

การศึกษารูปแบบการติดตั้งเซนเซอร์ที่เหมาะสม สำหรับวัดน้ำหนักอ้อยบนรถบรรทุกระหว่างการเก็บเกี่ยวอ้อย  
Optimize Sensor Installations for Measuring Sugarcane Weights on Trucks During Sugarcane Harvesting.

นรชน สาระ<sup>1</sup>, ปภาวรินทร์ เสนิมิม<sup>1</sup>, ประชา เสริมสกุล<sup>1</sup>, ขวัญตรี แสงประชานารักษ์<sup>1,2</sup>, เสรี วงศ์พิเชษฐ<sup>1,2\*</sup>, เจษฎา โพธิ์สม<sup>1,2</sup>,  
จันทรเพ็ญ โตสูงเนิน<sup>1</sup>

Narachon Sara<sup>1</sup>, Paphawarin Senmim<sup>1</sup>, Pracha Sermsakul<sup>1</sup>, Khwantri Saengprachatanarug<sup>1,2</sup>,  
Seree Wongpichet<sup>1,2\*</sup>, Jetsada Posom<sup>1,2</sup>, Junpen Tosoongnoen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 40002

<sup>1</sup>Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand

<sup>2</sup>กลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, 40002

<sup>2</sup>Applied Engineering for Important Crops of the North-East Research Group, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand.

\*Corresponding author: Tel: +66-8-5926-3126, Fax: +66-43-362-149, E-mail: serwon123@gmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการติดตั้งเซนเซอร์ที่เหมาะสม สำหรับวัดน้ำหนักอ้อยบนรถบรรทุกระหว่างการทำงานเก็บเกี่ยวอ้อย เพื่อนำไปพัฒนาการเก็บเกี่ยวแบบรวมแปลง โดยศึกษารูปแบบการโรยอ้อยลงในกระบะรถบรรทุกระหว่างการเก็บเกี่ยวอ้อยด้วยรถตัดอ้อย จากนั้นจึงพัฒนาสมการทำนายน้ำหนัก ด้วยวิธีการสร้างกระบะจำลองซึ่งย่อส่วนจากขนาดกระบะจริงด้วยอัตราส่วน 1 : 4.16 ติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุด และ 4 จุด แล้วทดลองเพิ่มน้ำหนักลงในกระบะตามผลการศึกษารูปแบบการโรยอ้อย และนำข้อมูลมาพัฒนาสมการด้วยวิธี Multiple Linear Regression (MLR) หลังจากนั้นจึงนำสมการไปทดสอบความแม่นยำ ด้วยวิธีการทดสอบภาคสนาม ซึ่งใช้รถบรรทุกสิบล้อ (MISUBISHI รุ่น FUSO FN527 S) โดยเก็บเกี่ยวอ้อยในแปลงยาว 450 m ด้วยความเร็วเฉลี่ย 2.3 km/hr จำนวน 2 ซ้ำ แล้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากสมการกับน้ำหนักจริง ผลการศึกษาพบว่า มีรูปแบบการโรยอ้อยลงในกระบะรถบรรทุก 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการโรยจากด้านหน้ากระบะไปยังด้านหลัง รูปแบบการโรยจากกึ่งกลางกระบะกระจายออกโดยรอบ และรูปแบบการโรยจากฝั่งซ้ายกระบะไปยังฝั่งขวา (หรือจากขวาไปซ้าย) และสามารถพัฒนาสมการทำนายน้ำหนักได้ 18 สมการ (3 วิธีปรับค่าสัญญาณ x 3 รูปแบบการโรยอ้อย x 2 รูปแบบการติดตั้งโหลดเซลล์) เมื่อทดสอบภาคสนาม พบว่ารูปแบบการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 4 จุด จะให้ผลการทำนายน้ำหนักแม่นยำกว่าแบบ 2 จุด โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 10% - 15% และพบว่าวิธีปรับค่าสัญญาณจากโหลดเซลล์แบบเฉลี่ยเคลื่อนที่ 5 จุด จะทำให้สมการสามารถทำนายน้ำหนักได้สม่ำเสมอกว่าวิธีปรับค่าสัญญาณแบบเฉลี่ย 3 จุด และแบบใช้สัญญาณดิบ

**คำสำคัญ:** รูปแบบการติดตั้งโหลดเซลล์, น้ำหนักอ้อยระหว่างการเก็บเกี่ยว, สมการทำนายน้ำหนัก

#### Abstract

This research aims to study the appropriate sensor installation for measuring accumulated sugarcane sugarcane weights on trucks during harvesting as a tool for the integrated-field harvesting. To develop the accumulated weight prediction equations from the sensor signal, the model of the bin was constructed with the ratio of 1:4.16 of the actual size. Then the two-point and four-point load cells were installed, then the stationary test was started by adding weight to the bin while measuring sensor's signals. The linear regression equation (MLR) was used to develop the equation. For the field experiments, MISUBISHI FUSO FN527 S was used to contain harvested sugarcane at 2.3 km / hr. Then the weights obtained from the equations were compared with the actual weights. The study indicated that there are three types of sugarcane loading patterns in the truck: from the front to the rear of the bin, from the middle of bin, from the left side or right side of the bin. The equation for weight prediction can be developed in 18 equations (3 ways of preprocessing methods of signal x 3 models of sugarcane loading patterns x 2 forms of load cell installation). Installing 4-point load cell was resulted in more accurate

predictions than 2-point, with an average error of 10% -15%. It was found that the method of the 5-points moving average would allow the equation to predict the weight more consistently than the three-point average and three-dimensional.

**Keywords:** Load cell configuration, sugarcane weight during harvest, weight prediction

## 1 บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ ซึ่งประเทศไทยผลิตน้ำตาลจากอ้อยส่วนใหญ่เพื่อส่งออกต่างประเทศประมาณร้อยละ 70 ของผลผลิตทั้งหมด โดยการเก็บเกี่ยวอ้อยทำได้โดยใช้แรงงานคนหรือใช้รถตัดอ้อย ปัจจุบันยังขาดแคลนแรงงานตัดอ้อยจึงทำให้รถตัดอ้อยมีบทบาทที่สำคัญและลดปริมาณการเผาอ้อยลงเนื่องจากการเก็บเกี่ยวด้วยคนต้องตัดอ้อยไฟไหม้ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักและคุณภาพความหวานในการเก็บเกี่ยวโดยใช้รถตัดอ้อยนั้น เมื่อรถวิ่งสุดแปลงต้องเสียเวลาในการกลับรถซึ่งเสียเวลาและสิ้นเปลืองพลังงาน หากทำการตัดอ้อยแบบรวมแปลงได้ก็จะช่วยประหยัดพลังงาน สำหรับประเทศไทยความยาวร่องอ้อยที่เหมาะสมน่าจะอยู่ที่ระยะ 450 m หรือระยะ 250 m ขึ้นไป เพราะเนื่องจากหากคำนวณตามพื้นที่ระยะระหว่างร่อง 1.65 m x 450 m x 2 m ร่อง ถ้าผลผลิตอ้อยไร่ละ 20 ton รถบรรทุกได้น้ำหนักอ้อยเฉลี่ยคันละ 17-18 ton ฉะนั้น สามารถตัดอ้อย 2 ร่องได้ปริมาณอ้อยเต็มร่องพอดีและเป็นการลดการเหยียบย่ำในแปลงอ้อย (กิตติพิชญ์, 2555) การส่งเสริมให้เกษตรกรที่มีแปลงอ้อยติดกันทำการรวมแปลงเพื่อเพิ่มความยาวของแปลงอ้อยจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของรถตัดอ้อย แต่การที่จะรวมแปลงได้นั้นต้องได้รับการยินยอมจากเกษตรกรที่มีแปลงอ้อยติดกัน แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์ที่ให้ความน่าเชื่อถือในการแบ่งน้ำหนักอ้อยเพื่อได้ค่าตอบแทนจากผลผลิตที่เก็บเกี่ยว ซึ่งน้ำหนักอ้อยแต่ละแปลงมีน้ำหนักไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงได้พัฒนาอุปกรณ์วัดน้ำหนักในแปลง โดยจะติดตั้งในโครงของตัวรถบรรทุกเพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่วัดได้ตรงกับค่าน้ำหนักมาตรฐานที่เกษตรกรยอมรับยังไม่มีอุปกรณ์วัดและบันทึกน้ำหนักอ้อยภายในแปลง ซึ่งการตัดอ้อยแบบรวมแปลงไม่สามารถแยกได้ว่าปริมาณอ้อยในแปลงของใครมีปริมาณมากกว่ากัน โดยที่อ้อยแต่ละแปลงมีน้ำหนักที่แตกต่างกัน จึงทำให้การตัดอ้อยแบบรวมแปลงเกิดปัญหาในการแบ่งปันปันส่วน มีงานวิจัยของ ณพงษ์ และคณะ (2559) ได้ทำการพัฒนาเซนเซอร์ (sensor) วัดค่าน้ำหนักอ้อยบนรถบรรทุกระหว่างทำงานเก็บเกี่ยวอ้อยในแปลงแบบติดตั้งสองจุด โดยใช้เซนเซอร์แบบโหลดเซลล์และโบลต์เกจ แต่ประสบปัญหาว่าโบลต์เกจเมื่อนำมาสอบเทียบปรากฏว่าค่าสัญญาณไม่แสดงผล ส่วนเซนเซอร์แบบโหลดเซลล์สองจุดมีความเป็นไปได้ โดยค่าน้ำหนักที่วัดได้ มีความคลาดเคลื่อนสูงมาก ดังนั้น โครงการนี้จึงสนใจศึกษารูปแบบการติดตั้งเซนเซอร์วัดน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวัดน้ำหนักอ้อยบนรถบรรทุก ระหว่างการทำงานเก็บเกี่ยวอ้อยในแปลง โดยทดสอบเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าน้ำหนักที่วัดได้ ระหว่างรูปแบบการติดตั้งเซนเซอร์แบบ 2 จุด และ 4 การศึกษานี้จึงมี

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการโรยอ้อยเพื่อจำลองในการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อสร้างสมการทำนายนำไปใช้ในการทดสอบภาคสนาม เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดน้ำหนัก โดยทดสอบขณะเก็บเกี่ยวอ้อยในแปลง โดยหวังว่าจะได้ชุดเซนเซอร์วัดน้ำหนักที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น เมื่อมีเกษตรกรนำไปใช้ คาดว่าในอนาคตจะทำให้การเก็บเกี่ยวอ้อยสามารถทำให้เกษตรกรสามารถลดต้นทุนในการเก็บเกี่ยวอ้อย ลดเวลาการทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 ศึกษารูปแบบการโรยอ้อยหลังตัด ลงบนกระบะของรถบรรทุก ขณะเก็บเกี่ยวอ้อยในแปลง

การศึกษาในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบพฤติกรรมของน้ำหนักอ้อยที่เพิ่มขึ้นในกระบะ โดยน้ำหนักที่ลงบนกระบะในการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งมีหลายรูปแบบ โดยเริ่มจากการศึกษาพฤติกรรมการลงน้ำหนักของอ้อยบนกระบะจากงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมา เช่น ณพงษ์ และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาการติดตั้งเซนเซอร์แบบ 2 จุดและตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ที่เหมาะสม และศึกษาพฤติกรรมการลงน้ำหนักของอ้อยจากการทำงานจริงในแปลงโดยการติดตั้งกล้องวิดีโอ มีวิธีการติดตั้งนี้ นำกล้องวิดีโอไปติดตั้งในตำแหน่งปลายวงของรถตัดทั้ง 2 ด้าน (Figure 1) เพื่อดูการโรยอ้อยของรถตัดลงในกระบะรถบรรทุกขณะทำงานในแปลงทดสอบเนื่องจากตรงตำแหน่งปลายวงของรถตัดนี้เห็นการโรยอ้อยได้ชัดและสามารถติดตั้งได้ง่ายไม่ต้องตัดแปลงรถของเกษตรกรมาก จึงเลือกตำแหน่งนี้ในการติดตั้งวิดีโอ (Figure 2) เพื่อดูการกระจายน้ำหนักของอ้อยลงบนรถบรรทุกขณะทำการเก็บเกี่ยว



Figure 1 Video camera mount point with a cutter's turkey





Figure 2 Installation of video camera with a cutter's turkey

### 2.2 ศึกษาการทำงานของเซนเซอร์ในห้องปฏิบัติการ จากการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุด และ 4 จุด

การศึกษาในห้องปฏิบัติการมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบการตอบสนองของเซนเซอร์จากการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุดและ 4 จุด ซึ่งใช้พฤติกรรมน้ำหนักบรรทุกบนรถบรรทุกแต่ละรูปแบบและมุมมองของอ้อยจากข้อ 2.1 โดยการจำลองโครงสร้างรถบรรทุกขึ้นมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นการจำลองสภาพที่รถบรรทุกจอดอยู่กับที่ และนำค่าที่ได้จากการทดลองมาหาสมการสมการทำนายน้ำหนัก มีขั้นตอนการทดลองโดยเริ่มจากจำลองโมเดลกระบะและโครงสร้างรถบรรทุกขนาด 1:4.16 (Figure 3) แล้วเลือกตำแหน่งติดตั้งโหลดเซลล์จากงานของ (จันทร์เพ็ญ, 2558) เพื่อนำไปติดตั้งที่โครงสร้างรถบรรทุกจำลอง จากนั้นนำโหลดเซลล์ไปติดตั้งตามรูปแบบ 2 จุด โดยโหลดเซลล์จะต่อเข้ากับ Data logger เพื่อการแปลงสัญญาณจากโหลดเซลล์เข้าคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการเซตค่ากระบะเปล่าให้มีค่าสัญญาณจากโหลดเซลล์เป็นศูนย์ และทำการทดสอบโดยเพิ่มน้ำหนักที่ละ 20 kg โดยการวางเหล็กตามรูปแบบที่ได้ศึกษามาจาก 2.1 ทำจนครบตามที่ศึกษามาแล้ว จากนั้นทำการทดสอบแบบติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 4 จุด แล้วนำค่าสัญญาณที่ได้มาจากการทดสอบมาหาสมการทำนายน้ำหนักโดยใช้วิธี Multiple Linear Regression จะได้สมการทำนายน้ำหนักออกมาเพื่อใช้ทดสอบในภาคสนาม



Figure 3 Truck model

### 2.3 ศึกษาความแม่นยำของเซนเซอร์ในการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุด และ 4 จุด ในการทดสอบภาคสนาม

การศึกษาในห้องปฏิบัติการมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบค่าน้ำหนักที่ได้จากการตอบสนองของเซนเซอร์ในการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2

จุดและ 4 จุด ในแต่ละความเร็วของรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งทำให้ทราบถึงความแม่นยำของเซนเซอร์โดยหาจากสมการทำนายน้ำหนักในหัวข้อ 2.2 และได้ความเร็วที่เหมาะสมของการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุดและ 4 จุดในการใช้งานจริง มีขั้นตอนในการศึกษาโดยเริ่มจากติดตั้งอุปกรณ์แต่ละจุดบนรถบรรทุกตั้ง (Figure 4) จากนั้นทำการทดสอบที่ความเร็วต่างๆ ทั้งการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุด และ 4 จุด เพื่อนำค่าสัญญาณที่ได้มาใช้ทำนายน้ำหนักจากสมการในหัวข้อ 2.2 แล้วนำน้ำหนักทำนายมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ชั่งได้จริงจากโรงงานเพื่อหาความแม่นยำของสมการทำนาย

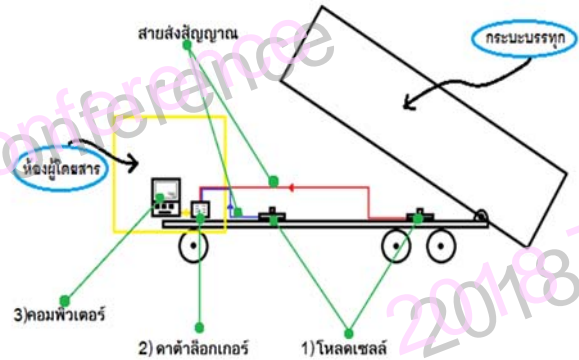


Figure 4 Diagram the location of the equipment on the truck.

### 3 ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษาพฤติกรรมของน้ำหนักบรรทุกบนรถบรรทุกเพื่อนำมาปรับการเรียงตัวไปใช้ออกแบบรูปแบบการทดสอบแล้วนำไปหาสมการทำนายน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของน้ำหนักทำนายกับน้ำหนักจริงของการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุดและ 4 จุด

#### 3.1 ผลการศึกษารูปแบบการโรยอ้อยหลังตัดลงบนกระบะของรถบรรทุก ขณะเก็บเกี่ยวอ้อยในแปลง

จากการศึกษาโดยการติดตั้งกล้องวิดีโอ ทั้งวงทั้งสองข้างของรถตัดอ้อยพบว่ารูปแบบการเรียงตัวของอ้อยบนกระบะมี 3 รูปแบบดังนี้

1. โรยท่อนอ้อยจากด้านหน้ากระบะ โดยที่โรยลงตรงกลางจากด้านหน้ากระบะ (Figure 5-a)
2. โรยท่อนอ้อยจากตรงกลางของกระบะ โดยที่โรยจากกึ่งกลางของกระบะไปตลอดจนเต็มกระบะ (Figure 5-b)
3. โรยท่อนอ้อยจากฝั่งซ้ายไปขวาหรือขวาไปซ้าย โดยเริ่มจากการโรยลงไฝงใดฝั่งหนึ่งก่อน แล้วพอมดแลงก็โรยไปยังอีกฝั่ง (Figure 5-c)

#### 3.2 ผลการศึกษาการทำงานของเซนเซอร์ในห้องปฏิบัติการ จากการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุดและ 4 จุด

จากการทดลองเพิ่มน้ำหนักในกระบะจำลอง ซึ่งติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุด และ 4 จุด โดยเพิ่มน้ำหนักตามรูปแบบการโรยอ้อยตามผลการศึกษาในข้อ 3.1 ทั้งสามรูปแบบ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นกับค่าสัญญาณจากเซนเซอร์ ดังนี้

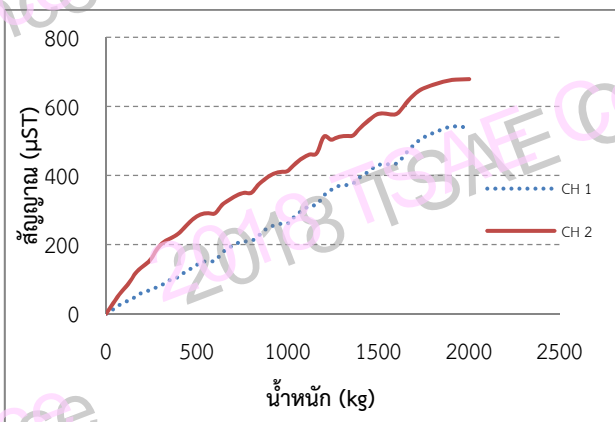
- เมื่อ CH 1 คือ ค่าสัญญาณจากโหนดเซลล์ตัวที่ 1
- CH 2 คือ ค่าสัญญาณจากโหนดเซลล์ตัวที่ 2
- CH 3 คือ ค่าสัญญาณจากโหนดเซลล์ตัวที่ 3
- CH 4 คือ ค่าสัญญาณจากโหนดเซลล์ตัวที่ 4



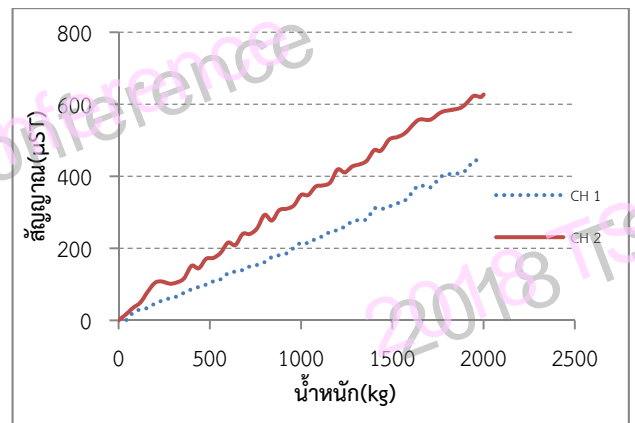
Figure 5 Sugar cane drilling pattern in truck picker during sugarcane harvest.

(1) แนวโน้มของค่าสัญญาณกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เมื่อติดตั้งโหนดเซลล์แบบ 2 จุด (Figure 6)

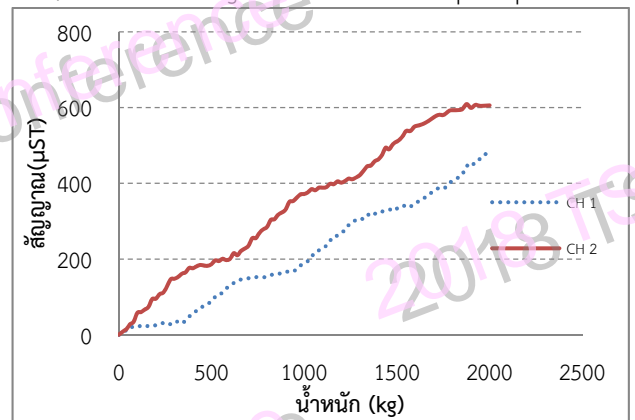
จาก Figure 6 จะเห็นว่าค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยมีการแกว่งของค่าสัญญาณ อาจเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนขณะวางน้ำหนัก แต่สัญญาณใน Figure 6-b ค่อนข้างเป็นเส้นตรงมากกว่า Figure 6-a และ Figure 6-c เนื่องจากเป็นการเพิ่มน้ำหนักแบบสมดุล ในกรณีของ Figure 6-c เป็นการเพิ่มน้ำหนักจากฝั่งซ้ายไปขวา (หรือฝั่งขวาไปซ้าย) ส่งผลให้โหนดเซลล์ด้านที่รับน้ำหนักแสดงสัญญาณ มากกว่าโหนดเซลล์ตัวที่อยู่อีกด้าน และส่งผลให้ค่าสัญญาณแกว่งในทิศทางขัดแย้งกัน



a) In case the weight from front to back of pickup.



b) In case of weight from the center pickup truck.

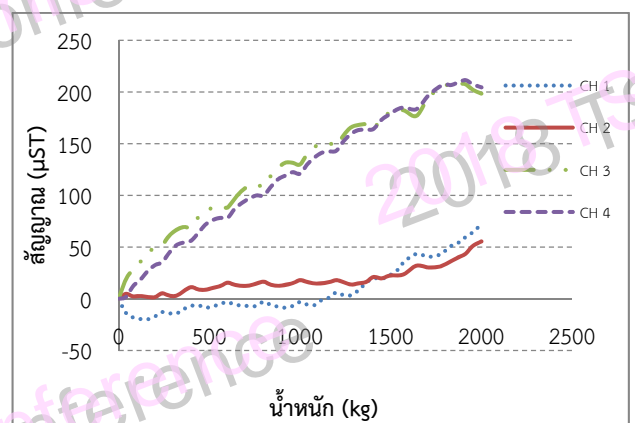


c) In case the weight from left to right (or from right to left).

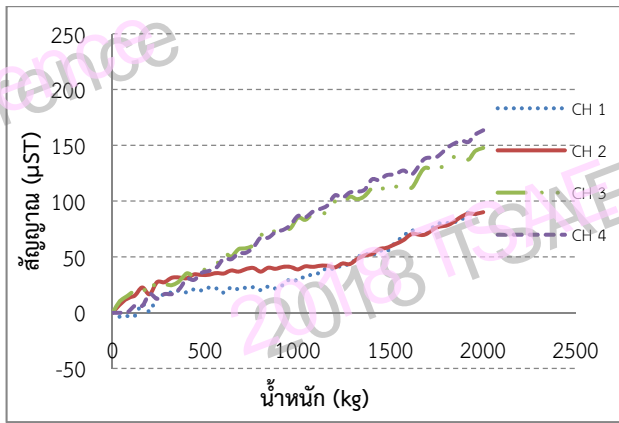
Figure 6 กราฟแสดงแนวโน้มของค่าสัญญาณกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เมื่อทดลองเพิ่มน้ำหนัก เมื่อติดตั้งโหนดเซลล์แบบ 2 จุด

(2) แนวโน้มของค่าสัญญาณกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เมื่อติดตั้งโหนดเซลล์แบบ 4 จุด (Figure 7)

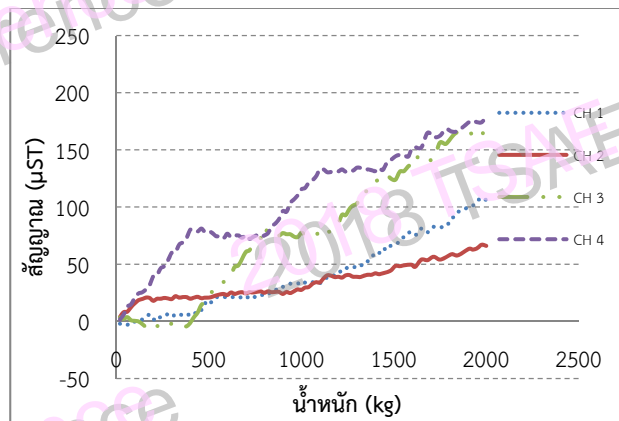
จาก Figure 7-a และ 7-c จะเห็นว่าค่าสัญญาณเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยมีการแกว่งของค่าสัญญาณ อาจเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนขณะวางน้ำหนัก และค่าสัญญาณที่แบ่งกลุ่มกัน เนื่องจากเป็นการเพิ่มน้ำหนักแบบสมดุล



a) In case the weight from front to back of pickup.



b) In case of weight from the center pickup truck.



c) In case the weight from left to right (or from right to left.)

Figure 7 กราฟแสดงแนวโน้มของค่าสัญญาณกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เมื่อทดลองเพิ่มน้ำหนัก เมื่อติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 4 จุด ในกรณีของ Figure 7-a ค่าสัญญาณจะแบ่งกลุ่มระหว่างโหลดเซลล์ตัวที่ 1, 2 (ด้านหน้ากระบะ) และโหลดเซลล์ตัวที่ 3, 4 (ด้านหลังกระบะ) แต่กรณีของ Figure 7-c ค่าสัญญาณจะแบ่งกลุ่มระหว่างโหลดเซลล์ตัวที่ 1, 3 (ด้านซ้ายกระบะ) และโหลดเซลล์ตัวที่ 2, 4 (ด้านขวากระบะ) และส่งผลให้ค่าสัญญาณแกว่งในทิศทางขัดแย้งกัน

และในกรณีของ Figure 7-b สัญญาณค่อนข้างเป็นเส้นตรงมากกว่า เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักแบบสมดุ

จากนั้นนำค่าสัญญาณดิบมาหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 จุดและ 5 จุด แล้วนำค่าสัญญาณในแต่ละรูปแบบและแต่ละค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มาหาสมการทำนายน้ำหนักโดยใช้วิธี Multiple Linear Regression (MLR) ได้สมการทำนายน้ำหนักทั้งหมด 18 สมการจากนิยาม;

$$Y = C + A_1X_1 + A_2X_2$$

$$Y = C + A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + A_4X_4$$

Table 1 Equations predicting weight from 2-point load cell.

รูปแบบ	ชุดข้อมูล	สมการทำนาย	R <sup>2</sup>
Front to back	Raw	$Y = -30.06 - 3.05X_1 - 0.43X_2$	0.9971
	Avg. 3	$Y = -45.08 - 2.82X_1 - 0.61X_2$	0.9991
	Avg. 5	$Y = -55.31 - 2.72X_1 - 0.70X_2$	0.9995
Center	Raw	$Y = -12.15 - 2.48X_1 - 1.43X_2$	0.9984
	Avg. 3	$Y = -18.70 - 2.26X_1 - 1.59X_2$	0.9993
	Avg. 5	$Y = -20.06 - 2.19X_1 - 1.64X_2$	0.9994
Left to right	Raw	$Y = -11.01 - 1.82X_1 - 1.78X_2$	0.9994
	Avg. 3	$Y = -12.69 - 1.78X_1 - 1.81X_2$	0.9997
	Avg. 5	$Y = -12.87 - 1.77X_1 - 1.82X_2$	0.9997

Table 2 Equations predicting weight from 4-point load cell.

รูปแบบ	ชุดข้อมูล	สมการทำนาย	R <sup>2</sup>
Front to back	Raw	$Y = 22.44 - 2.12X_1 - 4.13X_2 + 3.50X_3 - 10.98X_4$	0.9975
	Avg. 3	$Y = -36.19 - 2.78X_1 - 2.15X_2 + 0.12X_3 - 8.11X_4$	0.9980
	Avg. 5	$Y = -191.27 - 4.88X_1 + 1.29X_2 - 9.93X_3 + 0.96X_4$	0.9987
Center	Raw	$Y = 54.76 - 2.61X_1 - 1.73X_2 + 1.21X_3 - 10.72X_4$	0.9990
	Avg. 3	$Y = 25.499 - 2.08X_1 - 2X_2 - 0.63X_3 - 9.39X_4$	0.9997
	Avg. 5	$Y = 8.16 - 1.62X_1 - 2.61X_2 - 1X_3 - 9.12X_4$	0.9999
Left to right	Raw	$Y = -38.89 - 1.96X_1 - 4.02X_2 - 4.60X_3 - 4.43X_4$	0.9992
	Avg. 3	$Y = -47.54 - 1.45X_1 - 4.26X_2 - 4.74X_3 - 4.52X_4$	0.9994
	Avg. 5	$Y = -54.08 - 1.05X_1 - 4.56X_2 - 4.83X_3 - 4.56X_4$	0.9995

### 3.3 ผลการศึกษาความแม่นยำของเซนเซอร์ในการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุดและ 4 จุด ในการทดสอบภาคสนาม

จากการศึกษาการตอบสนองของเซนเซอร์ในการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุดและ 4 จุด ในแต่ละความเร็วของรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบภาคสนาม สามารถนำสมการทำนายน้ำหนักที่ได้จากผลการศึกษาที่ 3.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการมาใช้นำหนักในการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยการนำค่าสัญญาณที่ได้จากการติดตั้งโหลดเซลล์แบบ 2 จุด และ 4 จุด แทนลงในสมการทำนายน้ำหนักเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักที่ได้จากสมการทำนายเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริงที่ซึ่งได้จากโรงงาน มีผลการศึกษาดัง Table 3-10



**Table 3** The error from the comparison between the equations predict the weight and the actual weight at the factory. In the installation of load cell 2 points at the speed of 2.15 km/hr

รูปแบบ	ชุดข้อมูล	น้ำหนักทำนาย, ton	น้ำหนักจริง, ton	Error, ton	Error, %
Front to back	Raw	2.71	11.7	8.99	77%
	Avg. 3	2.57	11.7	9.13	78%
	Avg. 5	2.51	11.7	9.19	79%
Center	Raw	2.62	11.7	9.08	78%
	Avg. 3	2.49	11.7	9.21	79%
	Avg. 5	2.45	11.7	9.25	79%
Left to right	Raw	2.2	11.7	9.5	81%
	Avg. 3	2.18	11.7	9.52	81%
	Avg. 5	2.17	11.7	9.53	81%

จาก Table 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าสัญญาณคำนวณในสมการทำนายน้ำหนักแล้วพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 77% - 81%

**Table 4** The error from the comparison between the equations predict the weight and the actual weight at the factory. In the installation of load cell 2 points at the speed of 2.45 km/hr

รูปแบบ	ชุดข้อมูล	น้ำหนักทำนาย, ton	น้ำหนักจริง, ton	Error, ton	Error, %
Front to back	Raw	5.25	11.5	6.25	54%
	Avg. 3	5.13	11.5	6.37	55%
	Avg. 5	5.09	11.5	6.41	56%
Center	Raw	5.77	11.5	5.73	50%
	Avg. 3	5.65	11.5	5.85	51%
	Avg. 5	5.61	11.5	5.89	51%
Left to right	Raw	5.24	11.5	6.26	54%
	Avg. 3	5.22	11.5	6.28	55%
	Avg. 5	5.22	11.5	6.28	55%

จาก Table 4 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าสัญญาณคำนวณในสมการทำนายน้ำหนักแล้วพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 50% - 56%

**Table 5** The error from the comparison between the equations predict the weight and the actual weight at the factory. In the installation of load cell 2 points at the speed of 4.19 km/hr

รูปแบบ	ชุดข้อมูล	น้ำหนักทำนาย, ton	น้ำหนักจริง, ton	Error, ton	Error, %
Front to back	Raw	1.57	11.4	9.83	86%
	Avg. 3	1.53	11.4	9.87	87%
	Avg. 5	1.51	11.4	9.89	87%
Center	Raw	1.78	11.4	9.62	84%
	Avg. 3	1.75	11.4	9.65	85%
	Avg. 5	1.74	11.4	9.66	85%
Left to right	Raw	1.64	11.4	9.76	86%
	Avg. 3	1.63	11.4	9.77	86%
	Avg. 5	1.63	11.4	9.77	86%

จาก Table 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าสัญญาณคำนวณในสมการทำนายน้ำหนักแล้วพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 84% - 86%

**Table 6** The error from the comparison between the equations predict the weight and the actual weight at the factory. In the installation of load cell 2 points at the speed of 4.99 km/hr

รูปแบบ	ชุดข้อมูล	น้ำหนักทำนาย, ton	น้ำหนักจริง, ton	Error, ton	Error, %
Front to back	Raw	2.62	11.19	8.57	77%
	Avg. 3	2.48	11.19	8.71	78%
	Avg. 5	2.42	11.19	8.77	78%
Center	Raw	2.13	11.19	9.06	81%
	Avg. 3	2.10	11.19	9.09	81%
	Avg. 5	2.10	11.19	9.09	81%
Left to right	Raw	1.64	11.19	9.76	85%
	Avg. 3	1.63	11.19	9.77	85%
	Avg. 5	1.63	11.19	9.77	85%

จาก Table 6 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าสัญญาณคำนวณในสมการทำนายน้ำหนักแล้วพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 77% - 85%

**Table 7** The error from the comparison between the equations predict the weight and the actual weight at the factory. In the installation of load cell 2 points at the speed of 5.64 km/hr

รูปแบบ	ชุดข้อมูล	น้ำหนักทำนาย, ton	น้ำหนักจริง, ton	Error, ton	Error, %
Front to back	Raw	2.40	11.43	9.03	79%
	Avg. 3	2.26	11.43	9.17	80%
	Avg. 5	2.20	11.43	9.23	81%
Center	Raw	2.24	11.43	9.19	80%
	Avg. 3	2.11	11.43	9.32	82%
	Avg. 5	2.07	11.43	9.36	82%
Left to right	Raw	1.83	11.43	9.60	84%
	Avg. 3	1.81	11.43	9.62	84%
	Avg. 5	1.80	11.43	9.63	84%

จาก Table 7 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าสัญญาณคำนวณในสมการทำนายน้ำหนักแล้วพบว่าน้ำหนักทำนายมีค่าน้อยมากและมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 79% - 84%

**Table 8** The error from the comparison between the equations predict the weight and the actual weight at the factory. In the installation of load cell 2 points at the speed of 6.19 km/hr

รูปแบบ	ชุดข้อมูล	น้ำหนักทำนาย, ton	น้ำหนักจริง, Ton	Error, Ton	Error, %
Front to back	Raw	5.25	11.7	6.45	55%
	Avg. 3	5.13	11.7	6.57	56%
	Avg. 5	5.09	11.7	6.61	56%
Center	Raw	5.77	11.7	5.93	51%
	Avg. 3	5.65	11.7	6.05	52%
	Avg. 5	5.61	11.7	6.09	52%
Left to right	Raw	5.24	11.7	6.46	55%
	Avg. 3	5.22	11.7	6.48	55%
	Avg. 5	5.22	11.7	6.48	55%

จาก Table 8 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าสัญญาณคำนวณในสมการทำนายน้ำหนักแล้วพบว่าน้ำหนักมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 51%-56%

**Table 9** The error from the comparison between the equations predict the weight and the actual weight at the factory. In the installation of load cell 4 points at the speed of 2.57 km/hr

รูปแบบ	ชุดข้อมูล	น้ำหนักทำนาย, ton	น้ำหนักจริง, ton	Error, ton	Error, %
Front to back	Raw	16.48	17.19	0.71	4%
	Avg. 3	15.92	17.19	1.27	7%
	Avg. 5	14.68	17.19	2.51	15%
Center	Raw	18.29	17.19	-1.10	-6%
	Avg. 3	17.98	17.19	-0.79	-5%
	Avg. 5	17.77	17.19	-0.58	-3%
Left to right	Raw	5.24	11.7	6.46	55%
	Avg. 3	5.22	11.7	6.48	55%
	Avg. 5	5.22	11.7	6.48	55%

จาก Table 9 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าสัญญาณคำนวณในสมการทำนายน้ำหนักแล้วพบว่าน้ำหนักทำนายมีใกล้เคียงกับน้ำหนักจริงและมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 15%

**Table 10** The error from the comparison between the equations predict the weight and the actual weight at the factory. In the installation of load cell 4 points at the speed of 2.64 km/hr

รูปแบบ	ชุดข้อมูล	น้ำหนักทำนาย, ton	น้ำหนักจริง, ton	Error, ton	Error, %
Front to back	Raw	12.41	17.42	5.01	29%
	Avg. 3	12.89	17.42	4.53	26%
	Avg. 5	15.75	17.42	1.67	10%
Center	Raw	13.68	17.42	3.74	21%
	Avg. 3	13.8	17.42	3.62	21%
	Avg. 5	13.67	17.42	3.75	22%
Left to right	Raw	14.59	17.42	2.83	16%
	Avg. 3	14.23	17.42	3.19	18%
	Avg. 5	13.97	17.42	3.45	20%

จาก Table 10 จะเห็นว่าเมื่อนำค่าสัญญาณคำนวณในสมการทำนายน้ำหนักแล้วพบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 10% - 29%

จาก Table 3-10 เมื่อนำสมการทำนายน้ำหนักที่ได้จากผลการศึกษาที่ 3.2 มาใช้ในการทดสอบภาคสนาม โดยการแทนค่าสัญญาณลงไปในการแต่ละสมการ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างน้ำหนักที่ได้จากสมการทำนายและน้ำหนักที่ชั่งได้จากโรงงานโดยวิธี Multiple Linear Regression (MLR) พบว่าเมื่อนำสมการทำนายน้ำหนักมาใช้หาค่าน้ำหนักในข้อมูลภาคสนามสำหรับการติดตั้งโพลด์เซลล์แบบ 2 จุด จะได้น้ำหนักทำนายที่มีความคลาดเคลื่อนของแต่ละรูปแบบมากกว่า 50% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริงที่ชั่งได้จากโรงงาน และเมื่อนำสมการทำนายน้ำหนักมาใช้หาค่าน้ำหนักในข้อมูลภาคสนามสำหรับการติดตั้งโพลด์เซลล์แบบ 4 จุด จะได้น้ำหนักทำนายที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 10% - 15% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริงที่ชั่งได้จากโรงงาน ในรูปแบบที่ 1 อ้อยจะโรยลงด้านหน้า กระบะไปยังด้านหลังกระบะรถบรรทุก โดยใช้ค่าสัญญาณชุดข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 5 จุด พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับของการติดตั้งโพลด์เซลล์แบบ 4 จุดที่แต่ละความเร็ว ในการทำงานในภาคสนามรถบรรทุกจะวิ่งด้วยความเร็วไม่คงที่ สภาพแปลงไม่เรียบ มีความเอียง การตกหลุมของรถบรรทุก ค่าสัญญาณชุดข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 5 จุดจะช่วยลดผลของความไม่แน่นอนลงไปได้บ้าง ซึ่งความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ รูปแบบการโรยอ้อยลงบนกระบะตรงกับรูปแบบการทำงานจริงในแปลง

จากตารางข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า การติดตั้งโพลด์เซลล์แบบ 4 จุดเหมาะสมที่จะใช้สมการ Multiple Linear Regression (MLR) ในการทำนายค่าน้ำหนักของอ้อยที่อยู่บนกระบะ ส่วนการติดตั้งโพลด์เซลล์แบบ 2 จุด ควรจะใช้รูปแบบอื่นในการทำนายน้ำหนักของอ้อยที่ลงบนกระบะ สาเหตุอาจเกิดจากการติดตั้งโพลด์เซลล์แบบ 2 จุด เมื่อโรยอ้อยลงบนกระบะน้ำหนักอ้อยอาจไปกดที่จุดหมุนส่วนอื่นๆ เช่น จุดหมุน เป็นต้น มากกว่าทำให้การติดตั้งโพลด์เซลล์แบบ 2 จุด รับน้ำหนักได้ไม่เท่าการติดตั้งโพลด์เซลล์แบบ 4 จุด จึงทำให้น้ำหนักที่ได้จากสมการทำนายน้ำหนักมีน้ำหนักน้อย

#### 4 สรุป

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่เซนเซอร์อ่านได้เมื่อติดตั้งโพลด์เซลล์แบบ 2 จุดและ 4 จุด โดยใช้ Multiple Linear Regression (MLR) ในการหาสมการทำนายน้ำหนัก แล้วนำค่าน้ำหนักทำนายมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริงจากการทดสอบภาคสนาม เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน สามารถสรุปได้ว่า การติดตั้งโพลด์เซลล์แบบ 2 จุด ได้น้ำหนักทำนายที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในแต่ละรูปแบบมากกว่า 50% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริงที่ชั่งได้จากโรงงาน ส่วนการติดตั้ง

โพลด์เซลล์แบบ 4 จุด และปรับค่าสัญญาณเพื่อลดความคลาดเคลื่อนสภาพแปลงไม่เรียบ มีความเอียง การตกหลุมของรถบรรทุก การใช้วิธีปรับค่าสัญญาณแบบเฉลี่ยเคลื่อนที่ 5 จุด จะได้น้ำหนักทำนายที่มีความคลาดเคลื่อนสม่ำเสมอกว่าวิธีปรับค่าสัญญาณแบบเฉลี่ยฯ 3 จุด และแบบใช้สัญญาณดิบ โดยเฉพาะรูปแบบการโรยอ้อยแบบโรยจากด้านหน้าไปด้านหลัง มีความคลาดเคลื่อนในช่วง 10% - 15% เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริง ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

#### 5 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนาชุดวัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งกับรถบรรทุก (RDG5950088) ที่ให้เงินทุน สำหรับทำการวิจัย

ขอขอบคุณคุณกิตติพิชญ์ อิงสถิตย์ถาวร ที่ให้ความอนุเคราะห์แปลงและรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบ และกลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์ เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ร่วมสนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบคุณกองทุนวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ใช้งบประมาณในการสนับสนุนโครงการ และขอบคุณทุกๆท่านที่ ผู้จัดทำมีได้กล่าวถึงที่ได้มีส่วนร่วมในงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

#### 6 เอกสารอ้างอิง

- กิตติพิชญ์ อิงสถิตย์ถาวร. การปลูกอ้อยและการพัฒนาประสิทธิภาพการปลูกอ้อย, สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย [ออนไลน์] 2555 [อ้างเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2560]. จาก: <http://oldweb.ocsb.go.th/udon/Udon11/080802-Kittiphit02.htm>.
- เกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์, สมพงษ์ เจริญราษฎร์สถิต. การจำลองสถานการณ์ด้านโลจิสติกส์ของ การเก็บเกี่ยวและขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาล. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49; 1-4 ก.พ. 2554; กรุงเทพฯ.
- จันทร์เพ็ญ โดสูงเนิน. ต้นแบบระบบวัดและบันทึกน้ำหนักสำหรับอ้อยในรถบรรทุกแบบเรียลไทม์ [วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร]. ขอนแก่น: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2558.
- ณพงศ์ พรหมแสนวิเศษ, ัญญวัฒน์ กลยุณี, วิชเรนทร์ ทองผา. การพัฒนาชุดเซนเซอร์วัดน้ำหนักสำหรับติดตั้งบนรถบรรทุกระหว่างการเก็บเกี่ยวอ้อย. 2559.