



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การพัฒนาชุดวัดน้ำหนักร่วมกับติดตั้งกับรถบรรทุก”

โดย

ผศ.ดร.ขวัญตรี แสงประชานารักษ์

ผศ.ดร.เสรี วงษ์พิเชษฐ

กิตติพิชญ์ อังสณิตยธาวร

พฤศจิกายน 2560

สัญญาเลขที่ RDG5950088

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การพัฒนาชุดวัดน้ำหนักรถบรรทุก”

โดย

ผศ.ดร.ขวัญตรี แสงประชานารักษ์

ผศ.ดร.เสรี วงษ์พิเชษฐ

กิตติพิชญ์ อังสฤษดิ์ถาวร

พฤษภาคม 2560

บทสรุปผู้บริหาร

อุปสรรคที่สำคัญในการนำเครื่องจักรไปใช้งานคือ ขนาดของแปลง เนื่องจากขนาดแปลงที่เล็กหรือสั้นเกินไปจะทำให้การทำงานของเครื่องจักรมีประสิทธิภาพต่ำ จากการวิจัยที่ผ่านมามีความพยายามในการรวมแปลงย่อยของเกษตรกรเพื่อให้มีขนาดใหญ่และเหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักรมากขึ้น แต่ยังไม่ประสบผลสำเร็จเนื่องจากประสบปัญหาการแบ่งปันผลประโยชน์ระหว่างเกษตรกรที่ไม่เป็นที่ยอมรับ โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาชุดวัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก เพื่อให้สามารถทราบน้ำหนักสะสมขณะเก็บเกี่ยว ซึ่งจะใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยให้เกษตรกรยอมรับการตัดอ้อยแบบรวมแปลง เนื่องจากเกษตรกรของแต่ละแปลงสามารถทราบน้ำหนักอ้อยที่เก็บเกี่ยวของแปลงตนเอง โครงการได้ดำเนินการพัฒนาชุดประมวลผลสัญญาณจากเซนเซอร์ให้สามารถติดตั้งและใช้งานแปลงอ้อยได้ โดยชุดประมวลผลสัญญาณประกอบด้วย อุปกรณ์แปลงสัญญาณ อุปกรณ์ขยายสัญญาณ อุปกรณ์ประมวลผลข้อมูล สายสัญญาณ แหล่งพลังงาน และอุปกรณ์จับยึดชุดประมวลผลสัญญาณ ส่วนรูปแบบของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ประกอบด้วย 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบโหลดเซลล์ (Load cell) และแบบโบลท์เกจ (Bolt gauge) แล้วจึงดำเนินการพัฒนาโปรแกรมสำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูลน้ำหนักที่ได้จากการประมวลผลสัญญาณเพื่อให้สามารถทำงานสอดคล้องกับชนิดของอุปกรณ์แปลงสัญญาณในชุดประมวลผลสัญญาณได้ ลำดับถัดมาได้นำชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบไปติดตั้งกับรถบรรทุกและทำการทดสอบระบบฯ แบบอยู่กับที่และจำลองการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในกระเบบรถบรรทุก โดยการบรรทุกน้ำในถังน้ำ ขนาด 9000 ลิตรและถ่ายน้ำออกครั้งละ 225 ลิตร และบันทึกค่าสัญญาณ จากการทดสอบพบว่า รูปแบบเซนเซอร์ชนิดโหลดเซลล์มีการตอบสนองที่ดี ทำให้สามารถคำนวณค่าน้ำหนักในกระเบบรถบรรทุกจากค่าสัญญาณจากชุดวัดน้ำหนักได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 32.90 กิโลกรัม ในขั้นต่อมาได้ออกแบบระบบวัดน้ำหนักโดยใช้โหลดเซลล์ โดยออกแบบเป็น 2 แบบ คือ แบบใช้โหลดเซลล์ 2 ตัว และแบบใช้โหลดเซลล์ 4 ตัว เมื่อนำระบบฯ ทั้ง 2 แบบ ไปทดสอบกับกระเบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ค่าร้อยละของน้ำหนักบนเซนเซอร์ต่อน้ำหนักรวมในกระเบบ (% Rwp) และค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง (P) เป็นตัวแปรสำคัญของสมการทำนายค่าน้ำหนักอ้อยในกระเบบ เมื่อนำระบบวัดน้ำหนักแบบใช้เซนเซอร์ 2 ตัว และแบบ 4 ตัว ไปทดสอบการทำงานวัดน้ำหนักอ้อยในกระเบบรถบรรทุกตัวอย่าง (ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FUSO FN527 S) ที่กำลังทำงานเก็บเกี่ยวร่วมกับรถตัดอ้อยในแปลงเกษตรกร พบว่า ควรใช้ความเร็วในการทำงานในช่วง 2.24-2.67 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะทำให้ระบบวัดน้ำหนักแบบใช้เซนเซอร์ 2 ตัว เกิดความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 2.51 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบใช้เซนเซอร์ 4 ตัว เกิดความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 0.38 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ ระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 356 ไร่/ปี และระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์แบบ 4 ตัว จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 631 ไร่/ปี

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาชุดวัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก เพื่อให้สามารถทราบน้ำหนักสะสมขณะเก็บเกี่ยว ซึ่งจะใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยให้เกษตรกรยอมรับการตัดอ้อยแบบรวมแปลง เนื่องจากเกษตรกรของแต่ละแปลงสามารถทราบน้ำหนักอ้อยที่เก็บเกี่ยวของแปลงตนเอง เมื่อสามารถรวมแปลงในการเก็บเกี่ยวได้ จะส่งผลดีต่อการบริหารจัดการการเก็บเกี่ยวอ้อยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีต้นทุนค่าเก็บเกี่ยวอ้อยต่ำลง ซึ่งส่งผลต่อการลดต้นทุนการผลิตอ้อยได้อย่างมีนัยยะสำคัญ อีกทั้งยังทำให้สามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้ทันเวลา และเพิ่มคุณภาพด้านความหวานของอ้อย

โครงการได้ดำเนินการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยที่นิยมปฏิบัติในพื้นที่เป้าหมายซึ่งประกอบด้วย สำนวนวิธีเก็บเกี่ยวอ้อยที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ และการสำรวจกิจกรรมในภาคสนามเกี่ยวกับรูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อย (5กลุ่ม) และกิจกรรมการออกแบบและทดลองสร้างชุดเซนเซอร์วัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุกโดยได้สร้างแบบจำลองการกระจายความเค้นบนโครงสร้างหลักของรถบรรทุก และออกแบบชุดเซนเซอร์สำหรับการวัดน้ำหนักตามแนวทางที่ 1 และได้ทำการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ จากนั้นได้ดำเนินการพัฒนาชุดประมวลผลสัญญาณจากเซนเซอร์ให้สามารถติดตั้งและใช้งานแปลงอ้อยได้ โดยชุดประมวลผลสัญญาณ ประกอบด้วย อุปกรณ์แปลงสัญญาณ อุปกรณ์ขยายสัญญาณ อุปกรณ์ประมวลผลข้อมูล สำหรับสเตรนเกจ สายสัญญาณ แหล่งพลังงาน และอุปกรณ์จับยึดชุดประมวลผลสัญญาณ ส่วนรูปแบบของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ประกอบด้วย 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบโหลดเซลล์ (Load cell) และแบบโบลท์เกจ (Bolt gauge) แล้วจึงดำเนินการพัฒนาโปรแกรมสำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูลน้ำหนักที่ได้จากการประมวลผลสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม VBA ในโปรแกรม Microsoft excel เพื่อให้สามารถทำงานสอดคล้องกับชนิดของอุปกรณ์แปลงสัญญาณในชุดประมวลผลสัญญาณได้ ลำดับถัดมาได้นำชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบไปติดตั้งกับรถบรรทุกและทำการทดสอบระบบฯแบบอยู่กับที่และจำลองการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในกระเบบบรรทุก โดยการบรรทุกน้ำในถังน้ำ จากการทดสอบพบว่า รูปแบบเซนเซอร์ชนิดโหลดเซลล์มีการตอบสนองที่ดี สามารถสร้างสมการสอบเทียบเพื่อทำนาย ร้อยละของน้ำหนักที่ตกลงบนโหลดเซลล์เมื่อเทียบกับน้ำหนักทั้งหมด ทำให้สามารถคำนวณค่าน้ำหนักในกระเบบบรรทุกจากค่าสัญญาณจากชุดวัดน้ำหนักได้ จากนั้น จึงออกแบบและสร้างระบบวัดและบันทึกน้ำหนักอ้อย 2 แบบ คือ แบบใช้โหลดเซลล์ (Load cell) 2 ตัว และแบบฯ 4 ตัวตามลำดับ เมื่อนำระบบฯทั้งสอง ไปทดสอบกับกระเบบจำลองในห้องปฏิบัติการ พบว่า ค่าร้อยละของน้ำหนักบนเซนเซอร์ต่อน้ำหนักรวมในกระเบบ (%Rwp) และค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง (P) เป็นตัวแปรสำคัญของสมการ หลังจากนั้น จึงนำระบบฯทั้งสอง ไปทดสอบกับกระเบบของรถบรรทุกตัวอย่างระหว่างที่ทำงานเก็บเกี่ยวอ้อยร่วมกับรถตัดอ้อย ผลการทดสอบพบว่า ควรใช้ความเร็วในการทำงานในช่วง 2.24-2.67 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งระบบวัดน้ำหนักแบบใช้เซนเซอร์ 2 ตัว จะมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.51 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบใช้เซนเซอร์ 4 ตัว เกิดความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 0.38 เปอร์เซ็นต์ โดยมีจุดคุ้มทุน 356 ไร่/ปี และ 631 ไร่/ตามลำดับ

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร.....	ข
บทคัดย่อ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	11
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	12
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	12
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	12
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	35
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	42
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	73
บรรณานุกรม.....	110

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ผลการวัดขนาดสัดส่วนของกระเบบรทุกของรถบรรทุกอ้อยเก็บเกี่ยวส่งโรงงานของเกษตรกร	22
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดสอบผลของความเร็วการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกที่มีต่อความคลาดเคลื่อน	38
ตารางที่ 4.1 จำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม ขนาดของพื้นที่ทำประโยชน์และพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่	42
ตารางที่ 4.2 จำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม ระหว่างระหว่างแถวอ้อยและพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่	43
ตารางที่ 4.3 จำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม ฤดูปลูกอ้อยและพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่	43
ตารางที่ 4.4 จำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม พื้นที่ปลูกอ้อยและพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่	44
ตารางที่ 4.5 จำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม วิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยและพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่	44
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลรถตัดอ้อยขนาดเล็กของโรงงานน้ำตาลกุมภวาปี	47
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงข้อมูลเวลาในการทำงานในแปลงและความสามารถเชิงพื้นที่ จำนวน 20 แปลง	48
ตารางที่ 4.8 แปลงอ้อยที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อย	49
ตารางที่ 4.9 ผลการสำรวจพันธุ์อ้อยในเขตพื้นที่ จังหวัดขอนแก่น (ผลสำรวจจากเกษตรกร 92 ราย)	50
ตารางที่ 4.10 คุณสมบัติของวัสดุแชสซีของรถบรรทุก และรายละเอียดการแบ่งเอลิเมนต์	52
ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่าความเค้น	57
ตารางที่ 4.12 คุณสมบัติของอุปกรณ์แปลงสัญญาณ และและอุปกรณ์ขยายสัญญาณ	61
ตารางที่ 4.13 เงื่อนไขการทดสอบสภาพอยู่กับที่	66
ตารางที่ 4.14 ตารางบันทึกค่าสัญญาณจากการทดสอบแบบอยู่กับที่	68
ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงค่าร้อยละของน้ำหนักที่ตกลงบนเซนเซอร์ของชุดวัดน้ำหนัก (RwO(%))	69
ตารางที่ 4.16 ตารางเปรียบเทียบค่าน้ำหนักจริงกับค่าน้ำหนักทำนาย	72
ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำเอียง	73
ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำเอียง (ต่อ)	74
ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำเอียง (ต่อ)	74
ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำเอียง(ต่อ)	75
ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำเอียง(ต่อ)	76
ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำเอียง (ต่อ)	77
ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง	78
ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)	79
ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)	79
ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)	80
ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)	80
ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)	81
ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)	81

ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ).....	82
ตารางที่ 4.19 ตารางการคำนวณหาอัตราการไหล.....	82
ตารางที่ 4.19 ตารางการคำนวณหาอัตราการไหล (ต่อ).....	83
ตารางที่ 4.20 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักจริงกับน้ำหนักทำนาย.....	84
ตารางที่ 4.20 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักจริงกับน้ำหนักทำนาย (ต่อ)	85
ตารางที่ 4.21 ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงที่กระทำบนเซนเซอร์ แบบ 2 ตัว.....	92
ตารางที่ 4.22 ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงที่กระทำบนเซนเซอร์ แบบ 4 ตัว.....	92
ตารางที่ 4.23 ส่วนประกอบของระบบวัดน้ำหนัก.....	97
ตารางที่ 4.24 ส่วนประกอบของสมการทำนายน้ำหนัก	98
ตารางที่ 4.25 ผลค่าความเร็วการทำงานของรถบรรทุกและค่าความคลาดเคลื่อน.....	99
ตารางที่ 4.26 ผลค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว และ 4 ตัว.....	100
ตารางที่ 4.27 ผลค่าใช้จ่ายคงที่ของระบบวัดน้ำหนัก.....	101
ตารางที่ 4.28 ผลค่าพื้นที่การทำงานและเวลาในการทำงานของรถตัดอ้อยและรถบรรทุกในแต่ละความยาวแปลง	102
ตารางที่ 4.29 ผลค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าน้ำมันหล่อลื่นของรถตัดอ้อยกับรถบรรทุก	103
ตารางที่ 4.30 ผลการศึกษาค่าจ้างและค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาของรถตัดอ้อยและรถบรรทุก	104
ตารางที่ 4.31 ผลของความยาวแปลงและค่าใช้จ่ายที่ลดลงรวมทั้งหมด	105
ตารางที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน.....	106
ตารางที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน(ต่อ).....	Error! Bookmark not defined.

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 รถตัดอ้อยแบบตัดเป็นท่อน.....	15
รูปที่ 2.2 เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบเกี่ยวตัดทั้งต้น	16
รูปที่ 2.3 เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบตีดพ่วงกับรถแทรกเตอร์.....	17
รูปที่ 2.4 รถตัดอ้อยขนาดเล็ก	17
รูปที่ 2.5 รถตัดอ้อยขนาดใหญ่.....	18
รูปที่ 2.6 รถบรรทุกที่วิ่งขนานรถตัดอ้อย Austoft A4000	19
รูปที่ 2.7 รถตัดอ้อยชนิดที่ไม่มีชุดระบบลำเลียง (elevator).....	19
รูปที่ 2.8 ภาพแสดงส่วนประกอบพื้นฐานของรถตัดอ้อยแบบตัดเป็นท่อน	20
รูปที่ 2.9 รถเกษตรกร "อีแต๋น"	21
รูปที่ 2.10 รถบรรทุก 6 ล้อ.....	21
รูปที่ 2.11 รถบรรทุก 10 ล้อ	21
รูปที่ 2.12 รถบรรทุก 10 ล้อพร้อมรถพ่วง.....	22
รูปที่ 2.13 รถบรรทุก 10 ล้อ พร้อมกระบะใส่อ้อยรถตัด	22
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสเตอรนเกจ.....	23
รูปที่ 2.10 วงจรวิทสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge circuit)	24
รูปที่ 3.1 จุดติดตั้งกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว (VDO) ยี่ห้อคอนทัวร์ (Contour)	35
รูปที่ 3.2 ติดแถบสีเพื่อระดับอ้อยที่เพิ่มขึ้น	36
รูปที่ 3.3 พฤติกรรมของน้ำหนักรอ้อยในกระบะขณะเก็บเกี่ยว	36
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาความแม่นยำของต้นแบบระบบวัดและบันทึกน้ำหนักแบบเรียลไทม์ จากการทดสอบภาคสนาม.....	37
รูปที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในการทดสอบภาคสนาม	38
รูปที่ 3.6จุดติดตั้งกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว R300	39
รูปที่ 3.7 จุดติดตั้งเครื่องบันทึกตำแหน่งภูมิศาสตร์ (GPS Logger).....	39
รูปที่ 3.8 รูปแบบการทดสอบ.....	40
รูปที่ 3.9 แผนภาพการติดตั้งเซนเซอร์แบบ 2 ตัว(บน)และเซนเซอร์แบบ 4 ตัว(ล่าง).....	41
รูปที่ 4.1 หน้าต่างการทำงานของแอปพลิเคชัน Mappad.....	45
รูปที่ 4.2 วัดพื้นที่แปลง	45
รูปที่ 4.3 การทำงานของรถตัดอ้อยกับรถบรรทุก.....	46
รูปที่ 4.4 รถตัดอ้อย Austoft A4000	46
รูปที่ 4.5 รถตัดอ้อยไทยรุ่งเรือง M6.....	46

รูปที่ 4.6 รถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ	51
รูปที่ 4.7 การวัดโครงสร้างแชสซีของรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ	51
รูปที่ 4.8 แบบจำลองแชสซีของรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ	52
รูปที่ 4.9 การกำหนดเงื่อนไขของเขตและการแบ่งเอลิเมนต์	53
รูปที่ 4.10 การกำหนดแรงภายนอกที่กระทำ กรณีบรรทุกอ้อยเต็มกระบะ.....	54
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นกรณีมีอ้อยในกระบะบรรทุกระดับต่างๆ	54
รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นกรณีมีอ้อยเต็มกระบะ.....	55
รูปที่ 4.13 ตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ	56
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของความเค้นที่ตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ	56
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่าความเค้น.....	57
รูปที่ 4.16 เซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ	58
รูปที่ 4.17 การติดตั้งเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบเข้ากับชิ้นส่วนจำลองจากแชสซีของรถบรรทุก.....	58
รูปที่ 4.19 ผลการสอบเทียบเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ	60
รูปที่ 4.20 แผนภาพระบบเก็บข้อมูล(บน)และชุดประมวลผลสัญญาณ(ล่าง)	62
รูปที่ 4.21 ตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์ทั้งสองแบบ	63
รูปที่ 4.22 การติดตั้งเซนเซอร์แบบโหลดเซลล์ (Load cell)(บน)และแบบโบลท์เกจ (Bolts gauge)(ล่าง)....	64
รูปที่ 4.23 แผนภาพแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรม	65
รูปที่ 4.24 ถังบรรจุน้ำที่ใช้ในการสอบเทียบชุดวัดน้ำหนัก	66
รูปที่ 4.25 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในการทดสอบ.....	67
รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักบนโหลดเซลล์กับน้ำหนักจริง	70
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักจริงกับน้ำหนักทำนาย.....	71
รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักกับเวลา	84
ตารางที่ 4.20 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักจริงกับน้ำหนักทำนาย (ต่อ).....	85
รูปที่ 4.28.. จดรับแรงจากกระบะกรณีติดเซนเซอร์ 2 ตัว.....	86
รูปที่ 4.28.. จดรับแรงจากกระบะกรณีติดเซนเซอร์ 4 ตัว.....	86
รูปที่ 4.28 จดรับแรงจากกระบะกรณีติดเซนเซอร์ 2 ตัว เทียบกับ 4 ตัว.....	87
รูปที่ 4.29 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์ในตำแหน่งที่ติดตั้งแบบ 2 ตัว และแบบ 4 ตัว	88
รูปที่ 4.31 ภาพแบบจำลองแชสซี(Chassis)มุมไอโซเมตริก	88
รูปที่ 4.31 สัดส่วนแชสซีจำลอง.....	89
รูปที่ 4.32 จุดติดตั้งเซนเซอร์แต่ละตัว	89
รูปที่ 4.33 รูปแบบการเรียงน้ำหนักบนกระบะ	89

รูปที่ 4.34 การคำนวณหาค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง.....	90
รูปที่ 4.35 แสดงตำแหน่งของระยะห่างจากจุดศูนย์ถ่วงไปยังเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีเซนเซอร์แบบ 2 ตัว (บน) และเซนเซอร์แบบ 4 ตัว (ล่าง)	91
รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว ที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ค่อนข้าง พูนกึ่งกลางกระเบะ	93
รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว ที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ค่อนข้าง พูนฝั่งใดฝั่งหนึ่งของกระเบะ	94
รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว ที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ค่อนข้าง พูนด้านหน้ากระเบะ	95
รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์แบบ 4 ตัว ที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ค่อนข้าง พูนกึ่งกลางกระเบะ	96
รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์แบบ 4 ตัว ที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ค่อนข้าง พูนฝั่งใดฝั่งหนึ่งของกระเบะ	96
รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์แบบ 4 ตัว ที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ค่อนข้าง พูนด้านหน้ากระเบะ	96
รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแปลงกับค่าใช้จ่ายที่ลดลง.....	105

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

กระบวนการเก็บเกี่ยวอ้อยเป็นกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการผลิตอ้อยและคุณภาพของอ้อยที่นำส่งโรงงานเป็นอย่างมาก [1] ปัจจุบันรถตัดอ้อยได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการเก็บเกี่ยวอ้อยมากขึ้น เนื่องจากสภาวะการณ์ขาดแคลนแรงงานภาคเกษตรที่ความรุนแรงมากขึ้น

ระหว่างการทำงานเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยรถตัดอ้อย รถตัดอ้อยจะตัดอ้อยและลำเลียงส่งไปยังรถบรรทุก 10 ล้อ ซึ่งวิ่งคู่ขนานกันในแปลงอ้อย เมื่อเก็บเกี่ยวถึงหัวแปลง ทั้งรถตัดอ้อยและรถบรรทุกจะเลี้ยวกลับ เพื่อเก็บเกี่ยวอ้อยในแถวถัดไป เป็นเช่นนี้จนเต็มกระบะบรรทุก

ดังนั้น หากความยาวของแปลง หรือความยาวของแถวอ้อยสั้นมาก จะทำให้รถตัดอ้อยและรถบรรทุกต้องเลี้ยวหัวงานหลายครั้ง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานเชิงเวลามีค่าต่ำ [2] และมีค่าใช้จ่ายต่อตันอ้อยสูงกว่าการเก็บเกี่ยวอ้อยในแปลงขนาดยาว ซึ่งสภาพปัญหาประสิทธิภาพการทำงานต่ำเมื่อทำงานในแปลงสั้น เป็นปัญหาที่พบโดยทั่วไปของเครื่องจักรกลเกษตรทุกชนิด นับตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมดิน จนถึงขั้นตอนการเก็บเกี่ยวอ้อย แต่ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวอ้อย จะประสบปัญหานี้รุนแรงกว่าขั้นตอนอื่น และทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นมากอย่างชัดเจน

จากผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ความยาวแปลงที่จะช่วยให้รถตัดอ้อยสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด คือประมาณ 400 เมตร [3] ดังนั้น จึงมีความพยายามส่งเสริมให้เกษตรกรที่มีแปลงอ้อยติดกัน ทำการรวมแปลงเพื่อเพิ่มความยาวของแปลงอ้อย จะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเก็บเกี่ยวอ้อย และลดค่าใช้จ่ายในการใช้งานรถตัดอ้อย รวมถึงลดค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องจักรกลเกษตรในขั้นตอนอื่นๆ เช่นกัน [4] จากแนวคิดนี้จึงมีการจัดให้แปลงอ้อยที่ร่วมโครงการมีการปลูกอ้อยให้มีแถวอ้อยในทิศทางเดียวกัน จัดให้มีระยะห่างระหว่างแถวเท่ากัน และปลูกในเวลาใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม อุปสรรคสำคัญประการหนึ่ง ที่ทำให้เกษตรกรไม่ยอมรับแนวทางการรวมแปลง คือ ความมั่นใจในการแบ่งค่าตอบแทนจากผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ทั้งในประเด็นน้ำหนักอ้อยและค่าความหวานอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้ของแต่ละแปลงที่นำมารวมแปลงกัน จากปัญหาดังกล่าว เคยมีการทดลองใช้รถบรรทุกพ่วง 2 ตอน โดยกระบะตอนแรกสำหรับบรรทุกอ้อยจากแปลงที่ 1 และกระบะตอนที่ 2 ใช้บรรทุกอ้อยจากแปลงที่ 2 แต่พบปัญหาใหม่คือ รถบรรทุกพ่วงใช้เวลากลับรถมาก ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเชิงพื้นที่ ยังคงต่ำมาก อีกทั้งเกิดการเหยียบย่ำในแปลงอ้อย ทำให้ดินอัดแน่น ซึ่งเป็นผลเสียต่อการเติบโตของรากอ้อย วิธีนี้จึงมีข้อจำกัดมากในทางปฏิบัติ [5]

หากสามารถพัฒนาชุดอุปกรณ์วัดและบันทึกน้ำหนักอ้อย สำหรับติดตั้งกับรถบรรทุกอ้อยในขณะทำการเก็บเกี่ยวร่วมกับรถตัดอ้อยได้ จะเพิ่มโอกาสแก้ปัญหาข้อขัดแย้งเรื่องการแบ่งปันผลประโยชน์ของชาวไร่เมื่อมีการเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลง

อย่างไรก็ตาม ชุดอุปกรณ์วัดและบันทึกน้ำหนักอ้อยดังกล่าว จะได้รับการยอมรับจากเกษตรกรมากขึ้น เมื่อพัฒนาระบบวัดความหวานอ้อยมีชีวิตในแปลงอ้อย และนำทั้ง 2 ระบบ มาทำงาน

ร่วมกันกับระบบพิกัดภูมิศาสตร์หรือ GPS โอกาสที่จะแก้ปัญหาข้อขัดแย้งเรื่องการแบ่งปันผลประโยชน์จะเพิ่มมากขึ้น และจะทำให้แนวความคิดการรวมแปลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเก็บเกี่ยว และลดต้นทุนการเก็บเกี่ยว จะมีโอกาสประสบความสำเร็จในทางปฏิบัติสูงขึ้น

ในปัจจุบัน มีผู้ผลิตรถตัดอ้อยรายใหญ่ของโลก รวมทั้งนักวิจัยหลายท่านในต่างประเทศ ได้ทำการศึกษาและพัฒนาะบบวัดและติดตามผลผลิตขณะเก็บเกี่ยว โดยใช้แนวทางต่างๆ เช่น ระบบประมวลผลภาพ[6] ระบบอัลตราโซนิกในการวัดระดับปริมาณผลผลิต [7] ระบบชั่งน้ำหนักบนสายพาน [8] ระบบตรวจวัดจากแรงดันน้ำมันไฮดรอลิกในรถตัดอ้อย [9] หรือมีการใช้ระบบวัดความหวานร่วมกับระบบอัลตราโซนิกและระบบวัดแรงดันน้ำมัน [10] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ระบบที่มีผู้พัฒนาดังกล่าว ยังคงมีข้อจำกัดหลายประการ เนื่องจากไม่ได้พัฒนาให้เหมาะสมกับเงื่อนไขการทำงานของไทย และไม่ได้พัฒนาเพื่อวัตถุประสงค์การรวมแปลงอ้อยสำหรับเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อย

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงแบ่งการดำเนินงานเป็นสามส่วน โดยการดำเนินงานในส่วนแรกนี้ ผู้วิจัยมุ่งพัฒนาชุดอุปกรณ์วัดและบันทึกน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก สำหรับการดำเนินงานในส่วนที่สอง มุ่งทดสอบการใช้งานชุดอุปกรณ์ต้นแบบในแปลง เพื่อรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและข้อจำกัดที่เกิดขึ้น สำหรับการปรับปรุงชุดอุปกรณ์ต้นแบบให้เป็นที่ยอมรับของเกษตรกรมากขึ้น ในการดำเนินงานในส่วนที่สาม เป็นการพัฒนาระบบวัดความหวานอ้อยมีชีวิตในแปลงอ้อย และนำทั้ง 2 ระบบ มาทำงานร่วมกันกับระบบพิกัดภูมิศาสตร์หรือ GPS

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาชุดอุปกรณ์วัดและบันทึกน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการทำงานของเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นและจังหวัดใกล้เคียง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

จากผลการวิจัยครั้งนี้ จะทำให้ได้อุปกรณ์วัดน้ำหนักต้นแบบสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก เพื่อให้เกษตรกรนำไปทดลองใช้งานจริง โดยเกษตรกรจะนำค่าน้ำหนักอ้อยที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบ ไปเปรียบเทียบกับ น้ำหนักอ้อยที่ชั่งจากสถานีชั่งน้ำหนักในท้องถิ่นที่เกษตรกรยอมรับ เช่น น้ำหนักอ้อยที่ชั่งจากโรงงานน้ำตาล เป็นต้น และเมื่อเกษตรกรได้ทดลองใช้งานเป็นเวลานานพอ จะสามารถคาดคะเนความยอมรับของเกษตรกร โดยเฉพาะในประเด็นของการรวมแปลงอ้อยเพื่อการเก็บเกี่ยวได้

อุปกรณ์ต้นแบบดังกล่าวข้างต้น จะถูกนำไปพัฒนาในขั้นต่อไป เพื่อเพิ่มความสามารถในการวัดและบันทึกค่าความหวานอ้อยที่กำลังเก็บเกี่ยว ทั้งนี้เพื่อเพิ่มโอกาสที่จะเป็นที่ยอมรับของเกษตรกร ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญอีกประการหนึ่ง ที่จะช่วยให้เกษตรกรยอมรับวิธีการรวมแปลงอ้อยเพื่อการเก็บเกี่ยว

เมื่อสามารถรวมแปลงในการเก็บเกี่ยวได้ จะส่งผลดีต่อการบริหารจัดการการเก็บเกี่ยวอ้อยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีต้นทุนค่าเก็บเกี่ยวอ้อยต่ำลง ซึ่งส่งผลต่อการลดต้นทุนการผลิตอ้อยได้อย่างมีนัยยะสำคัญ อีกทั้งยังทำให้สามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้ทันเวลา และเพิ่มคุณภาพด้านความหวานของอ้อย

นอกจากนี้ ยังสามารถนำไปใช้สร้างฐานข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ (GIS) แสดงผลผลิตอ้อยแต่ละพื้นที่ ทำให้สามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาผลผลิตตกต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลของไทยให้มีความสามารถในการแข่งขันมากขึ้น

เดือนที่	กิจกรรม (activities)	ผลงานที่คาดว่าจะได้รับ (outputs)
6 เดือนที่ 1	1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยที่นิยมปฏิบัติในพื้นที่เป้าหมาย 2. ออกแบบและทดลองสร้างชุดเซนเซอร์วัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก 3. พัฒนาชุดประมวลผลสัญญาณจากเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นให้สามารถติดตั้งและใช้งานแปลงอ้อยได้ 4. พัฒนาโปรแกรมสำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูลน้ำหนักที่ได้จากการประมวลผลสัญญาณ 5. ทดสอบระบบแบบอยู่กับที่และเก็บข้อมูลเบื้องต้น เพื่อตรวจสอบการตอบสนองและแก้ไข	1. ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยที่นิยมปฏิบัติ 2. ชุดวัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก

6 เดือนที่ 2	6. ทดสอบระบบฯในแปลง โดยจำลองการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรบรทุก เพื่อตรวจสอบผลของความสั่นสะเทือนต่อความแม่นยำในการวัด 7. วิเคราะห์ผลการทดสอบและพัฒนาโปรแกรมประมวลผลข้อมูลและปรับปรุงชุดวัดน้ำหนักฯ ให้มีความแม่นยำระหว่างการทำงานฯ 8. ทดสอบระบบฯในแปลง ตามลักษณะการเก็บเกี่ยวจริง 9. ประเมินผลการทำงานของชุดวัดน้ำหนักฯที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับแนวปฏิบัติเดิมในการชั่งน้ำหนักและจ่ายค่าอ้อยให้แก่เกษตรกร 10. จัดทำคู่มือและรายงานผลการศึกษา และจัดการสัมมนาเผยแพร่ผลการศึกษา	3. โปรแกรมบันทึกและประมวลผลข้อมูลน้ำหนักที่ได้จากการประมวลผลสัญญาณ 4. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของชุดวัดน้ำหนักที่พัฒนาขึ้น
--------------	--	--

บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เครื่องมือเก็บเกี่ยวอ้อย

เครื่องจักรกลสำหรับการเกี่ยวตัดอ้อยสามารถจำแนกได้ 2 แบบ คือ จำแนกตามลักษณะของการเกี่ยวตัด และจำแนกตามกำลังแรงม้า

2.1.1.1 เครื่องมือเก็บเกี่ยวอ้อยจำแนกตามลักษณะของการเกี่ยวตัด จำแนกได้ 2 ประเภท

1) เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบตัดเป็นท่อน (Combine Harvester)

เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบตัดเป็นท่อน (Combine Harvester) เป็นเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่ทำการตัดยอดอ้อย ก่อนแล้วจึงตัดโคนอ้อย จากนั้นอ้อยจะถูกลำเลียงเข้าไปในเครื่อง โดยทางโคนอ้อยจะเข้าไปก่อนแล้วจะถูกตัดออกเป็นท่อนโดยมีใบมีดตัดเป็นท่อน (Chopper) ใบและกาบอ้อยจะถูกลอกออกโดยชุดลูกกลิ้ง แล้วจึงถูกเป่าออกไปโดยพัดลม จากนั้นอ้อยจะถูกลำเลียงส่งขึ้นไปที่ท่อส่งออก ในขณะที่ทำงานจะต้องมีรถบรรทุกหรือรถเทเลอร์วิ่งควบคู่ไปด้วยกับรถเกี่ยวตัดเพื่อบรรทุกอ้อยที่ออกมาจากท่อส่งออก เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยชนิดนี้สามารถใช้งานได้ทั้งในสภาพการเกี่ยวตัดอ้อยเผาและอ้อยสด บริษัทที่ทำการจำหน่ายและผลิตเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบนี้ ได้แก่ AUSTOFT (ประเทศออสเตรเลีย) CAMECO (ประเทศสหรัฐอเมริกา) CLAAS (ประเทศเยอรมัน) MESSEY FERGUSON (ประเทศอังกฤษ) รวมทั้งยังมีบริษัทจากประเทศรัสเซีย คิวบา บราซิล ฝรั่งเศส และจีนอีกด้วย [11]



รูปที่ 2.1 รถตัดอ้อยแบบตัดเป็นท่อน

(ที่มา: www.caseih.com)

ในปัจจุบันมีการนำเข้าเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบตัดเป็นท่อนจากต่างประเทศโดยเกษตรกรและโรงงานน้ำตาลเพื่อทดแทนการขาดแคลนแรงงานในการเกี่ยวตัดอ้อยเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่นำเข้าเป็นแบบของบริษัท AUSTOFT จากประเทศออสเตรเลียและแบบของบริษัท CAMECO จากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเข้ามาใช้งานในประเทศไทยเป็นจำนวนถึงประมาณ 500 เครื่อง เครื่องชนิดนี้เป็นเครื่องที่มีราคาสูง (ประมาณ 7.5 ล้านบาท)

2) เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบเกี่ยวตัดทั้งต้น (Whole Stalk Harvester)

เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบเกี่ยวตัดทั้งต้น(Whole Stalk Harvester) เป็นเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่ทำการตัดยอด อ้อยก่อน แล้วจึงตัดโคนอ้อย จากนั้นอ้อยจะถูกลำเลียงวางกองอยู่ในแปลง การกำจัดกาบและใบ อ้อยทำโดยการเผาอาจจะเผาก่อนหรือหลังการตัดก็ได้ เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบนี้โดยปกติใช้ร่วมกับ เครื่องคีบอ้อย (Cane Loader) และรถบรรทุกเพื่อที่จะได้ทำการขนส่งไปสู่โรงงานน้ำตาลต่อไป เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา และแถบประเทศอเมริกาใต้ บริษัทที่ทำการผลิตจำหน่ายเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบนี้ส่วนมากเป็นบริษัทของประเทศสหรัฐอเมริกา เช่น บริษัท CAMECO, BROUSSARD, THOMSON และมีบางบริษัทจากประเทศบราซิล (สุกรี นันทะสุนันท์ และ อรรถสิทธิ บุญธรรม , ม.ป.ป.)



รูปที่ 2.2 เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบเกี่ยวตัดทั้งต้น
(ที่มา : สุกรี นันทะสุนันท์ และ อรรถสิทธิ บุญธรรม [11])

ปัจจุบันมีการนำเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบเกี่ยวตัดทั้งต้นนี้จากต่างประเทศมาทดลองใช้งานในประเทศโดยโรงงานน้ำตาล เพื่อทดแทนการขาดแคลนแรงงาน ในการเกี่ยวตัดอ้อยเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยที่นำเข้านี้เป็นแบบของบริษัท CAMECO จากประเทศสหรัฐอเมริกา เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบนี้เป็นแบบเกี่ยวตัดที่ละ 2 แถว สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง (Self Propeller)

3) เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์

เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ ได้มีการวิจัยและพัฒนาเป็นเวลานานแล้วในต่างประเทศ โดยทั่วไปเป็นเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบเกี่ยวตัดทั้งต้น และใช้ในการตัดอ้อยเผา โดยต้องทำการเผาใบก่อน เครื่องแบบนี้ถูกออกแบบให้ใช้ติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์ขนาดตั้งแต่ 45 ถึง 70 แรงม้า มีหลายรูปแบบ โดยมีทั้งแบบที่ติดพ่วงทางด้านข้าง ด้านหน้า หรือด้านหลังของรถแทรกเตอร์ การขับเคลื่อนของระบบต่างๆ ใช้กำลังจากรถแทรกเตอร์ เครื่องชนิดนี้สามารถจำแนกตามลักษณะของการเกี่ยวตัดได้เป็นแบบเกี่ยวตัดทั้งต้น โดยเครื่องจะทำการตัดยอดอ้อยก่อน แล้วจึงตัดโคนอ้อย จากนั้นอ้อยที่ถูกตัดแล้ว จะถูกลำเลียงวางกองอยู่ในแปลง ชิดจำกัดในการทำงานของเครื่องนี้คือ ไม่สามารถทำงานได้ในสภาพอ้อยลมน้อยกว่า 30 องศา กล่าวคือ เมื่ออ้อยลมน้อยกว่ามุมนี้แล้ว อ้อยจะมีลักษณะเป็นอ้อยเลื้อยในการเกี่ยวตัดอ้อยเลื้อยระบบข้อนอ้อย (Crop Divider) จะทำหน้าที่ข้อนและรวบอ้อยให้ตั้งตรงก่อน แล้วจึงป้อนอ้อยเข้าไปตัดในตัวเครื่องต่อไป ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้นอ้อย

มักจะหักก่อนที่จะถูกป้อนเข้าไปในตัวเครื่อง (เนื่องจากถูกดึงและรวบให้ตั้งตรง) ซึ่งเมื่อถูกลำเลียงเข้าไปตัดในตัวเครื่องแล้ว อ้อยมักจะขัดตัวกับโซ่ลำเลียง ทำให้ระบบการลำเลียงติดขัด [11]



รูปที่ 2.3 เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยแบบติดพ่วงกับรถแทรกเตอร์
(ที่มา: สุกรี นันทะสุคนธ์ และ อรรถสิทธิ บุญธรรม [11])

2.1.1.2 เครื่องมือเก็บเกี่ยวอ้อยจำแนกตามกำลังแรงม้า จำแนกได้ 2 ประเภท

1) รถตัดอ้อยขนาดเล็ก

รถตัดอ้อยขนาดเล็ก เป็นเครื่องขนาดเล็ก ซึ่งมีเครื่องยนต์ขนาดน้อยกว่า 200 แรงม้า ระยะระหว่างแถวอ้อยที่สามารถใช้เครื่องได้ประมาณ 1-1.20 เมตร



รูปที่ 2.4 รถตัดอ้อยขนาดเล็ก
(ที่มา: www.caseih.com)

2) รถตัดอ้อยขนาดใหญ่

รถตัดอ้อยขนาดใหญ่ ซึ่งมีเครื่องยนต์ขนาดมากกว่า 200 แรงม้าขึ้นไป ระยะระหว่างแถวอ้อยที่ใช้เครื่องชนิดนี้ต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร



รูปที่ 2.5 รถตัดอ้อยขนาดใหญ่
(ที่มา : www.indiansugar.com)

2.1.1.3 การทำงานของรถตัดอ้อย [2]

รถตัดอ้อยชนิดสับท่อน (cane chopper harvester) มีหลักการทำงานดังภาพที่ 1 ซึ่งยอดอ้อยจะถูกตัดโดย ชุดตัดยอด (topper) ต้นอ้อยจะถูกชุดเกลียวแบ่งอ้อย (crop divider) แยกอ้อยในแถวที่ต้องการตัดเข้าสู่ตัวรถ ส่วนอ้อยที่ยังไม่ต้องการตัดออกนอกตัวรถ โดยมีลูกกลิ้งโน้มต้นอ้อย (power knockdown roller) และ ลูกกลิ้งครีป (fin roller) ช่วยนำอ้อยเข้าสู่ชุดใบมีดตัดโคน (base cutter) หลังจากนั้นลูกกลิ้งลำเลียง (feed roller) ลำเลียงต้นอ้อยที่ถูกตัดเข้าสู่ชุดใบมีดสับท่อน (chopper) เพื่อสับอ้อยให้เป็นท่อนโดยมีพัดลมดูดแยกใบอ้อยออกจากท่อนอ้อย แล้วลำเลียงท่อนอ้อยด้วยสายพาน และส่งออกนอกตัวรถตัดอ้อยที่กำลังตัดนั้น

ปัจจุบันประสิทธิภาพการตัดอ้อยโดยใช้รถตัดอ้อยในประเทศไทยยังต่ำอยู่ คือ ตัดอ้อยสดได้โดยเฉลี่ย 90 – 240 ตัน/วัน ทั้งๆที่ประสิทธิภาพของรถตัดอ้อยแบบเดียวกันในต่างประเทศ เช่น รถตัดอ้อย Austoft หรือ Cameco สามารถตัดอ้อยได้สูงถึง 700 ตันต่อวัน [2] การที่ประสิทธิภาพของรถตัดอ้อยในประเทศไทยตัดอ้อยได้ในปริมาณน้อยและคุณภาพต่ำ เนื่องจากปัญหาด้านสภาพของแปลงอ้อย คือ

- (1) ชาวไร่อ้อยไม่ลั่นสันร่อง เมื่อรถตัดอ้อยเข้าไปตัดแล้ว ตออ้อยยาว
- (2) แปลงอ้อยมีขนาดเล็กและสั้นเกินไป ทำให้เสียเวลากลับหัวงานมาก
- (3) ไม่เว้นหัวงานให้รถตัดอ้อยกลับรถ

(4) อ้อยที่ได้ควรจะสะอาด แต่กับปรากฏว่า สกปรกกว่าคนตัด เพราะการจัดการไม่ดีพอ อ้อยสูงๆ ต่ำๆ มีอ้อยล้มจำนวนมาก ทำให้มีสิ่งเจือปนมาก ยอดอ้อย ใบอ้อย เศษวัชพืชและเศษดิน ปะปนมากับท่อนอ้อยด้วยภายหลังการเก็บเกี่ยว



รูปที่ 2.6 รถบรรทุกที่วิ่งขนานรถตัดอ้อย Austoft A4000
(ที่มา : www.caseih.com)



รูปที่ 2.7 รถตัดอ้อยชนิดที่ไม่มีชุดระบบลำเลียง (elevator)
(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551)

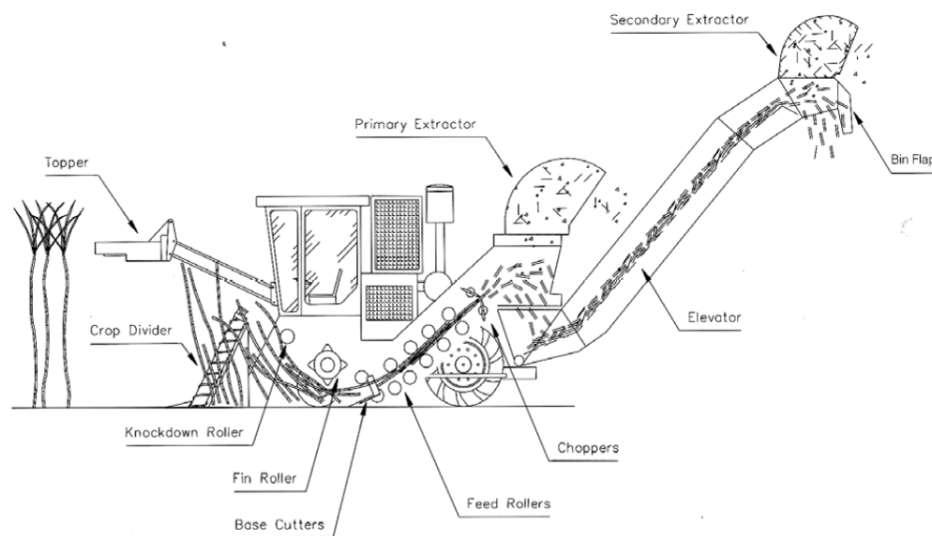
ในภาวะที่ประเทศขาดแคลนแรงงานตัดอ้อย และจำเป็นต้องนำเครื่องตัดอ้อยมาใช้ โรงงานน้ำตาลและหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง ควรสนับสนุนและส่งเสริมให้ම්แปลงอ้อยที่จะใช้รถตัดอ้อยในเขตรศมีไม่เกิน 30 – 50 กิโลเมตรจากโรงงาน และให้ชาวไร่อ้อยดำเนินการจัดแปลงอ้อยที่ดี เช่น เว้นระยะระหว่างร่องให้เหมาะสมกับรถตัดอ้อย พุนโค่นอ้อย และเว้นระยะหัวแปลงท้ายแปลงอ้อยให้เหมาะสม โดยให้ความรู้กับเกษตรกรด้วยช่องทางที่เป็นไปได้ เช่น การสัมมนา ฝึกอบรม และสาธิต เพื่อให้ชาวไร่อ้อยตระหนักถึงผลดีและผลเสียที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ ดังกล่าว เพื่อจะได้แก้ไขข้อขัดข้องต่างๆ ให้หมดไป โดยเฉพาะผลผลิตของอ้อยต่อจะเพิ่มขึ้น อันเป็นแนวทางในการลดต้นทุนด้วย

2.1.1.4 ชิ้นส่วนต่างๆของรถตัดอ้อย ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักดังต่อไปนี้

- (1) Topper (ชุดใบมีดตัดยอด)
- (2) Crop dividers (ชุดโน้ม)
- (3) Knockdown roller (ลูกกลิ้งล้มต้นอ้อย)
- (4) Powered Feed roller
- (5) Base cutter (มีดตัดโคน)
- (6) Butt Lift roller (ลูกส่งลำเลียงท่อนอ้อย)
- (7) Feed Rollers (เส้นทางของลูกลำเลียง)
- (8) Chopper Drums (มีดสับท่อน)

- (9) Primary Extacor (ชุดพัดลมใหญ่)
- (10) Elevator Slew Table
- (11) Elevator Bowl (ตะกร้าเตรียมลำเลียง)
- (12) Elevator (ระบบลำเลียง)
- (13) Bin flap (ฝาครอบ)

หมายเหตุ : อุปกรณ์หมายเลข 10, 11, 12, 13 อาจจะไม่พบในรถตัดอ้อยบางชนิด



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงส่วนประกอบพื้นฐานของรถตัดอ้อยแบบตัดเป็นท่อน
(ที่มา : T JENSEN et al., 2010 [18])

2.1.1 รถบรรทุกที่ใช้ในกระบวนการผลิตอ้อย

เนื่องจากระบบการเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อยชนิดสับเป็นท่อน หรือรถตัดอ้อยขนาดใหญ่ในประเทศไทย มักจะใช้งานควบคู่กับรถบรรทุกขนาดต่างๆ โดยรถบรรทุกจะวิ่งในแปลงอ้อย ขนบ้างรถตัดอ้อยเพื่อรับอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้ ดังนั้น รถตัดอ้อยจึงต้องหยุดการทำงานเพื่อรอรถบรรทุกเป็นระยะๆ กล่าวคือหยุดรอในช่วงเวลาที่มีการสับเปลี่ยนนำรถบรรทุกคันใหม่แทนรถคันเก่าที่บรรทุกอ้อยเต็มแล้ว และหยุดรอในช่วงเวลาที่รถบรรทุกกลับเลี้ยวหัวงาน (รถบรรทุกใช้เวลากลับเลี้ยวหัวงานมากกว่ารถตัดอ้อย) เนื่องจากระบบการเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อยจะสามารถทำงานได้ ก็ต่อเมื่อรถบรรทุกพร้อมที่จะรับอ้อยที่เก็บเกี่ยวได้

จากการรวบรวมข้อมูล [4], [12] พบว่า รถบรรทุกที่นิยมใช้ในกระบวนการเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทยมี 5 ชนิด ได้แก่ รถเก๋งบรรทุก "อีแต๋น", รถบรรทุก 6 ล้อ, รถบรรทุก 10 ล้อ, รถบรรทุก 10 ล้อ พ่วง และรถบรรทุก 10 ล้อ พร้อมกระบะใส่อ้อยรถตัด ดังแสดงในรูปที่ 9-13 ซึ่งผลสำรวจมิตินี้ความกว้าง ยาว และสูง ของกระบะของรถบรรทุกแต่ละชนิด สามารถนำมาคำนวณเป็นปริมาตรบรรทุกเฉลี่ยของรถแต่ละชนิดได้ดังตารางที่ 1

-
- จากข้อมูลดังกล่าว สามารถจำแนกรถบรรทุกตามปริมาตรบรรทุกได้ 3 ขนาด คือ
1. รถบรรทุกขนาดเล็ก ได้แก่ รถเกษตรกร "อีแต๋น" มีปริมาตรเฉลี่ย 5.25 ลบ.เมตร
 2. รถบรรทุกขนาดกลาง ได้แก่ รถบรรทุก 6 ล้อ มีปริมาตรเฉลี่ย 15.25 ลบ.เมตร
 3. รถบรรทุกขนาดใหญ่ ได้แก่ รถบรรทุก 10 ล้อ รถพ่วง 10 ล้อ และรถบรรทุกที่มีการต่อกระบะ มีปริมาตรเฉลี่ย 26.61-37.93 ลบ.เมตร



รูปที่ 2.9 รถเกษตรกร "อีแต๋น"



รูปที่ 2.10 รถบรรทุก 6 ล้อ



รูปที่ 2.11 รถบรรทุก 10 ล้อ



รูปที่ 2.12 รถบรรทุก 10 ล้อพร้อมรถพ่วง



รูปที่ 2.13 รถบรรทุก 10 ล้อ พร้อมกระบะใส่อ้อยรัดดัด

ตารางที่ 2.1 ผลการวัดขนาดสัดส่วนของกระบะบรรทุกของรถบรรทุกอ้อยเก็บเกี่ยวส่งโรงงานของเกษตรกร

ประเภทรถบรรทุก	ช่วงขนาด (มม.)			ปริมาตรเฉลี่ย (ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง	
รถไถเดิน	1,285-1,653	2,198-2,825	1,120-1,295	5.25
รถบรรทุก 6 ล้อ	2,006-2,200	2,258-2,275	1,118-1,825	15.25
รถบรรทุก 10 ล้อ	2,220-2,500	5,987-7,210	1,685-2,575	33.66
รถพ่วง (ส่วนที่ต่อพ่วงเข้ากับรถบรรทุก 10 ล้อ)	2,200-2,250	5,950-6,150	1,295-1,920	26.61
รถบรรทุก 10 ล้อ ซึ่งต่อเติมกระบะเพื่อใส่อ้อยที่เก็บเกี่ยวด้วยรถดัดอ้อย(ไม่รวมส่วนยื่นเหนือเก๋ง)	2,200-2,500	6,210-7,630	2,050-2,750	37.93

2.1.3 ระบบวัดและบันทึกข้อมูล (Data acquisition system)

2.1.3.1 อุปกรณ์รับสัญญาณและเก็บข้อมูล (Data logger)

Data Logger เป็นอุปกรณ์สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลที่เป็นสัญญาณชนิดต่างๆ โดยภายใน Data Logger จะมี memory สำหรับเก็บข้อมูลที่วัดได้จากสัญญาณตามช่วงเวลาที่ยืนยันไว้ ซึ่ง Data Logger จะรับค่าจากตัว sensor มาผ่าน convertor เพื่อทำการแปลงสัญญาณให้เป็นข้อมูล ดิจิตอล หลังจากนั้น

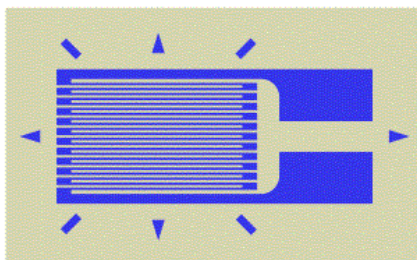
Data Logger จะนำข้อมูลดิจิทัลมาประมวลผลหรือนำมาเช็คเพื่อทำการส่งค่าเวลาไปเตือนผู้ใช้งานว่าข้อมูลมากหรือน้อย แล้วจึงนำข้อมูลไปเก็บบันทึกที่ memory หรือนำมาแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ก็ได้

อุปกรณ์สำรองไฟฟ้า (power supply) ที่ใช้ส่วนใหญ่จะมีอยู่ 2 ชนิด คือ AC 220V และ Battery ซึ่งในการทดสอบการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการจะใช้ AC 220V ส่วนการทดสอบภาคสนามจะใช้ Battery เป็นตัว supply สำหรับข้อมูลจาก Data logger จะมีข้อมูลทั้งแบบรูปภาพ ตาราง และกราฟ

2.1.3.2 สเตรนเกจ

สเตรนเกจ (Strain Gauge) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแรงดึงเครียด (Strain) ของวัตถุ ส่วนใหญ่สเตรนเกจ จะทำจากเส้นลวดโลหะขนาดเล็กขดเป็นรูปร่างต่างๆ อยู่บนแผ่นฉนวน นอกจากนั้นยังมีสเตรนเกจแบบอุปกรณ์กึ่งตัวนำด้วย ซึ่งมีความไวสูงกว่าและขนาดเล็กกว่าแบบลวดโลหะ แต่ก็มีราคาแพงกว่าเช่นกัน

หลักการของสเตรนเกจ คือ เมื่อสเตรนเกจถูกแรงกระทำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป (ยืด หด บิด งอ) ทำให้ความต้านทานของวัตถุนั้นเปลี่ยนไปตามแรงที่กระทำ การนำไปใช้จะใช้การต่อวงจร [Wheatstone bridge](http://en.wikipedia.org/Wheatstone_bridge) เพื่อหาความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าเมื่อความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป

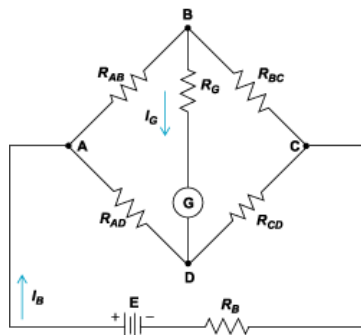


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสเตรนเกจ
(ที่มา http://en.wikipedia.org/Strain_gauge)

2.1.3.3 The Wheatstone Bridge (Constant Voltage)

วงจรวิทสโตนบริดจ์วงจรที่นิยมใช้กับเซนเซอร์ที่มีเอาต์พุตเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าใช้ในการวัดหาค่าความต้านทานให้เป็นเอาต์พุตในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อให้สามารถอ่านค่าและบันทึกสัญญาณได้อย่างแม่นยำภายในวงจรวิทสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge circuit) ประกอบไปด้วย

1. ตัวต้านทานที่ต่อขนานกัน 2 สาขาแต่ละสาขาประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรม
2. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่อขนานกับตัวต้านทานของวงจรทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ไหลผ่านตัวต้านทานในวงจรวงจรบริดจ์โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยตัวต้าน 4 ตัวมีค่าความต้านทานต่อเป็นวงจรบริดจ์มีแหล่งจ่ายไฟต่อคร่อมแขนของบริดจ์ด้าน A, C และมีตัวตรวจจับสนแรงที่ปลายแขนบริดจ์ด้าน B, D ดังรูปที่ 10



รูปที่ 2.10 วงจรวีทสตันบริดจ์ (Wheatstone bridge circuit)

2.1.4 ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก หรือ Global Positioning System : GPS

ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก หรือ Global Positioning System : GPS ได้พัฒนาขึ้นโดยกระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งจัดทำโครงการ Global Positioning System มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 โดยอาศัยดาวเทียมและระบบคลื่นวิทยุนำร่องและรหัสที่ส่งมาจากดาวเทียม NAVSTAR จำนวน 24 ดวง โดยแบ่งเป็นชุด ชุดละ 4 ดวงโดยทำการโคจรรอบโลกวันละ 2 รอบ และมีตำแหน่งอยู่เหนือพื้นโลกที่ความสูง 20,200 กิโลเมตร

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนอวกาศ (Space segment) ส่วนสถานีควบคุม (Control segment) และส่วนผู้ใช้ (User segment)

1) ส่วนอวกาศ (Space segment)

เป็นส่วนที่อยู่บนอวกาศ ประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวง โดยมี 21 ดวง แบ่งเป็น 6 วงโคจร วงโคจรละ 4 ดวง อยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 20,200 กิโลเมตร ทำหน้าที่ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุจากอวกาศ

2) ส่วนสถานีควบคุม (Control segment) ประกอบไปด้วยสถานีภาคพื้นดินที่ควบคุมระบบ ที่กระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของโลก โดยแบ่งออกเป็นสถานีควบคุมหลัก ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศในเมืองโคโลราโดสปริงส์ (Colorado Springs) มลรัฐโคโลราโดของสหรัฐอเมริกา สถานีติดตามดาวเทียม 5 แห่ง ทำการรังวัดติดตามดาวเทียมตลอดเวลา สถานีรับส่งสัญญาณ 3 แห่ง

3) ส่วนผู้ใช้ (User segment) ประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณ หรือเครื่องรับจีพีเอส GPS ซึ่งมีหลายขนาด สามารถพกพาติดตัวหรือ จะติดไว้ในรถ เรือ เครื่องบินก็ได้

2.1.5 ความสามารถและประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลเกษตร

ในทางเกษตร มีการนิยามความสามารถของเครื่องจักรกลเกษตร 2 ประเภท ได้แก่ ความสามารถเชิงพื้นที่และเชิงวัสดุสำหรับช่วงเวลาหนึ่ง ความสามารถเชิงพื้นที่ใช้ประเมินความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้สำหรับดินหรือพื้นที่ เช่น ไถ พรวน ขุด ฉีดยา และเก็บเกี่ยว ส่วนความสามารถเชิงวัสดุสำหรับช่วงเวลาหนึ่งนั้น ใช้ระบุเครื่องจักรที่ใช้งานหรือทำให้เกิดผลผลิต เช่น เครื่องกะเทาะเมล็ด เครื่องบรรจุหีบ

ห่อ เครื่องเก็บเกี่ยวและ เครื่องตัดและนวดเมล็ดพืชถ้าเครื่องไถปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพ 100% ก็ปฏิบัติงานโดยมีความสามารถ 100% ซึ่งเรียกว่า ความสามารถทางทฤษฎีเชิงพื้นที่

2.1.5.1 ความสามารถทางทฤษฎีเชิงพื้นที่

สมการทั่วไปที่ใช้สำหรับความสามารถทางทฤษฎีเชิงพื้นที่คือ

$$CT = \frac{S \times W}{c}$$

เมื่อ CT = ความสามารถทางทฤษฎีเชิงพื้นที่ (ไร่/ชม.)

S = ความเร็วในการเคลื่อนที่ (กม./ชม.)

W = ความกว้างของเครื่องจักร (เมตร)

C = ค่าคงที่ในการแปลงหน่วย

2.1.5.2 ความสามารถจริงต่อพื้นที่

สมการทั่วไปที่ใช้สำหรับความสามารถจริงต่อพื้นที่คือ

$$CE = \frac{S \times W \times Ef}{c}$$

เมื่อ CE = ความสามารถจริงต่อพื้นที่ (ไร่/ชม.)

Ef = ประสิทธิภาพต่อพื้นที่

2.1.5.3 ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ

สมการทั่วไปที่ใช้สำหรับความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุคือ

$$M = \frac{S \times W \times Y \times Ef}{c}$$

เมื่อ M = ความสามารถจริงในการทำงานเชิงวัสดุ (ไร่/ชม.)

Y = ผลผลิตต่อพื้นที่ (หน่วย/พื้นที่)

2.1.5.4 เวลาทำงานทั้งหมด

เวลาทำงานทั้งหมด เท่ากับผลรวมของเวลาเก็บเกี่ยว (Productive time) และเวลาสูญเสียที่ไม่ได้งาน (Non-productive time) โดยเวลาสูญเสียที่ไม่ได้งาน ได้แก่ เวลากลับเลี้ยว, เวลาปรับแต่งเครื่อง เป็นต้น ยกเว้น เวลาเติมน้ำมันและซ่อมแซมเครื่อง

2.1.5.4 การวิเคราะห์การสูญเสียย่อย

อ้อยที่สูญเสียจากพัดลมทำความสะอาด ร่วงหล่นจาก สะพานลำเลียง สูญเสียจากการตัดไม่หมด รวมถึงการ สูญเสียจากการถูกรถตัดอ้อยชนล้ม เป็นต้น ซึ่งน้ำหนักอ้อย และคำนวณการสูญเสียจากสูตร ความสูญเสียฯ (ตัน/ไร่) = [เนื้ออ้อยที่พบ (กก.) × 1600] / [พื้นที่เก็บตัวอย่าง (ตร.ม.เมตร × 1,000)]

2.1.5.5 การวิเคราะห์สิ่งเจือปน

นำอ้อยที่ได้มาคัดแยกวัสดุที่ประกอบด้วยใบอ้อย, ยอด อ้อย, เนื้ออ้อย, รากอ้อยและเศษดิน แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อ หาปริมาณสิ่งเจือปน โดยคำนวณจาก

สิ่งเจือปนฯ (%) = [ใบ, ยอด, ราก, ดิน (กก.) × 100] / [เนื้ออ้อย + ใบ, ยอด, ราก, ดิน (กก.)]

2.1.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องจักรกลเกษตร

2.1.2.1 ค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องจักรกลเกษตร

ค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องจักร (Machine Power Costs) สามารถจำแนกออกได้ 2 ประเภท คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Costs) และค่าใช้จ่ายแปรผัน (Variable Cost) ซึ่งค่าใช้จ่ายแต่ละประเภท มีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Costs)

ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Costs) เป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่าย แม้ในช่วงเวลานั้นจะไม่มีการดำเนินงานหรือไม่มีการใช้งานเครื่องจักร ค่าใช้จ่ายที่มีลักษณะเช่นนี้มีหลายชนิด โดยทั่วไปอาจจำแนกออกได้เป็น 5 ชนิด คือ ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) ดอกเบี้ยการลงทุน (Interest on Investment) ภาษี (Taxes) ที่กำบัง (shelter) และ การประกัน(Insurance)

(1) ค่าเสื่อมราคา (Depreciation)

ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) เป็นมูลค่าของการสูญเสียราคาและความสามารถทำงานของเครื่องจักรอันเนื่องมาจากความล้าสมัยของเทคโนโลยี ความเสื่อมของกลไกหรืออุปกรณ์ของเครื่องจักรตามธรรมชาติ และความเสียหายของเครื่องจักรจากอุบัติเหตุหรือการใช้งาน เป็นต้น ซึ่งค่าเสื่อมราคานี้ ถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่สำคัญ เนื่องจากมีมูลค่าค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายส่วนอื่นๆ ในปัจจุบันยังไม่มีกฎเกณฑ์ที่เหมาะสม สำหรับประเมินองค์ประกอบต่างๆ ในการคำนวณหาค่าเสื่อมราคาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม แต่มีวิธีการประมาณค่าเสื่อมราคา 4 วิธี ที่ได้ค่าโดยประมาณใกล้เคียงค่าที่ถูกต้อง และเป็นที่ยอมรับใช้โดยทั่วไป ดังนี้

- วิธีการประมาณราคาโดยประสบการณ์ (Estimated-value Method)
- วิธีการประมาณราคาแบบเส้นตรง (Straight-line Method)
- วิธีการประมาณราคาแบบลดลงอย่างสมดุลง (Declining-balance Method หรือ เปอร์เซนต์คงที่ (Constant-percentage Method)
- วิธีการประมาณราคาแบบรวมตัวเลข (Sum-of-the Digits Method)

(2) ดอกเบี้ยการลงทุน (Interest on Investment)

เงินที่นำไปซื้อเครื่องจักร จะไม่สามารถนำไปใช้ในกิจการอื่นได้ ซึ่งถือว่าเป็นการลงทุนประเภทหนึ่ง ดังนั้น จึงมีการคิดดอกเบี้ยในการลงทุนเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ เนื่องจากไม่ขึ้นอยู่กับการใช้งานของเครื่องจักรในแต่ละปี แต่ขึ้นกับมูลค่าคงเหลือของเครื่องจักรในแต่ละปี ซึ่งในปีแรกๆ ของอายุการใช้งานจะมีมูลค่าคงเหลือมาก แต่เมื่อหักค่าเสื่อมราคาออกทุกปีแล้ว ในปีท้ายๆ ของอายุการใช้งาน เครื่องจักรจะมีมูลค่าคงเหลือน้อย

เพื่อความสะดวกในการประมาณค่าดอกเบี้ยการลงทุน (Interest on Investment) มักนิยมใช้วิธีการเส้นตรงในการประมาณค่า ดังนั้น ค่าที่ได้จึงเป็นค่าเฉลี่ยของดอกเบี้ยตลอดอายุการใช้งานเครื่องจักร

$$I = 0.5(P - S)i$$

เมื่อ I = ค่าเสื่อมราคาแต่ละปี

P = ราคาแรกซื้อเครื่องจักร

S = ราคาคงเหลือหลังจากหมดอายุการทำงาน

i = อัตราดอกเบี้ย โดยมีค่าเป็นเลขทศนิยม

(3) ภาษี (Taxes)

ภาษีที่จ่ายไปสำหรับทรัพย์สินและการขายอุปกรณ์ ต้องรวมในต้นทุนคงที่ การประมาณค่าภาษีประจำปีสำหรับเครื่องจักรกลเกษตรคือ 1% ของมูลค่าที่เหลืออยู่ เนื่องจากเครื่องจักรกลเกษตรเป็น”รถใช้งานเกษตรกรรม” จึงได้รับการยกเว้นการประกันภัยตามข้อบังคับของ พ.ร.บ.คุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ พ.ศ. 2535

(4) โรงเก็บเครื่องจักร (shelter)

ต้นทุนของที่กำลังรวมไปในเครื่องจักรด้วย การประเมินต้นทุนประจำปีสำหรับที่กำลังเครื่องจักรคือ 0.75% ของเครื่องจักรในปีเริ่มต้น

(5) ค่าประกันภัย (Insurance)

การประกันหนี้สินหรือการทดแทนต้องนำมารวมด้วย การประเมินสำหรับต้นทุนการประกันต่อปีคือ 0.25% ของค่าที่เหลือสำหรับปีเริ่มต้น

2) ค่าใช้จ่ายแปรผัน (Variable Cost)

ต้นทุนแปรผันสัมพันธ์กับการปฏิบัติงานของเครื่องจักรและเกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรมีการใช้งานเท่านั้น ต้นทุนแปรผันที่เกิดขึ้นคือ

(1) การซ่อมแซมและการบำรุงรักษา (RM%) :

เกี่ยวข้องกับชนิดของเครื่องจักร ราคาซื้อ และ ชั่วโมงการใช้งาน สามารถประเมินโดยใช้สมการมาตรฐาน ASABE D497.4 ดังต่อไปนี้

$$C_{rm} = RF1 \times P \times \left(\frac{h}{1000} \right)^{RF2}$$

เมื่อ C_{rm} = ต้นทุนสะสมของการซ่อมแซมบำรุงรักษา
 $RF1$ & $RF2$ = ปัจจัยของการซ่อมแซมและการบำรุงรักษา
 P = ราคาเครื่องจักรเป็นดอลลาร์ในปัจจุบันคูณโดยราคาเดิมโดย $(1+i)^n$
 ซึ่ง i = อัตราเงินเฟ้อโดยเฉลี่ย และ n เป็นอายุเครื่องจักรที่ปรับสำหรับเงินเฟ้อ
 h = การใช้งานสะสมของเครื่องจักร (ชั่วโมง)

(2) เชื้อเพลิง (F) :

การใช้เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์และร้อยละของการบรรทุก
 ค่าเฉลี่ยการบริโภคต่อปีสามารถประเมินโดยใช้ขั้นตอนใน ASABE มาตรฐาน D497.4 FEB03 สามารถ
 ประเมินโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$Q_{avg} = 0.0305 \times P$$

เมื่อ Q_{avg} = การใช้น้ำมันเบนซินโดยเฉลี่ย, L/hr
 P = กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์, Kw

(3) น้ำมันหล่อลื่น (O) :

สามารถประเมินโดยสมการต่อไปนี้

$$Q_{avg} = (0.00059 \times P) + 0.02169$$

เมื่อ Q_{avg} = การใช้น้ำมันหล่อลื่นทั้งหมด, L/hr
 P = กำลัง PTO , Kw

* หมายเหตุ ข้อมูลข้างต้นเป็นข้อมูลของรถแทรกเตอร์ ถ้านำมาใช้กับรถตัดอ้อย ต้องปรับเปรียบอีกครึ่ง
 หนึ่ง

(4) แรงงาน (L) :

ค่าจ้างต่อชั่วโมงสำหรับแรงงานในการใช้อุปกรณ์ปฏิบัติงาน

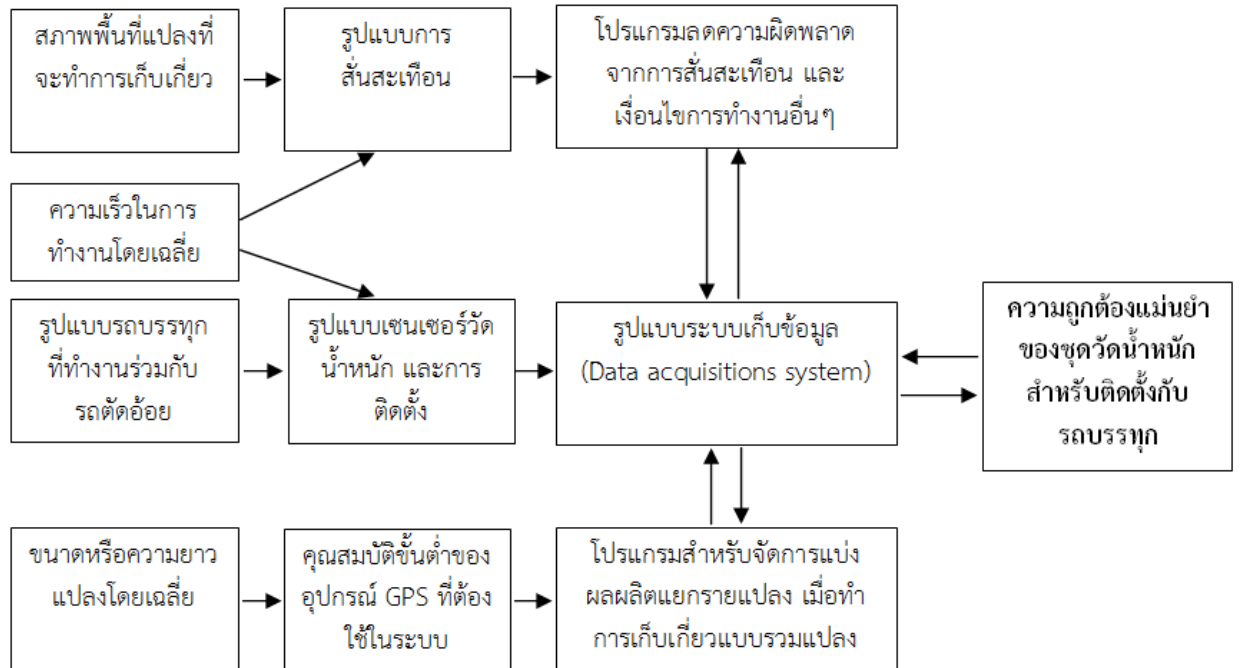
(5) วัสดุสิ้นเปลือง (C) :

เครื่องจักรบางประเภท เช่น เครื่องอัดฟาง มีตาข่ายแฝด หรือวัตถุติดอื่นๆที่ใช้ไปโดยเป็นส่วน
 หนึ่งในการปฏิบัติงานของเครื่องจักร

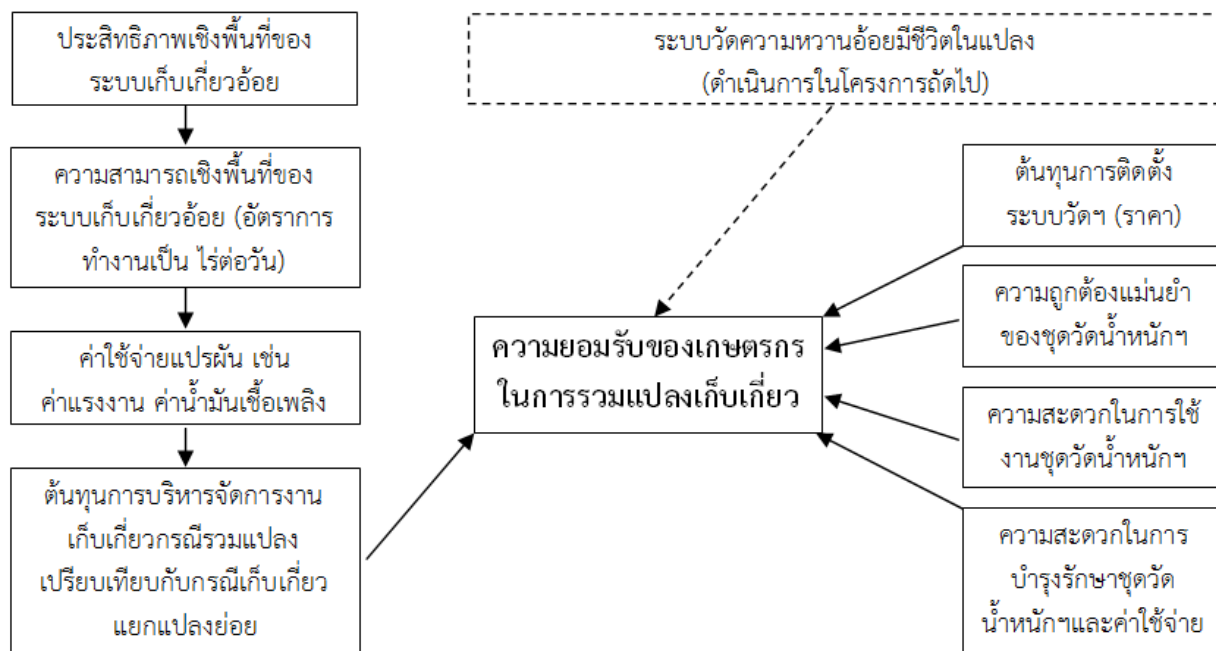
2.2 กรอบแนวความคิด

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ กรอบแนวความคิดในการ
 สร้างชุดวัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก ซึ่งเป็นส่วนของการดำเนินงานในปีที่ 1 และกรอบ
 แนวความคิดในการพัฒนาระบบไปสู่ความยอมรับในการรวมแปลงของเกษตรกร ซึ่งเป็นส่วนของการ
 ดำเนินงานในปีที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดดังแผนภาพด้านล่าง

กรอบแนวความคิดในการสร้างชุดวัดน้ำหนักรับติดตั้งกับรถบรรทุก



กรอบแนวความคิดในการพัฒนาระบบไปสู่ความยอมรับในการรวมแปลงของเกษตรกร



2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

กุ่มท สังขศิลา (2548) ได้ศึกษาแบบจำลองเพื่อหาตารางตัดอ้อยของชาวไร่ เพื่อเข้าหีบโรงงานน้ำตาล และพบว่า จะได้การสะสมน้ำตาลในอ้อยที่ตัดจากแปลงปลูกทั้งหมดเป็นปริมาณรวมสูงที่สุด และมีปริมาณอ้อยที่จะเข้าหีบต่อวันมากกว่าค่ากำหนดค่าหนึ่ง แต่ไม่มากกว่า กำลังหีบต่อวันของโรงงาน แบบจำลองหาตารางตัดอ้อยประกอบด้วยแบบจำลองคาดการณ์ผลผลิต และการสะสมน้ำตาลในอ้อยที่เป็นฟังก์ชันของสภาพแวดล้อม พันธุ์การเกษตรกรรม และเวลาหลังปลูกและการหาคำตอบ ปัจจัยสภาพแวดล้อมของแปลงปลูกอ้อยแต่ละแปลง ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันที่ฝนตกและสมบัติดิน เช่น สภาพกรดด่าง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ค่าสัมประสิทธิ์ การนำน้ำ เนื้อดิน และความหนาแน่น รวม ส่วนการเกษตรกรรมคือ ประเภทของอ้อยที่ปลูก เช่น อ้อยปลูกใหม่ หรืออ้อยต่อ ข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ ของ แปลงปลูกอ้อยแต่ละแปลงของชาวไร่ที่เป็นคู่สัญญา มีบันทึกในระบบภูมิสารสนเทศของโรงงานน้ำตาล เขียน ปัญหาเพื่อหาตารางตัดอ้อยให้อยู่ในแบบมาตรฐานของวิธีเชิงปริมาณที่ประกอบด้วยฟังก์ชันเป้าหมายและฟังก์ชัน ข้อจำกัด แล้วเปลี่ยนให้เป็นปัญหาแบบมีข้อกำหนดหลายอย่าง หาคำตอบของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดย ประยุกต์ตามวิธี Tabu-search คำตอบจากการทดสอบแบบจำลองชี้ว่า แบบจำลองหาตารางตัดอ้อยมีความน่าเชื่อถือและยอมรับได้มีความไวต่อค่าของตัวถ่วงน้ำหนัก ลักษณะความต้องการการสะสมน้ำตาล และลักษณะความต้องการไม่ให้ปริมาณอ้อยที่ตัดได้ต่อ

วันมีมากกว่ากำลังการหีบอ้อยต่อวันของโรงงาน คำตอบที่ได้ยังเสนอแนะว่า ปริมาณผลผลิตและการสะสมน้ำตาลในอ้อย จะขึ้นอย่างมากระหว่างการเลือกวันเปิดหีบอ้อยและความยาวนาน [13]

วิชรัตน์ บุปผาพันธุ์ , ญัณฐ์ ธัญยศกร (2554) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจขายอ้อยให้กับโรงงานและความพึงพอใจในปัจจุบันของเกษตรกรชาวไร่อ้อยรายเล็กของ บริษัทรวมเกษตรกรรม อุตสาหกรรม จำกัด สาขามิตรภูเวียง จังหวัดขอนแก่น เพื่อต้องการที่จะได้อ้อยตามเป้าหมายที่โรงงานตั้งไว้จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจขายอ้อยให้กับโรงงานของเกษตรกรชาวไร่อ้อยรายเล็กสำคัญที่สุด คือ ราคาอ้อยที่โรงงานรับซื้อ ปัจจัยทางด้านสภาพคล่องทางการเงินกับการขายอ้อยให้โรงงานฯและความรวดเร็วในการจ่ายเงินค่าอ้อยให้เกษตรกรเป็นปัจจัยรอง ตามลำดับ และความพึงพอใจในปัจจุบันของเกษตรกร ชาวไร่อ้อยรายเล็กที่ส่งผลถึงการขายอ้อยให้กับโรงงาน ที่สำคัญที่สุดคือระยะทางจากแปลงถึงสถานีขนถ่ายของ โรงงานฯ โดยมีปัจจัยที่สร้างความพึงพอใจในปัจจุบัน รองลงมาคือความรวดเร็วในการจ่ายค่าอ้อยให้เกษตรกร ชาวไร่อ้อยรายเล็กและสภาพคล่องทางการเงิน เป็นปัจจัย เสริมในการสร้างความเชื่อมั่นให้เกษตรกรชาวไร่อ้อยราย เล็กขายอ้อยให้โรงงาน [14]

วิชัย โอภาณุกุล และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษา อัตราการทำงาน, ประสิทธิภาพการทำงาน, การสูญเสียจากการเก็บเกี่ยว และสิ่งเจือปนจากการเก็บเกี่ยวของเครื่องเก็บเกี่ยวอ้อย เมื่อเทียบกับการใช้แรงงานคนเก็บเกี่ยวในประเทศไทยและทราบว่า เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยมี อัตราการทำงานประมาณ 10-36 ตัน/ชั่วโมง ประสิทธิภาพของเครื่องประมาณ 33-79 % การสูญเสีย 0.16-0.73 ตัน/ไร่ และสิ่งเจือปน 7.73-18.52 % การเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานคนมีอัตราการทำงานประมาณ 1.4- 6.0 ตัน/วัน การสูญเสีย 0.23-0.57 ตัน/ไร่ และสิ่งเจือปน 5.81-15.29 % จากค่าต่างๆที่ได้จากการศึกษาพบว่าการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยมีข้อดีในแง่ของการ ลดปัญหาแรงงานลงได้มาก อ้อยที่เก็บเกี่ยวได้ส่วนใหญ่ เป็นอ้อยสด ลดปัญหาการเผ่าอ้อยที่เกิดมลภาวะลง และ โรงงานได้รับอ้อยที่ดีเหมาะแก่การผลิตมากยิ่งขึ้น สำหรับการใส่แรงงานเก็บเกี่ยวมีข้อดีคือ สามารถเก็บ เกี่ยวอ้อยได้ในเกือบทุกสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการใช้ เครื่อง เช่น แปลงบิตเบี้ยว อ้อยล้ม เป็นต้น และ เพื่อให้การใช้เครื่องเกิดประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ควรมีการจัดรูปแบบให้เหมาะสมต่อการใช้เครื่อง พัฒนาพันธุ์อ้อยที่ต้านทานต่อการล้ม เลือกขนาดเครื่อง เก็บเกี่ยวอ้อยที่เหมาะสมกับระยะของแถวอ้อย มีการพูน โคนอ้อย ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องเก็บเกี่ยว และ ความเร็วของพัดลมทำความสะอาดที่เหมาะสม เป็นต้น [15]

ชูลีพร กุศลคุ้ม, กาญจนา เศรษฐนันท์ (2555) ได้ศึกษาต้นทุนในการผลิตอ้อยเข้าสู่โรงงาน และ รายได้จากการขายอ้อยให้โรงงานของชาวไร่อ้อย รายย่อยในเขตพื้นที่ ตำบลบัวขาว อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ จากการศึกษาพบว่าต้นทุนรวมของชาวไร่อ้อยรายย่อยในการเพาะปลูก เฉลี่ยต่อไร่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบแทน เบื้องต้นที่ได้รับ กล่าวคือ ต้นทุนรวม ณ หน้าโรงงานเฉลี่ย ต่อไร่ 10,433.96 บาท/ไร่ รายได้รวมจากการปลูกอ้อย เฉลี่ย 12,836.80 บาท/ไร่ ดังนั้นผลกำไรตอบแทนเฉลี่ย ต่อไร่เบื้องต้นที่ชาวไร่ได้รับอยู่ที่ 2,402.84 บาท/ไร่ แนวโน้มการพัฒนาเพื่อให้ชาวไร่รายย่อยมีผลกำไรตอบแทนเพิ่มมากขึ้น นอกจากจะเน้นในเรื่องการบริหาร จัดการที่มีประสิทธิภาพแล้ว ควร มุ่งเน้นในส่วนของการ เพิ่มผลผลิตต่อไร่และจำนวนการไว้ตัดอ้อยให้มากขึ้น โดย ส่งเสริมในเรื่องของการวิจัยพันธุ์ที่

เหมาะสมต่อสภาพ อากาศและสภาพพื้นที่นั้นๆ พร้อมทั้งวิธีการบำรุง ดูแล รักษา ซึ่งจากการสำรวจ ภาคนามแสดงให้เห็นว่า ผลผลิต อ้อยปลูกใหม่และอ้อยต่อ รวมเฉลี่ยต่อไร่ อยู่ที่ 13.18 ตันต่อไร่และ 10.36 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งถือว่า ผลผลิตต่ำมาก ถ้าเปรียบเทียบกับประเทศที่ปลูกอ้อยเพื่อ ผลิต น้ำตาลอย่างประเทศออสเตรเลียที่มีผลผลิตต่อไร่ 40 ตันต่อไร่ [16]

เกรียงไกร رایณะสุข และสาธิต บัญอาจ (2556) นำเสนองานวิจัย เรื่องการประยุกต์ใช้ เครื่องรับสัญญาณ GPS แบบพกพาเพื่อวัดกำลังของรถแทรกเตอร์ โดยศึกษาการวัดกำลังของรถ แแทรกเตอร์โดยใช้เครื่องรับสัญญาณ GPS แบบพกพา ซึ่งมีขนาดเล็กกะทัดรัด เหมาะสำหรับการทดสอบ ในภาคนาม โดยเน้นในขณะขับเคลื่อนบนพื้นผิวถนนที่แข็งและเรียบ และศึกษาพารามิเตอร์ของความเร่ง ที่มีผลต่อการวัดกำลังของรถแทรกเตอร์ โดยมีวิธีการวิจัย โดยใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 48 และ 89 กิโลวัตต์ และใช้เครื่องรับสัญญาณ GPS3 รุ่น ที่มีอ็อปเดิตความถี่ต่อเนื่อง 1 เฮิร์ตซ์ ใช้การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของ ความเร่งมาเป็นปัจจัยหลักในการคำนวณหาแรงบิดและกำลังของรถแทรกเตอร์ ผลการศึกษพบว่า เครื่องรับ สัญญาณ GPS แบบพกพา รุ่น Oregon 550 ให้ค่าใกล้เคียงมากที่สุด เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวัด ความเร็วของรถแทรกเตอร์ที่ขับเคลื่อนบนพื้นผิวถนนที่แข็งและเรียบ และคำนวณหา กำลังของเครื่องยนต์ ของรถแทรกเตอร์ MESSEY FERGUSON 4225 NEW HOLLAND ATS120 เมื่อนำไปเปรียบเทียบข้อมูล ทางเทคนิคของบริษัทผู้ผลิต อยู่ที่ร้อยละ 94.38 และ 95.39 ตามลำดับ ส่วนพารามิเตอร์ความเร่งที่ได้จาก การวัด ความเร็วของเครื่องรับสัญญาณ GPS แบบพกพา สามารถเป็นพารามิเตอร์ของความเร่งได้ เนื่องจากเครื่องรับสัญญาณ GPS ที่ทดสอบให้ความแม่นยำทางตำแหน่งสูง จะทำให้การรับสัญญาณของ ข้อมูลจากดาวเทียม GPS ได้ดี [17]

Molin และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาและทดสอบประเมินผลในภาคนามของชุดบันทึก ปริมาณผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อยในประเทศบราซิล ระบบที่ทดสอบเป็นระบบที่ผลิตขึ้นโดย Austof (CNH) โดยใช้หลักการวัดน้ำหนักของระบบลำเลียงในรถตัดอ้อย (Elevator) ขึ้นใส่กระบะบรรจุทุก (Bin) ที่ลากจูงโดยรถแทรกเตอร์ ประมวลผลรวมกับความเร็วในการลำเลียง จากผลการทดสอบพบว่า ร้อยละความผิดพลาดในการวัดปริมาณผลผลิตที่เก็บเกี่ยวที่สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 36 โดยในการทดสอบ หลังจากการปรับตั้ง ยังคงมีร้อยละความผิดพลาดที่สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 15 และมีร้อยละความผิดพลาด เฉลี่ยเท่ากับ 3.5 ระบบการวัดน้ำหนักในชุดลำเลียงนี้อาจมีความผิดพลาดได้ง่ายหากไม่สามารถตรวจสอบ ความเร็วเชิงเส้นของชุดลำเลียงไปควบคู่กัน เนื่องจากระบบจะทำการบันทึกน้ำหนักไปเรื่อยๆ แม้ว่าใน ขณะนั้นไม่ได้ทำการเก็บเกี่ยวหรือลำเลียงอ้อยใส่กระบะที่บรรจุทุก [18]

Jensen และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษา ทดสอบและประเมินผลเปรียบเทียบความแม่นยำของ อุปกรณ์วัดปริมาณผลผลิตอ้อยระหว่างเก็บเกี่ยวที่มีจำหน่ายในท้องตลาดในประเทศออสเตรเลีย จำนวน 3 ระบบ ได้แก่ AgGuide, TechAgro และ MTData ซึ่งทั้ง 3 ระบบใช้หลักการการวัดอัตราการไหลของ วัสดุ (Mass flow rate) จากผลการศึกษา พบว่า มีเพียงระบบ TechAgro ที่สามารถวัดปริมาณผลผลิต อ้อยที่เก็บเกี่ยวโดยมีความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบทั้ง 3 ยังคงมีปัญหาด้าน

ความแม่นยำที่มีค่าต่ำลงมาก เมื่ออ้อยที่เก็บเกี่ยวมีปริมาณมาก หรืออัตราการไหลผ่าน (Pour rate) มีค่าสูงขึ้น [19]

Claudia Brito Silva และคณะ (2011) ได้แสดงข้อมูลผลการสำรวจผลการใช้เทคโนโลยีการเกษตรแบบแม่นยำ (precision agriculture technologies) ในอุตสาหกรรมอ้อยในประเทศบราซิล จากผู้ผลิตอ้อยรายใหญ่จำนวน 87 ราย ทำให้ทราบว่า เทคโนโลยีที่มีการใช้งานมากที่สุดคือระบบภาพถ่ายดาวเทียมและภูมิสารสนเทศ คือ ร้อยละ 76 รองลงมาคือระบบการบังคับเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ (Automatic Pilot) คือ ร้อยละ 39 โดยผลที่ได้จากการนำเทคโนโลยีมาให้เห็นผลชัดเจนที่สุด คือ การลดต้นทุนเนื่องจากการบริหารจัดการที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ร้อยละ 94) ส่วนปัญหาและสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถเลือกใช้เทคโนโลยีดังกล่าวได้ที่มีผู้เลือกตอบมากที่สุด คือ ราคาที่สูง และการขาดแคลนด้านทักษะในการบำรุงรักษาระบบ [20]

Fa'bio (2012) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการใช้ระบบบังคับทิศทางอัตโนมัติ (Auto guidance) ในการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยรถตัดอ้อย โดยทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานโดยใช้และไม่ใช้ระบบบังคับทิศทางอัตโนมัติ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า กรณีการใช้ระบบบังคับทิศทางอัตโนมัติสามารถเพิ่มความคงที่ของอัตราการทำงานในช่วงกลางวันและกลางคืนได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของระบบนี้คือ แปลงที่เก็บเกี่ยวโดยระบบนี้จำเป็นต้องปลูกโดยใช้ระบบบังคับทิศทางอัตโนมัติเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของปริมาณอ้อยที่สูญเสียระหว่างการเก็บเกี่ยวและไม่พบความแตกต่างด้านประสิทธิภาพเชิงพื้นที่ [21]

Marinello และคณะ (2015) ได้แสดงผลการทดสอบการใช้ระบบประมวลผลภาพ โดยใช้ Kinect sensor ในการถ่ายภาพและสร้างโปรไฟล์ระดับความสูงของผิวดินในระบบ 3 มิติ เพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพการไถพรวน โดยประมวลผลร่วมกับกระบวนการทางสถิติ โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ระบบการวัดระดับความสูงของผิวน้ำวสันต์สามารถนำมาเป็นตัวเลือกหนึ่งที่มีความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่าย และมีความแม่นยำอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดในการวัดกับความเร็วในการทำงานอยู่ในเกณฑ์สูง ระบบการวัดแบบนี้จึงมีข้อจำกัดด้านความเร็วในการทำงาน นอกจากนี้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Hassan (2015) และผู้วิจัยยังได้เสนอเพิ่มเติมว่า นอกเหนือจากความเร็วแล้ว ค่าความสว่างของแสงแดดยังมีผลต่อความแม่นยำในการวัดในเกณฑ์ที่สูงอีกด้วย [6]

สิทธิบัตรเลขที่ US 2004/0194442 เสนอหลักการหาปริมาณผลผลิตในแปลง โดยติดตั้งเซนเซอร์วัดปริมาณการไหล (Mass flow rate) ในส่วนของเครื่องเก็บเกี่ยวที่มีการลำเลียงผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ และติดตั้งเซนเซอร์วัดการทำงานของเครื่องเก็บเกี่ยว เช่น ความเร็วในการทำงาน และนำผลการวัดทั้งสองส่วนมาประมวลผลร่วมกันเพื่อคำนวณหาผลผลิตต่อหน่วยเวลาหรือต่อหน่วยพื้นที่ [8]

สิทธิบัตรเลขที่ US 6,272,819 B1 เสนอระบบการวัดปริมาณผลผลิตอ้อยระหว่างเก็บเกี่ยวโดยการวัดแรงดันของน้ำมันไฮดรอลิกที่ส่งไปยังมอเตอร์ไฮดรอลิกที่ส่วนต่างๆ ในรถตัดอ้อยได้แก่ ส่วนตัดโคนส่วนสับท่อน และส่วนลำเลียงขึ้นใส่รถบรรทุก รวมทั้งติดตั้งเซนเซอร์วัดแรงบิด (Torque transducer) ที่

ส่วนดังกล่าว เพื่อหาค่าที่ใช้ในการตัดและลำเลียงและแปลงค่ากลับเป็นปริมาณผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ [9]

สิทธิบัตรเลขที่ US 8,955,402 B2 เสนอระบบการสร้างภูมิสารสนเทศของผลผลิตอ้อยรายแปลง (Yield Mapping) โดยติดตั้งระบบวัดน้ำหนักและความหวานอ้อยที่เก็บเกี่ยวไว้ที่ส่วนต่างๆของรถตัดอ้อย โดยทำการเชื่อมโยงการทำงานของเซนเซอร์วัดน้ำหนักและความหวานเข้ากับอุปกรณ์ระบุตำแหน่งแบบ GNSS โดยเสนอ ตัวอย่างการวัดน้ำหนักโดยใช้เซนเซอร์วัดแรง (load cell) ติดตั้งที่ชุดกระบะรับอ้อย หรือติดตั้งเซนเซอร์วัดปริมาณการไหล (Mass flow rate) ที่เหนือสายพานในรถตัดอ้อย และได้เสนอ ตัวอย่างการวัดความหวานได้แก่ ระบบการสุ่มตัวอย่างท่อนอ้อยด้วยระบบนิวเมติกระหว่างการลำเลียงในรถตัดอ้อย แล้วนำมาบดคั้นน้ำและวัดปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่องมือวัดความเข้มข้น (Optical Refractometer) หรือหากไม่ต้องการสุ่มตัวอย่าง อาจเก็บน้ำอ้อยที่เกิดจากกระบวนการสับท่อนที่ชุดสับท่อน (Chopper) และทำการวัดความหวานโดยใช้การวัดค่าสื่อไฟฟ้าของน้ำอ้อยด้วยเซนเซอร์วัดกระแสเหนี่ยวนำไฟฟ้า (eddy current sensor) หรือ เซนเซอร์วัดการส่งผ่านแบบพร็อกซิมีตรี (electrical proximity sensor) [10]

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยที่นิยมปฏิบัติในพื้นที่ กลุ่มเป้าหมาย

การสำรวจภาคสนามจะสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับ รูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อย รูปแบบของกองอ้อยบนกระเบรรถบรรทุก โดยจะทำการลงพื้นที่สำรวจการเก็บเกี่ยวอ้อยในการทำงานจริงที่แปลงอ้อยของไร่อุบลสวัสดิ์ถาวร อำเภอกุสุมาลย์ จังหวัดชัยภูมิ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการอ้างอิงลักษณะการกองอ้อยบนกระเบรรถและการจำลองแชสซี (chassis) ของรถบรรทุกในหัวข้อ 3.2.1 ซึ่งมีขั้นตอนในการสำรวจคือ

1. ติดตั้งกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว (VDO) ยี่ห้อคอนทัวร์ (Contour) เป็นกล้องที่มีขนาดเล็กและสามารถทำงานได้แม้พื้นที่การทำงานแคบและมีการทำงานร่วมกับสมาร์ตโฟนที่สามารถดูการทำงานได้แบบเรียลไทม์ นำมาติดตั้งกับปลายสายพานลำเลียงของงวงรถตัดด้านซ้ายและขวาเนื่องจากตำแหน่งนี้สามารถติดตั้งได้ง่ายและไม่มีการตัดแปลงรถของเกษตรกร (ดังรูปที่ 3.1) จากนั้นเชื่อมต่อกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวกับสมาร์ตโฟนเพื่อดูการโรยท่อนอ้อยในกระเบรรถบรรทุกขณะมีการทำการเก็บเกี่ยว



รูปที่ 3.1 จุดติดตั้งกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว (VDO) ยี่ห้อคอนทัวร์ (Contour)

2. ติดตั้งแถบสีที่ผนังกระเบรด้านใน โดยแบ่งเป็นสี่ระดับ คือ จากพื้นกระเบรขึ้นไป 50 เซนติเมตรติดแถบสีชมพู จากนั้นวัดขึ้นไปอีกสามระดับระดับละ 50 เซนติเมตร ติดแถบสีแดง ส้ม และเหลือง ตามลำดับ (รูปที่ 3.2) เพื่อดูการโรยอ้อยในกระเบรรถบรรทุกขณะรถวิ่งเก็บเกี่ยวอ้อย แล้วบันทึกและนำข้อมูลภาพจากกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว ยี่ห้อคอนทัวร์ (Contour) ดูลักษณะปริมาณอ้อยที่เพิ่มขึ้นในกระเบร



รูปที่ 3.2 ติดแถบสีเพื่อระดับอ้อยที่เพิ่มขึ้น

3. โดรนหรือเครื่องบินบังคับติดตั้งกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวขนาดเล็ก เพื่อถ่ายภาพการทำงานมุมสูง (ดังรูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.3 พฤติกรรมของน้ำหนักร้อยในกระบะขณะเก็บเกี่ยว

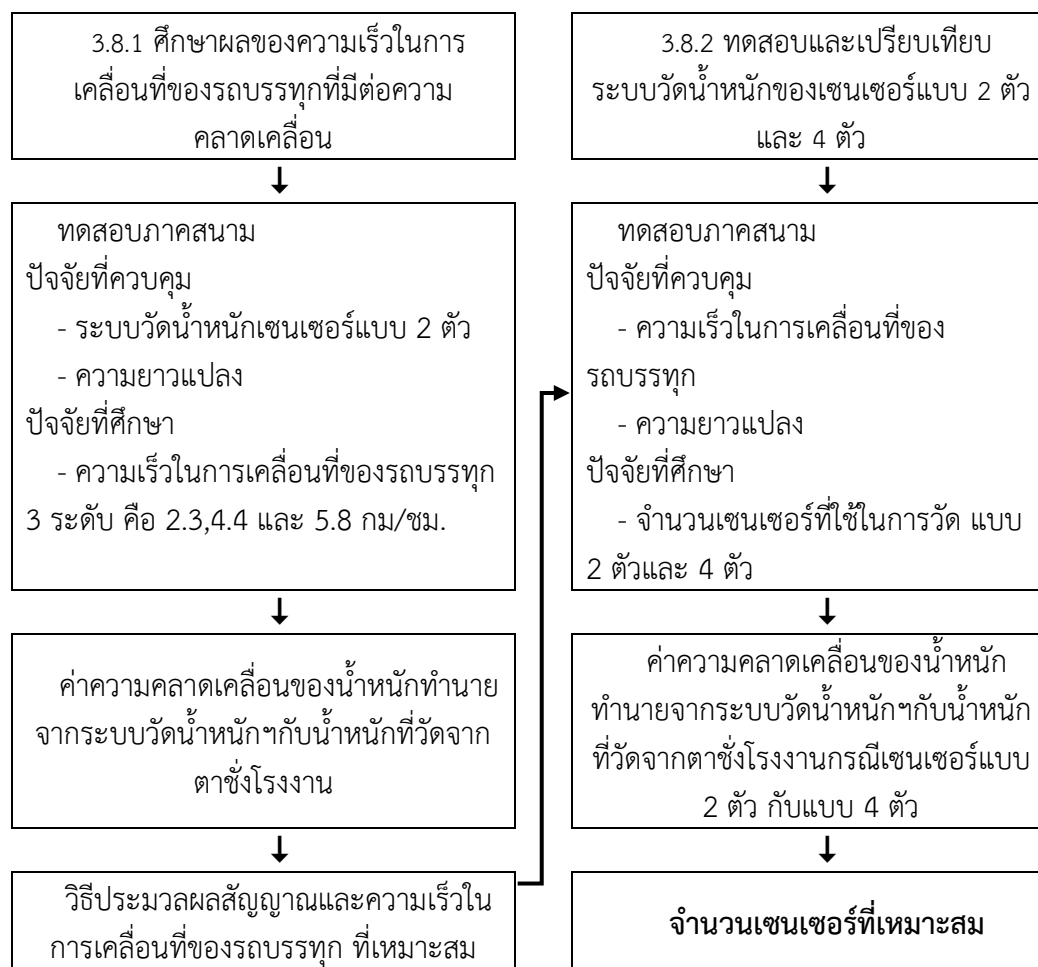
4. สำรวจรูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้แบบสอบถาม
- 3.2. ออกแบบและทดลองสร้างชุดเซนเซอร์วัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก
- 3.3. พัฒนาชุดประมวลผลสัญญาณจากเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นให้สามารถติดตั้งและใช้งานแปลงอ้อยได้
- 3.4. พัฒนาโปรแกรมสำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูลน้ำหนักที่ได้จากการประมวลผลสัญญาณ
- 3.5. ทำการทดสอบระบบฯแบบอยู่กับที่ และเก็บข้อมูลเบื้องต้น เพื่อตรวจสอบการตอบสนองและปรับปรุงแก้ไข

3.6. ทำการทดสอบในแปลงโดยให้มีจำลองการเปลี่ยนแปลงน้ำหน้าบรรทุก เพื่อตรวจสอบผลของการสันสะท้อนที่มีต่อความแม่นยำในการวัด

3.7. วิเคราะห์ผลการทดสอบและพัฒนาโปรแกรมประมวลผลข้อมูลและปรับปรุงชุดวัดน้ำหน้าให้มีความแม่นยำ ในระหว่างการทำงานเก็บเกี่ยวจริงมากขึ้น

3.8. ทำการทดสอบในแปลงตามลักษณะการเก็บเกี่ยวจริง

การศึกษาในหัวข้อนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ การศึกษาผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกที่มีต่อความคลาดเคลื่อน และจำนวนของเซนเซอร์ ซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อความแม่นยำของระบบวัดน้ำหน้าเป็นอย่างมาก (รูปที่ 3.4) ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาความแม่นยำของต้นแบบระบบวัดและบันทึกน้ำหน้าแบบเรียลไทม์ จากการทดสอบภาคสนาม

3.8.1 ศึกษาผลของความเร็วการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกที่มีต่อความคลาดเคลื่อน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบระบบวัดน้ำหนักเซนเซอร์แบบ 2 ตัว ในภาคสนามโดยจะทดสอบที่ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกต่างกัน คือ 3,4 และ 5 กม/ชม. ตามลำดับ(ตารางที่ 3-4) มีความยาวแปลงในการทดสอบ ประมาณ 450 เมตรและหน้ากว้างในการทดสอบ 4.50 เมตร ซึ่งจะทำให้ อ้อยเต็มกระบะพอดี ดังรูปที่ 3.5คิดเป็นหนึ่งการทดสอบต่อหนึ่งความเร็วในการทำงานข้างต้น ทดสอบ จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดสอบผลของความเร็วการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกที่มีต่อความคลาดเคลื่อน

รายการ	เงื่อนไข
ความเร็วในการทดสอบ (กม./ชม.) 3 ระดับ	3,4,5
ความยาวแปลง(ม.)	450



1. โหลดเซลล์
2. กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวกอนทอร์
3. แถบสีวัดระดับอ้อย
4. GPS Logger
5. กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวกอนทอร์ R300
6. คอมพิวเตอร์และเครื่องแปลงสัญญาณ (Data logger)

รูปที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในการทดสอบภาคสนาม

1. ติดตั้งชุดเซนเซอร์กับรถบรรทุก
2. ติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดค่าการสั่นสะเทือนที่มีอยู่ในกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวกอนทอร์หน้ารถบรรทุกยี่ห้อ R300 นำไปติดไว้ด้านหน้ารถบรรทุก (รูปที่ 3.6) จากนั้นติดตั้งเครื่องบันทึกตำแหน่งภูมิศาสตร์ (GPS Logger) บริเวณหัวรถบรรทุกฝั่งซ้ายและขวาดังรูปที่ 3.7 และติดตั้งแถบสีวัดระดับอ้อยที่ขอบด้านในกระบะพร้อมทั้งติดตั้งกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวกอนทอร์ ยี่ห้อ contour ที่บริเวณปลายวงรถตัดอ้อยอ้างอิงการติดตั้งจากรูปที่ 3.1, 3.2, 3.3 เพื่อดูอัตราการไหลของอ้อย

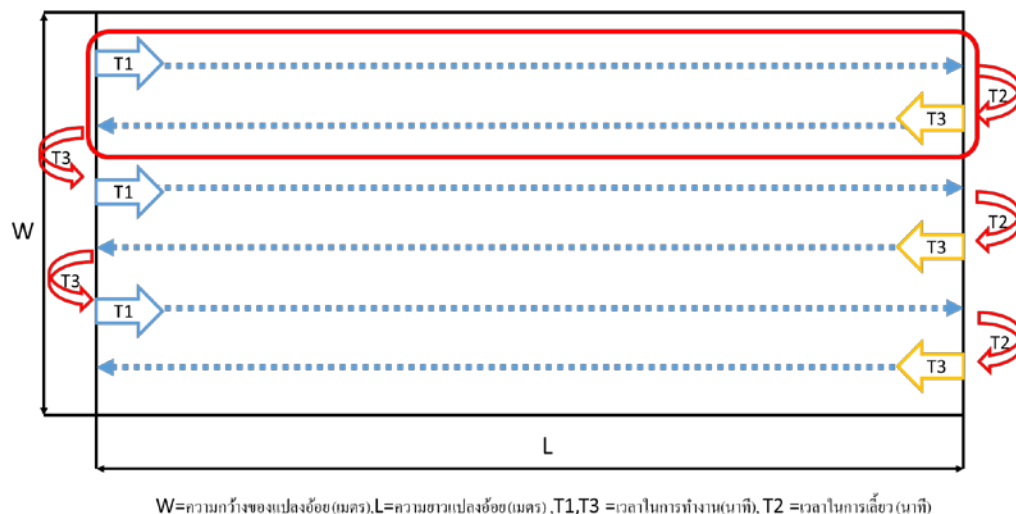


รูปที่ 3.6 จุดติดตั้งกล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว R300



รูปที่ 3.7 จุดติดตั้งเครื่องบันทึกตำแหน่งภูมิศาสตร์ (GPS Logger)

3. วัดระยะความยาวแปลงเพื่อแบ่งพื้นที่ทดสอบดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 รูปแบบการทดสอบ

4. เริ่มทำการทดสอบและบันทึกค่าสัญญาณพร้อมกับจับเวลาในการทำงานและเวลาเลี้ยวหัวงาน จนครบพื้นที่ที่กำหนด

5. หลังการทดสอบใน 1 ชั่วโมง จะทำการวัดอัตราการใช้น้ำมันของรถบรรทุกต่อพื้นที่ทดสอบ และนำค่าสัญญาณมาประมวลผลสัญญาณให้เป็นค่าน้ำหนัก จากนั้นคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนโดยคิดจากค่าน้ำหนักอ้อยที่วัดได้จากตาชั่งโรงงานเทียบกับค่าที่ทำนายจากระบบวัดน้ำหนักอ้อยของแต่ละความเร็วเทียบกัน

3.8.2 ทดสอบและเปรียบเทียบระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว กับ 4 ตัว

สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบระบบวัดน้ำหนักเซนเซอร์แบบ 4 ตัว ในภาคสนามโดยที่จะใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกในการทดสอบจากข้อ 3.8.1 เพื่อศึกษาและนำค่าน้ำหนักที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับระบบวัดน้ำหนักเซนเซอร์แบบ 2 ตัว ซึ่งการทดสอบระบบวัดน้ำหนักเซนเซอร์แบบ 4 ตัวในภาคสนาม จะมีขั้นตอนการทดสอบอ้างอิงใน 3.8.1 แต่จะมีการติดตั้งเซนเซอร์ที่แตกต่างกับข้อ 3.8.1 คือ จะติดตั้งเซนเซอร์จำนวน 4 ตัว รูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผนภาพการติดตั้งเซนเซอร์แบบ 2 ตัว(บน)และเซนเซอร์แบบ 4 ตัว(ล่าง)

3.9. วิเคราะห์จุดคุ้มทุนและประเมินผลการทำงานของชุดวัดน้ำหนักรถที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับแนวปฏิบัติเดิมในการชั่งน้ำหนักและจ่ายค่าตอบแทนอ้อยให้แก่เกษตรกร

3.10. จัดทำคู่มือและรายงานผลการศึกษา และจัดการสัมมนาเผยแพร่ผลการศึกษา

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยที่นิยมปฏิบัติในพื้นที่เป้าหมาย

4.1.1 สำรวจวิธีเก็บเกี่ยวอ้อยที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ

จากผลการสำรวจสามารถจำแนกจำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม ขนาดของพื้นที่ทำประโยชน์และพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่ ดังตารางที่ 4.1 และจำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม ระยะห่างระหว่างแถวอ้อยและพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่ดังตารางที่ 4.2 โดยระยะห่างระหว่างแถวอ้อยที่พบมากที่สุดอยู่ในช่วง 1.2-1.5 เมตร

ตารางที่ 4.1 จำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม ขนาดของพื้นที่ทำประโยชน์และพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่

ขนาดของพื้นที่ ทำประโยชน์ทั้งหมด ¹⁾	ขนาดของพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่ในแต่ละปี ²⁾		
	< 50 ไร่/ปี	51-100 ไร่/ปี	>100 ไร่/ปี
< 10 ไร่/ราย	1	0	0
10-50 ไร่/ราย	26	0	0
51-100 ไร่/ราย	17	3	0
101-300 ไร่/ราย	10	11	4
301-600 ไร่/ราย	1	2	6
601-1,000 ไร่/ราย	0	1	7
1,001-2,000 ไร่/ราย	0	0	2
> 2,000 ไร่/ราย	0	0	1
รวม	55 (59.78 %)	17 (18.48 %)	20 (21.74 %)

หมายเหตุ: 1) หมายถึง พื้นที่ที่เกษตรกรใช้ผลิตอ้อย (อ้อยต่อ) ปลูกข้าว และปลูกมันสำปะหลัง

2) หมายถึง พื้นที่ที่เกษตรกรใช้ปลูกอ้อยใหม่ในแต่ละปี โดยนับรวมทั้งไร่นาตนเองและรับจ้าง

ตารางที่ 4.2 จำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม ระยะห่างระหว่างแถวอ้อยและพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่

ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย (เมตร)	ขนาดของพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่ในแต่ละปี			รวม (ราย)	สัดส่วน (ร้อยละ)
	< 50 ไร่/ปี	51-100 ไร่/ปี	>100 ไร่/ปี		
< 1.0	6	0	0	6	6.52
1.0-1.1	12	1	0	13	14.13
1.2-1.3	21	5	0	26	28.26
1.4-1.5	15	10	11	36	39.13
1.6-1.7	1	1	7	9	9.78
1.7-1.8	0	0	1	1	1.09
>1.8	0	0	1	1	1.09
รวม (ราย)	55	17	20	92	100.00

ผลสำรวจพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ประมาณ 61.11-72.73 % นิยมปลูกอ้อยต้นฝน (ตารางที่ 3) และพบว่า พื้นที่ปลูกอ้อยส่วนใหญ่ของเกษตรกร จะอยู่นอกเขตชลประทาน (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 4.3 จำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม ฤดูปลูกอ้อยและพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่

ฤดูปลูกอ้อย ของเกษตรกร	ขนาดของพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่ในแต่ละปี ¹⁾		
	< 50 ไร่/ปี	51-100 ไร่/ ปี	>100 ไร่/ปี
ปลูกอ้อยต้นฝน	36 (69.23 %)	11 (61.11 %)	16 (72.73 %)
ปลูกอ้อยปลายฝน/ข้ามแล้ง	16 (30.77 %)	7 (38.89 %)	6 (27.27 %)
รวม	52 (100 %)	18 (100 %)	22 (100 %)

หมายเหตุ: 1) หมายถึง พื้นที่ปลูกอ้อยใหม่ในแต่ละปี ที่เกษตรกรดำเนินการในไร่นาของตนเองและรับจ้าง

ตารางที่ 4.4 จำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม พื้นที่ปลูกอ้อยและพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่

พื้นที่ปลูกอ้อยส่วนใหญ่ ของเกษตรกร	ขนาดของพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่ในแต่ละปี ¹⁾		
	< 50 ไร่/ปี	51-100 ไร่/ปี	>100 ไร่/ปี
อยู่นอกเขตชลประทาน	38 (70.37 %)	8 (47.06 %)	14 (70.00 %)
อยู่ในเขตชลประทาน	16 (29.63 %)	9 (52.94 %)	6 (30.00 %)
รวม	54 (100 %)	17 (100 %)	20 (100 %)

หมายเหตุ: 1) หมายถึง พื้นที่ปลูกอ้อยใหม่ในแต่ละปี ที่เกษตรกรดำเนินการในไร่นาเองและรับจ้าง

วิธีการเก็บเกี่ยวที่เกษตรกรปฏิบัติ มีทั้งหมด 6 รูปแบบ ได้แก่ การเก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคนโดยเผาอ้อยก่อนตัด การเก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคนโดยไม่เผาอ้อย การใช้เครื่องตัดอ้อยติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก (<50 แรงม้า) การใช้เครื่องตัดอ้อยติดท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ (>80 แรงม้า) การใช้รถตัดอ้อยขนาดเล็ก (<200 แรงม้า) และการใช้รถตัดอ้อยขนาดใหญ่ (>200 แรงม้า) โดยการเก็บเกี่ยวด้วยแรงงานคนโดยการเผาอ้อยก่อนตัด มีสัดส่วนจำนวนสูงสุด และส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายเล็ก และการใช้รถตัดอ้อยขนาดเล็กมีสัดส่วนจำนวนรายรองลงมา แต่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่มากที่สุด

ตารางที่ 4.5 จำนวนเกษตรกร (ราย) เมื่อจำแนกตาม วิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยและพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่

วิธีการเก็บเกี่ยว	ขนาดของพื้นที่ปลูกอ้อยใหม่ในแต่ละปี			รวม (ราย)	สัดส่วน (ร้อยละ)
	< 50 ไร่/ ปี	51-100 ไร่/ ปี	>100 ไร่/ ปี		
แรงงานคน (เผาอ้อย)	22	8	2	32	35.16
แรงงานคน (ไม่เผาอ้อย)	9	0	3	12	13.19
เครื่องตัดอ้อยติดท้ายรถแทรกเตอร์ ขนาดเล็ก (<50 แรงม้า)	5	0	0	5	5.49
เครื่องตัดอ้อยติดท้ายรถแทรกเตอร์ ขนาดใหญ่ (>80 แรงม้า)	1	0	0	1	1.10
รถตัดอ้อยขนาดเล็ก (<200 แรงม้า)	15	7	4	26	28.57
รถตัดอ้อยขนาดใหญ่ (>200 แรงม้า)	2	2	11	15	16.48
รวม (ราย)	54	17	20	91	100.00

4.1.2 สำรวจกิจกรรมในภาคสนามเกี่ยวกับรูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อย

การทำงานของรถตัดอ้อยเริ่มต้นจาก รถตัดอ้อยจะประจำตำแหน่งที่แถวแรกของการเริ่มต้นการตัด โดยทำงานร่วมกับรถบรรทุก ซึ่งรถบรรทุกจะเคลื่อนที่ขนานด้านข้างกับรถตัดอ้อย เพื่อที่จะรับอ้อยที่ตัดแล้ว ซึ่งลำเรียงมาจากรถตัดอ้อย โดยผู้ปฏิบัติงานจะบันทึกเวลาเริ่มตัดอ้อย จนกระทั่งตัดเสร็จ (อ้อยเต็มรถบรรทุก) จึงหยุดเวลาที่เริ่มบันทึก และทำการเปลี่ยนรถบรรทุกคันใหม่เพื่อบรรทุกอ้อย



รูปที่ 4.1 หน้าต่างการทำงานของแอปพลิเคชัน Mappad



รูปที่ 4.2 วัดพื้นที่แปลง



รูปที่ 4.3 การทำงานของรถตัดอ้อยกับรถบรรทุก

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลรถตัดอ้อยขนาดเล็กที่นิยมใช้งานมีอยู่ 2 รุ่น คือ รถตัดอ้อย Austoft A4000 และรถตัดอ้อยไทยรุ่งเรือง M6 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.4 รถตัดอ้อย Austoft A4000



รูปที่ 4.5 รถตัดอ้อยไทยรุ่งเรือง M6

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลรถตัดอ้อยขนาดเล็กของโรงงานน้ำตาลกุมภวาปี

	Austoft A4000	ไทยรุ่งเรือง
แรงม้า	176 แรงม้า	175 แรงม้า
ปริมาตรกระบอกสูบ	588 ลิตร	-
จำนวนกระบอกสูบ	6 กระบอกสูบ	6 กระบอกสูบ
ปริมาตรถังน้ำมัน	210 ลิตร	-
ปริมาตรน้ำมันไฮดรอลิก	130 ลิตร	-
หน้ากว้างการทำงาน	1.2 เมตร	1.0 – 1.2 เมตร
อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง	1.5 ลิตร/ตัน	1.6 ลิตร/ตัน

ข้อมูลการทำงานของรถตัดอ้อยขนาดเล็กมีสมรรถนะ ดังนี้

- 1) ความเร็วของรถตัดอ้อย 4-5 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- 2) ชั่วโมงการทำงานของรถตัด 12 ชั่วโมง/วัน
- 3) ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ เฉลี่ย 0.457 ไร่/ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่

4.7

- 4) ความสามารถในการทำงานเชิงวัสดุ 120 ตัน/วัน

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงข้อมูลเวลาในการทำงานในแปลงและความสามารถเชิงพื้นที่ จำนวน 20 แปลง

ลำดับที่แปลงที่สำรวจ	พื้นที่ (ไร่)	ต้น/ไร่	ผลผลิต (ตัน)	Latitude (เรเดียน)	Longitude (เรเดียน)	เวลาการทำงานในแปลง(ชม.)	ความสามารถเชิงพื้นที่(ไร่/ชม.)
1	25	12	300	17.152	102.991	60	0.42
2	25	10	250	17.037	102.884	50	0.50
3	24	11	264	17.126	103.113	52.8	0.45
4	22	10	220	17.217	102.857	44	0.50
5	26	10	260	17.116	102.961	52	0.50
6	25	10	250	16.976	103.052	50	0.50
7	20	12	240	17.151	102.903	48	0.42
8	22	10	220	17.068	103.059	44	0.50
9	24	12	288	17.051	102.970	57.6	0.42
10	20	10	200	17.209	102.951	40	0.50
11	26	13	338	17.105	102.908	67.6	0.38
12	20	12	240	17.175	103.078	48	0.42
13	23	10	230	16.909	103.049	46	0.50
14	20	10	200	16.998	103.123	40	0.50
15	25	12	300	17.062	103.090	60	0.42
16	25	12	300	17.124	103.147	60	0.42
17	25	12	300	17.149	103.061	60	0.42
18	25	10	250	17.217	103.103	50	0.50
19	25	12	300	16.986	102.845	60	0.42
20	25	11	275	16.936	102.936	55	0.45

จากผลการสำรวจกิจกรรมในภาคสนาม จำนวนทั้งหมด 5 กลุ่ม พบว่า แปลงอ้อยที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อยตัดอ้อยโดยใช้รถตัดอ้อยขนาดเล็ก มีข้อกำหนดและเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แปลงอ้อยที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อย

ข้อกำหนดแปลงอ้อย	แปลงอ้อยที่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อย
ผลผลิตอ้อยในแปลง ต้น/ไร่	≥11 ต้น
ความยาวร่องอ้อย(เมตร)	≥150 เมตร ร่องอ้อยตรง
ระยะห่างระหว่างแถวอ้อย (เมตร)	≥1.2 เมตร
ความกว้าง ข้างแปลง (อย่างน้อย 1 ข้าง)	≥4.5 เมตร
ความกว้าง หัวแปลง	≥1 เมตร
ความกว้าง ท้ายแปลง	≥1 เมตร
สิ่งกีดขวางในแปลง (ต้นไม้,ตอ,หิน)	ไม่มี หรือชาวไร่จะทำการขุดหรือเก็บออก
การบำรุงรักษาแปลงอ้อย - พรวนลัมร่อง - การกลบโคน - การกำจัดวัชพืช	ลัมร่อง พื้นเรียบ ต่ำกว่า 10 ซม. ไม่มี หรือชาวไร่ทำการกำจัดออก
ลักษณะทรงกออ้อยและการหักล้ม	ลำอ้อยตั้งตรง ไม่ล้ม
สภาพพื้นที่แปลงอ้อย - ความลาดเอียงของพื้นที่ - สภาพน้ำขัง	ราบเรียบ (ป้องกันรถตัดอ้อยเอียง) ไม่มีน้ำแช่ขังในแปลง (ป้องกันรถบรรทุกติดในไร่)
การปลูกอ้อย	ร่องเดี่ยว หรือ ร่องคู่ (ระยะห่างของท่อนอ้อยปลูก)
เส้นทางเข้าแปลงอ้อย	สะดวก ราบเรียบ ไม่มีสิ่งกีดขวาง
จำนวนพื้นที่แปลง	≥20 ไร่

1. เงื่อนไขแปลงอ้อยที่ไม่สามารถเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อย

- 1.1.แปลงอ้อยมีน้ำแช่ขัง หรือลาดเอียงมาก หรือระยะห่างระหว่างแถวอ้อยน้อยกว่า 1.2 เมตร
- 1.2.แปลงอ้อยมีวัชพืชหนาแน่น
- 1.3.แปลงอ้อยไม่มีพื้นที่ข้างแปลง หัวแปลง ท้ายแปลง (ห้ามใช้รถตัดอ้อยตัดเจาะเปิดแปลง ยกเว้นชาวไร่ใช้แรงงานคนเปิดแปลงให้ 3-4 ร่อง ก่อนนำรถตัดอ้อยเข้าตัดอ้อย)
- 1.4.ไม่ตัดแปลงอ้อยพันธุ์ที่มีเปลือกแข็งและตูดน้ำมากได้แก่ C0 1148,85-2-352

2. เงื่อนไขรถบรรทุกขนอ้อยรถตัด

- 2.1.ขอบกระเบบบนสุดมีความสูงวัดจากพื้นดินไม่เกิน 3.6 เมตร
- 2.2.ส่วนท้ายรถบรรทุกยื่นออกจากกึ่งกลางล้อหลังไม่เกินประมาณ 4 เมตร
- 2.3.ตัวกระเบบบรรทุกต้องปิดมิดชิดป้องกันท่อยอ้อยตก

3. การจัดการขนบรรทุกอ้อยทำงานร่วมกับรถตัดอ้อย

- 3.1. รถตัดอ้อย 1 คัน จะมีรถขนบรรทุกอ้อยประมาณ 5-6 คัน
- 3.2. สำหรับบางโรงงานจะมีช่องทางพิเศษสำหรับอ้อยที่เก็บเกี่ยวโดยรถตัดอ้อย

ตารางที่ 4.9 ผลการสำรวจพันธุ์อ้อยในเขตพื้นที่ จังหวัดขอนแก่น (ผลสำรวจจากเกษตรกร 92 ราย)

พันธุ์อ้อย	คิดเป็น %
UTHONG 5	0.0871
UTHONG 1	0.0026
UTHONG 8	0.0001
KU 89 - 2 - 26	0.0012
MAGOS	0.0077
KK 88 - 92	4.0889
KK 95 - 84	0.2466
LK 92 - 11	0.1039
Q 130	0.0018
KHONKEAN 2	0.0643
KHONKEAN 3	71.3821
ETC	24.0502

4.2 ออกแบบและทดลองสร้างชุดเซนเซอร์วัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก

4.2.1 สร้างแบบจำลองการกระจายความเค้นบนโครงสร้างหลักของรถบรรทุก

โครงการได้ทำการสำรวจ และเลือกรถบรรทุกสิบล้อ ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FUSO FN527 S ขนาดของรถบรรทุกสิบล้อ กว้าง (W) 2.50 เมตร ยาว 12.00 (L) เมตร และสูง (H) 3.80 เมตร (ดังรูปที่ 4.6) ขนาดกระบะกว้าง 2.5 เมตร ยาว 7.22 เมตร และสูง 2.3 เมตร ซึ่งใช้สำหรับบรรทุกอ้อยมีช่วงความหนาแน่นของอ้อยที่อยู่บนรถบรรทุกมีค่าเฉลี่ยประมาณ 490.6 กก./ลบ.ม. (สุพรรณ ยั่งยืน, 2551)

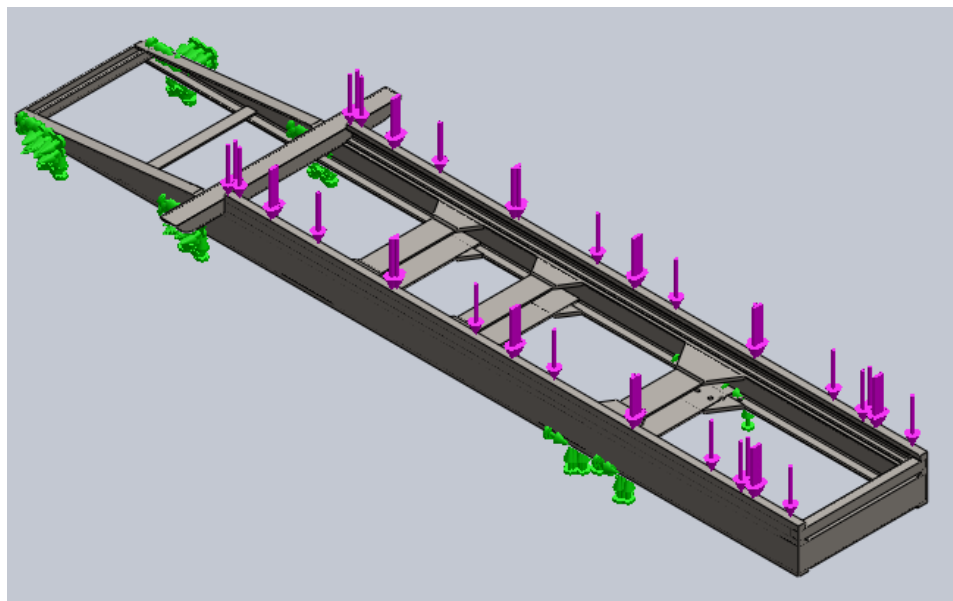


รูปที่ 4.6 รถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4.7 การวัดโครงสร้างแชสซีของรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

ขั้นตอนนี้ทำการวัดขนาดของโครงรถบรรทุกสลิปล้อ (Chassis) และกระบะ (Binbox) นำมาสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม solid work (ดังรูปที่ 6) ซึ่งกำหนดให้แบบจำลองตัวโครงรถเป็นเหล็กกล้า (ASTM A36 Steel) ค่าความหนาแน่นของวัสดุ 7850 กก/ลบ.ม และกระบะเป็นพลาสติกค่าความหนาแน่นวัสดุ 490 กก/ลบ.ม มีคุณสมบัติทางกลเป็นแบบ linear elastic Isotropic ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic modulus) 2×10^{11} นิวตัน/ตารางเมตร และค่าอัตราส่วนพัวซอง (Poisson's ratio) 0.26 (ตารางที่ 4.10)



รูปที่ 4.8 แบบจำลองแฮสซีของรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 4.10 คุณสมบัติของวัสดุแฮสซีของรถบรรทุก และรายละเอียดการแบ่งเอลิเมนต์

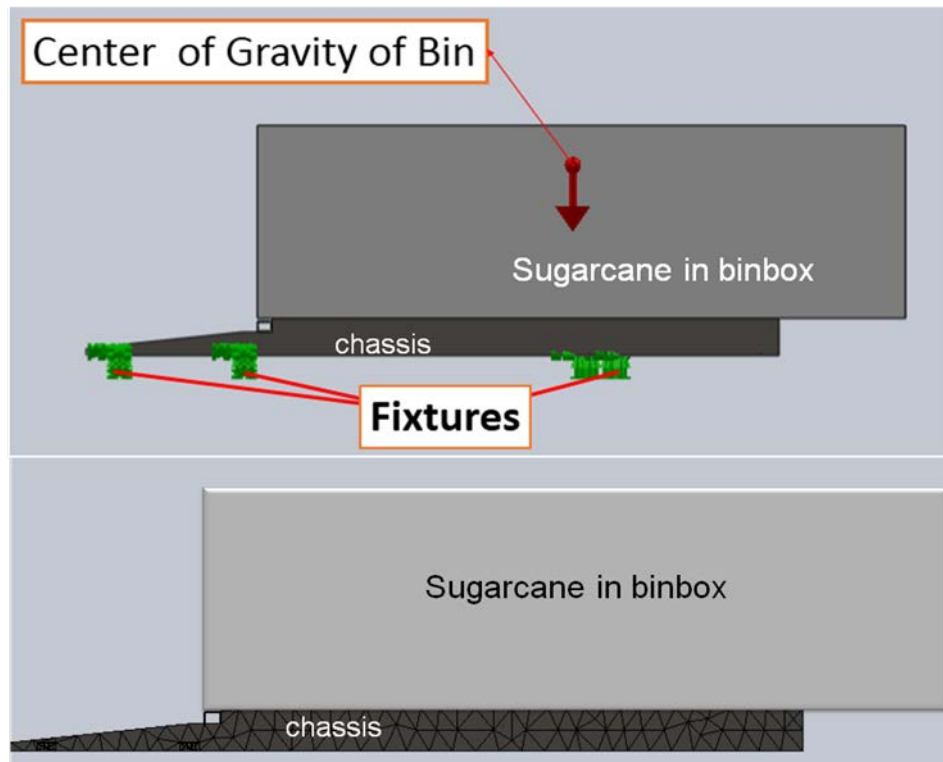
Name:	ASTM A36 Steel
Model type:	Linear Elastic Isotropic
Yield strength:	$2.5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Tensile strength:	$4 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
Elastic modulus:	$2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Poisson's ratio:	0.26
Mass density:	7850 kg / m^3
Shear modulus:	$7.93 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Bulk density of sugarcane in binbox:	490 kg / m^3
Jacobian points	4 points

การวิเคราะห์โครงสร้างรถบรรทุกสลิปด้วย solid works simulation มีขั้นตอนดังนี้

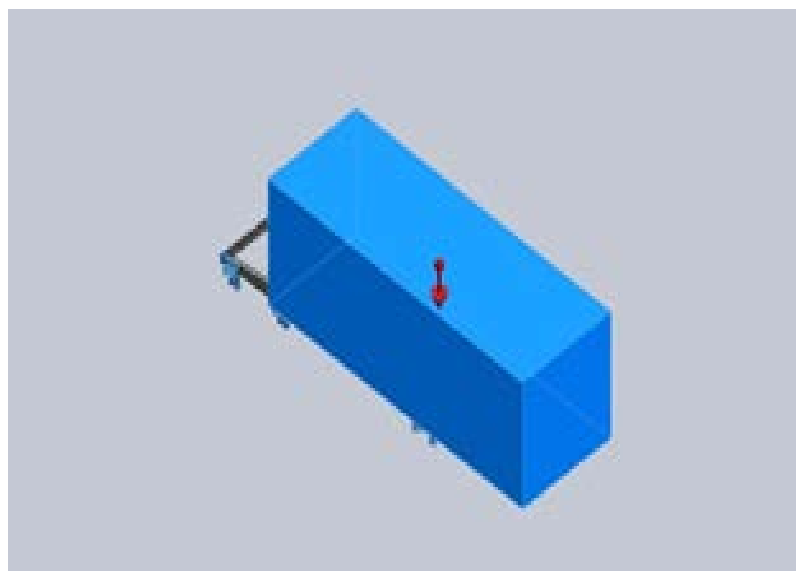
- 1) เตรียมแบบจำลองโครงสร้างรถบรรทุก
- 2) สร้างกรณีศึกษาการวิเคราะห์ความเค้นแบบสถิต
- 3) กำหนดวัสดุให้กับชิ้นงานทั้งสอง
- 4) กำหนดการจับยึดแน่นที่ฐานของโครงสร้างรถบรรทุกสลิปซึ่งเป็นการยึดให้ฐานของโครงอยู่กับที่

Fixed Geometry ทั้งหมด 6 จุด (รูปที่ 4.9)

5) กำหนดภาระโน้มถ่วงด้วยการ ใส่แรงภายนอกแบบ Gravity 6) สร้าง mesh ซึ่งเป็นการสร้างเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์รูปร่างของชิ้นงานจะถูกแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยๆที่เรียกว่า เอลิเมนต์ (ดังรูปที่ 4.10) จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์

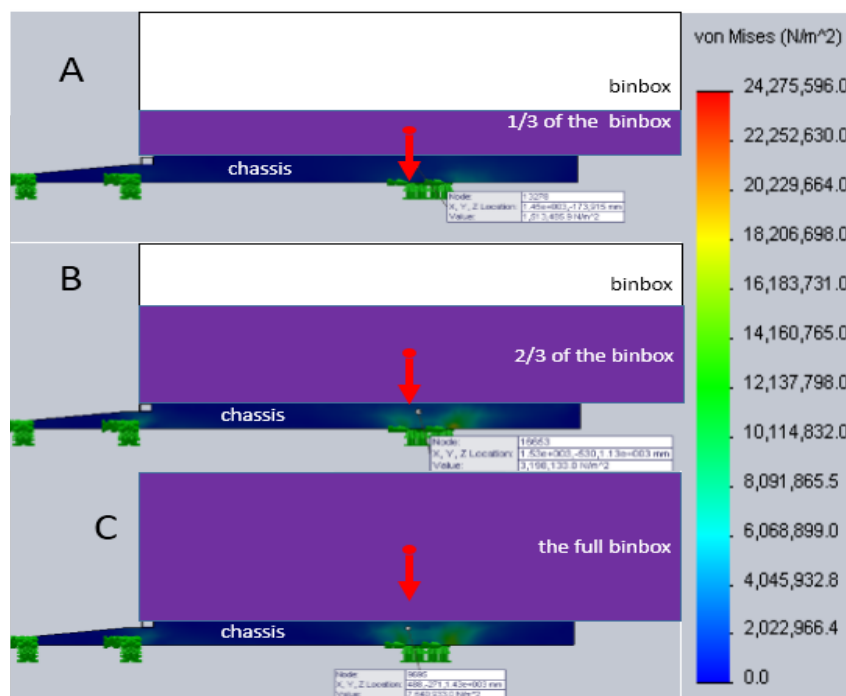


รูปที่ 4.9 การกำหนดเงื่อนไขของเขตและการแบ่งเอลิเมนต์

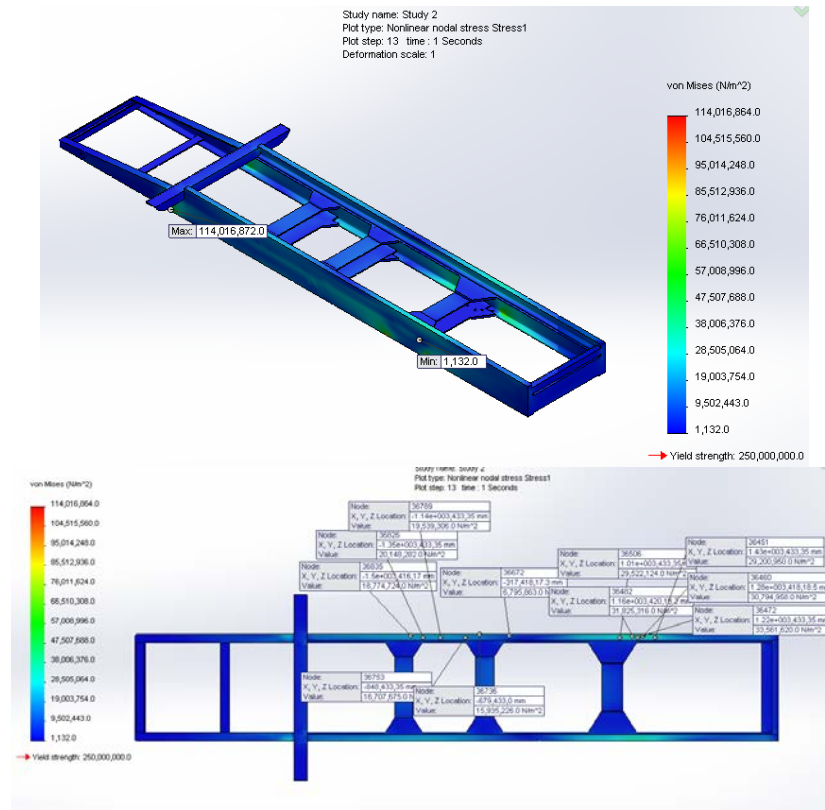


รูปที่ 4.10 การกำหนดแรงภายนอกที่กระทำ กรณีบรรทุกอ้อยเต็มกระบะ

จากการวิเคราะห์ด้วย solid works simulation แบบ Gravity หลังจากโปรแกรมประมวลผลเสร็จ จะแสดงผลค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นในรูปแบบชั้นสี (ดังรูปที่ 4.11) พบว่าค่าความเค้นสูงสุด (von Mises) เกิดขึ้นบริเวณมุมฉากของโครงรถใกล้กับขอบรูเจาะสำหรับยึดโครงรถกับล้อซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.275 MPa โดยผลการวิเคราะห์แต่ละน้ำหนักจะมีค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับบริเวณที่จะติดตั้งเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ

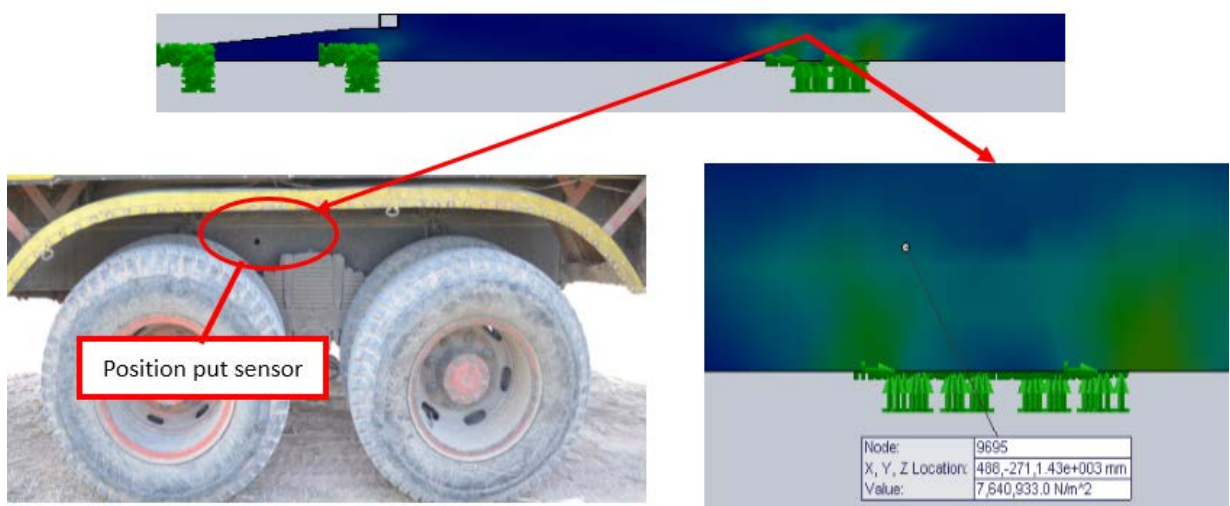


รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นกรณีมีอ้อยในกระบะบรรทุกระดับต่างๆ

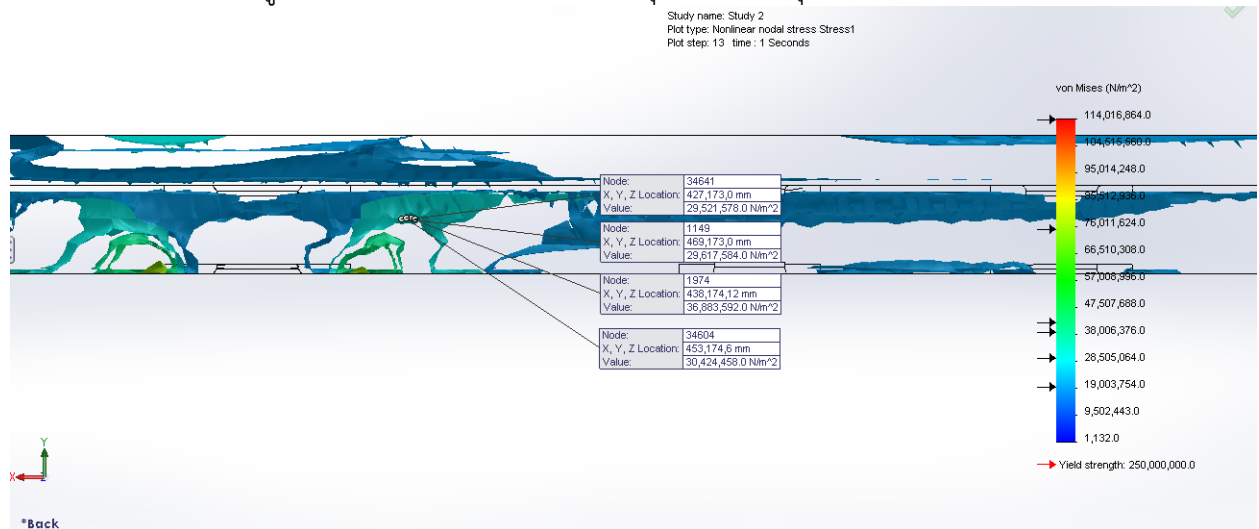


รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นกรณีมีล้อเต็มกระเบ

บริเวณที่มีการกระจายความเค้นที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ บริเวณกึ่งกลางล้อหลัง (ดังรูปที่ 11) ซึ่งจุดนี้จะมีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 7.64 MPa (รูปที่ 4.13) เมื่อใส่น้ำหนักจนเต็มกระเบรุกรบทุกสปีลล์ และบริเวณนั้นมีรูอยู่ทั้งสองฝั่งของโครงรถพอดีจึงเลือกที่จะทำการติดเซนเซอร์เกจที่ตำแหน่งนี้



รูปที่ 4.13 ตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ

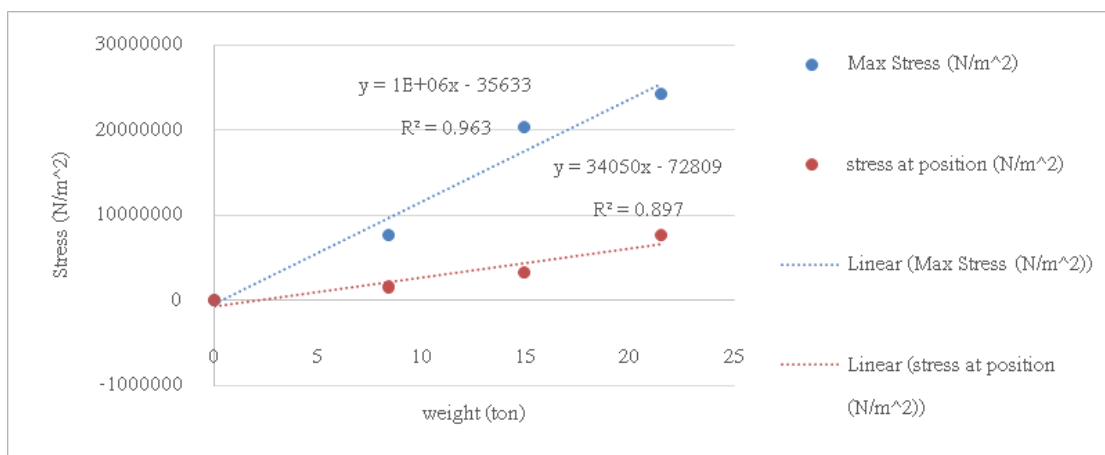


รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของความเค้นที่ตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ

จากผลการวิเคราะห์ด้วย solid work simulation แบบ Gravity ในแต่ละน้ำหนักคือ 8.38 ตัน, 14.94 ตัน, 21.51 ตัน จะมีค่าความเค้นสูงสุด เท่ากับ 7.69 , 20.43 และ 24.27 MPa ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.11 และนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่าความเค้นดังแสดงในรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่าความเค้น

Weight (ton)	Maximum Stress (MPa)	stress at the installation position of sensor (MPa)
0	0	0
8.38	7.69	1.51
14.94	20.43	3.19
21.51	24.27	7.64



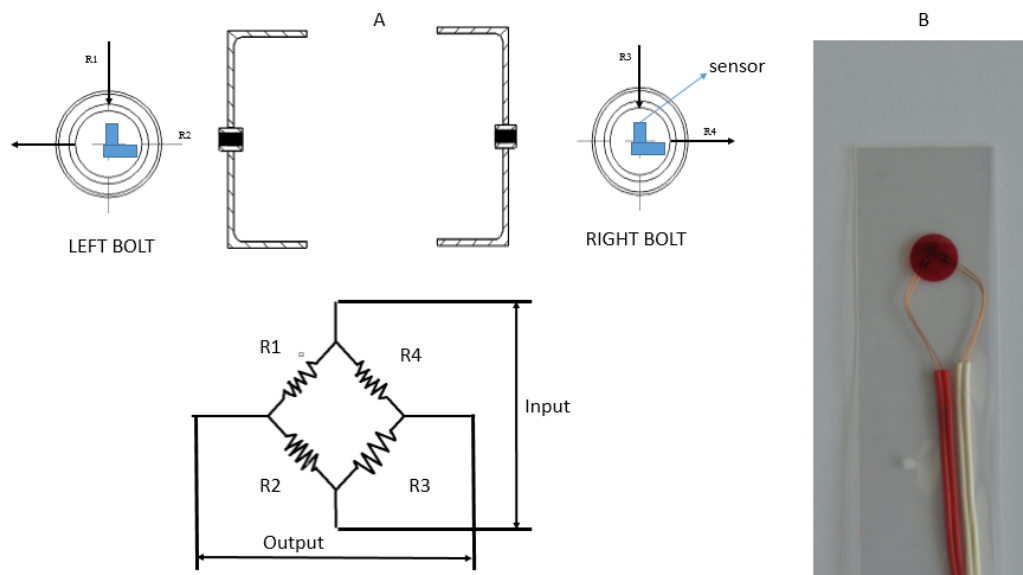
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่าความเค้น

4.2.2 ออกแบบและสร้างชุดเซนเซอร์วัดน้ำหนัก

เมื่อกำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบแล้ว จึงนำมาออกแบบเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ แนวทางที่ 1 โดยใช้สเตรนเกจเป็นองค์ประกอบหลัก การเลือกสเตรนเกจพิจารณาได้จาก

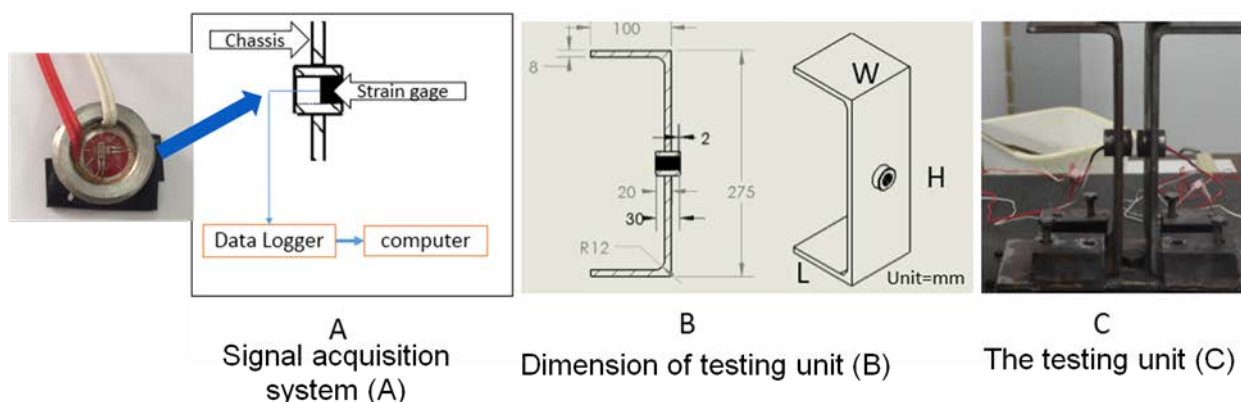
- 1) ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับโครงรถบรรทุกในจุดที่จะติดสเตรนเกจ
- 2) ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปคำนวณได้จากระยะการเสียรูปของโครงรถบรรทุก
- 3) ค่าความเค้นมาคูณกับค่าความปลอดภัย (safety factor) เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อสเตรนเกจ

ผลจากการพิจารณาข้างต้น จึงเลือกใช้สเตรนเกจแบบแผ่นฟิล์มบาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 mm ความยาวของขดลวด 2 mm ค่าความต้านทาน 120 โอห์ม ค่า gauge factor $2.10 \pm 1\%$ และต่อวงจรวีลสโตนบริดจ์แบบ full bridge (รูปที่ 4.16)

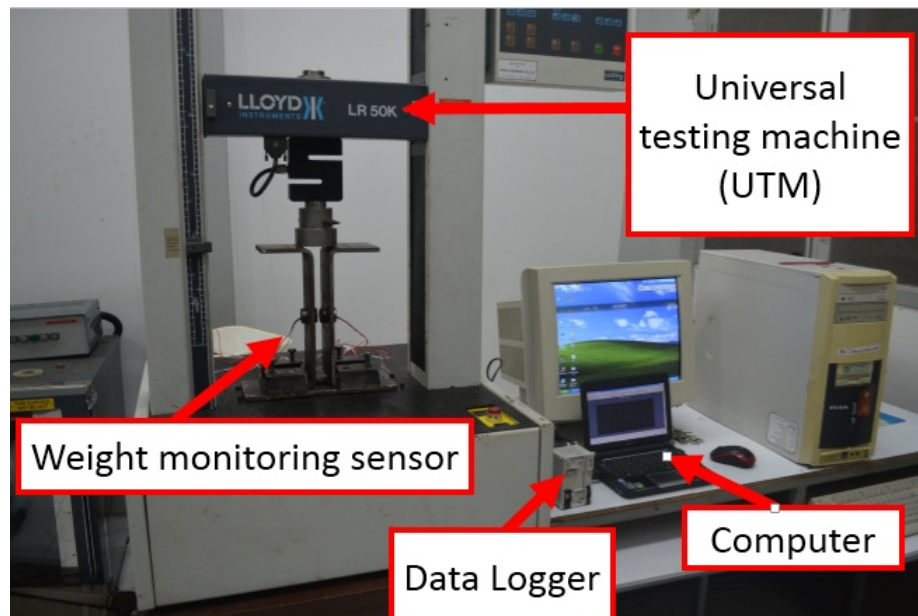


รูปที่ 4.16 เซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ

ในการสอบเทียบ (Calibration) เบื้องต้น จำเป็นต้องมีการสร้างขึ้นส่วนจำลองจากแชสซีของรถบรรทุกขึ้น จากนั้น จึงติดตั้งเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบเข้ากับชิ้นส่วนจำลองดังกล่าว (รูปที่ 15) และทำการสอบเทียบโดยใช้เครื่องทดสอบทางกล (UTM) 2) โดยต่อเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบเข้ากับ Data logger (รูปที่ 4.17) ป้อนค่าแรงเพิ่มทีละ 1,000 นิวตัน จนถึง 5,000 นิวตัน จากนั้น จึงนำข้อมูลที่ได้มาพล็อตกราฟเพื่อหาสมการสอบเทียบ

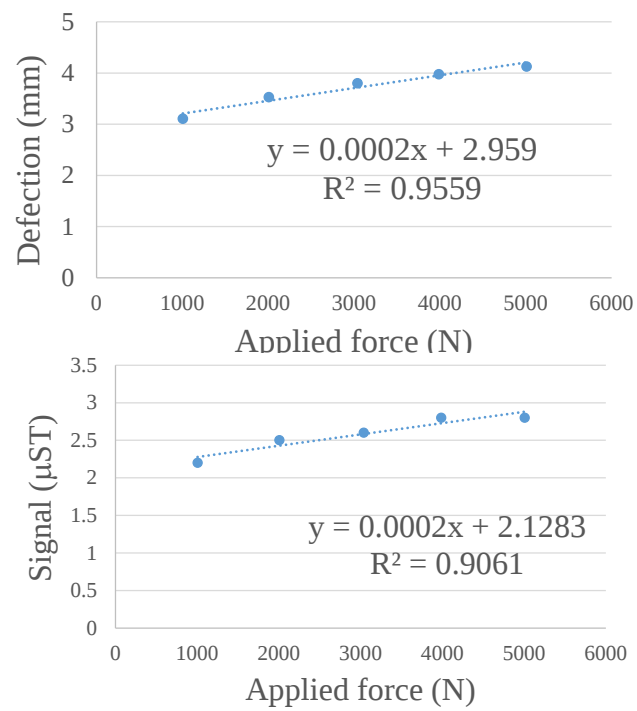


รูปที่ 4.17 การติดตั้งเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบเข้ากับชิ้นส่วนจำลองจากแชสซีของรถบรรทุก



รูปที่ 4.18 การสอบเทียบเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ

จากกราฟการสอบเทียบรูปที่ 4.19 พบว่าลักษณะของกราฟจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อแรงที่กระทำสูงสุดมีการเพิ่มค่าขึ้นก็จะทำให้ระยะยืดหดของโครงถပ်บรรทุกและค่าที่วัดได้จากสเตรนเกจเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ได้สมการสอบเทียบระหว่างค่าแรงสูงสุดกับระยะยืดหดของโครงถပ်บรรทุก คือ $y = 0.0007x + 1.4037$ และสมการสอบเทียบระหว่างค่าสัญญาณไมโครสเตรน (X) โดยแปรค่าตามน้ำหนักบรรทุก (Y) และมีความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง คือ $Y = 6036.4X - 12565$ และ $R^2 = 0.9061$



รูปที่ 4.19 ผลการสอบเทียบเซนเซอร์ชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบ

4.3 การพัฒนาชุดประมวลผลสัญญาณ

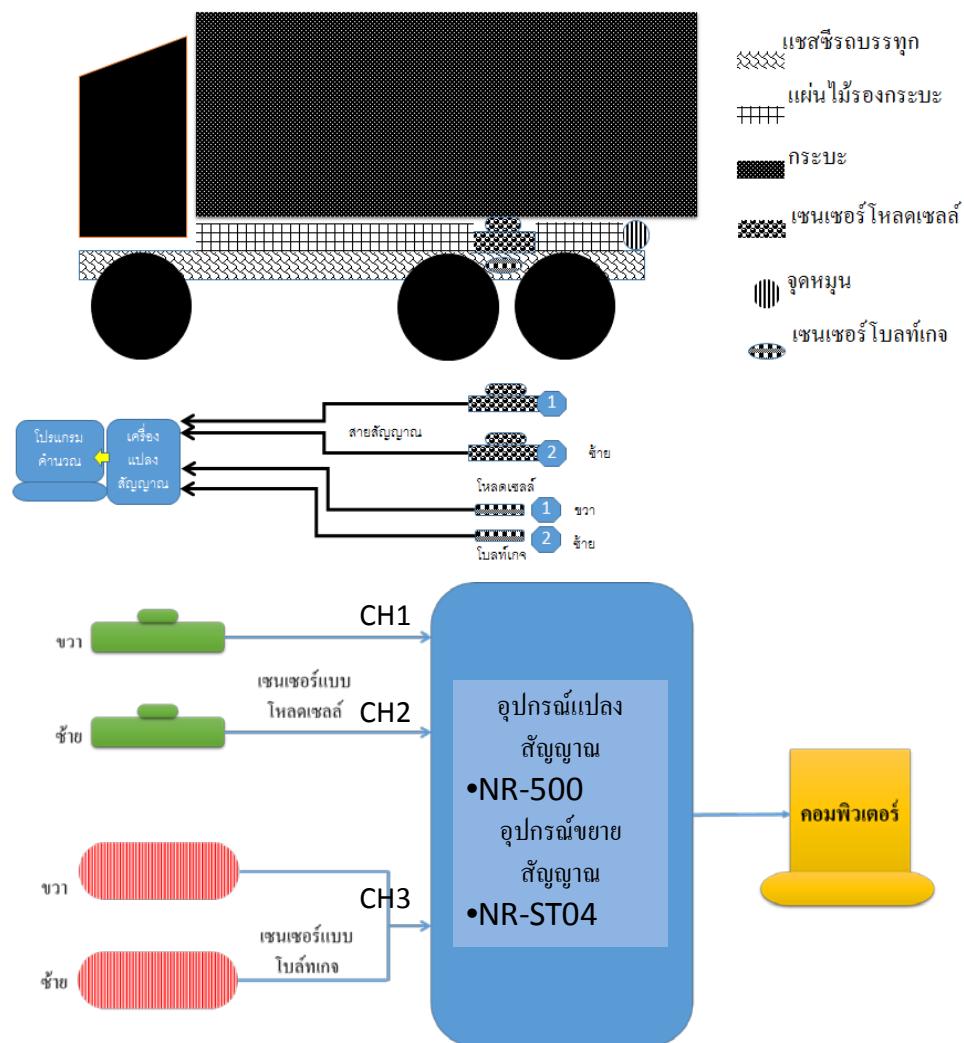
ในขั้นตอนนี้เป็นการพัฒนาชุดประมวลผลสัญญาณจากเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นให้สามารถติดตั้งและใช้งานแปลงอ้อยได้ โดยชุดประมวลผลสัญญาณ ประกอบด้วย อุปกรณ์แปลงสัญญาณ อุปกรณ์ขยายสัญญาณ อุปกรณ์ประมวลผลข้อมูล สำหรับสเตรนเกจ สายสัญญาณ แหล่งพลังงาน และอุปกรณ์จับยึดชุดประมวลผลสัญญาณ

จากการพิจารณาขอบเขตและลักษณะการทำงาน โครงการได้พิจารณาเลือกอุปกรณ์แปลงสัญญาณ รุ่น NR-500 และและอุปกรณ์ขยายสัญญาณรุ่น NR-ST04 ยี่ห้อ Keyence ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 4.12 โดยรับสัญญาณ จากเซนเซอร์ 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 แบบโพลตเซลล์ ประกอบด้วยสัญญาณจากโพลตเซลล์ที่ติดตั้งในลักษณะของการวางบนแชสซีของรถบรรทุกบริเวณเหนือเพลาล้อหลังด้านขวาและด้านซ้าย (รูปที่ 4.21) ซึ่งจะนำสัญญาณเข้าสู่อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณในช่องสัญญาณที่ 1 และช่องสัญญาณที่ 2 ตามลำดับ (รูปที่ 4.20) ส่วนรูปแบบที่ 2 แบบโบลท์เกจ โบลท์เกจที่ติดตั้งในลักษณะฝังในแชสซีของรถบรรทุกที่บริเวณเหนือเพลาล้อหลังทั้งด้านซ้ายและด้านขวาจะถูกเชื่อมต่อเป็นวงจรวิธสโตนบริดจ์แบบฟูลบริดจ์ ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2 จึงรวมเป็นสัญญาณเดียวนำเข้าสู่อุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณในช่องสัญญาณที่ 3

ตารางที่ 4.12 คุณสมบัติของอุปกรณ์แปลงสัญญาณ และและอุปกรณ์ขยายสัญญาณ

Model		NR-500
PC Interface		USBRevision2.0
Communication speed		Maximum 100kHz
Number of measuring units connected		8 units
Measurement unit synchronization		Below $\pm 1\mu s$
Timeline accuracy		$\pm 50\text{ppm}(23^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C})$
Input / output	TRG IN	DC10-30V/2ms
	SYNC IN	DC5V $\pm 10\%$ /20 μs
	TRG OUT	NPN 1ch /100mA (30V)
Withstand voltage	Input / output - USB/DC IN/System bus	1500VAC (50/60Hz)
	Trigger input to output	125VAC (50/60Hz)
ambient temperature		0 $^{\circ}\text{C}\sim +40^{\circ}\text{C}$
humidity		35% $\sim 85\%\text{RH}$
power supply		NR-U2
Power consumption		0.9W

Weight	110g
--------	------



รูปที่ 4.20 แผนภาพระบบเก็บข้อมูล(บน)และชุดประมวลผลสัญญาณ(ล่าง)



รูปที่ 4.21 ตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์ทั้งสองแบบ

สายสัญญาณที่เลือกใช้เป็นชนิด สายโคแอกเซียล (Coaxial cable) เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน โดยสายสัญญาณทั้ง 3 ชุดได้ติดตั้งบริเวณด้านในของแชสซีจากบริเวณเพลาล้อหลัง ผ่านเข้าไปในห้องโดยสาร พร้อมกันนี้ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์จับยึดอุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณและคอมพิวเตอร์ในห้องโดยสาร และติดตั้งแบตเตอรี่และอุปกรณ์แปลงไฟฟ้า (Power Inverter) ชนิด Pure sine เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับชุดประมวลผลสัญญาณ ขั้นตอนการติดตั้งชุดประมวลผลสัญญาณแสดงดังรูปที่ 4.22





รูปที่ 4.22 การติดตั้งเซนเซอร์แบบโหลดเซลล์ (Load cell)(บน)และแบบโบลท์เกจ (Bolts gauge)(ล่าง)

4.4 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูลน้ำหนัก

โปรแกรมบันทึกและประมวลผลข้อมูลน้ำหนัก ทำหน้าที่แปลงค่าสัญญาณจากเซนเซอร์ (หน่วย μST) เป็นค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในระบบบรรทุกอย่างต่อเนื่อง ด้วยความถี่ 5 ครั้งต่อวินาที (ความถี่ของสัญญาณ เท่ากับ 5 Hz) เพื่อให้โปรแกรมสามารถทำงานสอดคล้องกับอุปกรณ์แปลงสัญญาณตามที่ระบุในหัวข้อที่ 4.3 การพัฒนาโปรแกรมในโครงการนี้จะพัฒนาในโปรแกรม VBA ในโปรแกรม Microsoft excel

โปรแกรมสำหรับบันทึกและประมวลผลน้ำหนักมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. คำนวณข้อมูล โดยนำค่าสัญญาณไมโครสเตรนทั้ง 2 ช่องสัญญาณจากโหลดเซลล์ด้านซ้ายและขวา (CH1 และ CH2) และสัญญาณจากเซนเซอร์แบบโบลท์เกจ (CH3) มาหาค่าผลต่างของช่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไปเทียบกับน้ำหนักจริงที่วัดได้ ออกมาเป็นค่าผลต่างของสัญญาณ $\Delta(\mu\text{ST})$
2. นำค่าผลต่างของน้ำหนักในแต่ละเซนแนลที่ได้จากข้อ 1. มาคำนวณมาคำนวณหาค่าแรงในหน่วย KN จากคู่มือการใช้อุปกรณ์การวัดน้ำหนัก

$$\Delta F \text{ (kN)} = \Delta(\mu\text{ST}) * 0.02503$$

3. นำค่าแรงในหน่วยกิโลนิวตัน (kN) ของแต่ละเซนแนลในข้อ 2. คูณกับ 1000 หาค่า gravity คือ 9.81 จะได้ค่าผลต่างของน้ำหนักในหน่วย กิโลกรัม (kg) และมารวมกันเป็นผลต่างน้ำหนักรวมทั้งหมดที่ได้จากค่าสัญญาณ

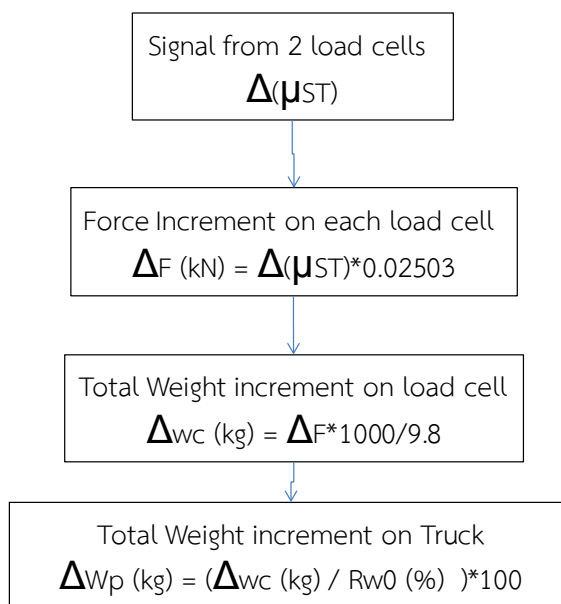
$$\Delta_{wc} \text{ (kg)} = \Delta F * 1000 / 9.8$$

4. คำนวณ ค่าร้อยละของน้ำหนักที่ตกลงบนโหลดเซลล์เมื่อเทียบกับน้ำหนักทั้งหมด (Rwp (%)) จากค่าน้ำหนักบรรทุกปัจจุบันโดยใช้สมการสอบเทียบ (Calibration equation) ที่ได้จากการทดสอบ (หัวข้อ 4.5)

5. นำ ค่าผลต่างน้ำหนักรวม (Δ_{wc} (kg)) จากข้อ 3 หารด้วย ค่าร้อยละของน้ำหนัก (Rwp (%)) และคูณด้วย 100 % เพื่อคำนวณค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในระบบบรรทุก ΔW_p (kg)

$$\Delta W_p \text{ (kg)} = (\Delta_{wc} \text{ (kg)} / R_{w0} \text{ (%)}) * 100$$

ลำดับการทำงานของโปรแกรมแสดงผังภาพในรูปที่ 4.23



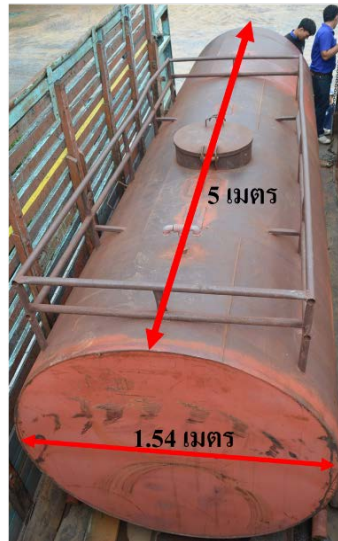
รูปที่ 4.23 แผนภาพแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรม

4.5 การทดสอบระบบแบบอยู่กับที่ และเก็บข้อมูลเบื้องต้น

ทำการทดสอบระบบแบบอยู่กับที่ และเก็บข้อมูลเบื้องต้น เพื่อตรวจสอบการตอบสนองและปรับปรุงแก้ไข

ขั้นตอนนี้เป็น การทดสอบการทำงานของเบื้องต้นชุดอุปกรณ์วัดน้ำหนัก ที่ติดตั้งในตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้ เบื้องต้นโดยใช้น้ำแทนน้ำหนักบรรทุก เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองของเซนเซอร์ทั้งสองแบบ โดยเซนเซอร์แบบโบลท์เกจ (Bolts gauge) จะติดตั้งจำนวน 2 ตัวคือด้านข้างบริเวณซ้ายขวาของโครงรถและเซนเซอร์แบบโหลดเซลล์ (Load cell) ติดตั้งจำนวน 2 ตัว บริเวณด้านซ้ายขวาของโครงรถ

ในการทดสอบโดยการใช้ใช้น้ำนั้นเนื่องจากสามารถควบคุมน้ำหนักที่ลงบนกะบะให้สม่ำเสมอ (Uniform load) ได้ โดยมีมิติของถังน้ำขนาดประมาณ 9000 ลิตร แสดงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 ถังบรรจุน้ำที่ใช้ในการสอบเทียบชุดวัดน้ำหนัก

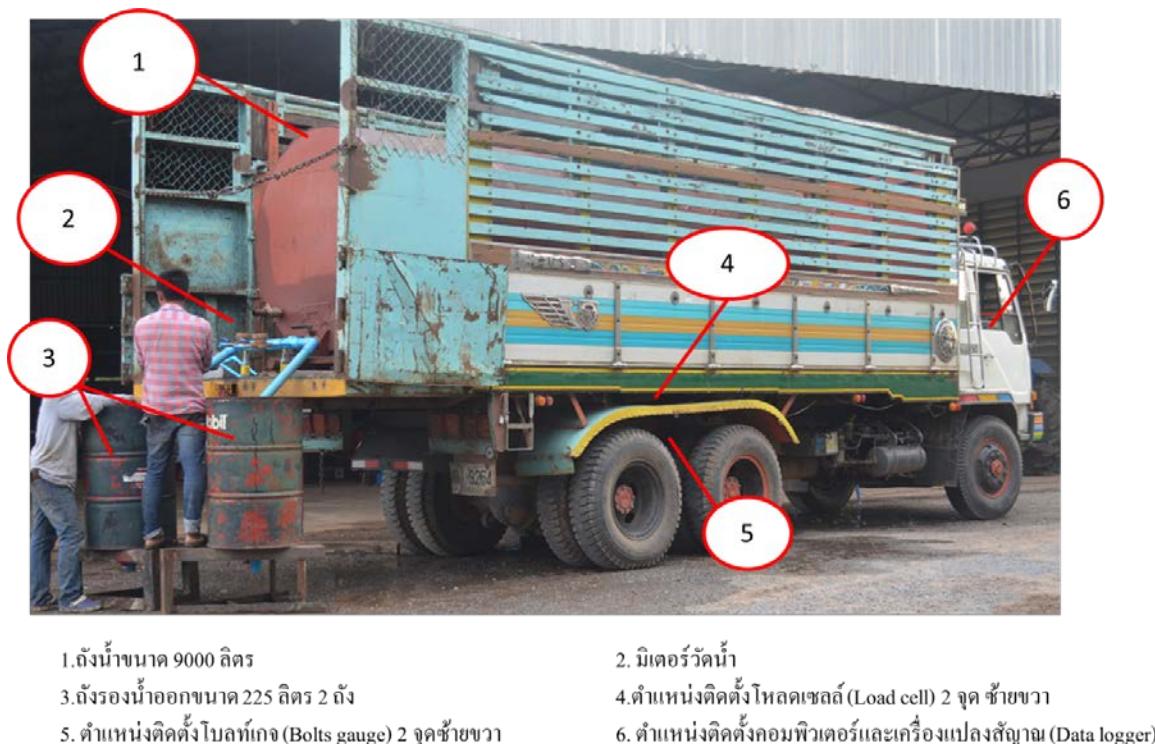
การทดสอบภายใต้สภาพที่รถบรรทุกจอดอยู่กับที่ เป็นการทดสอบเพื่อดูการตอบสนองของเซนเซอร์ทั้งสองแบบขณะอยู่กับที่ โดยเติมน้ำแล้วปล่อยน้ำไหลออก โดยเปิดวาล์วขนาด 2 นิ้ว ที่อยู่ด้านล่างของถัง อัตราการไหลของน้ำจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูงของน้ำ โดยมีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 78-135 ลิตร/นาที่ เมื่อมีระดับน้ำสูง 1- 75 เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

ตารางที่ 4.13 เงื่อนไขการทดสอบสภาพอยู่กับที่

รายการ	เงื่อนไข	
	สูงสุด	135 ลิตร/นาที่
อัตราการไหล	ต่ำสุด	78 ลิตร/นาที่
	เฉลี่ย	132 ลิตร/นาที่
ปริมาตรน้ำที่ทดสอบ	9000 ลิตร	

1. ติดตั้งชุดเซนเซอร์กับรถบรรทุก โดยเซนเซอร์แบบโหลดเซลล์ (Load cell) จะติดตั้งอยู่บนโครงรถในตำแหน่งดังแสดงในหัวข้อที่ 4.3 และชุดอุปกรณ์การทดสอบดังรูปที่ 4.25

2. ทดสอบเติมน้ำใส่ถังบนรถบรรทุกจนถึงระดับความสูง 75 เซนติเมตร มีน้ำหนักน้ำเท่ากับ 4500 ลิตรซึ่งเท่ากับ 4500 กิโลกรัม



รูปที่ 4.25 การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในการทดสอบ

3. เริ่มการทดสอบโดยการปล่อยน้ำออกครั้งละ 225 ลิตร จนน้ำหมดถัง ในขณะที่ปล่อยน้ำออกแต่ละครั้ง จะมีการบันทึกเวลาที่น้ำไหลออกและบันทึกค่าสัญญาณจากเซนเซอร์ที่ได้เทียบกับปริมาณน้ำหนักของน้ำที่เปลี่ยนไป

4. นำค่าสัญญาณ (μST) กับค่าน้ำหนักที่วัดได้มาคำนวณค่าสัญญาณที่ลดลง ($\Delta\mu\text{ST}$) เปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ลดลง ($\Delta W(\text{kg})$) ในแต่ละครั้งที่มีการปล่อยน้ำออก ในขั้นตอนนี้ พบว่า มีการแปลงค่าสัญญาณเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้ำ ในช่องสัญญาณที่ 1 และ 2 แต่ไม่มีการแปลงค่าสัญญาณในช่องสัญญาณที่ 3 แสดงว่า มีการตอบสนองของเซนเซอร์แบบโหลดเซลล์ แต่ไม่มีการตอบสนองของเซนเซอร์แบบโบลท์เกจ เมื่อตรวจสอบพบว่า ในเซนเซอร์แบบโบลท์เกจมีช่องว่างระหว่างเกลียวในของปลอกที่เชื่อมติดกับโครงแชสซี และเกลียวนอกของโบลท์เกจ ทำให้ตัวเซนเซอร์ไม่สามารถตอบสนองต่อค่าน้ำหนักได้ ซึ่งช่องว่างส่วนนี้เป็นผลมาจากความละเอียดในการกลึงขึ้นรูปเซนเซอร์ อย่างไรก็ตามในส่วนของเซนเซอร์แบบโหลดเซลล์นั้นมีการตอบสนองที่ดี ซึ่งมีผลการวัดและคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.14

5. คำนวณค่าแรงที่เกิดที่เซนเซอร์แบบโหลดเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงไป ($\Delta F (\text{kN})$) จากค่าสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป ($\Delta\mu\text{ST}$) โดยใช้สมการแปลงค่าสัญญาณที่ได้รับการทดสอบด้วยวิธีมาตรฐานจากผู้ผลิต ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.4 และนำไปคำนวณต่อเป็น ค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ($\Delta W_c (\text{kg})$) และ

นำมาคำนวณค่าร้อยละของน้ำหนักที่ตกลงบนโพลีเอสเตอร์เมื่อเทียบกับน้ำหนักทั้งหมด (Rw0 (%)) ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.15

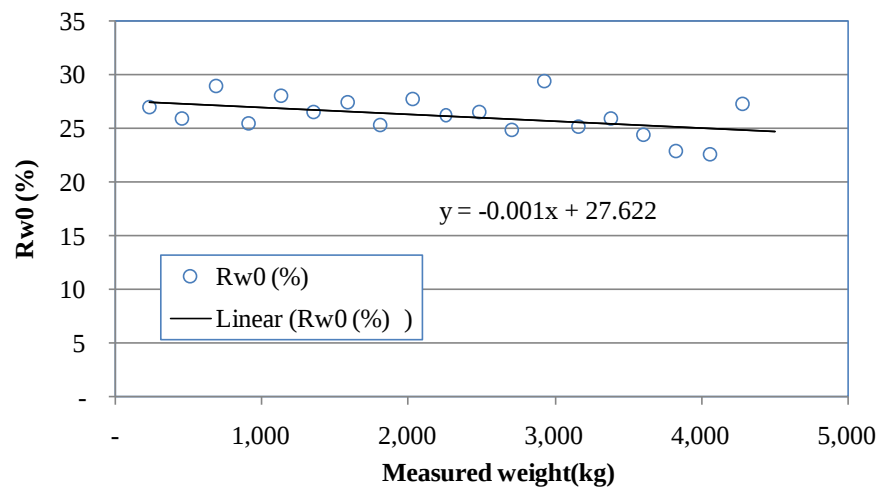
6. สร้างสมการสอบเทียบระหว่างค่าร้อยละของน้ำหนัก (Rw0 (%)) และค่าน้ำหนักของน้ำ (Wm (kg)) ได้สมการ $Rw0 = -0.001 Wm + 27.622$ ดังรูปที่ 4.26 ซึ่งจะนำไปใช้ในการทำนายค่าร้อยละของน้ำหนัก (Rwp (%)) ในการวัดน้ำหนักต่อไป

ตารางที่ 4.14 ตารางบันทึกค่าสัญญาณจากการทดสอบแบบอยู่กับที่

Measured Weight		Measured Signal (μ ST)			
Weight (kg) Wm	ΔWm (kg)	$(\mu$ ST)		$\Delta(\mu$ ST)	
		CH1	CH2	CH1	CH2
4,500.00	-	669.73	721.07	-	-
4,275.00	225.00	648.89	717.87	20.84	3.20
4,050.00	225.00	632.88	714.01	16.02	3.86
3,825.00	225.00	614.82	711.96	18.05	2.05
3,600.00	225.00	597.06	708.28	17.76	3.68
3,375.00	225.00	577.76	704.77	19.30	3.52
3,150.00	225.00	559.57	700.83	18.19	3.94
2,925.00	225.00	538.29	696.24	21.28	4.59
2,700.00	225.00	519.78	692.82	18.51	3.42
2,475.00	225.00	501.11	688.15	18.67	4.67
2,250.00	225.00	481.88	684.36	19.23	3.79
2,025.00	225.00	462.09	679.71	19.79	4.66
1,800.00	225.00	443.86	675.70	18.24	4.01
1,575.00	225.00	423.22	672.20	20.64	3.50
1,350.00	225.00	405.20	666.91	18.02	5.29
1,125.00	225.00	385.86	661.53	19.34	5.38
900.00	225.00	367.86	657.08	17.99	4.45
675.00	225.00	347.16	652.38	20.71	4.70
450.00	225.00	328.95	647.71	18.20	4.67
225.00	225.00	311.59	641.37	17.36	6.35

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงค่าร้อยละของน้ำหนักที่กดลงบนเซนเซอร์ของชุดวัดน้ำหนัก (Rw0(%))

Measured Weight ΔW_m (kg)	Calculated weight from signal using load cell equation					Actual Weight percentage acting on load cell $Rw0\text{ (\%)} = \Delta w_c / \Delta W_m$ $*100\%$
	$\Delta Force$ (kN)		Calculated Δw_c (kg)			
	$\Delta F = \Delta(\mu ST) * 0.02503$		$\Delta w_c = \Delta Force * 1000 / 9.81$			
	CH1	CH2	CH1	CH2	CH1+CH2	
225.00	0.52	0.08	53.17	8.16	61.33	27.26
225.00	0.40	0.10	40.86	9.85	50.71	22.54
225.00	0.45	0.05	46.07	5.23	51.30	22.80
225.00	0.44	0.09	45.31	9.38	54.70	24.31
225.00	0.48	0.09	49.25	8.97	58.22	25.88
225.00	0.46	0.10	46.40	10.04	56.45	25.09
225.00	0.53	0.11	54.31	11.71	66.01	29.34
225.00	0.46	0.09	47.23	8.73	55.96	24.87
225.00	0.47	0.12	47.62	11.92	59.54	26.46
225.00	0.48	0.09	49.07	9.66	58.73	26.10
225.00	0.50	0.12	50.48	11.88	62.36	27.72
225.00	0.46	0.10	46.53	10.22	56.75	25.22
225.00	0.52	0.09	52.65	8.94	61.59	27.37
225.00	0.45	0.13	45.99	13.49	59.47	26.43
225.00	0.48	0.13	49.35	13.72	63.07	28.03
225.00	0.45	0.11	45.91	11.36	57.27	25.45
225.00	0.52	0.12	52.83	12.00	64.83	28.81
225.00	0.46	0.12	46.45	11.90	58.35	25.93
225.00	0.43	0.16	44.30	16.19	60.49	26.89

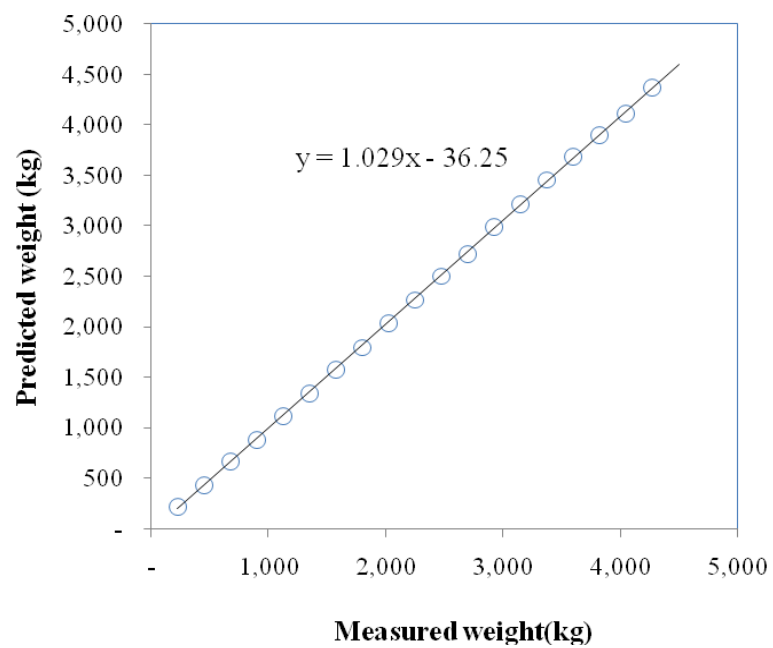


รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำหนักบนโหลดเซลล์กับน้ำหนักจริง

7. ทำการเปรียบเทียบค่าที่ทำนายหรือวัดได้จากชุดวัดน้ำหนักกับค่าน้ำหนักจริงของน้ำ ดังรูปที่ 4.27 และตารางที่ 4.16 และคำนวณค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) ซึ่งเป็นค่าชี้ผลที่แสดงถึงความแม่นยำของอุปกรณ์วัดพบว่ามีค่าเท่ากับ 32.90 กิโลกรัม โดยคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$$

เมื่อ x เป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง (number1,number2,...) และ n คือ ขนาดตัวอย่าง



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักจริงกับน้ำหนักทำนาย

ตารางที่ 4.16 ตารางเปรียบเทียบค่าน้ำหนักจริงกับค่าน้ำหนักทำนาย

Actual Weight (kg)	Predicted Weight percentage acting on load cell Rwp (%)	Predicted Weight (kg)	Error (kg)
4500	23.25		
4275	23.51	4372.15	97.15
4050	23.72	4111.27	61.27
3825	23.94	3897.51	72.51
3600	24.17	3683.22	83.22
3375	24.40	3456.87	81.87
3150	24.63	3218.28	68.28
2925	24.90	2989.13	64.13
2700	25.12	2723.99	23.99
2475	25.36	2501.22	26.22
2250	25.59	2266.40	16.40
2025	25.83	2036.85	11.85
1800	26.04	1795.39	4.61
1575	26.28	1577.49	2.49
1350	26.50	1343.12	6.88
1125	26.74	1118.72	6.28
900	26.95	882.84	17.16
675	27.19	670.37	4.63
450	27.40	431.93	18.07
225	27.62	219.00	6.00
Standard error		32.90	

4.6 ทดสอบระบบฯในแปลง โดยจำลองการเปลี่ยนแปลงน้ำหน้ากบรทุก เพื่อตรวจสอบผลของความสั่นสะเทือนต่อความแม่นยำในการวัด

จากการทดสอบการสอบเทียบโบลท์เกจ(Bolt Gauge) โดยใช้แบบจำลองโครงรถบรรทุก โบลท์เกจ (Bolt Gauge) แสดงค่าสัญญาณออกมาไม่ต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถนำค่าสัญญาณมาวิเคราะห์ได้ เมื่อนำโบลท์เกจ(Bolt Gauge) ไปติดตั้งกับโครงรถบรรทุก โบลท์เกจ(Bolt Gauge)แสดงค่าสัญญาณออกมาไม่ต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถนำค่าของอุปกรณ์วัดน้ำหน้ากบแบบโบลท์เกจ(Bolt Gauge) มาคำนวณได้ จึงใช้ค่าที่ได้จากอุปกรณ์วัดน้ำหน้ากบแบบโหลดเซลล์(Load Cell) เพียงอย่างเดียว

4.6.1 ผลการคำนวณการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำบนกระเบรบรรทุกเอียง

ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำเอียง

Measured Signal (μ ST)				Δw calculated from signal using load cell equation				
(μST)		$\Delta(\mu$ ST)		Δ Force (kN)		Δw (kg)		
CH1	CH2	CH1	CH2	CH1	CH2	CH1	CH2	CH1+CH2
251.25	289.25	-	-	-	-	-	-	-
247.00	291.75	4.25	-2.50	0.11	-0.06	10.84	-6.38	4.47
327.50	341.25	15.25	-25.25	0.38	-0.63	38.91	-64.42	-25.51
318.25	340.00	-15.50	4.75	-0.39	0.12	-39.55	12.12	-27.43
394.75	330.25	40.50	-18.25	1.01	-0.46	103.33	-46.56	56.77
522.00	216.50	-112.25	107.00	-2.81	2.68	-286.40	273.01	-13.40
463.50	336.50	-80.00	18.50	-2.00	0.46	-204.12	47.20	-156.92
450.25	416.50	-49.00	-28.50	-1.23	-0.71	-125.02	-72.72	-197.74
512.50	345.00	4.25	39.50	0.11	0.99	10.84	100.78	111.63
559.75	334.50	-18.50	43.50	-0.46	1.09	-47.20	110.99	63.79

ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำเอียง (ต่อ)

Measured Signal (μ ST)				Δw calculated from signal using load cell equation				
(μ ST)		$\Delta(\mu$ ST)		Δ Force (kN)		Δw (kg)		
CH1	CH2	CH1	CH2	CH1	CH2	CH1	CH2	CH1+CH2
533.25	382.00	-2.75	53.25	-0.07	1.33	-7.02	135.87	128.85
668.25	361.00	-19.75	4.50	-0.49	0.11	-50.39	11.48	-38.91
661.75	381.00	4.00	13.00	0.10	0.33	10.21	33.17	43.38
748.25	362.25	-33.50	29.25	-0.84	0.73	-85.47	74.63	-10.84
736.25	418.00	37.00	-19.25	0.93	-0.48	94.40	-49.12	45.29
792.50	377.50	-32.00	43.50	-0.80	1.09	-81.65	110.99	29.34
776.50	412.25	13.50	-39.25	0.34	-0.98	34.44	-100.15	-65.70
793.50	385.75	-4.50	15.75	-0.11	0.39	-11.48	40.19	28.70
794.25	371.50	-1.00	30.50	-0.03	0.76	-2.55	77.82	75.27
794.00	410.25	0.00	-24.25	0.00	-0.61	0.00	-61.87	-61.87
794.00	408.00	0.25	8.50	0.01	0.21	0.64	21.69	22.33
793.75	386.75	0.25	11.25	0.01	0.28	0.64	28.70	29.34
793.25	365.50	0.00	51.75	0.00	1.30	0.00	132.04	132.04
793.50	362.25	-0.25	74.75	-0.01	1.87	-0.64	190.72	190.09
795.50	437.25	-1.75	-35.25	-0.04	-0.88	-4.47	-89.94	-94.40

ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำเอียง (ต่อ)

Prediction Value				
ค่าเฉลี่ย 2 ค่า	ค่าเฉลี่ย 3 ค่า	ค่าเฉลี่ย 4 ค่า	ค่าเฉลี่ย 5 ค่า	ค่าเฉลี่ย 10 ค่า
-	-	-	-	-
-10.52	2.98	-6.86	-5.10	-5.10
46.88	36.78	10.52	51.92	17.80
67.93	-42.52	13.55	-9.57	16.65
89.62	-0.43	7.97	17.61	0.51

ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามจนถึงน้ำเอียง(ต่อ)

Prediction Value				
ค่าเฉลี่ย 2 ค่า	ค่าเฉลี่ย 3 ค่า	ค่าเฉลี่ย 4 ค่า	ค่าเฉลี่ย 5 ค่า	ค่าเฉลี่ย 10 ค่า
11.48	9.78	-24.88	-21.3	-8.8
-21.05	36.57	-30.62	3.57	9.44
-65.38	11.06	-3.83	-29.85	-6.95
110.67	33.17	47.04	42.23	-3.06
40.5	-0.43	5.42	27.68	6.57
76.54	20.2	6.7	24.88	0.89
25.83	8.5	-6.22	-4.21	-3.7
-48.48	3.83	1.91	-14.54	-2.87
16.27	8.29	1.12	5.23	4.72
34.13	5.95	-6.38	1.66	-0.38
-18.18	8.29	8.29	-1.02	-8.68
-18.5	-22.33	-6.54	3.83	11.42
12.76	-1.7	9.57	5.87	-2.1
-31.89	28.07	-8.45	5.61	-8.99
-77.18	-27.64	-9.41	-23.35	-0.64
17.86	9.78	8.61	14.93	7.27
14.99	-21.9	2.55	21.18	19.65
18.18	-2.13	24.88	28.45	12.25
36.36	20.41	26.63	19.52	-6.19
-29.66	-19.77	-13.4	-8.68	-2.49

ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามจนถึงน้ำเอียง(ต่อ)

Prediction Value			
ค่าเฉลี่ย 2 ค่า		ค่าเฉลี่ย 3 ค่า	
Rwp (%)	Weight New (kg)	Rwp (%)	Weight New (kg)
39.25		34.74	
39.22	11627.6	34.74	7113.26
38.47	10724.47	34	6266.35
38.23	10429.64	33.72	6219.77
36.94	9076.54	33.01	5390.52
36.03	8371.72	32.76	5109.59
35.25	7683.84	32.4	4663.86
34.54	7103.2	31.7	4045.88
34.53	6590.05	31.53	3801.1
33.87	6129.67	31.01	3390.02
33.56	5712.15	30.76	3074.57
32.57	4870.38	29.94	2288.82
31.9	4431.09	29.38	1742.12
31.4	3726.6	28.97	1320.62
30.87	3133.76	28.43	789.77
30.35	2783.38	28.14	486.94
30.18	2623.63	28.02	478.97
30	2337.49	27.97	357.62
29.54	1814.84	27.78	143.03
29	1646.68	27.49	32.91
28.6	915.58	27.56	98.92
28.03	355.77	27.51	31.9
27.74	47.91	27.49	119.5
27.58	46.68	27.58	46.68
27.62	0	27.62	0

ตารางที่ 4.17 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำเอียง (ต่อ)

Prediction Value					
ค่าเฉลี่ย 4 ค่า		ค่าเฉลี่ย 5 ค่า		ค่าเฉลี่ย 10 ค่า	
Rwp (%)	Weight New (kg)	Rwp (%)	Weight New (kg)	Rwp (%)	Weight New (kg)
35.04		34.01		33.41	
35.03	7422.67	33.99	6383.89	33.39	5783.43
34.28	6632.23	33.40	5619.81	32.77	5096.73
33.99	6326.72	33.13	5534.98	32.58	4901.99
32.95	5303.78	32.46	4783.36	31.87	4247.24
32.51	4961.01	32.12	4561.99	31.66	4069.10
32.09	4565.49	31.98	4350.89	31.56	3908.01
31.54	3927.22	31.37	3843.26	30.93	3328.52
31.33	3557.61	31.25	3492.43	30.78	3168.50
30.75	3112.69	30.70	2992.32	30.28	2636.34
30.49	2844.51	30.40	2693.70	30.01	2389.10
29.74	2143.07	29.61	1998.12	29.33	1722.63
29.26	1631.93	29.09	1522.98	28.82	1212.07
28.87	1248.51	28.76	1116.64	28.53	890.38
28.31	711.77	28.17	539.50	27.90	279.36
28.15	497.22	27.99	371.39	27.79	199.49
28.06	465.82	27.97	333.27	27.83	167.56
28.02	363.49	27.89	248.09	27.68	66.93
27.83	170.27	27.71	43.57	27.60	53.54
27.60	9.18	27.45	91.14	27.47	145.78
27.59	65.14	27.53	147.85	27.54	109.65
27.49	142.87	27.53	172.69	27.54	151.87
27.50	210.54	27.52	207.09	27.66	4.44
27.58	46.68	27.58	46.68	27.58	46.68
27.62	0.00	27.62	0.00	27.62	0.00

4.6.2 ผลการคำนวณการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำบนกระเบบรทุกตรง

ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง

Measured Signal (μ ST)				Δw calculated from signal using load cell equation				
(μ ST)		$\Delta(\mu$ ST)		Δ Force (kN)		Δw (kg)		
CH1	CH2	CH1	CH2	CH1	CH2	CH1	CH2	CH1+CH2
290	340	-	-	-	-	-	-	-
330.50	316.25	-40.50	23.75	-1.01	0.59	-103.33	60.60	-42.74
296.00	318.75	76.25	-19.75	1.91	-0.49	194.55	-50.39	144.16
466.25	209.75	62.25	22.25	1.56	0.56	158.83	56.77	215.60
292.50	410.50	-17.00	-51.00	-0.43	-1.28	-43.38	- 130.13	-173.50
385.75	368.25	0.00	-73.75	0.00	-1.85	0.00	- 188.17	-188.17
497.00	170.25	-145.25	225.75	-3.64	5.65	-370.60	576.00	205.39
371.50	444.50	-136.50	-80.75	-3.42	-2.02	-348.28	- 206.03	-554.31
391.75	472.50	17.25	-28.75	0.43	-0.72	44.01	-73.35	-29.34
540.50	354.75	-58.50	21.50	-1.46	0.54	-149.26	54.86	-94.40
551.75	369.00	-14.25	9.00	-0.36	0.23	-36.36	22.96	-13.40
627.00	413.25	61.25	-25.50	1.53	-0.64	156.28	-65.06	91.22
622.75	443.25	-5.50	72.75	-0.14	1.82	-14.03	185.62	171.59
622.25	496.75	-34.25	-40.00	-0.86	-1.00	-87.39	- 102.06	-189.45
640.50	500.50	-29.75	5.75	-0.74	0.14	-75.91	14.67	-61.24
659.00	439.00	97.50	40.50	2.44	1.01	248.77	103.33	352.10
690.50	559.75	23.50	-46.00	0.59	-1.15	59.96	- 117.37	-57.41
741.00	531.75	-15.50	-23.75	-0.39	-0.59	-39.55	-60.60	-100.15
688.75	547.25	80.50	-46.75	2.01	-1.17	205.39	- 119.28	86.11
704.00	532.25	-19.25	70.50	-0.48	1.76	-49.12	179.88	130.76
811.25	528.50	-35.00	15.75	-0.88	0.39	-89.30	40.19	-49.12
850.25	505.75	4.75	4.75	0.12	0.12	12.12	12.12	24.24

ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)

Measured Signal (μ ST)				Δw calculated from signal using load cell equation				
(μ ST)		$\Delta(\mu$ ST)		Δ Force (kN)		Δw (kg)		
CH1	CH2	CH1	CH2	CH1	CH2	CH1	CH2	CH1+CH2
838.50	516.75	-60.75	27.75	-1.52	0.69	-155.00	70.80	-84.20
754.50	578.00	102.75	-5.75	2.57	-0.14	262.16	-14.67	247.49
866.00	544.25	-77.25	68.50	-1.93	1.71	-197.10	174.78	-22.33

ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)

Prediction Value				
ค่าเฉลี่ย10ค่า	ค่าเฉลี่ย2ค่า	ค่าเฉลี่ย3ค่า	ค่าเฉลี่ย4ค่า	ค่าเฉลี่ย5ค่า
-	-	-	-	-
6.91	-19.77	-11.91	4.31	16.46
-12.88	147.03	36.57	43.85	25.26
0.38	81.01	62.72	66.98	34.32
-6.89	5.42	-2.34	-80.85	4.34
22.26	-66.66	-41.25	28.54	-57.28
9.19	-70.8	52.73	43.38	4.98
19.2	-203.16	-113.97	-94.09	-69.27
-24.49	48.48	14.67	-21.69	35.72
2.42	-68.57	48.48	-10.68	-10.21
4.53	-62.19	17.01	-12.6	-21.43
-19.26	44.01	6.8	24.4	46.44
8.16	118.01	96.96	-26.15	20.79
-13.52	-87.07	-52.94	-31.42	-37.63
-13.84	2.23	-20.84	-13.55	-43.5
22.52	20.73	46.99	45.45	-28.58
-18.69	74.95	24.66	82.13	17.48
1.79	-5.1	-2.13	11.16	15.95

ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)

Prediction Value				
ค่าเฉลี่ย10ค่า	ค่าเฉลี่ย2ค่า	ค่าเฉลี่ย3ค่า	ค่าเฉลี่ย4ค่า	ค่าเฉลี่ย5ค่า
-14.8	0	-63.79	13.87	15.31
3.13	0.64	-26.37	17.38	-16.84
-1.47	-8.93	3.61	-11.48	-1.66
7.02	5.1	12.33	9.25	8.55
-10.14	-49.43	-31.47	-2.71	-4.21
9.95	89.3	2.55	1.91	41.84
11.61	-22.33	-22.33	-22.33	-22.33

ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)

Prediction Value			
ค่าเฉลี่ย 10 ค่า		ค่าเฉลี่ย 2 ค่า	
Rwp (%)	Weight New (kg)	Rwp (%)	Weight New (kg)
34.48	-	41.81	-
34.50	6857.70	41.76	14187.77
34.60	7018.04	41.92	13952.00
34.02	6393.86	41.15	13327.23
34.10	6494.22	40.98	13348.91
33.78	6088.70	40.20	12739.88
33.74	6093.86	39.96	12517.86
33.58	5898.28	39.29	12185.41
32.72	5173.09	37.93	10184.04
32.43	4797.68	36.69	9259.59
31.98	4343.66	36.10	8653.73
30.96	3395.88	35.11	7365.10
30.71	3060.29	34.57	6602.75
30.40	2823.12	33.77	6409.16

ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)

Prediction Value			
ค่าเฉลี่ย 10 ค่า		ค่าเฉลี่ย 2 ค่า	
Rwp (%)	Weight New (kg)	Rwp (%)	Weight New (kg)
30.11	2536.41	33.25	5625.13
29.78	2080.20	32.60	4916.09
29.61	2056.01	31.82	3965.34
29.35	1724.02	31.06	3450.46
28.93	1362.16	30.82	3198.00
28.77	1141.41	30.49	2863.59
28.46	843.93	29.53	1939.26
28.13	482.89	28.85	1205.94
28.30	715.21	28.65	1200.27
27.84	186.06	28.42	480.85
27.62	42.03	27.62	80.82

ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)

Prediction Value					
ค่าเฉลี่ย 3 ค่า		ค่าเฉลี่ย 4 ค่า		ค่าเฉลี่ย 5 ค่า	
Rwp (%)	Weight New (kg)	Rwp (%)	Weight New (kg)	Rwp (%)	Weight New (kg)
37.07	-	36.69	-	35.59	-
37.03	9443.57	36.70	9069.20	35.64	7971.67
37.29	9565.45	36.87	9131.07	35.80	8106.58
36.62	8827.85	36.24	8431.98	35.21	7491.64
36.70	9087.03	36.13	8726.96	35.22	7583.88
35.85	8344.75	35.62	7916.49	34.70	7239.27
35.84	8070.41	35.58	7838.99	34.72	7085.31
35.32	8024.29	35.19	7831.21	34.32	6902.26
34.55	6881.80	34.55	6822.72	33.47	5739.75

ตารางที่ 4.18 ตารางค่าน้ำหนักทำนายจากการทดสอบภาคสนามขณะถึงน้ำตรง (ต่อ)

Prediction Value					
ค่าเฉลี่ย 3 ค่า		ค่าเฉลี่ย 4 ค่า		ค่าเฉลี่ย 5 ค่า	
Rwp (%)	Weight New (kg)	Rwp (%)	Weight New (kg)	Rwp (%)	Weight New (kg)
34.06	6294.74	33.52	5930.96	33.03	5443.01
33.54	5866.95	32.93	5374.16	32.48	4925.01
32.44	4801.03	31.94	4243.26	31.61	3845.97
32.33	4403.80	31.38	3846.29	31.15	3465.79
31.65	4193.27	31.00	3502.94	30.84	3335.77
31.32	3767.24	30.75	3172.66	30.44	2957.58
30.87	3094.10	30.18	2655.41	30.00	2476.04
30.38	2677.54	30.25	2357.15	30.02	2341.25
29.86	2249.12	29.66	1981.63	29.53	1858.96
29.45	2047.89	29.23	1560.59	29.19	1519.92
29.39	1856.88	29.12	1555.32	29.02	1452.24
28.86	1229.80	28.64	1056.14	28.57	948.85
28.41	749.08	28.33	675.53	28.27	618.47
28.33	814.25	28.28	663.64	28.30	695.48
28.08	449.78	27.96	188.26	27.96	188.26
27.62	80.82	27.62	80.82	27.62	80.82

4.6.3 ผลการค่าน้ำหนักจริงจากการคำนวณอัตราการไหล

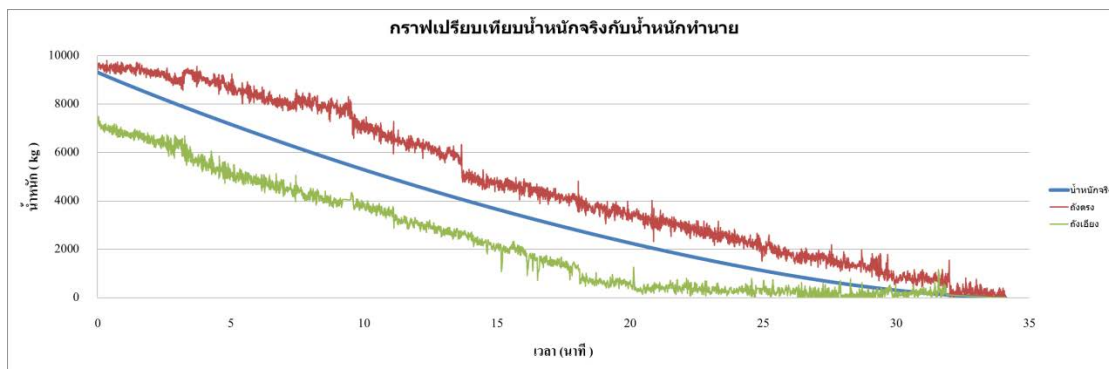
ตารางที่ 4.19 ตารางการคำนวณหาอัตราการไหล

อัตราการไหล			
ปริมาตร (ลิตร)	พื้นที่หน้าตัดน้ำ (ตรม.)	ความสูงของน้ำ (เมตร)	Mass Flow (kg/s)
9313.25	1.86	1.53	7.83
8631.42	1.73	1.35	7.35

ตารางที่ 4.19 ตารางการคำนวณหาอัตราการไหล (ต่อ)

อัตราการไหล			
ปริมาตร (ลิตร)	พื้นที่หน้าตัดน้ำ (ตรม.)	ความสูงของน้ำ (เมตร)	Mass Flow (kg/s)
7986.00	1.60	1.23	7.01
7368.04	1.47	1.13	6.73
6773.29	1.35	1.05	6.49
6200.11	1.24	0.98	6.25
5648.24	1.13	0.90	6.01
5117.92	1.02	0.83	5.77
4609.44	0.92	0.76	5.53
4122.87	0.82	0.70	5.28
3658.09	0.73	0.64	5.04
3214.82	0.64	0.58	4.81
2792.82	0.56	0.52	4.57
2392.09	0.48	0.47	4.33
2013.06	0.40	0.42	4.09
1656.82	0.33	0.37	3.83
1325.18	0.27	0.31	3.54
1020.83	0.20	0.26	3.22
747.25	0.15	0.20	2.85
508.57	0.10	0.15	2.44
309.32	0.06	0.10	1.98
154.02	0.03	0.05	1.47
46.68	0.01	0.02	0.91
0.00	0.00	0.01	0.49

4.6.4 ผลการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักจริงกับน้ำหนักทำนาย



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักกับเวลา

ตารางที่ 4.20 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักจริงกับน้ำหนักทำนาย

น้ำหนักจริง	น้ำหนักทำนาย		ค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน	
	ถึงเอียง	ถึงตรง	ถึงเอียง	ถึงตรง
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
9313.25	7422.67	9443.57	1890.59	2020.91
8631.42	6632.23	9565.45	1999.20	2933.23
7986.00	6326.72	8827.85	1659.27	2501.13
7368.04	5303.78	9087.03	2064.27	3783.25
6773.29	4961.01	8344.75	1812.28	3383.74
6200.11	4565.49	8070.41	1634.62	3504.92
5648.24	3927.22	8024.29	1721.02	4097.07
5117.92	3557.61	6881.80	1560.32	3324.20
4609.44	3112.69	6294.74	1496.75	3182.05
4122.87	2844.51	5866.95	1278.36	3022.44
3658.09	2143.07	4801.03	1515.03	2657.96
3214.82	1631.93	4403.80	1582.89	2771.87
2792.82	1248.51	4193.27	1544.31	2944.76
2392.09	711.77	3767.24	1680.32	3055.47

ตารางที่ 4.20 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักจริงกับน้ำหนักทำนาย (ต่อ)

น้ำหนักจริง	น้ำหนักทำนาย		ค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน	
	ถึงเอียง	ถึงตรง	ถึงเอียง	ถึงตรง
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
2013.06	497.22	3094.10	1515.84	2596.87
1656.82	465.82	2677.54	1191.00	2211.72
1325.18	363.49	2249.12	961.69	1885.63
1020.83	170.27	2047.89	850.56	1877.62
747.25	9.18	1856.88	738.07	1847.70
508.57	65.14	1229.80	443.43	1164.66
309.32	142.87	749.08	166.46	606.21
154.02	210.54	814.25	56.52	603.71
46.68	46.68	449.78	0.00	403.10
0.00	0.00	80.82	0.00	80.82

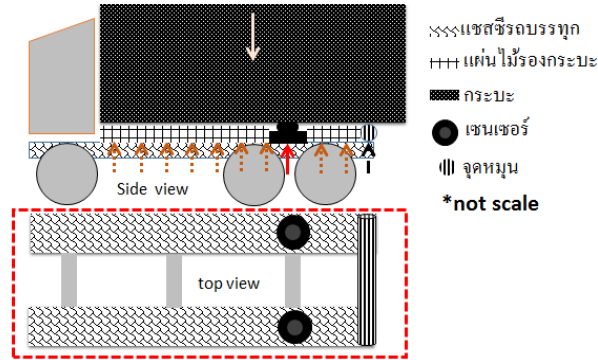
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ถึงเอียง เท่ากับ 675.8 kg

ถึงตรง เท่ากับ 499.01 kg

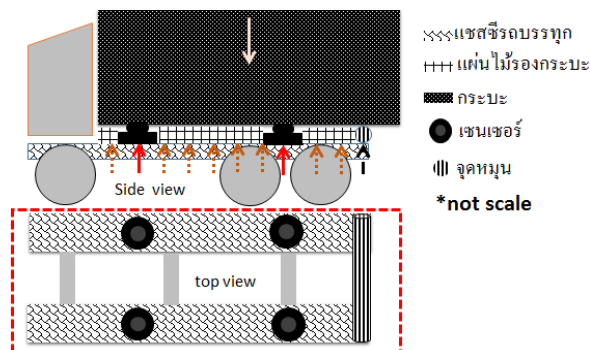
จากกราฟการทำนายน้ำหนัก เส้นสีเขียวคือค่าน้ำหนักจริงของน้ำที่ปล่อยออก และเส้นสีน้ำเงินคือค่าน้ำหนักทำนายที่ได้จากการคำนวณค่าสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์ ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์การบรรทุกอ้อยภายในแปลงโดยการปล่อยน้ำแบบรถเคลื่อนที่ จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักที่ทำนายยังมีความคลาดเคลื่อนกับค่าน้ำหนักจริง เนื่องจากหลายๆกรณี เช่น ขณะที่รถเคลื่อนที่ทำให้ น้ำภายในถังน้ำเคลื่อนตัว จึงเกิดการถ่ายเทของน้ำหนักของน้ำทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์ และในขณะที่รถเคลื่อนที่พื้นที่ของแปลงมีความลาดเอียงและมีความขรุขระ จึงทำให้เกิดการเอียงตัวและเกิดการสั่นสะเทือนของรถส่งผลให้น้ำภายในถังเกิดการเอียงตัวและเกิดการสั่นสะเทือนบริเวณเซนเซอร์ ทำให้ค่าสัญญาณที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน

4.7 วิเคราะห์ผลการทดสอบและพัฒนาโปรแกรมประมวลผลข้อมูลและปรับปรุงชุดวัดน้ำหนักฯ ให้มีความแม่นยำระหว่างการทำงานฯ

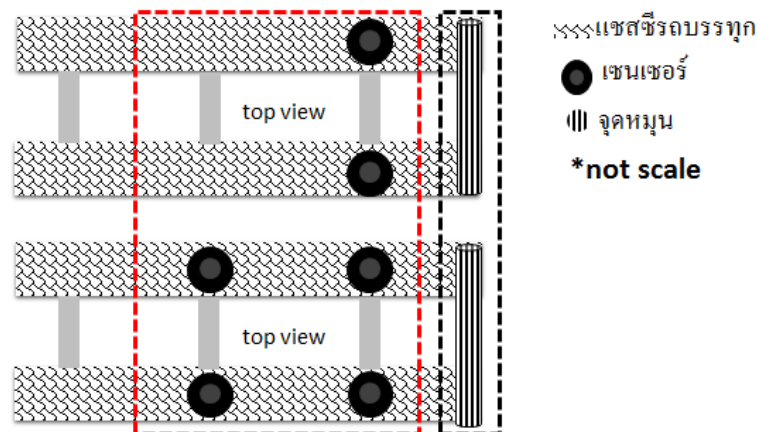


รูปที่ 4.28.. จุดรับแรงจากกระบะกรณีติดตั้งเซนเซอร์ 2 ตัว

ลักษณะของรถบรรทุกประเภทที่มีการยกเทกระบะได้ โดยทั่วไปจะมีจุดหมุนสำหรับยกเท และมีแผ่นไม้ขนาด 3 x 4 นิ้ว กั้นกลางระหว่างกระบะกับแชสซี (chassis) ของรถบรรทุก เพื่อรองรับน้ำหนักและป้องกันการโค้งงอของกระบะเมื่อมีน้ำหนักในกระบะปริมาณมาก จากลักษณะดังกล่าวบริเวณที่สามารถติดตั้งเซนเซอร์เพื่อการทดสอบและดัดแปลงโครงสร้างของรถบรรทุกน้อยที่สุดคือการนำเซนเซอร์ไปติดตั้งแทนเนื้อไม้ในบางจุด ซึ่งจุดจะติดตั้งเซนเซอร์เป็นจุดที่วิเคราะห์ได้ แล้วจำลองภาพการติดตั้งเซนเซอร์เข้าไปแทนไม้ดังรูปที่ 4.28 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีแรงหรือน้ำหนักใดๆกระทำที่กระบะ จะมีแรงปฏิกิริยาจากจุดรองรับ(support)คือแผ่นไม้ เซนเซอร์และจุดหมุน โดยช่วงเวลาการดำเนินการขณะเก็บเกี่ยวอ้อย ปลายสายพานลำเลียงของรถตัดอ้อยจะมีการโยกท่อนอ้อยลงบนกระบะของรถบรรทุก ซึ่งความเร็วในการโยกท่อนอ้อยแต่ละครั้งก็จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถตัดอ้อยที่จะสัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถบรรทุก ทำให้น้ำหนักที่กระทำบนกระบะไม่เท่ากันทั้งกระบะ ส่งผลให้จุดศูนย์กลาง (C.G) ของน้ำหนักรวมในกระบะแตกต่างกัน จึงมีการติดตั้งเซนเซอร์เพิ่ม จาก 2 ตัว เป็น 4 ตัว ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28..จุดรับแรงจากกระบะกรณีติดตั้งเซนเซอร์ 4 ตัว



รูปที่ 4.28 จุดรับแรงจากกระบอกกรณีติดตั้งเซนเซอร์ 2 ตัว เทียบกับ 4 ตัว

เมื่อนำการติดตั้งเซนเซอร์แบบ 2 ตัว กับ 4 ตัว มาเทียบกันดังรูปที่ 4.28 จะเห็นว่าแม้จะติดตั้งเซนเซอร์ 2 ตัว หรือ 4 ตัว น้ำหนักที่วัดได้จากเซนเซอร์ก็ไม่ใช่ น้ำหนักทั้งหมดที่อยู่ในกระบอกบรรจุทุกขณะนั้น แต่จะมีน้ำหนักหรือแรงกระจายที่จุดรองรับจุดอื่นๆ ซึ่งจะสามารถทราบน้ำหนักรวมทั้งหมดในกระบอกได้จากสมการ

$$W_c = \sum W_s + \sum W_x$$

$$= (W_c \times R_w) + (W_c \times (1 - R_w)) \quad (3.1)$$

เมื่อ W_c คือ น้ำหนักรวมทั้งหมดในกระบอก

W_s คือ น้ำหนักที่กระทำกับเซนเซอร์

W_x คือ น้ำหนักที่กระทำกับจุดรองรับอื่นๆ

R_w คือ ร้อยละของน้ำหนักที่กระทำที่เซนเซอร์ต่อน้ำหนักรวมในกระบอกบรรจุทุก

และ เมื่อ $R_w \times W_c = \sum W_s$

จะได้ $R_w = \frac{\sum W_s}{W_c} \quad (3.2)$

จากการที่จุดศูนย์กลาง (C.G) ของน้ำหนักรวมบนกระบอกเปลี่ยนตำแหน่งจากกึ่งกลางกระบอกเป็นตำแหน่งอื่นในกระบอก เนื่องจากรูปแบบการกองอ้อยที่แตกต่างกันที่มีผลมาจากการโรยท่อนอ้อยตามที่กล่าวมาข้างต้น ก็จะพบว่าสัดส่วนของแรงหรือน้ำหนักที่กระทำกับจุดรองรับแรงจากกระบอกแต่ละจุดไม่เท่ากัน ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงมีการศึกษาวิธีการประมวลผลสัญญาณประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การศึกษาร้อยละของน้ำหนักที่กระทำที่เซนเซอร์ต่อน้ำหนักรวมในกระบอกบรรจุทุก และการศึกษาสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งภายใต้รูปแบบแรงที่กระทำที่แตกต่างกัน

สำหรับการทดสอบระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์แบบโพลีเซลล์ซึ่งออกแบบระบบวัดน้ำหนักเป็น 2 ระบบคือ ระบบวัดน้ำหนักแบบมีเซนเซอร์ 2 ตัว และ 4 ตัว นำระบบฯ ทั้ง 2 แบบไปทดสอบกับกระบอกจำลอง ในห้องปฏิบัติ (ดังรูปที่ 4.29) เพื่อรวบรวมข้อมูลสัญญาณจากเซนเซอร์ใน

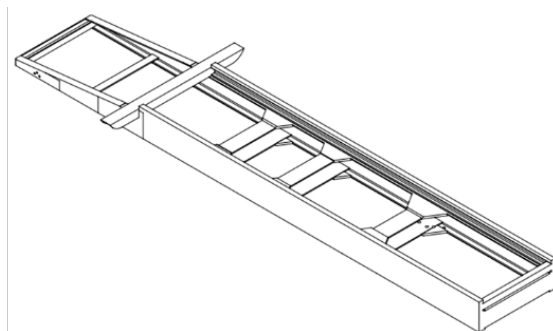
สภาวะที่มีน้ำหนักบรรทุกทุกกรณีต่างๆ และนำข้อมูลมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการทำนายค่าน้ำหนักอ้อยในกระบะ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้



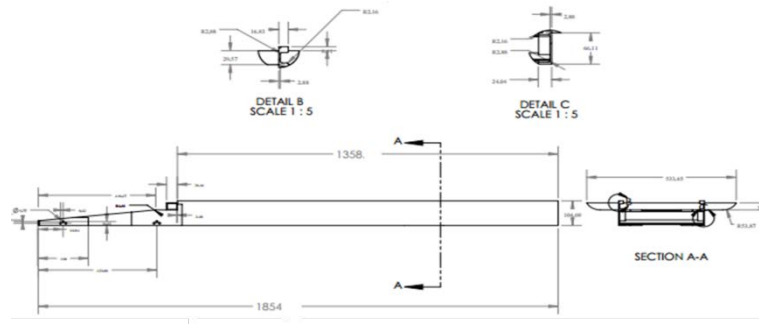
รูปที่ 4.29 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์ในตำแหน่งที่ติดตั้งแบบ 2 ตัว และ แบบ 4 ตัว

1. สร้างแบบจำลองโครงรถด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (solid work) โดยกำหนดให้วัสดุของแบบจำลองแชสซี (chassis) ตัวเป็นเหล็กกล้า (ASTM A36 Steel) และกระบะเป็นพลาสติก มีคุณสมบัติทางกลเป็นแบบ linear elastic isotropic (ปราโมทย์ เดชะอำไพ และคณะ, 2552)

2. ออกแบบให้แชสซีจำลอง (Model) ของรถบรรทุกสลิบล้อ สำหรับใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีขนาดย่อส่วนจากขนาดจริง โดยใช้วิธีการจำลองแชสซีตามกฎความคล้ายคลึง (law of similarity) ทางเรขาคณิต ด้วยหลักการวิเคราะห์เชิงมิติ (dimensional analysis) (จันทกานต์ ทวีกุล, ม.ป.ป) ได้ อัตราส่วนของแบบจำลองคือ 1:4.16 รูปที่ 4.30, 4.31)

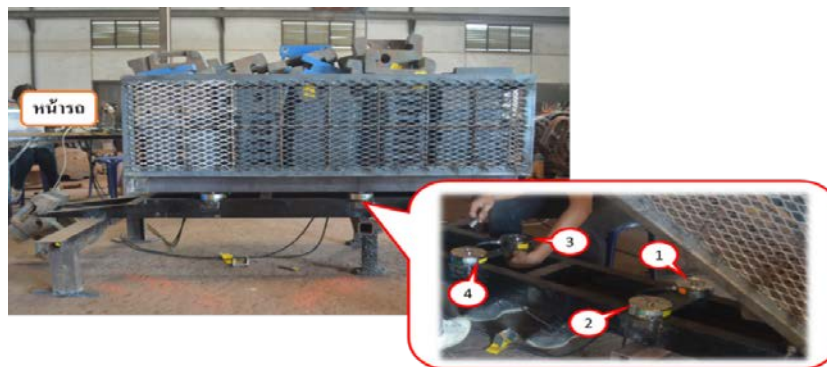


รูปที่ 4.31 ภาพแบบจำลองแชสซี (Chassis) มุมไอโซเมตริก



รูปที่ 4.31 สัดส่วนแซสซีจำลอง

3. ติดตั้งชุดเซนเซอร์กับโครงรถจำลองในตำแหน่งที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งโหลดตัวที่ 1(S1) ติดตั้งบริเวณท้ายโครงรถด้านขวา ตัวที่ 2 (S2) ติดบริเวณท้ายโครงรถด้านซ้าย ตัวที่ 3 (S3) ติดบริเวณหน้าโครงรถด้านขวาและตัวที่ 4 (S4) ติดบริเวณหน้าโครงรถด้านซ้าย(ดังรูปที่ 4.32)



รูปที่ 4.32 จุดติดตั้งเซนเซอร์แต่ละตัว

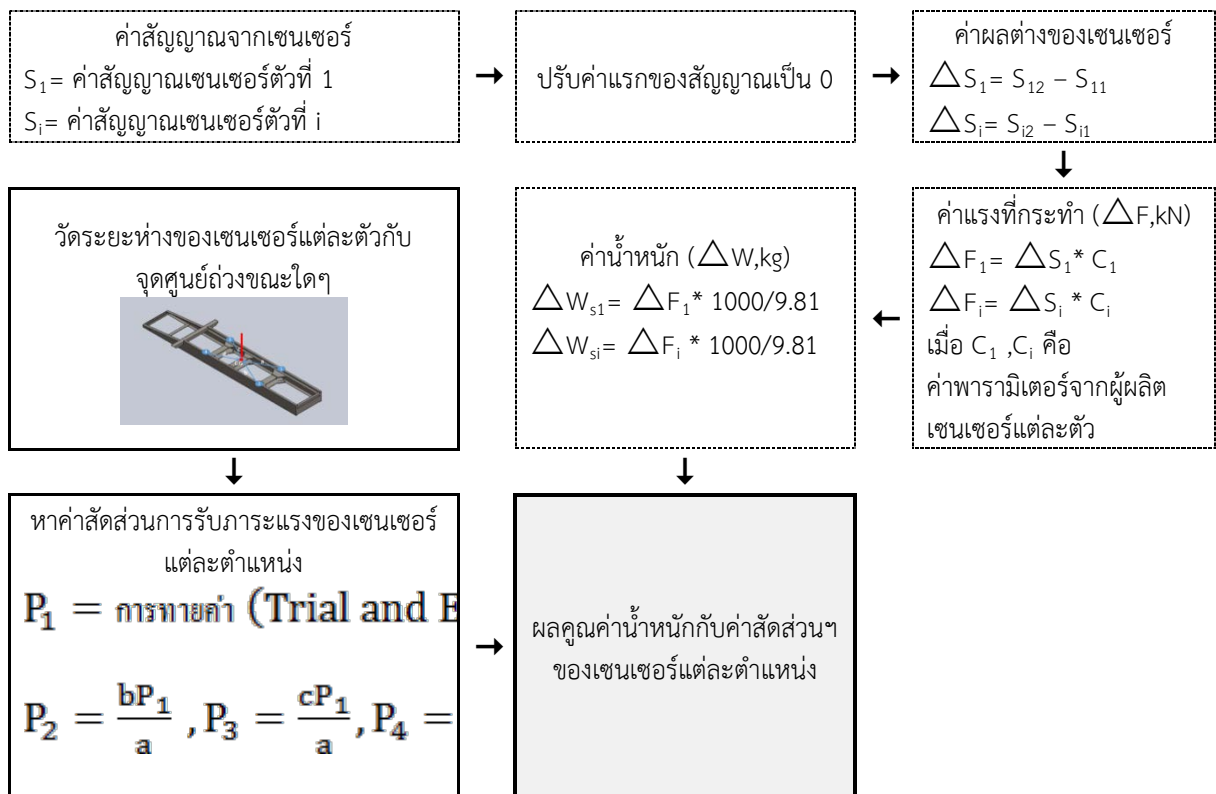
4. ทดสอบโดยวางเหล็กที่จัดรูปแบบการเรียงให้มีรูปร่างตามลักษณะของอ้อยที่กองบนกระบะ ใส่บนรถบรรทุก ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 รูปแบบการเรียงน้ำหนักบนกระบะ

5. เริ่มการทดสอบโดยการวัดค่าสัญญาณของน้ำหนักที่เปลี่ยนไปตามรูปร่างตามลักษณะการกองของอ้อยบนกระบะแต่ละแบบ

6. นำค่าสัญญาณที่แปลงเป็นค่าน้ำหนักไปวิเคราะห์หาค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง ขั้นตอนดังรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.34การคำนวณหาค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง

7. สร้างวิธีการประมวลผลสัญญาณเป็นค่าน้ำหนักโดยใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงที่กระทำของเซนเซอร์จากขั้นตอนที่ 6 ก็จะได้ค่าน้ำหนักที่กระทำบนเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง

สำหรับสมการในการทำนําน้ำหนักในกระบะจะสามารถหาค่าได้ดังสมการที่ 3.3

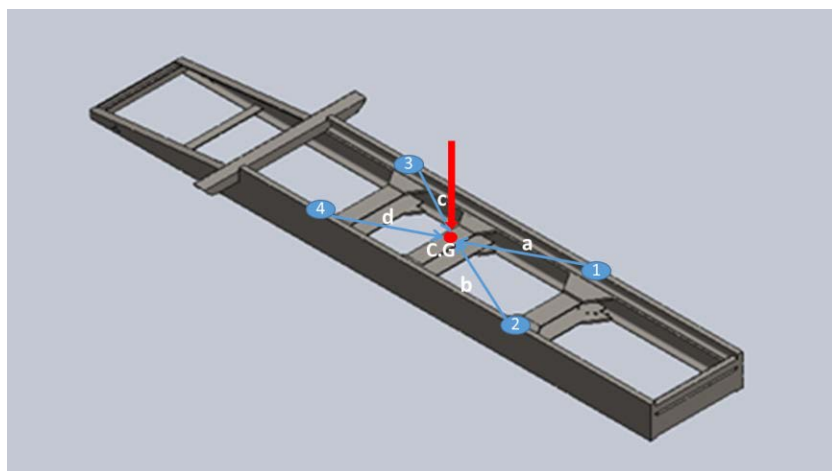
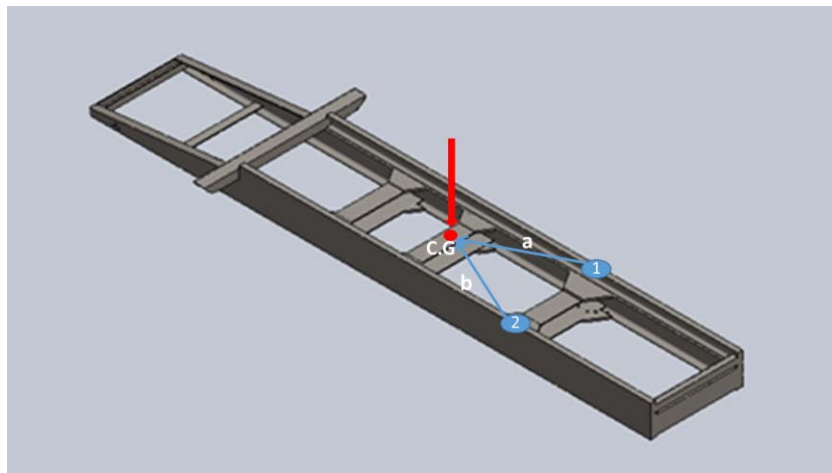
$$W = \frac{[(F_1 \times P_1) + (F_2 \times P_2) + (F_3 \times P_3) + (F_n \times P_n)]}{Rw} \quad (3.3)$$

ซึ่งค่า F คือค่าแรงที่คำนวณได้จากการนำค่าสัญญาณมาคูณกับค่าคงที่จากผู้ผลิต ค่า P หรือค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง และค่า Rw หรือค่าร้อยละของน้ำหนักที่กระทำที่เซนเซอร์ต่อน้ำหนักรวมในกระบะบรรจุทุก

ผลการศึกษาเมื่อใส่น้ำหนักเหล็กลงบนกระเบจจำลอง พบว่าน้ำหนักที่กระทำกับแซสซีจะมีจุดศูนย์ถ่วง(C.G)ที่แตกต่างกัน(รูปที่ 4.35) ซึ่งจุดศูนย์ถ่วงจะเปลี่ยนตำแหน่งตามรูปแบบน้ำหนักบนกระเบจ ส่งผลให้ภาระแรงที่กระทำบนเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน โดยพบว่าค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง(P) กรณีที่ใช้ระบบวัดน้ำหนักแบบเซนเซอร์2 ตัว จะมีค่า P1 และ P2 ตามรูปแบบน้ำหนักบนกระเบจแต่ละรูปแบบดังตารางที่ 4.21 ซึ่งคำนวณมาจากสมการ

$$P_1 = \text{การทายค่า (Trial and Error)}$$

$$P_2 = \frac{bP_1}{a}$$



รูปที่ 4.35แสดงตำแหน่งของระยะห่างจากจุดศูนย์ถ่วงไปยังเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีเซนเซอร์แบบ 2 ตัว (บน)และเซนเซอร์แบบ 4 ตัว(ล่าง)

ตารางที่ 4.21 ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงที่กระทำบนเซนเซอร์ แบบ 2 ตัว

กรณีที่น้ำหนักกระทำบนกระเบ	ค่าระยะจากจุดศูนย์ถ่วงถึงเซนเซอร์แต่ละตัว (ม.)		ค่าสัดส่วนการรับแรงที่กระทำบนเซนเซอร์	
	A	b	P1	P2
1. น้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ท่อนอ้อยพูนกึ่งกลางกระเบ	0.6279	0.6279	0.81	0.81
2. น้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ท่อนอ้อยพูนฝั่งใดฝั่งหนึ่งของกระเบ	0.3988	0.8625	0.61	1.32
3. น้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ท่อนอ้อยพูนอยู่ด้านกระเบ	1.4938	1.4938	0.81	0.81

ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง กรณีระบบวัดน้ำหนักแบบเซนเซอร์ 4 ตัว จะมีค่า P1,P2,P3 และ P4 ดังแสดงในตารางที่ 4.22 ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$P_1 = \text{การทายค่า (Trial and Error)}$$

$$P_2 = \frac{bP_1}{a}$$

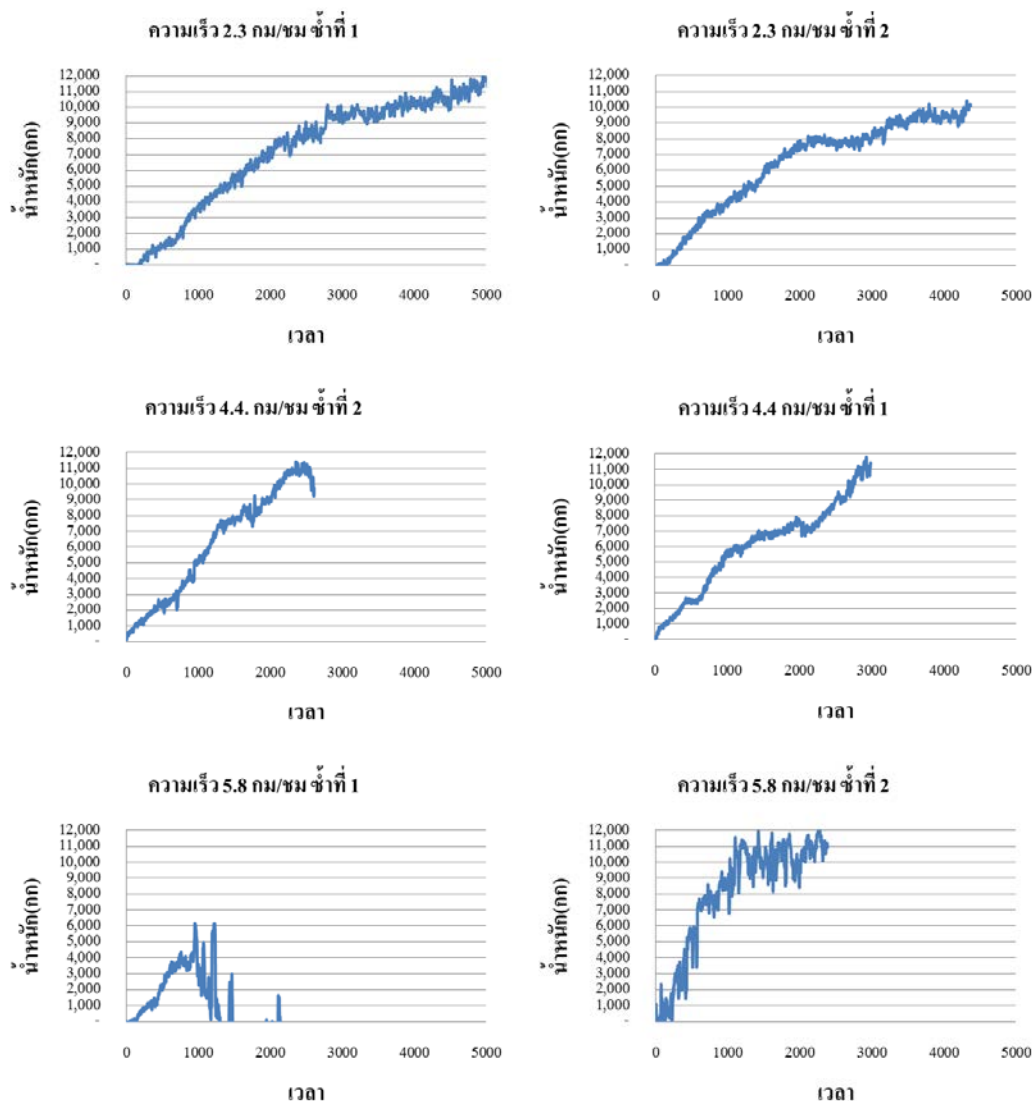
$$P_3 = \frac{cP_1}{a}$$

$$P_4 = \frac{dP_1}{a}$$

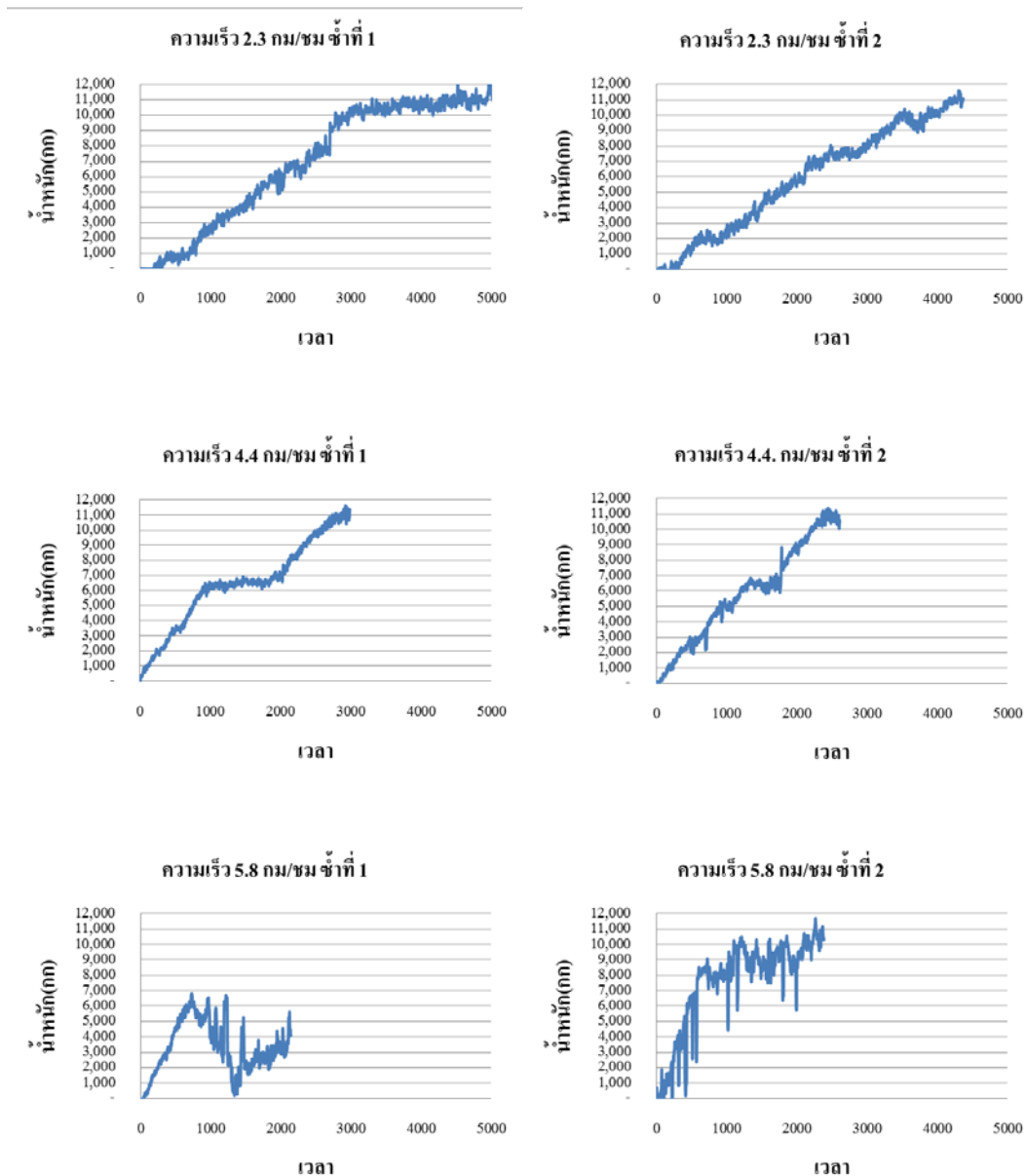
ตารางที่ 4.22 ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงที่กระทำบนเซนเซอร์ แบบ 4 ตัว

กรณีที่น้ำหนักกระทำบนกระเบ	ค่าระยะจากจุดศูนย์ถ่วงถึงเซนเซอร์แต่ละตัว(ม.)				ค่าสัดส่วนการรับแรงที่กระทำบนเซนเซอร์			
	A	B	C	D	P1	P2	P3	P4
1. น้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ท่อนอ้อยพูนกึ่งกลางกระเบ	0.006	0.6279	2.3933	2.3933	0.19	0.19	0.724	0.724
2. น้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ท่อนอ้อยพูนฝั่งใดฝั่งหนึ่งของกระเบ	0.3988	0.8625	2.3499	2.4712	0.12	0.26	0.707	0.744
3. น้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ท่อนอ้อยพูนอยู่ด้านกระเบ	1.4938	1.4938	1.2828	1.2828	0.53	0.53	0.455	0.455

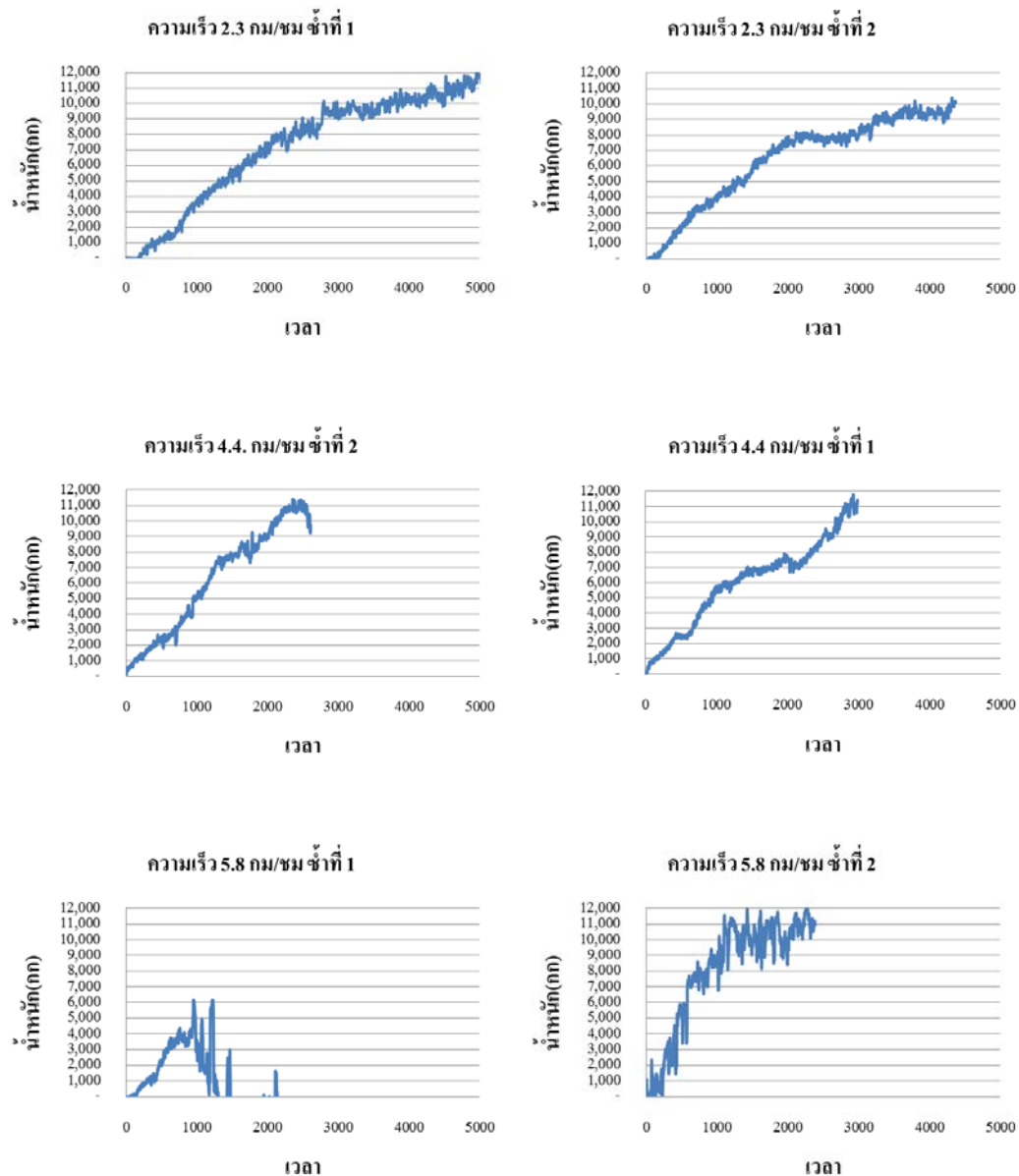
เมื่อนำค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งในตารางที่ 4-6 และ 4-7 มาคำนวณหาค่าน้ำหนัก และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักสะสมกับเวลาที่เปลี่ยนไปจะได้ความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.36 ถึง รูปที่ 4.41



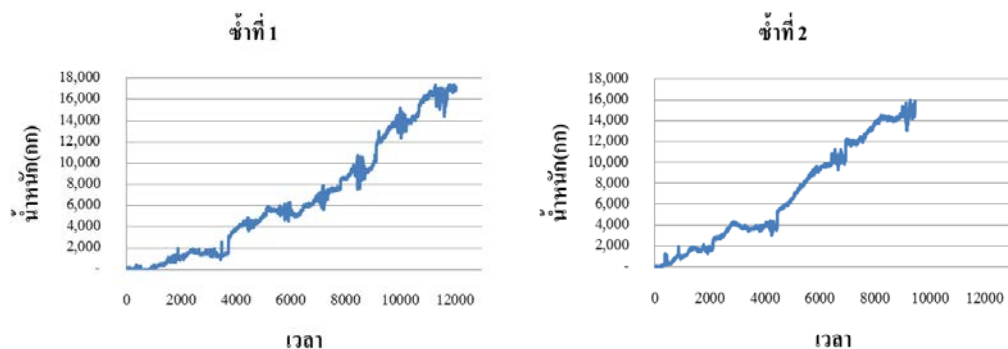
รูปที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์แบบ 2 ตัวที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกรูปแบบที่ค่อนข้างพูนกึ่งกลางกระเบ



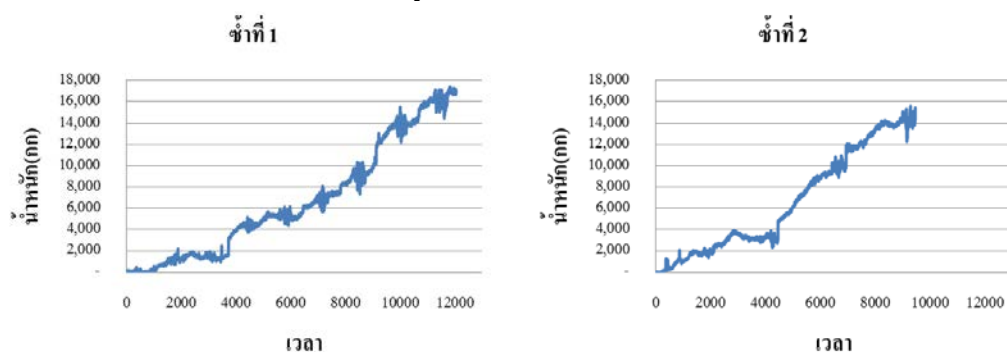
รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงของเซนเซอร์แบบ 2 ตัวที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกตามรูปแบบที่ท่อน้อย พูนฝั่งใดฝั่งหนึ่งของกระเบ



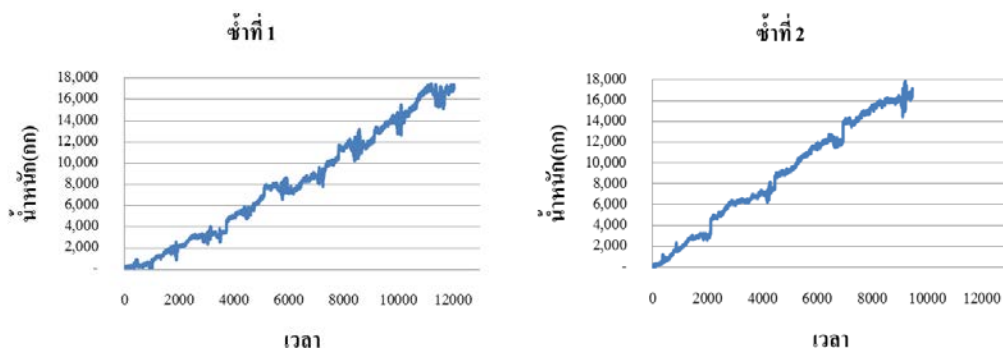
รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนกจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงของเซนเซอร์แบบ 2 ตัวที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนกบรรทุกทุกตามรูปแบบที่ท่อน้อยๆ



รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์แบบ 4 ตัวที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกตามรูปแบบที่ท่อน้อย
พุนกึ่งกลางกระบะ



รูปที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์แบบ 4 ตัวที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกตามรูปแบบที่ท่อน้อย
พุนฝั่งใดฝั่งหนึ่งของกระบะ



รูปที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์กับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของเซนเซอร์แบบ 4 ตัวที่ใช้ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่งกรณีน้ำหนักบรรทุกทุกตามรูปแบบที่ท่อน้อย
พุนด้านหน้ากระบะ

จากกราฟในรูปที่ 4.36 ถึง รูปที่ 4.41 พบว่าลักษณะการสะสมน้ำหนักของปริมาณอ้อยที่เปลี่ยนไปตามเวลาที่เปลี่ยนสำหรับระบบวัดน้ำหนักอ้อยเซนเซอร์แบบ 2 ตัว ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง(P) จากกรณีที่รูปแบบที่ท่อนอ้อยพุนอยู่ฝั่งใดฝั่งหนึ่งก่อน จะมีเส้นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆและมีค่าความชันดีกว่ารูปแบบอื่นๆ โดยมีค่าสัดส่วนฯ $P1 = 0.61$ และค่า $P2 = 1.32$ ส่วนระบบวัดน้ำหนักอ้อยเซนเซอร์แบบ 4 ตัว ค่าสัดส่วนฯจากกรณีที่รูปแบบที่ท่อนอ้อยพุนอยู่ด้านหน้ากระบะ จะส่งผลให้ค่าน้ำหนักสะสมมีเส้นแนวโน้มที่ดีกว่าอีกสองรูปแบบ ซึ่งมีค่าสัดส่วนฯดังนี้ คือ $P1, P2 = 0.53$ และ $P3, P4 = 0.46$

องค์ประกอบของต้นแบบระบบวัดน้ำหนักอ้อย

สำหรับองค์ประกอบต้นแบบระบบวัดและบันทึกน้ำหนักอ้อยแบบเรียลไทม์ จะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนประกอบระบบวัดน้ำหนัก วิธีการประมวลผลสัญญาณ และการติดตั้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนประกอบระบบวัดน้ำหนัก

1. เซนเซอร์ สำหรับเซนเซอร์ของระบบวัดน้ำหนัก จะเป็นเซนเซอร์แบบโหลดเซลล์ รุ่น CLG-100KNB ยี่ห้อ TML เป็นเซนเซอร์ที่มีขายแบบสำเร็จรูป จำนวน 2 ตัว สำหรับระบบวัดน้ำหนักแบบเซนเซอร์ 2 ตัว และจำนวน 4 ตัว สำหรับระบบวัดน้ำหนักแบบเซนเซอร์ 4 ตัว
2. เครื่องแปลงสัญญาณ สำหรับเครื่องแปลงสัญญาณจากค่าความต้านทานที่ได้จากทำงานของเซนเซอร์ให้เป็นค่าสัญญาณ จะเป็นยี่ห้อ KEYENCE รุ่น NR-500 ซึ่งสามารถรับค่าจากเซนเซอร์ได้มากที่สุด 4 ช่องสัญญาณ
3. จอแสดงผล ในส่วนของจอแสดงผลจะใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพายี่ห้อ Asus รุ่น Eee PC901 ซึ่งจะมีโปรแกรมสำหรับอ่านค่าสัญญาณจากเซนเซอร์

ตารางที่ 4.23 ส่วนประกอบของระบบวัดน้ำหนักฯ

ส่วนประกอบ	ระบบวัดน้ำหนักอ้อย	
	แบบเซนเซอร์ 2 ตัว	แบบเซนเซอร์ 4 ตัว
ชนิดเซนเซอร์	โหลดเซลล์ รับแรงได้ 10 ตัน	โหลดเซลล์ รับแรงได้ 10 ตัน
จำนวนเซนเซอร์	2	4
เครื่องแปลงสัญญาณ	ยี่ห้อ KEYENCE รุ่น NR-500	ยี่ห้อ KEYENCE รุ่น NR-500
คอมพิวเตอร์แสดงผล	ยี่ห้อ Asus รุ่น Eee PC901	ยี่ห้อ Asus รุ่น Eee PC901

วิธีประมวลผลสัญญาณ

ส่วนของวิธีการประมวลผลสัญญาณจะประกอบไปด้วย ร้อยละน้ำหนักที่กระทำที่เซนเซอร์ ต่อของน้ำหนักรวมในกระบะบรรจุทุก(%Rwp) และค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง (Parameter,P) และมีสมการทำนายน้ำหนักของแต่ละระบบดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ส่วนประกอบของสมการทำนายน้ำหนัก

รายการ	ระบบวัดน้ำหนักอ้อย	
	แบบเซนเซอร์ 2 ตัว	แบบเซนเซอร์ 4 ตัว
ร้อยละน้ำหนักที่กระทำที่เซนเซอร์ต่อของน้ำหนักรวมในระบบบรรทุก(%Rwp)	25.46 %	25.46 %
ค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง (Parameter,P)	P1 = 0.61 และค่า P2 = 1.32	P1,P2 = 0.53 และ P3,P4 = 0.46
สมการคำนวณค่าสัญญาณเป็นค่าน้ำหนัก	$W_t = \frac{[(W_{s1} \times P_1) + (W_{s2} \times P_2)] \times 100}{\%R_{wp}}$	$W_t = \frac{[(W_{s1} \times P_1) + (W_{s2} \times P_2) + (W_{s3} \times P_3) + (W_{s4} \times P_4)] \times 100}{\%R_{wp}}$

4.8 ทดสอบระบบในแปลง ตามลักษณะการเก็บเกี่ยวจริง

4.8.1 ผลการศึกษาความเร็วการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อน

ผลการศึกษา พบว่าค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกมีผลต่อความคลาดเคลื่อน เมื่อความเร็วในการทำงานของรถบรรทุกเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อน โดยที่ความเร็วในการทำงานของรถบรรทุกช่วง 2.15-2.45 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของระบบวัดน้ำหนักอยู่ที่ 1.45-3.57 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วในการทำงานของรถบรรทุกช่วง 4.13-4.83 กิโลเมตร/ชั่วโมงจะมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.26-7.06 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วในการทำงานของรถบรรทุกช่วง 5.63- 6.15 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 10.15 -63.85 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.25 ซึ่งที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากเมื่อรถบรรทุกมีการเคลื่อนที่ที่เร็วมากจะส่งผลให้บริเวณที่กดลงบนเซนเซอร์หลุดออกจากหัวเซนเซอร์ทำให้ค่าที่อ่านได้คลาดเคลื่อนจากค่าจริงมาก

ตารางที่ 4.25 ผลค่าความเร็วการทำงาน of รถบรรทุกและค่าความคลาดเคลื่อน

ชนิดเซนเซอร์	ซ้ำที่	ความเร็วการทำงาน of รถบรรทุก (กม./ชม.)	น้ำหนักจริง(ตัน/รถ)	น้ำหนักจากเซนเซอร์(ตัน/รถ)	Error (ตัน/รถ)	Error%
2 ตัว	1	2.15	11.70	11.53	0.17	1.45
	2	2.45	11.50	11.09	0.41	3.57
	1	4.13	11.40	11.37	0.03	0.26
	2	4.83	11.19	10.40	0.79	7.06
	1	6.15	11.70	4.23	7.47	63.85
	2	5.63	11.43	10.27	1.16	10.15

4.8.2 ผลทดสอบและเปรียบเทียบระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว กับ 4 ตัว

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อทดสอบโดยใช้ระบบวัดน้ำหนักเซนเซอร์แบบ 2 ตัว ที่ความเร็วในการทำงานเฉลี่ย 2.30 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะมีความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.51 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้ระบบวัดน้ำหนักเซนเซอร์แบบ 4 ตัว ที่ความเร็วในการทำงานเฉลี่ย 2.61 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะมีความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.38 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ผลค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว และ 4 ตัว

ชนิดเซนเซอร์	ซ้ำที่	ความเร็วการทำงาน ของรถบรรทุก(กม./ ชม.)	น้ำหนัก จริง(ตัน/ รถ)	น้ำหนักจาก เซนเซอร์(ตัน/ รถ)	Error (ตัน/รถ)	Error%
2ตัว	1	2.15	11.70	11.53	0.17	1.45
	2	2.45	11.50	11.09	0.41	3.57
	เฉลี่ย	2.30	11.60	11.31	0.29	2.51
4ตัว	1	2.64	17.42	17.33	0.09	0.52
	2	2.57	17.19	17.15	0.04	0.23
	เฉลี่ย	2.61	17.31	17.24	0.07	0.38

4.9 ประเมินผลการทำงานของชุดวัตน้ำหนัที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับแนวปฏิบัติเดิมในการชั่งน้ำหนักและจ่ายค่าอ้อยให้แก่เกษตรกร

ผลของการวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบวัตน้ำหนัของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว และ 4 ตัว จะมีผลการศึกษาใน 3 ส่วน คือ ค่าใช้จ่ายของระบบวัตน้ำหนั ค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลง และจุดคุ้มทุนของทั้งสองระบบ ซึ่งมีผลการศึกษา ดังนี้

4.9.1 ผลการศึกษาค่าใช้จ่ายของระบบวัตน้ำหนัของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว และ 4 ตัว ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายแปรผันของระบบวัตน้ำหนั ซึ่งระบบวัตน้ำหนั ประกอบด้วยเซนเซอร์แบบโพลีเซลล์มีราคาแรกซื้อของเซนเซอร์ตัวละ 50,000 บาท และเครื่องแปลงสัญญาณพร้อมหน้าจอแสดงผลราคาแรกซื้อ 30,000 บาท โดยค่าใช้จ่ายคงที่นี้จะคิดอยู่สองส่วนคือค่าเสื่อมราคาและค่าดอกเบี้ยในการลงทุนของระบบวัตน้ำหนั คิดที่อัตราดอกเบี้ย 7% และมีอายุการใช้งาน 1-3 ปี ทั้งนี้เนื่องจากระบบวัตน้ำหนัเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีลักษณะคล้ายๆพวกคอมพิวเตอร์ที่เมื่อหมดอายุการใช้งานก็จะไม่ค่อยมีการซื้อขายซากเพราะตกทุน อายุการใช้งานมากที่สุดของอุปกรณ์จำพวกนี้อยู่ที่ประมาณ 3 ปี จึงไม่ได้มีการคิดราคาซาก เมื่อนำค่าราคาแรกซื้อ อายุการใช้งาน และอัตราดอกเบี้ยมาแทนค่าในสมการที่ 2.12 และ 2.13 จะได้ค่าเสื่อมราคา ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน และค่าใช้จ่ายคงที่รวม ระบบวัตน้ำหนัของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว มีค่าใช้จ่ายคงที่ 15,795 บาท/ปี และระบบวัตน้ำหนัของเซนเซอร์แบบ 4 ตัว มีค่าใช้จ่ายคงที่ 27,945 บาท/ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.27 สำหรับค่าใช้จ่ายแปรผันของระบบวัตน้ำหนัเนื่องจากหากมีการใช้งานเซนเซอร์ที่ถูกต้องเหมาะสม ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จึงไม่นำมาคิด

ตารางที่ 4.27 ผลค่าใช้จ่ายคงที่ของระบบวัตน้ำหนั

รายการ	ระบบวัดและบันทึกน้ำหนักอ้อยแบบเรียลไทม์					
	แบบเซนเซอร์ 2 ตัว			แบบเซนเซอร์ 4 ตัว		
อายุการใช้งานของระบบวัตน้ำหนั (ปี)	1	2	3	1	2	3
ค่าเสื่อมราคาของระบบวัตน้ำหนั (บาท/ปี)	130,000	65,000	43,333	230,000	115,000	76,667
ค่าดอกเบี้ยในการลงทุนของระบบวัตน้ำหนั (บาท/ปี)	4,550	4,550	4,550	8,050	8,050	8,050
รวม (บาท/ปี)	134,550	69,550	47,883	238,050	123,050	84,717

4.9.2 ผลการศึกษาในส่วนค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลงของเซนเซอร์ทั้งสองแบบจากการทดสอบภาคสนาม พบว่าที่ความยาวแปลง 310 เมตร/แถว ระยะห่างระหว่างร่องอ้อย 1.65 เมตร มีพื้นที่ในการทดสอบคือ 0.96 ไร่ จะใช้เวลาในการทำงานต่อแถว 7.69 นาที/แถว ใช้เวลาใน

การเลี้ยวหัวงาน 1.08 นาที/แถว เวลาทำงานรวมทั้งหมด 27.10 นาที/ไร่ เมื่อนำค่าดังกล่าวมาคำนวณเปรียบเทียบและจำลองกรณีความยาวแปลงในการเก็บเก็บอ้อยแบบรวมแปลงขนาดต่างๆที่ยาวในช่วง 50-900 เมตร/แถว เมื่อความยาวแปลงเพิ่มขึ้นจะมีเวลาทำงานต่อแถวเพิ่มขึ้น แต่เวลาในการเลี้ยวหัวเลี้ยวเท่าเดิม คือ 1.08 นาที/แถว และเมื่อคิดเวลาทำงานทั้งหมดจะเห็นได้ว่าเวลาการทำงานทั้งหมดจะลดลงเมื่อความยาวแปลงเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.28 และมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งคำนวณจากสมการ 2.15 และอัตราการใช้น้ำมันหล่อลื่นคำนวณจากสมการ 2.16 ได้อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถตัดอ้อยอยู่ที่ 5.46 ลิตร/ชั่วโมงและของรถบรรทุกเท่ากับ 5 ลิตร/ชั่วโมง อัตราการใช้น้ำมันหล่อลื่นของรถตัดอ้อย 0.13 ลิตร/ชั่วโมงและของรถบรรทุก 0.12 ลิตร/ชั่วโมง มีค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าน้ำมันหล่อลื่นของแต่ละความยาวดังแสดงในตารางที่ 4.29 ส่วนค่าจ้างจากการสัมภาษณ์คุณกิตติพิชญ์ ให้ค่าจ้างคนขับรถตัดอ้อย 420 บาท/วัน และรถบรรทุก 400 บาท/วัน มีค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษารถตัดอ้อยอยู่ที่ 250,000 บาท/ปี และรถบรรทุก 150,000 บาท/ปี เมื่อนำมาคิดเป็นหน่วยบาท/ไร่ โดยมีชั่วโมงการทำงานอยู่ที่ 10 ชั่วโมง/วัน และ ในหนึ่งฤดูกาลเก็บเกี่ยวหรือหนึ่งปีทำงานงานอยู่ที่ 120 วัน ทำให้ได้ค่าจ้างแรงงานและค่าซ่อมแซมฯดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.28 ผลค่าพื้นที่การทำงานและเวลาในการทำงานของรถตัดอ้อยและรถบรรทุกในแต่ละความยาวแปลง

ความยาวแปลง (ม./แถว)	จำนวนแถว (แถว)	พื้นที่ (ไร่)	เวลาทำงานเฉลี่ย (นาที/แถว)	เวลาเลี้ยวหัวงานเฉลี่ย (นาที/แถว)	เวลาทำงานทั้งหมด (นาที/ไร่)
50	16	0.52	1.24	1.08	42.91
100	8	1.03	2.48	1.08	33.48
200	4	2.06	4.96	1.08	28.77
300	3	0.93	7.69	1.08	27.18
400	2	0.83	10.25	1.08	26.17
500	2	5.16	12.40	1.08	25.94
600	2	6.19	14.88	1.08	25.63
700	1	7.22	17.36	1.08	25.40
800	1	8.25	19.85	1.08	25.23
900	1	9.28	22.33	0.00	24.05

ตารางที่ 4.29 ผลค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าน้ำมันหล่อลื่นของรถตัดอ้อยกับรถบรรทุก

ความยาว แปลง	ราคาน้ำมัน เชื้อเพลิง	ราคาน้ำมัน หล่อลื่น	รถตัดอ้อย				รถบรรทุก			
			อัตราการใช้* น้ำมันเชื้อเพลิง	อัตราการใช้** น้ำมันหล่อลื่น	ค่าน้ำมัน เชื้อเพลิง	ค่าน้ำมัน หล่อลื่น	อัตราการใช้* น้ำมันเชื้อเพลิง	อัตราการใช้** น้ำมันหล่อลื่น	ค่าน้ำมัน เชื้อเพลิง	ค่าน้ำมัน หล่อลื่น
(ม./แถว)	(บาท/ลิตร)	(บาท/ลิตร)	(ลิตร/ชม.)	(ลิตร/ชม.)	(บาท/ไร่)	(บาท/ไร่)	(ลิตร/ชม.)	(ลิตร/ชม.)	(บาท/ไร่)	(บาท/ไร่)
50	30	100	5.46	0.13	121.43	9.44	5.00	0.12	111.31	8.79
100	30	100	5.46	0.13	92.85	7.22	5.00	0.12	85.11	6.72
200	30	100	5.46	0.13	78.56	6.11	5.00	0.12	72.01	5.68
300	30	100	5.46	0.13	74.19	5.77	5.00	0.12	68.01	5.37
400	30	100	5.46	0.13	71.41	5.55	5.00	0.12	65.46	5.17
500	30	100	5.46	0.13	70.70	5.50	5.00	0.12	64.81	5.12
600	30	100	5.46	0.13	70.22	5.46	5.00	0.12	64.37	5.08
700	30	100	5.46	0.13	67.84	5.27	5.00	0.12	62.19	4.91
800	30	100	5.46	0.13	67.84	5.27	5.00	0.12	62.19	4.91
900	30	100	5.46	0.13	67.84	5.27	5.00	0.12	62.19	4.91

*ใช้สมการ D497.4 ASABE

**ใช้สมการ D497.4 ASABE

ตารางที่ 4.30 ผลการศึกษาค่าจ้างและค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาของรถตัดอ้อยและรถบรรทุก

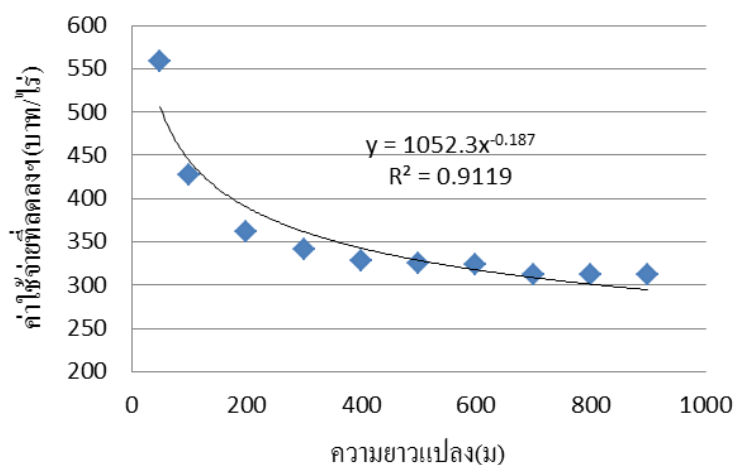
ความยาว แปลง (ม./แถว)	เวลาทำงาน ต่อวัน (ชม./วัน)	จำนวนวัน ทำงานต่อปี (วัน/ปี)	รถตัดอ้อย		รถบรรทุก	
			ค่าจ้างแรงงาน (บาท/ไร่)	ค่าซ่อมแซมฯ (บาท/ไร่)	ค่าจ้างแรงงาน (บาท/ไร่)	ค่าซ่อมแซมฯ (บาท/ไร่)
50	10	120	31.15	154.49	29.66	92.69
100	10	120	23.81	118.13	22.68	70.88
200	10	120	20.15	99.94	19.19	59.97
300	10	120	19.03	94.39	18.12	56.63
400	10	120	18.32	90.85	17.44	54.51
500	10	120	18.13	89.94	17.27	53.97
600	10	120	18.01	89.34	17.15	53.60
700	10	120	17.40	86.31	16.57	51.78
800	10	120	17.40	86.31	16.57	51.78
900	10	120	17.40	86.31	16.57	51.78

4.9.3 ผลการศึกษาการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน พบว่าเมื่อนำความยาวแปลงแต่ละความยาวกับค่าใช้จ่ายที่ลดลง เมื่อเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลงมีค่าดังตารางที่ 4.31 และเมื่อนำค่ามาสร้างความสัมพันธ์จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแปลง(x) กับค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลง(y) ดังรูปที่ 4.42 ได้สมการคือ

$$y = 1052.3x^{-0.187}$$

ตารางที่ 4.31 ผลของความยาวแปลงและค่าใช้จ่ายที่ลดลงรวมทั้งหมด

ความยาวแปลง(ม.)	ค่าใช้จ่ายที่ลดลงรวมทั้งหมด(บาท/ไร่)
50	558.96
100	427.39
200	361.61
300	341.51
400	328.72
500	325.43
600	323.23
700	312.27
800	312.27
900	312.27



รูปที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวแปลงกับค่าใช้จ่ายที่ลดลง

สำหรับการเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลง ขนาดของความยาวแปลงเมื่อรวมกันแล้วให้ประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการเก็บเกี่ยวอ้อยอยู่ในระดับที่คือความยาวแปลงในช่วง 200 เมตร ขึ้นไป และความยาวแปลงที่เหมาะสมกับเครื่องจักรขนาดใหญ่คือความยาวแปลงที่ 900 เมตร ทั้งนี้ การเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลง จะต้องประกอบด้วยความยาวของแปลงอ้อยสองแปลงมาต่อกัน ยกตัวอย่างเช่น หากเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลงที่ความยาวแปลงรวม 200 เมตร แปลงย่อยอีกสองแปลง อาจจะมีขนาด 50 + 150 เมตร หรือ 100 + 100 เมตรก็ได้ ซึ่งความยาวของแปลงย่อยจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวแบบรวมแปลง โดยใช้สมการ 4.6 ในการหาค่าใช้จ่ายที่ลดลงในแต่ละความยาวแปลงและจะได้จุดคุ้มทุนมีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

ความยาวแปลงรวม (ม.)	ความยาวแปลง 1 (ม.)	ความยาวแปลง 2 (ม.)	ค่าใช้จ่ายที่ลดลง (บาท/ไร่)	จุดคุ้มทุนเมื่ออายุใช้งานของระบบวัดฯ 1 ปี(ไร่/ปี)		จุดคุ้มทุนเมื่ออายุใช้งานของระบบวัดฯ 2 ปี(ไร่/ปี)		จุดคุ้มทุนเมื่ออายุใช้งานของระบบวัดฯ 3 ปี(ไร่/ปี)	
				2 ตัว	4 ตัว	2 ตัว	4 ตัว	2 ตัว	4 ตัว
200	50	150	527.92	255	451	132	233	91	160
	100	100	498.85	270	477	139	247	96	170
300	50	250	518.89	259	459	134	237	92	163
	100	200	473.30	284	503	147	260	101	179
	150	150	462.42	291	515	150	266	104	183
400	50	350	515.01	261	462	135	239	93	164
	100	300	463.74	290	513	150	265	103	183
	150	250	443.83	303	536	157	277	108	191
	200	200	438.20	307	543	159	281	109	193

จากตารางที่ 4.32 จะสังเกตได้ว่าเมื่อเริ่มมีการเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลงที่ความยาวแปลงมากๆ ค่าใช้จ่ายเมื่อเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลงจะลดลงเรื่อยๆ ซึ่งจุดคุ้มทุนเมื่อคำนวณจากการเก็บเกี่ยวอ้อยแบบรวมแปลงที่ยาวที่สุดคือ 900 เมตร และอายุการใช้งานของระบบวัดน้ำหนักฯ คือ 1 ปี สองค่านี้จะส่งผลให้จุดคุ้มทุนมีค่าสูงกว่าการคำนวณจากความยาวแปลงต่างๆ และอายุการใช้งานของระบบวัดน้ำหนักฯ 2 และ 3 ปี ทั้งนี้ก็ยังสามารถเห็นว่าระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 356 ไร่/ปี และระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์แบบ 4 ตัว จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 631 ไร่/ปี คิดเป็นระยะเวลาในหนึ่งฤดูกาลเมื่อคิดที่ความสามารถของรถตัดอ้อยทำงานได้ 8 ชั่วโมง/วัน จะพบว่า ระบบวัดน้ำหนักเซนเซอร์แบบ 2 ตัว จะใช้ระยะเวลาเพียง 45 วัน/ฤดูกาลเก็บเกี่ยว และแบบ 4 ตัวใช้ระยะเวลา 79 วัน/ฤดูกาล ซึ่งเมื่อเทียบกับวันทำงานในหนึ่งฤดูกาลเก็บเกี่ยวคือ 120 วัน แล้ว พบว่าเมื่อนำต้นแบบระบบวัดและบันทึกน้ำหนักอ้อยแบบเรียลไทม์นี้ไปใช้งานก็จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาเพียง 1 ปี

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

โครงการได้ดำเนินกิจกรรมแล้วเสร็จตามแผนการดำเนินงานได้แก่ การศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิธีการเก็บเกี่ยวอ้อยที่นิยมปฏิบัติในพื้นที่เป้าหมายซึ่งประกอบด้วย สำนวนวิธีเก็บเกี่ยวอ้อยที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ และการสำรวจกิจกรรมในภาคสนามเกี่ยวกับรูปแบบการเก็บเกี่ยวอ้อย (5กลุ่ม) และกิจกรรมการออกแบบและทดลองสร้างชุดเซนเซอร์วัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุกโดยได้สร้างแบบจำลองการกระจายความเค้นบนโครงสร้างหลักของรถบรรทุก และออกแบบชุดเซนเซอร์สำหรับการวัดน้ำหนักตามแนวทางที่ 1 และได้ทำการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ

จากนั้นได้ดำเนินการพัฒนาชุดประมวลผลสัญญาณจากเซนเซอร์ให้สามารถติดตั้งและใช้งานแปลงอ้อยได้ โดยชุดประมวลผลสัญญาณ ประกอบด้วย อุปกรณ์แปลงสัญญาณ อุปกรณ์ขยายสัญญาณ อุปกรณ์ประมวลผลข้อมูล สำหรับสเตรนเกจ สายสัญญาณ แหล่งพลังงาน และอุปกรณ์จับยึดชุดประมวลผลสัญญาณ ส่วนรูปแบบของเซนเซอร์ที่เลือกใช้ประกอบด้วย 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบโหลดเซลล์ (Load cell) และแบบโบลท์เกจ (Bolt gauge) แล้วจึงดำเนินการพัฒนาโปรแกรมสำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูลน้ำหนักที่ได้จากการประมวลผลสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม VBA ในโปรแกรม Microsoft excel เพื่อให้สามารถทำงานสอดคล้องกับชนิดของอุปกรณ์แปลงสัญญาณในชุดประมวลผลสัญญาณได้ ลำดับถัดมาได้นำชุดวัดน้ำหนักชุดทดสอบไปติดตั้งกับรถบรรทุกและทำการทดสอบระบบแบบอยู่กับที่และจำลองการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในกระเบบบรรทุก โดยการบรรทุกน้ำในถังน้ำ ขนาด 9000 ลิตรและถ่ายน้ำออกครั้งละ 225 ลิตร และบันทึกค่าสัญญาณ จากการทดสอบพบว่า รูปแบบเซนเซอร์ชนิดโหลดเซลล์มีการตอบสนองที่ดี ส่วนเซนเซอร์ชนิดโบลท์เกจมีการตอบสนองน้อย เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องความแม่นยำในการกลิ้งขึ้นรูปทำให้มีช่องว่างระหว่างเซนเซอร์และโครงแชสซีของรถบรรทุก จากสัญญาณของเซนเซอร์ชนิดโหลดเซลล์ สามารถสร้างสมการสอบเทียบเพื่อทำนาย ร้อยละของน้ำหนักที่ตกลงบนโหลดเซลล์เมื่อเทียบกับน้ำหนักทั้งหมด ทำให้สามารถคำนวณค่าน้ำหนักในกระเบบบรรทุกจากค่าสัญญาณจากชุดวัดน้ำหนักได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 32.90 กิโลกรัม

ในขั้นต่อมาได้ออกแบบระบบวัดน้ำหนักโดยใช้โหลดเซลล์ โดยออกแบบเป็น 2 แบบ คือ แบบใช้โหลดเซลล์ 2 ตัว และแบบใช้โหลดเซลล์ 4 ตัว เมื่อนำระบบทั้ง 2 แบบ ไปทดสอบกับกระเบบจำลอง (อัตราส่วนย่อขนาด 4.16 : 1) ในห้องปฏิบัติการ เพื่อรวบรวมข้อมูลสัญญาณจากเซนเซอร์ในสถานะที่มีพฤติกรรมการสะสมน้ำหนักบรรทุกรูปแบบต่างๆ (ตามข้อ 1) แล้วนำข้อมูลสัญญาณเซนเซอร์และน้ำหนักบรรทุกมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการทำนายค่าน้ำหนักอ้อยในกระเบบ ซึ่งผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า ค่าร้อยละของน้ำหนักบนเซนเซอร์ต่อน้ำหนักรวมในกระเบบ (%Rwp) และค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง (P) เป็นตัวแปรสำคัญของสมการ กล่าวคือ ค่าร้อยละของน้ำหนักบนเซนเซอร์ต่อน้ำหนักรวมในกระเบบ (%Rwp) มีค่าโดยเฉลี่ย 25.46 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัดส่วนการรับภาระแรงของเซนเซอร์แต่ละตำแหน่ง (P) สำหรับระบบวัดน้ำหนักแบบใช้เซนเซอร์ 2 ตัว ควรใช้ค่า $P_1 = 0.61$ และ $P_2 = 1.32$ ส่วนระบบวัดน้ำหนักแบบใช้เซนเซอร์ 4 ตัว ควรใช้ค่า $P_1, P_2 = 0.53$ และ $P_3, P_4 = 0.46$ โดยมีสมการในการทำนายน้ำหนัก ดังนี้

$$O \text{ แบบใช้เซนเซอร์ 2 ตัว, } W_t = \frac{[(W_{s1} \times P_1) + (W_{s2} \times P_2)] \times 100}{\%R_{wp}}$$

$$O \text{ แบบใช้เซนเซอร์ 4 ตัว, } W_t = \frac{[(W_{s1} \times P_1) + (W_{s2} \times P_2) + (W_{s3} \times P_3) + (W_{s4} \times P_4)] \times 100}{\%R_{wp}}$$

เมื่อนำระบบวัดน้ำหนักรูปแบบใช้เซนเซอร์ 2 ตัว และแบบ 4 ตัว ไปทดสอบการทำงานวัดน้ำหนักอ้อยในกระบะรถบรรทุกตัวอย่าง (ยี่ห้อ MISUBISHI รุ่น FUSO FN527 S) ที่กำลังทำงานเก็บเกี่ยวร่วมกับรถตัดอ้อยในแปลงเกษตรกร พบว่า ควรใช้ความเร็วในการทำงานในช่วง 2.24-2.67 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะทำให้ระบบวัดน้ำหนักแบบใช้เซนเซอร์ 2 ตัว เกิดความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 2.51 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแบบใช้เซนเซอร์ 4 ตัว เกิดความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 0.38 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ก็ยังสามารถเห็นว่าระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์แบบ 2 ตัว จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 356 ไร่/ปี และระบบวัดน้ำหนักของเซนเซอร์แบบ 4 ตัว จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 631 ไร่/ปี คิดเป็นระยะเวลาในหนึ่งฤดูกาลเมื่อคิดที่ความสามารถของรถตัดอ้อยทำงานได้ 8 ชั่วโมง/วัน จะพบว่า ระบบวัดน้ำหนักเซนเซอร์แบบ 2 ตัว จะใช้ระยะเวลาเพียง 45 วัน/ฤดูกาลเก็บเกี่ยว และแบบ 4 ตัวใช้ระยะเวลา 79 วัน/ฤดูกาล ซึ่งเมื่อเทียบกับวันทำงานในหนึ่งฤดูกาลเก็บเกี่ยวคือ 120 วัน แล้วพบว่าเมื่อนำต้นแบบระบบวัดและบันทึกน้ำหนักอ้อยแบบเรียลไทม์นี้ไปใช้งานก็จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาเพียง 1 ปี

บรรณานุกรม

- [1] ประสิทธิ์ ใจศิลป์, การเพิ่มมูลค่าและเสถียรภาพให้กับอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลโดยใช้ประโยชน์จากงานวิจัย, คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2557
- [2] รัตนา ตั้งวงศ์กิจ, พูลประเสริฐ ปิยะอนันต์, บพิตร ตั้งวงศ์กิจ, การศึกษาความเหมาะสมและผลกระทบการใช้เครื่องตัดอ้อยในประเทศไทย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา, สำนักหอสมุดม.เกษตรศาสตร์ (S675.3 ก271), 2538
- [3] กิตติพิชญ์ อิงสลิตย์ถาวร, การปลูกอ้อยและการพัฒนาประสิทธิภาพการปลูกอ้อย, สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2555, <http://oldweb.ocsb.go.th/udon/Udon11/080802-Kittiphit02.htm>
- [4] บพิตร ตั้งวงศ์กิจ, การทดสอบประสิทธิภาพและจัดทำฐานข้อมูลเครื่องจักรกลการเกษตรในไร่อ้อย, รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาด้านอ้อยภายใต้แผนแม่บทโครงการสร้างพื้นฐานทางปัญญา โครงการระยะยาว ปี 2552: เล่มที่ 1 ด้านพันธุ์และสารสนเทศ, 2552
- [5] ประสิทธิ์ ใจศิลป์, รายงานต้นทุนการผลิตอ้อย ปีเพาะปลูก 2556/57 โครงการจัดทำต้นทุนผลผลิตและถ่ายทอดองค์ความรู้เพื่อลดต้นทุนการผลิตอ้อยของเกษตรกรในปีเพาะปลูก 2557/58, 2558
- [6] F. Marinello, A. Pezzuolo, F. Gasparini¹, J. Arvidsson, L. Sartori, Application of the Kinect sensor for dynamic soil surface characterization, Precision Agric, DOI 10.1007/s11119-015-9398-, 2015
- [7] Hassan S. Chattha, Qamar U. Zaman, Young K. Chang, Aitazaz A. Farooque, Arnold W. Schumann, Gordon R. Brewster, Effect of lighting conditions and ground speed on performance of intelligent fertilizer spreader for spot-application in wild blueberry, Precision Agric, DOI 10.1007/s11119-015-9400-2
- [8] METHOD OF ESTIMATING CROP YIELDS, United States Patent Patent NO.: US 2004/0194442 A1, Oct. 7, 2004
- [9] SUGAR CANE YIELD MONITOR, United States Patent Patent NO.: US 6,272,819 B1, Aug. 14, 2001
- [10] SUGAR CANE YIELD MAPPING, United States Patent Patent NO.: US 8,955,402 B2, Feb. 17, 2015
- [11] สุกรี นันตะสุนนท์, อรรถสิทธิ์ บุญธรรม, วิจัยและพัฒนาเครื่องเกี่ยวตัดอ้อยทั้งลำขนาดเล็กลากพ่วงโดยรถแทรกเตอร์, รายงานการวิจัยและพัฒนา สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, 2551

-
- [12] สุพรรณ ยั่งยืน, การศึกษาและพัฒนากระบวนการคัดแยกดินและทรายออกจากอ้อยก่อนเข้าหีบเพื่อลดปริมาณการปนเปื้อนดินและทรายในกระบวนการผลิตน้ำตาล, วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2551
- [13] กุมุท สังขศิลา, แบบจำลองเพื่อหาตารางตัดอ้อยของชาวไร่เพื่อเข้าหีบโรงงานน้ำตาล, วิทยาสารกำแพงแสน, ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 หน้า 28-47, 2548
- [14] วิษรัตน์ บุผาพันธ์, ธีรภัฏ ธีรณกรสกุล, การศึกษาการตัดสินใจเลือกช่องทางการขายของเกษตรกรชาวไร่ อ้อยรายเล็กของบริษัทรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม จำกัด สาขามิตรภูเวียง จังหวัดขอนแก่น, วารสารวิจัย มข. ฉบับสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์(ฉบับธุรกิจและเศรษฐกิจ) ปีที่ : 10 ฉบับที่ : 2 : 212-224, 2554
- [15] วิชัย โอภาณกุล, สันธาร นาควัฒนานุกูล, คทาฐ จงสุขไว, มงคล ตุ่นเฮ้า, บาลทิพย์ ทองแดง1 นายदनัย ศารทูลพิทักษ์, สุชาติ สุขนิยม, ศึกษาสภาพการใช้เครื่องเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทย, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13, 4-5 เมษายน 2555 เชียงใหม่
- [16] ชูลีพร กุศลคุ้ม, กาญจนา เศรษฐนันท์, การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนในการผลิตอ้อยเข้าสู่โรงงานของชาวไร่ อ้อยรายย่อยในเขตพื้นที่ตำบลบัวขาว อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555, 17-19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี
- [17] เกรียงไกร رایณะสุข, สามารถ บุญอาจ, การประยุกต์ใช้เครื่องรับสัญญาณ GPS แบบพกพาเพื่อวัดกำลังของรถแทรกเตอร์, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14, 1-4 เมษายน 2556 พระนครศรีอยุธยา
- [18] J.P. Molin, L.A.A Menegatti, Field testing of a sugarcane yield monitor in Brazil, ASAE/CSAE Meeting Presentation, Ontario, Canada, 1-4 August 2004, Paper Number 041099
- [19] T JENSEN, C BAILLIE, R BRAMLEY, L Di BELLA, C WHITEING, R DAVIS, ASSESSMENT OF SUGARCANE YIELD MONITORING TECHNOLOGY FOR PRECISION AGRICULTURE, Proc Aust Soc Sugar Cane Technol, Vol 32, 2010
- [20] Claudia Brito Silva, Márcia Azanha Ferraz Dias de Moraes, José Paulo Molin, Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil, Precision Agric, 12:67–81, 2011
- [21] Fa´bio Henrique Rojo Baio, Evaluation of an auto-guidance system operating on a sugar cane harvester, Precision Agric, 13:141–147, 2012