นด้วยการศึกษาข้อกำหนดการให้คะแนนสภาพร่างกายของโคนม ด้วยสายตาของผู้ประเมินเพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องมือหรือเครื่องจักรต้นแบบ โดยทางผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะลดข้อผิดพลาดในการประเมินเพื่อให้คะแนนสภาพร่างกายโคนมโดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการตรวจประเมินโดยใช้การมองเห็นของคอมพิวเตอร์มาช่วยในการตรวจประเมินเพื่อให้คะแนนสภาพร่างกายของโคนมด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิทัลที่สามารถวัดความลึกของภาพ (Deep Camera) เพียงหนึ่งตัว แทนการใช้สายตามนุษย์ เพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาาระบบให้คะแนนสภาพร่างกายโคนม (Body Condition Scoring in dairy cattle) อย่างเต็มรูปแบบต่อไป

- 1) ศึกษาหลักการให้คะแนนร่างกายของโคเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่าย
- 2) ศึกษาเทคนิคการบังคับโคในการถ่ายภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ให้มีความถูกต้องและออกแบบของบังคับโค
- 3) ศึกษาหลักการทำงานของระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์และกล้องถ่ายภาพที่มีความสามารถวัดความลึกของภาพได้และการประยุกต์ใช้
- 4) ดำเนินการออกแบบส่วนประกอบต่างๆของเครื่องจักรตามหลักการงานที่ได้ศึกษา
- 5) จัดหาเครื่องมือที่จะทำให้เครื่องสามารถทำงานได้
- 6) ทำการทดสอบใช้งานในพื้นที่ทำงานจริง
- 7) เก็บข้อมูลการทดลองเบื้องต้นพร้อมทำการปรับแต่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ
- 8) สรุปผลการทดลอง

5.2.1 ศึกษาหลักการให้คะแนนสภาพร่างกายของโคนม

จากการศึกษาพบว่า การให้คะแนนสภาพร่างกายของโคนมนั้นไม่ได้เกี่ยวกับอายุหรือขนาดลำตัว หากแต่เป็นความสมบูรณ์ของสภาพร่างกายที่แสดงออกมา เริ่มจากสภาพร่างกายที่ผอมแห้งไปจนถึงสภาพร่างกายที่อ้วนท้วนสมบูรณ์

เกณฑ์การให้คะแนนสามารถแบ่งออกได้ 5 ระดับดังนี้ (Wildman et al., 1982)

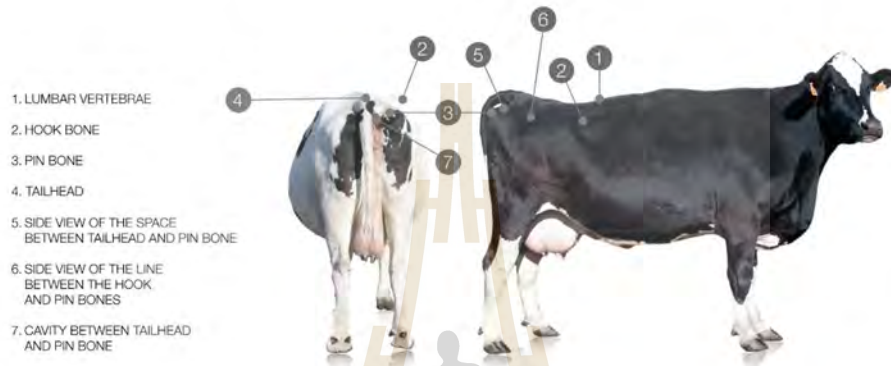
ระดับคะแนน 1 หมายถึงสภาพร่างกายผอมแห้ง (Emaciate)

ระดับคะแนน 2 หมายถึงสภาพร่างกายผอม (Thin)

ระดับคะแนน 3 หมายถึงสภาพร่างกายปานกลาง (Average)

ระดับคะแนน 4 หมายถึงสภาพร่างกายหนัก (Heavy)

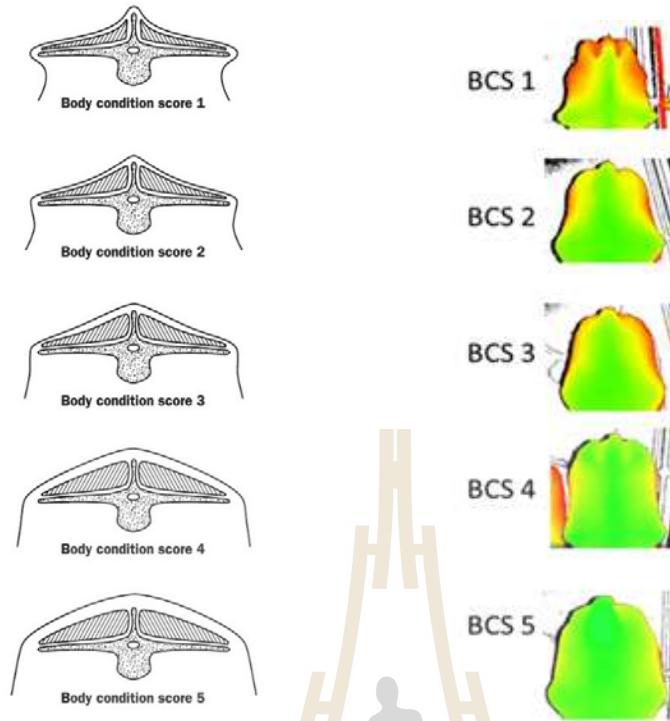
ระดับคะแนน 5 หมายถึงสภาพร่างกายอ้วน (Fat)



Body Condition Score	Vertebrae at the middle of the back	Rear view (cross-section) of the hook bones	Side view of the line between the hook and pinbones	Cavity between tailhead and pinbone	
				Rear view	Angled view
1 Severe underconditioning					
2 Frame obvious					
3 Frame and covering well balanced					
4 Frame not as visible as covering					
5 Severe overconditioning					

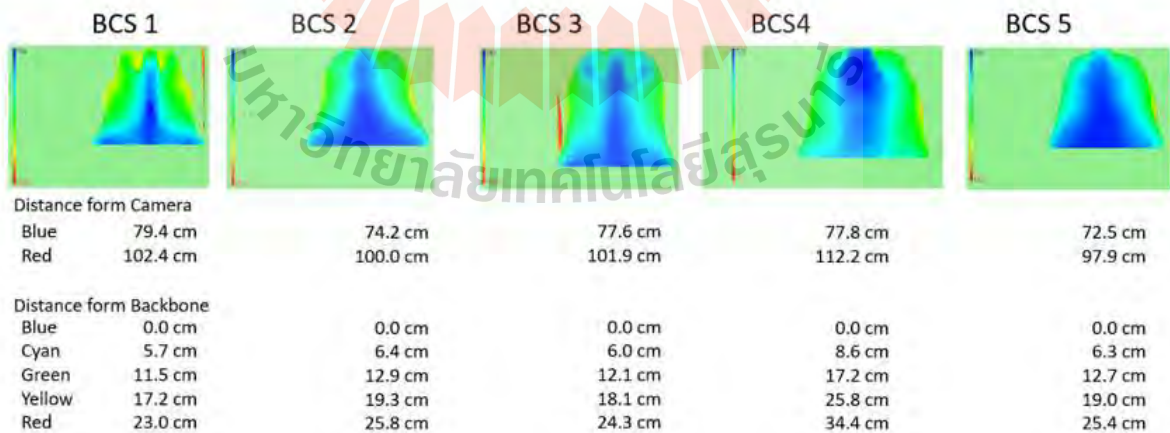
ภาพที่ 5.1 รายละเอียดเกณฑ์การให้คะแนนสภาพร่างกายโคนมโดยดูจากภาพตัดในตำแหน่งต่างๆ (www.ketolution.com/en/bcs-body-condition-scoring)

การให้คะแนนโดยการมองภาพตัดขวางของลำตัวเป็นส่วนที่ใช้เป็นเกณฑ์หลักในการให้คะแนนเนื่องจากความสมบูรณ์ของโคนมเกิดจากการสะสมกล้ามเนื้อที่แผ่นหลัง



ภาพที่ 5.2 (ซ้าย) ภาพตัดตามขวางของลำตัวโค แสดงถึงขนาดกล้ามเนื้อแผ่นหลังตามลำดับ Body Condition Score (ขวา) เป็นภาพถ่ายด้วยกล้อง Kinect v2 แสดงความลึกของภาพหลังโคด้วยเฉดสีที่ BCS ระดับต่างๆ

Depth optimization



ภาพที่ 5.3 BCS ของโคที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ 5 ระดับ ซึ่งได้จากการประมวลผลภาพถ่าย top view ในส่วนด้านหลังของโค จากกล้อง Kinect v2. ของคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

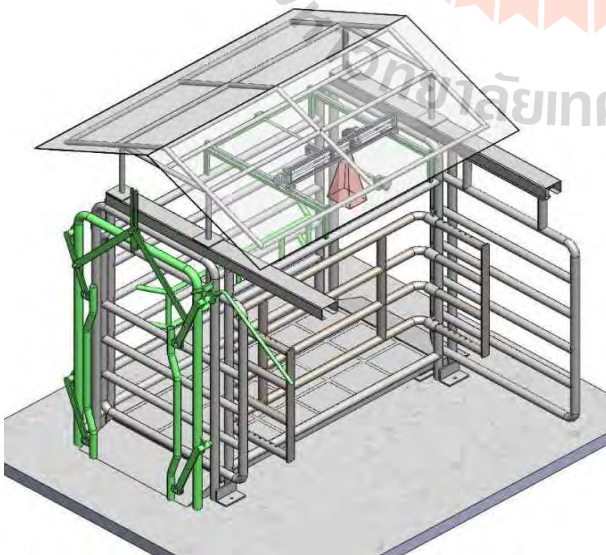
5.2.2 ศึกษาเทคนิคการบังคับโคเพื่อการจัดท่ายืน เพื่อให้การถ่ายภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง สมบูรณ์และเพื่อออกแบบกรงบังคับโค

ในการบังคับโคที่ปลอดภัยนั้นวิธีการที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ การใช้คอกหรือช่องบังคับเพื่อจำกัดขอบเขต และบริเวณของสัตว์ ในโคนมได้รับการปฏิบัติควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิดกับผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่เป็นประจำทุกวัน ทำให้โคนมมีความคุ้นเคยกับผู้เลี้ยงมากกว่าการจับบังคับและการบังคับควบคุมโคที่ดี เป็นทักษะซึ่งต้องปฏิบัติงานได้อย่างมีความปลอดภัยมีสวัสดิภาพและรวดเร็ว ทักษะในการจับบังคับและควบคุมมีความจำเป็นและสำคัญมาก ซึ่งการปฏิบัติงานเพื่อจับบังคับควบคุมโค สามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้กำลังของผู้ปฏิบัติมากเกินไป วิธีที่ดีที่สุดคือปฏิบัติด้วยการเข้าใจถึงพฤติกรรมและนิสัยของสัตว์ ก่อนการจับบังคับควบคุม ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายหรือได้รับบาดเจ็บทั้งผู้ที่ปฏิบัติงานและตัวสัตว์ที่น้อยที่สุด ในการบังคับโคนั้นควรคำนึงถึงจำนวนคนที่ปฏิบัติงานมีเพียงพอหรือไม่ เช่น การจับบังคับควบคุมโคด้วยเชือกเพื่อทำการตอน เป็นต้น และนอกจากนี้สถานที่ที่ใช้ปฏิบัติงานควรเป็นบริเวณที่ปราศจากสิ่งที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บ ได้

การจับบังคับควบคุมโคมีความจำเป็นที่จะลงทุนติดตั้งคอกปฏิบัติการ เพื่อความสะดวก ประหยัดเวลา และลดการเกิดอันตรายต่อทั้งผู้ปฏิบัติงานและตัวสัตว์ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่หลายส่วน ส่วนที่สำคัญและจำเป็นส่วนหนึ่งของคอกปฏิบัติการ คือ ช่องหนีบบังคับควบคุม (Squeeze Chute) ลักษณะของช่องหนีบบังคับควบคุมที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

1. สามารถปรับเปลี่ยนขนาด ความกว้างหรือความยาวให้เหมาะสมกับโคขนาดต่างๆ
2. พื้นของช่องควบคุมบังคับไม่ลื่น มีส่วนที่สามารถใช้หนีบ หรือยึดจับบริเวณส่วนหัวของโคให้อยู่อย่างมั่นคงและสามารถปลดปล่อยส่วนที่หนีบหรือยึดจับส่วนหัวได้อย่าง

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยได้เลือกวิธีบังคับโคด้วยช่องบังคับ เพื่อความสะดวกในการถ่ายภาพที่ต้องอาศัยความนิ่งในขณะที่โคยืนจัดท่าทางรอการถ่ายภาพ



ภาพที่ 5.4 แสดงการออกแบบของบังคับโคของทีมวิจัยเพื่อใช้บังคับโคในการถ่ายรูป

5.2.3. ศึกษาหลักการการทำงานของระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ด้วยกล้องถ่ายภาพที่มีความสามารถวัดความลึกของภาพได้และการประยุกต์ใช้

1. การประมวลผลภาพดิจิทัล เป็นการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัล (digital format) หรือข้อมูลเชิงตัวเลข โดยวัตถุประสงค์ของการประมวลผลภาพแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ การปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อให้มนุษย์สามารถมองเห็นรายละเอียดของภาพมากขึ้น และเพื่อให้คอมพิวเตอร์ตีความหมายของภาพได้ (computer interpretation) การประมวลผลภาพ คือ การนำข้อมูลที่เป็นภาพมา ประมวลผลโดยการแปลงให้เป็นค่าตัวเลขที่มีลักษณะเป็น จำนวนเต็ม (ค่าสัมบูรณ์) ในรูปเมตริกซ์ เช่น ภาพขนาด 256 x 256 พิกเซล จะถูกแทนด้วยฟังก์ชัน $f(x, y)$ ผ่านระบบ คอมพิวเตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ แก้ไข หรือปรับแต่ง ภาพต่อไปได้ โดยง่าย ซึ่งการแก้ไขหรือปรับแต่งภาพนั้นมี อยู่หลายวิธี เช่น การให้แสดงเฉพาะสี การไม่ให้แสดงเฉพาะสี การแปลงภาพเป็นสีขาวดำ การแปลงภาพเป็นสีระดับเทา การตรวจจับวัตถุ การตรวจจับขอบ การตรวจแนวการวางตัว การใช้เป็นมาตรวัด เป็นต้น ซึ่งเทคนิคต่างๆ จะทำได้ภายหลังจากมีการประมวล ภาพในแต่ละจุดของพิกเซลให้เป็นค่าตัวเลขแล้ว โดยภาพที่ ได้ในแต่ละพิกเซลจะประกอบไปด้วยข้อมูลสามสีประกอบ กัน ประกอบไปด้วยภาพโทนสีแดง (R) ภาพโทนสีเขียว (G) และภาพโทนสีน้ำเงิน (B) ซึ่งในแต่ละสีจะมีค่าความเข้ม 256 ระดับ คือ ตั้งแต่ 0-255 ซึ่งกระบวนการในการแปลงภาพสี เป็นภาพระดับสีเทาที่ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถทำได้ โดยใช้สมการ

$$Y = 0.3 \cdot R + 0.59 \cdot G + 0.11 \cdot B$$

2. การทำเทรชโฮลดิ้ง (Thresholding) เป็นเทคนิคพื้นฐาน เทคนิคหนึ่งที่ใช้เพื่อจำแนกวัตถุหรือสิ่งที่กำลังพิจารณาในภาพ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายใน งานด้านการประมวลผลภาพ (Image Processing) อย่งไรก็ดี การวิเคราะห์และกำหนดค่าเทรชโฮลด์ในบทความนี้ มุ่งเน้น การกำหนดค่าเพื่อแบ่งจุดพิกเซลของภาพแต่ละจุด เพื่อให้ สามารถแยกแยะว่าจุดพิกเซลใดๆเป็นค่าสีของค่าระดับความลึกของพื้นผิวที่สนใจเช่นพื้นผิวของแผ่นหลังโคนมบริเวณกลางลำตัวถึงบนท้าย

3. กล้องดิจิทัล Deep Camera Kinect เนื่องจากปัจจุบันมีการแข่งขันกันด้านเทคโนโลยีความบันเทิงเป็นอย่างมาก เพื่อตอบสนองต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เทคโนโลยีการสร้างความจริงในการเล่นเกมน หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า เทคโนโลยีโมชันคอนโทรลเลอร์(Motion controller) สามารถแบ่งตามการใช้งานของอุปกรณ์ได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. ไคเนค (Kinect)
2. วีรีโมท (Wii Remote)
3. เพลย์สเตชันมูฟ (PlayStation®Move)

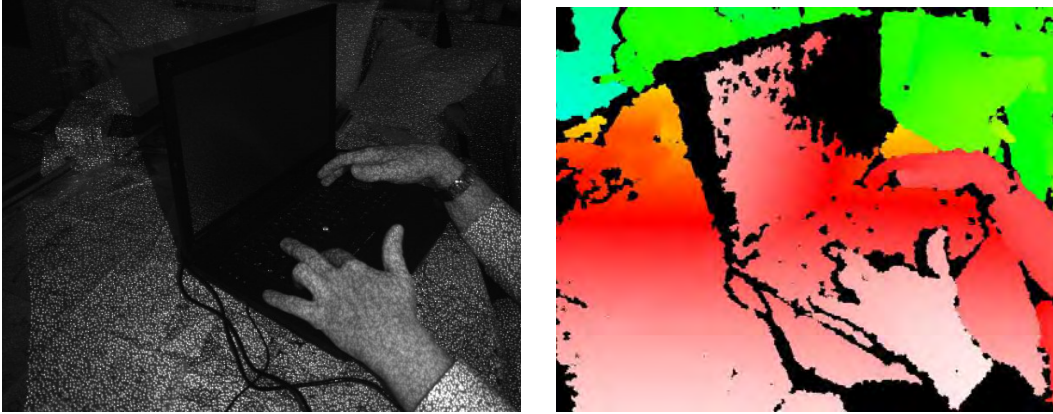
การทำงานและการประยุกต์ใช้ไคเนค (Kinect) ซึ่งเป็นอุปกรณ์เสริมของเครื่องเล่นเกมเอกซ์บ็อก (Xbox) ที่ถูกผลิตมาเพื่อเพิ่มความสมจริงและความสนุกสนานในการเล่นเกมนั้น โดยใช้เทคโนโลยีที่วิจัยและพัฒนาาร่วมกับไพรม์เซนเซอร์ (Prime Sensor) เป็นตัวขับเคลื่อน ภายใน Kinect ประกอบด้วย อุปกรณ์ฉายแสงอินฟราเรด (Infrared) กล้องวัดความลึกของภาพ (Deep Camera) กล้องวีดีโอ (Video Camera) ไมโครโฟน และเซนเซอร์ (Sensor) ประมวลผล และทำการแปลงสัญญาณออกมา นอกจากนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาใช้กับอุปกรณ์อื่นเช่นคอมพิวเตอร์ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความทันสมัยเหมาะสมกับโลกเทคโนโลยีในปัจจุบัน



ภาพที่ 5.5 กล้องดิจิทัล Deep Camera Kinect

4. ส่วนประกอบของและการทำงานของ Kinect

ภายใน Kinect ประกอบด้วย อุปกรณ์ฉายแสงอินฟราเรด กล้องวัดความลึกของภาพ กล้องวีดีโอ ไมโครโฟน และเซนเซอร์ ประมวลผล มีการทำงานเริ่มจากการฉายแสง อินฟราเรดออกจากตัว Kinect ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า แสงที่ถูกฉายออกมาจะมีลักษณะเป็นจุดๆ ตามแนวตั้ง 480 จุด แนวนอน 640 จุด แต่ละจุดห่างกัน 3 มิลลิเมตร (ที่ระยะสองเมตรจากแหล่งกำเนิดแสง) หลังจากนั้น กล้องวัดความลึกจะรับภาพระดับความสว่างของแสงอินฟราเรดที่ตกกระทบลงบนวัตถุ ส่งไปให้เซนเซอร์เพื่อทำการวัดความลึกตามแนวแกน Z (Axis-Z) ทำให้สามารถจำลองสภาพแวดล้อมเป็นสามมิติได้ หากความสว่างมีมากแสดงว่าวัตถุนั้นอยู่ใกล้ ในทางตรงกันข้ามหากมีความสว่างน้อยลงแสดงว่าวัตถุนั้นอยู่ไกลออกไป รายละเอียดของไดอะแกรม Kinect แสดงดังภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 การทำงานของกล้องดิจิทัล Deep Camera Kinect

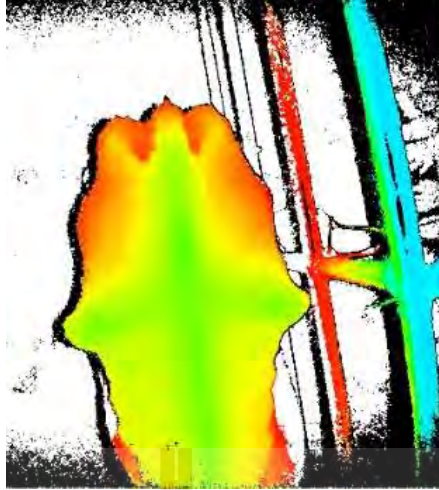
นอกจากนี้ Kinect ยังทำการบันทึกใบหน้าของผู้เล่นและยังสามารถใช้เสียงในการควบคุมการใช้งานได้อีกด้วย เมื่อได้ระดับความลึกของภาพแล้ว ทำให้เซนเซอร์ของ Kinect สามารถแยกผู้เล่นออกจากสภาพแวดล้อมภายในห้องได้ เช่น ผนัง ที่นั่งเล่น หรือแม้แต่การจำแนกท่ามือของผู้เล่นอยู่ข้างหน้าหรือข้างหลัง ซึ่งมีประโยชน์มากในการวัดระดับความแรงของการตีลูกปิงปอง หากผู้เล่นกำลังเล่นเกมตีปิงปองอยู่

Kinect มีระบบการรับรู้การเคลื่อนไหวของผู้เล่นอยู่ภายในเซนเซอร์เอง ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วย โดยจะมีการส่งข้อมูลการเคลื่อนไหวของผู้เล่นในลักษณะต่างๆเข้าไปเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นท่าทาง การยืน การเอียงตัว การขว้างลูกบอล การหยิบสิ่งของ หรือแม้แต่กระทั่งการตวัดมือ ข้อมูลการเคลื่อนไหวเหล่านี้จะถูกประมวลผลเพื่อแยกการเคลื่อนไหวของโครงสร้างกระดูกซึ่ง Kinect จะวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อต่อแต่ละข้อรวมทั้งสิ้น 20 ข้อต่อ เพื่อนำไปวิเคราะห์อีกครั้งว่าขณะนี้ผู้เล่นกำลังแสดงท่าทางอะไรอยู่

สิ่งที่ระบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวผู้เล่นของ Kinect จากระบบอื่น คือ Kinect สามารถที่จะแยกแยะผู้เล่นออกจากสภาพแวดล้อมที่เป็นฉากหลังได้ดีกว่า เนื่องจาก Kinect มองภาพที่รับมาเป็นสามมิติ ไม่ใช่ระบสองมิติ ซึ่งจะต้องใช้อัลกอริทึมอีกจำนวนมากในการแยกผู้เล่นออกจากฉากหลัง หรือยากต่อการวิเคราะห์ว่าสิ่งใดบ้างที่เคลื่อนไหวในฉากนั้น โดยส่วนใหญ่จะแสดงออกมาในรูปแบบข้อต่อของร่างกายที่ตัวรับสัญญาณสามารถวิเคราะห์ได้

5. การประยุกต์ใช้

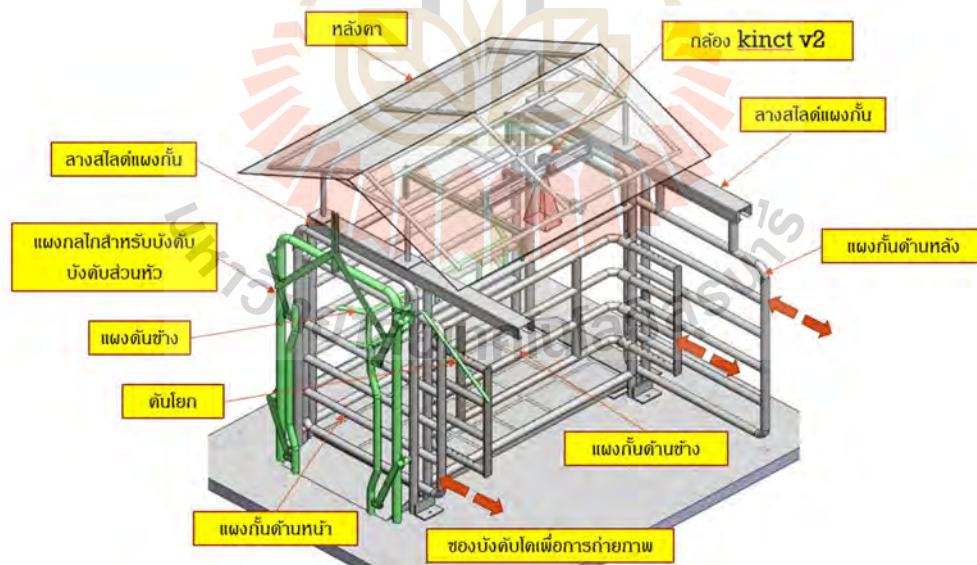
ในงานวิจัยชุดนี้ผู้วิจัยมองเห็นความสามารถของกล้อง Kinect V2 ซึ่งเปรียบเหมือนดวงตาของคอมพิวเตอร์ที่มองเห็นความลึกของพื้นผิวของภาพที่ถ่ายได้ มาประยุกต์ใช้ในการประเมินสภาพร่างกาย BSC ของโคนม โดยบันทึกภาพ TOP VIEW ตั้งแต่ส่วนกลางลำตัวไปจนถึงโคนหางเพื่อให้คอมพิวเตอร์อ่านค่าระดับพื้นผิวของภาพตัดตามขวางของลำตัวในส่วนที่สามารถให้คะแนนได้ดีที่สุด



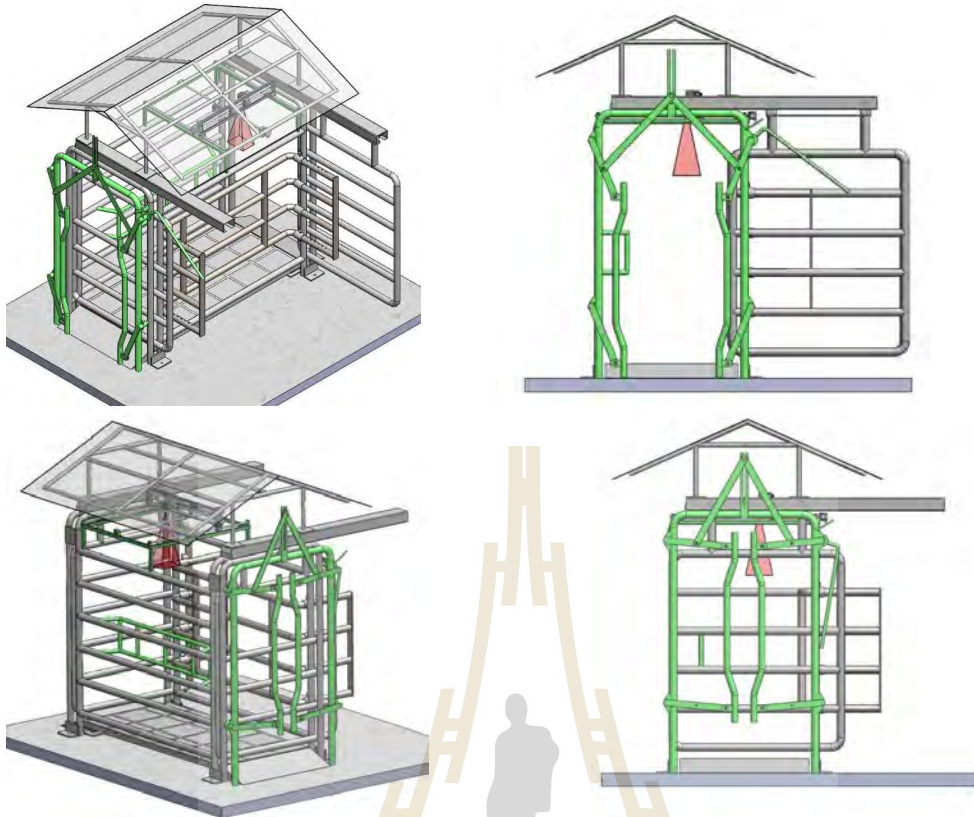
ภาพที่ 5.7 แสดงภาพระดับความลึกที่ได้จากงานวิจัย แสดงออกเป็นเฉดสีต่างๆ ของส่วนหลังของโคนม ส่วนที่มีสีแดงจะอยู่ห่างจากกล้องมากที่สุด ส่วนที่มีสีน้ำเงินจะอยู่ใกล้กล้องมากที่สุด

5.3 ดำเนินการออกแบบส่วนประกอบต่างๆของเครื่องจักรตามหลักการทำงานที่ได้ศึกษา

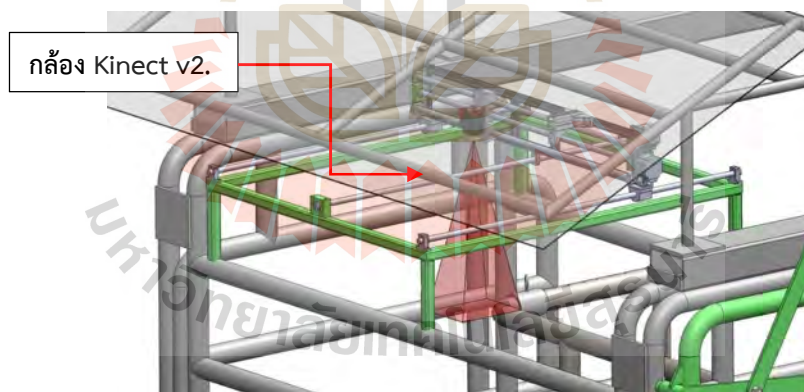
5.3.1 ช่องบังคับโค โครงสร้างหลักทำจากเหล็กแป๊ปเคลือบกัลวาไนซ์ ขนาดกว้าง 1.20 เมตร ยาว 2.20 เมตร สูง 2.20 เมตร ซึ่งมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5.8 แสดงส่วนประกอบของช่องบังคับโคเพื่อการถ่ายภาพ



ภาพที่ 5.9 แสดงการทำงานของช่องบังคับโคขณะเปิด-ปิด



ภาพที่ 5.10 แสดงตำแหน่งการติดตั้งกล้อง Kinect v2. ที่บนส่วนหลังของลำตัวโค

5.3.2 ซอร์ฟแวร์ และการแสดงผล

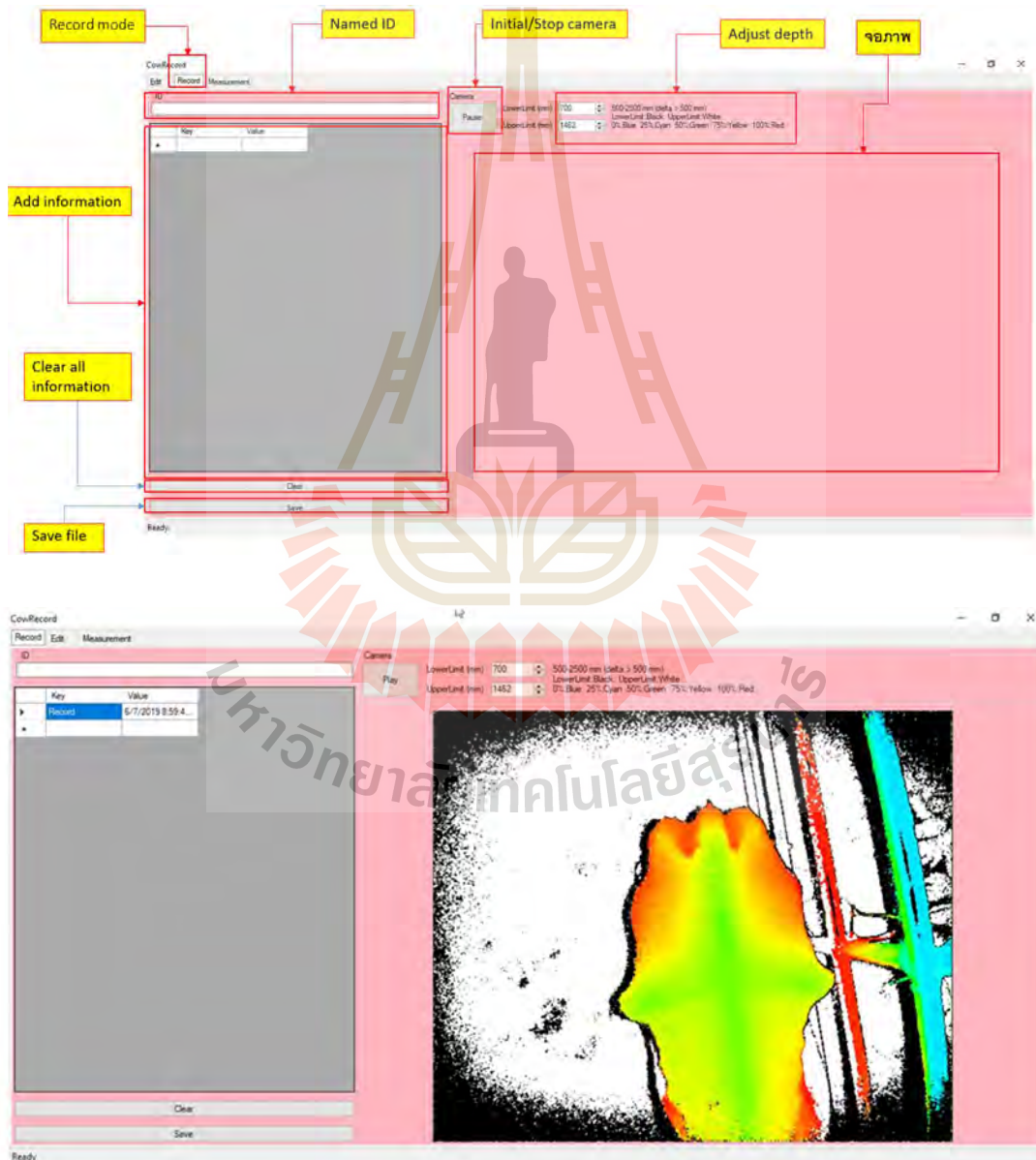
ในส่วนของโปรแกรมนั้นคณะผู้วิจัยได้ร่วมทำการวิจัยกับเอกชน คือบริษัทโรงกลิ้งนายเคียง จำกัด ซึ่งได้โปรแกรมที่มีคุณสมบัติในการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยการบอกระดับความลึกของภาพตัดขวางของลำตัวโคนมที่ถูกถ่ายภาพ ทั้งด้านค่าที่เป็นตัวเลขและค่าโทนสีที่บอกระยะห่างของจุดที่สังเกตได้ สามารถแสดงออกเป็นกราฟได้

สามารถเปรียบเทียบสัดส่วนของภาพตัดขวางแนวลำตัวของโคสองตัวได้และสามารถให้คะแนน BCS ของโคที่สังเกตเห็นได้ โดยโปรแกรมจะแยกออกเป็น 3 ส่วน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ในส่วนของการบันทึก Cow Record Application ซึ่งแบ่งออกเป็น สามส่วน ได้แก่

1. Record Mode มี Function การทำงานต่างๆ ได้แก่

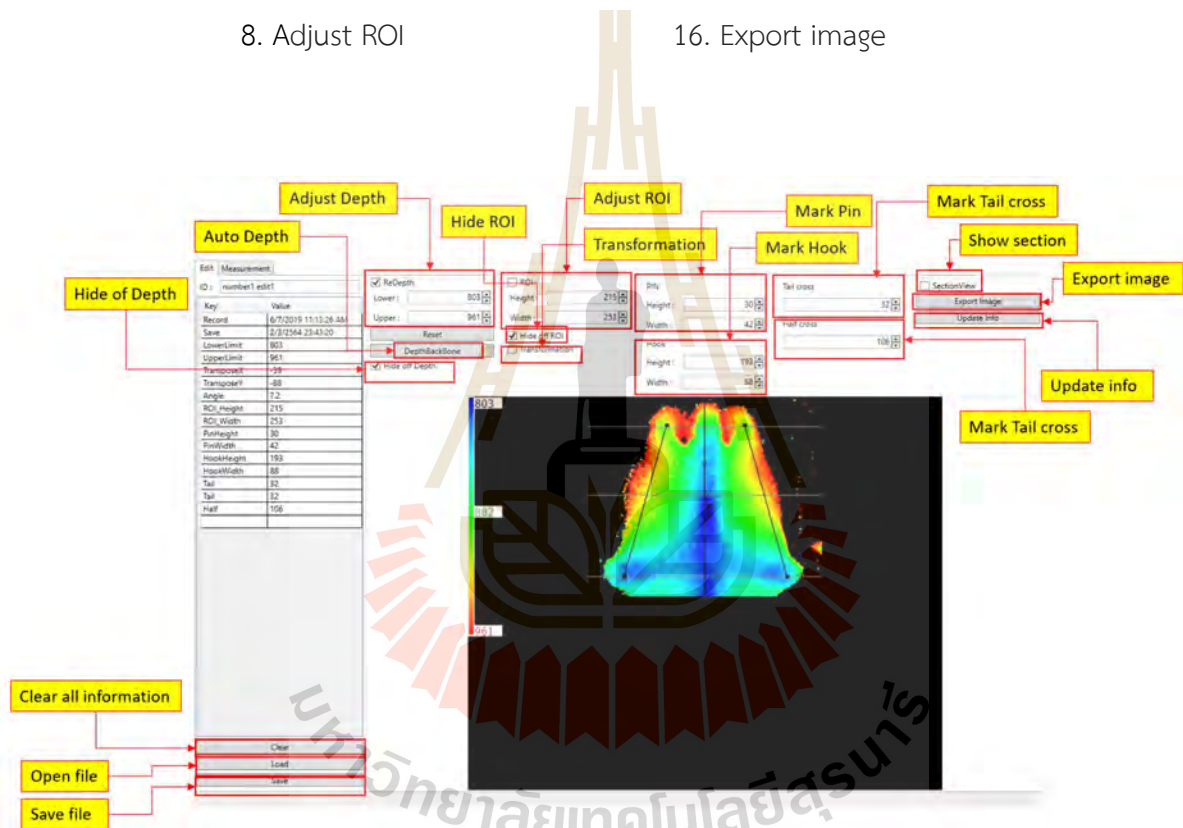
- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1.1 Initial/Stop camera | 1.4 Add information |
| 1.2 Adjust depth | 1.5 Clear all information |
| 1.3 Named ID | 1.6 Save file |



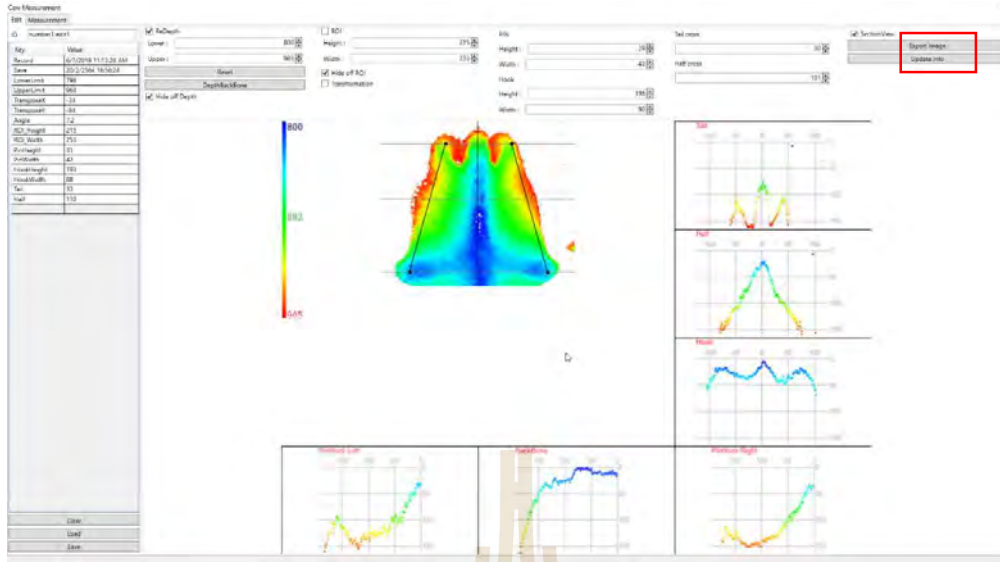
ภาพที่ 5.11 แสดงการทำงานใน Record Mode

2. Edit Mode มี Function การทำงานต่างๆ ได้แก่

1. Clear all information
2. Open file
3. Save file
4. Adjust depth
5. Auto depth
6. Hide of depth
7. Transformation
8. Adjust ROI
9. Hide of ROI
10. Mark Pin
11. Mark Hook
12. Mark Tail cross
13. Mark Haft cross- 14. Show section
- 15. Update info
- 16. Export image



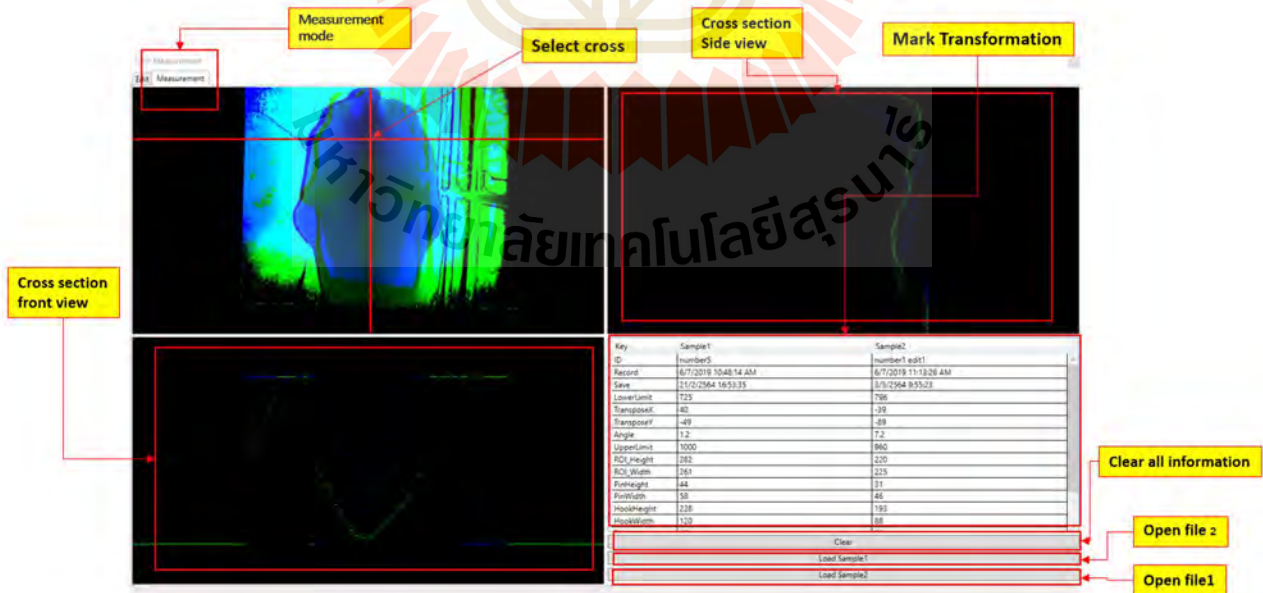
ภาพที่ 5.12 แสดงการทำงานของ Edit Mode ใน Function Show section (a)



ภาพที่ 5.13 แสดงการทำงานของ Edit Mode ใน Function Show section (b)

3. Measurement Mode มี Function การทำงานต่างๆได้แก่

1. Clear all information
2. Open file 1
3. Open file 2
4. Mark transformation
5. Select cross



ภาพที่ 5.14 แสดงการทำงานของ Measurement Mode

5.4 ผลการทดสอบใช้งานในพื้นที่ทำงานจริงและประเมินผลที่ได้จากการทำงานของอุปกรณ์ในขั้นต้น



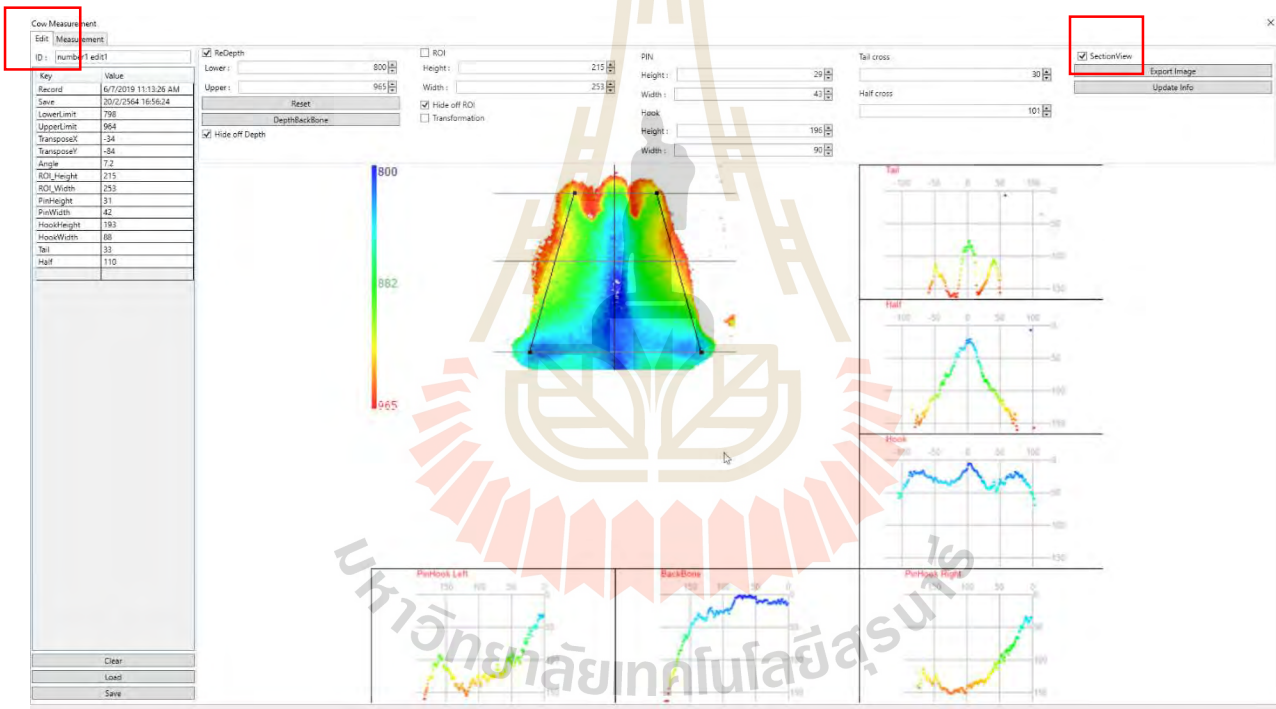
ภาพที่ 5.15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งกล้อง Kinect และตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าเข้ากับช่องบังคับโค



ภาพที่ 5.16 แสดงการติดตั้ง Computer and Program



ภาพที่ 5.17 แสดงการนำโคเข้าของบังคับเพื่อทำการถ่ายภาพระดับความลึก

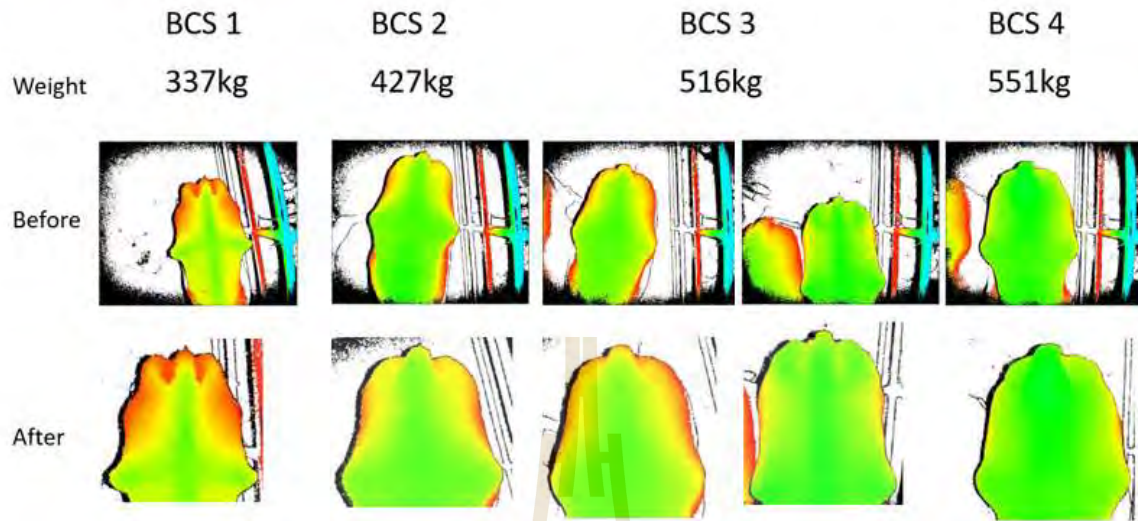


ภาพที่ 5.18 แสดงขณะทำการบันทึกภาพในโหมด Edit function show section

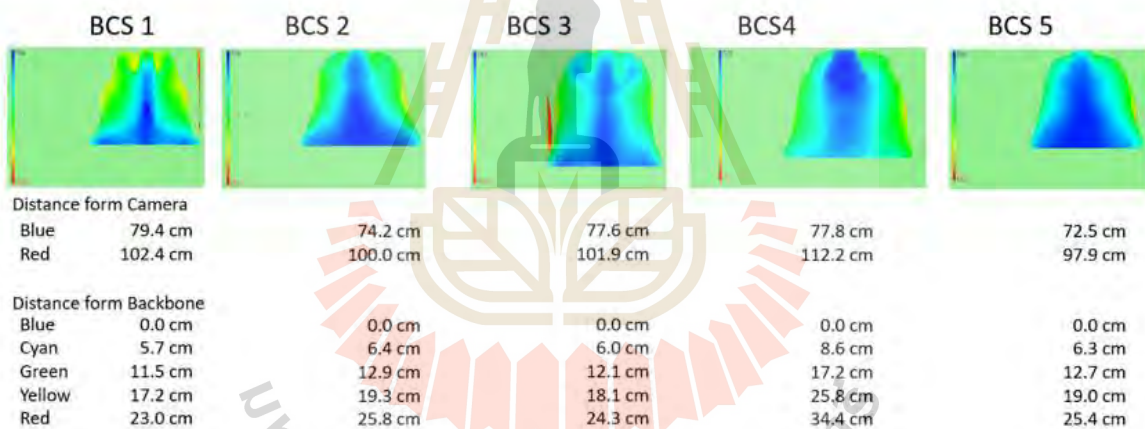
5.5 เก็บข้อมูลเพื่อการเปรียบเทียบ

1. ถ่ายภาพโคนมจากการคัดเลือกของผู้ชำนาญให้ได้ครบ 5 ระดับ ทำการเปรียบเทียบข้อมูลสัดส่วนต่างๆ ในมุมมองของภาพตัด เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูล

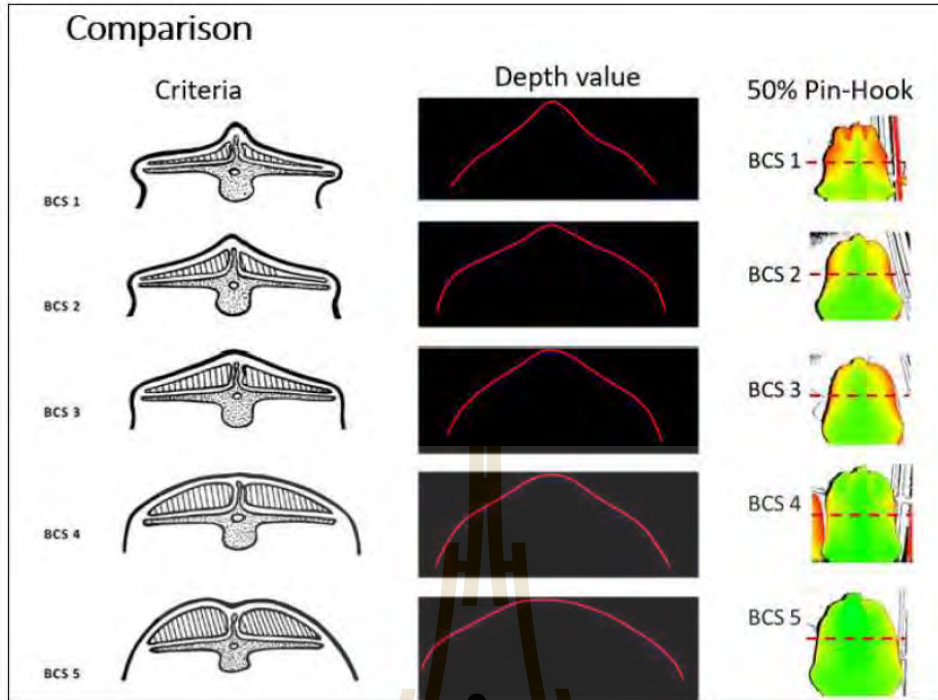
Transformation BCS



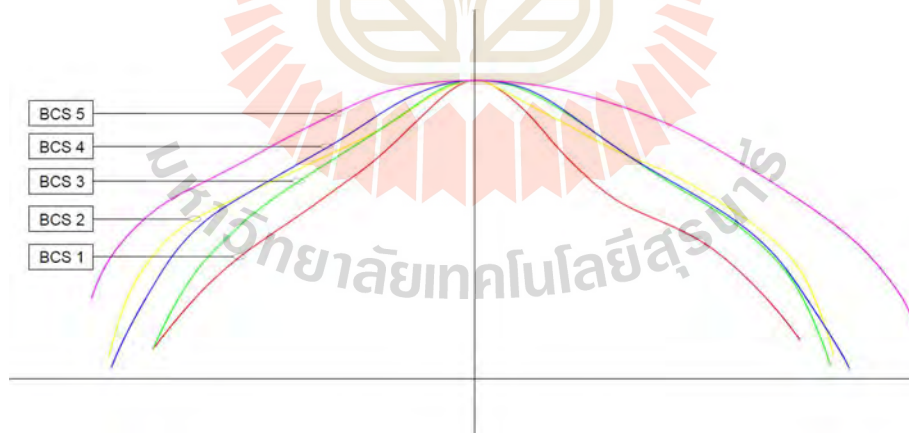
Depth optimization



ภาพที่ 5.19 แสดงการเปรียบเทียบความลึกพื้นผิวด้วยเจดสีของโคนมที่มี BSC ระดับต่างๆ 5 ระดับ จากโคนมที่คัดเลือกจากผู้เชี่ยวชาญ



ภาพที่ 5.20 แสดง Cross section ของลำตัวส่วนท้ายของโคนมที่ ระดับ BCS ต่างๆ ที่ตำแหน่ง 50% Pin-Hook หลังจากปรับแต่งเส้นระดับความลึก



ภาพที่ 5.21 แสดงการเปรียบเทียบเส้น Cross section ของ BCS ทั้ง 5 ระดับ เมื่อให้ส่วนบนสุดของแนวกระดูกสันหลังทับกัน

5.6 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ดังนี้

1. ซองบังคับโคทำงานได้ดีในระดับน่าพอใจ
2. ในส่วนของกล่องระดับความลึก ทำงานได้ในระดับน่าพอใจ
3. ในส่วนของโปรแกรมทำงานได้ดีในระดับน่าพอใจ
4. ในส่วนของภาพรวม โปรแกรมสามารถช่วยให้ผู้สังเกตหรือผู้ประเมินสามารถตัดสินใจในการให้คะแนน

BSC อย่างถูกต้องมากขึ้นโดยมีหลักฐานและข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมในการสนับสนุน รวมถึงยังสามารถเก็บข้อมูลของโคนมแต่ละตัว แต่ละระดับช่วงอายุเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสภาพร่างกายซึ่งบ่งบอกถึงสุขภาพและสภาพการเลี้ยงดูได้เป็นอย่างดี

ปัญหาและอุปสรรคในการทดสอบและแนวทางการแก้ไขในการทดลองขั้นต้น

1. โปรแกรมยังคงเป็นต้นแบบซึ่งยังมีบางฟังก์ชันที่ต้องแก้ไขในส่วนของกรรงสัญญาณรบกวน และปรับความราบเรียบรวมถึงความชัดเจนของเส้นภาคตัดระดับความลึก
2. แผงกลไกบังคับส่วนหัวโคยังไม่ถูกติดตั้งเข้าไปทำให้ไม่สามารถถ่ายภาพโคที่มีขนาดใหญ่ได้ตามตำแหน่งที่ต้องการ
3. การเก็บข้อมูลยังไม่มากพอที่จะพัฒนา อัลกอริทึม ที่ทำให้โปรแกรมเลือก BSC ของโคที่สังเกตได้ ซึ่งต้องทำการเก็บข้อมูลและพัฒนาต่อไปเพื่อให้โปรแกรมสามารถทำงานอัตโนมัติได้อย่างถูกต้อง

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบในการจัดการฟาร์มโคนมเชิงเกษตรกรรมแม่นยำสูง (precision agriculture) โดยบูรณาการด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร ในการสร้างนวัตกรรมที่ใช้ในฟาร์มโคนมสำหรับเกษตรกรรายย่อย โดยแบ่งออกเป็น 3 งานวิจัย

การทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ไอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี การย่อยได้โภชนะทั้งหมด (TDN_{1x}) และค่าพลังงานย่อยได้ (DE_{1x}) ในฟางข้าวสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง พบว่า RSO ส่งผลให้ค่า CP, NDF, ADF, ADL และ ADICP มีปริมาณลดลงและยังส่งผลให้ค่า TDN_{1x} และ DE_{1x} เพิ่มสูงขึ้นอย่าง เมื่อเทียบกับ CTL และ RSO ดังนั้นการใช้ไอโซนสามารถส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและสามารถเพิ่ม TDN_{1x} และ DE_{1x} ของฟางข้าวได้

การทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบพัฒนาเครื่องผลิตพีชหมักถุงแบบอัตโนมัติ โดยชุดเครื่องมือดังกล่าวประกอบไปด้วย 1. เครื่องสับพีชที่หลังจากสับให้มีขนาดเหมาะสมกับการหมัก 2. เครื่องบรรจุและอัดก้อนพีชอัตโนมัติ ผลการทดลองพบว่า ถุงพลาสติกที่เหมาะสมในการทดสอบคือถุง HDPE โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 90-100 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการซีล 1-3 วินาที และเวลาที่ใช้ในการบรรจุต่อครั้งโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 5-10 นาที

การทดลองที่ 3 มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือการให้คะแนนร่างกายโคนมด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิทัลที่สามารถวัดความลึกของภาพ (Deep Camera) ของกล้อง Kinect V2 และพัฒนาโปรแกรมที่มีคุณสมบัติในการวิเคราะห์ภาพถ่าย จากการทดสอบพบว่า กล้องวัดระดับความลึกและโปรแกรมสามารถทำงานได้ดี สามารถช่วยให้การประเมินคะแนน BSC อย่างถูกต้องมากขึ้น รวมถึงยังสามารถเก็บข้อมูลของโคนมแต่ละตัวแต่ละระดับช่วงอายุเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสภาพร่างกาย ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงสุขภาพและสภาพการจัดการได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- พานิช ทินนิมิตร. 2535. โภชนาศาสตร์สัตว์ประยุกต์. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. น. 117-122
- สมคิด พรหมมา. 2538. การประยุกต์ใช้ฟางปรุงแต่งเลี้ยงโคนม. วารสารโคนม. 14(6): 123-130.
- Ali K., Al J., Ginette T., Jiangning W. and Chil-Hung C. 2015, Ozone pretreatment of humid wheat straw for biofuel production. Energy science and engineering. 3(6):541-548
- AOAC. 1990. Fiber (Acid Detergent) and Lignin in Animal Feed. (973.18), Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16 ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Aquino, D., A. D. Barrio, N. X. Trach, N. T. Hai, D. N. Khang, N. T. Toan, and N. V. Hung. 2020. Rice Straw-Based Fodder for Ruminants. In: Gummert, M., N. Hung, P. Chivenge, B. Douthwaite. (eds) Sustainable Rice Straw Management. Springer, Cham.
- Barkema, H. W., M. A. G. Von Keyserlingk, J. P. Kastelic, T. J. G. M. Lam, C. Luby, and J.-P. Roy. 2015. Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. J. Dairy Sci. 98:7426–7445.
- Box, G. and Cox, D. 1964. An Analysis of Transformations. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 26, 211-252
- Collard, B. L., P. J. Boettcher, J. C. M. Dekkers, D. Petitclerc, and L. R. Schaeffer. 2000. Relationships between energy balance and health traits of dairy cattle in early lactation. J. Dairy Sci. 83:2683–2690.
- de Vries, M. J., S. van der Beek, L. M. Kaal-Lansbergen, W. Ouweltjes, and J. B. Wilmink. 1999. Modeling of energy balance in early lactation and the effect of energy deficits in early lactation on first detected estrus postpartum in dairy cows. J. Dairy Sci. 82:1927–1934.

- Dickinson, R. A., J. M. Morton, D. S. Beggs, G. A. Anderson, M. F. Pyman, P. D. Mansell, and C. B. Blackwood. 2013. An automated walk-over weighing system as a tool for measuring liveweight change in lactating dairy cows. *J.*
- Gitifar, V., Eslamloueyan, R., and Sarshar, M., 2013. Experimental study and neural network modeling of sugarcane bagasse pretreatment with H₂SO₄ and O₃ for cellulosic material conversion to sugar. *Bioresour. Technol.* 148, 47–52.
- Goering, H. K., and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications), *Agriculture Handbook*. USDA Agricultural Research Service.
- Heinrichs, A. J., G. W. Rogers, and J. B. Cooper. 1992. Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. *J. Dairy Sci.* 75:3576–358.
- Horvath M, Bilitzky L, and Huttner J. 1985. *Ozone*. Budapest: Elsevier.
- IBM Corp. 2016. IBM SPSS Statistics for Macintosh. IBM Corp., Armonk, NY.
- Jacobs, J. A., and J. M. Siegford. 2012. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *J. Dairy Sci.* 95:2227–2247.
- Kádár, Z., N. Schultz-Jensen, J. S. Jensen, M. A. T. Hansen, F. Leipold, and A.-B. Bjerre. 2015. Enhanced ethanol production by removal of cutin and epicuticular waxes of wheat straw by plasma assisted pretreatment. *Biomass Bioenergy* 81: 26–30.
- Kamla, M., T. Jayanti, A. Ramesh, and K. Nisha. 2015. Pretreated rice straw as an improved fodder for ruminants-An overview. *Journal of Applied and Natural Science.* 7. 514-520.
- Kawasue, K., T. Ikeda, T. Tokunaga, and H. Harada. 2013. Three dimensional shape measurement system for black cattle using KINECT sensor. *Int. J. Circuits Syst. Signal Process.* 7:222–230.
- Kung L., Jr., J.R. Robinson, N.K. Ranjit, J.H. Chen, C.M. Golt and J.D. Pesek. 2000. Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. *J. Dairy sci.* 83(7):1479-86.
- Kuzuhara, Y., K. Kawamura, R. Yoshitoshi, T. Tamaki, S. Sugai, M. Ikegami, Y. Kurokawa, T. Obitsu, M. Okita, T. Sugino, and T. Yasuda. 2015. A preliminary study for predicting body weight and milk properties in lactating Holstein cows using a three-dimensional camera system. *Comput. Electron. Agric.* 111:186–193.

- Li, C., L. Wang, Z. Chen, Y. Y. Li, R. Wang, X. Luo, G. Cai, Q. Yu, and J. Lu. 2015. Ozonolysis pretreatment of maize stover: the interactive effect of sample particle size and moisture on ozonolysis process. *Bioresour. Technol.* 183:240–247.
- Maheshv, B., Allan G.H., Bill. H., and Shulin, C., 2013. Structural Modification of lignin and characterization of pretreated wheat straw by ozonation., *Agric. Food chem.*, 61, 3916-3925.
- M'Arimi, M.M., C.A. Mecha, A.K. Kiprop and R. Ramkat. 2020. Recent trends in applications of advanced oxidation processes (AOPs) in bioenergy production: Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 121: 1-18.
- Mäntysaari, P., and E. A. Mäntysaari. 2015. Modeling of daily body weights and body weight changes of Nordic Red cows. *J. Dairy Sci.* 98:6992–7002.
- Maltz, E. 1997. The body weight of the dairy cow: III. Use for online management of individual cows. *Livest. Prod. Sci.* 48:187–200.
- Marinello, F., A. Pezzuolo, D. Cillis, F. Gasparini, and L. Sartori. 2015. Application of Kinect-Sensor for three-dimensional body measurements of cows. Pages 661–669 in 7th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2015. European Conference on Precision Livestock Farming, Milan, Ital
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Press, Washington, D.C.
- Razumovskii, S.D. and Zaikov, G.E., 1984. *Ozone and Its Reactions with Organic Compounds (Kinetics and Mechanism)*, Amsterdam: Elsevier.
- RStudio, (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA
- Rosell-Polo, J. R., F. A. Cheeinx, E. Gregorio, D. Andújar, L. Puigdomènech, J. Masip, and A. Escolà. 2015. Advances in structured light sensors applications in precision agriculture and livestock farming. *Adv. Agron.* 133:71–112.
- Rutten, C. J., A. G. J. Velthuis, W. Steeneveld, and H. Hogeveen. 2013. Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 96:1928–1952.
- Salau, J., J. H. Haas, W. Junge, and G. Thaller. 2016. Extrinsic calibration of a multi-Kinect camera scanning passage for measuring functional traits in dairy cows. *Biosyst. Eng.* 151:409–424.

- Song, X., E. A. M. Bokkers, P. P. J. van der Tol, P. W. G. Groot Koerkamp, and S. van Mourik. 2017. Automated body weight prediction of dairy cows using 3-dimensional vision. *J. Dairy Sci.* 101:4448–4459.
- Stajanko, D., M. Brus, and M. Hočevár. 2008. Estimation of bull live weight through thermographically measured body dimensions. *Comput. Electron. Agric.* 61:233–240.
- Tasdemir, S., A. Urkmez, and S. Inal. 2011. Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. *Comput. Electron. Agric.* 76:189–197.
- Thorup, V. M., D. Edwards, and N. C. Friggens. 2012. On-farm estimation of energy balance in dairy cows using only frequent body weight measurements and body condition score. *J. Dairy Sci.* 95:1784–1793.
- van der Tol, P. P. J., and A. van der Kamp. 2010. Time series analysis of live weight as health indicator. Pages 230–231 in *First North American Conference on Precision Dairy Management 2010*, Toronto, Canada. OmniPress, Madison, WI.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science.* 74:3583-3597.
- Wildman, E.E., Jones, G.M., Wagner, P.E., and Bowman, R.L. 1982. A Dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *J. Dairy Sci.* 65:495