



## เครื่องล้างทำความสะอาดอ้อยสำหรับทำอ้อยคั้นน้ำ

### A Sugar Cane Washing Machine for Fresh Juice Production

พิมพ์พรรณ ปรีองาม<sup>1\*</sup>, นงลักษณ์ เล็กรุ่งเรืองกิจ<sup>1</sup>, ภาวินท์ ธัญภัทรานนท์<sup>1</sup>

Pimpan Pruengam<sup>1\*</sup>, Nonglak Lekrungrongkij<sup>1</sup>, Pawin Thanpattranon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

<sup>1</sup>Department of Agricultural Engineering, Kasetsart University -Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom, 73140

\*Corresponding author: Tel: +66-8-6504-5685, Fax: +66- 34-261-062, E-mail: fengppppn@ku.ac.th

#### บทคัดย่อ

เครื่องล้างทำความสะอาดอ้อยสำหรับทำอ้อยคั้นน้ำ เป็นเครื่องที่สร้างขึ้นมาเพื่อรองรับกระบวนการล้างท่อนอ้อยที่ผ่านการปอกเปลือกหรือการขัดผิวมาแล้ว เพื่อเพิ่มความสะดวกในกระบวนการล้างให้มีประสิทธิภาพและความสะดวกให้อยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ โดยออกแบบแปรงล้างที่ทำงานพร้อมกันน้ำที่ฉีดผ่านด้วยอัตราการไหลค่าหนึ่ง วางแนวการทำงานของแปรงล้างตามแนวขวางของท่อนอ้อย และพัฒนาชุดลำเลียงเพื่อให้ท่อนอ้อยเข้าสู่ชุดแปรงล้างอย่างต่อเนื่อง การทดลองกำหนดความเร็วรอบชุดป้อนให้คงที่ คือ 16 rpm ความเร็วรอบของชุดแปรงล้าง 3 ระดับ คือ 720, 864 และ 960 rpm ตามลำดับ อัตราการไหลของน้ำ 3 ระดับ คือ 5, 7.5 และ 10 lpm จากผลการทดลอง พบว่า ความเร็วรอบของชุดแปรงล้าง 864 rpm ที่อัตราการไหลของน้ำ 5 lpm เป็นชุดการทำงานที่ดีที่สุด เพราะอ้อยมีความสะอาดมากที่สุด แม้จะใช้น้ำน้อยลงก็ยังสามารถทำความสะอาดท่อนอ้อยได้ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง นอกจากนี้ ยังมีอัตราการการทำงานที่สูงกว่าการล้างด้วยแรงงานคนถึง 3 เท่า

คำสำคัญ: ชุดแปรงล้าง, อัตราการไหลของน้ำ, ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณการใช้น้ำ

#### Abstract

A sugar cane washing machine for fresh juice production was developed. It was capable of washing peeled or polished sugar cane. The objective of this work was to improve the effectiveness of the washing process such that the level of cleanliness was satisfactorily achieved. The brush units that operated along the circumference of sugar cane were designed to work with water injection flow rates over a certain value. The feeding units sent sugar canes into the brush units continuously. The speed of the feeding units was fixed at 16 rpm, the speeds of the brush unit were 720, 864 and 960 rpm in conjunction with three water flow rates of 5, 7.5, and 10 lpm, respectively. The optimum rotational speed of the brush units of 864 rpm and the water flow rate of 5 lpm resulted in the highest cleanliness based on the number of total solids in water. At a lower water usage rate, the sugar cane still maintained a level of cleanliness similar to that of the reference sugar cane. Furthermore, the washing capacity from machine yielded substantially was about 3 times higher than human labors.

Keywords: Brush unit, Water flow rate, Total solid, Water usage

#### 1 บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอ้อยคั้นน้ำเป็นอุตสาหกรรมที่น่าสนใจและมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว แต่ยังคงใช้แรงงานคนมาก ทำให้การเพิ่มกำลังการผลิตทำได้ยาก ในกระบวนการผลิตน้ำอ้อยหลังจากปอกเปลือกอ้อยโดยใช้แรงงานคนปอกแล้วต้องอาศัยแรงงานในการล้างอ้อยให้สะอาด ก่อนที่จะนำอ้อยไปคั้นน้ำด้วยเครื่องคั้นน้ำอ้อย ในขั้นตอนนี้ใช้ปริมาณน้ำในการล้างเป็นจำนวนมากทำให้ต้นทุนการผลิตสูง นอกจากนั้นการต้องพึ่งพาแรงงาน

เป็นจำนวนมากทำให้เกิดปัญหาในการจัดการแรงงานโดยเฉพาะในช่วงที่แรงงานขาดแคลน จากปัญหาดังกล่าวนี้จึงมีการศึกษาและพัฒนาเครื่องล้างทำความสะอาดอ้อยสำหรับทำน้ำอ้อยคั้นเพื่อให้อ้อยมีความสะอาดก่อนที่จะนำมาคั้น

จากงานวิจัยของ Tilby et al. (1992) ได้ทำการออกแบบเครื่องล้างอ้อย ภายในถังล้างมีหัวฉีดพ่นน้ำแรงดันสูงตลอดความยาวถัง ถังล้างหมุนด้วยมอเตอร์ทำให้อ้อยถูกล้างอย่างทั่วถึงสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง เมื่อผ่านการล้างแล้วทั้งอ้อยและน้ำจะไหลออกทางด้านท้ายถังเนื่องจากถังมีความเอียง จากลักษณะ

การทำงานของเครื่องดังกล่าว อ้อยจะถูกตัดเป็นท่อนสั้นๆ ก่อน จะนำไปล้าง ซึ่งไม่เหมาะกับเครื่องคั้นน้ำซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการ คั้นตลอดความยาวลำอ้อย

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2547) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องล้างผักผลไม้ไฮเทค โดย อาศัยหลักการของระบบท่อเนื่องแบบโรตารีดรัม ภายในท่อล้าง จะมีขนแปรงพลาสติกสำหรับใช้ทำความสะอาดให้สิ่งสกปรกที่ติด อยู่กับวัตถุที่ถูกขจัดออก ระยะเวลาการล้างวัตถุหลังจาก ป้อนเข้าผ่านระบบท่อหมุนและสเปรย์ฉีดพ่นน้ำ เครื่องล้างผัก ไฮเทคนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับวัตถุดิบหลากหลายชนิด เช่น ขำ ขิง หอม กระเทียม มะกรูด มันสำปะหลัง แครอท เผือก และ มัน เป็นต้น มีกำลังการผลิต  $500-900 \text{ kg h}^{-1}$  ต่อมา สถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2555) ได้ออกแบบ คิดค้นเครื่องล้างมะนาว มีประสิทธิภาพประมาณ  $20,000 \text{ fruit h}^{-1}$  ด้วยหลักการการทำงานที่มีน้ำฉีดพ่นและหมุนเวียนเป็น องค์กรประกอบสำคัญในการทำทำความสะอาด หมุนขับด้วยระบบ เพื่อใช้โซ่โซ่มอเตอร์เกียร์ สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง การ ทำงานของเครื่องล้างมะนาว เริ่มจากนำผลมะนาวลงในถังรับ ซึ่ง ผสมน้ำยาคลอรีนหรือน้ำยาฆ่าเชื้อราจากนั้นสายพานลำเลียงจะ ส่งผลมะนาวไปยังลูกกลิ้งแปรง ซึ่งมีน้ำฉีดพ่นมาที่ผลมะนาว ใช้ ระบบหัวฉีดพ่น ถอดประกอบง่ายแบบ clip eyelet nozzle เป็นตัวพ่นลงมาเนื่องจากสามารถถอดล้างได้ง่ายจึงลดปัญหาการ อุดตันจากตะกอน

จากรายงานผลการศึกษานักวิจัยหลายคนได้แสดงให้เห็น ว่าวิธีการล้าง มีหลักการการทำงานความคล้ายคลึงกันและเหมาะกับ วัตถุดิบรูปร่างเป็นก้อนและไม่ยาว

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องล้าง อ้อยสำหรับอ้อยท่อนยาวที่ทำการปอกเปลือกหรือตัดผิวแล้ว โดย ศึกษาความเร็วรอบของชุดแปรงล้าง และอัตราการไหลของน้ำที่มี ต่อความสะอาดของท่อนอ้อยที่เหมาะสม นอกจากนี้อุตสาหกรรม การผลิตน้ำอ้อยคั้นในบางแห่งไม่ปอกเปลือกอ้อยมีเพียงขั้นตอน การล้างท่อนอ้อยก่อนคั้นเท่านั้น (Kehinde et al, 2015; Salit, 2014) ซึ่งสามารถนำเครื่องล้างไปใช้ประโยชน์ได้

## 2 หลักการออกแบบเครื่องล้าง

หลักการออกแบบ คือ อัตราการทำงานต้องมากกว่าการล้าง ด้วยแรงงานคน ลักษณะการล้างทำความสะอาดจะมีแปรง พลาสติกจะขัดตามแนวยาวของท่อนอ้อยและมีน้ำชะล้าง ตลอดเวลา อาศัยผู้ปฏิบัติงานเพียงคนเดียว ซึ่งจะจับตอนเริ่มต้น ป้อนอ้อยเข้าสู่เครื่องที่ละหลายลำและหลังจากนั้นอ้อยสามารถ เคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องได้เองโดยไม่ต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงาน ช่วยลด ความเมื่อยลำในการทำงาน อ้อยที่ผ่านการล้างแล้วต้องสะอาด และประหยัดน้ำ

เครื่องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ชุดลำเลียงอ้อย แปรงขัดพลาสติก และหัวฉีดน้ำ ดังแสดงใน Figure 1 ลักษณะ

การทำงานของเครื่อง คือ เมื่อชุดลำเลียงป้อนอ้อยเข้าสู่เครื่องล้าง แปรงขัดพลาสติกหมุนเพื่อขัดทำความสะอาดรอบๆ ลำอ้อย ขณะเดียวกันหัวฉีดจะพ่นน้ำออกมาทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกได้ ง่ายและทั่วถึงมากยิ่งขึ้น อ้อยที่ผ่านการล้างแล้วจะออกทางด้าน ท้ายเครื่อง

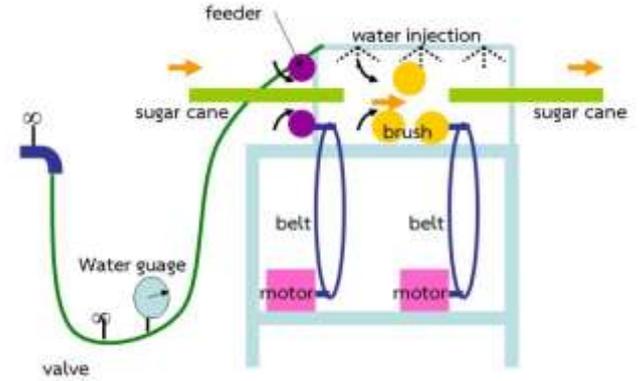


Figure 1 Components of the sugar cane washing machine.

### 2.1 ชุดลำเลียงอ้อย (Feeder)

ชุดลำเลียงอ้อยจะอยู่ด้านหน้าสุด เพื่อที่จะเป็นตัวดึงอ้อยเข้า ไปยังชุดแปรงล้าง (Brush) เมื่อมองจากทางด้านขวาของเครื่อง ชุดลำเลียงตัวล่างจะหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา ส่วนชุดลำเลียงตัว บนจะถูกออกแบบให้กดท่อนอ้อยและหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา การใช้ชุดลำเลียงจะสามารถประคองอ้อยและควบคุมความเร็ว อ้อยที่เข้าสู่เครื่องได้อย่างต่อเนื่อง

ชุดลำเลียงประกอบด้วยท่อ PVC (PVC pipe) ทำหน้าที่ ลูกกลิ้งจำนวน 2 ตัว ซึ่งมีแผ่นโค้งที่ทำจากท่อ PVC (PVC curved plate) ตัดเป็นเส้นยาวยึดติดอยู่กับตัวท่อ มีแหวนยึดติด บริเวณหัวท้ายแล้วเจาะรูสำหรับสวมเพลลา ดังแสดงใน Figure 2

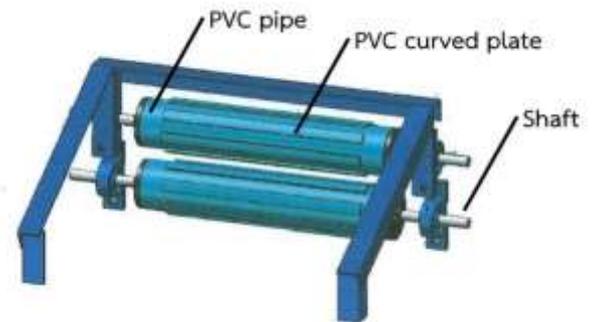


Figure 2 Components of the feeding units.

ชุดลำเลียงทำงานได้โดยมอเตอร์ซึ่งส่งกำลังไปยังเกียร์ทดเพื่อ ทดรอบให้เหลือ 48 รอบต่อนาที (พิมพ์พรรณ, 2551) และส่ง กำลังไปยังเพลลาชุดลำเลียงตัวล่าง ในขณะที่ชุดลำเลียงตัวบนจะ หมุนอิสระ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประคองอ้อยเข้าสู่ชุดแปรงขัด พลาสติก

## 2.2 ชุดแปรงล้าง

ออกแบบลักษณะการขัดให้เป็นแบบตามแนวยาวซึ่งเป็นการขัดแบบตามเส้นใย ชุดแปรงล้างประกอบด้วยแปรงพลาสติก 3 ชุด ซึ่งแปรงล้าง 2 ชุดล่างจะหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา และแปรงล้างชุดบนจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา

ชุดแปรงล้างทำจากท่อ PVC เจาะรูรอบท่อแล้วใส่ขนแปรงตามรูที่เจาะ ทำแหวนยึดติดกับท่อ PVC แล้วใช้สกรูเป็นตัวยึดติดเจาะรูสำหรับสวมเพลลา ดังแสดงใน Figure 3

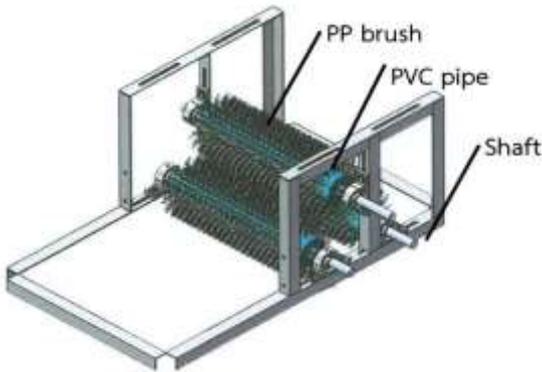


Figure 3 Components of the brush units.

## 2.3 หัวฉีดพ่นน้ำ

หัวฉีดที่ใช้คือหัวฉีดน้ำแบบแรงปะทะ ซึ่งเป็นหัวที่มีแรงดันต่ำ จำนวน 2 แฉก แฉกละ 3 หัวฉีด จะเรียงแถวอยู่ด้านบนของตัวเครื่อง ขณะล้างหัวฉีดจะพ่นน้ำออกมา สามารถปรับอัตราการไหลของน้ำได้โดยใช้วาล์ว และน้ำที่ผ่านการล้างจะไหลลงทางด้านข้างซึ่งจะมีแผ่นกัน เพื่อป้องกันมอเตอร์และสายไฟเสียหายจากน้ำ

หัวฉีดพ่นน้ำหนึ่งแฉกจะประกอบด้วยหัวฉีด 3 หัว ยาว 10 cm เชื่อมติดกับก้านฉีดยาว 50 cm โดยเว้นระยะห่างระหว่างหัวฉีด 17 cm ดังแสดงใน Figure 4 ขณะเครื่องล้างทำความสะอาดหัวฉีดจะพ่นน้ำลงมายังแปรงล้าง เพื่อเป็นตัวช่วยชะล้างทำความสะอาดอ้อย

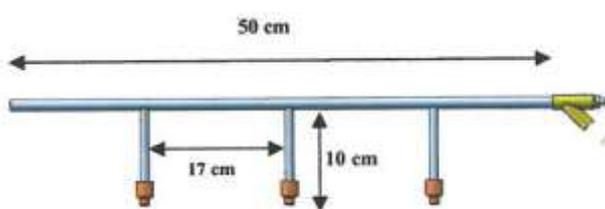


Figure 4 Water injection units of the sugar cane washing machine.

## 2.4 ระบบส่งกำลัง

ระบบส่งกำลังใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส 220 V ขนาด 0.75 kW ส่งกำลังด้วยสายพานลิ้มร่อง B (ล้อยางร่อง

คู่) ไปยังเพลลาส่งกำลังของแปรงพลาสติกแต่ละชุดด้วยอัตราทดที่แตกต่างกันไปตามขนาดล้อยางพาน

## 2.5 โครงสร้างเครื่องและลักษณะการทำงาน of เครื่อง

โครงสร้างจะใช้เหล็กฉาก 40x40x4 mm เหล็กเพลลาขนาด 25.4 mm และแผ่นเหล็กหนา 2 mm เมื่อประกอบส่วนต่างๆ สมบูรณ์แล้ว ดังแสดงใน Figure 5 โครงสร้างมีขนาด 880x1,350x1,200 mm



Figure 5 The completed sugar cane washing machine.

## 3 อุปกรณ์และวิธีการ

อ้อยที่ใช้ในการทดลองคืออ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี 50 และมีอายุประมาณ 7 – 8 เดือน ทำการคัดเลือกอ้อยที่มีขนาดต่างๆ จำนวน 600 ลำ จากนั้นนำมาตัดให้ยาว 150 cm นำไปขัดผิวด้วยเครื่องขัดผิวท่อนอ้อยแบบป้อนต่อเนื่อง (พิมพ์พรรณ, 2551)

### 3.1 การศึกษาเงื่อนไขการล้างที่เหมาะสม

นำท่อนอ้อยที่ผ่านการขัดผิวไปซังน้ำหนักก่อนทดลอง ป้อนอ้อยเข้าสู่ชุดป้อนของเครื่องล้าง ชุดแปรงล้างทำงานโดยได้รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1 hp ความเร็วรอบ 1,440 rpm เปลี่ยนขนาดล้อยางพาน เพื่อให้ได้ความเร็วรอบของแปรงล้างที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 720, 864 และ 960 rpm (พิมพ์พรรณ, 2551) และในการปฏิบัติงานจริงล้างด้วยน้ำ 10 lpm ดังนั้นจึงปรับวาล์วที่ส่งน้ำเข้าหัวฉีดเพื่อให้ได้อัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5, 7.5 และ 10 lpm ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ขณะเครื่องล้างทำความสะอาดอ้อย บันทึกเวลารวมที่ใช้ในการทำงานแต่ละครั้งตั้งแต่อ้อยป้อนเข้าสู่ชุดป้อนจนกระทั่งออกจากชุดแปรงล้าง เพื่อหาอัตราการทำงานและอัตราการไหลของน้ำทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบดังสมการ (1) และ (2)

$$\text{อัตราการทำงาน (kg h}^{-1}\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของท่อนอ้อยก่อนล้าง (kg)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการล้าง (h)}} \quad (1)$$

ปริมาณน้ำที่ใช้ (l) = อัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีด (lpm) โดย i = อัตราดอกเบี้ยต่อปี (%)

$$\times \text{เวลาที่ใช้ในการล้าง (min)} \quad (2)$$

$$FC = \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่อง} + \text{ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน}$$

### 3.2 การวัดความสะอาดของท่อนอ้อย

ความสะอาดของอ้อยพิจารณาจากความพึงพอใจของผู้ประกอบการ ซึ่งกำหนดให้ความสะอาดแปรตามปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids) ในน้ำที่ได้จากการล้าง ในที่นี้ปริมาณของแข็งทั้งหมด หมายถึงวัตถุที่เหลืออยู่หลังจากทำให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ (สันดี, 2527)

นำน้ำที่ล้างท่อนอ้อย ใส่ถ้วยอลูมิเนียม 20 ครอบ ถ้วยละ 10 ml อบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 103 °C นาน 60 min ซึ่งน้ำหนักของแข็งทั้งหมดที่เหลืออยู่ในถ้วย คำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมด ดังสมการ (3)

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg l}^{-1}\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่เหลือหลังอบ(mg)}}{\text{ปริมาณน้ำที่นำมาอบ (l)}} \quad (3)$$

ความสะอาดของท่อนอ้อยหลังการล้างด้วยเครื่องนำมาเปรียบเทียบกับความสะอาดของท่อนอ้อยอ้างอิง ที่ล้างด้วยผู้ปฏิบัติการซึ่งใช้น้ำ 10 l และขัดด้วยแปรงจนกระทั่งสะอาด (ผู้ประกอบการพึงพอใจ)

### 3.3 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

#### 3.3.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

ต้นทุนในการใช้เครื่องล้างทำความสะอาดอ้อย นั้นประกอบด้วย (1) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) และ (2) ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)

ค่าใช้จ่ายคงที่ (ต้นทุนคงที่) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่กำหนด ไม่ขึ้นกับปริมาณการใช้เครื่องจักร ประกอบด้วย ดอกเบี้ยจากการลงทุนสร้างเครื่องจักร และค่าเสื่อมราคา การคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight-Line Depreciation) เป็นวิธีที่นิยมใช้เพราะคำนวณง่าย

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องแบบเส้นตรง (Bath year}^{-1}\text{)} = \frac{P - L}{N} \quad (4)$$

โดย P = ราคาซื้อเครื่องจักร (Baht)  
L = ราคาซากเครื่องจักร (Baht)  
N = อายุการใช้งาน (year)

$$\text{ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน (Bath year}^{-1}\text{)} = \frac{P + L}{2} \times \frac{i}{100} \quad (5)$$

โดย FC = ต้นทุนคงที่รวม (Baht year<sup>-1</sup>)

ค่าใช้จ่ายผันแปร (ต้นทุนผันแปร) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามปริมาณการใช้งานประกอบด้วยค่าบำรุงรักษา ค่าไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน และค่าน้ำประปา

$$\text{ค่าบำรุงรักษา (Bath year}^{-1}\text{)} = \text{ราคาเครื่อง} \times \text{ค่าซ่อมแซม}$$

โดย อายุการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว 10 year

ค่าซ่อมแซมประมาณ 120% ของราคาเครื่อง

วันทำงาน 1 year หยุดเสาร์-อาทิตย์ ทำงาน 260 day

$$\text{ค่าจ้างแรงงาน (Bath year}^{-1}\text{)} = \text{อัตราค่าจ้าง} \times \text{วันทำงาน}$$

โดย อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 310 Baht (ค่าแรงขั้นต่ำนครปฐม 1 มกราคม 2560 กระทรวงแรงงาน)

แรงงานทำงาน 1 คน

ค่าไฟฟ้า (Bath year<sup>-1</sup>) =

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า} \times \text{ค่าหน่วยไฟฟ้า} \times \text{วันทำงาน}$$

$$\text{จำนวนหน่วยไฟฟ้า (unit day}^{-1}\text{)} = \text{ความสิ้นเปลืองไฟฟ้า} \times \text{ชั่วโมงทำงาน}$$

โดย ความสิ้นเปลืองไฟฟ้า 0.727 kW

ใน 1 day ทำงาน 8 h

ค่าหน่วยไฟฟ้า 3 Baht unit<sup>-1</sup>

$$\text{ค่าน้ำประปา (Bath year}^{-1}\text{)} = \text{อัตราค่าน้ำประปา} \times \text{สิ้นเปลืองน้ำ}$$

โดย อัตราค่าน้ำประปาพื้นที่การประปาส่วนภูมิภาคเขต 3 สิ้นเปลืองน้ำ 72 l ต่อเดือน

$$VC = \text{ค่าบำรุงรักษา} + \text{ค่าจ้างแรงงาน} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าน้ำประปา}$$

$$(12)$$

โดย  $VC = \text{ต้นทุนผันแปรรวม (Baht year}^{-1}\text{)}$

$$AC = FC + VC$$

$$(13)$$

โดย  $AC = \text{ต้นทุนรวมทั้งหมด (Baht year}^{-1}\text{)}$

### 3.3.2 จุดคุ้มทุน (Break Even Point)

จุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มกับค่าลงทุน หรืออีกนัยหนึ่ง หมายถึง จุดที่แสดงค่าใช้จ่ายกับรายรับเท่ากัน ซึ่งมีความหมายว่าเป็นจุดซึ่งมีกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง ทั้งนี้เครื่องสามารถทำงานได้  $1,259 \text{ kg h}^{-1}$

$$BEP = \frac{FC}{p - vc}$$

$$(14)$$

โดย  $BEP = \text{จุดคุ้มทุน (ton year}^{-1}\text{)}$

$vc = \text{ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วย (Baht year}^{-1}\text{)}$

$p = \text{ค่ารับจ้างเครื่องล้างอ้อย (Baht kg}^{-1}\text{)}$

### 3.3.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน คือ เวลาที่ต้องการเพื่อให้การลงทุนเริ่มต้นได้รับการคืนทุน โดยไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

$$PBP = \frac{CF_0}{YCF}$$

$$(15)$$

$$YCF = R - AC$$

$$(16)$$

โดย  $CF_0 = \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการสร้างเครื่องล้าง (Baht)}$

$YCF = \text{กำไร (Baht year}^{-1}\text{)}$

$R = \text{รายได้ (Baht year}^{-1}\text{)}$

$AC = \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการล้างอ้อย (Baht)}$

ค่ารับจ้างเครื่องล้างอ้อยพิจารณาในช่วงเท่ากับ  $0.05 - 0.5 \text{ Baht kg}^{-1}$

### 3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนผลของระดับความเร็วรอบชุดแปรงล้างและอัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีดต่ออัตราการทำงาน ปริมาณของแข็งทั้งหมด และอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีโดยใช้การทดสอบแบบต้นแคณ (Duncan multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p \leq 0.05$ )

## 4 ผลและวิจารณ์

### 4.1 ผลทดลองการทำงาน

อ้อยที่นำมาทดสอบผ่านการขัดผิวแล้วมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย  $28.16 \text{ mm}$  จากผลการทดลองทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างอ้อยสำหรับคั้นน้ำที่ความเร็วรอบชุดป้อนครั้งที่ 16 rpm ใช้ความเร็วรอบแปรงล้าง 720, 864 และ 960 rpm และปรับวาล์วที่ส่งน้ำเข้าหัวฉีดเพื่อให้ได้อัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.5, 7.5 และ 10 lpm ผลของความเร็วยรอบแปรงล้างและอัตราการไหลของน้ำที่มีผลต่อการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

จากการทดสอบทำการวัดความสะอาดของอ้อยหลังผ่านการล้างด้วยเครื่องที่ระดับการทดลองต่าง ๆ ดังแสดงใน Table 1 พบว่า ที่ความเร็วรอบแปรงล้าง 864 rpm และ อัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีด 5 lpm มีความสะอาดของอ้อยสูงสุด คือ  $1,890 \pm 26 \text{ mg l}^{-1}$  ซึ่งพิจารณาจากปริมาณของแข็งทั้งหมด และ มีความสะอาดใกล้เคียงกับการล้างด้วยผู้ปฏิบัติการ ( $1,928 \pm 38 \text{ mg l}^{-1}$ ) มากที่สุด

Table 1 Total solid ( $\text{mg l}^{-1}$ ).

Water flow rate (lpm)	Brush units speed (rpm)		
	720	864	960
5	$1,887 \pm 46^{\text{Ba}}$	$1,890 \pm 26^{\text{Aa}}$	$1,377 \pm 39^{\text{Ca}}$
7.5	$1,201 \pm 47^{\text{Bc}}$	$1,483 \pm 35^{\text{Ac}}$	$1,271 \pm 43^{\text{Cc}}$
10	$1,503 \pm 33^{\text{Bb}}$	$1,721 \pm 22^{\text{Ab}}$	$1,228 \pm 51^{\text{Cb}}$

Means followed by different capital letters in the same column and different small letters in the same row are statistically different by the test of Duncan ( $p \leq 0.05$ ).

เมื่อพิจารณาอัตราการทำงานดังแสดงใน Table 2 พบว่า ที่ความเร็วรอบแปรงล้าง 864 rpm และ อัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีด 10 lpm มีอัตราการทำงานสูงสุดคือ  $1,717 \pm 12 \text{ kg h}^{-1}$  แต่ให้ความสะอาดต่ำว่าอ้อยอ้างอิง ในขณะที่ความเร็วรอบแปรงล้าง 864 rpm และ อัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีด 5 lpm ที่ให้ความสะอาดสูงสุดมีอัตราการทำงาน  $1,259 \pm 16 \text{ kg h}^{-1}$  ซึ่งสูงกว่าการล้างด้วยผู้ปฏิบัติการ ( $440 \pm 29 \text{ kg h}^{-1}$ ) ถึง 3 เท่า หรือสามารถล้างอ้อยได้ประมาณ  $2,600 \text{ ton year}^{-1}$  และจากการปอกเปลือกด้วยแรงงานจะเสียเนื้ออ้อยไปกับเปลือก 15-20 % (พิมพ์พรรณ, 2550) ด้วยอัตราการทำงานนี้จะเพียงพอกับ

โรงงานผลิตอ้อยคั้นน้ำที่มีกำลังการผลิต 3,000 ton วัตถุดิบ year<sup>-1</sup> นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการทำงานมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเร็วรอบชุดแปรงล้างที่เพิ่มขึ้น

Table 2 Working capacity (kg h<sup>-1</sup>).

Water flow rate (lpm)	Brush units speed (rpm)		
	720	864	960
5	1,183±33 <sup>Cb</sup>	1,259±16 <sup>Bb</sup>	1,621±29 <sup>Ab</sup>
7.5	884±38 <sup>Cc</sup>	1,121±35 <sup>Bc</sup>	1,164±33 <sup>Ac</sup>
10	1,547±27 <sup>Ca</sup>	1,717±12 <sup>Ba</sup>	1,503±33 <sup>Aa</sup>

Means followed by different capital letters in the same column and different small letters in the same row are statistically different by the test of Duncan (p<0.05).

ในการวัดอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ ดังแสดงใน Table 3 พบว่า ที่ความเร็วรอบแปรงล้าง 960 rpm และ อัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีด 5 lpm มีการใช้น้ำในการล้างน้อยที่สุด แต่มีความสะอาดของอ้อยต่ำกว่าอ้อยอ้างอิง เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบแปรงล้าง 864 rpm และ อัตราการไหลของน้ำจากหัวฉีด 5 lpm ใช้น้ำเพียง 3.6 l แต่ให้ความสะอาดใกล้เคียงกับอ้อยอ้างอิง ซึ่งผู้ปฏิบัติการใช้น้ำในการล้าง 10 l

Table 3 Water usage (l).

Water flow rate (lpm)	Brush units speed (rpm)		
	720	864	960
5	4.2±0.2 <sup>Ac</sup>	3.6±0.2 <sup>Bc</sup>	3.1±0.3 <sup>Bc</sup>
7.5	6.8±0.2 <sup>Ab</sup>	5.9±0.4 <sup>Bb</sup>	5.1±0.2 <sup>Bb</sup>
10	7.6±0.3 <sup>Aa</sup>	6.9±0.3 <sup>Ba</sup>	7.8±0.3 <sup>Ba</sup>

Means followed by different capital letters in the same column and different small letters in the same row are statistically different by the test of Duncan (p<0.05)

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

หลังจากได้ทดสอบการทำงานขอเครื่องล้างทำความสะอาดอ้อยแล้ว ในขั้นตอนต่อไป ได้ทำการวิเคราะห์ผลทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม กำหนดให้ต้นทุนในการสร้างต้นแบบมีราคา 28,000 Baht อายุการใช้งานของเครื่องล้างทำความสะอาดอ้อย พิจารณาที่ 10 year ค่าเสื่อมราคาของเครื่องล้าง 2,520 Baht year<sup>-1</sup> อัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 7.625 % คิดเป็นค่าใช้จ่ายคงที่หรือต้นทุนคงที่ เท่ากับ 3,684 Baht year<sup>-1</sup> จากการทดสอบโดยใช้แรงงานปฏิบัติงาน 1 คน สามารถล้างอ้อยแบบต่อเนื่องได้เฉลี่ย 1,259 kg h<sup>-1</sup> มีความสิ้นเปลืองพลังงานประมาณ 0.727 kW h<sup>-1</sup> โดยพิจารณาใช้เครื่องทำงานวันละ 8 h ปีละ 260 day อัตราการรับจ้างพิจารณาจากค่าแรงขั้นต่ำเท่ากับ 310 Baht day<sup>-1</sup> หรือเท่ากับ 80,600 Baht year<sup>-1</sup> ค่าไฟฟ้า 4,536.48 Baht year<sup>-1</sup> และค่าน้ำประปา 17,203.2 Baht year<sup>-1</sup>

คิดเป็นค่าใช้จ่ายผันแปรหรือต้นทุนผันแปร 104,744.68 Baht year<sup>-1</sup> ดังนั้นต้นทุนรวมของเครื่องทั้งหมด 108,428.68 Baht year<sup>-1</sup> เมื่อพิจารณาจุดคุ้มทุน พบว่า ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อหน่วยเท่ากับ 0.0014 Baht kg<sup>-1</sup> กำหนดให้ค่ารับจ้างเครื่องล้างท่อนอ้อยเท่ากับ 0.05 – 0.5 Baht kg<sup>-1</sup> จะได้จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน ดังแสดงใน Figure 6

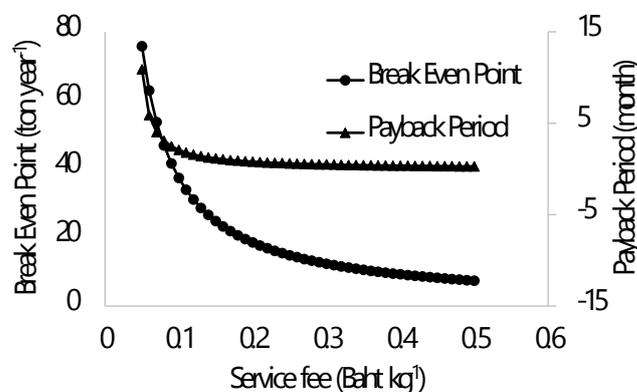


Figure 6 Break even point and payback period.

ผลการวิเคราะห์พบว่า ถ้าคิดค่ารับจ้างล้างอ้อยด้วยเครื่องล้าง 0.07 Baht kg<sup>-1</sup> จะมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4 เดือน และจุดคุ้มทุนเท่ากับ 53.7 ton year<sup>-1</sup>

#### 5 สรุป

จากผลการทดลอง จะได้ค่าปริมาณของแข็งที่เงื่อนไขการทดลองต่างๆ รวมถึงค่าอ้างอิง เมื่อพิจารณาอัตราการทำงาน ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ทดสอบแต่ละความเร็วรอบมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง พบว่า ที่ความเร็วรอบแปรงล้าง 864 rpm อัตราการไหลของน้ำ 5 lpm มีค่าปริมาณของแข็งใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากที่สุด แต่ใช้น้ำน้อยกว่า และมีอัตราการทำงานที่ 1,259 kg h<sup>-1</sup> ซึ่งสูงกว่าใช้แรงงานคนจากการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พบว่าใน 1 year ใช้เครื่องล้างทำความสะอาดอ้อยทำงาน 2,080 hr มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของเครื่อง 108,428.68 Baht year<sup>-1</sup> ระยะเวลาคืนทุน 4 เดือน และการใช้งานที่จุดคุ้มทุน 53.7 ton year<sup>-1</sup> สามารถที่จะพัฒนาเครื่องต้นแบบเพื่อใช้ทดแทนแรงงานคนได้ต่อไป

#### 6 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม รหัสโครงการ I252A08031

#### 7 เอกสารอ้างอิง

พิมพ์พรธม ปรีองาม. 2550. การพัฒนาและทดสอบเครื่องขัดผิวท่อนอ้อยแบบป้อนต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

- พิมพ์พรรณ ปรี่องาม, มงคล กวางวโรภาส. 2551. การออกแบบและสร้างเครื่องขัดผิวท่อนอ้อยชนิดขัดตามแนวเส้นรอบวงลำอ้อย. วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา 19(2), 73-79.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2547. เครื่องล้างผัก ผลไม้ไฮเทค. แหล่งข้อมูล: [http://www.clinictech.most.go.th/online/pages/techlist\\_display.asp?tid=764](http://www.clinictech.most.go.th/online/pages/techlist_display.asp?tid=764). เข้าถึงเมื่อ 27 กุมภาพันธ์ 2560.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2555. เครื่องล้างมะนาว. แหล่งข้อมูล: <http://www.tistr.or.th/tistrblog/?p=2404>. เข้าถึงเมื่อ 27 กุมภาพันธ์ 2560.
- สันดี นายตระกูล. 2527. คู่มือการวิเคราะห์อ้อยและน้ำตาลทราย. บริษัทน้ำตาลมิตรผลและบริษัทในเครือ.
- Kehinde, A.A., Michael, T.A., Robinson, A. 2015. Development of a sugarcane juice extractor for small scale industries. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology* 2(5), 1169–1173.
- Salit, M.S. 2014. Tropical natural fibre composites, engineering materials. *Engineering Materials* (pp. 15-38). Singapore: Springer.
- Tilby, S. E., “Apparatus for washing sugarcane billets,” U. S. Patent 5173122, December 22, 1992.