SWU Engineering Journal (2016) 11(1), 10-19
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2559

การออกแบบถังบรรทุกของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน สำหรับแปลงขนาดยาว

Design of Sugarcane Billet Planter's Container Bin For Long Plot Utilization

กิตติพล อาภารัตน์ ขวัญตรี แสงประชาธนารักษ์* สมชาย ชวนอุดม
[1]ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002
*Corresponding author: E-mail: Khwantri@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบถังบรรทุกท่อนพันธุ์ของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน สำหรับแปลงขนาดยาว โดยพัฒนาสมการหาปริมาตรที่เหมาะสมสำหรับแปลงขนาดยาว ออกแบบถัง การวิเคราะห์กลศาสตร์ของแทรกเตอร์ ความแข็งแรง เก็บข้อมูลจากภาคสนาม และวิเคราะห์จุดคุ้มทุน โดยได้ผลการออกแบบถังทั้งหมด 3 แบบ พบว่า มีความเค้นสูงสุดไม่เกินค่าความเค้นวิกฤติและบริเวณที่เกิดการกระจัดไม่ส่งผลต่อชิ้นส่วนอื่นของเครื่องปลูก โดยแบบที่ 1 เหมาะสำหรับแปลงยาว 400 เมตร มีความสามารถเชิงพื้นที่เท่ากับ 4.40 ไร่ต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพในการทำงานเท่ากับ 85.41 % ซึ่งสูงที่สุดในทั้ง 3 แบบ และแบบที่ 2 เหมาะสำหรับแปลงยาว 350 เมตร มีจุดคุ้มทุนต่ำที่สุดในทั้ง 3 แบบ มีค่าเท่ากับ 589.58 ไร่

คำสำคัญ: เครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน ไฟไนต์เอลิเมนต์ ถังบรรทุกท่อนพันธุ์ แปลงขนาดยาว

ABSTRACT

The objective of this study was to design sugarcane billet planter's container bin for long plot utilization by developing volume estimation equation for long plot utilization, design container bin, mechanic of tractor analysis, strength analysis, field experiment and analysis of Break-even Point (BEP). It was found that the developed container bin of 3 models has the maximum stress not exceeding the yield strength and the maximum displacement shows no affect on the other parts of sugarcane billet planter's. Model 1) has sufficient for long plot utilization at 400 m, the effective field capacity was 4.40 rai/hr and the efficiency was 85.41%, which is the highest value compared to model 2 and model 3. While, Model 2) has sufficient for long plot utilization at 350 m and the lowest BEP, i.e. 589.58 rai, was observed.

Keywords: Sugarcane Billet Planter, Finite Element, Container Bin, Long Plot

1. บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญมากของประเทศไทย ในปัจจุบันอ้อยมีพื้นที่การปลูกทั่วประเทศกว่า 10 ล้านไร่ เป็นพื้นที่สำหรับปลูกอ้อยส่งโรงงานประมาณ 9 ล้านไร่ ในปี 2557 สามารถทำผลผลิตได้สูงถึง 113 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่าแสนล้านบาท [1] ปัจจุบันเริ่มมีการนำเทคโนโลยีด้านเครื่องจักรเข้ามาช่วยในการพัฒนาและแก้ไขปัญหาขาดแคลนแรงงานแต่เครื่องจักร

ที่นำเข้าจากต่างประเทศนั้น มีราคาสูง และต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อทำการปรับพื้นที่ให้มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน ทำให้แปลงอ้อยในปัจจุบันมีลักษณะเป็นแปลงที่มีร่องยาว ความยาวร่องอ้อยที่เหมาะสมอยู่ที่ระยะประมาณ 450 เมตร หรือระยะ 250 เมตร ขึ้นไป มีถนนหัวแปลงและท้ายแปลงสูงเท่ากับแปลงอ้อย และมีการกำหนดระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 1.65-1.85 เมตร [2] ทั้งหมดนี้ก็เพื่อรองรับเครื่องจักร ให้สามารถทำงานได้สะดวก เกิดการสูญเสียผลผลิตในแปลงน้อย ประหยัดเวลาในการทำงาน และใช้งานเครื่องจักรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ช่วงการปลูกครั้งแรกเป็นช่วงที่สำคัญมาก หากมีการปลูกที่ดี ประกอบกับการดูแลเอาใจใส่ ผลผลิตที่ได้ก็จะมาก และส่งผลต่อผลผลิตของอ้อยตอในปีต่อๆไป ซึ่งเดิมทีอ้อยปลูกด้วยแรงงานคน โดยใช้แรงงานจำนวนมาก แต่เนื่องจากปัจจุบันเกิดปัญหาขาดแคลนแรงงาน ทำให้เกษตรกรหันมาพึ่งเครื่องปลูกมากขึ้นโดยเครื่องปลูกในประเทศไทยมีอยู่ 2 แบบ คือแบบเสียบลำและแบบท่อน โดยแบบท่อนเริ่มมีการใช้มากขึ้น เนื่องจากสามารถแก้ไขปัญหาแรงงานได้ [3] อีกทั้งยังใช้แรงงานน้อยกว่าแบบเสียบลำ และสมรรถนะแบบท่อนสูงกว่าแบบเสียบลำ [4] อย่างไรก็ตามเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนนำเข้ามาจากต่างประเทศ ยังไม่เหมาะสมกับเงื่อนไขการทำงานในประเทศไทย จึงได้มีการปรับปรุงและพัฒนา เช่น การพัฒนารูปแบบมุมเอียงของถังบรรจุท่อนพันธุ์ และชุดลำเลียงที่เหมาะสมของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนพันธุ์ในดินทรายพื้นที่จังหวัดขอนแก่น [5] การศึกษาและออกแบบรูปแบบที่เหมาะสมของใบสะพานลำเลียงท่อนพันธุ์ในเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน [6] ซึ่งจากการปรับปรุงทั้งหมดทำให้สามารถทำงานได้สม่ำเสมอมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความจุของถังก็ยังมีความไม่เหมาะสมกับแปลงขนาดยาว ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียเนื่องจากท่อนพันธุ์อาจหมดก่อน ทำให้ต้องเสียเวลาในการเคลื่อนย้ายรถแทรกเตอร์กลับไปที่หัวแปลงหรือท้ายแปลงเพื่อเติมท่อนพันธุ์ ประสิทธิภาพในการทำงานจึงน้อยลง และผลของการเหยียบย่ำซ้ำไปซ้ำมาซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของรากอ้อย ส่งผลให้ได้ผลผลิตต่ำ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานและวิเคราะห์ปัญหาของเครื่องปลูกแบบท่อน สำหรับนำไปใช้ออกแบบถังบรรทุกท่อนพันธุ์เพื่อเพิ่มปริมาตรถังบรรทุก โดยไม่เกิดผลเสียต่อการทรงตัวหรือการเคลื่อนย้าย วิเคราะห์ความแข็งแรงของถังบรรทุกท่อนพันธุ์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ประเมิน และเปรียบเทียบสมรรถนะและค่าแรงงานในการปลูกอ้อยโดยเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนแบบเดิมกับแบบพัฒนาขึ้นใหม่

2. อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้ เพื่อออกแบบถังบรรทุกที่เหมาะสมสำหรับแปลงขนาดยาวให้กับเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน Austoft รุ่น 750 BP โดยใช้คุณสมบัติทางกายภาพของท่อนพันธุ์อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 จากงานวิจัยก่อนหน้า [7] ซึ่งมีความยาวโดยเฉลี่ยเท่ากับ 279.3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยเท่ากับ 27.52 มิลลิเมตร น้ำหนักโดยเฉลี่ยเท่ากับ 184.31 กรัม ความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 322.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีขั้นตอนการดำเนินการศึกษาดังนี้

2.1 การศึกษาการทำงานและวิเคราะห์ปัญหาของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน โดยศึกษาจากงานวิจัยและศึกษาจากการสังเกตขณะทำงาน โดยผลการศึกษาและผลการวิเคราะห์จะถูกนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ

2.2 การออกแบบถังบรรทุกท่อนพันธุ์ เพื่อเพิ่มปริมาตรถังบรรทุก คำนึงถึงขนาดของถังบรรทุกให้ส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อโครงสร้างอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยพิจารณาจากเกณฑ์การออกแบบ คือ 1) ปริมาตรถังเพียงพอสำหรับแปลงขนาดยาว ใช้น้ำหนัก ความหนาแน่นรวมเฉลี่ยของท่อนพันธุ์อ้อย จำนวนท่อนพันธุ์ 6 ท่อนต่อเมตร เนื่องจากงานวิจัย [8] แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรต้องการให้การโรยท่อนพันธุ์กับระยะทางการเคลื่อนที่ในการปลูกอยู่ในช่วงดังกล่าว สามารถวิเคราะห์ได้ดังสมการที่ (1)

$$V = [2(*I*W_a)/\rho]*L \tag{1}$$

V = ปริมาตรของท่อนพันธุ์โดยรวมสำหรับแปลงขนาดยาว (ลูกบาศก์เมตร)

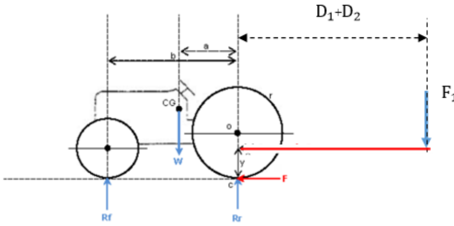
W_a = น้ำหนักท่อนพันธุ์เฉลี่ย (กิโลกรัมต่อท่อน)

ρ = ความหนาแน่นรวมเฉลี่ยของท่อนพันธุ์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

L = ความยาวของแปลง (เมตร)

l = จำนวนท่อนต่อ 1 เมตร (ท่อนต่อเมตร)

2) มุมถังที่เหมาะสมกับการลำเลียงของท่อนพันธุ์ ซึ่งใช้จากข้อมูลในขั้นตอนการศึกษาที่ 1 และ 3) ค่าโมเมนต์เนื่องจากแรงจากจุดศูนย์ถ่วง (จุด CG) ของเครื่องปลูกกรณีใช้รถแทรกเตอร์ขนาด 100 HP [9] สามารถวิเคราะห์ได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แรงที่เกิดขึ้นเมื่อรถแทรกเตอร์ต่อพ่วงเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน

จากรูปที่ 1 จะได้สมการที่ (2) และ (3)

$$M_A = 9.81*W*a \quad (2)$$

และ

$$M_B = (F_1+F_2)*(D_1+D_2) \quad (3)$$

M_A = โมเมนต์เนื่องจากแรงจากจุดศูนย์ถ่วง (จุด CG) ของรถแทรกเตอร์

W = น้ำหนักของรถแทรกเตอร์ (4660 กิโลกรัม)

a = ระยะห่างระหว่างจุด CG ของรถแทรกเตอร์ถึงล้อหลัง (1.49 เมตร)

M_B = โมเมนต์เนื่องจากแรงจากจุดศูนย์ถ่วง (จุด CG) ของเครื่องปลูก

F_1 = แรงจากตัวเครื่องปลูกทั้งหมด (นิวตัน)

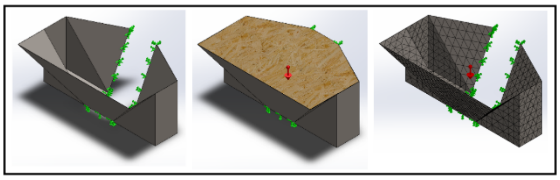
F_2 = แรงจากท่อนพันธุ์ (นิวตัน)

D_1 = ระยะห่างจากล้อหลังรถแทรกเตอร์ถึงปลายอุปกรณ์ต่อพ่วง (0.61 เมตร)

D_2 = ระยะห่างจากจุด CG เครื่องปลูกอ้อยถึงปลายอุปกรณ์ต่อพ่วง (เมตร)

b = ความยาวของรถแทรกเตอร์ (4.47 เมตร)

2.3 วิเคราะห์ความแข็งแรงของถังของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นขั้นตอนในการนำผลการออกแบบจากขั้นตอนการดำเนินงานที่ผ่านมา มาวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Version 2014 ในการวิเคราะห์ โดยค่าที่นำมาใช้ในโปรแกรม ประกอบด้วย ความหนาแน่นของท่อนพันธุ์ ซึ่งนำมาใช้ในการสร้างมวลอ้อยจำลองตามขนาดปริมาตรถังบรรทุกท่อนพันธุ์ และค่าความเค้นวิกฤติของเหล็ก ASTM A36 ซึ่งนำมาใช้ในการกำหนดวัสดุของถังบรรทุกท่อนพันธุ์ จากนั้นกำหนดแรงที่กระทำกับตัวถังบรรทุก นำมวลอ้อยจำลองใส่ลงในถังและวิเคราะห์แบบแรงโน้มถ่วง (gravity) ดังรูปที่ 2 ซึ่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบด้วย ค่าความเค้นสูงสุด และการกระจายความเค้นสูงสุด



รูปที่ 2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.4 ประเมิน และเปรียบเทียบสมรรถนะ และค่าแรงงานทั้งหมดในการใช้งานเครื่องปลูกอ้อยในการปลูกอ้อยด้วยเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนแบบเดิมกับแบบพัฒนาขึ้นใหม่ โดยทำการจำลองการทำงานในแปลง 1 รอบการทำงาน เลี้ยว 2 ครั้ง เติมวัสดุ 1 ครั้ง โดยใช้แรงงานจำนวน 4 คน ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ค่าแรง 400 บาทต่อวันคน สามารถวิเคราะห์ค่าต่างๆที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ดังนี้

การหาความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ [10] สามารถหาได้จากสมการที่ (4)

$$C_A = A/T \quad (4)$$

C_A = ความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ (ไร่ต่อชั่วโมง)

A = พื้นที่การทำงาน (ไร่)
T = เวลาในการทำงานทั้งหมด (ชั่วโมง)

ประสิทธิภาพในการทำงาน [10] สามารถหาได้จากสมการที่ (5)

$$E_f = (T_s/T)*100 \quad (5)$$

E_f = ประสิทธิภาพในการทำงาน
T_s = เวลาปฏิบัติงานทั้งหมดไม่รวมเวลาสูญเสีย (ชั่วโมง)
T = เวลาในการทำงานทั้งหมดรวมเวลาสูญเสีย (ชั่วโมง)

การหาค่าแรงงานทั้งหมดในการใช้งานเครื่องปลูกอ้อย สามารถหาได้จากสมการที่ (6)

$$C_{total} = (n*C_w)/(H*P_{day}) \quad (6)$$

C_{total} = ค่าแรงงานทั้งหมดในการใช้งานเครื่องปลูกอ้อย (บาทต่อไร่)
n = จำนวนแรงงานที่ใช้ (คน)
C_w = ค่าแรงงาน (บาท ต่อ วันคน)
H = ระยะเวลาในการทำงาน (ชั่วโมงต่อวัน)
P_{day} = ความสามารถในการทำงาน (ไร่ต่อวัน)

การหาจุดคุ้มทุน [10] สามารถหาได้จากสมการที่ (7)

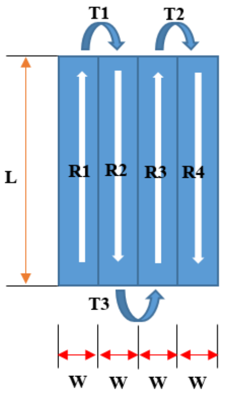
$$BEP = O/I \quad (7)$$

BEP = จุดคุ้มทุน (ไร่)
O = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)
I = ผลต่างค่าแรงงานทั้งหมดในการใช้งานเครื่องปลูกอ้อยหรือกำไร (บาทต่อไร่)

โดยการหาผลต่างค่าแรงงานทั้งหมดในการใช้งานเครื่องปลูกอ้อยหรือกำไร สามารถหาได้จากการหาผลต่างของค่าแรงงานทั้งหมดในการใช้งานเครื่องปลูกอ้อยแบบเดิมกับแบบพัฒนาขึ้นใหม่ และค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องสามารถคำนวณได้จากการนำน้ำหนักเหล็ก (กิโลกรัม) ของตัวถัง คูณกับราคาเหล็ก (บาทต่อกิโลกรัม)

ซึ่งค่าระยะเวลาที่นำมาใช้ในการคำนวณ วิเคราะห์ได้จากการนำค่าที่ทดสอบและเก็บข้อมูลภาคสนาม (รูปที่ 3) โดยระยะเวลาในการเลี้ยวเฉลี่ย ระยะเวลาในการขนถ่ายวัสดุเฉลี่ย บันทึกข้อมูลจากการจับเวลาจำนวน 4 ซ้ำ และค่าความเร็วในการทำงานเฉลี่ยของเครื่องปลูกบันทึกข้อมูลจากระยะเวลาในการทำงานในช่วงการทำงาน 50 เมตร จำนวน 4 ซ้ำ สามารถอธิบายการวิเคราะห์เวลาได้ดัง รูปที่ 4

รูปที่ 3 การเก็บข้อมูลจากภาคสนาม



รูปที่ 4 แผนภาพระยะเวลาการทำงาน

เมื่อตัวอักษร T1, T2 และ T3 คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเลี้ยวแต่ละครั้ง (วินาที) ตัวอักษร R1, R2, R3 และ R4 คือ เวลาปฏิบัติงานไม่รวมเวลาสูญเสีย (วินาที) หาจากความยาวแปลงต่อความเร็วในการทำงาน ตัวอักษร W คือระยะห่างระหว่างแถวปลูก (เมตร) ตัวอักษร L คือ ความยาวแปลง (เมตร) ซึ่ง 1 รอบการทำงานจะเติมท่อนพันธุ์ 1 ครั้ง โดยค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ คือค่าที่ได้จากการทดสอบในภาคสนาม เมื่อนำค่าต่างๆจากรูปที่ 3 มาคำนวณจะได้ว่าเวลาปฏิบัติงานทั้งหมดไม่รวมเวลาสูญเสีย สามารถหาได้จากสมการที่ (8)

$$T_s = R1 + R2 + \ldots + Rn \qquad (8)$$

เวลาที่สูญเสีย สามารถหาได้จากสมการที่ (9)

$$T_{loss} = (T1+T2+ \ldots + Tn) + T_{re} \qquad (9)$$

T_{re} = ระยะเวลาในการขนถ่ายวัสดุ (วินาที)
เวลาในการทำงานทั้งหมดรวมเวลาสูญเสีย สามารถหาได้จากสมการที่ (10)

$$T = T_s + T_{loss} \qquad (10)$$

3. ผลและวิจารณ์

การออกแบบถังบรรทุกที่เหมาะสมสำหรับแปลงขนาดยาวให้กับเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน Austoft รุ่น 750 BP มีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

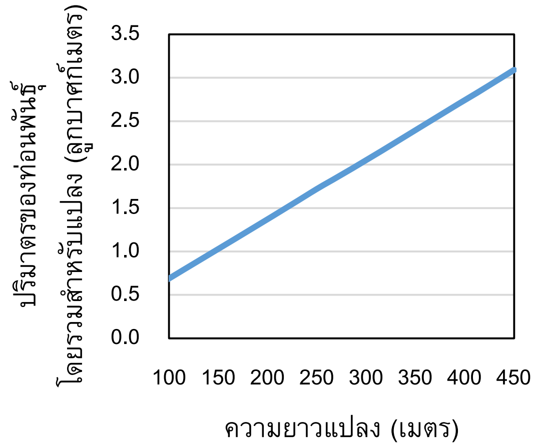
3.1 ผลการศึกษาการทำงานและวิเคราะห์ปัญหาของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน โดยต้องการศึกษาความเร็วในการทำงาน ระยะเวลาในการเลี้ยว ระยะเวลาในการเติมท่อนพันธุ์ และข้อจำกัดของมุมถัง เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนรุ่น Austoft 750BP ทำงานด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยวครั้งละ 46 วินาที ใช้ระยะเวลาในการเติมท่อนพันธุ์ 58 วินาที ปริมาตรถัง 1.86 ลูกบาศก์เมตร มีปัญหาการรับแรงของถังบรรทุกท่อนพันธุ์ ยังไม่เคยมีการทดสอบความแข็งแรง ไม่เหมาะสมสำหรับแปลงขนาดยาวเกิน 250 เมตร ปัญหาข้อจำกัดมุมด้านหลังของถังบรรทุกต้องมีมุมไม่ต่ำกว่า 60 องศา และปัญหาข้อจำกัดมุมด้านข้างของถังบรรทุกต้องมีมุมไม่ต่ำกว่า 45 องศา

3.2 ผลการออกแบบถังบรรทุกท่อนพันธุ์ โดยต้องการศึกษาขนาดถังที่สามารถออกแบบได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย ปริมาตรถัง มุมถัง โมเมนต์เนื่องจากแรงจากจุดศูนย์ถ่วง หรือจุด CG และปริมาตรโดยรวมสำหรับแปลงขนาดยาวแต่ละขนาด เพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบผลการออกแบบ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ปริมาตรโดยรวมสำหรับแปลงขนาดยาว ที่ระยะทาง 300 เมตร, 350 เมตร และ 400 เมตร คือ 2.05 ลูกบาศก์เมตร, 2.40 ลูกบาศก์เมตร และ 2.74 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของท่อนพันธุ์โดยรวมสำหรับแปลงขนาดยาว และความยาวแปลงออกแบบถังบรรทุกท่อนพันธุ์ ดังรูปที่ 5 โดย ได้ 3 แบบ คือ

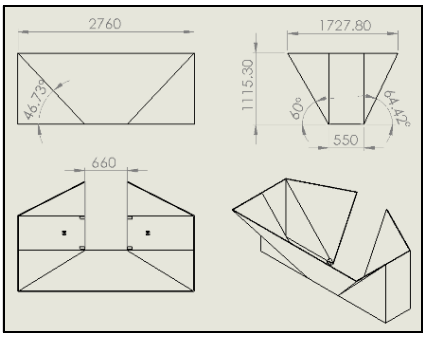
1) เพิ่มกล่อง ด้านข้างถัง 2 ข้าง และติดตั้งระบบไฮดรอลิคพร้อมบานพับสำหรับยก มีปริมาตรถัง 2.75 ลูกบาศก์เมตร แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่เกิดขึ้นในเครื่องปลูกและท่อนพันธุ์มีค่าเท่ากับ 18,022 นิวตัน และ 8,785 นิวตัน ตามลำดับ ความยาวจากจุด CG เครื่องปลูกถึงปลายอุปกรณ์ต่อพ่วงมีค่าเท่ากับ 0.72 เมตร คำนวณได้ค่าโมเมนต์เนื่องจากแรงศูนย์ถ่วงเท่ากับ 35,653 นิวตันเมตร เหมาะสำหรับใช้งานกับแปลงยาว 400 เมตร มีลักษณะดังรูปที่ 6

2) เพิ่มกล่องด้านข้างถัง 1 ข้าง และติดตั้งระบบไฮดรอลิค พร้อมบานพับสำหรับยก มีปริมาตรถัง 2.43 ลูกบาศก์เมตร แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่เกิดขึ้นในเครื่องปลูกและท่อนพันธุ์มีค่าเท่ากับ 16,819 นิวตัน และ 7,993 นิวตัน ตามลำดับ ความยาวจากจุด CG เครื่องปลูกถึงปลายอุปกรณ์ต่อพ่วงมีค่าเท่ากับ 0.69 เมตร คำนวณได้ค่าโมเมนต์เนื่องจากแรงศูนย์ถ่วงเท่ากับ 32,256 นิวตันเมตร เหมาะสำหรับใช้งานได้กับแปลงยาว 350 เมตร มีลักษณะดังรูปที่ 7

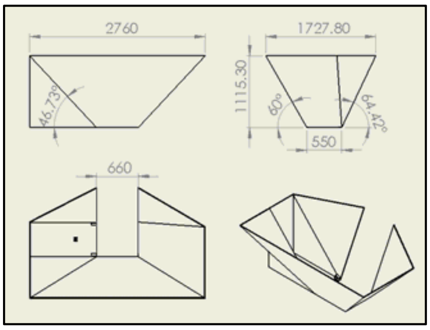
และ 3) เพิ่มความสูงบางส่วน และติดตั้งระบบไฮดรอลิคพร้อมบานพับสำหรับยก มีปริมาตร 2.21 ลูกบาศก์เมตร แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่เกิดขึ้นในเครื่องปลูกและท่อนพันธุ์มีค่าเท่ากับ 17,593 นิวตัน และ 6,998 นิวตัน ตามลำดับ ความยาวจากจุด CG เครื่องปลูกถึงปลายอุปกรณ์ต่อพ่วงมีค่าเท่ากับ 0.73 เมตร คำนวณได้ค่าโมเมนต์เนื่องจากแรงศูนย์ถ่วงเท่ากับ 32,952 นิวตันเมตร เหมาะสำหรับใช้งานกับแปลงยาว 300 เมตร มีลักษณะดังรูปที่ 8 โดยถังบรรทุกทั้ง 3 แบบ ใช้เหล็ก ASTM A36 ซึ่งมีค่าความเค้นวิกฤติเท่ากับ 250 MPa โดยค่าทั้งหมดสามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 1



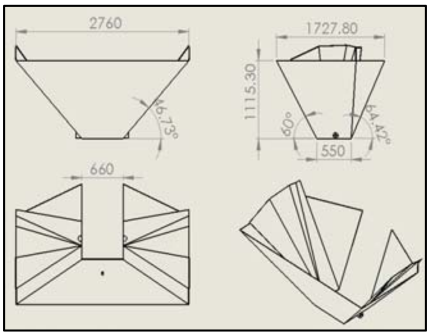
รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของท่อนพันธุ์โดยรวมสำหรับแปลงขนาดยาวและความยาวแปลง



รูปที่ 6 โครงสร้างถังบรรทุกแบบที่ 1



รูปที่ 7 โครงสร้างถังบรรทุกแบบที่ 2



รูปที่ 8 โครงสร้างถังบรรทุกแบบที่ 3

ตารางที่ 1 สรุปผลการออกแบบถังบรรทุกท่อนพันธุ์

เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบ	เกณฑ์	ผลการออกแบบถังบรรทุกท่อนพันธุ์		
		แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่3
ปริมาตรถังที่สามารถบรรทุกท่อนพันธุ์ได้ (ลูกบาศก์เมตร)		2.75	2.43	2.21
มุมถัง				
- ด้านหลังของเครื่องปลูก (องศา)	≥60	60	60	60
- ด้านข้างของเครื่องปลูก (องศา)	≥45	46.73	46.73	46.73
โมเมนต์เนื่องจากแรงจากจุดศูนย์ถ่วง หรือจุด CG (นิวตันเมตร)	<68,114.8	35,652.7	32,256.0	32,952.0
ปริมาตรโดยรวมสำหรับแปลงขนาดยาวแต่ละขนาด				
- แปลงยาว 250 เมตร	1.72	✓	✓	✓
- แปลงยาว 300 เมตร	2.05	✓	✓	✓
- แปลงยาว 350 เมตร	2.40	✓	✓	×
- แปลงยาว 400 เมตร	2.74	✓	×	×

3.3 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของถังบรรทุกท่อนพันธุ์ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยต้องการศึกษาค่าความเค้นสูงสุด และค่าการกระจัดสูงสุดของถังบรรทุกท่อนพันธุ์แบบพัฒนาขึ้นใหม่ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ว่าแบบที่พัฒนาขึ้นใหม่นั้นสามารถนำไปใช้งานจริงได้หรือไม่ และเปรียบเทียบผลการออกแบบทั้ง 3 แบบ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าถังบรรทุกท่อนพันธุ์แบบพัฒนาขึ้นใหม่ทั้ง 3 แบบนั้น มีค่าความเค้นสูงสุด ไม่เกินค่าความเค้นวิกฤติของเหล็ก ASTM A36 และค่าการกระจัดสูงสุดมีค่าไม่สูงมากเกินไป และเกิดขึ้นบริเวณที่ห่างจากโครงสร้างส่วนอื่นๆของเครื่องปลูกอ้อย ดังนั้นถังบรรทุกท่อนพันธุ์แบบพัฒนาขึ้นใหม่ทั้ง 3 แบบ จึงสามารถนำไปใช้งานได้

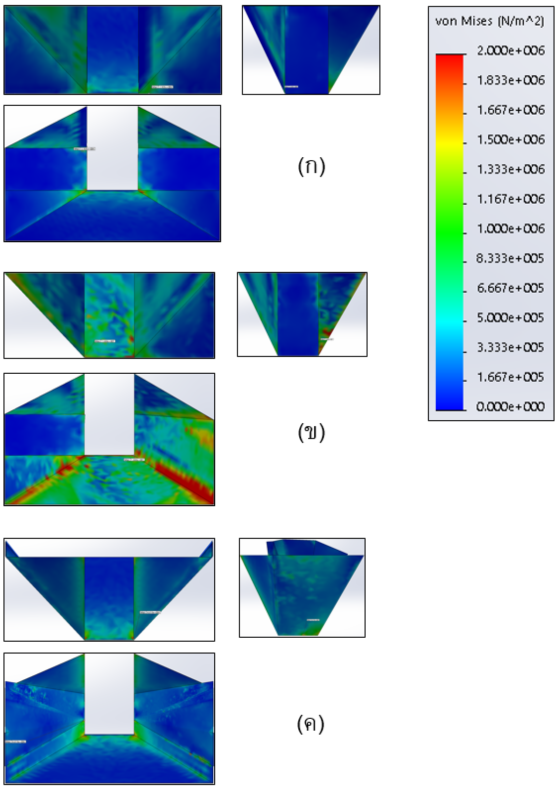
โดยถังบรรทุกท่อนพันธุ์แบบพัฒนาขึ้นใหม่แบบที่ 1 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 3.201 เมกะพาสคาล ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดในทั้ง 3 แบบ เกิดขึ้นมากบริเวณพื้นที่รับแรง (รูปที่ 9 (ก)) มีการกระจัดเท่ากับ 0.123 มิลลิเมตร เกิดขึ้นมากบริเวณแผ่นด้านหน้า (รูปที่ 10 (ก))

ถังบรรทุกท่อนพันธุ์แบบพัฒนาขึ้นใหม่แบบที่ 2 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 16.66 เมกะพาสคาล เกิดขึ้นมากบริเวณรอยต่อและขอบถัง (รูปที่ 9 (ข)) มีการกระจัดเท่ากับ 1.051 มิลลิเมตร เกิดขึ้นมากบริเวณแผ่นด้านหลังของถัง (รูปที่ 10 (ข)) ซึ่งค่าทั้ง 2 สูงมากที่สุดในทั้ง 3 แบบ

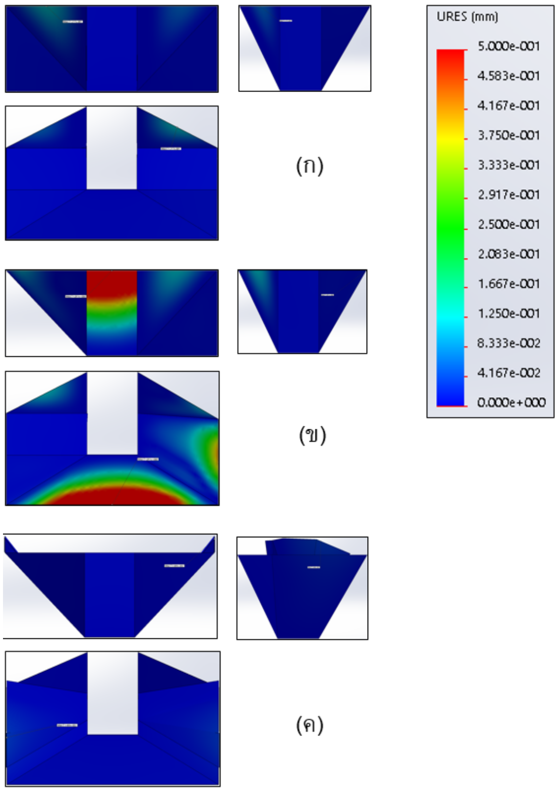
และถังบรรทุกท่อนพันธุ์แบบพัฒนาขึ้นใหม่แบบที่ 3 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 4.619 เมกะพาสคาล เกิดขึ้นมากบริเวณพื้นที่รับแรง (รูปที่ 9 (ค)) มีการกระจัดเท่ากับ 0.016 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดในทั้ง 3 แบบ เกิดขึ้นมากบริเวณแผ่นกั้นที่ติดเพิ่มเข้าไป (รูปที่ 10 (ค)) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงถังบรรทุกท่อนพันธุ์ทั้ง 3 แบบ

เกณฑ์ที่ใช้ในเลือกแบบ	เกณฑ์	ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของถังบรรทุกท่อนพันธุ์		
		แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ค่าความเค้นสูงสุด (เมกะพาสคาล)	<250	3.201	16.660	4.619
ค่าการกระจัด (มิลลิเมตร)	<	0.123	1.051	0.016



รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความเค้นในถังบรรทุกท่อนพันธุ์แบบพัฒนาขึ้นใหม่ (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2 (ค) แบบที่ 3



รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์การกระจัดในถังบรรทุกท่อนพันธุ์แบบพัฒนาขึ้นใหม่ (ก) แบบที่ 1 (ข) แบบที่ 2 (ค) แบบที่ 3

3.4 การประเมิน และเปรียบเทียบสมรรถนะ และค่าแรงงานในการปลูกอ้อยด้วยเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนแบบเดิมกับแบบพัฒนาขึ้นใหม่ โดยต้องการศึกษาความสามารถเชิงพื้นที่ ประสิทธิภาพในการทำงาน ค่าแรงงานในการปลูกอ้อย และจุดคุ้มทุนในการปลูก เพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบ จากผลการศึกษาพบว่า จากงานวิจัย [5] เครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนแบบเดิม มีความสามารถเชิงพื้นที่ เท่ากับ 3.15 ไร่ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพในการทำงาน 76.81 % คิดเป็นค่าแรงงานในการปลูก 63.49 บาทต่อไร่ และจากการทดสอบและเก็บข้อมูลภาคสนาม พบว่า ระยะเวลาในการเลี้ยวเฉลี่ยเท่ากับ 46 วินาที ระยะเวลาในการขนถ่ายวัสดุเฉลี่ยเท่ากับ 58 วินาที และค่าความเร็วในการทำงานเฉลี่ยของเครื่องปลูกเท่ากับ 1.39 เมตรต่อวินาที สามารถวิเคราะห์ระยะเวลาการทำงานของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนแบบพัฒนาขึ้นใหม่ ได้ดังนี้

แบบที่ 1 ซึ่งมีความเหมาะสำหรับแปลงขนาด 400 เมตร ใช้เวลาปฏิบัติงานทั้งหมดไม่รวมเวลาสูญเสีย เท่ากับ 19.20 นาที เวลาปฏิบัติงานทั้งหมดรวมเวลาสูญเสีย เท่ากับ 22.48 นาที

แบบที่ 2 ซึ่งมีความเหมาะสำหรับแปลงขนาด 350 เมตร ใช้เวลาปฏิบัติงานทั้งหมดไม่รวมเวลาสูญเสีย เท่ากับ 16.80 นาที เวลาปฏิบัติงานทั้งหมดรวมเวลาสูญเสีย เท่ากับ 20.08 นาที

และแบบที่ 3 ซึ่งมีความเหมาะสำหรับแปลงขนาด 300 เมตร ใช้เวลาปฏิบัติงานทั้งหมดไม่รวมเวลาสูญเสีย เท่ากับ 14.40 นาที เวลาปฏิบัติงานทั้งหมดรวมเวลาสูญเสีย เท่ากับ 17.68 นาที เมื่อนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณหาค่าสมรรถนะ และค่าแรงงานในการปลูก จะได้ค่า ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยค่าความสามารถเชิงพื้นที่ ประสิทธิภาพในการทำงาน ของแบบที่ 2 มีค่าสูงที่สุด และมีค่าแรงงานในการปลูกต่ำที่สุด ในทั้ง 3 แบบ

ตารางที่ 3 สมรรถนะ และค่าแรงงานในการปลูกของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนแบบเดิมเปรียบเทียบกับแบบพัฒนาขึ้นใหม่สำหรับแปลงความยาวแต่ละขนาด

รายละเอียด	เครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน			
	แบบเดิม (250 เมตร)	แบบพัฒนาขึ้นใหม่		
		แบบที่ 1 (400 เมตร)	แบบที่ 2 (350 เมตร)	แบบที่ 3 (300 เมตร)
ความสามารถเชิงพื้นที่ (ไร่ต่อชั่วโมง)	3.15	4.40	4.31	4.20
ประสิทธิภาพในการทำงาน (%)	76.81	85.41	83.67	81.45
ค่าแรงงานในการปลูก (บาทต่อไร่)	63.49	45.45	46.40	47.62

จากผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนแบบพัฒนาขึ้นใหม่ทั้ง 3 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 4 สามารถสรุปได้ว่า เครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนแบบพัฒนาขึ้นใหม่ แบบที่ 2 มีราคาผลิตต่ำที่สุด เนื่องจากมีการเพิ่มเติมน้อย และมีจุดคุ้มทุนต่ำที่สุด ซึ่งหมายความว่าแบบที่ 2 สามารถคืนทุนได้รวดเร็วที่สุด

ตารางที่ 4 จุดคุ้มทุนของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนแบบพัฒนาขึ้นใหม่ทั้ง 3 แบบ

เครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนแบบพัฒนาขึ้นใหม่	ราคาผลิต (บาท)	จุดคุ้มทุน (ไร่)
แบบที่ 1 (400 เมตร)	16,790	930.71
แบบที่ 2 (350 เมตร)	10,076	589.58
แบบที่ 3 (300 เมตร)	10,524	663.14

4. สรุปผล

จากผลการศึกษา พบว่า สามารถออกแบบถังบรรทุกท่อนพันธุ์ของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน สำหรับแปลงขนาดยาว โดยพัฒนาสมการหาปริมาตรที่เหมาะสมสำหรับแปลงขนาดยาว ออกแบบการวิเคราะห์กลศาสตร์ของแทรกเตอร์ ความแข็งแรง เก็บข้อมูลจากภาคสนาม และวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ได้ผลการออกแบบถังบรรทุกท่อนพันธุ์ทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ 1) เพิ่มกล่อง ด้านข้างถัง 2 ข้าง มีปริมาตรถัง 2.75 ลูกบาศก์เมตร 2) เพิ่มกล่องด้านข้างถัง 1 ข้าง มีปริมาตรถัง 2.43 ลูกบาศก์เมตร และ 3) เพิ่มความสูงบางส่วน มีปริมาตร 2.21 ลูกบาศก์เมตร โดยถังทั้ง 3 แบบ ได้ติดตั้งระบบไฮดรอลิคพร้อมบานพับ เมื่อนำถังทั้ง 3 แบบ ไปวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า ถังบรรทุกทั้ง 3 แบบ มีความเค้นสูงสุดแต่ไม่เกินค่าความเค้นวิกฤติของเหล็ก ASTM A36 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 250 เมกะพาสคาล บริเวณที่อาจเกิดการกระจัดไม่ส่งผลต่อชิ้นส่วนอื่นของเครื่องปลูก โดยแบบที่ 1 เหมาะสำหรับแปลงยาว 400 เมตร มีความสามารถเชิงพื้นที่เท่ากับ 4.40 ไร่ต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพในการทำงานเท่ากับ 85.41 % ซึ่งสูงที่สุดในทั้ง 3 แบบ โดยความสามารถเชิงพื้นที่ และประสิทธิภาพในการทำงานที่คำนวณได้จากการจำลองการทำงานโดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบภาคสนาม พบว่า เพิ่มขึ้นจากแบบเดิม 39.68 % และ 8.60 % ตามลำดับ และแบบที่ 2 เหมาะสำหรับแปลงยาว 350 เมตร มีจุดคุ้มทุนเท่ากับ 589.58 ไร่ ซึ่งต่ำที่สุดในทั้ง 3 แบบ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณแหล่งทุนสนับสนุนในการเก็บข้อมูล กลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โครงการการศึกษาคุณลักษณะของกลไกการท่อนของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนบนเงื่อนไขการปลูกอ้อยในประเทศไทย ภายใต้ทุนส่งเสริมนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2557 (สกว.) และมหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอขอบคุณ คุณกิตติพิชญ์ อึงสถิตย์ถาวร เจ้าของเครื่องปลูกอ้อยและผู้ให้ข้อมูล

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2557, กุมภาพันธ์. 20). *โครงการจัดทำต้นทุนผลผลิตและถ่ายทอดความรู้เพื่อลดต้นทุนการผลิตอ้อยของเกษตรกร ในปีเพาะปลูก 2557/58*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.ocsb.go.th/th/home/index.php

[2] กิตติพิชญ์ อึงสถิตย์ถาวร. (2558, กุมภาพันธ์. 20). *การปลูกอ้อยและการพัฒนาประสิทธิภาพการปลูกอ้อย*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://oldweb.ocsb.go.th/udon/Udon11/ 080802-Kittiphit01.htm

[3] T. Thienyaem, K. Saengprachatanarug, M. Ueno and E. Taira, “Analysis of discharge consistency and performance of a sugarcane billet planter with side-conveyer concept,” *KKU Engineering Journal*, vol. 43, pp. 9-12, 2016.

[4] ทิตินัย เทียนแย้ม, ขวัญตรี แสงประชาธนารักษ์, ณัฐกฤษฏิ์ วีรกุลวัฒนา, สุริยะ อนุตรพงษ์พันธ์. “การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องปลูกอ้อยแบบป้อนลำและแบบท่อนพันธุ์ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น”. *รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 14 ประจำปี 2556.* 1-4 เมษายน 2556. กรมส่งเสริมวิศวกรรมเกษตร : 259-261, (2556).

[5] ชูชาติ เฉลิมถ้อย. *การพัฒนารูปแบบมุมเอียงของถังบรรจุท่อนพันธุ์ และชุดลำเลียงที่เหมาะสมของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนพันธุ์ในดินทรายพื้นที่จังหวัดขอนแก่น.* วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, (2558).

[6] ขนิษฐา ทวีแสง, นภสินธุ์ เหล่าภักดี, ขวัญตรี แสงประชาธนารักษ์. “การศึกษาและออกแบบรูปแบบที่เหมาะสมของใบสะพานลำเลียงท่อนพันธุ์ในเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อน”. *รายงานการประชุมวิชาการโครงงานวิศวกรรมเกษตรแห่งชาติครั้งที่ 21 ประจำปี 2558.* 2-3 เมษายน 2558. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี : 51-59, (2558).

[7] C. Chaloemthoi, K. Saengprachatanarug, S. Wongpichet, K. Thaveesaeng and N. Laopukdee. “Development And Evaluation Of Metering Devices For Sugarcane Billet Planter”. *The 16th TSAE national conference.* 17-19 March 2015. Bangkok International Trade & Exhibition Centre : 48-52, (2015).

[8] ชูชาติ เฉลิมถ้อย, ขวัญตรี แสงประชาธนารักษ์, เสรี วงส์พิเชษฐ. “การศึกษาเปรียบเทียบดัชนีการโรยท่อนพันธุ์เครื่องปลูกอ้อยแบบโรยท่อนพันธุ์ในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น”. *รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 15 ประจำปี 2556.* 2-4 เมษายน 2556. โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ : 1-7, (2556).

[9] TractorData. (2015, Oct. 31). *New Holland 7840*. [Online] Available: http://www.tractordata.com/farm-tractors/000/6/3/635-new-holland-7840.html

[10] วินิต ชินสุวรรณ. *เครื่องจักรเกษตรและการจัดการเบื้องต้น.* ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, (2530).