

## การออกแบบและพัฒนาเครื่องฟึ่งใบชาแบบกรงหมุนร่วมกับการเป่าด้วยลมเย็น เพื่อผลิตชาดำสำหรับวิสาหกิจชุมชน

### Design and Development of Tea Leaf Withering Machine in Rolling Cage Type Combine Cooling Air to Produce Black Tea for Community Enterprises

นิติพัฒน์ จอมมงคล<sup>1</sup>

วิบูลย์ จันทรมณี

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่

Nitipat Jommongkol<sup>1</sup>

Wiboon Juntaramanee

Faculty of Engineering and Technology

North-Chiang Mai University

E-mail: nitipat@northcm.ac.th<sup>1</sup>

พิเชษฐ์ ทานิล

นฤเบศร์ หนูใสเพ็ชร

Piched Tanin

Narubet Nusaipetch

Received: April 11, 2018; Revised: October 29, 2018; Accepted: November 8, 2018

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องฟึ่งใบชาแบบกรงหมุน โดยพัฒนาจากเครื่องเขย่าใบชาสำหรับการผลิตชาจีนชนิดเส้น และใช้พัดลมของเครื่องปรับอากาศสำหรับเป่าลมเย็นเพื่อช่วยลดความชื้นให้กับใบชาสดพันธุ์อัสสัมสำหรับการผลิตชาดำชนิดผง โดยค่าความชื้นที่ต้องการประมาณร้อยละ 60 - 65 ผลการทดสอบพบว่า เครื่องฟึ่งใบชาสามารถลดความชื้นของใบชาสดที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 80 ลดลงมาที่ความชื้นร้อยละ 60 ใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องฟึ่งชาแบบเดิมที่ใช้อยู่สามารถลดระยะเวลาลงได้ 5 ชั่วโมงต่อรอบการฟึ่งที่ความเร็วลม 1.3 เมตรต่อวินาที ใช้กำลังไฟฟ้า 239 วัตต์ คิดค่าความคุ้มทุนของเครื่องฟึ่งใบชาต่อราคาขายปลีกชาดำชนิดผงกล่องละ 150 บาท จุดคุ้มทุนการขายอยู่ที่ 2,290 กล่องต่อปี ทดสอบคุณภาพด้านสีและกลิ่นใบชาโดยผู้เชี่ยวชาญด้านชาตามวิธีการทดสอบมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้ผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

**คำสำคัญ:** เครื่องฟึ่งชา การผลิตชาดำ การลดความชื้น ใบชาสด วิสาหกิจชุมชนดอยปู่หมื่น

## ABSTRACT

The purpose of this research is designed and constructed a rolling type tea leaf withering machine, developed from a tea leaf shaker used in the Chinese tea production process. An air conditioner blower is used to reduce the moisture from Assam tea leaves for black tea making to the required moisture of 60 - 65 %. The result showed that the withering machine for drying tea leaves was able to reduce the moisture of the fresh tea leaves with 80% in the initial to 60% moisture content within 3 hours. It could be reduced the drying time of 5 hours per cycle is saved. Comparing with the old drying method. The speed of desiccation time was 1.3 meters per second with 239 watts electrical power is consumed. The break-even point of this machine was the total quantities of 2,290 boxes per year, by the retail price of ฿ 150 per box was used in the calculation. The color and odor of Assam tea for making are tested, according to the Office of Industrial Standards' test method, by the experts. The test results were in accordance with the referred standard.

**KEYWORDS:** Tea Leaf Withering Machine, Black Tea Produce, Reduction the Moisture of Content, Fresh Tea Leaves, Pu Muen Community Enterprise

## บทนำ

ชุมชนดอยปู่หมื่น อำเภอแม่ฮาด จังหวัด เชียงใหม่ มีชาวไทยภูเขาเผ่าลาหู่ (มูเซอ) อาศัยอยู่ 2 หมู่บ้าน จำนวนประชากร 500 คน 100 หลังคา เรือน มีรายได้จากการปลูกชาพันธุ์อัสสัม (Assam Tea) เป็นพืชเศรษฐกิจหลัก พื้นที่ปลูกชาประมาณ

1,000 ไร่ มีปริมาณผลผลิตใบชาสด 160,000 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นชาแห้งประมาณ 40,000 กิโลกรัมต่อปี (พยุงศักดิ์ ไชยกอ, 2544) ลักษณะผลิตภัณฑ์ชาของชุมชนดอยปู่หมื่นเป็นผลิตภัณฑ์ชาดำบรรจุซองพร้อมชง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์ชาดำชนิดซองชุมชนดอยปู่หมื่น

ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน

## ขั้นตอนการแปรรูปชาดำมีดังนี้

- เก็บยอดชาสด
- ผึ่งให้เหลือความชื้นร้อยละ 60-65
- นวดใบชา
- นำยอดชาที่ผ่านการนวดไปตัดย่อยด้วย

### เครื่องตัดย่อย

- หมักจนเกล็ดชาสดเปลี่ยนเป็นสีทองแดง
- นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

### จนได้ผลิตภัณฑ์ชาผง

- นำไปบรรจุซอง และบรรจุภัณฑ์

การเก็บใบชาสดที่มีคุณภาพเพื่อนำมาผลิต จะใช้แรงงานคนในการเก็บโดยเลือกเก็บเฉพาะยอดชาที่ตูมและใบที่ต่ำจากยอดตูมลงมา 2 - 3 ใบ (1 ยอด 2 ใบ) โดยทั่วไปยอดใบชาสดประกอบด้วย ความชื้นประมาณร้อยละ 75 - 80 โดยน้ำหนักส่วนที่เหลือร้อยละ 20 - 25 เป็นของแข็งทั้งหมด (ธีรพงษ์ เทพภรณ์, 2012) การผึ่งใบชาสด (Withering) เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารต่างๆ ในใบชา การผึ่งชาทำให้น้ำในใบชาระเหยไป ทำให้ใบชาเหี่ยวและมีการซึมผ่านของสารต่างๆ ภายในและภายนอกเซลล์ เกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นองค์ประกอบใหม่ที่ทำให้ชา มีสี มีกลิ่น และมีรสชาติที่แตกต่างกันไป (Tombs &

Mashingaidze, 2001) ดังนั้น ขั้นตอนการผึ่งชา จึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของการผลิตชาขั้นตอนหนึ่ง ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราส่วน ความชื้นในใบชาของกระบวนการแปรรูปชา ได้แก่ น้ำหนักก่อนและหลังเข้ากระบวนการ ร้อยละ ความชื้นมาตรฐานเปียกก่อนเริ่มขั้นตอนและตัวแปร กระบวนการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิและเวลา (ไพโรจน์ ด้วนนคร และ เสกสรรค์ วินยางค์กุล, 2552) วิธีการ ผึ่งชาของชุมชนดอยปู่หมื่น คือ การนำใบชาสดที่เก็บ ได้มาผึ่งแดดหรือผึ่งลมเพื่อให้ความชื้นของใบชา ลดลงอยู่ในค่าที่เหมาะสม และเนื่องจากชุมชนตั้งอยู่ในพื้นที่สูงและมีอากาศเย็นตลอดทั้งปีแสงแดดส่อง ถึงได้น้อย ทำให้ขั้นตอนการผึ่งชามีอุปสรรคและเป็น ปัญหากับชุมชนมาโดยตลอด ด้วยปัจจัยทางด้าน สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศของชุมชนทำให้ ขั้นตอนการผึ่งชาแบบดั้งเดิมคือการนำใบชาไปเทไว้ บนผ้าใบ หรือบนลานเพื่อผึ่งเอาความชื้นออกและ ต้องคอยสางเพื่อพลิกใบชาด้านล่างขึ้นมาด้านบน ชาที่ได้จึงมักมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากสถานที่โรงผึ่งชา คับแคบ และไม่ถูกสุขลักษณะดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งขั้นตอนการผึ่งชาแบบนี้ใช้ระยะเวลาประมาณ 17 - 18 ชั่วโมงต่อรอบการผึ่ง ทำให้เสียเวลาใน ขั้นตอนนี้มากกว่าขั้นตอนอื่น



ภาพที่ 2 การผึ่งชาแบบดั้งเดิมชุมชนดอยปู่หมื่น

ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน

(สมหมาย สารมาท และ พิเชษฐ์ ทานิล, 2015) ได้พัฒนาเครื่องฝัองชาโดยใช้พัดลมเป่าลมเย็นให้กับใบชาที่เทไว้บนรางตะแกรง ซึ่งช่วยลดระยะเวลาเหลือ 8 ชั่วโมง แต่ยังเป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างนาน อีกทั้งยังต้องใช้แรงงานคนประมาณ 4 คน เพื่อคอยสางและพลิกใบชาอยู่ตลอดเวลา ดังแสดงในภาพที่ 3 จากสภาพปัญหาของการผลิตชาดำของชุมชนในด้านคุณภาพและปริมาณของชาดำที่ผลิตได้ โดยสาเหตุเกิดจากขั้นตอนที่สำคัญ คือ ขั้นตอนการฝัอง

ใบชาซึ่งใช้ระยะเวลานานและใช้จำนวนแรงงานหลายคน ดังนั้น ทางทีมวิจัยจึงมีแนวคิดออกแบบและพัฒนาเครื่องฝัองใบชาที่ช่วยลดระยะเวลาในขั้นตอนการฝัองใบชา ช่วยลดการใช้แรงงานคนและคำนึงถึงด้านสุขอนามัยโดยที่คุณภาพและรสชาติของใบชายังคงเดิมและวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์อย่างง่ายเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาของชุมชนและผู้สนใจ



ภาพที่ 3 เครื่องฝัองชาโดยใช้พัดลมเป่าลมเย็น

ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน

### วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาวิธีการฝัองชาของวิสาหกิจชุมชนดอยปู่หมื่น อำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงใหม่
- 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการฝัองชาเพื่อลดระยะเวลาในขั้นตอนการฝัองใบชาสด และลดจำนวนแรงงานคนจากรูปแบบเดิมที่ชุมชนใช้อยู่ในปัจจุบัน
- 3) เพื่อวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องฝัองใบชาที่ได้พัฒนาขึ้น

### สมมติฐาน

ในอดีตระบบการฝัองใบชาของชุมชนใช้วิธีการฝัองโดยใช้การกองใบชาสดกับพื้นลานและพลิกพื้นใบชาด้วยแรงงานคนเพื่อให้ใบชามีการคายความชื้นอย่างทั่วถึง และต่อมารูปแบบการฝัองชาได้รับการพัฒนาขึ้นโดยใช้ลมเย็นเป่าให้ใบชาที่เทไว้บนตะแกรงเพื่อช่วยระบายความชื้นทำให้สามารถลดระยะเวลาในการลดความชื้นใบชา แต่ยังคงใช้แรงงานคนจำนวนมากช่วยสางใบชาตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด จากผลการศึกษาวิจัยเครื่องฝัองใบชาโดยใช้การเป่าลมเย็นของ (สมหมาย สารมาท

และ พิเชษฐ์ ทานิล, 2015) พบว่า การสาางพลิกพื้น ใบชาให้มีการสัมผัสกับลมเย็นที่เป่าให้ได้อย่างสม่ำเสมอ จะทำให้ใบชามีการลดความชื้นได้เร็วขึ้นและเท่ากัน ทั้งทั้งตะแกรงผึ่งชา ดังนั้น สมมติฐานงานวิจัยนี้คือ การลดระยะเวลาขั้นตอนการผึ่งใบชาสดโดยการใช้ ลมเย็นช่วยเป่าใบชาที่อยู่ในกรงเพื่อระบายความชื้น และทำให้กรงที่ใส่ใบชาสามารถหมุนรอบ 360 องศา เพื่อช่วยในการสาางและพลิกพื้นใบชาให้สัมผัสลม เย็นอย่างสม่ำเสมอโดยไม่ต้องใช้แรงงานคน ทำให้ มีการลดความชื้นใบชาได้ดีและทั่วถึงทำให้ลดระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการผึ่งใบชาน้อยกว่าวิธีเดิม

### กรอบแนวคิด

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์และ พัฒนาต่อยอดงานวิจัยที่มีอยู่ก่อนของเครื่องผึ่ง ใบชาที่ยังมีข้อบกพร่องและมีการเสนอแนะไว้ กรอบ แนวคิดจึงกำหนดไว้ว่าเครื่องผึ่งใบชาแบบใหม่นี้ จะสามารถทำให้กระบวนการผึ่งใบชามีระยะเวลา ต่อรอบการผลิตที่สั้นลง ทำให้สามารถผลิตชาดำได้ จำนวนมากขึ้น โดยที่คุณภาพและรสชาติของใบชา ยังคงเดิมและลดจำนวนแรงงานคนลง โดยที่ในอดีต ชุมชนมีการใช้เครื่องเขย่าใบชาสำหรับผลิตชาจีนเส้น แต่เมื่อเปลี่ยนมาผลิตชาดำเครื่องเขย่าใบชาจึง ไม่อยู่ในขั้นตอนการผลิต ทีมวิจัยจึงมีแนวคิดนำ อุปกรณ์ดังกล่าวซึ่งมีรูปทรงและหลักการที่ใกล้เคียง กับแนวคิดมาประยุกต์ใช้และพัฒนาเพื่อผลิตชาดำ เพราะชุมชนมีความคุ้นเคยในการใช้งานเป็นอย่างดี

อีกทั้งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน เพื่อให้ชุมชน สามารถใช้งานและซ่อมบำรุงเองได้ และลดจำนวน แรงงานคนในการพลิกพื้นใบชา ส่วนวิธีการทดสอบ จะกำหนดให้ค่าความชื้นของใบชาเป็นตัวแปรต้น และระยะเวลาของการผึ่งใบชาเป็นตัวแปรตาม รวมทั้งตรวจสอบคุณภาพของชาตามมาตรฐาน โดยการทดสอบจากผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตชา

### ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้ต้นแบบเครื่องผึ่งใบชาแบบกรงหมุนร่วม กับการเป่าด้วยลมเย็นเพื่อผลิตชาดำชนิดผง โดย พัฒนามาจากเครื่องเขย่าใบชาสำหรับการผลิตชาจีน ชนิดเส้น อีกทั้งวิสาหกิจชุมชนดอยปู่หมื่นได้วิธีการ ผึ่งชาแบบใหม่ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และ สภาพภูมิอากาศ ซึ่งขั้นตอนการผึ่งใบชามีระยะเวลา ต่อรอบการผลิตที่สั้นลง และลดจำนวนแรงงานคน

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเป็นการออกแบบและสร้างเครื่อง ผึ่งชาแบบใหม่ที่แตกต่างจากวิธีการเดิมที่ชุมชน ใช้อยู่ โดยออกแบบและพัฒนาขึ้นจากเครื่องเขย่า ใบชาสำหรับการผลิตชาจีนชนิดเส้น ดังแสดงในภาพ ที่ 4 มาใช้กับการผึ่งชาสายพันธุ์อัสสัมสำหรับการ ผลิตชาดำผง โดยเครื่องผึ่งชาที่ออกแบบและสร้าง ขึ้นนำไปติดตั้งและทดสอบสมรรถนะในพื้นที่ใช้งาน จริง ที่วิสาหกิจชุมชนดอยปู่หมื่น และทำการทดสอบ ในช่วงเวลาที่มีการผลิตชาในรอบปีการผลิตปกติ



ภาพที่ 4 เครื่องเขย่าใบชาสำหรับผลิตชาจีนเส้น

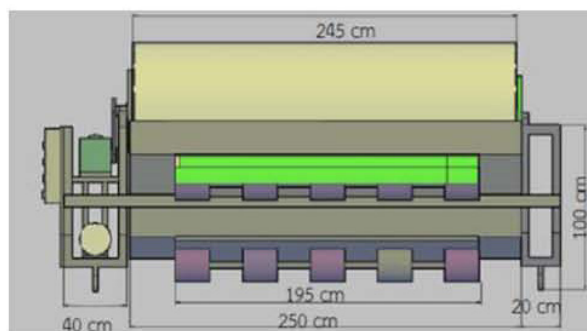
ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน

### ขั้นตอนการวิจัย

1) ศึกษาข้อมูลของวิสาหกิจชุมชนดอยปู่หมื่น ขั้นตอนและวิธีการผลิตชาดำ สภาพพื้นที่ชุมชนและปัญหาของขั้นตอนการผลิตชาดำ

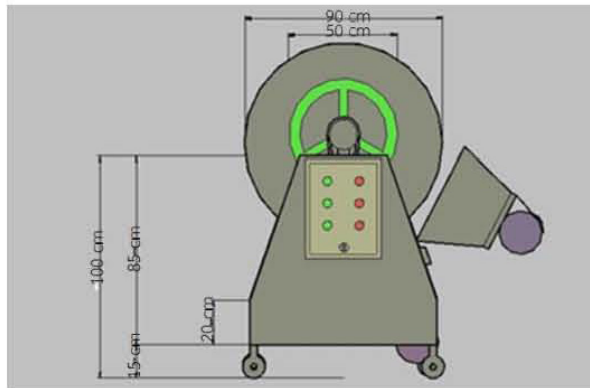
2) ออกแบบและสร้างเครื่องฝัังใบชาแบบกรงหมุน เพื่อใช้กับการฝัังใบชาพันธุ์อัสสัมสำหรับการผลิตชาดำและติดตั้งพัดลมของเครื่องปรับอากาศเพื่อเป่าลมเย็นให้กับใบชาที่อยู่ในกรงช่วยในการระเหยน้ำของใบชาให้ได้ปริมาณความชื้นตาม

ต้องการ กรงใส่ชาเป็นรูปทรงกลมทำจากแผ่นสแตนเลสที่เจาะเป็นรูตะแกรงขนาด 6 มิลลิเมตร ต่อเชื่อมกับระบบสายพานกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้สามารถหมุนได้ 360 องศา มีฝาปิด-เปิดด้านบนสำหรับนำใบชาใส่เข้าและนำออก โครงสร้างเครื่องฝัังชามีฐานตั้งตัวกรง สูง 100 เซนติเมตร กรงหมุนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 เซนติเมตร และความยาว 245 เซนติเมตร การออกแบบเครื่องฝัังใบชา ดังแสดงในภาพที่ 5 และภาพที่ 6



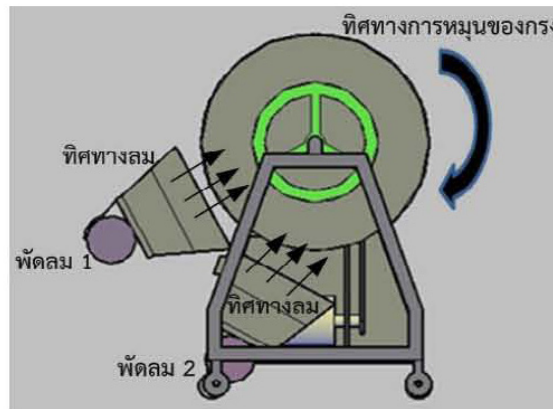
ภาพที่ 5 การออกแบบเครื่องฝัังใบชา (ด้านข้าง)

ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน



ภาพที่ 6 การออกแบบเครื่องฝึ่งใบชา (ด้านหน้า)

ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน



ภาพที่ 7 ทิศทางการหมุนของกรงและทิศทางการลมจากพัดลม

ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน

3) เครื่องฝึ่งใบชาแบบกรงหมุนออกแบบให้มีพัดลมจำนวน 2 ตัว เพื่อเป่าลมเย็นโดยเป่าลมจากด้านล่างและด้านข้างของกรง ตัวกรงมีทิศทางการหมุนตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งตัวกรงหมุนมีน้ำหนักประมาณ 20 กิโลกรัม (kg) สามารถบรรจุใบชาสดได้ครั้งละ 20 กิโลกรัม (kg) การคำนวณหาขนาดมอเตอร์เพื่อเป็นตัวต้นกำลังจากสมการที่ (1) ซึ่ง P คือ กำลังทางกลของมอเตอร์ หน่วยเป็นวัตต์ (W) T คือ แรงบิดของมอเตอร์ หน่วย

เป็นนิวตัน-เมตร (N-m) ซึ่งคำนวณได้จากน้ำหนักรวมของกรงหมุนรวมกับน้ำหนักใบชา หน่วยเป็น กิโลกรัม (kg) คูณด้วยความเร่งโน้มถ่วงของโลก หน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง ( $m/s^2$ ) จะได้ค่า F หน่วยเป็นนิวตัน (N) แล้วนำไปคูณกับรัศมีของกรงหมุนหน่วยเป็นเมตร (m) ค่าตัวแปรสำหรับการคำนวณขนาดมอเตอร์คือน้ำหนักกรง 20 กิโลกรัม น้ำหนักใบชา 20 กิโลกรัม เส้นผ่านศูนย์กลางของกรง 90 เซนติเมตร ความยาวกรง 245 เซนติเมตร

ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ต้องการ 50 รอบต่อนาที มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้มีพิกัด 1 แรงม้า (Hp) ชนิด 1 เฟส 220 โวลต์ (V) ความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที (rpm) ความเร็วของกรงหมูนีซุดเกียร์ทดรอบให้มี ความเร็วรอบที่ 50 รอบต่อนาที (rpm) ซึ่งเป็น ความเร็วที่เหมาะสมสำหรับการเป่าลมเย็น โดย เครื่องฝัngaที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 8

$$P_{out} = \frac{2\pi Tn}{60} \quad (W) \quad (1)$$

โดยที่  $P_{out}$  = กำลังทางกลของมอเตอร์ (W)  
 $T = F \times r$  (N-m)  
 $F = mg$  (N)  
 $m$  = น้ำหนักของใบซารวมกับน้ำหนักกรง (kg)  
 $g$  = ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s<sup>2</sup>)  
 $r$  = รัศมีของกรงหมูนี (m)  
 $n$  = ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm)



ภาพที่ 8 เครื่องฝัngaใบซาแบบกรงหมูนีที่ได้จัดสร้าง  
 ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน

4) ทดสอบหาความเหมาะสมความแรงลม ของพัดลมซึ่งสามารถปรับความเร็วได้ 3 ระดับ จึง ทดสอบหาค่าอัตราความเร็วของลมที่เหมาะสม กำลังไฟฟ้าที่ใช้และระยะเวลาที่ทำให้ความชื้นลดลง โดยนำใบซาสดทดสอบการฝัnga 3 ครั้ง ตามค่าระดับ ความเร็วของพัดลม ทำการวัดและคำนวณค่าร้อยละ ของความชื้นใบซาที่ลดลงทุกๆ 30 นาทีพร้อมทั้ง วัดค่าแรงดันไฟฟ้าหน่วยเป็นโวลต์ (V) และกระแส ไฟฟ้าหน่วยเป็นแอมป์ (A) แล้วคูณด้วยค่าตัว ประกอบกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ เพื่อหาค่ากำลัง ไฟฟ้าหน่วยเป็นวัตต์ (W) ดังสมการที่ (2) และนำผล การทดสอบทั้ง 3 ครั้ง มาหาค่าอัตราความเร็วของ ลมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

$$P_{in} = V \times I \cos\theta \quad (2)$$

โดยที่  $P_{in}$  = กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ (W)  
 $V$  = แรงดันไฟฟ้า (V)  
 $I$  = กระแสไฟฟ้า (A)  
 $\cos\theta$  = ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

5) หาค่าความชื้นใบซาโดยทดสอบจำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย กำหนดให้ช่วงเวลาการทดสอบ ให้มีอุณหภูมิโดยรอบและความชื้นใกล้เคียงกัน พื้นที่ ดอยปูหมื่นมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 75 ค่าความชื้นในใบซาจะเป็นร้อยละของอัตราส่วน น้ำหนักน้ำในใบซากับน้ำหนักใบซา ใช้วิธีการหาค่า





ภาพที่ 9 การทดสอบหาค่าความชื้นในใบชา

ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน

ปริมาณความชื้นของ Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (2000) สามารถคำนวณหาได้โดยการสุ่มตัวอย่างใบชามาชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและนำไปอบในเตาไมโครเวฟเพื่อลดความชื้นจนใบชาแห้งกรอบซึ่งถือว่ามีความชื้นเป็นร้อยละศูนย์ และนำมาชั่งน้ำหนักบนเครื่องชั่งแบบดิจิตอลซึ่งมีความละเอียดสูงหลังการอบ ดังแสดงในภาพที่ 9 ทำซ้ำทุกๆ ครึ่งชั่วโมง และนำค่ามาคำนวณตามสมการที่ (3)

$$\text{ร้อยละความชื้นใบชา} = \frac{(Mw - Md)}{Mw} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่  $Mw$  = มวลน้ำหนักเปียก

$Md$  = มวลน้ำหนักแห้ง

6) เครื่องฝัชมามีการติดตั้งและใช้งานระบบไฟฟ้า มีบล็อกไดอะแกรมระบบไฟฟ้า แสดงในภาพที่ 10 ในการทดสอบเครื่องฝัชใบชาทำการวัดปริมาณด้านแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการฝัชเพื่อคำนวณหาค่าความคุ้มค่าของเครื่องฝัชใบชา ดังแสดงในภาพที่ 11

7) การทดสอบคุณภาพใบชาที่ผ่านการฝัช โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านชาจำนวน 3 คน ทดสอบ

คุณภาพกลิ่นและสีของใบชาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม โดยทำการทดสอบ 3 อย่าง คือ กลิ่น สี และกลิ่นรส ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งมีหลักเกณฑ์การทดสอบตามสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ดังแสดงในตารางที่ 1

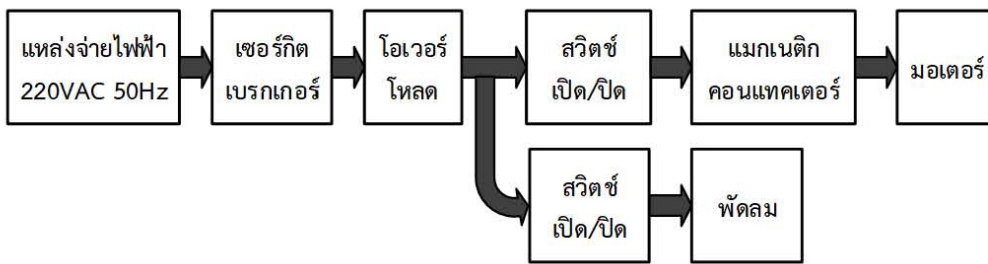
8) การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์อย่างง่าย โดยวิเคราะห์และคำนวณหาจุดคุ้มทุนของเครื่องฝัชชาเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับพิจารณาตัดสินใจจัดสร้างและเป็นข้อมูลเผยแพร่ให้ผู้ที่สนใจ จากสมการที่ (4) และสมการที่ (5) (จุฑามาศ จรรย์ญาพร, 2547)

$$\text{หน่วยขายคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่ต่อปี}}{(\text{ราคาต่อหน่วย} - \text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย})} \quad (4)$$

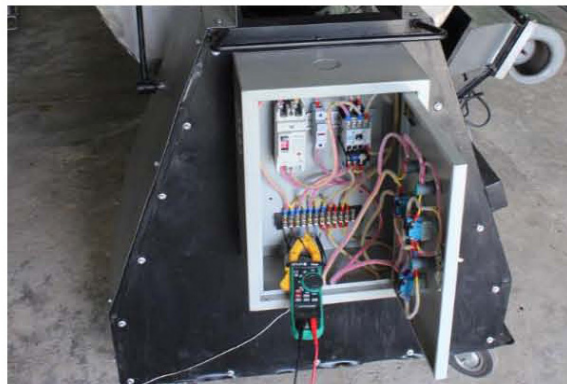
$$\text{มูลค่าคุ้มทุน} = \text{หน่วยขาย} \times \text{ราคาต่อหน่วย} \quad (5)$$

### เครื่องมือ

- 1) เครื่องฝัชใบชาแบบกรงหมุนร่วมกับการเป่าด้วยลมเย็น
- 2) เตอบไมโครเวฟ
- 3) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล
- 4) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า
- 5) เครื่องวัดความเร็วลม



ภาพที่ 10 บล็อกไดอะแกรมระบบไฟฟ้า



ภาพที่ 11 การวัดค่าปริมาณด้านไฟฟ้า

ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน



ภาพที่ 12 ผู้เชี่ยวชาญด้านชาทดสอบคุณภาพชา

ที่มา: ถ่ายภาพโดยผู้เขียน

**ตารางที่ 1** หลักเกณฑ์การให้คะแนนการทดสอบคุณภาพใบชา

ลักษณะที่ตรวจสอบ	ระดับการตัดสิน	คะแนนที่ได้รับ
สี	- สีดีตามธรรมชาติของชาชนิดนั้นๆ	3
	- สีพอใช้ได้ใกล้เคียงกับสีตามธรรมชาติของชาชนิดนั้นๆ	2
	- สีผิดปกติหรือมีการเปลี่ยนสี	1
กลิ่น	- กลิ่นดีตามธรรมชาติของชาชนิดนั้นๆ	3
	- กลิ่นพอใช้ได้ใกล้เคียงกับกลิ่นตามธรรมชาติของชาชนิดนั้นๆ	2
	- กลิ่นผิดปกติหรือมีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ	1
กลิ่นรส	- กลิ่นรสสารละลายของชาชนิดนั้นๆ เข้มข้นดี	3
	- กลิ่นรสสารละลายของชาชนิดนั้นๆ น้อย	2
	- กลิ่นรสสารละลายผิดปกติหรือมีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์	1

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2558)

**ผลการวิจัยและอภิปรายผล**

การทดสอบหาความเหมาะสมของความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าของพัดลมที่นำมาติดตั้งให้กับเครื่องผึ่งใบชาแบบกรงหมุน และเปรียบเทียบผลการลดความชื้นใบชาจากการผึ่งทั้ง 3 ครั้ง ผลการทดสอบพบว่า แรงลมที่ช่วยให้ความชื้นในใบชาลดลงได้ระยะเวลาที่เร็วใกล้เคียงกันมี 2 ระดับ คือ แรงลมระดับที่ 2 และระดับที่ 3 แต่เมื่อพิจารณาด้านกำลังไฟฟ้า พบว่า ระดับที่ 2 มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่น้อย

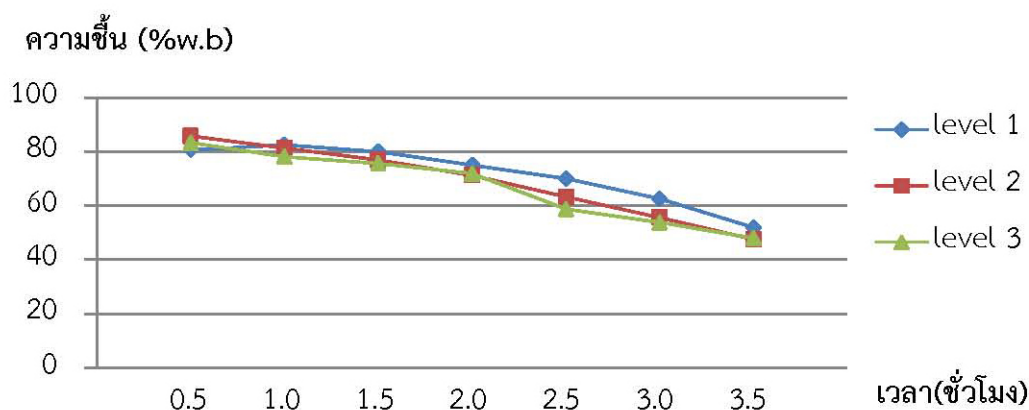
กว่าระดับที่ 3 ดังแสดงตารางที่ 2 ดังนั้น การใช้แรงลมระดับที่ 2 จึงมีความเหมาะสมมากที่สุด และกราฟผลการทดสอบค่าความชื้นและความเร็วลมทั้ง 3 ระดับ ดังแสดงในภาพที่ 13 การหาค่าความชื้นใบชาที่ผ่านการผึ่งด้วยวิธีการคำนวณค่าร้อยละของความชื้นตามสมการที่ (3) ผลการทดสอบค่าที่เหมาะสมของขั้นตอนการผึ่งใบชาสดคือความชื้นที่ร้อยละ 60 คือ ช่วงระยะเวลาการผึ่งที่ประมาณ 3 ชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 2** ผลทดสอบความเร็วลมทั้ง 3 ระดับ

ระดับของพัดลม	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
Level 1	0.7	147
Level 2	1.3	239
Level 3	2.1	307

จากผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับผลการวิจัยของ (สมหมาย สารมาท และ พิเชษฐ์ ทานิล, 2015) เกี่ยวกับการเป่าลมเย็นการสาางพลิกพื้นใบชาให้มี

การสัมผัสกับลมเย็นที่เป่าอย่างสม่ำเสมอจะทำให้ใบชามีการลดความชื้นได้รวดเร็วขึ้นและทั่วถึงทั้งหมดของใบชาที่นำมาผึ่ง



ภาพที่ 13 ค่าความชื้นที่ความเร็วลม ทั้ง 3 ระดับ

ตารางที่ 3 ผลทดสอบความชื้นใบชา

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักก่อนการทดสอบ (กรัม)	น้ำหนักหลังการทดสอบ (กรัม)	ความชื้น (%w.b)
0.50	7.54	1.43	81.03
1.00	9.17	2.06	77.54
1.50	7.65	1.77	76.86
2.00	6.42	2.04	68.22
2.50	8.98	3.17	64.70
3.00	8.93	3.34	62.60
3.50	7.32	3.01	58.88

การทดสอบคุณภาพใบชาโดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ให้คะแนนตามขั้นตอนและวิธีการทดสอบมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยในแต่ละหัวข้อมีคะแนนเต็ม 3 คะแนน เกณฑ์การผ่านมาตรฐานคือต้องไม่มีหัวข้อใดได้คะแนนน้อยกว่า 2 คะแนน หรือค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 2 คะแนน จากผลรวมคะแนนของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 คน ซึ่งผลการทดสอบได้คะแนนจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 คน ดังแสดงในตารางที่ 4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์อย่างง่ายของเครื่องฟิ้งใบชาแบบกรงหมุนมีต้นทุนการสร้างเครื่องรวม 51,580 บาท

อายุการใช้งานประมาณ 10 ปี สามารถฟิ้งชาได้ 20 กิโลกรัมต่อรอบ ในเวลา 1 วัน สามารถฟิ้งใบชาได้ 2 รอบ คือ 40 กิโลกรัม และมีส่วนที่สูญเสียใบชาต่อรอบการฟิ้งประมาณ 0.5 กิโลกรัม ได้ใบชาที่ผ่านการฟิ้งสุทธิ 39 กิโลกรัม ซึ่งอัตราส่วนการผลิตชาดำชนิดผงต่อใบชาสด คือ 5 ต่อ 1 ดังนั้น จะได้ชาดำผง 8 กิโลกรัม แบ่งบรรจุได้ 267 กล่องต่อวัน ต้นทุนใบชาสดกิโลกรัมละ 15 บาท แต่ละกล่องมีต้นทุนจากใบชา 2.25 บาท และบรรจุภัณฑ์มีต้นทุนจากค่ากล่องและอุปกรณ์ของที่ 80 บาทต่อกล่อง รวมต้นทุนผันแปรต่อกล่อง 82.25 บาท

**ตารางที่ 4** ผลการทดสอบคุณภาพขาโดยผู้เชี่ยวชาญ

ลักษณะที่ตรวจสอบ	ระดับการตัดสิน	คะแนนเฉลี่ยที่ได้รับ
สี	- สีดีตามธรรมชาติของชาชนิดนั้นๆ - สีพอใช้ใกล้เคียงกับสีตามธรรมชาติของชาชนิดนั้นๆ - สีผิดปกติหรือมีการเปลี่ยนสี	3
กลิ่น	- กลิ่นดีตามธรรมชาติของชาชนิดนั้นๆ - กลิ่นพอใช้ใกล้เคียงกับกลิ่นตามธรรมชาติของชาชนิดนั้นๆ - กลิ่นผิดปกติหรือมีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ	3
กลิ่นรส	- กลิ่นรสสารละลายของชาชนิดนั้นๆ เข้มข้นดี - กลิ่นรสสารละลายของชาชนิดนั้นๆ น้อย - กลิ่นรสสารละลายผิดปกติหรือมีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นรสเปรี้ยวบูด	3

เมื่อเครื่องฝั่งชาใช้กำลังไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเครื่องจึงต้องคิดค่าไฟฟ้าโดยกำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดของการทำงานของเครื่องฝั่งชา คือ 830 วัตต์ ในเวลา 1 ชั่วโมง คิดเป็น 0.83 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง เครื่องฝั่งใบชาทำงานที่ 3 ชั่วโมงต่อรอบการทำงาน คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาท (ชุมชนใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กระดับชุมชน) คิดเป็นค่าไฟฟ้าต่อรอบการผลิตเท่ากับ 12.45 บาท ดังนั้น ใน 1 วันสามารถฝั่งชาได้สองรอบค่าไฟฟ้าจึงเท่ากับ

$12.45 \times 2 = 24.90$  บาทต่อวัน เครื่องฝั่งชาต้องการคนงานควบคุมเครื่องจำนวนคน 1 คน คิดค่าแรงงานที่ 300 บาทต่อวัน นำต้นทุนการผลิตทั้งหมดรวมค่าไฟฟ้า ค่าแรงงาน และค่าเสื่อมราคา ต่อฤดูกาลผลิตชารวมปีละ 155,134 บาท ขายผลิตภัณฑ์ชาดำราคากล่องละ 150 บาท กำหนดได้ปริมาณการขายชาดำกับจุดคุ้มทุนเป็นจำนวน 2,290 กล่อง มูลค่าขายคุ้มทุนที่ 343,500 บาท ดังแสดงในตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ตัวแปร	จำนวน	หน่วย
ต้นทุนคงที่ต่อปี	155,134	บาท
ต้นทุนผันแปรต่อกล่อง	82.25	บาท
ราคาขายต่อกล่อง	150	บาท
จุดคุ้มทุนต่อปี	2,290	กล่อง
มูลค่าขายคุ้มทุนต่อปี	343,500	บาท

## สรุปผลการวิจัย

เครื่องฟุ้งใบชาแบบกรงหมุนร่วมกับการเป่าด้วยลมเย็นเพื่อผลิตชาดำที่คณะวิจัยได้พัฒนาและจัดสร้างขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาของวิสาหกิจชุมชนดอยปู่หมื่น โดยพัฒนาจากเครื่องเขย่าชาซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ชุมชนเคยใช้งานสำหรับการเขย่าใบชาเพื่อผลิตชาจีน และประยุกต์ติดตั้ง

พัดลมของเครื่องปรับอากาศซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่หาได้โดยทั่วไป มีความสะดวกไม่มีความซับซ้อนในขั้นตอนการใช้งานและซ่อมบำรุง มีความเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ชุมชน ผลการทดสอบความเหมาะสมของพัดลมที่นำมาติดตั้ง พบว่า การใช้งานระดับความเร็วลม 1.3 เมตรต่อวินาที มีความเหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาจากแรงลมและระยะเวลาการฟุ้งต่อปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของตัวพัดลม ผลการทดสอบการลดความชื้นใบชาของเครื่องฟุ้งใบชาแบบกรงหมุนสามารถลดความชื้นของใบชาสดที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 80 ลงมาที่

ความชื้นประมาณร้อยละ 60 ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการฟุ้งใบชา ใช้เวลา 3 ชั่วโมง สามารถลดระยะเวลาการฟุ้งจากเดิมได้ 5 ชั่วโมง ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องฟุ้งใบชากับวิธีการดั้งเดิมของชุมชนซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 ฟุ้งใบชาบนลาน วิธีที่ 2 ฟุ้งใบชาบนตะแกรงมีลมเป่าและวิธีที่ 3 ฟุ้งใบชาในกรงหมุนมีลมเป่า ดังแสดงในตารางที่ 6 ใบชาที่ผ่านการฟุ้งได้รับการทดสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตชาซึ่งมีคุณภาพความอ่อนตัวการคายน้ำที่ทั่วถึงตลอดทั้งยอดชาและมีกลิ่นที่ใกล้เคียงกับวิธีการเดิม ใบชาที่ผ่านการฟุ้งมีความสะอาดเพิ่มขึ้น ลดปริมาณเศษกิ่งไม้ เศษหินและใบชาแห้งที่ผสมในกองใบชา เนื่องจากถูกเหวี่ยงออกผ่านทางรูตะแกรงกรงสแตนเลสหมุน ที่สำคัญคือ ช่วยลดการใช้แรงงานคนสำหรับการสางพลิกพื้นใบชาจากวิธีการเดิมที่ใช้ 4 คน ลดลงมาเหลือ 1 คน สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องฟุ้งใบชา

## ตารางที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการฟุ้งใบชา

วิธีฟุ้งชา	ความชื้นเริ่มต้น (%)	ความชื้นต้องการ (%)	เวลาการฟุ้ง (ชั่วโมง)	แรงงาน (คน)
วิธีที่ 1	80	60	18	4
วิธีที่ 2	80	60	8	4
วิธีที่ 3	80	60	3	1

ด้านเศรษฐศาสตร์วิเคราะห์ได้จากค่าความคุ้มค่าของเครื่องฟุ้งใบชา เมื่อคิดค่าไฟฟ้าต่อหน่วย 5 บาท คำนวณค่าไฟฟ้าต่อรอบการผลิตเท่ากับ 12.45 บาท ต่อรอบการฟุ้งที่ 3 ชั่วโมง ค่าความคุ้มค่าของเครื่องฟุ้งใบชารวมต้นทุนทั้งหมดต่อราคาขายปลีกชาดำชนิดผงพร้อมซองที่จุดคุ้มทุนการขาย 2,290 กล่อง เครื่องฟุ้งใบชาแบบกรงหมุนร่วมด้วยการเป่าลมเย็นมีประสิทธิภาพสามารถแก้ปัญหาขั้นตอนการฟุ้ง

ใบชาให้กับชุมชนในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศเย็นและแสงแดดน้อย โดยลดระยะเวลาการฟุ้งให้สั้นลงลดจำนวนแรงงานคนในขั้นตอนการสางใบชาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นได้ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีพื้นฐานไม่ซับซ้อน สามารถใช้งานและซ่อมบำรุงได้โดยง่าย เป็นการพัฒนาระดับคุณภาพการผลิตชาในประเทศได้

## ข้อเสนอแนะ

เครื่องฝั่งใบชาแบบกรงหมุนด้วยวิธีการเป่าลมเย็นสามารถลดระยะเวลาการฝั่งชาด้วยรูปแบบเดิมที่มีอยู่ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อีกทั้งคุณภาพของชาที่ได้มีความใกล้เคียงกับที่ต้องการ เป็นประโยชน์สำหรับพื้นที่ที่มีแสงน้อย และมีความชื้นมาก เช่น พื้นที่บนที่สูง แต่ต้องเป็นพื้นที่ที่มีไฟฟ้าใช้ สำหรับผู้ที่สนใจสามารถจัดสร้างเครื่องฝั่งใบชาตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน และนำไปติดตั้งใช้งานได้จริง โดยอุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องสามารถหาซื้อได้ตามร้านค้าทั่วไป พัฒลมเป่าลมเย็นประยุกต์ใช้จากพัฒลมของเครื่องปรับอากาศสามารถหาซื้อได้จากร้านขายเครื่องใช้ไฟฟ้ามือสอง ซึ่งจะมีราคาถูกและใช้งานได้ดี มอเตอร์ไฟฟ้าควรเลือกเป็นระบบไฟฟ้าชนิด 1 เฟส แบบคาปาซิเตอร์สตาร์ทเพราะหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่สูงและมีแรงบิดเริ่มต้นที่ดี และเครื่องฝั่งใบชายังมีจุดที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของ การควบคุมระยะเวลาทำงานแบบอัตโนมัติเพื่อให้งานมีความสะดวกและความเที่ยงตรงกับระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งผู้ที่สนใจวิจัยต่อยอด หรือนำไปใช้งานจริงสามารถออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมเวลาและตัวตรวจวัดค่าความชื้น เพื่อให้เครื่องฝั่งใบชาทำงานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และในส่วนของการนำใบชาออกจากกรงหมุน เมื่อทำการฝั่งเรียบร้อยแล้ว ยังมีข้อจำกัดโดยต้องใช้มือโกยใบชาออกทำให้มีความล่าช้าพอสมควรจึงควรออกแบบให้มีวิธีการที่สามารถนำใบชาออกโดยสะดวกและใช้เวลาให้น้อยลง

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนอร์เท-เซียะใหม่ และวิสาหกิจชุมชนดอยปู่หมื่น ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- จุฑามาศ จรรย์ญาพร. 2547. การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เพื่อพัฒนาธุรกิจ SMEs. **วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย**, 24(1): 122 - 137.
- ธีรพงษ์ เทพภรณ์. 2555. ชา: กระบวนการผลิต และองค์ประกอบทางเคมีจากการหมัก. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 17(2): 189 - 196.
- พญศักดิ์ ไชยกอ. 2544. ความต้องการในการพัฒนาอาชีพการเกษตรของชาวเขาเผ่ามูเซอตำหมู้บ้านดอยปู่หมื่นใน ตำบลแม่สาว อำเภอแม่เมาะ จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.
- ไพโรจน์ ด้วงนคร, และ เสกสรรค์ วินยางค์กุล. 2552. การใช้แบบจำลองเครื่องข่ายประสาทเทียม ในการทำนายความชื้นยอดใบชาใน กระบวนการแปรรูป. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**, 11(4): 38-45.
- สมหมาย สารมาท, และ พิเชษฐ์ ทานิล. 2558. การออกแบบและสร้างเตาฝั่งใบชาแบบเป่าลมเย็นโดยใช้พลังงานน้ำสำหรับชุมชนบ้าน ดอยปู่หมื่น อำเภอแม่เมาะ จังหวัดเชียงใหม่. **วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพ ชีวิต**, 3(10): 105 - 114
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2558. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องชา (มผช. 120/2558)**. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. **Official method of analysis of AOAC International** (17<sup>th</sup> ed.). Gaithersburg, MD, USA: Association of Analytical Communitis.

Tombs K. I., & Mashingaidze A.. 2001. Influence of withering including leaf handling on the manufacturing and quality of black teas a review. **Food Chemistry**, 60(4): 573-580.