การวิเคราะห์การกระจายของอุณหภูมิและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องคั่วใบชาแบบต่อเนื่อง

Temperature Distribution and Thermal Efficiency Analysis of Continuous Tea Panner

สัมพันธ์ ไชยเทพ [1] และ สามารถ วาวีขจรเกียรติ [2]
[1] โครงการจัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
โทร 0-5394-2004-5, โทรสาร 0-5394-2062, E-mail: sumpun@eng.cmu.ac.th
[2] สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200 E-mail: JING2522@hotmail.com

Sumpun Chaitep[1] and Samart Waweekajornkeat [2]
[1] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University 50200, Thailand
Tel. 0-5394-2004-5, Fax. 0-5394-2062, E-mail: sumpun@eng.cmu.ac.th
[2] Postharvest Technology Institute, Chiang Mai University 50200, Thailand E-mail: JING2522@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายของอุณหภูมิและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องคั่วใบชาแบบต่อเนื่อง จากการทดลองพบว่า การกระจายอุณหภูมิของเครื่องคั่วใบชาที่จุดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องเท่ากับ 10.59 %

Abstract

The main objective of this research was to study temperature distribution and thermal efficiency of continuous tea panner. It was found that temperature distributed of tea panning was significant. Thermal efficiency of panner was 10.59 %.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมชาถือว่าเป็นพัฒนาการเทคโนโลยีชีวภาพที่เก่าแก่ที่สุดของมนุษยชาติ เป็นเครื่องดื่มที่นิยมแพร่หลายทั่วโลก สำหรับประเทศไทย เกษตรกรในเขตภาคเหนือทำการผลิตชาเป็นอุตสาหกรรมครอบครัวมาเนิ่นนานแล้วในรูปแบบของผลิตภัณฑ์เมี่ยง วัตถุดิบที่ใช้ทำมาจากใบชาป่า ที่ซึ่งเจริญเติบโตกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่จังหวัด เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอนและลำปาง เป็นต้น ชาจีนที่ผลิตได้ 70% เป็นชาที่มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากขาดแคลนแรงงานที่มีความชำนาญและผู้เชี่ยวชาญเทคโนโลยี เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตค่อนข้างล้าสมัย อีกทั้งยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ การผลิตชาจีนส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน จึงขาดแคลนเครื่องจักรที่ทันสมัย ทำให้ผลิตภัณฑ์ชาที่ได้มีคุณภาพต่ำ [1] กรมวิชาการเกษตร (2546) ชา เป็นพืชสวนอุตสาหกรรมที่ใช้แปรรูปเป็นเครื่องมือและผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยผลผลิตชาของโลกเป็นชาดำหรือชาฝรั่ง (Black Tea) ประมาณ 70% อีก 30% เป็นชาใบซึ่งรวมถึงชาจีน (Oolong Tea) และชาเขียว (Green tea) ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศเจำนวนมาก โดยในปี 2540 มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศรวม 500 ตัน มูลค่า 33 ล้านบาทและส่งออกรวม 197 ตัน มูลค่า 18 ล้านบาท จากสถิติดังกล่าว จะเห็นได้ว่าประเทศไทยขาดดุลการค้าชา ถึง 15 ล้านบาท สาเหตุสำคัญที่มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ชาจากต่างประเทศ เนื่องจากชาที่ผลิตได้ในประเทศยังมีคุณภาพไม่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตและปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งในปัจจุบันยังมีกระบวนการและขั้นตอนในการผลิตที่ไม่เหมาะสม เช่น ใช้เครื่องมือแปรรูปชาจีนที่ไม่สามารถควบคุมระดับอุณหภูมิได้ ซึ่งส่งผลให้ชาที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำ [2]

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบสร้างและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตใบชาจีนให้ทันสมัย สะดวก และรวดเร็ว เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของอุตสาหกรรมระดับกลุ่มเกษตรกร

2. ทฤษฎี

2.1 กระบวนการผลิตชาจีน

ผลิตภัณฑ์ใบชาจีนเป็นผลิตภัณฑ์ชาดั้งเดิมที่กำเนิดในประเทศจีน ชาวจีนนิยมบริโภคชาประเภทนี้กันมาก จึงได้เรียกว่าชาจีน

(Chinese Tea) ด้วยลักษณะตัวใบชายังคงสภาพเป็นใบอยู่ จึงอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ชาใบ (Leave Tea) [3]

กรมวิชาการเกษตร (2546) [2] ได้ระบุว่า ชา เป็นพืชเครื่องดื่มชนิดหนึ่ง ในประเทศไทยมีการปลูกในเขตภาคเหนือ พันธุ์ที่ส่งเสริม คือชาพันธุ์อัสสัม ชิงชิงอูหลง ชิงชิงตาฟ้าง อู่หลงก้านอ่อน พื้นที่ปลูกทั้งประเทศ (2541) 51,162 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิต 47,959 ไร่ โดยเฉพาะในเขตบนที่สูง แต่ควรมีความลาดชันไม่เกิน 45 องศา และมีความสูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 200- 2,000 เมตร อากาศเย็นประมาณ 25 - 30°C ปริมาณน้ำฝน 1,140 – 1,270 มิลลิเมตรต่อปี ชาเป็นพืชที่ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี ศัตรูพืชน้อย ดูแลรักษาง่าย สามารถปลูกเป็นพืชเชิงอนุรักษ์บนพื้นที่สูง ผลผลิตชารวมทั้งประเทศ 22,861 ตัน ใบชาแห้ง ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ 476 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี ใบชาแห้ง ต้นทุนการผลิต 4,474 บาทต่อไร่ต่อปี ผลผลิตที่ได้ใช้ในการบริโภคในประเทศเป็นส่วนใหญ่ แต่ผลผลิตที่ได้ยังไม่เพียงพอกับความต้องการภายในประเทศ ปริมาณการบริโภคภายในประเทศ 2600 ตันต่อปี (2538) ปริมาณการส่งออก (2542) ใบชาเขียว 43 ตัน มูลค่า 6.6 ล้านบาท ใบชาดำ 343 ตัน มูลค่า 14.8 ล้านบาท ปริมาณการนำเข้า (2541) ใบชาเขียว 347 ตัน มูลค่า 25.1 ล้านบาท ใบชาดำ 108 ตัน มูลค่า 18.9 ล้านบาท [2]

ชาจีนที่ผลิตในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นชากึ่งหมักประเภทหมักแก่ คุณภาพของชาจีนที่ผลิตได้ 70% เป็นชาเกรดต่ำ เนื่องจากใบชาสดที่ได้นั้นมาจากชาป่า เป็นชาพันธุ์อัสสัมใบใหญ่ มีอัตราส่วน Astringent compounds ต่อ Nitrogenous compounds สูง ไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตชาจีนคุณภาพดี ประกอบกับเทคโนโลยีการผลิตระดับโรงงานยังไม่ได้มาตรฐาน โดยเฉพาะขาดขั้นตอนสำคัญระหว่างกระบวนการผลิต 2 ขั้นตอนคือ การผึ่งแดดและการเขย่ากระตุ้นชาระหว่างการผึ่งในร่ม รวมทั้งขาดเทคนิครายละเอียดของขั้นตอนการผลิตและมีอุปกรณ์การผลิตที่ล้าสมัย ทั้งขาดแคลนแรงงานที่มีความชำนาญ [2]

ขั้นตอนของขบวนการผลิตชาจีนแบบกึ่งหมักดังนี้ [1]

(1). ยอดชาสด (Fresh Leaves) ผลิตภัณฑ์ชาที่มีคุณภาพต้องเริ่มต้นจากการเก็บเกี่ยวยอดชา (Plucking) ที่ถูกต้อง ยอดชาสดที่ถือว่าเป็นวัตถุดิบที่ดีคือ ยอดชาที่มี 2 ใบกับ 1 ยอด อายุของยอดชาไม่อ่อนหรือแก่เกินไป หากเก็บเกี่ยวด้วยมือจะให้ยอดชามีคุณภาพดี การเก็บเกี่ยวยอดชามีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาที่ผลิตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตชาจีน พบว่า ยอดชาที่ถูกอัดแน่นภายในภาชนะบรรจุเกิดการชอกช้ำเสียหายและมีการหมักเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหายใจของใบชา ปริมาณสารแทนนินในยอดชาจะเข้มข้นขึ้น หากอุณหภูมิเพิ่มสูงกว่า 45°C ดังนั้น ยอดชาสดหลังการเก็บเกี่ยวต้องไม่ถูกอัดแน่นในภาชนะบรรจุอย่างเด็ดขาด และควรลำเลียงมาส่งโรงงานโดยเร็ว

(2). การผึ่งชา (Withering) ยอดชาสดหลังเก็บเกี่ยวจะถูกนำมาผึ่งในโรงงาน การผึ่งทำได้ 2 วิธีคือ การผึ่งแบบธรรมชาติ (Natural Withering) โดยการนำยอดชามาเกลี่ยเป็นชั้นบาง ๆ บนตะแกรงหรือกระจาด ผึ่งทิ้งไว้ในห้องหรือในที่ร่ม การผึ่งด้วยเครื่องจักร (Artificial Withering) เครื่องผึ่งชาโดยทั่วไปมักเป็นกระบะผึ่ง มีลมพัด (Blower) เป่าลมเย็นหรือลมร้อนผ่านใต้ขั้นตะแกรงที่รับยอดชา ในกรณีใช้ลมร้อนต้องควบคุมอุณหภูมิของลมด้วย วัตถุประสงค์ของขั้นตอนการผึ่งชาได้แก่

(2.1) เพื่อลดความชื้นในใบชา เนื่องจากใบชาสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 70 – 80% มาตรฐานเปียก การลดปริมาณน้ำของใบลงช่วยให้ปฏิกิริยาเคมีของสารต่าง ๆ ในใบชาเกิดขึ้นได้ดีขึ้น นอกจากนี้การสูญเสียน้ำของใบชาระหว่างการผึ่ง ใบชาจะเหี่ยว มีลักษณะอ่อนนุ่ม มีความหยุ่น เหนียว ทำให้เวลานวดใบชาม้วนตัวได้ดี ไม่ฉีกขาดเป็นชิ้น เนื่องจากของเหลวภายในเซลล์ใบที่ถูกบีบออกมาคลุกเคล้านั้นมีลักษณะข้นและเหนียว

(2.2) เพื่อกระตุ้นให้เกิดการหมักอย่างอ่อน ในระหว่างการผึ่งชาจะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของสารต่าง ๆ ในใบชา ผนังเซลล์ของใบชามีการยอมให้สารซึมผ่านเข้าออกเพิ่มขึ้น และเกิดการหมักอย่างอ่อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นจะสิ้นสุดภายในเวลา 6 – 10 ชั่วโมง ระหว่างนี้พบว่าสารพวก Phenolic Compounds กรดอะมิโนและคาร์โบไฮเดรทที่มีผลต่อรสชาด กลิ่นและสีของน้ำชามีปริมาณเพิ่มขึ้น

(3). การคั่วชา (Panning) เป็นขั้นตอนสำคัญของกระบวนการการผลิตชาจีนแบบกึ่งหมัก ยอดชาสดที่ผ่านการผึ่งและการกระตุ้นโดยการสางคนหรือเขย่า เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีหรือการหมัก จะถูกนำมาคั่วด้วยกระทะร้อนหรือเครื่องคั่วชาที่อุณหภูมิ 200 – 350°C นาน 5 – 10 นาที คั่วให้กลิ่นชาสดหายไป (กลิ่นเหม็นเขียว) จนเกิดกลิ่นหอมคล้ายผลไม้สุก วัตถุประสงค์สำคัญของการคั่วชาคือ เป็นการหยุดปฏิกิริยาทางชีวเคมีของใบชาหรือเป็นการหยุดการหมักนั่นเอง การคั่วเป็นการใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์ Polyphenol Oxidase ที่อยู่ใต้ชั้นผิวใบ และช่วยให้ใบชาเหี่ยว อ่อนนุ่มเหมาะสำหรับการนวดชา ทำให้ใบชาม้วนตัวสวยงามได้ง่ายในขั้นต่อไป

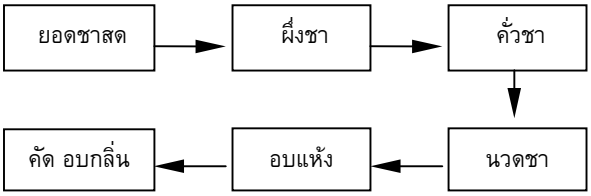
(4). การนวดชา (Rolling) นำชาที่ผ่านการคั่วแล้วมานวดในเครื่องนวดเป็นเวลา 10 –15 นาที เป็นการบดขยี้ใบชา โดยมีวัตถุประสงค์ทำให้ใบชาฉีกขาดและเซลล์ใบแตก เพื่อให้สารประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ภายในเซลล์และ Vacuole ของเซลล์ออกมาทำปฏิกิริยาเคมีกัน ตลอดจนเคลือบส่วนต่าง ๆ ของใบชา และละลายปนกับน้ำร้อนได้ง่ายตอนชงชา และช่วยให้ใบชาม้วนตัวแน่นสวยงาม

(5). การหมักชา (Fermentation) ในการผลิตชาจีนแบบกึ่งหมัก ปฏิกิริยาการหมักของใบชาเกิดขึ้นในขั้นตอนการผึ่งชา ขบวนการหมักก็เริ่มดำเนินขึ้นในขั้นตอนนี้ อุณหภูมิ ออกซิเจน และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการหมัก

(6). การอบแห้ง (Drying) วัตถุประสงค์ของการอบแห้งใบชามีอยู่ 2 ประการคือ เพื่อหยุดปฏิกิริยาเคมีขั้นสุดท้ายของสารประกอบต่าง ๆ ในใบชาโดยใช้ความร้อนในการอบแห้ง และเพื่อเป็นการไล่น้ำที่เหลือในใบชาออกจนแห้งรอการเก็บรักษาต่อไป โดยทั่วไปใบชาแห้งควรมีความชื้นประมาณ 3 – 5%

(7). การคัด อบกลิ่น (Refining) สำหรับชาจีน ใบชาแห้งแล้วจะ

ถูกนำมาคัดแยกส่วนก้าน ยอด และใบแก่ ออกเป็นชาจีนเกรดต่าง ๆ แล้วอบแห้งครั้งสุดท้าย (Redrying) ก่อนบรรจุหีบห่อ



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตชาจีน [1]

เครื่องมือที่กลุ่มเกษตรกรมีใช้ในปัจจุบันมีทั้งเครื่องจักรที่ผลิตในประเทศซึ่งล้าสมัยและนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งทันสมัยและราคาแพง ในที่นี้จะนำเสนอเฉพาะเครื่องคั่วใบชา ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 [4]

รูปที่ 2 เครื่องคั่วใบชาที่ผลิตในประเทศ

รูปที่ 3 เครื่องคั่วใบชาที่นำเข้าจากต่างประเทศ

รูปที่ 2 เครื่องคั่วที่ผลิตในประเทศเป็นแบบ Batch อัตราการผลิต 15 – 20 กิโลกรัมสดต่อครั้ง ใช้ฟืนจากไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของการคั่วได้ ใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์หรือดัดแปลงโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 746 วัตต์ ควบคุมการทำงานด้วยแรงงาน รูปที่ 3 เครื่องคั่วใบชาที่นำเข้าเป็นแบบ Batch อัตราการผลิต 8 – 10 กิโลกรัมสดต่อครั้ง ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง สามารถควบคุมอุณหภูมิของการคั่วได้ ใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า 746 วัตต์ ควบคุมการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวเมติกส์ หรือทำงานด้วยแรงงาน

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการอบแห้ง

การอบแห้ง คือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย หลักสำคัญที่สุดในการอบแห้งคือ การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด [5]

ความชื้น คือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในผลผลิต มักจะถูกนิยามในรูปของอัตราส่วนของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักมวลทั้งหมด ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ [6]

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet-basis moisture content) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักทั้งหมด ดังแสดงในสมการที่ 1

$$W = \frac{m_w}{m_s + m_w} \tag{1}$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry-basis moisture content) คือ อัตราส่วนของน้ำต่อน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในสมการที่ 2

$$X = \frac{m_w}{m_s} \tag{2}$$

2.3 เทอร์โมไดนามิคส์และการถ่ายเทความร้อน

2.3.1 ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ

คือปริมาณความร้อนที่ทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ โดยการสมดุลทางด้านความร้อน [7]

$$Q_d = m_w \times l \tag{3}$$

2.3.2 ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง

คือปริมาณค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

$$Q_f = m_f \times HHV \tag{4}$$

2.3.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณค่าความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อปริมาณค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง

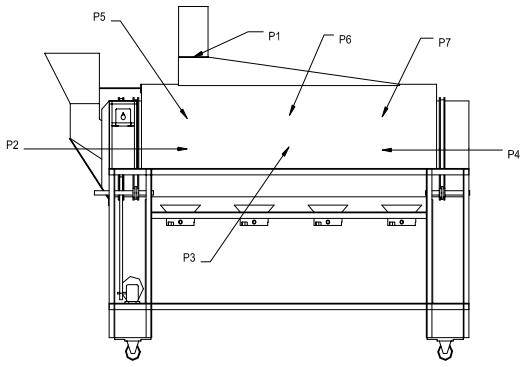
$$\eta = \frac{Q_d}{Q_f} \tag{5}$$

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design) ทำการทดลองกับเครื่องคั่วใบชาที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยกำหนดเงื่อนไขคือทำการทดลองคั่วใบชาครั้งละ 2 กิโลกรัมด้วยอัตราการป้อน 120 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ปรับความดันแก๊สคงที่ 0.2 kg/cm^2 และควบคุมอุณหภูมิที่ 200°C ทำการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ บันทึกปริมาณแก๊สและกระแสไฟฟ้าที่ใช้

รูปที่ 4 แสดงรูปเครื่องคั่วใบชาแบบต่อเนื่อง

ทำการวัดการกระจายของอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยที่จุดที่ 1 คือทางออก จุดที่ 2 3 และ 4 คืออุณหภูมิที่ผิวภายนอกฉนวน จุดที่ 5 6 และ 7 คืออุณหภูมิภายในถังคั่ว ทำการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) ยี่ห้อ Comark รุ่น C8510



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งจุดที่ทำการวัดอุณหภูมิ

(1) (2)

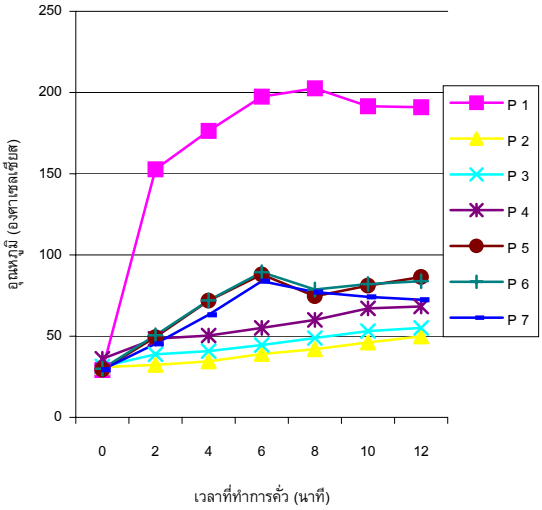
รูปที่ 6 (1) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (2) ตู้อบแบบลมร้อน

ทำการวัดความชื้นในใบชาก่อนและหลังคั่วด้วยวิธีอบแห้งแบบลมร้อน (Hot-air oven method) โดยสุ่มตัวอย่างใบชาประมาณ 3 – 5 กรัม นำตัวอย่างไปชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน แล้วใส่ถ้วยอลูมิเนียมนำเข้าตู้อบลมร้อน ใช้อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 – 96 ชั่วโมง [8] และใช้โปรแกรม SX 7 ในการวิเคราะห์ทางสถิติ

4. ผลการศึกษาจากการดำเนินงานวิจัย

4.1 การกระจายของอุณหภูมิ

การทดลองใช้เวลาในการคั่วใบชาทั้งหมด 12 นาที โดย 6 นาทีแรกเป็นช่วงการอุ่นเครื่องให้ได้อุณหภูมิ 200°C และเริ่มทำการป้อนใบชา ทำการคั่วใบชาหมดในนาทีที่ 12 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 เมื่อนำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละจุดมาวาดกราฟได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟแสดงการกระจายของอุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดต่าง ๆ

ตารางที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละจุดที่เวลาต่าง ๆ

เวลา	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	เฉลี่ย
0	29.2	30.9	31.3	36	29.4	29.9	29.3	30.86 e
2	152.8	32.3	38.7	48.5	49.5	50.6	45.3	59.67 d
4	176.4	34.4	40.7	50.3	71.9	72.1	63.2	72.71 c
6	197.4	39	44.5	55.2	88	89.4	83.8	85.33 ab
8	202.5	41.9	48.9	60	74.6	78.8	77.1	83.40 b
10	191.6	46	53.2	67.1	81.2	82.1	74.3	85.05 ab
12	190.9	49.8	55.1	68.3	86.5	83.9	72.5	86.72 a
เฉลี่ย	162.97 a	39.18 f	44.63 e	55.07 d	68.71 b	69.54 b	63.64 c	
%CV = 8.17 LSD เวลา $_{(0.05)}$ = 2.77 LSD จุดที่วัด $_{(0.05)}$ = 2.77								

*ตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 1 การกระจายของอุณหภูมิของเครื่องที่จุดต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่เวลาต่าง ๆ กัน อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และรูปที่ 7 แสดงให้เห็นอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากนาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 6 ซึ่งเป็นช่วงการอุ่นเครื่องให้ได้อุณหภูมิ 200°C และเริ่มการป้อนใบชา ในนาทีที่ 6 – 8 อุณหภูมิจุดที่ 1 5 6 และ 7 เริ่มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากมีใบชาไหลเต็มอย่างต่อเนื่องภายในถังคั่ว และเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างแหล่งความร้อนให้กับใบชา ในนาทีที่ 10 – 12 อุณหภูมิค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยไม่เกิน 200°C เพราะระบบควบคุมอุณหภูมิการเปิดปิดของก๊าซทำงาน ส่วนอุณหภูมิที่ผิวฉนวนด้านนอก (จุดที่ 5 6 และ 7 มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามเวลาการสะสมความร้อนจากแหล่งความร้อนอย่างต่อเนื่อง

เมื่อพิจารณาเฉพาะการกระจายของอุณหภูมิภายในเครื่องคั่วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากจุดที่ 7 ต่างจากจุดที่ 5 และ 6 เนื่องจากเป็นจุดที่อยู่ใกล้กับทางออกของเครื่อง ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมมากกว่า

4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากตารางที่ 2 ความชื้นใบชาก่อนคั่วเฉลี่ย 71.73% มาตรฐานเปียก หลังจากคั่วแล้วความชื้นสุดท้ายเฉลี่ย 59.34% มาตรฐานเปียก คำนวณเป็นน้ำหนักของน้ำที่ระเหยออกเฉลี่ย 0.6094 kg ใช้พลังงานความร้อนในการระเหยน้ำจากสมการที่ [3] ได้ค่าความร้อนเฉลี่ย 1,383.34 kJ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เฉลี่ย 0.26 กิโลกรัม จากสมการที่ [4] ได้ค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงเฉลี่ย 13,058.87 kJ จากสมการที่ 5 ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนตั้งแต่อุ่นเครื่องจนคั่วเสร็จเท่ากับ 10.59%

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องคั่วใบชามีค่าต่ำ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการคั่วใบชาเป็นการใช้ความร้อนเพื่อหยุดปฏิกิริยาการหมักของใบชา และให้ใบชามีความเหนียวนุ่ม ง่ายต่อการนวดม้วนต่อไป

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่	ความชื้นก่อนคั่ว (% Wb)	ความชื้นหลังคั่ว (% Wb)	ปริมาณก๊าซหุงต้ม (kg)	กระแสไฟฟ้า (Amp)
1	71.59	59.21	0.2	1.57
2	72.23	59.75	0.2	1.57
3	71.34	59.32	0.3	1.57
4	72.28	59.61	0.3	1.60
5	71.23	58.80	0.3	1.60
เฉลี่ย	71.73	59.34	0.26	1.58

4.3 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาและเปรียบเทียบห้องเผาไหม้แบบอื่น หรือแหล่งพลังงานความร้อนแบบอื่น เพื่อให้ใช้ประโยชน์และอนุรักษ์พลังงานสูงสุด

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า การกระจายของอุณหภูมิในเครื่องคั่วใบชา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการกระจายอุณหภูมิภายในถังคั่วไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องคั่วใบชาเท่ากับ 10.59%

6. รายการสัญลักษณ์และอักษรย่อ

l	=	ค่าความร้อนของการระเหยกลายเป็นไอน้ำ, kJ/kg
X	=	ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เศษส่วน
W	=	ความชื้นมาตรฐานเปียก, เศษส่วน
m_s	=	น้ำหนักของวัสดุที่แห้งสนิท, kg
m_f	=	มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้, kg
m_w	=	น้ำหนักของน้ำในวัสดุ, kg
m_w	=	มวลของน้ำที่มีการระเหยออกมา, kg
Q_d	=	ค่าความร้อนที่ต้องใช้ในการอบแห้ง, kJ
Q_f	=	ค่าความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง, J
HHV	=	ค่าความร้อนเฉลี่ยของเชื้อเพลิง, J/kg
η	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เครือข่ายภาคเหนือ (สวทช.) ฝ่ายเทคโนโลยีโลหะและวัสดุ ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอบขอบคุณโครงการจัดตั้งภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ใช้สถานที่และเครื่องมือ ขอบคุณกลุ่มผู้ผลิตใบชาอบแห้ง “ชาวาวี” ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทดลอง

8. เอกสารอ้างอิง

[1] สัณห์ ละอองศรี. 2535. ชา. โครงการหลวงวิจัยชา. สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้, เชียงใหม่.

[2] “สถานการณ์ชา” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.doae.go.th/plant/tea.htm (24 มิถุนายน 2546)

[3] ไพโรจน์ พงศ์ศุภสมิทธิ์. 2532. เทคโนโลยีการผลิตชา. เชียงใหม่ ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคเหนือ.

[4] จากการสำรวจของผู้วิจัย. ภาพถ่ายจากแหล่งผู้ผลิต 2547.

[5] วิวัฒน์ คล่องพานิช. 2533. การศึกษาการอบแห้งลำไยโดยใช้ก๊าซหุงต้ม. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[6] Cengel, Yunus A. and Boles, Michael A. 1998. Thermodynamics: An Engineering Approach 3rd edition. McGraw-Hill.

[7] Keey,R.B. 1991. Drying of Loose and Particulate Materials. Hemisphere Publishing Corporation.

[8] Hall , C.W. 1980. Drying and Storage of Agricultural Crops. AVI Publishing Co., Inc.