

จลนพลศาสตร์ของอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาคอม
โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
HYBRID SOLAR-POWERED DRYING KINETICS OF AVOCADO
IN THE PARABOLIC DOME CABINET



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

พ.ศ. 2567

หัวข้อวิทยานิพนธ์ จลนพลศาสตร์ของอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
พาราโบลาโคม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ผู้วิจัย สิดานันท์ ไก่ฤทธิ์

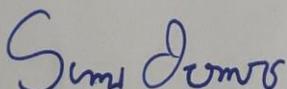
สาขาวิชา พลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน

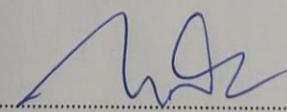
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ ฌรัฐจันทรศรี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์

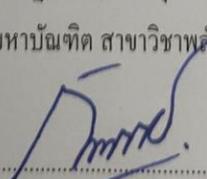
คณะกรรมการสอบ

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุกวรณ ฐิระวิชย์กุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ ฌรัฐจันทรศรี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ โชติกเฉชาณรงค์)

วันที่ 29 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2567

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : จลนพลศาสตร์ของอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงาน
แสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
แบบผสมผสาน

ผู้วิจัย : สิตานันท์ โกวฤทธิ์

สาขาวิชา : พลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ อนุรักษ์ จันทรศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

: รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

บทคัดย่อ

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยว อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ เห็นความสำคัญในการแก้ไขอะโวคาโดที่ไม่ผ่านมาตรฐาน จึงมีแนวคิดในการเพิ่มช่องทางได้ให้กับเกษตรกรจากอะโวคาโดที่ไม่ได้ผ่านมาตรฐาน โดยนำอะโวคาโดดิบมาแปรรูปเป็นน้ำมันอะโวคาโดเพื่อเพิ่มมูลค่าเพื่ออุปโภค และบริโภคด้วยการตากแบบธรรมชาติ และสกัดน้ำมัน และพบว่าไม่เป็นตามที่ต้องการและไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้ (มผช. 136/2558) งานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อวิเคราะห์เงื่อนไขที่เหมาะสมของอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพาราโบลาโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน และเพื่อประเมินจลนพลศาสตร์ที่เหมาะสมการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน ซึ่งจากสมการการทำนายความชื้นอาศัยหลักการทางสถิติสัมประสิทธิ์กำลังสองได้สมการกำลังสองแบบแปรผกผัน และมีพจน์ค่าคงที่เท่ากับ 15 สมการที่ได้มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 และค่า F-value 4.99 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการอบแห้งอะโวคาโดส่งผลกระทบต่อเชิงเส้น ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ เวลาและความเร็วลมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม และความหนาของเนื้ออะโวคาโดและความเร็วลมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลตัวแปรกำลังสอง เงื่อนไขที่ได้จากการประเมินด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้รับการทดสอบอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบลมร้อน พบว่าสามารถลดความชื้นเนื้ออะโวคาโดจากร้อยละ 500.32 มาตรฐานแห้ง เหลือร้อยละ 3.2 มาตรฐานแห้ง ได้ปริมาณเนื้ออะโวคาโดแห้ง (สีแดงแกมเหลือง) ร้อยละ 22.28 มีค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.58 น้ำมันอะโวคาโดที่สกัดได้ (สีแดงแกมเหลือง) มีปริมาณร้อยละ 28.57 มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.61 และมีปริมาณน้ำอิสระ 0.54 หลังจากนั้นนำเงื่อนไขที่ได้มา

ประยุกต์ใช้กับการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยติดตั้งหลอดไฟเพื่อเพิ่มอุณหภูมิติดตั้งพัดลมระบายอากาศติดตั้งที่มีความเร็วลม 1.8 เมตรต่อวินาที และเพิ่มการบังคับของรังสีดวงอาทิตย์โดยการใช้ตาข่ายรังสีดวงอาทิตย์ที่ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 และไม่มีการบังคับของรังสีดวงอาทิตย์ จากการศึกษาพบว่า การอบแห้งอะโวคาโดที่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ที่ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งอะโวคาโดโดยพิจารณาจากอัตราการอบแห้ง และเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 80 เนื่องจากมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 3.1 มาตรฐานแห้ง โดยเนื้ออะโวคาโดแห้ง (สีแดงแกมเหลือง) ปริมาตรร้อยละ 22.28 และมีค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.56 น้ำมันอะโวคาโดที่สกัดได้ (สีแดงแกมเหลือง) มีปริมาณน้ำอิสระ 0.62 และค่ากรดไขมันอิสระที่ 0.57 การวิเคราะห์แบบจำลองการอบแห้งอะโวคาโดโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ และไม่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ พบว่า แบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งของ Page เป็นสมการจลนพลศาสตร์เอมพิริคัลที่เหมาะสมจากการทำนายอัตราส่วนความชื้นขึ้นของการอบแห้งอะโวคาโด เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์ และค่าการตัดสินใจค่ารากที่สองของคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยใน โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าใกล้เคียง 1 และค่าการตัดสินใจค่ารากที่สองของมีค่าน้อยสุด

คำสำคัญ : อะโวคาโด, น้ำมันอะโวคาโด, การอบแห้ง, ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

The Title : Hybrid solar-powered drying kinetics of avocado in the parabolic dome cabinet

The Author : Sitanan Kowarit

Program : Community Energy and Environment

Thesis Advisors

: Assistant Professor Dr. Surachai Narat Jansri Advisor

: Associate Professor Dr. Kitti Sathapornprasath Co – advisor

ABSTRACT

The Huai Siew Royal Project Development Center in Hang Dong District, Chiang Mai Province, Thailand, recognizes the importance of addressing the problem of non-standard avocados. As a result, the center has come up with an idea to provide farmers with additional channels for non-compliant avocados by processing raw avocados into avocado oil to increase their value for consumption. The center has experimented with natural drying and oil extraction of avocados, but the results were not as desired and did not meet the Community Product Standards for Vegetables and Fruits (TISI No. 136/2558). This research aims to analyze the appropriate conditions for drying avocados using a parabolic solar dryer with hybrid energy, and to evaluate the appropriate drying kinetics of avocados using a parabolic dome solar dryer with hybrid energy. The study begins by finding the appropriate conditions for drying avocados using a hot air dryer. Based on the modified quadratic equation with statistical significance of the coefficient of determination, the equation is a second order inverse relationship with a constant term of 15. The equation obtained has a p-value of less than 0.05 and an F-value of 4.99 at the 95% confidence level, indicating that the drying time of avocados has a linear effect. The relationship between temperature, time, and air velocity are co-influential factors, and avocado flesh thickness and air velocity are quadratic influential factors. The conditions obtained from the mathematical equation were tested for drying avocados in a hot air dryer. The results showed that the moisture content of the avocado flesh could be reduced from 500.32% dry basis to 3.2% dry basis, resulting in 22.28%

dried avocado flesh (reddish-yellow) with a free water content of 0.58. The extracted avocado oil (reddish-yellow) had a yield of 28.57%, a free fatty acid content of 0.61% and a free water content of 0.54. The conditions obtained were then applied to drying using a solar dryer. The dryer was equipped with a lamp to increase the temperature, a ventilation fan with an air speed of 1.8 meters per second, and shading from the sun with a sunscreen net at 50%, 60%, 70%, and 80%. The results showed that drying avocados with 50%, 60%, 70% and 80% shade was the best condition for drying avocados based on drying rate. The best condition for drying avocados using a parabolic dome solar dryer with hybrid energy and 80% shading was considered to be the most suitable condition. This is because it had a final moisture content of 3.1% dry basis, 22.28% dried avocado flesh (reddish-yellow), and a free water content of 0.56. The extracted avocado oil (reddish-yellow) had a free water content of 0.62% and a free fatty acid content of 0.57. The analysis of the avocado drying model using a parabolic dome solar dryer with a hybrid system with and without solar shading showed that the Page drying kinetics model was the most appropriate empirical kinetic equation for predicting the moisture ratio of avocado drying. This was because the coefficient of determination (R^2) was close to 1 and the root mean square error (RMSE) was the lowest.

Keywords: Avocado, Avocado oil, Parabolic dome dryer, Solar energy, Drying kinetics

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง "จลนพลศาสตร์ของอะโวคาโดด้วยคู่ออบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน" เป็นผลงานที่เกิดจากความพยายามและความมุ่งมั่นของผู้วิจัยในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่าย จึงขออนุญาตกราบขอบพระคุณดังนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัช ฌรัฐศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และนายสมคิด อุตระเคียนต์ ประธานมูลนิธิโครงการหลวงห้วยเสี้ยว อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย อาจารย์ท่านยังมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมและช่วยให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์อย่างมีคุณภาพ และขอขอบคุณในความทุ่มเท การสนับสนุนที่ไม่หยุดยั้ง ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ที่มีคุณค่า รวมถึงขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวรรณ ภูริระวณิชกุล ที่ได้รับเกียรติให้เป็นประธานสอบปกป้องวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัย ขอขอบคุณต่อความกรุณาและการสนับสนุนที่ได้รับจากท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชียเป็นอย่างสูงที่ได้สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัย และได้อนุเคราะห์พื้นที่ในการดำเนินงาน ทดลอง และเก็บข้อมูลในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยของผู้วิจัย ขอขอบคุณคณะผู้สอน และบุคลากรทุกระดับที่ได้มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริม และพัฒนาทักษะของผู้วิจัยทั้งทางวิชาการและทักษะอื่น ๆ

ขอกราบขอบพระคุณทุนวิจัยของสำนักงานและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน (สนพ.) และกองทุนวิจัย Office Of Naval Research (ONR) และกองทุนวิจัย และพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยนี้ได้เต็มที่

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัวที่ได้ให้กำลังใจ และการสนับสนุนในการศึกษาต่อปริญญาโทในครั้งนี้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่ ๆ จากวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชียที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำปรึกษา รวมถึงเป็นแรงบันดาลใจที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถพัฒนาตัวเองได้จนสำเร็จการศึกษา

สิดานันท์ ไก่ฤทธิ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	๗
ABSTRACT.....	๗
กิตติกรรมประกาศ.....	๘
สารบัญ.....	๗
สารบัญตาราง.....	๙
สารบัญภาพ.....	๑๐
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	6
โครงการหลวง.....	6
ศูนย์พัฒนาโครงการห้วยเสี้ยว.....	7
อะโวคาโด.....	8
การอบแห้ง.....	18
หลักการอบแห้งด้วยรังสีดวงอาทิตย์.....	21
การอบแห้งอะโวคาโดด้วยรังสีดวงอาทิตย์.....	27
การสกัดน้ำมันจากพืช.....	29
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.).....	30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2	
	การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ..... 30
	จลนพลศาสตร์การอบแห้ง 39
	ผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง 45
	เอกสารที่เกี่ยวข้อง 47
3	วิธีดำเนินการวิจัย..... 58
	การเตรียมอะโวคาโด..... 58
	การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน 59
	การหาเงื่อนไขในการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน 61
	การประยุกต์ใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมกับการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์..... 64
	การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และเคมี..... 67
	จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน..... 68
4	ผลการวิจัยและการอภิปราย..... 71
	เงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน..... 71
	การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน 80
	จลนพลศาสตร์..... 89
5	สรุปผล และข้อเสนอแนะ..... 97
	สรุปผล 97
	ข้อเสนอแนะ..... 98

ฉ

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	99
ภาคผนวก.....	112
ภาคผนวก ก ข้อมูลความชื้น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม.....	113
ภาคผนวก ข บทความวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในระดับชาติ.....	127
ประวัติผู้วิจัย.....	137



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบสำคัญในผลอะโวคาโด (ปริมาณต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด).....	10
2.2 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวอะโวคาโด.....	12
2.3 สรุปสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งสำหรับรูปทรงต่าง ๆ.....	42
2.4 รูปแบบสมการค่าคงที่ของการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของวัสดุต่าง ๆ.....	43
2.5 แบบจำลองของสมการจลนพลศาสตร์เอ็มพีริคัล.....	44
3.1 ช่วงของตัวแปรอิสระ.....	61
3.2 การกำหนดสถานะการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์.....	62
3.3 แบบจำลองของสมการจลนพลศาสตร์เอ็มพีริคัล.....	69
4.1 การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์.....	72
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในการตอบสนองต่อความชื้นของอะโวคาโด....	73
4.3 การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ และกรดไขมันอิสระ.....	78
4.4 การวิเคราะห์สี.....	79



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย	5
2.1 สายพันธุ์อะโวคาโด.....	9
2.2 การบรรจุหีบห่อผลอะโวคาโดสุกเพื่อการวางจัดจำหน่าย	14
2.3 อะโวคาโดพันธุ์ต้นตอ	16
2.4 การเตรียมวัตถุดิบ	17
2.5 อะโวคาโดดิบหั่น	18
2.6 อะโวคาโดดิบหั่นและบด.....	18
2.7 การเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัสดุ.....	19
2.8 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลา โคม	22
2.9 ตู้อบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์โดยอ้อมระดับห้องปฏิบัติการ	23
2.10 ตู้อบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์แบบผสมผสาน	24
2.11 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยให้อากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ.....	25
2.12 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับ.....	26
2.13 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	27
2.14 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบ Tanzania.....	28
2.15 เนื้ออะโวคาโดแห้ง.....	28
2.16 น้ำมันอะโวคาโด	28
2.17 ซอร์พชันไอโซเทอม (Sorption Isotherm).....	34
2.18 อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของปริมาณน้ำอิสระ	35
2.19 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab ในระนาบ 2 มิติ.....	37
2.20 บรรยายสีพื้นในระบบ CIE Lab ในรูป 3 มิติ	37
3.1 ระดับความสุกของอะโวคาโด	59
3.2 อะโวคาโดดิบปอกเปลือก และหั่นอะโวคาโด.....	59
3.3 การทดลองการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน	60
3.4 ตู้อบแห้งลมร้อน.....	60
3.5 โปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์แบบส่วนประสมกลาง	61

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6	64
3.7	65
3.8	66
3.9	67
4.1	76
4.2	77
4.3	77
4.4	81
4.5	84

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อะโวคาโด (Avocado) (*Persea Americana Mill.*) เป็นต้นไม้พื้นเมืองของเม็กซิโก จัดอยู่ในวงศ์เดียวกับกะระวานและอบเชย ต้นมีลักษณะเป็นทรงพุ่มขนาดเล็กจนถึงใหญ่ เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 1,000 เมตร (จิตรา กลิ่นหอม และคนอื่น ๆ, 2548) อะโวคาโดเริ่มให้ผลผลิตหลังจากปลูกแล้ว 3 ปี และเมื่อมีอายุตั้งแต่ 5 ปี เป็นต้นไปให้ผลผลิตมากถึง ต้นละ 400-500 กิโลกรัม (ฐิติพรรณ นิมสุข, 2560) ผลอะโวคาโดมีลักษณะรูปร่างคล้ายสาถิหรือรูปไข่ จนถึงรูปกลม ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และมีเนื้อมันเป็นเนย แม้จะอะโวคาโดมีคุณค่าด้านโภชนาการสูง แต่ต้องบ่มให้สุกก่อนรับประทานเนื่องจากผลของอะโวคาโดดิบมีสารแทนนินสูง ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เนื้อไม้รสขม (อัจฉรา ภาวศุทธิ และคนอื่น ๆ, 2561) อะโวคาโดได้นำมาทดลองปลูกครั้งแรกที่จังหวัดน่าน และได้ขยายผลไปยังมูลนิธิโครงการหลวงห้วยเงียง โดยพบว่า ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพดี จึงได้รับการส่งเสริมและขยายพื้นที่เพาะปลูกอะโวคาโดทั่วพื้นที่ภาคเหนือจนถึงปัจจุบัน (ฉลองชัย แบบประเสริฐ และคนอื่น ๆ, 2549) พันธุ์อะโวคาโด ที่ได้รับการส่งเสริมให้ปลูกในประเทศไทยมีทั้งหมด 8 สายพันธุ์ ได้แก่ สายพันธุ์ปีเตอร์สัน (Peterson) สายพันธุ์รูเฮล (Ruehle) สายพันธุ์บัคคาเนีย (Buccaneer) สายพันธุ์บูท 7 (Booth 7) สายพันธุ์บูท 8 (Booth 8) สายพันธุ์ฮอลล์ (Hall) สายพันธุ์เฟอร์เต้ (Fuerte) และสายพันธุ์แฮส (Hass) (มูลนิธิโครงการหลวง, 2559; ฉลองชัย แบบประเสริฐ และคนอื่น ๆ, 2544)

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอะโวคาโดประมาณ 1,105 ไร่ ซึ่งแหล่งผลิตที่สำคัญมี 3 แห่ง ได้แก่ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเงียง ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว และศูนย์พัฒนาโครงการหลวงปางอู๋ ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ของทุกปี มูลนิธิโครงการหลวงสามารถป้อนผลผลิตอะโวคาโดเข้าสู่ตลาดทั้งค้าปลีก และค้าส่งปริมาณปีละ 160 ตัน สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้มากถึงปีละ 4.4 ล้านบาท ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเงียงส่งออกอะโวคาโดที่ได้ตามมาตรฐานของโครงการหลวงปีละ 20-30 ตัน (มูลนิธิโครงการหลวง, 2559) ผลผลิตอะโวคาโดที่ป้อนเข้าสู่ตลาดได้รับการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานการผลิตสินค้า

เกษตรของมูลนิธิโครงการหลวงโดยคุณลักษณะภายนอกของผลเป็นหลัก ผลอะโวคาโดที่มีคุณภาพต้องเป็นผลแก่จัดมีขนาดที่เหมาะสม และไม่มีรอยตำหนิที่เกิดจากโรค และแมลงกัด (ฉลองชัยแบบประเสริฐ และคนอื่น ๆ, 2544) แต่ละปีมีปริมาณอะโวคาโดที่ไม่ผ่านมาตรฐานเป็นจำนวนมากถึงปีละ 500 ตัน ซึ่งศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยวมีปริมาณไม่ผ่านมาตรฐานปีละ 2-3 ตันต่อปี อะโวคาโดที่มีคุณภาพต่ำถูกนำไปทิ้งหรือนำผลไปแยกเมล็ดสำหรับเตรียมเป็นคอดันพันธุ์เพื่อเสียบยอด ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยว อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นโครงการหลวงหนึ่งที่บ่อนผลผลิตอะโวคาโดเข้าสู่ตลาดได้เห็นถึงความสำคัญของการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับอะโวคาโดที่ไม่ผ่านมาตรฐาน จึงมีแนวคิดในการหาช่องทางสำหรับเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรจากอะโวคาโดที่ไม่ผ่านมาตรฐานเหล่านี้ โดยนำอะโวคาโดที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานแปรรูปเป็นน้ำมันอะโวคาโดดิบ สำหรับการผลิตน้ำมันอะโวคาโดเพื่อการอุปโภค และบริโภคด้วยการหันตักแบบธรรมชาติ และนำมาสกัดน้ำมัน พบว่า สีของน้ำมันอะโวคาโดดิบที่ผลิตได้ยังไม่สอดคล้องตามความต้องการ จึงทำให้น้ำมันอะโวคาโดดิบที่ผลิตได้นั้นสามารถใช้ได้เพียงส่วนประกอบในการผลิตสินค้าเพื่อการอุปโภคเท่านั้น (ปิยวรรณ สิมะไพศาล และคนอื่น ๆ, 2544) ดังนั้นศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยวจึงต้องการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันอะโวคาโดดิบให้คุณภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันสำหรับบริโภคได้โดยใช้กระบวนการผลิตที่ง่าย และใช้เทคโนโลยีต้นทุนต่ำ

ปัญหาที่กล่าวข้างต้นและความต้องการในการเพิ่มมูลค่าของอะโวคาโดของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยว จึงต้องศึกษาพฤติกรรมการระเหยของน้ำในเนื้ออะโวคาโดที่สามารถรักษาคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน-ผักและผลไม้ (มผช. 136/2558) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2558) และสามารถรักษาสีซึ่งเป็นรงค์วัตถุของเนื้ออะโวคาโดสำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันอะโวคาโดดิบได้ จลนพลศาสตร์ (Kinetics) หรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของการอบแห้งจึงเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดค่าใช้จ่าย และประหยัดเวลาในการทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางปฏิกิริยาเคมี หรือชีวเคมีของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งได้ (ฤทธิชัย อัสวราชันย์, 2559) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิตอะโวคาโดแห้งสำหรับเป็นวัตถุดิบในการสกัดน้ำมันอะโวคาโดได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์เงื่อนไขที่เหมาะสมของอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
2. เพื่อประเมินจลนพลศาสตร์ที่เหมาะสมการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมของอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
2. ได้จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
3. ได้แนวทางในการผลิตอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่สามารถรักษาสีของเนื้ออะโวคาโดได้

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านวัสดุใช้ในการอบแห้ง

อะโวคาโดดิบ โดยอะโวคาโดดิบที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นพันธุ์ต้นตอ หรืออะโวคาโดพันธุ์อื่นที่มีรอยตำหนิ และมีขนาดที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของโครงการหลวง

ขอบเขตด้านเครื่องมือ

ตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (Parabolic-dome hybrid solar dryer) เป็นตู้อบแห้งชนิดการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) โดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ และความร้อนที่เกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ขอบเขตด้านด้านเนื้อหา

1. การศึกษาการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการอบแห้งอะโวคาโด การศึกษาการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบลมร้อนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดเงื่อนไขการทำทดลอง จากนั้นนำเงื่อนไขที่ได้ประยุกต์ใช้กับการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ผลิตรัณฑ์อะโวคาโดแห้งที่ผลิตได้ต้องมีความชื้นตามมาตรฐานผลิตรัณฑ์ชุมชน

2. จลนพลศาสตร์ของตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
 จลนพลศาสตร์ของตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เป็น
 การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งอะโวคาโดด้วย
 ตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. อะโวคาโด (Avocado) หมายถึง อะโวคาโดคิบสายพันธุ์ต้นตอ พันธุ์แฮส หรือ พันธุ์บัคคาเนีย ที่ไม่ผ่านมาตรฐานการเกษตรของมูลนิธิโครงการหลวงที่กำหนดไว้มาตรฐาน การผลิตสินค้าเกษตรกรของมูลนิธิโครงการหลวง
2. อะโวคาโดแห้ง (Dried avocado) หมายถึง เนื้ออะโวคาโดที่ผ่านการอบด้วย ตู้อบลมร้อน
3. ตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 18 มาตรฐานแห้ง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง (มผช.136/2558)
4. ตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (Parabolic dome hybrid solar dryer) หมายถึง ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดมที่ใช้ความร้อนจากพลังงาน แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงาน ไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์

กรอบแนวคิดการวิจัย

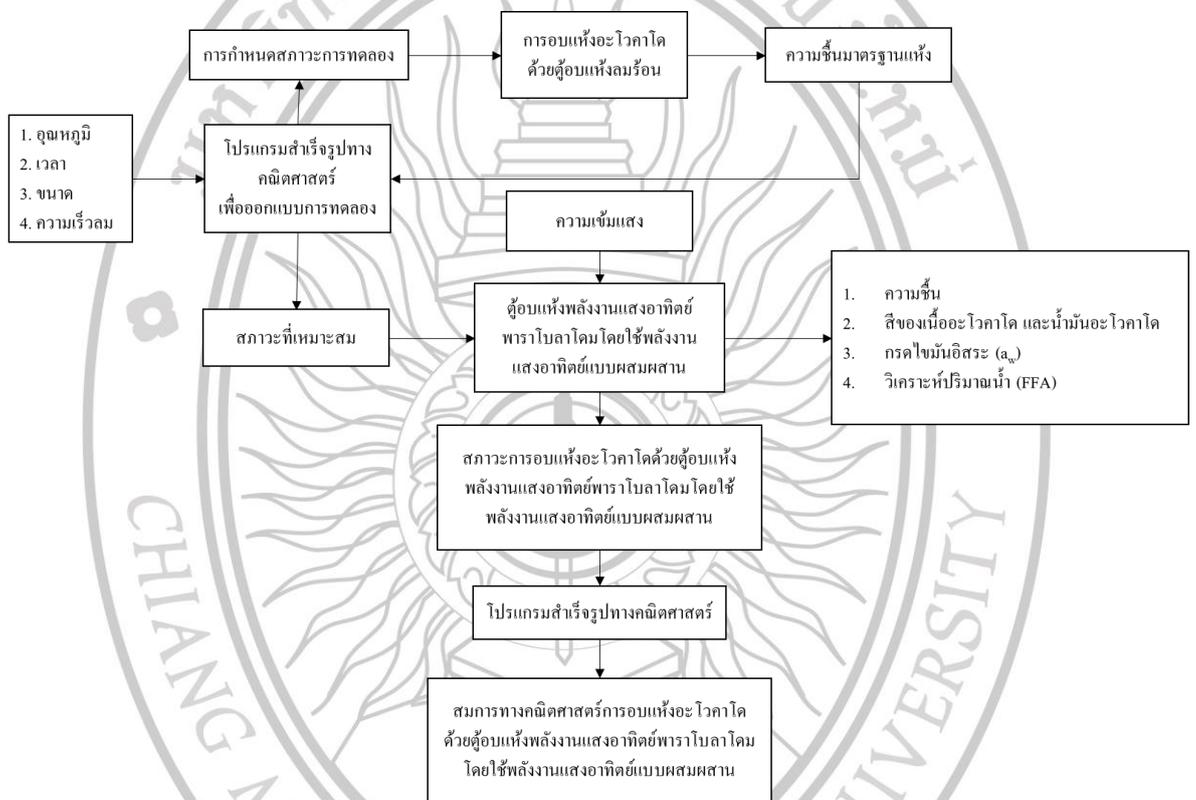
กรอบแนวคิดการวิจัยสรุปได้ดังภาพที่ 1.1 โดยเริ่มต้นจากการนำข้อมูล อุณหภูมิ เวลา ขนาด และความเร็วลม ดังนี้

1. กระบวนการที่ 1 กระบวนการหาเงื่อนไขในการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อน (Hot air oven) คือ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบลมร้อนเป็น การศึกษาภายใต้การกำหนดสภาวะการทดลองซึ่งออกแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์ แบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ และวิเคราะห์ผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบลมร้อน และแสดง ความสัมพันธ์ด้วยระเบียบวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) โดย ตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อความชื้นผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ เวลา ขนาด และความเร็วลม
2. กระบวนการที่ 2 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งอะโวคาโดด้วย ตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

เป็นการทดสอบโดยนำสภาวะที่ดีที่สุดจากการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนซึ่งเป็นค่าที่ประมวลได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์ โดยปรับเปลี่ยนความเข้มแสง อุณหภูมิ และ ความเร็วลม

3. กระบวนการที่ 3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมี

4. กระบวนการที่ 4 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการจำลองแบบการอบแห้งโดยอาศัยหลักการทางสถิติของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

โครงการหลวง

ปี พ.ศ. 2512 พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร เสด็จพระราชดำเนินไปทอดพระเนตรชีวิตของชาวเขาที่บ้านดอยปุยใกล้พระตำหนักภูพิงคราชนิเวศน์ จึงทรงทราบว่านอกจากชาวเขาปลูกฝิ่นแล้ว ชาวเขายังเก็บท้องพื้นเมืองขาย ถึงท้องจะมีผลขนาดเล็กแต่ก็ให้ผลตอบแทนใกล้เคียงกับการค้าฝิ่น นอกจากนี้ได้ทรงทราบว่าสถานีทดลองดอยปุยซึ่งเป็นสถานีทดลองไม้ผลเขตกหนาวของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้ค้นคว้าหาพันธุ์ท้องที่เหมาะสมสำหรับสภาพอากาศประเทศไทย จนได้ท้องผลใหญ่ และมีรสชาติดี ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับชาวเขาสูงใกล้เคียงจึงพระราชทานทรัพย์ส่วนพระองค์จำนวน 200,000 บาท โดยให้มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สำหรับจัดหาที่ดินสำหรับดำเนินงานวิจัยไม้ผลเขตกหนาวเพิ่มเติมจากสถานีวิจัยดอยปุยซึ่งมีพื้นที่คับแคบ ซึ่งเรียกพื้นที่นี้ว่า สวนสองแสน ต่อมาทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ตั้งโครงการหลวง (Royal Project) ขึ้นเพื่อดำเนินการถ่ายทอดการเพาะปลูกพืชเมืองหนาวให้กับชาวเขาเพื่อลดการปลูกฝิ่น ลดการบุกรุกป่าไม้ ลดการเผาป่า ลดการทำไร่เลื่อนลอย และฟื้นฟูแม่น้ำ พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือราษฎรในถิ่นทุรกันดาร ต่อมา ปี พ.ศ. 2535 พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้โครงการหลวงจดทะเบียนเป็นมูลนิธิโครงการหลวง (Royal Project Foundation) โดยพระราชทานเงินเพื่อเป็นทรัพย์สินของมูลนิธิฯ เริ่มแรก 500,000 บาท เพื่อให้เป็นองค์กรสาธารณประโยชน์ที่ถาวรมั่นคง สามารถดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ภายใต้มีระบบงาน และการบริหารงานที่มีความคล่องตัว และมีประสิทธิภาพ โดยยังคงวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับเมื่อครั้งจัดตั้งโครงการหลวง

ปี พ.ศ. 2560 พระบาทสมเด็จพระวชิรเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงดำรงตำแหน่ง องค์กรนายก กิตติมศักดิ์ของมูลนิธิโครงการหลวง และมีศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ อำเภอแม่ละมาด จังหวัดตาก เป็นศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแห่งแรกในรัชสมัย เป็นศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแห่งที่ 39 ของโครงการหลวง ปัจจุบันมูลนิธิโครงการหลวงมีสถานีวิจัย 4 แห่ง และศูนย์พัฒนาโครงการ

หลวง 35 แห่ง ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำพูน จังหวัดพะเยา และจังหวัดตาก

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยว

ปี พ.ศ. 2522 พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช-บรมนาถบพิตร และสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง เสด็จพระราชดำเนิน ไปยังห้วยเสี้ยวครั้งแรก และทรงสั่งให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องร่วมกันพัฒนาพื้นที่เพื่อราษฎรสามารถประกอบอาชีพเกษตรกรรมได้ ต่อมาปี พ.ศ. 2524 พระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์-พระบรมราชินีนาถพระบรมราชชนนี พันปีหลวง ได้เสด็จพระราชดำเนินเยี่ยมราษฎรบ้านห้วยเสี้ยวอีกครั้งหนึ่ง และได้ทำพิธีเปิดอ่างเก็บน้ำห้วยเสี้ยวเพื่อให้ราษฎรได้นำน้ำไปใช้ประกอบอาชีพเกษตรกรรม และอุปโภคบริโภค จากนั้นปีพ.ศ. 2525 มีการจัดตั้งศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยวเกิดขึ้น (มูลนิธิโครงการหลวง, 2559)

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยวตั้งอยู่ที่บ้านห้วยเสี้ยว หมู่ที่ 9 ตำบลบ้านปาง อำเภอดางแดง จังหวัดเชียงใหม่ มีพื้นที่ดำเนินการครอบคลุม 8 หมู่บ้าน มีประชากร 3,450 คน ปัจจุบันมีทั้งหมด 9 หมู่บ้าน 5 ย่อมบ้าน จำนวน 1,057 ครัวเรือน ซึ่งมีประชากรทั้งหมด 3,643 คน ประชากรส่วนใหญ่เป็นคนเมือง และชนเผ่าชาวม้ง บ้านห้วยเสี้ยวมีภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มเชิงเขามี ลำห้วย 4 แห่ง ได้แก่ ลำห้วยแม่ท่าช้าง ลำห้วยแม่नाไทร ลำห้วยแม่ดีด และลำห้วยห้วยเสี้ยว พื้นที่ส่วนใหญ่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 400-600 เมตร พื้นที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายมีความสมบูรณ์ของดินค่อนข้างต่ำ พื้นที่นี้อยู่ในอากาศเขตร้อนค่อนข้างแห้งแล้ง อุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำฝนตลอดปี 1,230 มิลลิเมตร (มูลนิธิโครงการหลวง, 2559)

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยวส่งเสริมการเกษตรมาตรฐานการปลูกเป็นระบบจีเอพี (GAP: Good Agricultural Practice) และส่งเสริมการเลี้ยงสัตว์ จำนวน 81 ราย นอกจากภาคเกษตรแล้วทางศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเสี้ยวได้ถ่ายทอดความรู้ด้านหัตถกรรมให้ชุมชนเพื่อหารายได้เสริมในชุมชน พร้อมส่งเสริมการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกษตร เช่น น้ำมันงาดำ และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากอะโวคาโด ทั้งของกิน และผลิตภัณฑ์เสริมความงาม ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปได้ถูกจัดจำหน่ายในโครงการหลวง และร้านค้าที่ร่วมของมูลนิธิโครงการหลวง (มูลนิธิโครงการหลวง, 2559)

อะโวคาโด

อะโวคาโด *Persea America* Mill. (Luaraceae) อะโวคาโดจัดอยู่ในวงศ์เดียวกับกระวาน และอบเชย ผลมีลักษณะรูปร่างคล้ายสาถิ์ หรือรูปไข่จนถึงรูปกลมมีเนื้อมันเป็นเนย เป็นพืชที่มีความสำคัญมากในด้านอาหารสุขภาพ อะโวคาโดสามารถปลูกได้ตั้งแต่พื้นที่ราบจนถึงพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 1,000 เมตร เป็นไม้ผลเขตร้อน ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศเม็กซิโกและอเมริกากลาง พบครั้งแรกที่ประเทศเม็กซิโกและเปรู ปัจจุบันปลูกมากที่สุดในเขตร้อนและเขตร้อน ตามสถิติล่าสุดของ FAO พื้นที่เก็บเกี่ยวอะโวคาโดในอเมริกาคิดเป็นร้อยละ 65.99 ของพื้นที่เก็บเกี่ยวทั่วโลก และการผลิตอะโวคาโดคิดเป็นร้อยละ 70.19 ของอะโวคาโดทั่วโลก พื้นที่การเก็บเกี่ยวและผลผลิตของอะโวคาโด ได้แก่ เม็กซิโกคิดเป็นร้อยละ 26.4-28.13 โคลัมเบียคิดเป็นร้อยละ 10.97-11.28 และเปรูคิดเป็นร้อยละ 6.04-8.95 โดยหลังปลูก 3 ปี อะโวคาโดเริ่มให้ผลผลิต และเมื่ออายุ 5-6 ปี ให้ผลผลิตมากถึงต้นละประมาณ 400-500 กิโลกรัม (ฉัตรพรณ ฉิมสุข, 2560) ในปี 2562-2564 ประเทศมีการนำเข้ามูลค่าเฉลี่ย 300 ล้านบาทต่อปี ส่วนใหญ่มาจากประเทศนิวซีแลนด์ ปริมาณการผลิตเฉลี่ย 1,200 ตัน มูลค่า 200 ล้านบาทต่อปี และเปรูเฉลี่ย 70 ล้านบาทต่อปี สายพันธุ์ที่นำเข้าแอส ซึ่งมีราคาสูงที่เทียบกับราคาในประเทศ (อัจฉรา ภาวสุทธิ และคนอื่นๆ, 2565)

ภาคเหนือของประเทศไทยมีการปลูกต้นอะโวคาโดครั้งแรกที่จังหวัดน่านโดยมิชชันนารีชาวอเมริกัน จากนั้นขยายพื้นที่การปลูกไปยังจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดตาก ดังนั้นในปัจจุบันจังหวัดเชียงใหม่จึงเป็นแหล่งผลิตอะโวคาโดอันดับ 1 ของภาคเหนือ จากข้อมูลการลงทะเบียนของเกษตรกร ปีพ.ศ. 2564 พื้นที่ปลูก 11,309 ไร่ เกษตรกรผู้ปลูก 1,761 ราย อะโวคาโดสายพันธุ์ที่ปลูกเพื่อการค้ามีหลายสายพันธุ์ ได้แก่ ลูกา บูช 7, บูช 8, วอลดิน, โพลลือก, อิกสัน, เทเลอร์, ฮอลล์, มอนโร, โซเควท, แอส, เฟร์เออร์เต้, มงค์, ปีเตอร์สัน, กัมปง และพันธุ์ปากช่อง 2-8 แต่พันธุ์ที่ปลูกในพื้นที่ภาคเหนือและพื้นที่โครงการหลวงปัจจุบันมีทั้งหมด 3 กลุ่ม 8 สายพันธุ์ โดยอะโวคาโดคุณภาพดี 5 สายพันธุ์ ได้แก่ ปีเตอร์สัน แอส บัคคาเนีย บูท 7 และฟิงค์เคอร์ตัน ดังภาพที่ 2.1 ตามลำดับ (दनัย บุญยเกียรติ, 2562)

สายพันธุ์อะโวคาโด และการเก็บเกี่ยว

1. กลุ่มสายพันธุ์เบา ได้แก่ สายพันธุ์ปีเตอร์สัน (Peterson) และสายพันธุ์รูเฮิล (Ruehle)
2. กลุ่มสายพันธุ์กลาง ได้แก่ สายพันธุ์บัคคาเนีย (Buccaneer), สายพันธุ์บูท 7 (Booth 7) และสายพันธุ์ฮอลล์ (Hall)
3. กลุ่มสายพันธุ์หนัก ได้แก่ สายพันธุ์บูท 8 (Booth 8), สายพันธุ์เฟร์เออร์เต้ (Fuerte) และสายพันธุ์แอส (Hass)

กลุ่มพันธุ์เบา



สายพันธุ์ปีเตอร์สัน



สายพันธุ์รัฐเอิล

กลุ่มพันธุ์กลาง



สายพันธุ์บัคคาเนีย



สายพันธุ์บูท 7



สายพันธุ์ฮอล

กลุ่มพันธุ์หนัก



สายพันธุ์บูท 8



สายพันธุ์เฟอร์เต้



สายพันธุ์แฮส

ภาพที่ 2.1
ที่มา :

สายพันธุ์อะโวคาโด
มูลนิธิโครงการหลวง, 2559

คุณค่าทางโภชนาการ

อะโวคาเป็นอาหารสุขภาพที่องค์การอาหาร และเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ส่งเสริมให้ปลูก และบริโภค เพื่อแก้ไขปัญหาด้านโภชนาการของโลก (คณีย์ บุญเกียรติ, 2562) การรับประทานสดเนื่องจากมีคุณค่าทางอาหาร และมีไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated Fat) ที่สูง และอะโวคาโดมีโปรตีนสูงกว่าผลไม้ชนิดอื่น เป็นโปรตีนที่ย่อยง่ายมีเส้นใยอาหารสูง สารอาหารดังตารางที่ 2.1 อะโวคาจึงสามารถช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายได้ เช่น ไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในอะโวคาโดสามารถป้องกันการเกิดโรคหัวใจและโรคเมเร็งบางชนิดในหนูทดลองได้ นอกจากนี้การรับประทานผลสดยังพบว่าน้ำมันอะโวคาโดสามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงภาวะโภชนาการและเสี่ยงโรคเรื้อรังของคนด้วยงานวิจัยของเฟอร์ลัน และคนอื่น ๆ (Furlan et al., 2017) และช่วยบำรุงสายตา ช่วยลดริ้วรอย ป้องกันหวัด ช่วยป้องกันเลือดออกตามไรฟัน ช่วยป้องกันปากนกกระจากเทศ ตารางที่ 2.1 ได้แสดงถึงคุณค่าทางโภชนาการของอะโวคาโดที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายจากงานวิจัยของคณีย์ บุญเกียรติ (2562)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบสำคัญในผลอะโวคาโด (ปริมาณต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด)

สารอาหาร	ปริมาณ	หน่วย
น้ำ	73.6	กรัม
พลังงาน	171	กิโลแคลอรี
คาร์โบไฮเดรต	8.53	กรัม
- dietary fiber	6.7	กรัม
- sugar	0.66	กรัม
ลิพิด	14.66	กรัม
- saturated	2.13	กรัม
- monounsaturated	9.8	กรัม
- polyunsaturated	1.82	กรัม
โปรตีน	2	กรัม
วิตามินเอ	7	ไมโครกรัม
วิตามินซี	10	มิลลิกรัม

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สารอาหาร	ปริมาณ	หน่วย
วิตามินอี	2.07	มิลลิกรัม
วิตามินบี 1	0.067	มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.13	มิลลิกรัม
วิตามินบี 3	1.738	มิลลิกรัม
วิตามินเค	21	ไมโครกรัม
โฟเลต	81	ไมโครกรัม
แคลเซียม	12	มิลลิกรัม
แมกนีเซียม	29	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	52	มิลลิกรัม
โพแทสเซียม	485	มิลลิกรัม
ฟลูออไรด์	7	ไมโครกรัม

ที่มา : ดนัย บุญเกียรติ, 2562

การเก็บเกี่ยวผลอะโวคาโด

ผลผลิตอะโวคาโดที่สามารถเก็บเกี่ยวได้มีปริมาณมากถึงปีละ 177,000 กิโลกรัม อะโวคาโดแต่ละสายพันธุ์มีช่วงเวลาอายุผล และลักษณะผลที่เหมาะสมต่อการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2 การสุกของอะโวคาโดส่วนใหญ่แปรผันตามสีของเปลือกหุ้มเมล็ด แต่สามารถพบเปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลได้บ่อยในผลอ่อน การเก็บเกี่ยวด้วยวิธีนี้ทำให้เกิดความผิดพลาดค่อนข้างสูง (อัจฉรา ภาวสุทธิ และคนอื่น ๆ, 2561) การเก็บเกี่ยวผลผลิตจึงใช้วิธีนับอายุผลแทนซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยกว่า วิธีนี้เริ่มนับหลังจากดอกอะโวคาโดบานได้ร้อยละ 50 ของช่อดอกจนถึงเก็บเกี่ยว ทั้งนี้การเก็บเกี่ยวผลผลิตขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ สถานที่ปลูก และความชำนาญของเกษตรกร (ดนัย บุญเกียรติ, 2562) การเก็บเกี่ยวต้องให้ขั้วผลติดอยู่กับผล หากขั้วหลุดออกจากผลจะทำให้ผลเสียหายง่ายขณะบ่มให้สุก วิธีคือการตัดขั้วให้ติดกับผล 1-2 นิ้ว จะใช้ตะกร้อสอยผลอะโวคาโดหรือปิ่นเก็บผลไม่ให้ตกพื้น (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2561)

ตารางที่ 2.2 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวอะโวคาโด

สายพันธุ์	ช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผล	น้ำหนักของผล (กรัม)	ลักษณะผล
ปีเตอร์สัน	กรกฎาคม – กันยายน	200-300	ผลที่แก่และขั้วผลเปลี่ยนจากสีเขียวปนเหลืองเกิดจุดประสีน้ำตาลบนผล มีน้ำหนักแห้งร้อยละ 22.2
บูท 7	ตุลาคม – ธันวาคม	250-500	ผลที่แก่จะมีสีนวล สีผิวผลเป็นสีเขียว ขรุขระเล็กน้อย มีเปลือกหนา เกิดจุดประสีน้ำตาลบนผล มีน้ำหนักแห้ง ร้อยละ 14.8
บูท 8	ตุลาคม – ธันวาคม	240-400	ผลมีเล็กถึงปานกลาง เปลือกหนาผลแก่จะมีสีนวล สีผิวเป็นสีเขียว เกิดจุดประสีน้ำตาลบนผลเชื้อหุ้มปลายเมล็ดจะเป็นสีน้ำตาล มีน้ำหนักแห้งร้อยละ 16.5
บัคคาเนีย	กันยายน – พฤศจิกายน	250-400	ผลที่แก่จะมีสีนวลที่ผิวผล สีของผลเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเล็กน้อย เกิดจุดประสีน้ำตาลบนผล เชื้อหุ้มปลายเมล็ดจะเป็นสีน้ำตาล มีน้ำหนักแห้งร้อยละ 17.0
ฟิงค์เคอตัน	พฤศจิกายน – ธันวาคม	300-500	ผลที่แก่ผิวผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวเข้ม มีน้ำหนักแห้งร้อยละ 30.0
แฮต	พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์	200-300	ผลที่แก่ผิวผลจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวเข้มปนม่วง มีน้ำหนักแห้งร้อยละ 24.7-29.0

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

สายพันธุ์	ช่วงระยะเวลา การเก็บเกี่ยวผล	น้ำหนักของผล (กรัม)	ลักษณะผล
เฟอร์เออร์เต	ตุลาคม – พฤศจิกายน	200-250	ผลการเก็บเกี่ยวจะ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงต้องพิจารณาจากเชื้อหุ้มเมล็ด เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
ฮอลล์	พฤศจิกายน – ธันวาคม	160-300	การเก็บเกี่ยวจากผลเปลี่ยนเป็นสีเขียวปนเหลือง เกิดจุดประสีน้ำตาลบน ผล เชื้อหุ้มเมล็ดเปลี่ยนจากขาวหรือเหลืองครีมเป็นน้ำตาล และเมล็ดจะ ร้อนออกได้ง่าย

ที่มา : คณัช บุญยเกียรติ, 2562

คุณภาพของอะโวคาโด

มูลนิธิโครงการหลวงได้กำหนดคุณภาพของอะโวคาโดสำหรับจำหน่ายต้องเป็นผลตรงตามสายพันธุ์ ผลแก่ ทรงผลดีไม่บิดเบี้ยว ผิวผลดีไม่มีอาการซ้ำ และมีความเสียหายจากโรคแมลงหรือมีตำหนิที่เป็นผลแห้งไม่เกินร้อยละ 5 ของพื้นที่ผิวของผล ทั้งนี้ต้องอาศัยความชำนาญของเกษตรกร และเจ้าหน้าที่คัดเลือกผลิตภัณฑ์ โดยต้องตัดขั้วให้สั้นลงเหลือเฉพาะส่วนฐานของขั้วที่ติดกับผล แล้วนำมาทำความสะอาดด้วยการล้างน้ำ ไม่ควรใช้แปรงทำความสะอาดเพราะจะทำให้ผิวของอะโวคาโดเกิดรอย จากนั้นจะคัดแยกขนาดตามมาตรฐานที่กำหนดของมูลนิธิโครงการหลวง ก่อนนำมาบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาการบ่ม (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2561)

การบรรจุหีบห่อ

อะโวคาโดที่มีคุณภาพตามมาตรฐานของมูลนิธิโครงการหลวงถูกนำมาห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย แล้วจัดวางเรียงลงในลังพลาสติก ตะกร้าที่รองด้วยฟองน้ำ หรือกระดาษ แยกตามพันธุ์ จากนั้นชั่งน้ำหนัก และบ่มให้สุกเพื่อจัดจำหน่าย การระหว่างบ่มอะโวคาโดเพื่อจำหน่ายไม่ต้องแช่เย็น เนื่องจากจะทำให้ผลเกิดอาการการผิปกดเคี้ยวเมื่อบริโภค หลังจากผลอะโวคาโดสุก อะโวคาโดที่ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่ายนำมาห่อหุ้มด้วยแผ่นหรือถุงพลาสติกที่ทำจากพีวีซี (PVC: Polyvinylchloride) ถุงตาข่ายถุงละ 1 กิโลกรัมเพื่อจัดจำหน่าย ดังภาพที่ 2.2 (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2561)



(ก) ห่อหุ้มด้วยพลาสติก



(ข) ห่อหุ้มด้วยโฟมตาข่าย

ภาพที่ 2.2 การบรรจุหีบห่อผลอะโวคาโดสุกเพื่อการวางจัดจำหน่าย
ที่มา: สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2561

เทคโนโลยีการลดอุณหภูมิผลิตผลที่เหมาะสม (Precooling Technology)

การเก็บรักษาอะโวคาโดด้วยระยะเวลาที่นานต้องทำโดยการลดอุณหภูมิของผลอะโวคาโดก่อนการเก็บรักษา โดยทำได้ 3 วิธี โดยทั้ง 3 วิธีนี้จะทำได้หลังจากการบรรจุผลในผลิตภัณฑ์แล้ว

1. การลดอุณหภูมิด้วยอากาศเย็น (Room Cooling) 2. การลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น (Forced Air Cooling) 3. การลดอุณหภูมิด้วยการปรับความดัน (Pressure Cooling) การเก็บรักษาแบ่งวิธี 4 วิธี 1. การใช้อุณหภูมิต่ำ เป็นการเก็บอะโวคาโดในอุณหภูมิที่ 10-18 องศาเซลเซียส สามารถเก็บได้นานถึง 20-21 วัน แต่ถ้าหากผลอะโวคาโดสุกแล้วสามารถนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส สามารถรักษาผลอะโวคาโดได้นาน 40 วัน (อภิชาติ ศรีสอาด และศุภวรรณ ใจแสน, 2559) 2. การใช้สภาพการควบคุมบรรยากาศ (Control Atmosphere; CA) ร่วมกับอุณหภูมิต่ำ โดยวิธีนี้จะใช้การควบคุมปริมาณแก๊สออกซิเจนร้อยละ 2-5 และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดร็อกไซด์ร้อยละ 3-10 และเก็บที่อุณหภูมิ 5-6 องศาเซลเซียส สามารถเก็บอะโวคาโดได้นานถึง 4 สัปดาห์แต่วิธีนี้ไม่นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์แต่จะนิยมใช้ในขนส่งโดยงานวิจัยของวูล์ฟ และคนอื่น ๆ (Woolf et al., 2020) 3. การใช้สารเคมี โดยใช้ 1-เมทิลไซโครโพรีน (1-MCP) ที่ความเข้มข้น 100 นาโนลิตรต่อลิตร เป็นเวลา 12-24 ชั่วโมง แล้วนำอะโวคาโดไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสซึ่งรักษาได้ถึง 7 สัปดาห์ โดยพันธุ์แฮสจะเก็บได้นานกว่า 7 สัปดาห์ โดยไม่เกิดความผิดปกติของเปลือกและเนื้ออะโวคาโดงานวิจัยของวูล์ฟ และคนอื่น ๆ (Woolf et al., 2020) 4. การบ่ม ซึ่งวิธีนี้เกษตรกรใช้วิธีนี้มากเนื่องจากง่าย และสะดวกกว่าวิธีอื่นคือการนำผลแก่จากต้นซึ่งผลแก่จะมีเนื้อ และผลที่แข็งมีสารแทนนินสูง ทำให้มีรสขม จึงต้องทำการบ่มที่อุณหภูมิห้อง 3-4 วัน หรือถึง 1 สัปดาห์หรืออาจจะนานกว่านั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการบ่ม (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2561; ดนัย บุญเกียรติ, 2562)

การแปรรูปผลิตภัณฑ์

อะโวคาโดที่มีคุณภาพต่ำจะถูกนำไปทิ้ง หรือนำผลไปแยกเมล็ดสำหรับเตรียมเป็นต่อต้านพันธุ์เพื่อเสียบยอดจำหน่าย ดังภาพที่ 2.3 (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2558) การทำอะโวคาโดที่มีคุณภาพต่ำให้มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การแปรรูปด้านอาหาร เช่น การแปรรูปพัฒนาครีมแต่งหน้าเค้กเพื่อสุขภาพจากอะโวคาโด (ชนิรัตน์ ผึ้งบรรหาร และคนอื่น ๆ, 2564) การนำเนื้ออะโวคาโดทดแทนเนยในคุกกี้เนย (อภิเดช พงษ์ประจักษ์ และคนอื่น ๆ, 2565) ใช้สารแทนความหวานน้ำตาลในพุดดิ้งน้ำนมข้าวโพดเสริมอะโวคาโด (อัจฉรา ดลวิทยาคุณ และคนอื่น ๆ, 2565) การนำเนื้ออะโวคาโดแทนน้ำสลัด (สุพิชญา คำคม และวรัชญา หงส์ทอง, 2564) ไอศกรีมอะโวคาโด (ภักวันต์ วณิชพัฒน์กุล, 2558) การแปรรูปผลิตภัณฑ์ โดยการสกัดเย็นโดยการศึกษาการหั่นอะโวคาโดเป็นชิ้น เนื่องจากอะโวคาโดเป็นผลไม้ที่มีโปรตีนสูงกว่าผลไม้สดอื่น ๆ ร้อยละ 0.8-17 นำมาแปรรูป เช่น แبنังอะโวคาโด ไอศกรีมอะโวคาโด ซอสอะโวคาโด อะโวคาดีป คุกกี้มะโวคาโด

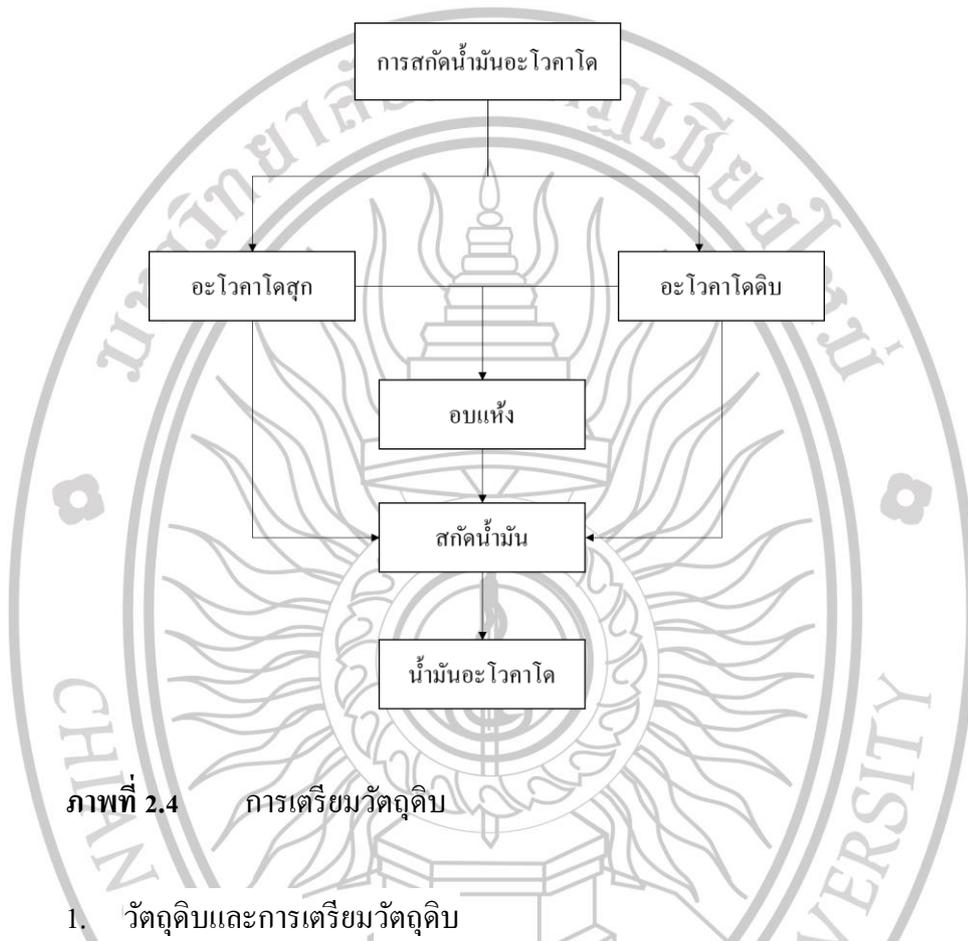
ชุปอะโวคาโดบรรจุขวด น้ำส้มสายชูอะโวคาโด (ขวัญทัย ทนงจิตร, 2566) และอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนโดยการสกัดเย็นจะได้น้ำมันอะโวคาโดได้นำมาผสมในเครื่องสำอาง เช่น อะโวคาโดเฟเชียล โลชั่น ครีมอาบน้ำ และลิปสติก (จิตติพรรณ นิมสุข, 2560) พันธุ์เฮสสามารถผลิตปริมาณน้ำมันร้อยละ 60 และมีสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกรัม จากการศึกษาของโลเปซ-เวกา และคนอื่น ๆ (Lopez-Vega et al., 2021) วรรัตน์ ขยันการ และคนอื่น ๆ, 2566 กอลคาเวส และคนอื่น ๆ (Goncalves, D. et al., 2024) การทำอะโวคาโดที่มีคุณภาพต่ำให้มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น นวดองซัย แบบประเสริฐ และคนอื่น ๆ (2545) ได้ถ่ายทอดเทคโนโลยี การผลิตแชมพูจากเนื้ออะโวคาโดให้กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรแม่ขนิลเหนือ ตำบลบ้านโป่ง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งสามารถสร้างกำไรได้มากถึงขวดละ 7.09 บาท นอกจากการนำเนื้ออะโวคาโดมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชำระร่างกายแล้ว ยังพบว่าได้นำมาผลิตเป็นน้ำมันอะโวคาโด เช่น บุญสม เหลี้ยวเรืองรัตน์ และคนอื่น ๆ (2546) ได้ศึกษาการแปรรูปอะโวคาโดให้อยู่ในรูปน้ำมันเพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตครีมบำรุงผิว สบู่ และยาแคปซูลจากน้ำมันอะโวคาโด โดยใช้อะโวคาโด 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์โชเกรท (Choquette) พันธุ์บัคคาเนีย พันธุ์เฮส พันธุ์บูท 7 และพันธุ์ปีเตอร์สัน พบว่าพันธุ์โชเกรทให้น้ำมันมากที่สุด ส่วนใหญ่เกษตรกรนำสายพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ต้นตอ น้ำมันอะโวคาโดที่ได้ถูกนำมาใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น สบู่ของซูไรเมอร์ และคนอื่น ๆ (Sutheimer et al., 2015) สบู่เหลวงานวิจัยของเฮนเนสซี่-รามอส และคนอื่น ๆ (Hennessey-Ramos et al., 2019) สเปรย์แอลกอฮอล์ผสมน้ำมันอะโวคาโด (ขวัญทัย ทนงจิตร, 2566) และการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลของพอล และคนอื่น ๆ (Paul et al., 2018)



ภาพที่ 2.3 อะโวคาโดพันธุ์ต้นตอ
ที่มา: สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2558

การผลิตน้ำมันอะโวคาโด

การผลิตน้ำมันอะโวคาโดสามารถใช้วัตถุดิบทั้งอะโวคาโดดิบ และอะโวคาโดสุก อะโวคาโดทั้ง 2 ประเภทสามารถนำมาสกัดน้ำมัน โดยผ่านหรือไม่ผ่านกระบวนการอบแห้งได้ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การเตรียมวัตถุดิบ

1. วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

อะโวคาโดที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันอะโวคาโดมี 2 ประเภท คือ อะโวคาโดสุกซึ่งเป็นอะโวคาโดผลแก่ที่มีอายุประมาณ 9 เดือนหลังจากการออกดอกถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต และอะโวคาโดดิบของงานวิจัยนิมสุข (Chimsook, 2017) โดยอะโวคาโดเตรียมได้ 2 รูปแบบ คือ การหั่นเป็นชิ้นหรืออบคั่วให้ละเอียด เช่น งานวิจัยของวรรัตน์ ขันการ และคนอื่น ๆ (2566) ได้เตรียมวัตถุดิบโดยการหั่นอะโวคาโดดิบพันธุ์แฮส อบแห้งแล้วนำมาบดด้วยเครื่องบด ดังภาพที่ 2.6 ได้เตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันจากอะโวคาโดสุกโดยนำมาปอกเปลือก เอาเมล็ดออก บด และเก็บไว้ในอุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส งานวิจัยของนิมสุข (Chimsook, 2017) ได้เตรียมวัตถุดิบโดยนำอะโวคาโดหั่นอะโวคาโดหั่นเป็นชิ้น ดังภาพที่ 2.5 ซึ่งอะโวคาโดที่เตรียมไว้สามารถนำไปสกัดน้ำมันได้โดยตรงหรือ ผ่านการอบแห้งก่อนสกัดน้ำมัน



ภาพที่ 2.5 อะโวคาโดดิบหั่น
ที่มา : ภิรมสุข (Chimsook, 2017)



ภาพที่ 2.6 อะโวคาโดดิบหั่นและบด
ที่มา : วรรัตน์ ขันการ และคนอื่น ๆ, 2566

การอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) เป็นการกระบวนการลดความชื้นหลังการเก็บเกี่ยวที่รักษาคุณภาพลดการสูญเสีย และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์โดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางเพื่อถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ และถ่ายเทมวลไปยังอากาศร้อน การถ่ายเทมวลขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของความชื้นและอุณหภูมิระหว่างผิววัสดุกับอากาศ (ศิริ ดวงพร, 2562)

การเปลี่ยนแปลงอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัสดุ

การอบแห้งจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ และการถ่ายเทมวลจากวัสดุไปยังอากาศซึ่งจะเกิดขึ้นพร้อมกัน การอบแห้งแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ดังภาพที่ 2.6 (วีรเชษฐ์ จิตตานิษฐ์, 2559) (ณัฐพล กระจ่าง, 2560) ดังนี้

ช่วงที่ 1 อัตราการทำแห้งสูงขึ้น

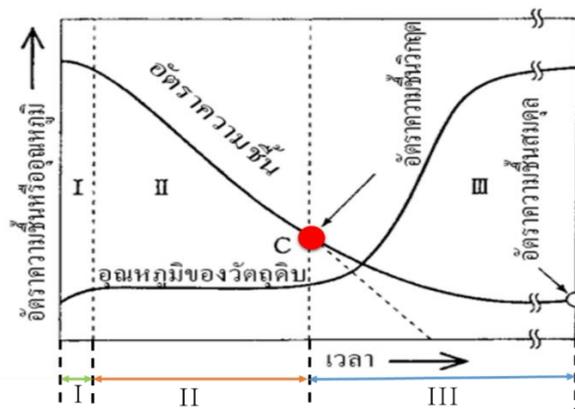
เมื่อนำวัสดุที่มีความชื้นสูงเข้ากระบวนการอบแห้ง วัสดุจะถูกทำให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น การระเหยของน้ำจากเนื้อวัสดุจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง จากนั้นเข้าสู่การอบแห้งคงที่หรืออัตราการอบแห้งลดลงในช่วงนี้จะเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้น

ช่วงที่ 2 ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

เมื่อน้ำเคลื่อนที่จากภายในสู่พื้นผิวของวัสดุและระเหยได้รวดเร็วและต่อเนื่อง จะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุในช่วงนี้คงที่ จนถึงอัตราความชื้นวิกฤติ การอบแห้งในช่วงนี้มีลักษณะการถ่ายเทความร้อนและความชื้นคล้ายกับการถ่ายเทความร้อนและความชื้นที่เกิดขึ้นที่เทอร์มอมิเตอร์กระเปาะเปียก

ช่วงที่ 3 ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง

การถ่ายเทความร้อนและความชื้นไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะผิวของวัสดุ แต่จะเกิดภายในเนื้อของวัสดุด้วย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุมายังพื้นที่ผิวช้ากว่าความสามารถในการพาความชื้นจากผิววัสดุมายังอากาศ จึงส่งผลให้อัตราการทำแห้งลดลง ในช่วงนี้อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าสูงขึ้น และอัตราการระเหยแห้งลดลง การอบแห้งจะสิ้นสุดลงก็ต่อเมื่อความชื้นลดลงถึงค่าสมดุล (Equilibrium moisture content) ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัสดุ

ที่มา: ณัฐพล กระจ่าง, 2560

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้ง

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้งประกอบด้วย 8 ปัจจัย ได้แก่ (วีรเชษฐ จิตตาศิษย์, 2559) (ณัฐพล กระจำง, 2560) ดังนี้

1. ลักษณะทางธรรมชาติของวัสดุ
วัสดุที่มีเนื้อ โปร่งหรือรูพรุนมาก น้ำจะเคลื่อนที่แบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในวัสดุ ดังนั้นวัสดุเนื้อโปร่งจะแห้งไวกว่าวัสดุเนื้อแน่น โชน ไพโรไลซิส
2. ขนาด และรูปร่างของวัสดุ
วัสดุที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรมาก อากาศร้อนมีประสิทธิภาพในการส่งผ่านความร้อนได้ให้ทั่วทำให้การระเหยน้ำออกจากเนื้อวัสดุเกิดขึ้นได้ดี และทำให้แห้งขึ้นเร็วขึ้น
3. ตำแหน่ง ปริมาณ และการจัดเรียง
วัสดุที่ได้รับการจัดเรียงซ้อนกันในปริมาณของวัสดุต่อถาดมากเกินไปจะได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงและไม่สม่ำเสมอทำให้บริเวณนั้นมีอัตราการอบแห้งที่ช้า ดังนั้นควรทำการจัดเรียงเป็นชั้นบางไม่ควรใส่หนาจนเกินไป
4. อุณหภูมิของอากาศร้อน
ความเร็วของการอบแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศร้อน การอบแห้งภายใต้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้ในวัสดุระเหยได้เร็วส่งผลให้วัสดุนั้นแห้งไว อย่างไรก็ตามอากาศร้อนที่ใช้ไม่ควรมียุณหภูมิที่สูงเกินไปเพราะอาจทำให้วัสดุแห้งเกิดความเสียหายทางเคมี หรือทางกายภาพได้ พบว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่เหมาะสมกับการอบแห้งผักและผลไม้ในช่วง 45-70 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จะทำให้ผิวหน้าของวัสดุแห้งแข็งกระด้างจนน้ำไม่สามารถไหลซึมเข้าได้ หรือที่เรียกว่า Case hardening
5. ความชื้นของอากาศร้อน
หากอากาศร้อนมีค่าความชื้นมากจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการระเหยของไอน้ำออกจากเนื้อวัสดุได้ยาก ดังนั้นอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งต้องมีความชื้นต่ำ และคงที่
6. ความดันบรรยากาศ
การอบแห้งโดยทั่วไปทำที่ความดันบรรยากาศ (760 มิลลิเมตรปรอท) แต่ถ้าในขณะที่อบแห้งมีการลดความดันบรรยากาศในตู้อบแห้งลง พบว่า อัตราเร็วของการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากจุดเดือดของน้ำภายใต้บรรยากาศลดลง ซึ่งการอบแห้งประเภทนี้เหมาะกับการอบแห้งวัสดุที่เสื่อมคุณภาพจากความร้อนได้ง่าย

7. ความเร็วอากาศ

อากาศบริเวณพื้นของวัสดุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง สามารถนำความชื้นออกจากวัสดุได้ดี และช่วยป้องกันไม่ให้เกิดสภาวะอิมตัวของไอน้ำในอากาศบริเวณโดยรอบพื้นผิวของวัสดุ และสามารถช่วยถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปสู่พื้นผิวของวัสดุได้อีกด้วย

8. ความสมบัติเชิงความร้อน และฟิสิกส์ของวัสดุ

คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุเกี่ยวข้องกับการอบแห้ง คือ ความร้อนจำเพาะ สภาพการนำความร้อน และการแพร่ความร้อน ส่วนคุณสมบัติ ทางฟิสิกส์ คือ ความหนาแน่น และสัดส่วนช่องว่างของอากาศ

หลักการอบแห้งด้วยรังสีดวงอาทิตย์

หลักการทำงานการอบแห้งด้วยรังสีดวงอาทิตย์ หลักการคือการไล่ความชื้นออกจากวัสดุด้วยการแผ่รังสี (Radiation) และการพาความร้อน (Convection) เป็นการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุ ทำให้กลายเป็นไอน้ำเพื่อระเหยออกไปจากวัสดุ โดยเริ่มต้นที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้งจนเกิดการแพร่ความชื้นภายในเนื้อวัสดุมาสู่พื้นผิวและจะถูกไล่ออกไปด้วยวิธีการพาด้วยอากาศต่อไปทำให้ความชื้นโดยรวมของวัสดุลดลง โดยที่ความสามารถของอากาศในการทำให้เกิดการระเหยจากวัสดุ (Drying Potential) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ รวมถึงความเร็วลมที่นำพาความร้อน ซึ่งกระบวนการในการอบแห้งเป็นการระเหยน้ำที่อยู่ในวัสดุออกไปให้เหลือปริมาณที่เหมาะสม วัสดุแต่ละชนิดมีค่าความชื้นสุดท้ายไม่เท่ากัน

การอบแห้งโดยอาศัยพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ความร้อนนี้อยู่ในรูปของรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งปกติแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลกจะประกอบด้วยรังสี 3 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV; Ultraviolet light) เป็นรังสีจากดวงอาทิตย์แบ่งตามชนิดความยาวคลื่น (Wavelength) รังสี UV-C 200-280 นาโนเมตร โดยมีการดูดกลืนอย่างสมบูรณ์โดยออกซิเจน และรังสี UV-B 280-315 นาโนเมตร เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการแสบแดด ผื่น และผิวหนังแห้งกร้าน อาจจะทำให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้ รังสีนี้จะเป็นการดูดซับจากโอโซนจึงไม่สามารถผ่านทะลุผิวโลก และไม่ทำอันตรายต่อมนุษย์ได้ ส่วน UV-A 315-400 นาโนเมตร สามารถลอดผ่านกระจก และเมฆเข้าถึงชั้นผิวโดยจะกระตุ้นให้เกิดการสร้างเมลานิน ทำให้เกิดผิวคล้ำแดดแต่ไม่มีอาการ และเป็นสาเหตุให้เกิดรอยเหี่ยวย่น (มาหามะสุโฮมิ มะแซ และคนอื่น ๆ, 2564) รังสีอาทิตย์มีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 3 ช่วงที่สอง คือ แสงสว่างทำให้เราสามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้ และช่วงสุดท้าย คือ รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นช่วงที่มีความสำคัญต่อการอบแห้งหรือตากแห้งเพราะช่วงนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งมีปริมาณมากถึงร้อยละ 53 ของรังสีอาทิตย์นอกจากนี้อินฟราเรด

จะไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแสง (Photochemical) เหมือนกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) จึงไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้โดยตรงกับผิวหนังร่างกายมนุษย์ (ศรายุทธ เมาศิ, 2564) การอบแห้งด้วยรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Drying) เป็นการอบด้วยวิธีนี้ใช้อย่างแพร่หลาย และสามารถลดค่าใช้จ่ายการทำวัสดุแห้ง การอบแห้งด้วยรังสีดวงอาทิตย์แบ่งการอบแห้ง 2 ประเภท ดังนี้

การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์โดยใช้การรับแสงเป็นเกณฑ์

การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์โดยใช้การรับแสงเป็นเกณฑ์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. การรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง

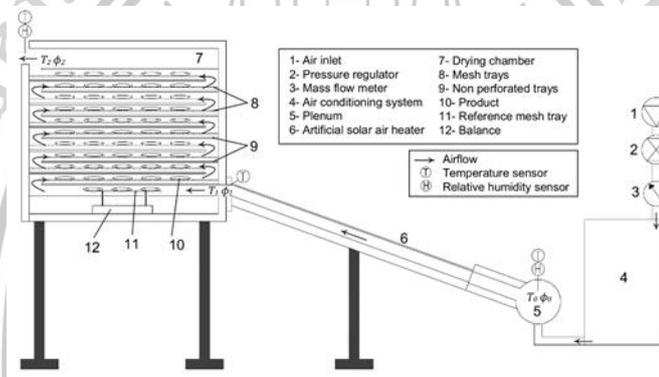
การอบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง (Direct Solar Drying; DSD) ตู้อบแห้งสร้างจากวัสดุที่โปร่งใส ซึ่งอุณหภูมิภายในตู้อบสูงกว่าบรรยากาศประมาณ 60 องศาเซลเซียสทำให้อาหาร หรือวัสดุที่อบแห้งสั้นลงเนื่องจากภายในได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง เคลื่อนตัวจากการขยายตัวเมื่อได้นับความร้อน และจะพาความชื้นออกจากวัตถุดิบ และหมุนเวียนเพื่อถ่ายเทความร้อน แต่แรงกดของวัสดุอบแห้งสามารถถูกทำลายได้ง่าย (ศิริวรรณ อาจบำรุง, 2562) เช่น งานวิจัยของเลติเซีย เฟอรรารีฮี อีดีล โก และคนอื่น ๆ (Leticia Ferraresi Hidalgo, L.F, et al., 2021) ศึกษาการอบแห้งหัวหอมสีเขียวระหว่างการตากแห้งแบบธรรมชาติ กับการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต โดยมีกรณีนำพัฒนาเข้ามาใช้ในการไล่ความชื้นตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาคอม
ที่มา : กระทรวงพลังงาน, 2564

2. การรับรังสีดวงอาทิตย์โดยอ้อม

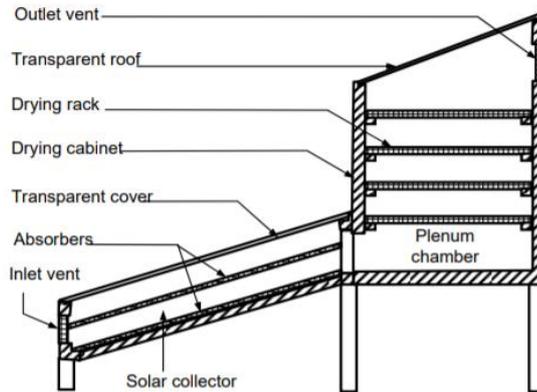
การอบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์โดยอ้อม (Indirect Solar Dryer; ISD) ตู้อบแห้งนี้วัสดุอบแห้งไม่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง จะมีแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ Solar Collector ภายในวัสดุจะมีสีทึบหรือสำหรับดูดพลังงานแสงอาทิตย์และจะถ่ายเทไปยังอากาศจนทำให้อากาศร้อนเคลื่อนที่ไปยังห้องอบ โดยผนังสำหรับการอบแห้งจะหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียของอากาศร้อนภายนอก (ศิริวรรณ อาจบำรุง, 2562) เช่น งานวิจัยของเลน โค คานู และคนอื่น ๆ (Blanco-Cano et al., 2016) ที่ได้ศึกษาการอบแห้งแอปเปิลโดยใช้ตู้อบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์โดยอ้อม ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ตู้อบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์โดยอ้อมระดับห้องปฏิบัติการ ที่มา: เลน โค คานู และคนอื่น ๆ (Blanco-Cano et al., 2016)

3. การรับรังสีดวงอาทิตย์แบบผสมผสาน

การอบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์แบบผสมผสาน (Mixed Solar Dryer) ตู้อบแห้งแบบผสมผสานจะมีลักษณะคล้ายแบบรับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง แต่ความแตกต่างอยู่ที่ใช้ตู้อบแห้งวัสดุโปร่งใสด้วยเพื่อให้ห้องอบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์โดยอ้อม ด้วยเป็นการรับรังสีดวงอาทิตย์ 2 แหล่ง คือ รับภายนอกห้องอบแห้ง เช่นแผงโซลาร์เซลล์ และภายในห้องอบแห้ง (ศิริวรรณ อาจบำรุง, 2562) เช่น งานวิจัยของบูโลจิ และคนอื่น ๆ (Bolaji et al., 2008) เป็นการอบแห้งเมล็ดพืชโดยใช้ความร้อนผสมผสาน คือ ความร้อนที่ได้จากรังสีอาทิตย์โดยตรง และอากาศร้อนที่ได้จากการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยอุปกรณ์ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์กับอากาศที่จะไหลเข้าสู่ตู้อบแห้ง ดังภาพที่ 2.10



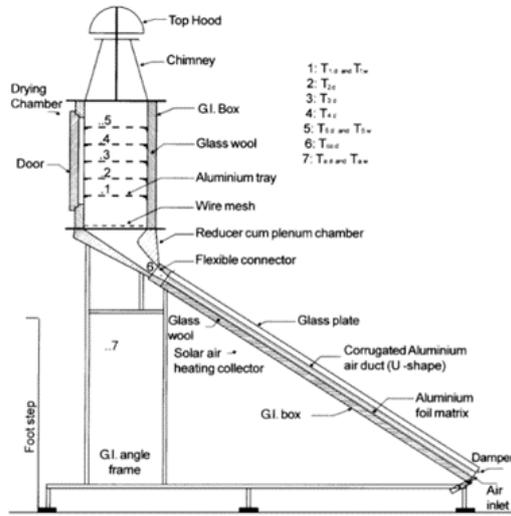
ภาพที่ 2.10 ตู้อบแห้งแบบรับรังสีดวงอาทิตย์แบบผสมผสาน
บูโลจิ และคนอื่นๆ (Bolaji et al., 2008)

การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์โดยใช้การไหลของอากาศเป็นเกณฑ์

การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์โดยใช้การไหลของอากาศเป็นเกณฑ์แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

1. การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบอิสระ

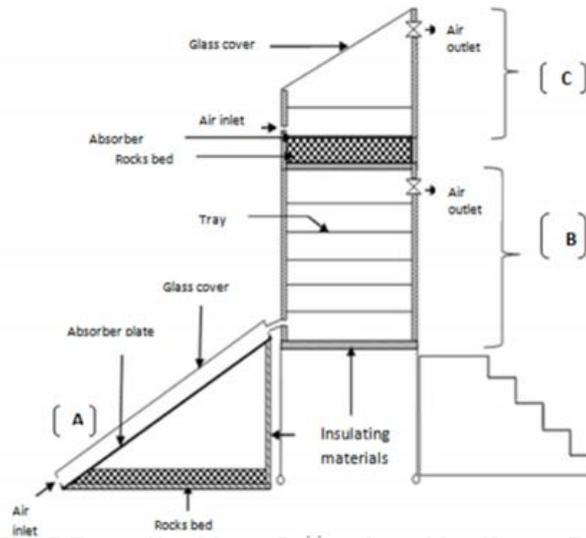
การอบแห้งแบบอิสระ (Passive System) หรือแบบหมุนเวียนตามธรรมชาติ (Natural Convection) อาศัยการไหลของอากาศแบบธรรมชาติโดยไม่อาศัยระบบขับเคลื่อนอากาศมาช่วยในการหมุนเวียนอากาศ ระบบนี้จะใช้ความแตกต่างระหว่างความกดอากาศภายในตู้อบแห้ง อากาศไหลเย็นเข้าสู่ทางด้านล่างของตู้อบแห้ง และเมื่อได้รับความร้อนก็ลอยตัวและไหลออกจากตู้อบ (Buoyancy force) การไหลออกของอากาศร้อนเป็นการนำความชื้นภายในตู้อบแห้งออกมา ตู้อบแห้งแบบระบบอิสระที่นิยมใช้เป็นตัวสี่เหลี่ยมด้านบนปิดด้วยกระจกทำมุมเอียงทำมุม 18 องศา กับระดับจุด มีช่องอากาศเข้าอยู่ด้านล่าง และช่องอากาศออกอยู่ด้านบน และบางครั้งอาจจะมีการติดตั้งฉนวนความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิในตู้อบแห้ง (ปรีชา ศรีประภาคาร, 2560) เช่น งานวิจัยของปาน กาวาน และคนอื่นๆ (Pangavhane et al., 2002) ได้ออกแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยให้อากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติเพื่อใช้กับผลผลิตของเกษตรกร เช่น ผัก ผลไม้ และองุ่นแห้ง ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยให้อากาศหมุนเวียนตามธรรมชาติ
ที่มา: ปานกาวเน และคนอื่นๆ (Pangavhane et al., 2002)

2. การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบบังคับ

การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบบังคับ (Active System) อาศัยพัดลมช่วยในการเคลื่อนที่และหมุนเวียนทิศทาง พัดลมทำหน้าที่ดูดอากาศจากภายนอกให้เคลื่อนผ่านอุปกรณ์รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เพื่อถ่ายเทความร้อนไปยังอากาศ (ปรีชา ศรีประภาคาร, 2560) ทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านวัสดุอบแห้งเร็วกว่าการไหลเวียน โดยธรรมชาติ การอบแห้งแบบนี้สามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว เช่น งานวิจัยของทาซิก และคนอื่นๆ (Tasić et al., 2018) ศึกษาการอบแห้งของพืชผลทางการเกษตร งานวิจัยของชอว์ช และคนอื่นๆ (Chaouch et al., 2018) ได้ศึกษาการอบแห้งของเนื้ออุฐู ดังภาพที่ 2.12

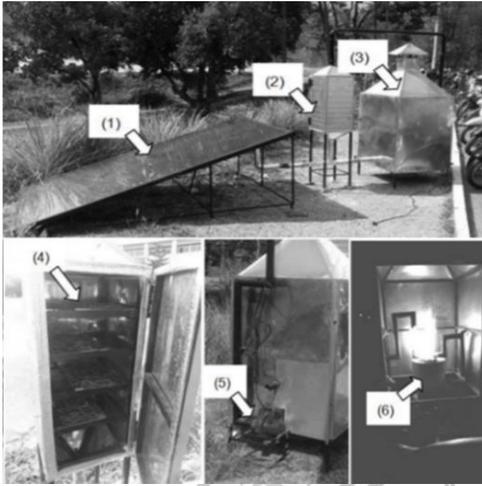


ภาพที่ 2.12 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบบังคับ
ที่มา : ชอว์ช และคนอื่นๆ (Chaouch et al., 2018)

3. การอบแห้งด้วยรังสีดวงอาทิตย์แบบผสมผสาน

การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบผสมผสาน (Hybrid Solar Dyer System) เป็นเครื่องอบแห้งที่มีแหล่งพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ร่วมกับพลังงานอื่น เนื่องจากในบางพื้นที่ และในฤดูกาล ปริมาณรังสีอาทิตย์มีน้อยจึงมีการนำพลังงานอื่นมาร่วมเพื่อให้กระบวนการอบแห้งสามารถทำงานได้หรือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อการอบแห้งได้ดีขึ้น เช่น การลดระยะเวลาการอบ แหล่งความร้อนอื่นที่มาเสริมหรือใช้ร่วม เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานจากชีวมวล พลังงานจากก๊าซชีวมวล โดยจะทำงานควบคู่กันกับระบบพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (จารุวัฒน์ เจริญกิต, 2555) เช่น งานวิจัยของฮาติมมี บากา (2559) ศึกษาการอบแห้งปลาช่อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า และงานวิจัยของสุรชัย อนุรักษ์ จันท์ศรี (2560) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวลในการอบแห้งพริก ดังภาพที่

2.13



1. แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์
2. ตู้อบ
3. ชุดแลกเปลี่ยนความเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน
4. ชั้นวางวัสดุอบ
5. เครื่องเป่าลม
6. เตาชีวมวลในระดับครัวเรือน

ภาพที่ 2.13 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
ที่มา : สุรชัย อนุรักษ์ จันทร์ศรี, 2560

การอบแห้งอะโวคาโดด้วยรังสีดวงอาทิตย์

การศึกษาการอบแห้งอะโวคาโดส่วนใหญ่ใช้การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนซึ่งใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน เช่นงานวิจัยของนิมสุข (Chimsook, 2017) ได้เปรียบเทียบการอบแห้งอะโวคาโดและคุณภาพของน้ำมันอะโวคาโดด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่ การตากธรรมชาติ, การอบแห้งด้วยลมร้อน, การอบแห้งด้วยวิธีสุญญากาศ (Vacuum Drying) พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีที่ดีที่สุดเนื่องจากไม่มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะวิตามิน และกรดไขมัน จาก การทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีงานวิจัยบางชิ้นได้ศึกษาการอบแห้งอะโวคาโดด้วยรังสีดวงอาทิตย์ เช่นงานวิจัยของปาร์ค และคนอื่น ๆ (Park et al., 2015) ได้ออกแบบตู้พลังงานแสงอาทิตย์อุโมงค์เพื่ออบแห้งอะโวคาโด ตู้อบแห้งนี้สามารถทำอุณหภูมิภายในตู้อบได้ประมาณ 57 องศาเซลเซียส หลังจากการดำเนินการอบแห้งจะได้เนื้ออะโวคาโดแห้ง และน้ำมันอะโวคาโดได้จากสกัดแบบบีบอัด ดังภาพที่ 2.14 –ภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.14 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบ Tanzania
ที่มา: ปาร์ค และคนอื่นๆ (Park et al., 2015)



ภาพที่ 2.15 เนื้ออะโวคาโดแห้ง
ที่มา: ปาร์ค และคนอื่นๆ (Park et al., 2015X)



ภาพที่ 2.16 น้ำมันอะโวคาโด
ที่มา: ปาร์ค และคนอื่นๆ (Park et al., 2015)

การสกัดน้ำมันจากพืช

กระบวนการการสกัดน้ำมันจากพืชเป็นการสกัดน้ำมันในส่วนต่างๆ เช่น ผลและเมล็ดของพืชน้ำมัน เช่น มะพร้าว ปาล์ม ถั่วเหลือง ข้าวโพด ถั่วลิสง รำข้าว เป็นต้น ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากพืชขึ้นอยู่กับพืชแต่ละชนิด เช่น เมล็ดกระบองให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดร้อยละ 64.11 (จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และคนอื่น ๆ, 2562) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันรำข้าวปริมาณน้ำมันรำข้าวร้อยละ 17.9-25.4 โดยใช้แบบสกรูอัดชนิด Straight Screw Shaft ที่ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที (เขาว์ อินทร์ประสิทธิ์ และเบญจพร ทุมโคตร, 2560) วิธีในการสกัดน้ำมันมี 2 วิธี ได้แก่ การสกัดด้วยตัวทำละลาย และการสกัดด้วยการบีบ หรือใช้แรงอัด

การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) เป็นเทคนิคในการสกัดน้ำมันจากพืชด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว เช่น เฮกเซน เอทานอล อะซิโตน หรือตัวทำละลายผสม การสกัดน้ำมันอะโวคาโดด้วยเทคนิคนี้เป็นเป็นนำเนื้ออะโวคาโดแช่ลงในตัวทำละลายและสกัดด้วยซอกเลต (Soxhlet Apparatus) สกัดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้น้ำมันร้อยละ 3-4 การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์อาจจะทำให้สูญเสียสารบางตัวของน้ำมันที่เป็นประโยชน์ได้ ในกรณีที่ไม่สามารถแยกตัวทำละลายกับเนื้อของอะโวคาโด สารละลายจะถูกแยกขึ้นโดยเทคนิคการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) การสกัดน้ำมันจากพืชด้วยเทคนิคนี้ใช้ระยะเวลาการใช้ต้นทุนที่สูง (จิตติพรรณ นิยมสุข, 2560) เช่น งานวิจัยของฤดีวรรณ บุญยะรัตน์ และคนอื่น ๆ (2540) สกัดน้ำมันตะคร้อโดยใช้ซอกเลตโดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายใช้เวลาการสกัดน้ำมัน 16 ชั่วโมง โดยได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 64.45 งานวิจัยของจุฑาภรณ์ ชนะถาวร และคนอื่น ๆ (2562) สกัดน้ำมันเมล็ดกระบกโดยใช้การสกัดทางเคมีใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายอุณหภูมิในการสกัด 70 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที โดยได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 43.11 งานวิจัยของวรรัตน์ และคนอื่น ๆ (2566) สกัดน้ำมันอะโวคาโดพันธุ์แฮสสกัดน้ำมันโดยวิธีเฮกเซน และเอทานอล โดยการสกัดน้ำมันโดยการใช้เฮกเซนจะได้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าการสกัดเอทานอล การสกัดน้ำมันด้วยวิธีเฮกเซนเป็นสารเคมีที่ราคาสูงกว่าตัวทำละลายตัวอื่นแต่ตัวทำละลายเป็นพิษ อันตราย จึงต้องทำการใช้เครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศในการแยกเฮกเซนที่จุดเดือด 68.7 องศาเซลเซียส

การสกัดด้วยการบีบหรือใช้แรงอัด

การสกัดด้วยการบีบหรือใช้แรงอัด (Mechanical Expression) เป็นการสกัดน้ำมันจากพืชด้วยโดยใช้แรงดันสูง หรือการบีบเย็นตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก หรือปั่นเหวี่ยงโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เพื่อแยกของเหลวออกจากของแข็งหรือ ของเหลวที่มีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกัน เทคนิคที่นิยมเนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ได้ปริมาณน้ำมันมาก และลดของเสียที่เกิด

การกระบวนการผลิตได้มากที่สุดเมื่อเทียบเทคนิคอื่น ๆ (ฐิติพรรณ นิมสุข, 2560) เช่น งานวิจัยของ เชาวน์ อินทร์ประสิทธิ์ และเบญจพร ทুমโครต (2560) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันรำข้าวปริมาณน้ำมันรำข้าวร้อยละ 17.9-25.4 โดยใช้แบบสกรูอัดชนิด Straight Screw Shaft ที่ความเร็วรอบ 25 รอบต่อนาที งานวิจัยของวรรณรัตน์ และคนอื่น ๆ (2566) การสกัดน้ำมันอะโวคาโดพันธุ์เฮสด้วยใช้เครื่องบีบอัดจะได้ปริมาณน้ำมันอะโวคาโดน้อยกว่าการสกัดจากตัวทำละลาย เนื่องจากใช้ระยะเวลาบีบอัดสั้น และใช้อุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเป็นข้อกำหนดด้านคุณภาพที่สร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากชุมชน มาตรฐานนี้เป็นการยกระดับผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สอดคล้องกับนโยบายหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (One Tampon One Product; OTOP) โดยการศึกษาต้องการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันอะโวคาโดคิบให้คุณภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันสำหรับบริโภคได้ โดยใช้กระบวนการผลิตที่ง่าย และใช้เทคโนโลยีต้นทุนต่ำ ด้วยปัญหาและความต้องการกล่าว ผู้วิจัยจึงจะดำเนินการศึกษาพฤติกรรมกรอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ทำให้อะโวคาโดอบแห้งมีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน-ผักและผลไม้ (มผช. 136/2558) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน-น้ำมันงา (มผช. 669/2547) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547ก) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน-น้ำมันมะพร้าว (มผช. 670/2547) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547ข)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1. ลักษณะภายนอก และการหดตัว

การหดตัวการดึงน้ำออกจะทำให้เซลล์ของวัสดุอบแห้งมีแรงดึงต่อผนังเซลล์หายไปจึงทำให้เกิดการหดตัว (Shrinkage) จนมีรูปร่างขนาดเล็กลง และบิดโค้ง การวิเคราะห์การหดตัววัสดุก่อนและหลังการอบแห้งต้องวัดความกว้าง ความยาว และความหนา ด้วยเครื่องมือเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ที่มีความละเอียด ± 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถคำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (ปกรณเกียรติ ภูทองพลอย, 2560)

2. ความชื้นมาตรฐานเปียก

ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) เป็นปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในการค้า ซึ่งแสดงเป็นร้อยละของน้ำหนักของน้ำที่มีต่อน้ำหนักรวมของวัสดุ (ศิริชัย ศิริชนะ และคนอื่น ๆ, 2565) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ

สมการ

$$\text{ร้อยละ w.b} = \frac{W - d}{W} \times 100$$

เมื่อ	ร้อยละ	w.b.	ความชื้นมาตรฐานเปียก
	W		น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์
	d		น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง

3. ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) นิยมใช้แสดงผลในงานวิจัยทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ เนื่องจากวัสดุแห้งของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้งดังนั้นจึงง่ายต่อการวิเคราะห์การถ่ายเทความชื้น ผลการคำนวณจะแสดงในรูปของร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง ความชื้นของวัสดุแห้งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (ศิริชัย ศิริชนะ และคนอื่น ๆ, 2565)

สมการ

$$\text{ร้อยละ d.b} = \frac{W - d}{d} \times 100$$

เมื่อ	ร้อยละ	d.b.	ความชื้นมาตรฐานแห้ง
	W		น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์
	d		น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง

4. อัตราส่วนความชื้น

อัตราส่วนของความชื้น (Moisture Ratio: MR) เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลของน้ำในวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการอบแห้งที่เวลาใด ๆ การพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์การ

อบแห้งจะถูกพัฒนาให้อัตราส่วนความชื้นของอะโวคาโดที่เวลาอบแห้งต่าง ๆ โดยอัตราส่วนความชื้น อัจฉริยะวิริยะ และคนอื่น ๆ (Achariyaviriya et al., 2019) ดังสมการ

สมการ

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}}$$

เมื่อ	MR	อัตราส่วนความชื้น
	M_0	ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (ร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง)
	M_t	ความชื้นวัสดุที่เวลาใด ๆ (ร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง)
	M_{eq}	ความชื้นสมดุลของวัสดุ (ร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง)

เมื่อค่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากเทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้น ($M_{eq} \ll M_0$) และความชื้นที่เวลาใด ๆ ($M_{eq} \ll M_t$) อัตราส่วนความชื้นดังสมการ บาลา (Bala, 1995) แครค (Crak, 1975) จานา (Jana, 2007)

5. อัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR)

อัตราการอบแห้งเป็นความชื้นที่ออกจากวัสดุต่อเวลาการอบแห้ง สามารถแบ่งได้ 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ วัสดุจะมีความชื้นสูง ทำให้ในช่วงแรกของการอบแห้งคงที่ที่เกิดจากการที่วัสดุมีการถ่ายเทมวลของน้ำ และความร้อนกับอากาศแวดล้อมที่ผิวของวัสดุเพียงอย่างเดียว พารามิเตอร์ของอากาศแวดล้อมที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งคงที่นี้ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงอัตรานี้จะเกิดในช่วงสั้นๆ ส่วนอัตราที่สองคือช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เนื่องจากเมื่อปริมาณความชื้นของวัสดุอยู่ระหว่างช่วงอัตราคงที่ และช่วงอัตราลดลงจะเรียกว่า ค่าความชื้นวิกฤต เป็นการถ่ายเทมวลของน้ำและความร้อนกับอากาศแวดล้อมไม่ได้เกิดจากพื้นผิวด้านนอกของวัสดุเพียงอย่างเดียว แต่จะเกิดของผิวด้านในของวัสดุ และเนื้อในของวัสดุด้วยเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุจะนำมาซึ่งผิวของวัสดุจะช้ากว่าการพาความชื้นจากผิวไปยังอากาศแวดล้อมทำให้อัตราการอบแห้งลดลง พารามิเตอร์ของอากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งลดลง ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อม (บุญมัน แสงสุชีลักษณ์, 2558) (ชญาณิช รัตนมงคล และคนอื่น ๆ, 2561)

สมการ

$$DR = \frac{(M_{in} - M_f)}{t}$$

เมื่อ	DR	อัตราการอบแห้ง
	M_{in}	ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (ร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง)
	M_f	ความชื้นวัสดุที่เวลาใด ๆ (ร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง)
	W_d	น้ำหนักแห้ง (กิโลกรัม)
	t	ระยะเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

6. ปริมาณน้ำอิสระ

ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity; a_w) เป็นปัจจัยควบคุมและป้องกันการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาและความปลอดภัยของอาหาร แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

6.1 อาหารสด (Fresh food) เป็นอาหารที่เน่าเสียมีค่าปริมาณน้ำอิสระ มากกว่า 0.85 เช่น เนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้ (ปิ่นธสุทธิ สุวรรณเลิศ และคนอื่น ๆ, 2561) (วีรเชษฐ์ จิตตานิษฐ์, 2559)

6.2 อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate moisture food) เป็นอาหารที่มีปริมาณน้ำอิสระ 0.6-0.85 เช่น นมข้นหวาน ผลไม้แช่อิ่ม (ปิ่นธสุทธิ สุวรรณเลิศ และคนอื่น ๆ, 2561) (วีรเชษฐ์ จิตตานิษฐ์, 2559)

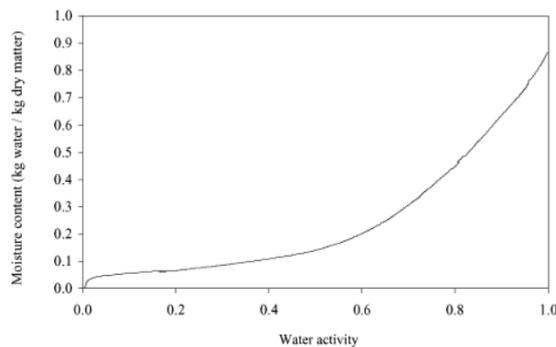
6.3 อาหารแห้ง (Dried food) เป็นอาหารที่มีปริมาณน้ำอิสระ โดยที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้น้อยกว่าปริมาณน้ำอิสระ 0.6 เช่น นมผง ผักผลไม้อบแห้ง เก๋กฮวยผงขงดัม (ปิ่นธสุทธิ สุวรรณเลิศ และคนอื่น ๆ, 2561) (วีรเชษฐ์ จิตตานิษฐ์, 2559)

สมการ

$$a_w = \frac{P_0}{P}$$

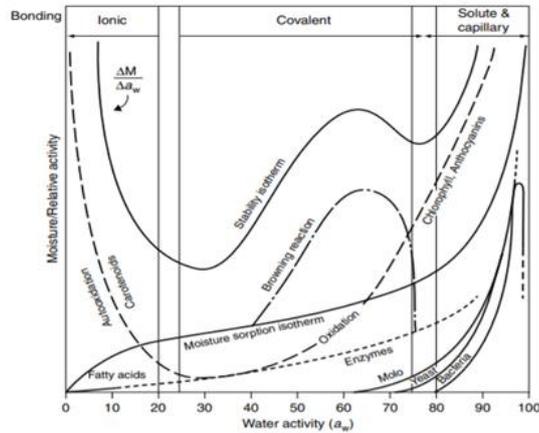
เมื่อ a_w ค่าแอกทีวิตี (Water Activity)
 P ความดันของไอน้ำในวัสดุ
 P_0 ค่าความดันของไอน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) และค่าความชื้นในอาหารอยู่ในรูปของซอร์พชันไอโซเทอม (Sorption Isotherm) ดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 ซอร์พชันไอโซเทอม (Sorption Isotherm)
 ที่มา : รามัน (Rahman, 2006)

โดยค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ค่าจะอยู่ระหว่าง 0-1 ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของอาหารจะสัมพันธ์กับอัตราการเร็วก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและปฏิกิริยาต่าง ๆ เมื่อค่าแอกทีวิตีมีค่าที่สูงส่งผลต่อการเกิดจุลินทรีย์มากขึ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะทำให้เกิดการเน่าเสียมากกว่าค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ที่ต่ำ การเสื่อมคุณภาพของอาหาร เช่น ค่าออกซิเดชันทำให้เกิดการเหม็นหืนจะเกิดปฏิกิริยานี้เมื่อมีน้ำในอาหารมีปริมาณที่สูง การเกิดสีน้ำตาลของผัก ผลไม้ เนื่องจากเป็นเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase) และการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช่เอนไซม์ เช่น ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) แนวโน้มนี้เมื่อน้ำอิสระในอาหารมีค่าสูง ดังภาพ 2.18 รามัน (Rahman, 2006)



ภาพที่ 2.18 อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของปริมาณน้ำอิสระ
 ที่มา : รัมมัน (Rahman, 2006)

จากนิยามของแอกติวิตีของน้ำจะแสดงให้เห็นว่าที่ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ที่สภาวะสมดุลจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศชื้นที่อยู่รอบ ๆ ของวัสดุ เมื่ออาหารที่มีราขึ้นถึงทำการอบแห้งจนมีความชื้นที่ค่อนข้างต่ำเมื่อนำอาหารมาวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่ามีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) สูงประมาณ 0.80-0.90 เมื่อมีค่าที่สูงจึงทำให้เราสามารถเจริญเติบโตได้

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

1. การวิเคราะห์สี

การเปลี่ยนสีในเซลล์พืช และเซลล์สัตว์เป็นสีน้ำตาลทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประโยชน์ทำให้ผลิตภัณฑ์บางชนิดมีสีเข้มขึ้นจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และของผู้ประกอบการ สาเหตุเกิดจากออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอล โดยมีฟีนิลalani (Phenylalanine) เป็นสารตั้งต้น (Precursor) ของสารประกอบฟีนอลอื่นๆ ด้วยการทำงานของเอนไซม์ฟีนิลalaniแอมโมเนียไลเอส (Phenylalanine Ammonolyses; PAL) ดึงเอากลุ่มอะมิโนออกจากฟีนิลalani ได้เป็นกรดซินนามิก (Cinnamic Acid) ต่อมาเมื่อเนื้อเยื่อพืชได้รับความเสียหาย เช่น การสูญเสียน้ำ การเกิดบาดแผล การบอบช้ำ และการเสื่อมสภาพ เป็นปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลในเนื้อเยื่อพืช และเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase ; PPO) ในสภาพที่มีออกซิเจน และมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 5-7 สารออร์โท-ไดฟีนอล (O-diphenols) ถูกเติมในหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็น ออร์โท-ควิโนน (O-quinone) ต่อมาจะรวมกันอย่างรวดเร็ว และอาจจะรวมหรือไม่รวมกับกรดอะมิโนหรือกลุ่มซัลไฟด์ไรล (Sulphydryl) ของโปรตีน (Cysteines) โดยจะรวมกัน

เป็นโมเลกุลใหญ่เกิดเป็นสารให้สีในที่สุด กลไกการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลซึ่งมีสาเหตุมาจาก เอนไซม์ได้แก่ การควบคุมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส การควบคุมปริมาณ Quinone เป็นการลดบทบาทของสารประกอบฟีนอล และการควบคุมก๊าซออกซิเจน การควบคุมการเกิดสีน้ำตาลด้วยวิธีการใช้สารรีดิวเอเจนต์ การจุ่มในน้ำเกลือหรือน้ำผึ้ง และการใช้ความร้อน (วิชฌณี ยืนยงพุทธกาล และคนอื่น ๆ, 2558) (นรินทร์ เจริญพันธ์ และรัชณี พุทธา, 2563)

สมบัติที่สำคัญในการตัดสินใจของผู้บริโภคในการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปจะประเมินทางสายตา (Visual Assessment) การประเมินทางสายตาจะขึ้นอยู่กับความพึงพอใจ ความรู้สึก และความชำนาญของผู้ประเมินซึ่งข้อมูลที่ได้อาจจะไม่แม่นยำ และสม่ำเสมอจึงมีการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและมาตรฐาน (ณัฐพล กระจำง, 2560) ซึ่งสีเป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งในการบ่งบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งเชิงเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส โดยความยาวคลื่นที่มองเห็นอยู่ในช่วง 380-780 นาโนเมตร มนุษย์แบ่งสีออกเป็น 3 ลักษณะ คือ เฉดสี (Hue) ความสว่าง (Value หรือ Lightness) และความบริสุทธิ์ (Chroma หรือ Saturation)

1.1 เฉดสีเป็นสีหลักสีที่ปรากฏให้เห็นที่ต่างกันในระบบ Munsell ประกอบด้วย 5 สีได้แก่ แดง เหลือง เขียว น้ำเงิน และม่วง

1.2 ความสว่างของสีเป็นปริมาณแสงสะท้อนออกมาจากวัตถุ หากแสงออกจากวัตถุมากจะทำให้วัตถุนั้นสว่าง แต่ถ้าแสงน้อยจะทำให้เห็นวัตถุมืด ความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0 (สีดำ; Black) ถึง 100 (สีขาว; White)

1.3 ความบริสุทธิ์ของสี คือสีที่ไม่มีแสงสีเทาเข้ามาผสมเลย ซึ่งได้แก่ สีแกนหลักของเฉดสี ทั้ง 100 สี แบ่ง 18 ระดับ เป็นการวัดความสว่างของสีที่แตกต่างกัน

ปัจจุบันการวัดสีสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องตรวจวัดสี (Colorimeter) โดยใช้มาตรฐานการวัดสีของ Commission International de l'Eclairage (CIE) จะใช้สเกล $L^*a^*b^*$ บรรยายลักษณะสีเช่นเดียวกับ $L^*a^*b^*$ ดังภาพที่ 2.19 และ 2.20 โดยการวัดสีแบ่งออกเป็น 3 แกน คือ แกน L^* , แกน a^* และแกน b^* แกน L^* แสดงถึงความสว่าง (Lightness) ค่าตั้งแต่ 0 -100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว แกน a^* แสดงแกนสี จากสีเขียว ($-a^*$) ถึง สีแดง ($+a^*$) แกน b^* แสดงแกนสี จากสีน้ำเงิน ($-b^*$) ถึง สีเหลือง ($+b^*$) และสีมีการเปลี่ยนแปลงไปได้อีกจุดในพื้นที่ space เป็น L_1^* , a_1^* , b_1^* ซึ่ง 2 จุดนี้มีระยะห่างกันใน space จะเป็นตัวบ่งบอกถึงค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ชุตติมา สังคะหะ และคนอื่น ๆ, 2566)

2. การวิเคราะห์การเหม็นหืนของน้ำมัน

การที่ไขมันมีกลิ่นผิดปกติ ระหว่างการเก็บอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบในภาชนะ เปิดทำให้ไขมันดูดสารอื่นจากอากาศเข้าไป หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เรียกว่า การเหม็นหืนของไขมัน (Rancidity) การเกิดการเหม็นหืนของไขมันมี 3 รูปแบบ ได้แก่ การเหม็นหืนของน้ำมันเนื่องจากน้ำ การเหม็นหืนของน้ำมันจากการเกิดสารพวกคีโตน และการเหม็นหืนของน้ำมันเนื่องจากออกซิเจน

2.1 การเหม็นหืนของน้ำมันเนื่องจากน้ำ (Hydrolytic rancidity) เกิดจากไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยมีเอนไซม์ได้กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (Short Chain fatty acid) เรียกว่า กรดบิวไทริก (Butyric acid) กรดชนิดนี้ทำให้น้ำมันเกิดกลิ่นขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระสามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีการไทเทรตกรด-เบส (Acid-base titration) และคำนวณได้ดังสมการ การเกิดการเหม็นหืนของน้ำมันเนื่องจากน้ำสามารถป้องกันได้โดยใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์ เช่น การลวกบรรจุภัณฑ์ (Blanching) หรือป้องกันไม่ให้น้ำปนเปื้อน (ศศิกานต์ ปานปราชญ์เจริญ และคนอื่น ๆ, 2561)

สมการ

$$\text{ร้อยละ FFA} = \frac{(\square - \square) \times \square \times 28.2}{\square}$$

เมื่อ	A	ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมัน (มิลลิลิตร)
	B	ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต Blank (มิลลิลิตร)
	N	ความเข้มข้นของ NaOH (นอร์มอล)
	28.2	ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดโอเลอิก
	W	น้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)

2.2 การเหม็นหืนของน้ำมันเนื่องจากการเกิดสารพวกคีโตน (Ketonic rancidity) สารจำพวกคีโตนจึงทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ซึ่งเกิดจากไขมันไม่อิ่มตัวทำปฏิกิริยาโดยเอนไซม์ซึ่งมาจากเชื้อรา สามารถป้องกันได้โดยการกำจัดสิ่งที่มีส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อรา เช่น อากาศ และความชื้น (ศศิกานต์ ปานปราชญ์เจริญ และคนอื่น ๆ, 2561)

2.3 การเหม็นหืนของน้ำมันเนื่องจากออกซิเจน (Oxidation rancidity หรือ Lipid Oxidation) เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งไม่เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันไม่อิ่มตัว

กับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งมีแสง ความร้อน และความชื้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เพออกไซด์ (Peroxide : P.V.) ซึ่งเป็นการสลายให้แอลดีไฮด์ (Aldehyde) สารที่ระงับการหมื่นหื่นที่ดดีที่สุด และอยู่ในน้ำมันทุกชนิด คือ วิตามิน E (ปฏิกฤษญา จยพงศ์ และจันทรณาย ษศศกคคีศรี, 2561)

จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

จลนพลศาสตร์การอบแห้ง (Drying Kinetics) เป็นการอธิบายกลไกการถ่ายโอนความร้อนและมวล การศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งเป็นวิธีการเลือกวิธีการอบแห้งที่เหมาะสม และเพื่อควบคุมกระบวนการในการอบแห้ง นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพทางวิศวกรรม และกระบวนการ จลนพลศาสตร์การอบแห้งใช้เพื่อแสดงการไล่ความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ และเกี่ยวข้องกับตัวแปรของกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม ขนาด และระยะเวลา ซึ่งทำให้เข้าใจถึงอัตราการอบแห้งดีขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการพัฒนาแบบจำลองอบแห้ง ได้แก่ จลนพลศาสตร์การอบแห้งเชิงทฤษฎี จลนพลศาสตร์การอบแห้งกึ่งทฤษฎี และจลนพลศาสตร์การอบแห้ง (คิวะ อัจฉริยะวิริยะ และคนอื่น ๆ, 2562)

จลนพลศาสตร์การอบแห้งเชิงทฤษฎี

จลนพลศาสตร์การอบแห้งเชิงทฤษฎี (Theoretical Model) ทฤษฎีอธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุที่มีโครงสร้างภายในรูพรุนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงด้วยกฎข้อที่สองการแพร่กระจายของ Fick แต่มีแนวโน้มต่อการศึกษาอัตราการอบแห้งที่ผิดพลาดสูง และมีความซับซ้อนสำหรับการใช้งานจริงตามทฤษฎีของแครก (Crank, 1975) (สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์, 2540) กลไกในการเคลื่อนที่ของน้ำภายในวัสดุเกิดขึ้นในรูปแบบต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปแบบของของเหลวเนื่องจาก Capillary Flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface Force)
2. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปแบบของของเหลวเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Liquid Diffusion)
3. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปแบบของของเหลวจากการแพร่ความชื้นบนผิวของรูพรุนเล็กๆ (Surface Diffusion)
4. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปแบบของไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความชื้น (Vapor Diffusion)
5. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปแบบของไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Thermal Diffusion)

6. การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปแบบของของเหลว และไอน้ำเนื่องจากความดันรวม (Hydrodynamic Flow)

การอบแห้งวัสดุที่มีโครงสร้างรูพรุน ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงมีกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญ คือ กระบวนการการถ่ายเทความร้อนที่ผิวของวัสดุแลกเปลี่ยนกับความร้อนในอากาศร้อน ทำให้น้ำที่ผิวของวัสดุมีการระเหยออกกลายเป็นไอ จึงทำให้น้ำในวัสดุมาอยู่ที่ผิวของวัสดุแทนและเปลี่ยนกลายเป็นไอเพื่อระเหยออก (อัจฉรา แซ่โล้ว, 2558)

กฎข้อที่ 2 ของ Fick ในสภาวะการแพร่ความชื้นที่ไม่คงที่ เมื่อไม่พิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิ และความดันไอรวม จากการศึกษาพฤติกรรมสามารถอธิบายพฤติกรรมวัสดุอบแห้ง (สุนทร สืบคำ และฤทธิชัย อัสวราชันย์, 2554) ดังสมการ

สมการ

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla^2 D$$

เมื่อ

D ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ยังผล ซึ่งหมายถึงทอมของกลไกการส่งผ่านความชื้นทั้งหมดในวัสดุ (ตารางเมตรต่อวินาที)

∇^2 Laplace สำหรับเฟสของแข็งที่เคลื่อนที่ของความชื้นในทิศทางหนึ่งมิติตามทิศทาง

วัสดุรูปทรงเหลี่ยม มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ขึ้นอยู่กับความชื้นในวัสดุ ดังสมการ

สมการ

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial z^2} \right)$$

สมมุติฐานว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีความชื้นมีค่าคงในช่วงความชื้นของวัสดุที่ไม่กว้างมาก เพื่อง่ายต่อการแก้สมการ ดังสมการ

สมการ

$$M(x, y, z, 0) = M_{in}$$

$$M(0, y, z, t) = M(x, 0, z, t) = M(x, y, 0, t) = M_{eq}$$

$$M(l_x, y, z, t) = M(x, l_y, z, t) = M(x, y, l_z, t) = M_{eq}$$

เมื่อ	M	ความชื้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
	M_{in}	ความชื้นเริ่มต้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
	M_{eq}	ความชื้นสมดุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
	x, y, z	ทิศทางการถ่ายเทมวล
	l_x	ความกว้าง
	l_y	ความยาว
	l_z	ความหนา
	t	เวลา (ชั่วโมง)

สมการรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์หาได้ดังสมการ (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540)

สมการ

$$\overline{MR} = \left[\frac{8}{\pi^2} \right]^3 \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2i+1)^2} \frac{1}{(2j+1)^2} \frac{1}{(2k+1)^2} \right] \exp \left[- \left[\frac{(2i+1)^2}{l_x^2} + \frac{(2j+1)^2}{l_y^2} + \frac{(2k+1)^2}{l_z^2} \right] \pi^2 Dt \right]$$

เมื่อ	MR	อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย
	\bar{M}	ความชื้นเฉลี่ย, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง
	D	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (ตารางเมตรต่อชั่วโมง)
	i, j, k	ค่าคงที่

ตารางที่ 2.3 สรุปสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งสำหรับรูปทรงต่าง ๆ

รูปทรง	รูปแบบ
ทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์	$\overline{MR} = \left[\frac{8}{\pi^2} \right]^3 \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{1}{(2i+1)^2} \frac{1}{(2j+1)^2} \frac{1}{(2k+1)^2} \right] \exp \left[- \left[\frac{(2i+1)^2}{l_x^2} + \frac{(2j+1)^2}{l_y^2} + \frac{(2k+1)^2}{l_z^2} \right] \pi^2 Dt \right]$
ทรงกลม	$\overline{MR} = \left(\frac{6}{\pi^2} \right) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left(\frac{-n^2 \pi^2 Dt}{r^2} \right)$
Infinite slab	$\overline{MR} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 Dt}{l^2} \right]$
Infinite cylinder	$\overline{MR} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{(\lambda_n r_0)^2} \exp \left[-(\lambda_n r_0)^2 \left(\frac{Dt}{r_0^2} \right) \right]$
ทรงกระบอกสั้น	$\overline{MR} = \frac{32}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left(-(2n+1)^2 \frac{\pi^2 Dt}{l^2} \right) \right] \left[\frac{1}{(\lambda_m r_0)^2} \exp \left(-(\lambda_m r_0)^2 \left(\frac{Dt}{r_0^2} \right) \right) \right]$

จลนพลศาสตร์การอบแห้งกึ่งเชิงทฤษฎี

จลนพลศาสตร์การอบแห้งกึ่งทฤษฎี (Semi- Theoretical Model) เป็นการทำงานกับความต้านทานภายนอกในการถ่ายเทความชื้นระหว่างอากาศและผลิตภัณฑ์ ได้รับการพัฒนาจากจลนพลศาสตร์การอบแห้งเชิงทฤษฎีทำให้มีความเหมาะสมต่อการสร้างแบบจำลองอัตราการอบแห้ง การสร้างสมการ โดยการสมมุติอัตราการอบแห้งภายใต้สภาวะคงที่แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของความชื้นวัสดุ และความชื้นสมดุล คล้ายกับกฎการเย็นตัวของ Newton จึงเรียกว่าแบบจำลอง Newton หรือ Exponential Model หรือ Logarithmic Model หรือ Lewis Model ซึ่งอยู่ในรูปอย่างง่ายของการแพร่ความชื้นของ Fick เป็นปัจจัยในการควบคุมการทำแห้งจากวัสดุ กฎของการเย็นตัวของ Newton (สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์, 2540) ดังสมการ

สมการ

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_{\infty})$$

เมื่อการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น $M(0) = M_0$ และ $M(t) = M$ โดยการอินทิเกรตดังสมการ

สมการ

$$\int_{\frac{m_1}{m_2}}^{\frac{m_1(\infty)}{m_2(\infty)}} \frac{1}{\frac{m_1}{m_2} - \frac{m_1(\infty)}{m_2(\infty)}} dm_1 = - \int_0^{\infty} \dots$$

$$\frac{m_1(\infty)}{m_2(\infty)} \left(\frac{\frac{m_1(\infty)}{m_2(\infty)} - \frac{m_1}{m_2}}{\frac{m_1(\infty)}{m_2(\infty)} - \frac{m_1}{m_2}} \right) = - \dots$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{m_1(\infty)}{m_2(\infty)} (- \dots)$$

สมการแบบจำลองหาค่าคงที่ของการอบแห้ง (Drying Constant, k) ค่า k แปรผันตามอุณหภูมิการอบแห้ง หรือความชื้นสัมพัทธ์อากาศ หรืออาจแปรตามค่าความชื้น หรือ ค่าความชื้นเริ่มต้น ดัง

ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 รูปแบบสมการค่าคงที่ของการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีของวัสดุต่างๆ

วัสดุ	รูปแบบสมการ	อ้างอิง
ใบกะเพรา	$k = -0.0803 + 0.0005P$	ปองพล สุริยะกันทร และฤทธิชัย อัครราชันย์ (2555)
ปลาข้าวสาร	$k = 22223795.116 \exp(-6087.289/T)$ $n = 1.160$	จุฑารัตน์ ทะระสะ และคนอื่นๆ (2556)
พลับ	$k = 0.010682 \exp(0.034050T)$	อัจฉริยะวิริยะ และคนอื่นๆ (Achariyaviriya et al., 2019)
สาหร่ายเตา	$k = -0.0036 - 2.25 \times 10^{-5}P$	ฤทธิชัย อัครราชันย์ และคนอื่นๆ (2555)

จลนพลศาสตร์การอบแห้งเอมพิริคัล

จลนพลศาสตร์การอบแห้งเชิงประจักษ์ (Empirical model) เป็นการอธิบายเฉพาะกราฟการปรับเส้นโค้ง (Curve Fitting) การอบแห้งสำหรับสภาวะการทำให้แห้ง ซึ่งโดยปกติจะใช้ในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งของวัสดุ โดยการปรับค่าคงที่ของแบบจำลองให้สอดคล้องกับผลการทดลอง จำลองแบบเอมพิริคัลนี้มุ่งเน้นเพียงการทำนายผลการทดลองจึงเป็นที่นิยมมาก ซึ่งการใช้แบบจำลองเอมพิริคัลง่ายและไม่ต้องใช้หลักการเกี่ยวกับความร้อนและมวลสาร

โดยทั่วไปจะใช้สูตรแบบจำลองเอมพิริคัลมักจะอยู่ในรูปของอัตราความชื้นและเวลาในการอบแห้ง (ณัฐภัก อิ่มเอิบ และกิตติศักดิ์ วินันท์กิตต์, 2564) การทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยสมการกึ่งทฤษฎีจะมีความสัมพันธ์กับกฎของฟิค (Fick's second law) ในสถานะความชื้นที่ไม่คงที่ สมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเอมพิริคัลนิยมใช้คือ แบบจำลองของ Newton หรือ Lewis, Henderson and Pabis, Page, Wang and Singh และ Logarithmic ดังนั้นแบบจำลองเอมพิริคัลเป็นแบบจำลองนิยมใช้อย่างกว้างขวางสมการที่เป็นที่นิยมในการทำวัสดุการอบแห้งคือสมการ Page หรือ Page's model มีการพัฒนาในปี ค.ศ. 1949 เป็นสมการที่เริ่มใช้จากเมล็ดข้าวโพดและพัฒนามาจาก Lewis' s model ติ (Lee, 2008) แสดงดัง

ตารางที่ 2.5

สมการ

$$MR = \exp(-kt^n)$$

ตารางที่ 2.5 แบบจำลองของสมการจลนพลศาสตร์เอมพิริคัล

แบบจำลอง	ความสัมพันธ์	อ้างอิง
Newton หรือ Lewis	$MR = \exp(-kt)$	อัจฉริยะวิริยะ และคนอื่น ๆ (Achariyaviriya, et al., 2019)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	อัจฉริยะวิริยะ และคนอื่น ๆ (Achariyaviriya, et al., 2019) วรรณพิชญ์ จุลกัลป์ (2562)
Modified Page	$MR = \exp(-kt)^n$	ณัฐภัก อิ่มเอิบ และกิตติศักดิ์ วินันท์กิตต์ (2564)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	ณัฐภัก อิ่มเอิบ และกิตติศักดิ์ วินันท์กิตต์ (2564)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	สาชนัน นะยี่เต็ง และคนอื่น ๆ (2559)

หมายเหตุ: a, b, k_1 , k_2 คือ n เป็นค่าคงที่ใดๆในสมการอบแห้ง ซึ่งหาได้จากการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยแบบเส้นตรง (Non-linear regression analysis) t คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง

ผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง

อุณหภูมิ และความเร็วของอากาศ

อุณหภูมิของอากาศเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ในระหว่างการคายน้ำ ค่าคงที่ของการอบแห้งนั้นค่าความชื้นสมดุล และการแพร่ความชื้นจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

รูปร่าง

รูปร่างของวัสดุอบแห้งที่มีอิทธิพลเชิงบวกต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง และอัตราการอบแห้งสูงขึ้น รูปร่างของวัสดุอบแห้งที่มีอิทธิพลเชิงบวกต่ออุณหภูมิในการอบแห้ง

การปรับสภาพวัสดุก่อนอบแห้ง

การปรับสภาพวัสดุก่อนอบแห้งให้มีขนาดเล็กลงช่วยในการลดเวลาในการอบแห้ง ปรับปรุงรสชาติ และ โครงสร้างเพื่อรักษารสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการ การปรับสภาพทั่วไปที่ใช้กับวัสดุก่อนการอบแห้ง (ผลไม้) ได้แก่ การน้ำลวก การล้างด้วยสารละลายกรด (น้ำมะนาว หรือ กรดแอสคอร์บิก) การรมควันกำมะถัน (Sulfuring Method) การแช่น้ำผึ้ง การล้างด้วยสารละลายเกลือ การล้างด้วยสารละลายเบสแก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) การแช่ด้วยน้ำมันมะกอก และการเจาะผิว (Skin Puncturing)

ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์มีผลอย่างรุนแรงต่ออัตราการอบแห้ง และการเคลื่อนไหววัสดุอบแห้ง เวลาในการอบแห้งจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ความชื้นในอากาศคงที่ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่มีผลอย่างนัยสำคัญต่อกราฟการอบแห้งซึ่งเป็นผลมาจากความเริ่มต้นวัสดุอบแห้ง การถ่ายโอนมวล ความเหมาะสมของความเร็ว และการไล่ความชื้นในระหว่างการอบแห้งขึ้นอยู่กับเทคนิคการทำให้แห้งซึ่งส่งผลต่อการเคลื่อนตัวของความชื้นไปสู่การระเหยสำหรับกระบวนการอบแห้ง และยังเป็นการกระจายความชื้นที่มีประสิทธิภาพและการพึ่งพาพลังงานที่กระตุ้น

การกระจายความชื้น

การกระจายชื้นที่มีประสิทธิภาพเป็นการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัสดุอบแห้ง และความสัมพันธ์กับอัตราการอบแห้ง การกระจายความชื้นอย่างมีประสิทธิภาพสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัสดุอบแห้ง ส่วนอัตราการระเหยของความชื้นสู่อากาศขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความกดอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งอยู่ระหว่างวัสดุอบแห้ง และอากาศ

จากการกล่าวข้างต้นนั้นจะแสดงให้เห็นได้ว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และอาจจะมีอิทธิพลของความเร็วลมในการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอัตราการอบแห้งคงที่ หรือช่วงต่อกับอัตราการอบแห้งลดลง ผลไม้บางชนิด

ที่มักมีคราบไขมันเกาะติดผิว ซึ่งทำให้เกิดความต้านทานในผิวระหว่างชั้นในและชั้นนอก จึงมีการกำจัดคราบไขมันนี้ออกก่อน โดยการแช่สารละลายบางอย่าง จะพบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น (สมชาติ โสภณรณฤทธิ, 2540) การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพมักจะใช้แบบจำลองการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี และการใช้สมการเอมพิริคัล

การวิเคราะห์หาความแม่นยำแบบจำลองการอบแห้ง

การวิเคราะห์ของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (The Coefficient of determination; R²) เป็นตัวแสดงสัดส่วนการแปรปรวนอิสระมีค่าการตัดสินใจอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจได้ อัจฉริยะวิริยะ และคนอื่น ๆ (Achariyaviriya et al.,2019) ดังสมการ

สมการ

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{y} - y_i)^2}{\sum_{i=1}^m (\bar{y} - \hat{y}_i)^2}$$

เมื่อ \square
กำลังสองน้อยที่สุด \square
 \square
 \square
m

ค่าตัวแปรตามที่คำนวณได้จากสมการการวิเคราะห์แบบ
ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลอง
ค่าของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลอง
จำนวนข้อมูล

การวิเคราะห์ของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นพารามิเตอร์ทางสถิติที่ใช้บ่งบอกความผิดพลาดในการทำนายค่าของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งที่มีความแม่นยำในการทำนาย (ณัฐภัก อัมเอิบ และ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์, 2564) ดังสมการ

สมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\hat{\square}_i - \square_i)^2}{m}}$$

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

การผลิตน้ำมัน

ปิยวรรณ สิมะไพศาล และคนอื่น ๆ (2544) ได้ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันอะโวคาโด เพื่อใช้ในครีมบำรุงผิว กระบวนการการสกัดน้ำมันให้น้ำมันสูงสุดไขมันร้อยละ 77.63 เป็นการนำอะโวคาโดผสมกับสารละลายเอทานอลร้อยละ 10 ในอัตราส่วน 1:2 ปั่นใน Blender 2 นาที ให้ความร้อนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ 3 วัน จากนั้นนำเข้าเครื่องเหวี่ยงที่ 12,300 × กรัม 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ 45 นาที น้ำมันที่ได้เป็นสีเขียวเข้ม โดยมีคลอโรฟิลล์ 71.74 พีพีเอ็ม โดยนำมาฟอกสีลดคลอโรฟิลล์ 1.60 และมีวิตามินอี 479.97 พีพีเอ็ม และกรดไขมันมากถึงร้อยละ 36.58 พบว่าเมื่อนำมาฟอกสีแล้วทำให้เนื้อครีมเป็นสีขาวมีค่า pH 8.18 ความหนืด 1,939 เซนติพอยซ์ มีความคงตัว และผู้บริโภคมีความพึงพอใจในระดับปานกลาง

ฉลองชัย แบบประเสริฐ และคนอื่น ๆ (2544) ได้ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันของอะโวคาโดได้จากเนื้อส่วน การสกัดน้ำมัน 2 วิธี 1.การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นวิธีการสกัดน้ำมันมักจะทำในปริมาณมากสกัดได้ เฮกเซน ปิโตเลียมอีเทอร์ ข้อเสียวิธีนี้ค่าใช้จ่ายสูง โดยการหั่นอะโวคาโดเป็นชิ้นบางๆ และทำให้แห้งเยือกแข็ง (Freeze Dry) ใช้สูญญากาศ (Vacuum) 0.23 มิลลิเมตรปรอท, 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 24 ชั่วโมง และโดยการสกัดใน Soxhlet ด้วยสารละลายเฮกเซน หรือปิโตเลียมอีเทอร์ 2.วิธีทางกล โดยการบีบโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกสกรูขนาดใหญ่ อะโวคาโดที่ได้มีความชื้นร้อยละ 5 แล้วนำอะโวคาโดแห้งไปปั่นนำมาบีบเครื่อง Simon Rose-downs Mini 40 Expeller 2.การสกัดเชิงกล วิธีที่ 1 การใช้แรงเหวี่ยงจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยวิธีการทำการเหวี่ยงและแยกชั้น โดยการผสมอะโวคาโดกับน้ำในอัตราส่วน 1:3 ปั่น 5 นาที และปรับค่า pH เป็น 5.5 ด้วย HCl 1 N เติม Filter คือ NaCl ร้อยละ 5 แล้วให้ความร้อน 75 องศาเซลเซียส และนำไปเหวี่ยงที่ 6,000 รอบต่อนาที และแยกน้ำมันลอยจากผิว และวิธีการใช้เอนไซม์ใช้อะโวคาโด กับน้ำ 1:5 ปั่นเป็น Paste เติม BHA และเติมอไมเลสร้อยละ 1 Enzymatic Reaction ที่ 650 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง

บุญสม เหลี้ยวเรืองรัตน์ และคนอื่น ๆ (2546) สกัดน้ำมันจากอะโวคาโดพันธุ์โซเครท, บัคคาเนีย, แอส, บุษ7 และปีเตอร์สัน ด้วยการสกัดน้ำมันอะโวคาโดด้วยตัวทำละลาย โดยใช้ Aqueous Solvent ได้ร้อยละของน้ำมันเท่ากับ 6.13, 4.09, 1.90 และ 1.40 นอกจากนั้นได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำมัน พบว่าการสกัดน้ำมันทั้ง 2 วิธีด้วยการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินเอ และวิตามินบี ในน้ำมันอะโวคาโดโดยวิธีโครมาโทกราฟีบางสมรรถนะสูง และหาองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันที่ไม่มีไขมันอิ่มตัว น้ำมันที่สกัดทั้ง 2 วิธี จะได้สีเขียวย่อมนิส มีกลิ่นหอมอ่อนๆ ค่า pH7 เมื่อวิเคราะห์น้ำมัน ได้แก่ Iodine, Saponification,

Unsaponifiable Matter โดยการสกัดครั้งนี้ใช้อะโวคาโด 5 พันธุ์ โดยเรียงลำดับการสกัดน้ำมัน 5 พันธุ์ Choquett ร้อยละ 6.13 > Buccaneer ร้อยละ 4.09 > Hass ร้อยละ 1.9 > Booth7 ร้อยละ 1.6 > Peterson ร้อยละ 1.4 โดยทั้งหมด มีค่า pH = 7 น้ำมันที่ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ครีมบำรุงผิว สบู่ และยาแคปซูลจากน้ำมันอะโวคาโด

วรรัตน์ ขยันการ และคนอื่น ๆ (2566) ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบสกัดน้ำมันอะโวคาโดด้วยตัวทำละลายและการใช้เครื่องอัดบีบ ด้วยใช้อะโวคาโดสายพันธุ์ซึ่งตัวทำละลายที่สกัดน้ำมันคือเฮกเซน และเอทานอล ขั้นตอนการทำด้วยใช้อะโวคาโดคั้น อบแห้ง และทำผงโดย 3 วิธีการใช้เฮกเซนจะมีสีเขียวมะกอกเข้มมากกว่าวิธีเอทานอล และบีบอัด และวิธีเฮกเซนจะได้ปริมาณน้ำมันมากกว่า 2 วิธี

อริยา คงชื่น และคนอื่น ๆ (2557) ได้ทำการศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์ในขณะการเก็บรักษา โดยปัจจัยสำคัญในการทำคือกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ปริมาณกรดไขมันอิสระสูงเกินร้อยละ 3 ทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ ใช้การทดลอง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันจากเมล็ดงาพารา น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้ว และน้ำมันสัตว์ไขมันแพะ มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.2 โดยหลังจากการทำทดลองพบว่า วิธีที่ดีที่สุดคือการสกัดน้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์จากวัตถุดิบสดใหม่ ความชื้น ความร้อน ออกซิเจนในอากาศ แสงสว่าง และระยะเวลา มีผลต่อปริมาณกรดไขมันอิสระโดยตรงซึ่งที่กล่าวมาข้างต้นจะเป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์ทำให้เกิดไฮโดรไลซิสไตรกลีเซอไลด์ในรูปแบบกรดไขมันอิสระ ดังนั้นการเก็บรักษาควรใช้การปิดทึบปราศจากแสงและความชื้น

ซัง ทันแซนคู อังมะ และคนอื่น ๆ (Shaun Thamsanqa Mgoma, et al., 2021) การศึกษาอะโวคาโดพันธุ์แฮสจากประเทศแอฟริกาได้ทำการทดลองด้วยการปั่นผลของอะโวคาโดสุกบดปั่นและอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อน 70 องศาเซลเซียส เวลา 48 ชั่วโมง โดยการสกัดน้ำมันเนื้ออะโวคาโดบดกับเฮกเซน 1:2 โดยการเขย่า 24 ชั่วโมง โดยการระเหย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Fick's Second Law of Diffusion ในการสกัดน้ำมันอะโวคาโด จากการทดลองอุณหภูมิ และความเข้มข้นของเฮกเซนส่งผลต่อการสกัดน้ำมันอะโวคาโด จากผลการทดลองอัตราการสกัดน้ำมันสูงสุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และใช้เฮกเซนร้อยละ 50

คอสตาอี และคนอื่น ๆ (Costagli et al., 2015) ได้ทำการศึกษาเพื่อกระบวนการการสกัดน้ำมันอะโวคาโด วิธีการสกัดเย็น โดยการอบแห้งปัจจุบันผลอะโวคาโด ได้ทำการศึกษาการสกัดน้ำมันอะโวคาโด โดยการปัจจุบันสกัดใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ กระบวนการผลิตน้ำมันเกรดที่ดีที่สุดจำเป็นต้องมีการกลั่นตามลำดับส่วน และส่วนใหญ่กระบวนการใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางผลิตน้ำมันอะโวคาโดสกัดเย็น Cold Pressed Avocado Oil (CPAO) เพื่อจำหน่ายเป็นน้ำมันบริโภค

โดยการแยกน้ำมันใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงลักษณะคล้ายขวดในการแยกซึ่งจะแยกของแข็ง และของเหลวของอะโวคาโด ในการทดลองพบว่าการแยกโดยใช้เครื่องปั่นคล้ายขวดเป็นวิธีที่ดีที่สุดของการสกัดเย็น เพื่อได้น้ำมันอะโวคาโดที่บริสุทธิ์ และคุณภาพดี

ครุมริช และคนอื่น ๆ (Krumreich, et al., 2018) ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินคุณภาพของน้ำมันอะโวคาโด โดยใช้เนื้ออะโวคาโดเตาอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนได้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส และเตาอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยการสกัดน้ำมันวิธี Soxhlet จากเนื้อประมาณร้อยละ 72 ที่พบในผลอะโวคาโดร้อยละ 16 คือไขมัน คาร์บอนคุณภาพที่ประเมินในน้ำมันอะโวคาโดแสดงผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเมื่อส่วนเนื้อถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สูญญากาศและการสกัดน้ำมันโดยวิธี Soxhlet ด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ในขณะที่สารทางชีวภาพจะถูกเก็บรักษาเนื้ออะโวคาโดถูกทำให้แห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นการอบแห้งด้วยสูญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดีที่สุดในการสกัดน้ำมันอะโวคาโด และการสกัดน้ำมันจะได้กรดโอเลอิก

มาร์ตินเนซ-ปาติญา และคนอื่น ๆ (Martínez-Padilla et al., 2018) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงการสกัดน้ำมันด้วยกระบวนการ Sono-physical วิธีนี้เป็นวิธีการปรับสภาพของเนื้ออะโวคาโดด้วยคลื่นอัลตราซาวด์ด้วยวิธีการบดการสกัดใช้ความถี่ต่ำ (18+40 กิโลเฮิร์ตซ์) และสูง (2 เมกะเฮิร์ตซ์) การสกัดน้ำมันที่ความถี่ต่ำและความถี่สูงสามารถสกัดน้ำมันเพิ่มร้อยละ 15-24 มีค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระต่ำกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรม และเพิ่มสารฟีนอลิกหลังใช้คลื่นความถี่ 2 เมกะเฮิร์ตซ์ ในการปรับสภาพ และใช้กระบวนการนี้ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการแยกน้ำมัน และลดการเวลายาวนานของเนื้ออะโวคาโด

ดอส แซนทอส และคนอื่น ๆ (dos Santos et al., 2014) ได้ทำการศึกษาการวิธีการอบแห้ง และการสกัดน้ำมันโดยการใช้ความเข้มข้น พันธุ์อะโวคาโดที่ได้ทำการทดลองคือพันธุ์ฟอร์จูน นำเนื้ออะโวคาโดอบแห้ง และสกัดน้ำมันการกดบีบอัด และการสกัดด้วย Soxhlet โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ (ร้อยละ 73 ของน้ำหนักเนื้อ) น้ำมันร้อยละ 25-33 โดยการสกัดเย็นจะได้น้ำมันร้อยละ 45-57 โดยใช้อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และโครมาโตกราฟด้วย FID และการตรวจจับมวลสารถูกนำมาใช้การวิเคราะห์น้ำมันด้วย a-Tocopherol, Squalene, Cycloartenol Acetate, B-Sitosterol, Camp Sterol และ Stigmasterol คือมีอยู่ในตัวอย่างน้ำมันทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับ การไลโอไฟล์ชันการทำให้แห้งด้วยอากาศร้อนทำให้มีความเข้มข้นน้อยลง A-Tocopherol, Squalene และ B-Sitosterol และมีปริมาณความเข้มข้นของ Camp Sterol และ Cycloartenol Acetate ในทางกลับกันการสกัดน้ำมันโดยการสกัดเย็นทำให้เกิดน้ำมันในปริมาณที่น้อยกว่าโดยมีความเข้มข้นของ Tocopherol และ Squalene มากกว่า Camp Sterol และ Cycloartenol Acetate ต่ำกว่าการ

สกัดด้วย Soxhlet ดังนั้นผลผลิตน้ำมันจึงสูงสุดด้วยการ ไลโอไฟไลเซชัน และการสกัดด้วย Soxhlet แต่การทำให้แห้ง และการบีบเย็นผลิตน้ำมันที่มีความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

หยาง และคนอื่น ๆ (Yang et al., 2018) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ ในอะโวคาโดพันธุ์แฮสด้วยวิธีการสกัดเย็น การสกัดเย็นน้ำมันอะโวคาโดด้วยวิธีการบีบหรืออัด จากเนื้ออะโวคาโด 30 นาทีแรก จะทำให้เซลล์ไม่เสียหาย เมื่อใช้การปั่นเหวี่ยงใช้ระยะเวลา 2 ชั่วโมงจะทำให้เกิดน้ำมันเนื่องจากน้ำมันจะออกมาจากเนื้อเยื่ออะโวคาโด สรุปได้ว่าเมื่อโครงสร้างของเนื้ออะโวคาโดถูกทำเปลี่ยนแปลง และเปลี่ยนโครงสร้างของจะทำให้ได้น้ำมันอะโวคาโด

ฟาน หยาง และคนอื่น ๆ (Fan Zhang et al., 2024) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันงา โดยการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งไมโครเวฟ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง กำลังไฟฟ้า 300, 400, 600 วัตต์ โดยการสกัดน้ำมันจากเมล็ดงาบดด้วยวิธี SPE ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยการสกัดความดัน 10, 15 และ 20 Mpa จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมง เป็นสถานะที่เหมาะสมที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ระยะเวลา 2 นาที ผ่าน ไมโครเวฟ น้ำมันงาที่ได้มีกลิ่นหอม การสกัดที่มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันงาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

คอร์ซซินี และคนอื่น ๆ (Corzzini et al., 2017) ได้ทำการศึกษา และประเมินความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการสกัดน้ำมันอะโวคาโดด้วยเทคโนโลยีวิกฤตยิ่งยวด โดยใช้ตัวทำละลาย GRAS (ยอมรับโดยทั่วไปว่าปลอดภัย) เนื้ออะโวคาโดอบแห้งแบบเยือกแข็ง (*Persea Americana*) ที่มีไขมันร้อยละ 65 ผ่านกระบวนการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด (Supercritical Carbon Dioxide; $scCO_2$) ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส และความดัน 200, 300 และ 400 บาร์ โดยใช้ $scCO_2$ เป็นตัวทำละลายในขั้นตอนแรก และผสม $scCO_2$ ขั้นตอนที่ 2 ผสมเอทานอลที่ร้อยละน้ำหนักต่อ น้ำหนัก 93/7 และได้นำทั้ง 2 ขั้นตอนมาเปรียบเทียบ และแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการละลายของ $scCO_2$ จะได้น้ำมันที่สกัดกลับมาใช้ได้ใหม่มากถึงร้อยละ 98 และมีความสัมพันธ์ตามสมการของ Chrastil

ฉิมสุข (Chimsook, 2017) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันจากผิวอะโวคาโดโดยใช้ไมโครเวฟ และการให้โดยกระบวนการแบบปั่นฝอย สำหรับการสกัดน้ำมัน ได้ประเมินประสิทธิภาพของการสกัดด้วยไมโครเวฟช่วย (Microwave Assisted Extraction; MAE) และวิธี Soxhlet ผลการศึกษาพบว่า MAE ที่ 600 วัตต์ ระยะเวลา 15 นาที โดยใช้ 2-methyl tetrahydrofuran ให้ผลผลิตสูงสุดน้ำมันอะโวคาโดจาก MAE ถูกเตรียมโดยใช้ผนังของ Maltodextrin และ Hi-Cap การรวมกันของ maltodextrin และ Hi-Cap แสดงความคงตัว ร้อยละ 100 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการแยกเฟส จะทำให้ความหนืดของอิมัลชันที่ 11.00-13.00 เซนติพอยส์ เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดละออง

อยู่ระหว่าง 2.05 ถึง 2.08 ไมโครเมตร แคปซูลของน้ำมันอะโวคาโด เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจะทำให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มของ 3 ชนิดรวมกัน จะมีค่าร้อยละ 60-80 ซึ่งบ่งชี้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณของ Maltodextrin และ Hi-Cap ทำให้ประสิทธิภาพการห่อหุ้มลดลง ปริมาณความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 1.10-1.35 และความหนาแน่นรวมคือ 0.35-0.37 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นสัดส่วนของวัสดุผนังจึงมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติของอิมัลชัน และประสิทธิภาพการห่อหุ้มของน้ำมันอะโวคาโด

ลี และคนอื่นๆ (Li et al., 2019) ได้ทำการศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันอะโวคาโดจากเนื้ออะโวคาโดโดยใช้วิธีน้ำ พบว่างานวิจัยนี้ผลกระทบของอัตราส่วนวัสดุต่อของเหลว อุณหภูมิ เวลา และค่า pH และศึกษาการคืนตัว อัตราการสกัดน้ำมัน ของอะโวคาโดที่สภาวะที่เหมาะสม โดยการทดสอบจากสมบัติทางเคมี กายภาพ และไขมัน การวิจัยพบว่า อัตราส่วนเนื้ออะโวคาโดต่อของเหลว 1:3 กรัมต่อมิลลิลิตร, อุณหภูมิในการสกัดน้ำมัน 75 องศาเซลเซียส เวลาในการที่ใช้สกัด 150 นาที ค่า pH ที่ 8 เป็นสภาวะการสกัดที่เหมาะสมของอัตราการสกัดน้ำมัน และอัตราการนำน้ำมันกลับคืนมาของอะโวคาโดน้ำมันเท่ากับร้อยละ 78.95, 37.21 ค่ากรดของน้ำมันอะโวคาโดคือ 0.86 มิลลิกรัมต่อกรัม ไอโอดีนค่า 154.41 กรัมต่อ 100 กรัม ค่า Saponification คือ 198.0 กรัมต่อ 100 กรัม น้ำ และสารระเหยร้อยละ 0.13 องค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันอะโวคาโด ได้แก่ กรดโอเลอิก (ร้อยละ 71.93), ปาล์มิติกกรด (ร้อยละ 13.33), กรดไลโนเลอิก (ร้อยละ 8.51), กรดไขมันไม่อิ่มตัว (ร้อยละ 5.28) เนื้ออะโวคาโดร้อยละ 85.72

การทบทวนวรรณกรรมแสดงให้เห็นว่าการสกัดน้ำมันจากอะโวคาโดสามารถทำได้ 2 แบบ คือ การสกัดน้ำแบบบีบอัด หรือเรียกว่าการใช้เครื่องกลในการสกัดน้ำมัน การสกัดเย็น และการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล เฮกเซน การอบแห้งของอะโวคาโด เช่น การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อน การอบแห้งแบบสุญญากาศ และการอบแห้งแบบพ่นฝอย แบบไมโครเวฟ ทำจะอบแห้งที่อุณหภูมิ 40-80 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งที่ 50-60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอบแห้งของอะโวคาโดจะขึ้นอยู่กับความร้อน เช่น อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส การสกัดด้วยตัวทำละลายจะได้น้ำมันร้อยละ 25-33 และสกัดเย็นจะได้น้ำมันร้อยละ 45-57 ซึ่งวิธีการสกัดเย็นเป็นวิธีที่ไม่สูญเสียวิตามินในน้ำมัน เนื่องจากหลังการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายทำการระเหิดสารเคมีนั้นเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผู้บริโภค จึงทำให้วิตามินถูกทำลาย เช่น วิตามิน E สายพันธุ์ในการสกัดน้ำมันอะโวคาโด 5 พันธุ์ โดยเรียงลำดับการสกัดน้ำมัน 5 พันธุ์ Choquett ร้อยละ 6.13 > Buccaneer ร้อยละ 4.09 > Hass ร้อยละ 1.9 > Booth7 ร้อยละ 1.6 > Peterson ร้อยละ 1.4

จลนพลศาสตร์

สันติ ขำตรี และคนอื่นๆ (2565) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งไม้อย่างพาราผ่านคลื่นไมโครเวฟ โดยผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สัมประสิทธิ์การแพร่โดยการอบแห้งไม้อย่างพาราด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความเร็ว 3 เมตรต่อวินาที พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ลอการิทึม และ Two-term Exponential มีความแม่นยำสูงที่สุดเนื่องจากค่า MR ของสัมประสิทธิ์มีค่าที่สูงที่สุด การลดลงของไคสแควร์ต่ำ และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำ บ่งบอกถึงว่าพารามิเตอร์ที่ได้มานั้นถูกต้อง แบบจำลองเอมพิริคัล

ฮาซัน หะยีเต็ง และคนอื่นๆ (2563) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งปลาหมึกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยทำการอบแห้งครั้งละ 760 กรัม ระยะเวลาทดลอง 09.00-16.00 น. เก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง ความชื้นเริ่มต้นที่ร้อยละ 836 มาตรฐานแห้ง และมีความชื้นสุดท้ายที่ 33 มาตรฐานแห้ง โดยทำการเปรียบเทียบกับกรณีตากธรรมชาติ พบว่าระยะเวลาอบแห้งที่ดีที่สุดคือ 7 ชั่วโมงแบบจำลองที่เหมาะสมด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะเหมาะสมกับ Page ส่วนการตากแห้งตามธรรมชาติจะเหมาะสมกับแบบจำลองของ Wang & Singh

วิระ ศรีอริยะกุล (2564) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้โดยใช้การแผ่รังสีอินฟราเรดร่วมกับอากาศร้อน ความชื้นเริ่มต้นที่ร้อยละ 332 มาตรฐานแห้ง ระยะเวลาในการอบแห้ง 350 นาที อบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศร้อน 0.3 เมตรต่อวินาที ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 16 มาตรฐานแห้ง พบว่าสมการอบแห้งชั้นบาง Midilli สามารถทำนายผลมะม่วงน้ำดอกไม้สุกด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลร่วมกับอากาศร้อนดีที่สุด โดยมีค่า R^2 คือ 0.9995 RMSE คือ 0.0061 และ X^2 เท่ากับ 4.15×10^{-5}

ณัฐกั อิมเอิบ และกิตติศักดิ์ วัชรินทกิตต์ (2564) ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของกล้วยอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด การทดลองนี้ใช้อุณหภูมิที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลที่ทำนายอัตราค่าความชื้นได้ดีคือแบบจำลองของ Midilli

วรรณ พิษณุ จุลกัลป์ (2562) ได้ทำการศึกษาสภาวะในการอบแห้งที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง และคุณภาพทางกายภาพของมะม่วงเบาอบแห้งแบบสุญญากาศ การทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 30 มิลลิเมตรต่อปรอท โดยใช้มะม่วงเบารูปทรงที่แตกต่างกัน อบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบสุญญากาศ (VD) เปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยการพาความร้อนจากลมร้อน (CD) ผลการทดลองพบว่าการอบแห้งด้วยวิธี VD ที่อุณหภูมิสูง จะใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นกว่าและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นสูง มะม่วง

อบแห้งหัตถ์ค่าความเป็นสีเหลืองสูง ความแข็งแรงน้อย และสัณฐานโครงสร้างที่มีลักษณะโปร่ง มีรูพรุนจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรอบแห้งวิธี CD ที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นกรอบแห้งด้วยวิธี VD ที่ 80 องศาเซลเซียส ถูกพิจารณาเป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการอบแห้ง แบบจำลองที่เหมาะสมเพื่อทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งสุญญากาศมะม่วงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คือสมการ Diffusion Approach Page และ Diffusion Approach ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส คือ Diffusion Approach Diffusion Approach และ Page ตามลำดับ และสมการ Page สำหรับอุณหภูมิการอบแห้ง 80 องศาเซลเซียส ของทุกส่วนของมะม่วง

ศรีมา แจ้คำ และคนอื่นๆ (2565) การศึกษาอบแห้งกระชายดำด้วยเทคนิคผสมผสาน โดยการอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งด้วยอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยลมร้อนผสมผสานอินฟราเรด โดยมีอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.0 เมตรต่อวินาที โดยความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 136.0 มาตรฐาน ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 8.0 มาตรฐานแห้ง ซึ่งค่าปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.6 ค่าทุกเงื่อนไขอยู่ที่ 0.29-0.51 แบบจำลองที่สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกระชายดำของตู้อบแห้งลมร้อนเหมาะสมกับสมการของ Weibull โดยค่า $R^2 = 0.99974$, $RMSE = 0.00315$ แบบจำลองที่สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกระชายดำของตู้อบแห้งรังสีอินฟราเรดเหมาะสมกับสมการของ Two-term โดยค่า $R^2 = 0.99902$, $RMSE = 0.11930$ แบบจำลองที่สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกระชายดำของตู้อบแห้งลมร้อนผสมผสานรังสีอินฟราเรดเหมาะสมกับสมการของ Weibull Distribution โดยค่า $R^2 = 0.98995$, $RMSE = 0.04322$

โจเซฟ คูดาดีม โครเรเซ และแมทธิว อัคทงบิก อัครลิงค์เม (Joseph Kudadam Korese & Matthew Atongbiik Achaglinkame, 2024) ศึกษาการอบแห้งผลการอบแห้งผลสมอไทย โดยแบ่งขนาด 0.5 เซนติเมตร 1 เซนติเมตร 1.5 เซนติเมตร ด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส โดยจากสมการจากการทดลองจะผ่านน้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส 5 นาที ความหนา 0.5 เซนติเมตร และอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยงานวิจัยงานวิจัยนี้จะเหมาะสมของสมการ Midilli โดยค่า $R^2 = 0.9999$, $RMSE = 0.0001-0.0063$

มาเรีย เดล คาร์เมน ราโซลา-ดิแอซ และคนอื่นๆ (Maria del Carmen Razola-Diaz and et al., 2023) ศึกษาการอบแห้งของเปลือกอะโวคาโด และอิทธิพลต่อปริมาณฟลาโวน-3 ออกไซด์ และต้านอนุมูลอิสระ โดยการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50, และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.0 เมตรต่อวินาที และ 2.0 เมตรต่อวินาที ความหนาของเปลือก 2, 3, 4 มิลลิเมตร โดยการเก็บตัวอย่างของเปลือกอะโวคาโดในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อหาความชื้น อัตราอบแห้ง ปริมาณฟลาโวน-3 และต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดลองนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมของ Page

อัฟฮาด และมาราตี (M.R. Avhad, J.M. Marchetti., 2016) การศึกษาการอบแห้ง เมล็ดคอะโวคาโดสายพันธุ์แฮสด้วยตูบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 1.0, 2.0 เมตรต่อวินาที การใช้เมล็ดคอะโวคาโดเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาต่างๆ จากการวัดน้ำหนัก และความชื้น จากการอบแห้งเมล็ดคอะโวคาโดพันธุ์แฮสพบว่าความหนาเป็นปัจจัยในการอบแห้งต่อระยะการอบแห้งเมล็ดคอะโวคาโด อุณหภูมิ และความเร็วมีผลต่อการอบแห้ง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความเร็วลมสูงขึ้นจะทำให้การอบแห้งเร็วขึ้น สมการที่เหมาะสมในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งเมล็ดคอะโวคาโดสายพันธุ์แฮสคือสมการของ Midilli โดยการพิจารณา ค่า $R^2 = 0.97, 0.99$ และ 0.98

อิซลี และทาคิน (Izli and Taskin, 2017) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์การหมุนเวียน (60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส) ไมโครเวฟ (120 และ 350 วัตต์) และการทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ผลกระทบต่อลักษณะการอบแห้ง ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และสารต้านอนุมูลอิสระของกีวี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกัน 9 แบบถูกนำไปใช้กับข้อมูลการทดลอง สำหรับเส้นโค้งการอบแห้ง Midilli et al. และแบบจำลองของ Wang ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเหมาะสมที่สุดในการอธิบายจลนศาสตร์การอบแห้งของตัวอย่างกีวีเทียบกับรุ่นอื่น ๆ ตามการทดสอบทางสถิติวิธีการอบแห้งแต่ละวิธีได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากสี่พารามิเตอร์ (L^* , a^* , b^* , C , a และ DE) ตัวอย่างแห้งแสดงตามลำดับร้อยละ 5–49 และน้อยกว่าร้อยละ 10–47 TPC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อเทียบกับตัวอย่างตามการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ดำเนินการระหว่าง TPC และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสำหรับกีวีมีสหสัมพันธ์เชิงบวก ($R^2 = 0.7796$) ไมโครเวฟแห้งตัวอย่างที่ 120 วัตต์ โดยเฉพาะมี TPC ต่ำสุด และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ วิธีการอบแห้งแบบเยือกแข็งให้ผลค่าที่ใกล้เคียงที่สุดเมื่อเทียบกับค่าฟีนอลทั้งหมดปริมาณ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสำหรับตัวอย่างสดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ

โมฮัมหมัด อัฟซาล ฮอลเซน (Mohammad Afzal Hossain, 2024) ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งของผลไม้ทาคอร์โดยใช้วิธีออสโมซิสแบบใช้คลื่นอัลตราซาวด์ วิธีการทำออสโมซิสโดยการละลายน้ำตาล โดยใช้อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที กำลังคลื่นอัลตรา 20, 40 และ 60 กิโลเฮิร์ต การอบแห้งขึ้นของผลทาคอร์วิเคราะห์ปริมาณน้ำในผลไม้ คุณภาพสี จากผลการทดลองการใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 45 นาที และกำลังคลื่นอัลตรา 40 กิโลเฮิร์ต เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำออสโมซิสอุณหภูมิที่ 70 และความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมการอบแห้งผลไม้ สมการที่เหมาะสมคือของ Midilli

นาซมี และคนอื่น ๆ (Nazmi et al., 2017) ได้ศึกษาการอบแห้งมะม่วงด้วยตู้อบแห้งลมร้อน และไมโครเวฟ โดยตู้อบแห้งลมร้อนใช้อุณหภูมิที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และการอบด้วยไมโครเวฟที่ 120 และ 400 วัตต์ โดยมีการตรวจสี และสารต้านอนุมูลอิสระ จากการอบแห้งพบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมได้แก่ Page และ Two-term มีความเหมาะสมมากที่สุด จากการเปรียบเทียบของเนื้อมะม่วงสด และเนื้อมะม่วงแห้งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าต้านอนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 18.4-54.6

แอนเบซี และคนอื่น ๆ (Anbessie et al., 2013) ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จากผลไม้น้ำจากคุณลักษณะด้านคุณภาพ และอายุการเก็บรักษา คุณภาพของผลอะโวคาโด หลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับสภาพการเก็บรักษาที่ใช้ในการศึกษานี้ได้ทำการประเมินอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่แตกต่างกันเพื่อกำหนดสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมของผลไม้น้ำสด 3 ระดับ อุณหภูมิในการจัดเก็บ 5, 10 และ 15 องศาเซลเซียส ได้รับการประเมินสำหรับการจัด 90 สัปดาห์ จลนศาสตร์ของการย่อยสลายกรดแอสคอร์บิกในผลอะโวคาโด ในระหว่างการเก็บรักษา 10 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5, 10 และ 15 องศาเซลเซียส ได้รับการตรวจสอบโดยวงจรวอลแทมเมตรี พบว่าการคงอยู่ของกรดแอสคอร์บิกที่ 5, 10 และ 15 องศาเซลเซียส เท่ากับร้อยละ 70.3, 55.7 และ 31.7 ตามลำดับ การสูญเสียกรดแอสคอร์บิกในแต่ละอุณหภูมิเป็นไปตามแบบจำลองลำดับที่หนึ่งที่มีพลังงานกระตุ้น 14622.33 กิโลแคลอรีต่อโมล

อัจฉริยะวิริยะ และคนอื่น ๆ (Achariyaviriya et al., 2019) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งผลพลับที่เหมาะสมด้วยการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วของลมร้อนเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที ผลพลับที่ใช้มีขนาดของรัศมีเฉลี่ยในช่วง 2.9 ถึง 3.1 เซนติเมตร พลับมีความชื้นเริ่มต้น 470 ± 10 ร้อยละมาตรฐานแห้งอบแห้งจนพลับมีความชื้นลดลงเหลือ 30 ± 2 ร้อยละมาตรฐานแห้ง จากการนำข้อมูลการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นด้วยการใช้สมการจลนพลศาสตร์ทางทฤษฎีที่สมมุติให้พลับมีลักษณะเป็นทรงกลม และหาค่าคงที่การอบแห้งด้วยการใช้สมการจลนพลศาสตร์กึ่งทฤษฎีรูปแบบต่าง ๆ และสมการจลนพลศาสตร์เอมพิริคัลตามรูปแบบของ Page การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ใช้การฟิตข้อมูลการทดลองเข้ากับสมการรูปแบบต่างดังกล่าวด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด การหาสมการจลนพลศาสตร์ที่เหมาะสมจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ในการตัดสินใจซึ่งพบว่า สมการจลนพลศาสตร์เอมพิริคัลตามรูปแบบของ Page สามารถทำนายพฤติกรรมการลดลงของความชื้นของพลับได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการทดลองมากที่สุด

Julakan, 2014) ได้ทำการศึกษาวิจัยจนพบศาสตร์การอบแห้งต่อคุณภาพกล้วย สับปะรด และแอปเปิลอบแห้งสุญญากาศเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสุญญากาศ ผลิตภัณฑ์ นอกจากการศึกษารอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับทำนายจนพบศาสตร์การอบแห้ง การอบแห้งทดลองที่อุณหภูมิ 70, 80, 90, 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส ความดันที่ 4 กิโลปาสกาล ทำการอบแห้งจนกล้วย สับปะรด และแอปเปิลเหลือความชื้น 5, 7 และ 22 ร้อยละ มาตรฐานเปียก จากนั้นนำผลไม้อบแห้งที่ได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (สี การหดตัว และลักษณะผิวสัมผัส) และวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส (สี ผิวสัมผัส รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับโดยรวม) เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมการอบแห้งสุญญากาศผลไม้

อัสวาราชัน และคนอื่น ๆ (Assavarachan et al., 2016) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของ อุณหภูมิแบบชั้นเดียวของการอบแห้งเนื้อลำไยที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส และการใช้อุณหภูมิ แบบหลายแบบโดยการใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และการใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนเนื้อลำไยอบแห้งมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 0.11 ± 0.03 กรัม-น้ำต่อกรัมต่อน้ำหนักแห้ง¹ ด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด เพื่อหาสภาวะอบแห้งที่เหมาะสมของเนื้อลำไย และผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ของเนื้อลำไยอบแห้งด้วยค่าพารามิเตอร์ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a^*), ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*), ค่าความแตกต่างสีรวม (TCD) และ ดัชนีการเป็นสีน้ำตาล (BI) การวิเคราะห์แบบถดถอยเป็นวิธีที่ใช้หาความเหมาะสมของแบบจำลอง เอมพีริคัลจำนวน 3 แบบจำลอง คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของของ Newton, Henderson and Pabis และ Page ผลการศึกษาพบว่าแบบของ Page สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน ความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งได้เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูง ที่สุด ในขณะที่ให้ค่ากำลังสอง (X^2) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ต่ำสุดผลการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแบบชั้นเดียว และการใช้อุณหภูมิแบบหลายชั้นของการ อบแห้งเนื้อลำไยพบว่า การอบที่แห้งโดยใช้อุณหภูมิแบบหลายชั้นที่การใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการ รักษาสีของเนื้อลำไยอบแห้ง (L^*) และค่าความเป็นสีเหลือง-แดง (b^*) มากกว่าสภาวะอื่น แต่มีค่าสี แดง-เขียว (a^*) และมีค่า Browning Index ต่ำทำให้มีลักษณะปรากฏเป็นเนื้อลำไยสีทอง

ทาลบาชีว ทาเดสเช นาดิว และคนอื่น ๆ (Talbachew Tadesse Nadew et al., 2024) ทำการศึกษารอบแห้งนางลมในตู้อบแห้งลมร้อนเริ่ม โดยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที และทุกรอบในการอบแห้งครั้งละ 200 กรัม จากการอบแห้งพบว่าค่า

ความชื้นที่ร้อยละ 10 มีค่าปริมาณน้ำอิสระที่ 0.36 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของงานวิจัยนี้เหมาะสมกับแบบจำลองของ Midilli et.al เมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ

การทบทวนวรรณกรรมแสดงให้เห็นว่าจลนพลศาสตร์ในการอบแห้งของวัตถุดิบทางเกษตร พืชผลทางการเกษตร เช่น เห็ดนางรม เนื้อลำไย กล้วย มะม่วงเบา พลับ แอปเปิล สับปะรด อะโวคาโด กิวี สตอเบอร์รี่ สมการจลนพลศาสตร์แบ่งเป็น 3 แบบ 1.ทางทฤษฎี 2. ทางกึ่งทฤษฎี 3. เอมพิริคัล แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะทำการจำลองแบบเอมพิริคัลส่วนใหญ่ซึ่งเป็นที่นิยมในการอบแห้ง แบบจำลองการอบแห้ง เช่น แบบจำลองของ Page, Newton, Henderson, Midilli et al., Logarithmic, Modified Page โดยร่วมกับทฤษฎีของการอบแห้งนิยมการใช้กฎข้อที่ 2 ของ Fick และสมการอบแห้งของ Approximation of Diffusion ถือว่าเป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมในการทำจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ซึ่งอุณหภูมิของการอบแห้งของผัก และผลไม้จะอยู่ที่อุณหภูมิ 50-80 องศาเซลเซียส แต่การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Drying) จะให้แบบจำลอง Two-term ซึ่งอุณหภูมิภายในตู้อบจะอยู่ 50-60 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 200-950 วัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร แต่ทั้งนี้ความเข้มแสงขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศแต่ละภาคของประเทศนั้นๆ การอบแห้งของผัก ผลไม้ทางเกษตรจะให้ความสำคัญกับสีที่นำมารับประทานเมื่อเทียบกับผัก และผลไม้โดยการใช้ CIE LAB ในการวิเคราะห์ การวิเคราะห์การตัดสินใจของจลนพลศาสตร์ส่วนใหญ่จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่า Chi-Square (X^2) และค่า RMSE (Root Mean Square Error) เป็นค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์เพื่อหาความแม่นยำในการทำนายของแบบจำลอง

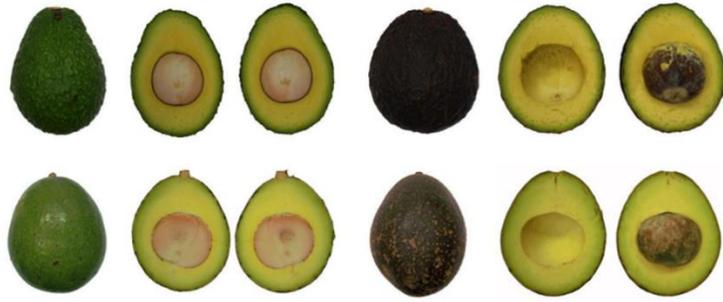
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งอะโวคาโดเป็นการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องตามสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเริ่มจากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบลมร้อน จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้กับการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยขั้นตอนสุดท้ายเป็นการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์จากการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐานของการวิเคราะห์แต่ละตัวอย่างแบ่งเป็น 2 การวิเคราะห์คือวิเคราะห์ทางกายภาพ และทางเคมี เช่น สี ปริมาณน้ำอิสระ ค่ากรดไขมันอิสระ และผลิตภัณฑ์ได้รับการทดสอบหาความชื้นมาตรฐานที่สอดคล้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้แห้ง 136/2558 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2558)

การเตรียมอะโวคาโด

อะโวคาโดดิบที่ไม่ได้ตามมาตรฐานของมูลนิธิโครงการหลวงที่มีสีผิวของเปลือกอะโวคาโด กับข้าวผลอะโวคาโด ภาพที่ 3.1 นำมาแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 1-4 องศาเซลเซียสเป็นเวลาไม่เกิน 2 วัน จากนั้นนำอะโวคาโดดิบมาปอกเปลือก และสไลด์ให้เป็นแท่งด้วยเครื่องสไลด์มันฝรั่งตามภาพที่ 3.2



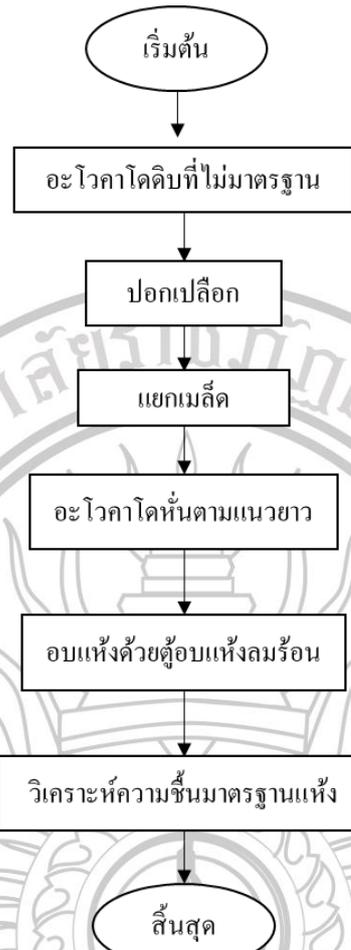
ภาพที่ 3.1 ระดับความสุกของอะโวคาโด
ที่มา : คณัย บุญเกียรติ, 2562



ภาพที่ 3.2 อะโวคาโดดิบปอกเปลือก และหั่นอะโวคาโด

การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน

อะโวคาโดที่เตรียมไว้นำไปอบแห้งตั้งชั้นตอนที่แสดงดังภาพที่ 3.3 ด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) รุ่น UF30 ขนาดความจุ 32 ลิตร (40×32×25 เซนติเมตร) ดังภาพที่ 3.4 ตู้อบลมร้อนนี้เป็นตู้อบที่สามารถปรับความเร็วลมได้ และควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 10-300 องศาเซลเซียส ก่อนทำการอบแห้งทำการเปิดตู้อบแห้งลมร้อน 1 ชั่วโมง ในขณะที่รอตู้อบมีความร้อนที่ต้องการ อะโวคาโดที่แช่ไว้ในตู้เย็นได้รับการเตรียมตั้งห้วข้อที่ 1 การเตรียมอะโวคาโด จากนั้นทำการอบแห้งตามเงื่อนไขออกแบบโดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์ อะโวคาโดที่ได้รับการอบแห้งจะถูกติดตามความชื้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Analyzer) รุ่น JEDTO มีความละเอียด 0.01 เพื่อหาความชื้นมาตรฐานแห้ง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเนื้ออะโวคาโดแห้งมาสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบอัดแบบ สกรู พร้อมทั้งมีการติดตามคุณภาพน้ำมันที่ผลิตได้แก่ สีของเนื้ออะโวคาโด สีของน้ำมันอะโวคาโด ปริมาณน้ำอิสระ และกรดไขมันอิสระ



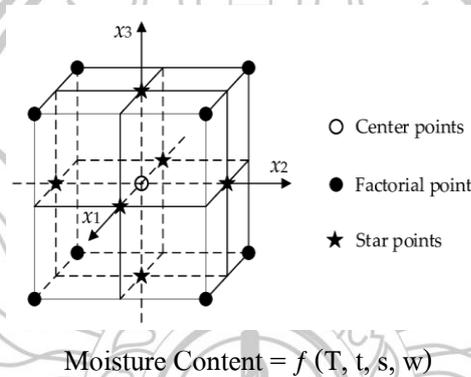
ภาพที่ 3.3 การทดลองการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน



ภาพที่ 3.4 ตู้อบแห้งลมร้อน

การหาเงื่อนไขในการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบลมร้อน การศึกษาภายใต้การกำหนดสภาวะการทดลองซึ่งออกแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response surface methodology) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (Central Composite Design) ดังภาพที่ 3.5 (จิตรา สิงห์ทอง, 2563) เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ และวิเคราะห์ผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบลมร้อน โดยตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อความชื้นผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ (T) เวลา (t) ขนาด (s) และความเร็วม (w) ดังสมการ พร้อมกำหนดช่วงของตัวแปรอิสระดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.5 โปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์แบบส่วนประสมกลาง (Central Composite design, CCD)

ตารางที่ 3.1 ช่วงของตัวแปรอิสระ

ตัวแปรต้นที่ศึกษา	ระดับของการทดลอง		
	-1	0	1
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	40	55	70
เวลา (ชั่วโมง)	13	16.5	20
ขนาด (เซนติเมตร)	0.5	0.75	1.0
ความเร็วม (เมตรต่อวินาที)	1	1.75	2.5

เมื่อกำหนดขอบเขตของตัวแปรอิสระสำหรับการทดลองแล้วจึงออกแบบเงื่อนไขของการทดลองโดยใช้สมการพหุนามดังสมการ ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากสมการสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์ ได้ชุดสภาวะการทดลองจำนวน 30 ชุดสภาวะดังตารางที่ 3.2 และดำเนินการการอบแห้งตามกระบวนการข้อที่ 2

ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งที่วิเคราะห์ได้จะนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการจำลองการอบแห้งโดยอาศัยหลักการทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ผลความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งจะพิจารณาค่าความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) และเลือกการตัดพจน์ที่สมการมีค่า p-value เกิน 0.05 ถือว่าไม่มีนัยสำคัญในสมการ จากนั้นจะพิจารณาความสัมพันธ์ F-test สำหรับการตัดสินใจเพื่อปฏิเสธสมมติฐานหากมีค่า F-test มีค่ามากกว่าค่า $F_{critical}$ ทั้งนี้เงื่อนไขที่ดีที่สุด (Optimal Condition) ของการอบแห้งจะวิเคราะห์ด้วยคู่มือห้องปฏิบัติการ สามารถมาประมวลผลได้จากการแก้สมการพหุนามกำลังสองที่สร้างจากโปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์ดังสมการ

สมการ

$$MC = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 w + \beta_3 s + \beta_4 t + \beta_5 Tw + \beta_6 Tt + \beta_7 Ts + \beta_8 wt + \beta_9 ws + \beta_{10} ts + \beta T^2 + \beta w^2 + \beta t^2 + \beta s^2$$

เมื่อ

MC

$\square_0 - \square_{10}$

ความชื้น

ค่าสัมประสิทธิ์

ตารางที่ 3.2 การกำหนดสภาวะการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์

การทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ขนาด (เซนติเมตร)	เวลา (ชั่วโมง)
1	25	1.75	0.75	16.5
2	40	1	1	20
3	40	2.5	0.5	13
4	40	2.5	0.5	20
5	40	1	0.5	20
6	40	2.5	1	13

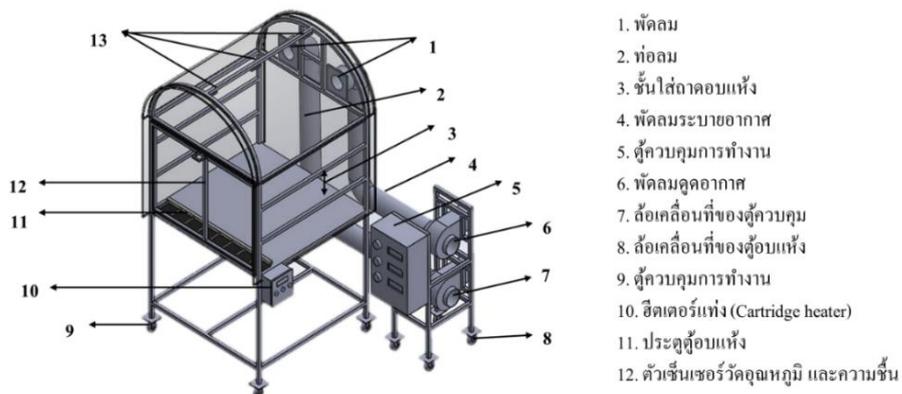
ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

การทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ขนาด (เซนติเมตร)	เวลา (ชั่วโมง)
7	40	1	1	13
8	40	2.5	1	20
9	40	1	0.5	13
10	55	1.75	0.75	16.5
11	55	1.75	0.75	16.5
12	55	0.25	0.75	16.5
13	55	1.75	1.25	16.5
14	55	1.75	0.25	16.5
15	55	1.75	0.75	16.5
16	55	3.25	0.75	16.5
17	55	1.75	0.75	23.5
18	55	1.75	0.75	16.5
19	55	1.75	0.75	9.5
20	55	1.75	0.75	16.5
21	55	1.75	0.75	16.5
22	70	2.5	1	20
23	70	1	1	13
24	70	1	0.5	20
25	70	1	1	20
26	70	2.5	0.5	20
27	70	1	0.5	13
28	70	2.5	0.5	13
29	70	2.5	1	13
30	85	1.75	0.75	16.5

การประยุกต์ใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมกับการอบแห้งอะโวกาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ดังภาพที่ 3.6 ที่นำมาใช้เป็นตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่จำหน่ายตามท้องตลาดโดยทั่วไปขนาด 97×90×28 เซนติเมตร ถูกปกคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต ดังภาพที่ 3.7 ด้านล่างของตู้อบแห้งมีช่องอากาศไหลเข้า พร้อมมีการติดตั้งหลอดไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนกับอากาศในกรณีที่อากาศในตู้อบแห้งมีความร้อนต่ำกว่า ความร้อนที่ต้องการ ด้านตรงข้ามกับช่องอากาศไหลเข้าเป็นช่องระบายอากาศจำนวน 2 ช่องแต่ละช่องได้ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ ช่องระบายอากาศช่องที่ 1 ทำหน้าที่ระบายความชื้นในตู้อบแห้ง ช่องระบายอากาศช่องที่ 2 ทำหน้าที่ระบายความร้อนในตู้อบแห้งในกรณีที่ตู้อบแห้งมีความร้อนสูงกว่าความต้องการ ซึ่งการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยเซนเซอร์ที่ติดตั้งภายในตู้อบแห้ง และควบคุมการทำงานด้วยตู้ควบคุม นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งตัวจ่ายกรองแสงที่มีความสามารถในการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 50, 60, 70, และ 80 เพื่อเปรียบเทียบการสมบัติทางกายภาพ และเคมีกับการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ไม่มีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.6 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 3.7 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการคลุมสแลนตาข่าย

การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

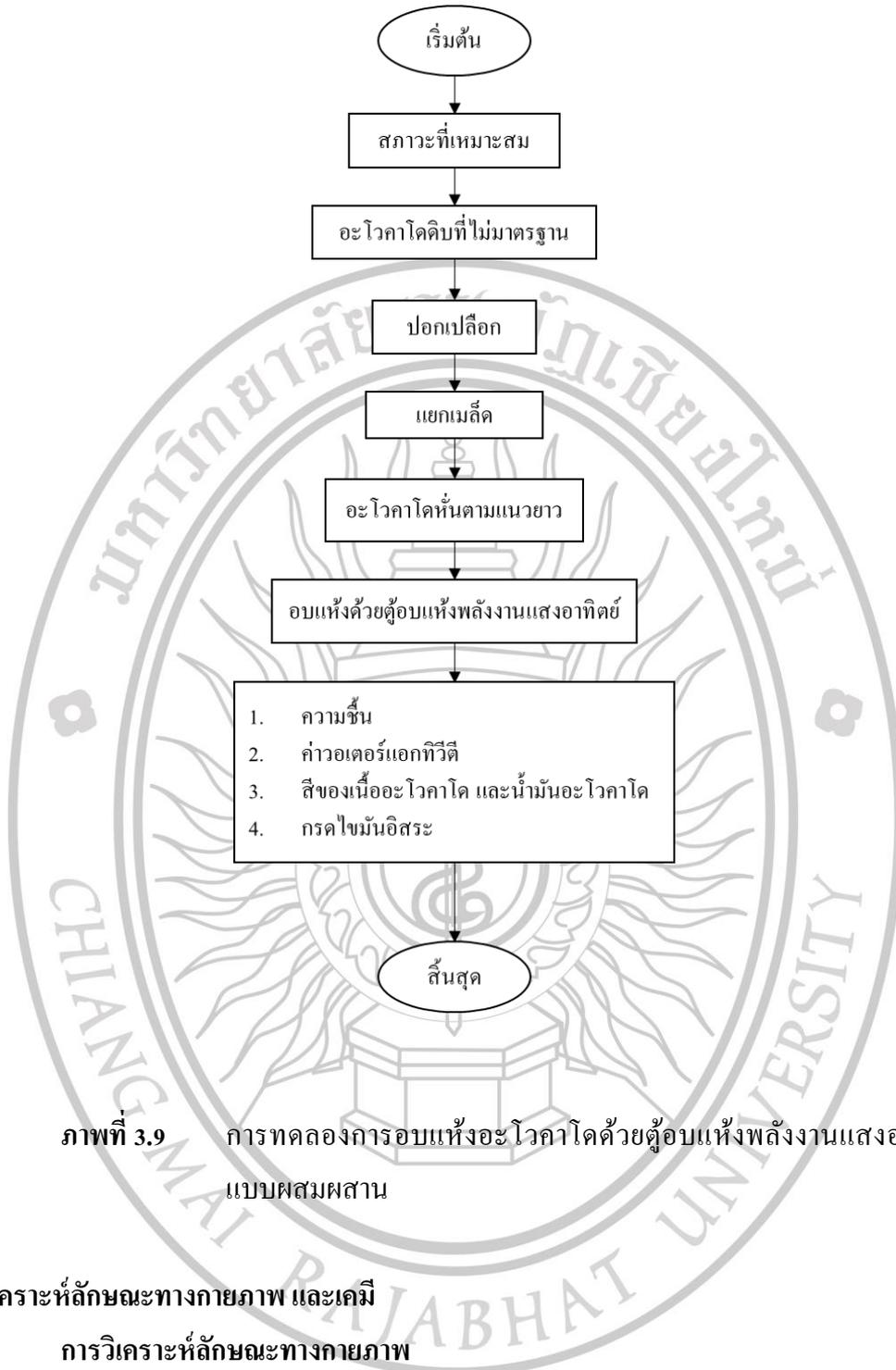
การทดลองการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานจะทำการทดลอง ดังภาพที่ 3.8 โดยไม่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ และใช้ตาข่ายกรองแสงที่มีความสามารถในบังคับรังสีดวงอาทิตย์ ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 โดยใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งที่ได้จากการศึกษาสถานะการอบแห้งที่เหมาะสมด้วยตู้อบลมร้อน ก่อนทำการทดลองตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้เปิดระบบตู้ให้ตู้ทำงานเพื่อเป็นการอุ่นตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน และเพื่อลดความชื้นภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำอะโวคาโดที่เตรียมไว้จำนวน 7 กิโลกรัม จัดเรียงในถาดสำหรับอบแห้งจำนวน 2 ถาด ถาดละ 3.5 กิโลกรัม จัดบนที่กก่อนเข้าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 3.8 ระหว่างทำการทดลอง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง และความเร็วลม ได้รับการจัดบันทึก ทุกๆ 1 ชั่วโมง พร้อมสลับถาดในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เมื่อระยะเวลาที่กำหนด โดยแต่ละถาดจะมีการสุ่มเก็บตัวอย่าง 9 จุด จุดละ 1 ชิ้น ด้วยการวัดจากเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ โดยการแต่ละการทดลองจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยหลังจากการอบแห้งสิ้นสุดในแต่ละวันจะถูกมาชั่งน้ำหนักก่อนอบแห้ง และหลังการอบแห้งในทุกๆวันก่อนการอบแห้งในวันถัดไป ซึ่งในแต่ละวันจะถูกเก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดอย่างมิดชิดและใส่ในโถวัดความชื้น โดยใช้เครื่องติดตามความชื้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Analyzer) รุ่น JEDTO มีความละเอียด 0.01 ซึ่งรายงานผลในรูปแบบความชื้นมาตรฐานเปียกที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (AOAC, 1990) โดยวิธีการสุ่มแบ่งสี่ (Quartering method) ความชื้นมาตรฐานเปียกที่ได้นำไปใช้ในการคำนวณความชื้นมาตรฐานแห้ง และหาอัตราส่วน

ความชื้น หลังจากการอบแห้งจะได้รับการวิเคราะห์และนำไปสกัดเป็นน้ำมันวิธีการหีบ โดยน้ำมัน
ที่ได้นำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ และค่ากรดไขมันอิสระ พร้อมทั้งวิเคราะห์สีดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.8 การจัดเรียงอะโวคาโดในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน





ภาพที่ 3.9 การทดลองการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และเคมี

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

1. การวิเคราะห์ค่าความชื้น

การวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มจากการนำเนื้ออะโวคาโดสด และแห้งมาสับให้ละเอียด และสุ่มเลือกตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์โดยวิธีการสุ่มแบ่งสี่ (Quartering method) จากนั้นนำตัวอย่าง 3 กรัม ไปวิเคราะห์ความชื้นโดยใช้เครื่องติดตามความชื้นด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture

Analyzer) รุ่น JEDTO มีความละเอียด 0.01 ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์ เครื่องรายงานผลการวิเคราะห์เป็นร้อยละความชื้นมาตรฐานเปียก โดยทดลอง 4 ครั้ง ต่อ 1 การทดลอง จากนั้นเปลี่ยนความชื้นมาตรฐานเปียกเป็นมาตรฐานแห้งซึ่งสอดคล้องกับวิธีการของคู่มือปฏิบัติ อัตราวิริยะสุข (2565)

การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี

1. การวิเคราะห์สีของเนื้ออะโวคาโด และน้ำมันอะโวคาโดใช้เครื่องวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี KONICA MINOLTA Chroma Meter รุ่น CR-400 โดยสามารถทำการจดข้อมูลการวิเคราะห์ที่แสดงผลแบบ Commission de l'Eclairage L^* , a^* , b^* การวัดค่าสีจะแสดง 3 เคนสี คือ L^* แสดงถึงความสว่าง (Lightness) ค่าตั้งแต่ 0 -100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว ค่า a^* แสดงสี จากสีเขียว ($-a^*$) ถึง สีแดง ($+a^*$) ค่า b^* แสดงสีจากสีน้ำเงิน ($-b^*$) ถึง สีเหลือง ($+b^*$) (กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ และศรีมา แจ้คำ, 2562) โดยการวิเคราะห์สีของเนื้ออะโวคาโดเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง สีเนื้ออะโวคาโดสด สีของเนื้ออะโวคาโดแห้งจากตู้อบแห้งลมร้อน และสีของเนื้ออะโวคาโดแห้งจากตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ส่วนการวิเคราะห์สีของน้ำมันอะโวคาโดจะเปรียบเทียบสีน้ำมันอะโวคาโดที่สกัดจากเนื้ออะโวคาโดแห้งที่อบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนและตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน กับสีน้ำมันอะโวคาโดที่กำหนดในห้องตลาด

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity: a_w) น้ำมันอะโวคาโดได้รับการตรวจสอบปริมาณน้ำอิสระ (Water activity; a_w) ด้วยเครื่อง AQUA LAB Dew point water activity meter 4 โดยค่าปริมาณน้ำอิสระต้องมีค่าต่ำกว่า 0.6 เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รา และยีสต์ (สิริกาญจน์ ธนบุรณ์รุ่งคำ และคนอื่นๆ, 2566)

3. การวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty Acid; FFA) น้ำมันอะโวคาโดที่ผ่านการสกัดจะได้รับการทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยวิธีการไทเทรตแบบกรด-เบสจากนั้นคำนวณหาร้อยละของกรดไขมันอิสระ (ศศิกันต์ ปานปรานณีเจริญ และคนอื่นๆ, 2561)

จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio) จากการเก็บข้อมูล โดยการวิเคราะห์ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง จากการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานจากสภาวะการอบแห้งที่ไม่มีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ และการบดบังรังสีดวงอาทิตย์

อัตราการอบแห้ง (Drying rate) จากการเก็บข้อมูลโดยการนำความชื้นมาตรฐานแห้งจากการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ซึ่งนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง และระยะเวลาในการอบแห้ง

ผลจากการทดลองการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ได้ปรับปรุงขึ้นและมีการคลุมด้วยตาข่ายกรองแสงเพื่อบังแสงได้นำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อสร้างสมการจลนพลศาสตร์ที่เหมาะสมต่อทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบชั้นบาง ได้ใช้สมการเอมพิริคัล (Empirical Equation) ดังตารางที่ 3.3 การหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมจะพิจารณาค่าสถิติ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) โดยการตัดสินใจค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ในการตัดสินใจสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ โดยงานวิจัยของปราณีพลกรัง และสถาพรประสาธน์ (Praneetpolkrang, P., & Sathapomprasath, K., 2021); (กิตติ สถาพรประสาธน์ และโพธิ์ทอง ปราณีพลกรัง, 2565) และสถิติการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RSME) ต้องมีค่าต่ำที่สุด ปราณีพลกรัง และสถาพรประสาธน์ (Praneetpolkrang & Sathapornprasath., 2021); (กิตติ สถาพรประสาธน์ และโพธิ์ทอง ปราณีพลกรัง, 2565)

ตารางที่ 3.3 แบบจำลองของสมการจลนพลศาสตร์เอมพิริคัล

แบบจำลอง	ความสัมพันธ์	อ้างอิง
Newton หรือ Lewis	$MR = \exp(-kt)$	อัจฉริยะ วิริยะ และคนอื่น ๆ Achariyaviriya, et. al (2019)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	อัจฉริยะ วิริยะ และคนอื่น ๆ Achariyaviriya, et. al (2019); วรณพิชญ์ จุลกัลป์ (2562)
Modified Page	$MR = \exp(-kt)^n$	ณัฐภัก อิ่มเอิบ และกิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ (2564)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	ณัฐภัก อิ่มเอิบ และกิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ (2564)
Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	ฮาซัน นะยีเต็ง และคนอื่น ๆ (2559)

หมายเหตุ : MR คือ อัตราส่วนความชื้น (อัตราส่วน) และ a, b, k คือ n เป็นค่าคงที่ใดๆ ในสมการอบแห้ง ซึ่งได้จากการทดลองจากการนำผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยแบบเส้นตรง (No-linear regressing analysis) t คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง

การวิเคราะห์ของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (The Coefficient of Determination; R^2) เป็นตัวแสดงสัดส่วนการแปรปรวนอิสระมีค่าการตัดสินใจอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 การหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจได้ อัจฉริยะวิริยะ และคนอื่น ๆ (Achariyaviriya et al.,2019) ดังสมการ

สมการ

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (\bar{y} - y_i)^2}{\sum_{i=1}^m (\bar{y} - \hat{y}_i)^2}$$

เมื่อ \bar{y} ค่าตัวแปรตามที่คำนวณได้จากสมการการวิเคราะห์แบบกำลังสองน้อยที่สุด
 y_i ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลอง

การวิเคราะห์ของค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นพารามิเตอร์ทางสถิติที่ใช้บ่งบอกความผิดพลาดในการทำนายค่าของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งที่มีความแม่นยำในการ อัจฉริยะวิริยะ และคนอื่น ๆ (Achariyaviriya et al.,2019) ดังสมการ

สมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\hat{y}_i - y_i)^2}{m}}$$

\hat{y}_i ค่าของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลอง
 m จำนวนข้อมูล

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน และการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องตามสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยเริ่มต้นจากการศึกษาการสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อนซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ เวลา ขนาด และความเร็วลม เพื่อประยุกต์ใช้ในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมี พร้อมทั้งสร้างสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เพื่อเป็นแนวทางในการสร้าง ออกแบบ จากการอบแห้งอะโวคาโดในอนาคต

เงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน

อะโวคาโดดิบถูกนำมาแช่เย็น 1-4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำอะโวคาโดดิบมาปอกเปลือก และสไลด์เป็นแท่งด้วยเครื่องสไลด์มันฝรั่ง โดยการเริ่มการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อนจะทำการอุ่นตู้อบลมร้อนก่อนทำการอบแห้ง 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเอาอะโวคาโดที่แช่เย็น ปอกเปลือก หั่นสไลด์ และอบแห้งตามการทดลองที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์พร้อมติดตามความชื้นได้ความชื้นของอะโวคาโด ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จทางคณิตศาสตร์

ทดลองที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ขนาด (เซนติเมตร)	เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นมาตรฐาน แห้ง (ร้อยละ db.)
1	25	1.75	0.75	16.5	17.99
2	40	1	1	20	21.26
3	40	2.5	0.5	13	18.8
4	40	2.5	0.5	20	20.61
5	40	1	0.5	20	19.89
6	40	2.5	1	13	18.47
7	40	1	1	13	18.47
8	40	2.5	1	20	21.61
9	40	1	0.5	13	17.73
10	55	1.75	0.75	16.5	17.99
11	55	1.75	0.75	16.5	17.99
12	55	0.25	0.75	16.5	21.53
13	55	1.75	1.25	16.5	18.9
14	55	1.75	0.25	16.5	23.84
15	55	1.75	0.75	16.5	17.99
16	55	3.25	0.75	16.5	22.12
17	55	1.75	0.75	23.5	22.12
12	55	1.75	0.75	16.5	17.99
19	55	1.75	0.75	9.5	19.03
20	55	1.75	0.75	16.5	17.99
21	55	1.75	0.75	16.5	17.99
22	70	2.5	1	20	20.33
23	70	1	1	13	20.15
24	70	1	0.5	20	18.54
25	70	1	1	20	20.22

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ทดลองที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ขนาด (เซนติเมตร)	เวลา (ชั่วโมง)	ความชื้นมาตรฐาน แห้ง (ร้อยละ db.)
26	70	2.5	0.5	20	19.29
27	70	1	0.5	13	19.58
28	70	2.5	0.5	13	19.29
29	70	2.5	1	13	20.29
30	85	1.75	0.75	16.5	18.26

การประเมินสมการการทำนายความชื้นอาศัยหลักการทางสถิติสัมประสิทธิ์กำลังสองได้สมการกำลังสองแบบแปรผกผันและมีพจน์ค่าคงที่เท่ากับ 15 สมการที่ได้มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 และค่า F-value 4.99 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4.2

การพิจารณาผลกระทบของตัวแปรในสมการพิจารณาจากค่า p-value และ F-value ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งอะโวคาโดส่งผลกระทบต่อ การอบแห้งอะโวคาโด โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.001 ค่า F-value 4.99 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ เวลา และความเร็วลมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ต่อการอบแห้งอะโวคาโด (p-value เท่ากับ 0.0013 และ F-value เท่ากับ 7.85) นอกจากนั้นตัวแปรกำลังสอง (Quadratic) ที่มี อิทธิพลต่อการอบแห้ง คือ ความหนาของเนื้ออะโวคาโด และความเร็วลมเนื่องจากมีค่า p-value เท่ากับ 0.002 และ 0.002 และ F-value เท่ากับ 13.71 และ 13.40 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในการตอบสนองต่อความชื้นของอะโวคาโด

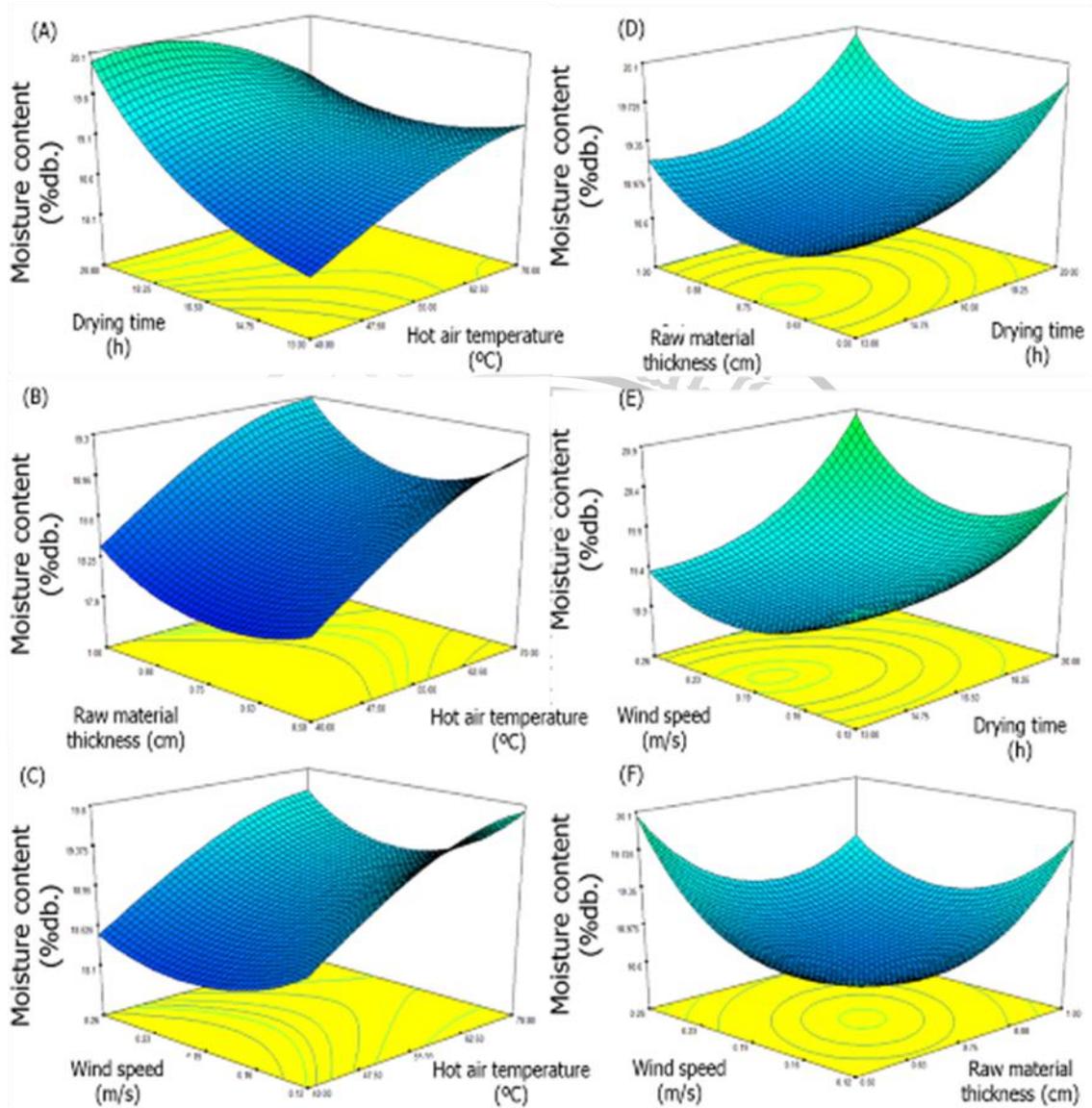
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F	
Model	0.110	14	7.889×10^{-3}	4.99	0.002	significant
t-Temp	5.165×10^{-3}	1	5.165×10^{-3}	3.26	0.091	
h-Time	0.026	1	0.026	16.59	0.001	
s-Size	2.240×10^{-4}	1	2.240×10^{-4}	0.14	0.712	
w-Wind	4.632×10^{-3}	1	4.632×10^{-3}	2.93	0.108	

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F	
th	0.012	1	0.012	7.85	0.013	
ts	1.362×10^{-4}	1	1.362×10^{-4}	0.09	0.773	
tw	6.546×10^{-5}	1	6.546×10^{-5}	0.04	0.842	
hs	9.846×10^{-5}	1	9.846×10^{-5}	0.06	0.806	
hw	9.152×10^{-4}	1	9.152×10^{-4}	0.58	0.459	
sw	4.656×10^{-3}	1	4.656×10^{-3}	2.94	0.107	
t ²	6.715×10^{-3}	1	6.715×10^{-3}	4.24	0.057	
h ²	6.960×10^{-3}	1	6.960×10^{-3}	4.40	0.053	
s ²	0.022	1	0.022	13.71	0.002	
w ²	0.021	1	0.021	13.40	0.002	
Residual	0.024	15	1.582×10^{-3}			
Lack of Fit	0.019	10	1.866×10^{-3}	1.84	0.260	not significant
Pure Error	5.075×10^{-3}	5	1.015×10^{-3}			
Cor Total	0.130	29				
Std. Dev.	0.040					
Mean	0.220					
C.V.%	17.720					
PRESS	0.110					
R-Squared	0.823					
Adj R-Squared	0.658					
Pred R-Squared	0.144					
Adeq Precision	8.210					

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น ความเร็วลม และขนาด ดังภาพที่ 4.1(A) กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลของระยะเวลา และอุณหภูมิของตู้อบแห้งลมร้อนต่อความชื้นอะโวคาโด ถ้าอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะใช้เวลาในการอบแห้งลดลง และถ้าอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะต้องใช้เวลาในการอบแห้งมากขึ้น ภาพที่ 4.1(B) กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองอิทธิพลของความหนาของเนื้ออะโวคาโด และอุณหภูมิของตู้อบแห้งลมร้อน ถ้าใช้ความหนาของเนื้ออะโวคาโดช่วงกลาง ๆ ของค่าที่กำหนดจะใช้อุณหภูมิในการอบแห้งลดลง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับภาพที่ 4.1(C) การตอบสนองพื้นที่ผิวระหว่างความเร็วลมและอุณหภูมิที่มีผลต่อความชื้นที่ต้องใช้ความเร็วลมในระดับปานกลางเพื่ออบแห้งที่อุณหภูมิต่ำลง ภาพที่ 4.1(D) กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลความหนาของเนื้ออะโวคาโดกับเวลาการอบแห้งต่อความชื้นอะโวคาโดเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ ภาพที่ 4.1(E) กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองแสดงอิทธิพลความเร็วลมกับเวลาระยะการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งที่ใช้เวลาน้อยจะต้องใช้เนื้ออะโวคาโดที่มีความหนาช่วงกลาง ๆ และความเร็วลมระดับกลาง ๆ ภาพที่ 4.1(F) กราฟแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับขนาด พบว่าเนื้ออะโวคาโดที่มีความหนาและความเร็วลมระดับกลาง จะส่งผลต่อการแห้งอะโวคาโด

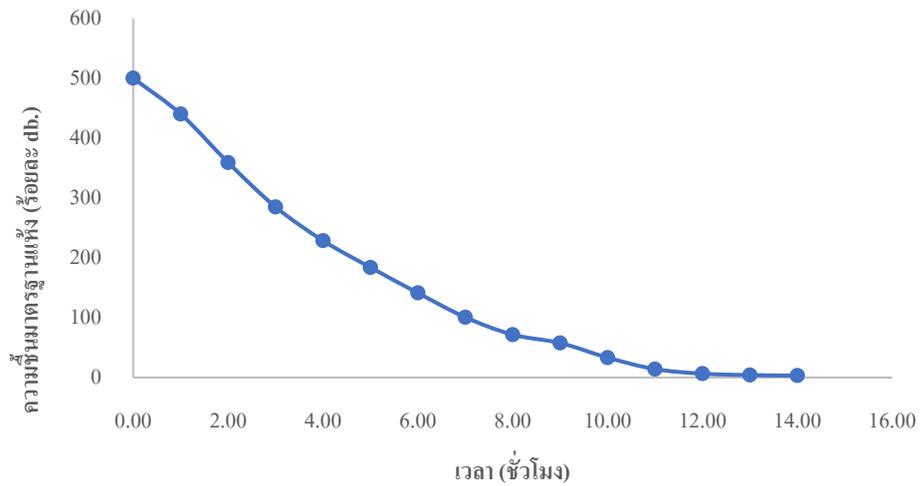
เงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งอะโวคาโดต้องใช้เนื้ออะโวคาโดที่มีความหนา 1 เซนติเมตร อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ด้วยความเร็วลม 0.2 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะได้ค่าความชื้นจากการทำนายอยู่ที่ร้อยละ 19 มาตรฐานแห้ง



ภาพที่ 4.1 พื้นผิว 3D ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้งอะโวคาโด

เงื่อนไขที่ได้จากการประเมินด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้รับการทดสอบอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบลมร้อนอีกครั้ง โดยการนำเนื้ออะโวคาโดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 500.32 มาตรฐานแห้ง อบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบลมร้อนโดยใช้เงื่อนไขสภาวะที่เหมาะสม ความชื้นสุดท้ายเหลือประมาณร้อยละ 3.2 มาตรฐานแห้ง ดังภาพที่ 4.2 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าที่สมการทำนายได้ความชื้นร้อยละ 19 มาตรฐานแห้ง หลังสิ้นสุดการอบแห้งได้ผลผลิตดังภาพที่ 4.3 ปริมาณร้อยละ 22.28 มีค่าปริมาณน้ำอิสระเนื้อแห้ง 0.58 ดังตารางที่ 4.3 เนื้ออะโวคาโดแห้งมีสีแดง

แกมเหลือง และมีความสว่าง ดังตารางที่ 4.4 หลังจากนั้นนำเนื้ออะโวคาโดแห้งสกัดเป็นน้ำมันได้ ปริมาณร้อยละ 28.57 น้ำมันที่ได้มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.61 และมีปริมาณน้ำอิสระของ น้ำมันอะโวคาโด 0.54 ดังตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง



ภาพที่ 4.3 อะโวคาโดสดเทียบกับอะโวคาโดอบแห้งตู้อบแห้งลมร้อน

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ และกรดไขมันอิสระ

รายการ	การบดบั้งรังสี ดวงอาทิตย์ (ร้อยละ)	เนื้ออะโวคาโด (ร้อยละ)		น้ำมันอะโวคาโด (ร้อยละ)		
		ผลผลิต	ปริมาณน้ำอิสระ	ผลผลิต	ปริมาณน้ำอิสระ	กรดไขมันอิสระ
ตู้อบลมร้อน		22.28±1.50	0.58±0.02	28.57±1.07	0.54±0.03	0.61
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	0	16.23±2.04	0.72±0.04	21.79±1.64	0.72±0.04	1.89
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	50	20.94±2.92	0.55±0.03	37.46±1.59	0.58±0.02	0.6
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	60	23.94±2.58	0.53±0.01	38.26±1.71	0.55±0.01	1.26
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	70	25.63±3.01	0.53±0.02	48.09±2.45	0.54±0.01	0.83
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	80	28.40±0.77	0.56±0.01	32.79±0.34	0.62±0.04	0.57
น้ำมันอะโวคาโด A					0.42±0.02	0.33
น้ำมันอะโวคาโด B					0.57±0.01	0.22
น้ำมันอะโวคาโด C					0.49±0.04	0.22
น้ำมันอะโวคาโด D					0.44±0.02	0.22

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์สี

ประเภท	ระดับการบดบึง รังสีดวงอาทิตย์	สีของเนื้ออะโวคาโด (ร้อยละ)				น้ำมันอะโวคาโด (ร้อยละ)			
		L*	a*	b*	□E	L*	a*	b*	□E
อะโวคาโดสด		76.11	-3.47	30.23					
ตู้อบแห้งลมร้อน		55.54	5.96	12.18	58.49	21.86	1.16	9.84	48.34
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	0	47.04	4.97	10.82	84.81	27.54	0.95	6.97	5.38
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	50	44.58	5.02	10.37	94.23	25.86	1.13	7.05	8.00
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	60	47.08	4.46	12.18	81.12	25.34	1.22	7.77	6.26
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	70	47.24	3.91	10.79	83.41	25.47	1.27	7.56	6.61
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	80	53.41	3.71	14.64	56.71	25.23	1.31	7.69	5.80
น้ำมันอะโวคาโด A						29.94	-0.47	3.68	48.34
น้ำมันอะโวคาโด B						30.17	-0.87	3.22	48.58
น้ำมันอะโวคาโด C						31.05	-0.23	-0.29	44.16
น้ำมันอะโวคาโด D						30.21	-1.18	2.49	42.27

การอบแห้งอะโวกาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

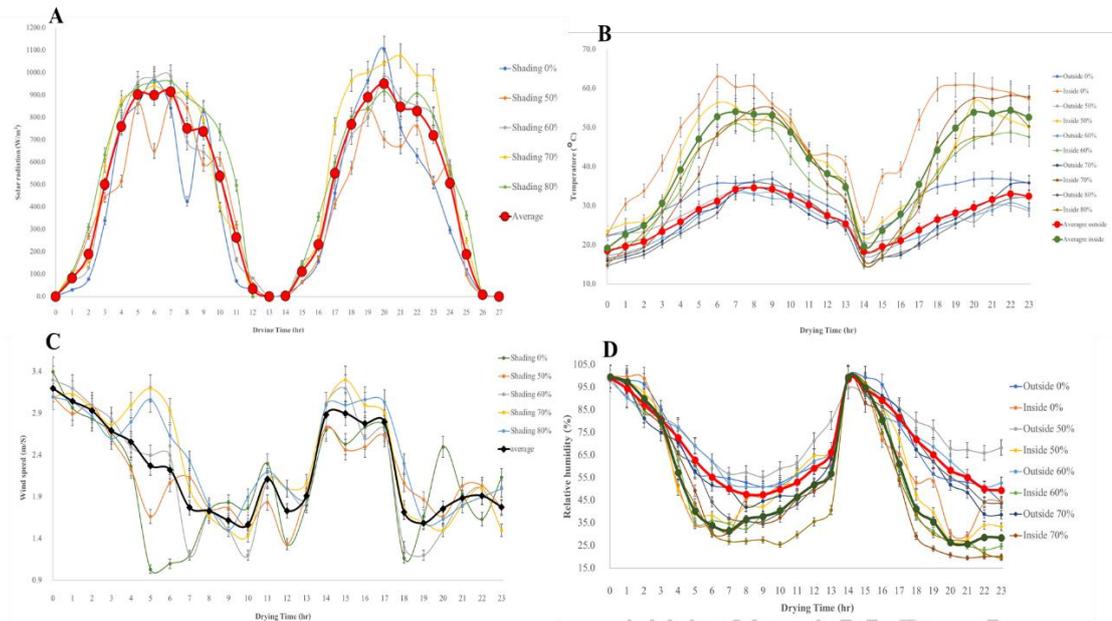
การทำงานของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

จากการทำงานของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ได้รับการปรับปรุงด้วยการเพิ่มระบบให้ความร้อนจากหลอดไฟฟ้า และระบบระบายอากาศขึ้น และอากาศร้อน ระบบระบายอากาศได้มีการปรับเปลี่ยนความเร็วจาก 0.2 เมตรต่อวินาที เป็น 1.8 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมต่ำสุดที่เครื่องเป่าอากาศของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำได้ พร้อมทั้งศึกษาการอบแห้งแบบไม่มีการอบคั้ง และมีการอบคั้งแสงรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ตาข่ายกรองแสงที่มีความสามารถในบคั้งรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นมีหลักการทำงานดังนี้ ถ้าภายในตู้อบแห้งมีความชื้นสูง ระบบจะระบายความชื้นในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ถ้าภายในตู้อบแห้งมีความร้อนต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ระบบให้ความร้อนด้วยหลอดไฟฟ้าเริ่มทำงาน และถ้าภายในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ระบบระบายอากาศร้อนก็จะเริ่มทำงานทันที การทำงานของระบบต่างๆ ถูกควบคุมด้วยเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ด้านบนภายในตู้อบแห้ง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

1. ความเข้มแสงรังสีดวงอาทิตย์

การทดลองการอบแห้งอะโวกาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ดำเนินการตั้งแต่วันที่ 22 มิถุนายน 2565 ถึงวันที่ 31 มกราคม 2566 ทำการอบแห้งอะโวกาโดเริ่มการอบแห้งที่เวลา 06.00- 19.00 น. ใช้เวลาในการติดตามจำนวน 2 วัน (วันละ 13 ชั่วโมง) ดังภาพที่ 4.4 โดยค่ารังสีดวงอาทิตย์สูงสุดอยู่ในช่วง 12.00-13.00 น. มากที่สุดประมาณ 1,100 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นวันที่มีการอบแห้งโดยไม่มีการอบคั้งรังสีดวงอาทิตย์ ค่ารังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดการทดลองอยู่ที่ 470.6 วัตต์ต่อตารางเมตร



ภาพที่ 4.4 ความเข้มแสงดวงอาทิตย์ (A) อุณหภูมิ (B) ความเร็วลม (C) และความชื้นสัมพัทธ์ (D)

2. อุณหภูมิ

บรรยากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน มีค่าเท่ากับ 40.7 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.4(A) ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิภายนอก 1.5 เท่า โดยการอบแห้งโดยไม่มีกระบวนการรังสีดวงอาทิตย์สามารถทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งในแต่ละวันใกล้เคียง 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะ 6 ชั่วโมง ซึ่งมีค่ามากกว่าการใช้ตาข่ายกรองแสง ช่วงเช้าความเข้มแสงรังสีดวงอาทิตย์มีค่าต่ำทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน มีค่าอุณหภูมิไม่ถึง 60 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจึงมีระบบให้ความร้อนจากหลอดไฟภายในตู้อบแห้งทำงานเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้ และพัดลมดูดความชื้นทำงานเพื่อระบายความชื้นสูงภายในตู้อบแห้ง แต่เมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานมีค่าความร้อนอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส พัดลมดูดอากาศจะทำงานด้วยการระบายความร้อนภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

3. ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศดังภาพที่ 4.4(D) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 68.4 และความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศ เวลา 06.00 น. มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่มากถึงร้อยละ 100 เนื่องจากอุณหภูมิบรรยากาศภายนอกมีอุณหภูมิต่ำส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์สูง ดังภาพที่ 4.4(D) และเวลา 14.00 น. บรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำร้อยละ 34.7 เนื่องจากอุณหภูมิสูงภายนอก ดังภาพที่ 4.4(B) ความชื้นสัมพัทธ์ก็ลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังภาพที่ 4.4(D) ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 55.1 ความชื้นเริ่มต้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งมีค่าเท่ากับร้อยละ 99.8 (เวลา 06.00 น.) เนื่องจากตอนกลางคืนส่งผลให้ภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานมีอุณหภูมิต่ำส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าความชื้นสูง เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำร้อยละ 19.3 ในเวลา 14.00 น. เกิดจากอุณหภูมิสูงในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานแปรผกผันกับความชื้นภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน จึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำระหว่างการอบแห้งเมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบแห้งสูงจะทำให้ไอน้ำในเนื้ออะโวคาโดระเหยออกมาส่งผลให้ตู้อบแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์สูง พัฒนาระบายความชื้นจะเริ่มทำงานเพื่อลดความชื้นในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานจะส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานลดลงเช่นกัน

4. ความเร็วลม

ความเร็วลมเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานดังภาพที่ 4.4(C) มีค่าเท่ากับ 2.2 เมตรต่อวินาทีเวลา 06.00 น. มีความเร็วลมค่ามากที่สุดที่ 3.4 เมตรต่อวินาที และเวลา 11.00 น. มีค่าต่ำสุด 1.0 เมตรต่อวินาที การทำงานของระบบระบายอากาศด้วยความเร็วลมสูงส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเช้าเนื่องจากเป็นการระบายความชื้นสัมพัทธ์ออกจากภายในพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และความเข้มแสงรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ และภายในตู้อบแห้งลดลง การระบายอากาศภายในตู้อบแห้งก็ลดลงด้วย อย่างไรก็ตามพัฒนาระบายอากาศยังทำงานด้วยความเร็วต่ำเพื่อระบายความชื้นในตู้อบแห้งที่เกิดจากการระเหยของน้ำในอะโวคาโด

เนื้ออะโวคาโด

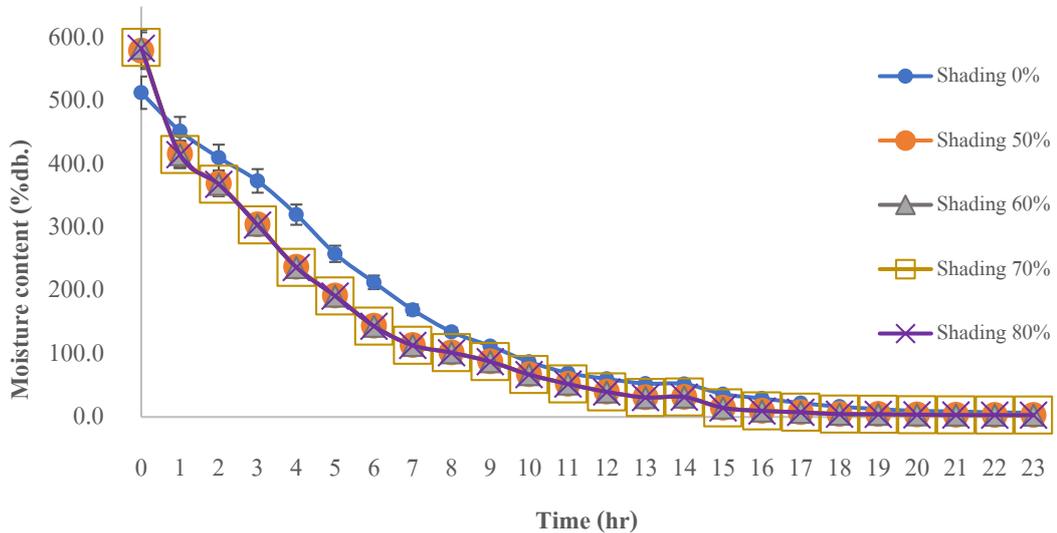
1. ผลผลิต

การอบแห้งอะโวคาโดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน แสดงดังตารางที่ 4.4 การอบแห้งอะโวคาโดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบดบั้งรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 80 มีผลผลิตร้อยละ 28.40 ซึ่งมากที่สุด รองลงมาคืออบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบดบั้งรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 70, 60, 50 และไม่มีการบดบั้ง ดังผลร้อยละการผลิต 25.63, 23.94, 20.94, 16.23 ตามลำดับ

2. ความชื้น

ผลการทดลองอบแห้งอะโวคาโดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานโดยไม่มีการบดบั้งรังสีดวงอาทิตย์ และการใช้ตาข่ายกรองแสงที่มีความสามารถในการบดบั้งรังสีดวงอาทิตย์ ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 ดังภาพที่ 4.5 อะโวคาโดที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการอบแห้งอะโวคาโดที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยที่ร้อยละ 55.79 มาตรฐานแห้ง และสิ้นสุดการทดลองการอบแห้งที่เฉลี่ยร้อยละ 3.8 มาตรฐานแห้ง โดยค่าความชื้นสุดท้ายมากที่สุดคือ 7.0 เป็นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานโดยไม่มีการบดบั้งแสงแดด แต่ก็ยังมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มพช.136/2558) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2558) สำหรับการอบแห้งอะโวคาโดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบดบั้งร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 นั้นมีค่าใกล้เคียงกับการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน และเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช.136/2558 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2558) ที่ร้อยละความชื้นไม่เกิน 18 มาตรฐานแห้ง จากงานวิจัยของดุษฎี บุญเกียรติ (2562) จากการทดลองในการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอบแห้ง 72 ชั่วโมง พบว่าผลคือความชื้นร้อยละ 83.10-77.44 มาตรฐานเปียก ความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 22.56-16.90 มาตรฐานเปียก หรือผลคือความชื้นร้อยละ 567-343 มาตรฐานแห้ง ความชื้นสุดท้ายที่ 29-20 มาตรฐานแห้ง และผลคือความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 84.41-79.80 มาตรฐานเปียก ความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 15.59-20.20 มาตรฐานเปียก หรือผลคือความชื้นเริ่มต้นที่ 541-395 ร้อยละมาตรฐานแห้ง มีค่าความชื้นสุดท้ายของผลคือ 18-25 มาตรฐานแห้ง ซึ่งมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับการอบแห้งอะโวคาโดที่ได้ทำการวิจัย โดยปัจจัยในการอบแห้งอะโวคาโดที่แตกต่างกันคือสายพันธุ์ในการทดลองอบแห้งอะโวคาโดของงานวิจัยนี้ นำ 2 สายพันธุ์ในการ

อบแห้งคือแฮส และบักคาเนียร์ในการทดลอง ซึ่งการอบแห้งอะโวคาโดในการทำวิจัยของเราใช้
 กล้วยพันธุ์

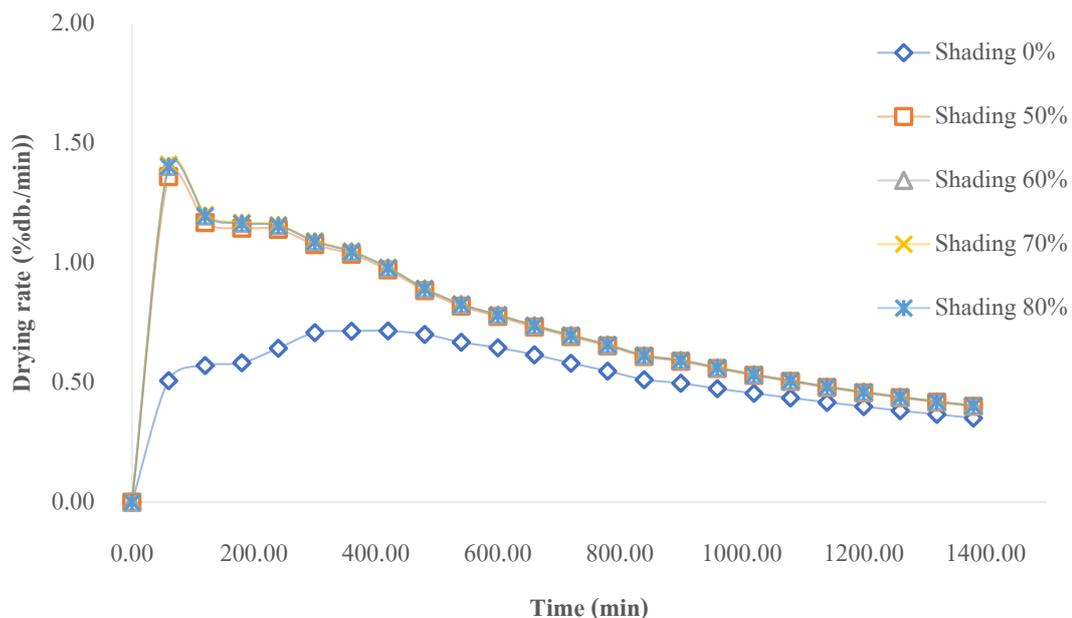


ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบความชื้นมาตรฐานแห้งกับเวลาการอบแห้ง

3. อัตราการอบแห้ง

ผลการทดลองการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยจากการศึกษา พบว่า การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานการไม่มีการบังคับของรังสีดวงอาทิตย์ และมีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 ดังภาพที่ 4.6 อัตราการอบแห้งเป็นแบบลดลง (Falling Rate) เนื่องจากอะโวคาโดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง การอบแห้งในช่วงเริ่มต้นมีอัตราการอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และลดลงเรื่อยๆ ต่อเนื่องจนถึงสมดุล การทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิ และความเร็วลมมีผลต่ออัตราการอบแห้งอะโวคาโด โดยการอัตราการอบแห้งอะโวคาโดของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานไม่มีการบังคับมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 513.58 มาตรฐานแห้ง มีอัตราการอบแห้งที่ลดลงต่ำกว่าอัตราการอบแห้งโดยมีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 มีความชื้นเริ่มต้น 580.18, 584.02, 585.09 และ 583.96 มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ โดยค่าความชื้นเฉลี่ย 583.31 มาตรฐานแห้ง ซึ่งมีค่าความชื้นเริ่มต้นมากกว่า 1.1 เท่า จากการเปรียบเทียบความชื้นเริ่มต้นไม่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ และมีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ ในช่วงแรกของการอบแห้งอะโวคาโดที่ไม่มีการบังคับพบว่าอัตราการอบแห้งเริ่มต้นมีค่า 0.5 ร้อย

ละมาตรฐานแห่งก่อนหน้าที่ ซึ่งแสดงได้โครงสร้างของจำนวนรูพรุนในเนื้ออะโวคาโดซึ่งเซลล์มีการหดตัวมากกว่าการอบแห้งที่มีการบดบั้งรังสีดวงอาทิตย์ส่งผลให้ช่วงแรกของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยไม่มีการบดบั้งรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งจะอัตราการอบแห้งจะสอดคล้องกับความชื้นมาตรฐานแห้ง แต่ความชื้นในช่วงสุดท้ายของการอบแห้งทุก ๆ เงื่อนไขจะมีค่าลดลง เนื่องจากในเนื้อของอะโวคาโดมีการถ่ายเทมวลของน้ำในอากาศ และความร้อนกับอากาศแวดล้อมมีการนำน้ำมายังผิวของเนื้ออะโวคาโดได้ช้าลงจึงสอดคล้องกับงานวิจัยของชญาธิศ รัตนมงคล และคนอื่น ๆ (2561) ปัจจัยในการอบแห้งลดลงคืออุณหภูมิในการอบแห้ง และงานวิจัยของศรัณย์ เพชรชูช่วย และคนอื่น ๆ (2559) พบว่าช่วง 20 นาทีแรกในการอบแห้งลดลง หลังจากนั้นจะค่อยๆลดลง ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่าอัตราการไหลเชิงมวลหรือความเร็วลมร้อนมีผลต่อการเพิ่มอัตราการอบแห้ง โดยอุณหภูมิสูงจะทำให้อัตราการอบแห้งลดลงมากกว่าอุณหภูมิที่ต่ำ



ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งกับเวลาการอบแห้ง

4. ปริมาณน้ำอิสระ

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานไม่มีการบดบั้งรังสีดวงอาทิตย์ น้ำมันที่สกัดได้มีค่าปริมาณน้ำอิสระสูงถึง 0.72 ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าความชื้นสุดท้ายของเนื้ออะโวคาโดที่มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.0 มาตรฐานแห้ง ปริมาณน้ำอิสระที่ได้ไม่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มพช.136/2558

ปริมาณน้ำอิสระในเนื้ออะโวคาโดเกิดการระเหยจนถึงค่าสมดุลจึงทำให้มีน้ำในเนื้ออะโวคาโดแห้งไม่สามารถระเหยได้อีก ปริมาณน้ำอิสระที่สูงกว่า 0.6 ส่งผลให้การเก็บรักษาเนื้ออะโวคาโดสามารถเก็บรักษาได้ระยะเวลาไม่นานเมื่อเทียบกับกับการอบแห้งด้วยเงื่อนไขอื่น ๆ แห่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปิลันธสุทธิ์ สุวรรณเลิศ และคนอื่น ๆ (2565) ทำการศึกษาการอบแห้งผลไม้อบแห้ง ได้แก่ มะม่วง กัลย โดยการนำผลไม้อบแห้งมาผสมกับข้าวพองอัดแท่ง การทำการทดลอง มะม่วง กัลย องุ่นแห้งมีความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 4.23-4.70 มาตรฐานแห้ง มีค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.65, 0.67 และ 0.69 ตามลำดับ ซึ่งสามารถเมื่อเก็บไว้นาน 1, 2 และ 3 เดือน ตามลำดับ โดยพบว่ายังมีค่าปริมาณน้ำอิสระลดลงจะทำให้การเก็บรักษาสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งลมร้อน และการอบแห้งอะโวคาโดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 มีค่าปริมาณน้ำอิสระ ไม่เกินกว่า 0.6 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องผัก และผลไม้ มพช.136/2558 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2558) อะโวคาโดแห้งที่ผลิตได้จากการการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อน และการอบแห้งอะโวคาโดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 สามารถเก็บได้นาน และไม่มีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รา และยีสต์ ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของจตุรงค์ ลังกาพิชญ์ และคนอื่น ๆ (2566) ได้กล่าวถึงค่าปริมาณน้ำอิสระที่มีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งอยู่ในระดับไม่เสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงมีแนวโน้มในการยืดอายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ ดังนั้นการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบังคับที่ร้อยละ 50, 60, 70, 80 สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แห้ง อย่างไรก็ตามแม้ผลิตภัณฑ์แห้งจะมีปริมาณน้ำอิสระเป็นไปตามมาตรฐานแต่ควรเก็บผลิตภัณฑ์เหล่านี้ไว้ในที่ห้องที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสม และบรรจุภายในภาชนะปิดภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศเพื่อให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น (สุวิทย์ แพงกันยา และคนอื่น ๆ, 2564)

5. สีของเนื้ออะโวคาโด

สีของเนื้ออะโวคาโดจากเงื่อนไขในการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ดังตารางที่ 4.3 อะโวคาโดที่ผ่านการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้ออะโวคาโดสด (สีเขียว) พบว่ามีความแตกต่างชัดเจน เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ ความร้อน และอุณหภูมิเร่งการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือ Browning Reaction มูจาฟาร์ และอเล็กซ์ (Mujaffar S, Alex L., 2016) มีผลให้รงควัตถุในเนื้ออะโวคาโดถูกทำลายทำให้สีของเนื้ออะโวคาโดเปลี่ยนจากเดิม ซึ่งจากการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงาน

แสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ไม่มี และการบดบังที่ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 ผลผลิตได้มีสีน้ำตาลแกมเหลือง การอบแห้งที่มีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 80 จะมีค่า L^* และ b^* เพิ่มขึ้น และมีค่า a^* ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการแห้งด้วยการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ที่ร้อยละ 50, 60 และ 70 ตามการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ตามลำดับ ผลการทดลองการ แสดงให้เห็นว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ต้องมีการบดบังแสงแดดร้อยละ 80 จึงจะสามารถทำให้สีของเนื้ออะโวคาโดมีใกล้เคียงกับการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อน จากการทดลองเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงส่งผลให้ค่า L^* สูงตามการเปลี่ยนแปลงสีรวมในรูปของ ΔE^* พบว่าอุณหภูมิ ความเข้มแสง มีผลต่อการอบแห้งของอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

น้ำมันอะโวคาโด

1. ผลผลิต

น้ำมันอะโวคาโดที่สกัดจากผลิตภัณฑ์แห้งที่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 70 ดังตารางที่ 4.3 มีผลผลิตมากที่สุด ร้อยละ 48.09 รองลงมาพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 60, 50, 80 และไม่มีการบดบัง ดังผลร้อยละการผลิต 38.26, 37.46, 32.79, 21.79 ตามลำดับ

2. กรดไขมันอิสระ

น้ำมันอะโวคาโดที่ผลิตได้มีกรดไขมันอิสระผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมัน และไขมันบริโภคน้ำมัน (มอก. 47.2533) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันบริโภคน้ำมัน, 2533) ได้แก่ น้ำมันอะโวคาโดจากพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 50 และ 80 ซึ่งมีค่ากรดไขมันอิสระร้อยละ 0.60 และ 0.57 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 เมื่อเทียบกับน้ำมันอะโวคาโดที่จำหน่ายตามท้องตลาด พบว่า น้ำมันอะโวคาโดจากพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ไม่มี การบดบัง และการบดบังรังสีดวงอาทิตย์มีค่ากรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันอะโวคาโดที่จัดจำหน่ายในท้องตลาด อย่างไรก็ตาม น้ำมันอะโวคาโดที่ได้จากการอบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ไม่มี การบดบัง รังสีดวงอาทิตย์ และการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ที่ร้อยละ 60 มีค่าสูงกว่ากว่าอะโวคาโดจากพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานด้วยการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 50, 70 และ 80 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้

พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบดบังแสงรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 80 ค่ากรดไขมันอิสระ 0.57 น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่มากกว่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันอะโวคาโดที่จำหน่ายตามท้องตลาด ดังนั้นเพื่อป้องกัน และยับยั้งการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระจะนำน้ำมันอบด้วยตู้อบแห้งที่ 150 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 นาที โดยเป็นการยับยั้งของเอนไซม์ไลเปสโดยจะพบในกรดไฮโดรไลซิสซึ่งเป็นกรดที่อยู่ในกรดไขมันอิสระวิธีนี้จะทำการยืดอายุการเก็บรักษาของน้ำมันได้ 90 วัน (นิตยา จันกา และชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล, 2558)

3. ปริมาณน้ำอิสระ

น้ำมันอะโวคาโดจากการอบแห้งอะโวคาโดด้วยลมร้อน และการอบแห้งอะโวคาโดพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ที่ร้อยละ 50, 60 และ 70 มีค่าน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันอะโวคาโดที่จำหน่ายตามท้องตลาด ดังตารางที่ 4.3 โดยได้น้ำมันอะโวคาโดที่อบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ไม่มีการบดบัง และมีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 80 ปริมาณน้ำอิสระสูงกว่า 0.6 จากการศึกษาของ โกपालกฤษณะ และ ประภากร (Gopalakrishna & Prabhakar, 1983) พบว่าน้ำมันพืชดิบที่สกัดได้ควรมีปริมาณน้ำอิสระที่ 0.91 จึงจะช่วยยืดอายุการหมักหั่นของน้ำมันได้ดีที่สุด ดังนั้นน้ำมันอะโวคาโดได้จากการอบแห้งอะโวคาโดพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ที่ร้อยละ 80 และ ไม่มีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์มีโอกาสที่จะเกิดการออกซิไดซ์ในน้ำมันอะโวคาโด และการหมักหั่นที่ช้ากว่า (ประวิทย์ สันติวัฒนา และธิดา สิริสุขพรชัย, 2559)

4. สี

ผลการทดลองการวิเคราะห์สีน้ำมันของอะโวคาโดจากการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ดังตารางที่ 4.4 พบว่า น้ำมันจากการอบแห้งอะโวคาโดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ไม่มีการบดบังของรังสีดวงอาทิตย์ และมีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ทุกเงื่อนไขมีสีแดงแกมเหลือง แต่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ไม่มีการบดบังให้น้ำมันที่มีค่าความสว่างมากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันอะโวคาโดที่จำหน่ายตามท้องตลาด พบว่าน้ำมันอะโวคาโดในท้องตลาดมีเขียวแกมเหลืองมีค่าความสว่าง

มากกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ที่ร้อยละ 80 พบว่า L^* ลดลง, a^* และ b^* เพิ่มขึ้น

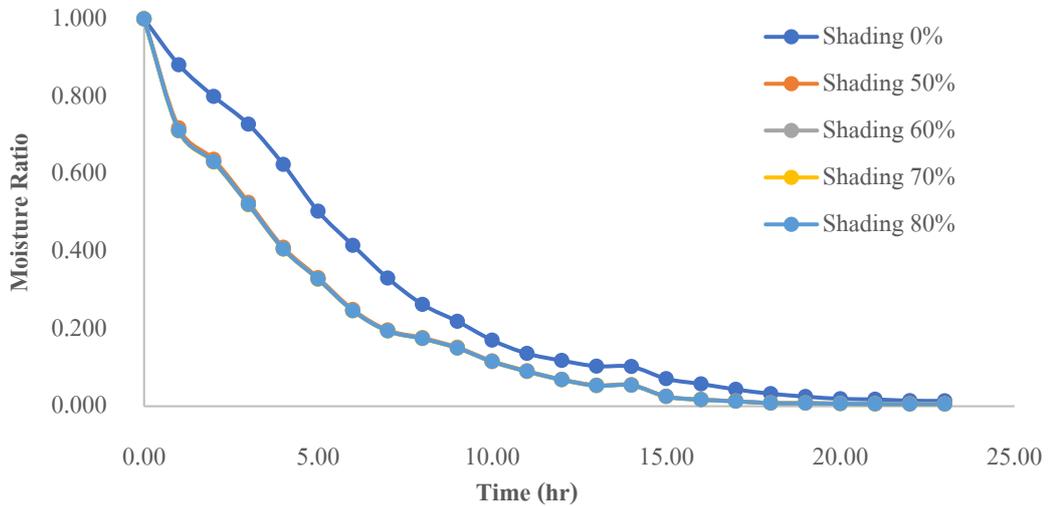
จากการพิจารณาการวิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ ค่าปริมาณน้ำอิสระ ค่าความชื้น มาตรฐานแห้ง และค่าสี พบว่า การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานโดยใช้ค่าช่วงคลุมบังคับรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 80 เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด เนื่องจากมีค่าความชื้นสุดท้ายร้อยละ 3.1 มาตรฐานแห้ง เนื้ออะโวคาโดแห้งมีปริมาณน้ำอิสระที่ 0.56 สีของเนื้ออะโวคาโดแห้งสีแดงแกมเหลืองมีค่าความสว่างมากที่สุด เมื่อเทียบกับเงื่อนไขในการทดลอง เมื่อนำมาสกัดน้ำมันอะโวคาโดจะได้ค่าปริมาณน้ำอิสระที่ 0.62 และมีค่ากรดไขมันอิสระที่ 0.57 และมีสีของน้ำมันอะโวคาโดมีสีแดงแกมเหลือง แต่มีค่าความสว่างน้อยได้มีค่า

จลนพลศาสตร์

ผลจากการศึกษาเงื่อนไขการอบแห้งอะโวคาโดตามเงื่อนไขการอบแห้ง ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และการบังคับแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ช่วยในการรักษาคุณภาพของเนื้ออะโวคาโดแห้งและน้ำมันอะโวคาโด ความชื้นของเนื้ออะโวคาโดแห้งจากการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการหาแบบจำลองของสมการจลนพลศาสตร์เอมพิริคัลที่เหมาะสม เพื่อการอบแห้งอะโวคาโดสำหรับตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

อัตราส่วนความชื้นกับเวลา ดังภาพที่ 4.7 ซึ่งเป็นผลจากการคำนวณความชื้นร้อยละ มาตรฐานแห้งของเนื้ออะโวคาโดที่ผ่านการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยไม่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ และมีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ที่ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 พบว่าอัตราส่วนความชื้นมีแนวโน้มลดลงจาก 1 และลดลงจนมีค่าเข้าใกล้ 0 ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้นำไปใช้วิเคราะห์สมการจลนพลศาสตร์เอมพิริคัลในรูปแบบต่างๆ และโดยแบบจำลองที่ดีที่สุดวิเคราะห์ได้จากค่าสัมประสิทธิ์ และค่าการตัดสินใจค่ารากที่สองของคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย จากภาพที่ 4.7 -4.12 ในช่วงเวลาการอบแห้งที่ชั่วโมงที่ 15 ของแต่ละการทดลองพบว่าชั่วโมงที่ 15 เป็นชั่วโมงในการสิ้นสุดของการทำการทดลองในวันแรก ซึ่งมีความชื้นในวัสดุ เนื่องจากเซลล์ของเนื้ออะโวคาโดแห้งที่ผ่านการอบแห้งยังมีพรุณทำให้การดูดซับ การพาความชื้นสัมพันธ์ในอากาศ ใอน้ำ เข้าสู่

เนื้ออะโวคาโดแห้งอีกครั้ง และทำการลดลงในช่วงเวลาชั่วโมงที่ 16 อีกครั้ง ซึ่งเป็นการทดลองในวันที่ 2



ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นกับเวลา

แบบจำลองของสมการจลนพลศาสตร์เอมพิริคัลที่เหมาะสม

การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยไม่มีการบังคับ

อัตราส่วนความชื้น (ภาพที่ 4.7) ได้ถูกนำมาใช้ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการอบแห้งอะโวคาโดแต่ละเงื่อนไข โดยสมการที่นำมาใช้ ประกอบด้วย Newton, Page, Modified page, Henderson and Pabis และ Wang and Singh โดยพิจารณาจากค่า R^2 มีค่าใกล้เคียง 1 และค่า RMSE มีค่าน้อยที่สุด ผลจากการศึกษา ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.7-4.11 พบว่า

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยไม่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ผลการทำนายที่ดีที่สุดคือแบบจำลองของ Page โดยมี R^2 และค่า RMSE เท่ากับ 0.98407 และ 0.31537

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยมีการบังคับด้วยรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 50 ผลการทำนายที่ดีที่สุดคือแบบจำลองของ Page โดยมี R^2 และค่า RMSE เท่ากับ 0.99509 และ 0.27584

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยมีการบังคับด้วยรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 60 คือผลการทำนายที่ดีที่สุดคือแบบจำลองของ Page โดยมี R^2 และค่า RMSE เท่ากับ 0.99453 และ 0.27457

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยมีการบังคับดวงอาทิตย์ ร้อยละ 70 คือผลการทำนายที่ดีที่สุดคือแบบจำลองของ Page โดยมี R^2 และค่า RMSE เท่ากับ 0.99442 และ 0.27432

5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยมีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ ร้อยละ 80 คือผลการทำนายที่ดีที่สุดคือแบบจำลองของ Page โดยมี R^2 และค่า RMSE 0.99454 และ 0.27459

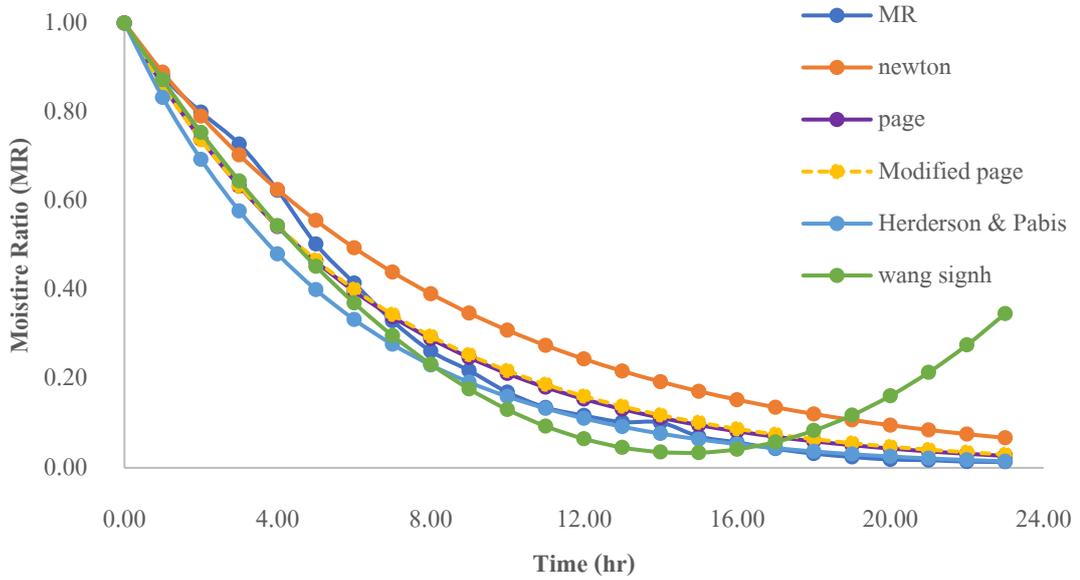
ผลการหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยไม่มีการบังคับและบังคับรังสีดวงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความชื้นเข้าใกล้ 0 เมื่อใช้เวลากการอบแห้งประมาณ 22 ชั่วโมง ซึ่งแบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งของ Page เหมาะสมที่สุดในการทำนายการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยไม่มีการบังคับและบังคับรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอาซัน หะยีเต็ง และคนอื่น ๆ (2563) ที่ใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งปลาหมึก ใช้เวลาการทดลอง 09.00-16.00 น. โดยสมการที่เหมาะสมคือสมการ Page ปัจจุบันในการอบแห้งอะโวคาโดของสมการ Page ที่สำคัญ คือ อุณหภูมิของลมร้อน จากการทำอบแห้งอะโวคาโด อุณหภูมิแต่ละการทำการทดลองการอบแห้งอะโวคาโดของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานไม่คงที่ โดยมีอุณหภูมิลดลงหรือเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ จึงแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมิผลต่ออัตราการอบแห้งของสมการ Page (ณัฐพล กระแจ่ม, 2560)

ตารางที่ 4.5 สถิติจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นแบบบางอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

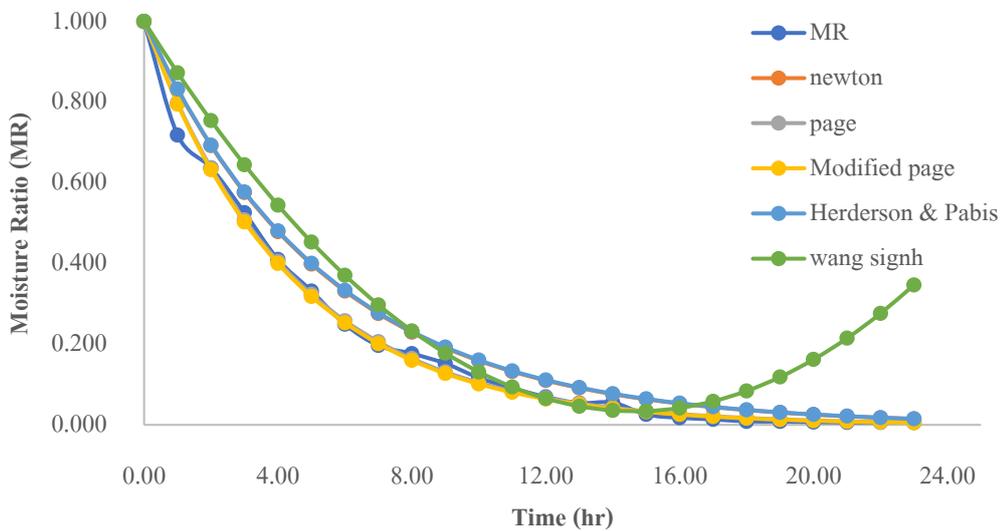
รายการ	แบบจำลอง	ค่าคงที่ของสมการ	R ²	RSME
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบผสมผสาน ไม่มีการอบแห้งรังสีดวงอาทิตย์แสงอาทิตย์	Newton	k = 0.23319	0.90100	0.32722
	Page	k = 0.03485, n = 2.18809	0.98407	0.31537
	Modified Page	k = 0.03937, n = 2.18918	0.98202	0.31545
	Henderson and Pabis	k = 0.08192, a = 2.21759	0.96306	0.31749
	Wang and Singh	a = 2.19160, b = 0.27252	0.87565	0.31562
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานมีการอบแห้งรังสีดวง อาทิตย์ร้อยละ 50	Newton	k = 0.05760	0.96642	0.27923
	Page	k = 0.00821, n = 1.67390	0.99509	0.27584
	Modified Page	k = 0.00852, n = 1.67381	0.99491	0.27583
	Henderson and Pabis	k = 0.06063, a = 1.71775	0.96471	0.27943
	Wang and Singh	a = 1.87090, b = 0.39149	0.790748	0.29162
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานมีการอบแห้งรังสีดวง อาทิตย์ร้อยละ 60	Newton	k = 0.05588	0.96708	0.27779
	Page	k = 0.00908, n = 1.65860	0.99453	0.27457
	Modified Page	k = 0.00941, n = 1.65854	0.99433	0.27457
	Henderson and Pabis	k = 0.06662, a = 1.70648	0.960958	0.27851
	Wang and Singh	a = 1.86400, b = 0.40122	0.784755	0.29108

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

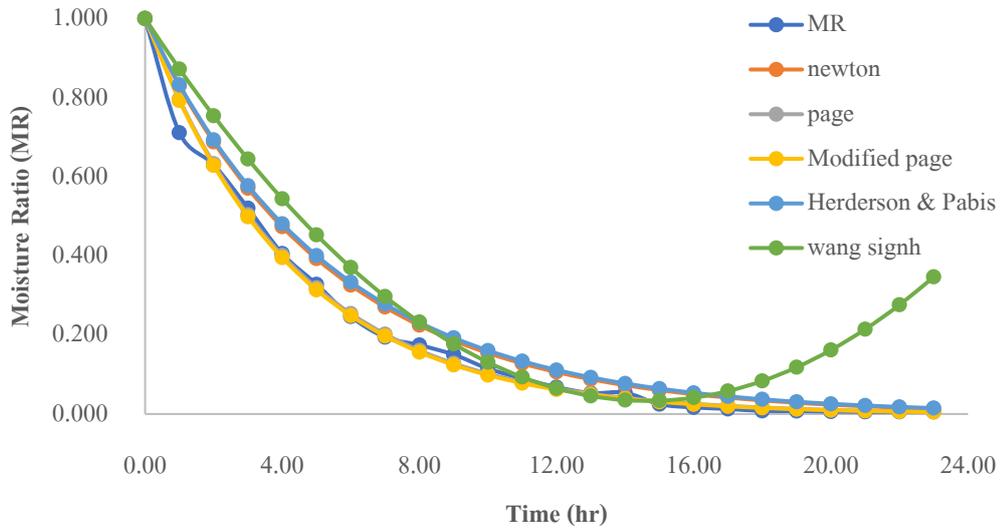
รายการ	แบบจำลอง	ค่าคงที่ของสมการ	R ²	RSME
คู่มือแห่งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานมีการบังคับแสงอาทิตย์รังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 70	Newton	k = 0.05608	0.96690	0.27753
	Page	k = 0.00924, n = 0.16554	0.99442	0.27432
	Modified Page	k = 0.00955, n = 1.65541	0.99423	0.27431
	Henderson and Pabis	k = 0.06765, a = 1.70398	0.96030	0.27830
	Wang and Singh	a = 1.86217, b = 0.40270	0.78671	0.27094
คู่มือแห่งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานมีการบังคับแสงอาทิตย์รังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 80	Newton	k = 0.05587	0.98568	0.42106
	Page	k = 0.00906, n = 1.65879	0.99454	0.27459
	Modified Page	k = 0.00940, n = 1.65873	0.99433	0.27459
	Henderson and Pabis	k = 0.06656, a = 1.70663	0.96100	0.27852
	Wang and Singh	a = 1.86411, b = 0.40112	0.78482	0.29109



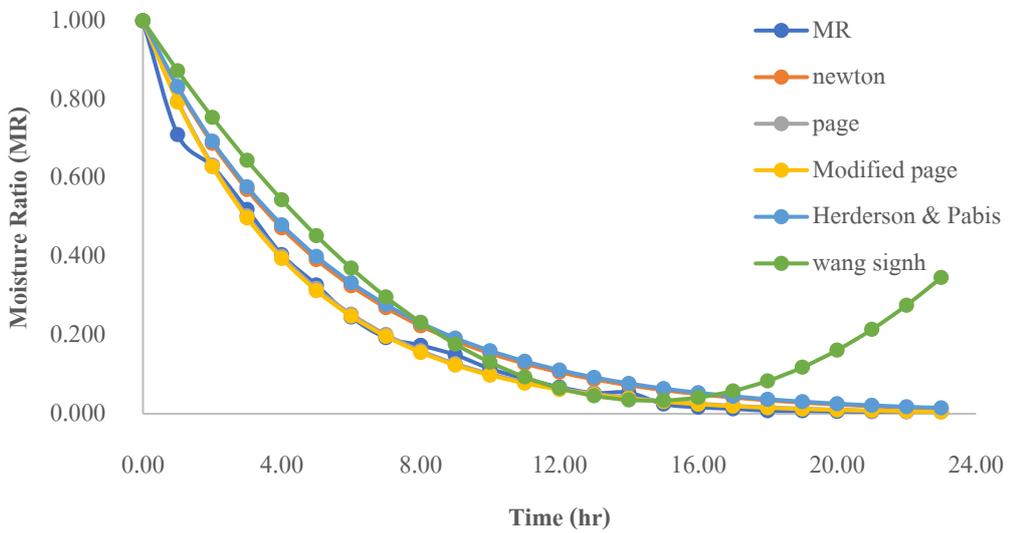
ภาพที่ 4.8 แบบจำลองคณิตศาสตร์กับอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่ไม่มีกรบดบัง



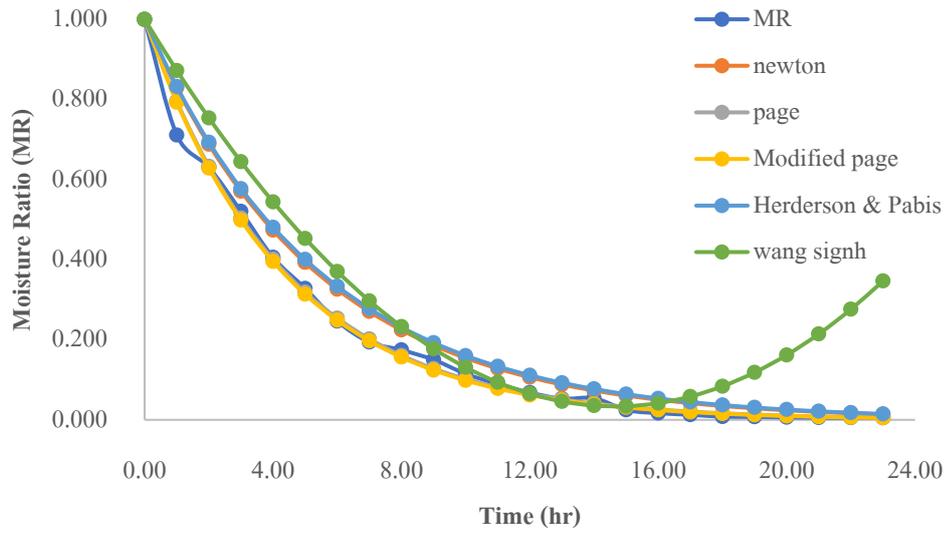
ภาพที่ 4.9 แบบจำลองคณิตศาสตร์กับอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 50



ภาพที่ 4.10 แบบจำลองคณิตศาสตร์กับอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 60



ภาพที่ 4.11 แบบจำลองคณิตศาสตร์กับอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 70



ภาพที่ 4.12 แบบจำลองคณิตศาสตร์กับอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 80



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเป็นการศึกษาโดยใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อน พร้อมมีการเพิ่มเงื่อนไขการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ในระหว่างการอบแห้ง ผลการทดลองที่ได้ถูกนำไปใช้สร้างสมการจลนพลศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

สรุปผล

การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

สมการการทำนายความชื้นอาศัยหลักการทางสถิติสัมประสิทธิ์กำลังสองได้สมการกำลังสองแบบแปรผกผันและมีพจน์ค่าคงที่เท่ากับ 15 สมการที่ได้มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 และค่า F-value 4.99 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การศึกษาแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาในการอบแห้งอะโวคาโดส่งผลกระทบต่อเชิงเส้น (linear) (p-value 0.001, F-value 4.99) ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ เวลา และความเร็วมเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม (Interaction) (p-value 0.0013, F-value 7.85) นอกจากนั้นความหนาของเนื้ออะโวคาโด (p-value 0.002, F-value 13.71) และความเร็วม (p-value 0.002, F-value 13.40) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลตัวแปรกำลังสอง (Quadratic) เงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งอะโวคาโดเนื้ออะโวคาโด 1 เซนติเมตร จากอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ด้วยความเร็วม 0.2 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะได้ค่าความชื้นจากการทำนายอยู่ที่ร้อยละ 19 มาตรฐานแห้ง แต่จากการทดลองตามสภาพจริงด้วยตู้อบลมร้อนโดยใช้เนื้ออะโวคาโดมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 500.32 มาตรฐานแห้ง และได้ความชื้นหลังการอบแห้งร้อยละ 3.2 มาตรฐานแห้ง ซึ่งได้น้อยกว่าการทำนาย เนื้อแห้งอะโวคาโดแห้งที่ได้มีค่าปริมาณร้อยละ 22.28 ปริมาณน้ำอิสระ 0.58 สีของเนื้ออะโวคาโดแห้งจะเป็นสีแดงแกมเหลือง และมีความสว่างหลังจากนั้นนำเนื้อแห้งมาสกัดน้ำมันผลที่ได้คือ ปริมาณร้อยละที่ 28.57 กรดไขมันอิสระ 0.61 และปริมาณน้ำอิสระ 0.54 สีแดงแกมเหลือง

การประยุกต์ใช้เงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมกับการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ดัดแปลงโดยติดตั้งหลอดไฟเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง มีพัดลมระบายอากาศติดตั้งที่มีความเร็วลม 1.8 เมตรต่อวินาที ซึ่งมากกว่าเงื่อนไขที่เหมาะสม และเพิ่มการบังคับของรังสีดวงอาทิตย์โดยการใช้ตาข่ายรังสีดวงอาทิตย์ที่ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 และไม่มีการบังคับของรังสีดวงอาทิตย์

เงื่อนไขที่เหมาะสมของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยใช้ตาข่ายคลุมบังคับรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 50, 60, 70 และ 80 โดยพิจารณาจากการอัตราการอบแห้ง และเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดที่พิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์การอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบังคับรังสีดวงอาทิตย์ร้อยละ 80 เนื่องจากสามารถลดความชื้นเนื้ออะโวคาโดเหลือร้อยละ 3.1 มาตรฐานแห้ง เนื้ออะโวคาโดแห้งมีปริมาณน้ำอิสระที่ 0.56 สีของเนื้ออะโวคาโดแห้งสีแดงแกมเหลืองมีค่าความสว่างมากที่สุด เมื่อนำมาสกัดน้ำมันอะโวคาโดจะได้ค่าปริมาณน้ำอิสระที่ 0.62 และมีค่ากรดไขมันอิสระที่ 0.57 และมีสีของน้ำมันอะโวคาโดมีสีแดงแกมเหลือง แต่มีค่าความสว่างน้อย

จลนพลศาสตร์สำหรับการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ผลการหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการทำนายอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยไม่มีการบังคับและบังคับรังสีดวงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนความชื้นเข้าใกล้ 0 เมื่อใช้เวลากอบแห้งประมาณ 22 ชั่วโมง ซึ่งแบบจำลองจลนพลศาสตร์การอบแห้งของ Page เหมาะสมที่สุดในการทำนายการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยไม่มีการบังคับและบังคับรังสีดวงอาทิตย์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาฤดูกาลในการอบแห้งอะโวคาโดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากแต่ละฤดูกาลแต่มีค่าความชื้น และค่าอุณหภูมิที่ต่างกัน
2. ควรศึกษาเทคนิคในการสกัดน้ำมันอะโวคาโด เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีผลต่อคุณภาพ และสีของน้ำมันอะโวคาโด

บรรณานุกรม

- กิตติ สถาพรประสาธน์ และ โพธิ์ทอง ปราณิพลกรัง. (2560). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเจ็ตสเปาต์เต็คเบด. *วิศวกรรมศาสตร์*, 34(4), 22-29.
- กิตติ สถาพรประสาธน์ และ โพธิ์ทอง ปราณิพลกรัง. (2565). แบบจำลองของการอบแห้งจิ้งหรีดด้วยเครื่องแบบสเปาต์เต็คฟลูอิดเบด. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 14(1), 1-14.
- กัญเกียรติ อัคระวิริยะสุข. (2565). การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ความชื้นในวัตถุดิบอาหารสัตว์โดยวิธีใช้ตู้อบแห้งลมร้อนและเครื่องวิเคราะห์ความชื้น. *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ขวัญทัย ทะนงจิตร. (2566). *คู่มือการปลูกอะโวคาโดอย่างมืออาชีพ*. สถาบันวิจัยปากช่อง ภาคพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จตุรงค์ ลังกาพิชญ์, สุนัน ปาสาคร และอรวิทย์ อุปถัมภานนท์. (2566). ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการอบแห้งต่อปริมาณสารเบต้าแคโรทีนและสมบัติทางกายภาพของผลผลิตกัณฑ์มะขงชิด ออสโมซิส. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 28(3), 2034-2053.
- จิตรา กลิ่นหอม, จริญญา พันธุ์รักษา และนิรมล อุดมอ่าง. (2548). ส่วนประกอบทางเคมีและคุณลักษณะทางกายภาพของผลอะโวคาโดที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่. *วารสารเกษตร*, 21(2), 117-125.
- จิตรา สิงห์ทอง. (2563). การศึกษาการสกัดที่เหมาะสมและสมบัติทางเคมีกายภาพของสารสกัดหมากจอบ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 22(2), 1-10.
- จารุวัฒน์ เจริญจิต. (2555). เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ และแนวทางพัฒนา. *วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 17(1), 110-124.
- จิระนิล แจ่มเกิด. (2561). *คู่มือการเก็บเกี่ยวผลอะโวคาโดบนพื้นที่สูง*. เชียงใหม่: วนิศาการพิมพ์.
- จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, ปวีณา สมเสาร์, อาทิตยา มาอินแก้ว และอดิศักดิ์ ปัตติยะ. (2562). เทคนิคการสกัดน้ำมันและการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดกระบก. *RMUTP Research Journal*, 13(1), 149-157.

- จุฑารัตน์ ทะสระระ, สุภวรรณ ภูริระวิชย์กุล และยุทธนา ภูริระวิชย์กุล. (2556). จลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาข้าวสารด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด. *รายงานประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ*, 14, 531-537.
- ชญาณิช รัตนมงคล, ชนรัตน์ นิตส์นวิจิตร, พิสุทธิ กลิ่นขจร, หยาดฝน ทนงการกิจ และสมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ. (2561). จลนพลศาสตร์การอบแห้งมะม่วงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. *ในประชุมวิชาการ เรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ*, 17, 140-147.
- ชนิรัตน์ ผึ้งบรรหาร, กฤษณา เกตุคำ, การันต์ ผึ้งบรรหาร และนิรุต ชันตรี. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมแต่งหน้าเค้กเพื่อสุขภาพ. *RMUTSB ACADEMIC JOURNAL*, 9(1), 38-51.
- เชาว์ อินทร์ประสิทธิ์ และเบญจพร ทุมโคตร. (2560). การศึกษาเพื่อหาลักษณะของทางออกกากที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันรำข้าวโดยใช้เครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรู. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 6(1), 32-47.
- ฉลองชัย แบบประเสริฐ, วิรัตน์ ปราบทุกข์, บรรจง ปานดี, พิสิษฐ์ เชียงตอง, ชินพันธุ์ ชนารุจ, รั้งสรรค์ เครือคำ และนิกร บัวปอนด์. (2544). การศึกษาวิธีการผลิตต้นกล้าและวิธีการเปลี่ยนพันธุ์อะโวคาโด. *รายงานประจำปี มูลนิธิโครงการหลวง. มูลนิธิโครงการหลวง.*
- ฉลองชัย แบบประเสริฐ, ประพันธ์ มาลาศรี, สมกิต อุดรเกียนต์, ศภาคย์ ยังอยู่ดี และสืบศักดิ์ นวจินดา. (2545). *การพัฒนาพันธุ์อะโวคาโดเพื่อการค้าและอุตสาหกรรม มูลนิธิโครงการหลวง. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). รายงานการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6 .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.*
- ฉลองชัย แบบประเสริฐ, ณรงค์ชัย พิพัฒน์ชนวงษ์, วิรัตน์ ปราบทุกข์, สราวุธ ศรีวรรณ, บรรจง ปานดี, ผาสุก เชียงตอง, สานิตย์ นิพาธ, กนกธร วงศ์กิติ, อัจฉรา ภาวสุทธิ, รั้งสรรค์ เครือคำ, กุลทีนิ ผิวนิล, กัณหา ไชยประสพ และสาวิตรี ทิววงศ์. (2549). *การเก็บเกี่ยวและมาตรฐานคุณภาพผลไม้ มูลนิธิโครงการหลวง. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน).*
- ฐิติพรรณ นิมสุข. (2560). การสกัดน้ำมันอะโวคาโดและการสร้างมูลค่าเพิ่มจากผลอะโวคาโด *Extracting Avocado Oli and Creating Value Added from Avocado. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นอนุสิทธิบัตร.*
- ณัฐภัค อิ่มเอิบ และกิตติศักดิ์ วิธินันท์กิตติ. (2564). การศึกษาจลนพลศาสตร์และคุณภาพขึ้นกัด้วยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. *Srinakharinwirot University Engineering Journal*, 16(3), 24-36.

- ณัฐพล กระจ่าง. (2560). การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด. [วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- คนัย บุญเกียรติ. (2562). การประเมินดัชนีเก็บเกี่ยวและคุณภาพการเก็บเกี่ยวของผลอะโวคาโดด้วยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. รายงานประจำปี มูลนิธิโครงการหลวง. มูลนิธิโครงการหลวง.
- นรินทร์ เจริญพันธ์ และรัชณี พุทธา. (2563). ผลของการที่แตกต่างต่อการชะลอการเกิดสีน้ำตาลของ แก่นตะวันสดตัดแต่งพร้อมบริโกล. *Thai Science and Technology Journal*, 28, 466-479.
- นิตยา จันกา และชัยวัฒน์ รัตนมีชัยสกุล. (2558). การทำนายปริมาณกรดไขมันอิสระของข้าวกล้องอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง. *วารสารวิจัยสหวิทยาการไทย*, 10(3), 24-30.
- บุญมั่น แสงสุชีลักษณ์. (2558). แบบจำลองการอบแห้งสับปะรดด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน. รายงานการวิจัยประจำปี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- บุญสม เหลี้ยวเรืองรัตน์, นลองชัย แบบประเสริฐ, ศิริวรรณ สุทธิจิตต์, ไมตรี สุทธิจิตต์ และสายสุนีย์ เหลี้ยวเรืองรัตน์. (2549). การเตรียมน้ำมันจากผลอะโวคาโด การวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำมัน และการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพและเครื่องสำอาง. เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน).
- ปรกรณ์เกียรติ ภูทองพลอย. (2560). ผลของการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนต่อพฤติกรรมการอบแห้งอุณหภูมิสีการหดตัวและการเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะ. *Journal of Science & Technology MSU*, 36(6), 661-667.
- ปริญญญา จิยพงศ์ และจันทร์ฉาย ยศศักดิ์ศรี. (2561). การพัฒนาคุณภาพน้ำมันปาล์มสำหรับการทอดอาหารโดยใช้สารสกัดจากสมุนไพร. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์กรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 7(7), 95-103.
- ประวิทย์ สันติวัฒนา และธิดา สิริสุขพรชัย. (2559). ผลการใช้แป้งรำข้าวที่ผ่านการสกัดน้ำมันทดแทนเนื้อในผลิตภัณฑ์หมูปอดทอดและคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 24, 432-422.
- ปิยวรรณ สิมะไพศาล, หทัยรัตน์ ริมศิริ และวิชัย หุทัยชนาสันต์. (2544). การสกัดน้ำมันอะโวคาโดเพื่อใช้ในครีมบำรุง. *รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 39(1), 434-440.

- ปิลันธสุทธิ สุวรรณเลิศ. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กะทิอัดเม็ดผสมสตรอว์เบอร์รี่ผง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่).
- ปิลันธสุทธิ สุวรรณเลิศ, นริศรา วังมะนาว, วีระศักดิ์ สมยานะ และนักสิทธิ์ ปัญญาใหญ่. (2565). การออกแบบการทดลองแบบผสมผลไม้มั้ในข้าวพองอัดแท่งเพื่อเป็นอาหารสุขภาพในอาเซียน. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 40(1), 48-57.
- ปรีชา ศรีประภาคาร. (2560). การจัดการพลังงานชุมชนโดยบูรณาการหน่วยงานรัฐและการส่งเสริมพลังงานหมุนเวียนตัวอย่างการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จังหวัดมหาสารคาม. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม Journals of Innovative Technology Research*, 1(1), 109–117.
- ปองพล สุริยะกันทร และฤทธิชัย อัสวราชันย์. (2555). แบบจำลองการอบแห้งใบกะเพราด้วยคลื่นไมโครเวฟ. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 18(1), 59-68.
- ภักดี สิทธิฤทธิกัน. (2562). การศึกษาเจลนพลศาสตร์และคุณภาพฟักทองอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับลมร้อน. *Kasem Bandit Engineering Journal*, 9(3), 121-140.
- ภักวินต์ วัฒนพัฒนากุล. (2558). *แผนธุรกิจไอศกรีมอะโวคาโด ตราสินค้า Avocado ice cream factory = Business plan for avocado ice cream factory*. (สารนิพนธ์ปริญญาการจัดการมหาบัณฑิต), วิทยาลัยการจัดการ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- มาหามะสุโฮมิ มะแซ, พิษญา พิศสุวรรณ และพีรวัส คงสง. (2564). การต้านรังสีของฟ้าไหมย้อมใบมันสำปะหลัง. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.*, 14(3), 144-149.
- มูลนิธิโครงการหลวง. (2559). รายงานผลการพัฒนามูลนิธิโครงการหลวง ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558. มูลนิธิโครงการหลวง.
- ฤทธิชัย อัสวราชันย์, ฉัตรชนก คงสิทธิ์ และดวงพร อมรเลิศพิศาล. (2555). คุณลักษณะการอบแห้งของสารละลายด้วยคลื่นไมโครเวฟ. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 18(1), 8–14.
- ฤทธิชัย อัสวราชันย์. (2559). การศึกษาและการทดลองเจลนพลศาสตร์การอบแห้งของวัสดุอาหาร. *Rajabhat Journal of Sciences, Humanities & Social Sciences*, 14(2), 13–22.
- วิษณีย์ ยืนยงพุทธกาล, สุวรรณา วรสิงห์ และพรนภา น้อยพันธ์. (2558). การเพิ่มมูลค่าสำหรับผักกาดทะเลโดยเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (มหาวิทยาลัยบูรพา).
- วรรณพิชญ์ จุลกัลป์. (2562). เจลนพลศาสตร์การอบแห้งมะม่วงเบาด้วยวิธีอบแห้งสุญญากาศ. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 22(3), 358–373.

- วีระ ศรีอริยะกุล. (2564). การอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้โดยใช้การแผ่รังสีอินฟราเรดไกลรวมกับอากาศร้อน. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 17(3), 169-182.
- วีระเชษฐ์ จิตตาณิชย์. (2559). *กระบวนการทำแห้งอาหาร*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณัน ขยันการ, สาโรจน์ ปัญญามงคล, จินตนา จันทฤทธิ์, มณฑิรา วิจิตพรชัย และมาลินี ปัญญาโชควิมล. (2566). การเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันอะโวคาโดด้วยตัวทำละลายกับการใช้เครื่องอัดบีบ. *Journal of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University*, 3(2), 47-56.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. (2558). รายงาน โครงการวิจัยเชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างประสิทธิภาพการผลิตอะโวคาโดบนพื้นที่สูง. สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน).
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. (2561). รายงาน โครงการวิจัยเชิงบูรณาการเพื่อเสริมสร้างประสิทธิภาพการผลิตและการตลาดของอะโวคาโดบนพื้นที่สูง. สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน).
- สันติ ขำตรี, กฤษณา พวงสุวรรณ, รอยหทัย แก้วใหม่, และณรงค์ศักดิ์ สีขาว. (2565). จลนพลศาสตร์การอบแห้งของไม้ยางพาราผ่านคลื่นไมโครเวฟ. *Journal of Engineering and Innovation*, 15(4), 192-202.
- สุนทร สืบคำ และฤทธิชัย อัคราพันธ์. (2554). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งสำหรับวัสดุพรม. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*, 17(1), 59-68.
- สุพิชญา คำคม และรัชญา หงส์ทอง. (2564). ผลของการทดแทนไขมันบางส่วนด้วยเนื้ออะโวคาโดในผลิตภัณฑ์ในน้ำสลดเพื่อสุขภาพ. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยองค์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 16(3), 81-92.
- สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล, สากิณา ลาแม่ปะ และยุทธนา ฐิระวณิชกุล. (2555). การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟและลมร้อน: จลนพลศาสตร์คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 17(1), 117-129.
- สุวิทย์ แพงกันยา, อติศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณธรรมธิ. (2564). การผลิตเค้กเค็มใหม่การอบแห้งโดยการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 26(3), 1476-1489.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547ก). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องน้ำมันงา มพช. 669/2547.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547ข). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องน้ำมันมะพร้าว มพช. 670/2547.

- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2558ก). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องผัก ผลไม้แห้ง มพช. 136/2558.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2533). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมัน สำหรับบริโภค. มอก. 47-2533. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สิริกาญจน์ ชนบุรณ์ร้องคำ, พิทยา ใจคำ, เกตุการ ดาจันทา, และอุทัยวรรณ นัตรชง. (2566). การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเสริมสารสกัดด้วยสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึม ภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 28(1), 456-475.
- สมชาติ โสภณธณฤทธิ. (2540). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศรัณย์ เพชรชูช่วย, ฐานันดรศักดิ์ เทพญา, ชยุต นันทสุต, และราม เข้มแสงสังข์, (2559). การเปรียบเทียบคุณลักษณะการแห้งของกล้วยหอยด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาด. *Engineering transactions*, 19(2), 121-135.
- ศรายุทธ เม่าพี. (2564). *ตู้อบแห้งพริกชี้ฟ้าอัดโนมัตด้วยรังสีอินฟราเรด*. [วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศศิกานต์ ปานปรานณีเจริญ, เสาวภา ชุมณี, วิไลพร ปองเพียร, รุจิรา คุ่มทรัพย์, และนันท์ภักษ์ รอดเกตุ. (2561). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์. *Journal of science & Technology Phetchabun Rajabhat University*, 3(1), 1-12.
- ศิริ ดวงพร, อภิรักษ์ ลอยแก้ว, ปริญา พันธุ์พรหม และภากร ไทยพิทักษ์, (2562). การอบแห้งกล้วยหอมทองด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรด. *วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี*, 16, 12-24.
- ศิริชัย ศิริชนะ, อภินันต์ นามเขต, อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, ประพันธ์พงษ์ สมศิลา, และทรงสุภา พุ่มชุมพล. (2565). การเพิ่มสรณะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, 4(2), 187-205.
- ศิริวรรณ อาจบำรุง. (2562). *ตู้อบแห้งพลังงานอาทิตย์ประสิทธิภาพสูง*. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- ศรีมา แจ้คำ และกิตติศักดิ์ วิธินันท์กิตต์. (2562). จลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยเทคนิคไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 9(3), 201-217.

- ศรีมา แจ้คำ, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์, และเอกภูมิ บุญธรรม. (2564). การอบแห้งใบมะกรูดด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดไกล. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 16(1), 59–70.
- อภิชาติ ศรีสอาด และสุภวรรณ ใจแสน. (2559). *คู่มือการเพาะปลูกพืชและผลไม้ที่สูงในไทย*. บริษัท นาคา อินเทอร์เน็ตมีเดีย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- อภิเดช พงษ์ประจักษ์, นวพัชร ใจเพชร, เรืองฤทธิ์ ทองทา, และพรพาศน์ เชิดชู. (2565). ผลของการทดแทนไขมันบางส่วนด้วยเนื้ออะโวคาโดต่อคุณสมบัติทางกายภาพและแนวทางการประสาทสัมผัสของคุกกี้เนย. *Journal of Home Economics Technology and Innovation*, 1(2), 77-86.
- อธิยา คงเซ็น, รัตนชัย ไพรินทร์, เก้ากัญญา สุดประเสริฐ, และวารุณี ลิ้มมัน. (2557). การศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์ในขณะการเก็บรักษา. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 45(2) พิเศษ, 261-264.
- อัจฉรา แซ่ไคว้, สุภวรรณ ภูริระวิชย์กุล, และยุทธนา ภูริระวิชย์กุล. (2555). ปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพาและรังสีความร้อนที่มีต่ออุณหภูมิและคุณภาพของพริกไทยดำ. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 2552(2), 160-180.
- อัจฉรา ภาวสุทธิ์, จิระนิล แจ่มเกิด, สุภาวดี ศรีวงศ์เพ็ชร, คมสันต์ อุดมา, และประเสริฐ จอมดวง. (2561). การศึกษาดัชนีเกี่ยวกับผลอะโวคาโดพันธุ์ Pinkerton. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 48(3) พิเศษ, 153-156.
- อัจฉรา คลวิทยาคุณ, พรนันทน์ อัสวมงคลศิริ, และพรทิพย์ ไชยวานาเลิศ. (2565). การใช้ความหวานแทนน้ำตาลในพุดดิ้งนมข้าวโพดเสริมอะโวคาโด. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา*, 7(2), 33-42.
- อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ, สุวิธสา พงษ์อำไพ, และสุภาภรณ์ คี๊กกกลาส. (2550). *เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของชาเขียวใบหม่อน (เพื่อการส่งออก): รายงานฉบับสมบูรณ์การวิจัย*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฮาซัน นะฮิเต็ง, มูฮัมหมัด สุระกำแหง, นูรอฮุดดา สะมาแอ, ฮาหยาด โต๊ะเส็น, ลุดฟี ลีโอนิ และอีลีหะซะ สนิโซ. (2560). แบบจำลองอุณหภูมิการอบแห้งปลาหมึกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. *ในการประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ และนวัตกรรมระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย*, 2, 264-271.

- ฮาติมมี บากา, รอกีเยาะ อาแว, ชุลกีพลี กาชอ และสุนิตย์ โจรจนสุวรรณ. (2559). การศึกษาประสิทธิภาพ การอบแห้งของปลาช่อนด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้า. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร.*, 1(1), 13–24.
- Acharyaviriya, S., Acharyaviriya, A., & Ketwijitchai, T. (2019). Drying Kinetics Equations of Persimmons Fruits. *Journal of Engineering, RMUTT*, 2, 151–162
- A.G. Gopalakrishna, J.V. Prabhakar. (1983). Effect of water activity on autoxidation of raw peanut oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 60(5), 968. <https://doi.org/10.1007/BF02660209>
- Anbessie, A., Siraj, K., & Kitte, S. A. (2013). Kinetics of Ascorbic Acid Degradation in Avocado Fruit (*Persea americana*) Under Different Storage Temperatures by Cyclic Voltammetry. *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 5 (1 2) , 1 3 1 2 - 1 3 1 5 . <https://doi.org/10.1166/asem.2013.1429>
- Aktar, T., & Adal, E. (2019). Determining the Arrhenius kinetics of avocado oil: Oxidative stability under rancimat test conditions. *Foods*, 8(7), 236-249. <https://doi.org/10.3390/foods8070236>
- Assavarachan, R., Upara, U., Tantikul, S., & Unhapipatpong, P. (2016). Drying Kinetics of Peeled Longan using Single-Stage and Multi-Stage Temperature. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 22(2), 30–40.
- Assawarachan, R. (2013). Microwave drying kinetics of spirogyra sp. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*, 19(1), 59-67.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1995). *Official methods of analysis of analysis of Association of Official Analytical Chemists. 16th ed.*, Association of Official Analytical Chemists Internation. Washington. 1401.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2000). *Official Methods of Analysis*, 17 th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, 2000.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). *Official methods of analysis. (18th edition). Washington, D.C.* Association of official analytical chemists.
- AOCS. American Oil Chemists' Society. (2009). *Official methods and recommended practices of the AOCS.*
- Blanco-Cano, L., Soria-Verdugo, A., Garcia-Gutierrez, L. M., & Ruiz-Rivas, U. (2016). Modeling the thin layer drying process of Granny Smith apples: Application in an indirect solar dryer. *Applied Thermal Engineering*, 108, 1086–1094. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.08.001>

- Bolaji, B. O., & Olalusi, A. P. (2008). Performance evaluation of a mixed-mode solar dryer. *AU Journal of Technology*, 11(4), 225-231.
- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion*. London: Oxford University Press.
- Inyang, U.
- Chaouch, W. B., Khellaf, A., Mediani, A., Slimani, M. E. A., Loumani, A., & Hamid, A. (2018). Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment. *Solar Energy*, 174, 328-341. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.09.037>
- Chimsook, T. (2017). Microwave assisted extraction of avocado oil from avocado skin and encapsulation using spray drying. In *Key Engineering Materials*, 737, 341-346. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.737.341>
- Chimsook, T., & Assawarachan, R. (2017). Effect of Drying Methods on Yield and Quality of the Avocado Oil. In *Key Engineering Materials*, 735, 127- 131. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.735.127>
- Corzzini, S. C., Barros, H. D., Grimaldi, R., & Cabral, F. A. (2017). Extraction of edible avocado oil using supercritical CO₂ and a CO₂/ethanol mixture as solvents. *Journal of food engineering*, 194, 40-45. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.09.004>
- Costagli, G., & Betti, M. (2015). Avocado oil extraction processes: method for cold-pressed high-quality edible oil production versus traditional production. *Journal of Agricultural Engineering*, 46(3), 115-122. <https://doi.org/10.4081/jae.2015.467>
- dos Santos, M. A., Alicieo, T. V., Pereira, C. M., Ramis Ramos, G., & Mendonça, C. R. (2014). Profile of bioactive compounds in avocado pulp oil: Influence of the drying processes and extraction methods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(1), 19-27.
- Fan Zhang, Xue-de Wang, Ke Li, Wen-ting Yin, Hua-min Liu, Xin-liang Zhu, Peng Hu. (2024). Characterization of flavourous sesame oil obtained from microwave sesame seed by subcritical propane extraction. *Food Chemistry*, 21, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101087>
- Ertekin, C., & Yaldiz, O. (2004). Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of food engineering*, 63(3), 349-359. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.08.007>
- Furlan, C. P. B., Valle, S. C., Östman, E., Maróstica Jr, M. R., & Tovar, J. (2017). Inclusion of Hass avocado-oil improves postprandial metabolic responses to a hypercaloric hyperlipidic meal in

- overweight subjects. *Journal of functional foods*, 38, 349-354. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.09.019>
- Goncalves, D., Gouveia, C., Ferreira, M. J., Ganança, J. F., Pinto, D. C., & de Carvalho, M. A. P. (2024). Comparative analysis of antioxidant and fatty acid composition in avocado (*Persea americana* Mill). fruits: Exploring regional and commercial varieties. *Food Chemistry*, 138403. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138403>
- Hennessey-Ramos, L., Murillo-Arango, W., & Guayabo, G. T. (2019). Evaluation of a colorant and oil extracted from avocado waste as functional components of a liquid soap formulation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(2), 8855-8862
- Izli, N., Izli, G., & Taskin, O. (2017). Drying kinetics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity properties of kiwi dried by different methods. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(1), 64–74. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9372-6>
- Junlakan, W. (2014). *Effect drying kinetics on the quality of vacuum-dried banana, pineapple, and apple slices*. Doctoral dissertation, Prince of Songkhla University.
- Krumreich, F. D., Borges, C. D., Mendonça, C. R. B., Jansen-Alves, C., & Zambiasi, R. C. (2018). Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. *Food Chemistry*, 257, 376-381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.048>
- Lee, G., & Hsieh, F. (2008). Thin-layer drying kinetics of strawberry fruit leather. *Transactions of the ASABE*, 51(5), 1699-1705. <https://doi.org/10.13031/2013.25292>
- Leticia Ferraresi Hidalgo, L.F, Marina Nascimento Candido, Karina Nishioka, José Teixeira Freire, Gustavo Nakamura Alves Vieira. (2021). Natural and forced air convection operation in a direct solar dryer assisted photovoltaic module for drying of green onion. *Solar Energy*, 220, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.02.061>
- Li, Y., Liu, Y., Deng, D., Liang, J., Chen, W., Chen, X., & Li, J. (2019). Study on extracting avocado oil from avocado pulp by aqueous extraction. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 330(4), 042027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315-330/4/042027>
- Lopez-Vega, L. A., Gil-Cortez, J. M., Sierra-Sarmiento, M. A., & Hoyos-Leyva, J. D. (2021). Hass avocado oil extraction: In the way of malaxation process optimization. *LWT*, 152, 112312. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112312>

- M.R. Avhad, J.M. Marchetti. (2016). Mathematical modelling of the drying kinetics of Hass Avocado seeds. *Industrial Crops and Products*, 91, 76-87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.035>
- Maria del Carmen Razola-Diaz, Eduardo Jesus Guerra-Hernandez, Ana Maria Gomez-Caravaca, Belen Garcia-Villanova & Vito Verarda. (2023). Mathematical modelling of drying kinetics of avocado peels and its influence on flavan-3-ols content and antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 176, 114552. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114552>
- Martínez-Padilla, L. P., Franke, L., Xu, X. Q., & Juliano, P. (2018). Improved extraction of avocado oil by application of sono-physical processes. *Ultrasonics sonochemistry*, 40, 720-726. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114552>
- Mohammad Afzal Hossain, Sudipta Talukder, Aftab Uz Zaman, Animesh Sarkar, Md Yasin, Rahul Biswas. (2024). Effective drying processes for Tailor (*Garcinia pedunculata* Roxb.) fruit by ultrasound-assisted osmotic pretreatment: Analysis of quality and kinetic models. *Ultrasonics Sonochemistry*, 103, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106784>
- Mujaffar S, Alex L. (2016). The Rehydration Behavior of Microwave-Dried Amaranth (*Amaranthus Dubius*) Leaves. *Food Science & Nutrition*, 46(4), 102-111. <https://doi.org/10.1002/fsn3.406>
- Nazmi, I., Gokcen, I. and Onur, T. (2017). Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. *Food Science and Technology*, 37, 604-612.
- Oboh, I. O., & Etuk, B. R. (2018). Kinetic models for drying techniques-food materials. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 8(2), 27-48. <https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003>
- Page, G. 1949. *Factor influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layers*. MS Thesis (unpublished), Purdue University.
- Pangavhane, D.R., Sawhney, R. L., & Saravadia, P.N. (2002). Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. *Energy*, 27(6), 579-590. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00005-1)
- Park, R., Saleh, D., Vitry, C., & Wang, L. (2015). *Exploration of avocado oil extraction methods and potential in rural Tanzania*. Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139.

- Paul, A. A., & Adewale, F. J. (2018). Data on optimization of production parameters on Persea Americana (Avocado) plant oil biodiesel yield and quality. *Data in brief*, 20, 855-863. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.08.064>
- Praneetpolkrang, P., & Sathapornprasath, K. (2021). Thin layer drying model of Jackfruit using artificial neural network in a far infrared dryer. *Engineering and Applied Science Research*, 48(2), 181-189. <https://doi.org/10.14556/casr.2021.20>
- Rahman, M. S. and Al-Belushi, R. H. (2006). Dynamic isopiestic method (DIM): Measuring moisture sorption of freeze-dried garlic powder and other potential use of DIN. *Int. J. of food prop*, 9(3), 421-437. <https://doi.org/10.1080/10942910600596134>
- Shaun Thamsanqa Mgoma, Moses Basitere, Vusi Vincent Mshayisa. (2021). Kinetics and thermodynamics of oil extraction from South African Hass avocados using hexane as a solvent. *South African Journal of Chemical Engineering*, 37, 244-251. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.06.007>
- Sutheimer, S., Caster, J.M., & Smith, S.H. (2015). Green soap: An Extraction and Saponification of Avocado Oil. *Journal of Chemical Education*, 92(10), 1763-7165. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00188>
- Talbachew Tadesse Nadew, Ali Shemsedin Reshad and Tsegaye Sissay Tedla. (2024). Oyster mushroom drying in tray dryer: Parameter optimization using response surface methodology, drying kinetics, and characterization. *Heliyon*, 10, e24623. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24623>
- Tasić, J. R., Gojak, M., Cuprić, N. L., & Božović, M. R. (2018). Active solar dryer for biological materials. *FME Transactions*, 46(4), 537-543.
- Tsami, E., & Katsioti, M. (2000). Drying kinetics for some fruits: Predicting of porosity and color during dehydration. *Drying Technology*, 18(7), 1559-1581. <https://doi.org/10.1080/07373930008917793>
- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J., & Hu, X. (2007). Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40(1), 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.07.017>
- Woolf, A. B., M. L. Arpaia, B. G. DeFlippi and J. P. Bower. (2020). *Controlled and Modified atmospheres for fresh-cut produce*. 389-397.

Yang, S., Hallett, I., Rebstock, R., Oh, H. E., Kam, R., Woolf, A. B., & Wong, M. (2018). Cellular changes in “Hass” avocado mesocarp during cold-pressed oil extraction. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 95(2), 229-238. <https://doi.org/10.1002/aocs.12019>





ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลความชื้น ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

ตารางที่ ก-1 การเก็บข้อมูลความชื้นมาตรฐานแห้งของตู้อบแห้งลมร้อน และตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

เวลา	Hot air oven	Shading 0%			Shading 50%			Shading 60%			Shading 70%			Shading 80%		
6	500.32	278.07	723.43	539.26	575.97	579.09	585.48	575.53	592.65	583.9	577.42	587.52	590.33	581.67	587.52	582.69
7	440.4	276.44	703.67	377.76	415.47	419.49	415.47	415.47	415.47	415.47	415.47	415.47	415.47	415.47	415.47	415.47
8	359.41	272.66	626.77	332.69	368.47	372.12	368.47	368.47	368.47	368.47	368.47	368.47	368.47	368.47	368.47	368.47
9	285.19	252.4	586.84	282.01	304.1	307.25	304.1	304.1	304.1	304.1	304.1	304.1	304.1	304.1	304.1	304.1
10	228.87	204.3	535.15	221.95	236.94	239.57	236.94	236.94	236.94	236.94	236.94	236.94	236.94	236.94	236.94	236.94
11	184.08	147.32	447.79	179.98	191.63	193.91	191.63	191.63	191.63	191.63	191.63	191.63	191.63	191.63	191.63	191.63
12	141.43	106.12	397.84	135.59	143.91	145.81	143.91	143.91	143.91	143.91	143.91	143.91	143.91	143.91	143.91	143.91
13	100.71	68.79	329.43	110.93	113.39	115.06	113.39	113.39	113.39	113.39	113.39	113.39	113.39	113.39	113.39	113.39
14	71.64	44.12	258.07	102.13	101.89	103.46	101.89	101.89	101.89	101.89	101.89	101.89	101.89	101.89	101.89	101.89
15	57.78	37.57	209.92	89.46	87.62	89.08	87.62	87.62	87.62	87.62	87.62	87.62	87.62	87.62	87.62	87.62
16	33.27	29.53	159.2	73.5	67.17	68.47	67.17	67.17	67.17	67.17	67.17	67.17	67.17	67.17	67.17	67.17

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

เวลา	Hot air oven	Shading 0%			Shading 50%			Shading 60%			Shading 70%			Shading 80%		
17	14.06	24.18	126.77	58.22	52.27	53.46	52.27	52.27	52.27	52.27	52.27	52.27	52.27	52.27	52.27	52.27
18	6.5	20.52	114.54	46.03	39.75	40.84	39.75	39.75	39.75	39.75	39.75	39.75	39.75	39.75	39.75	39.75
19	4.04	18.98	99.38	40.23	30.9	31.92	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9
6	3.2	18.98	99.38	38.78	31.53	32.55	31.53	31.53	31.53	31.53	31.53	31.53	31.53	31.53	31.53	31.53
7		15.6	77.65	15.38	14.46	15.35	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46	14.46
8		13.95	61.82	12.38	9.67	10.53	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67
9		12.17	45.07	8.99	7.45	8.28	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45	7.45
10		10.93	31.4	6.96	4.55	5.36	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55
11		9.31	21.63	6.87	4.4	5.21	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
12		8.08	14.49	6.29	3.63	4.43	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63
13		7.33	13.1	6.29	3.19	4	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19
14		6.3	9.04	6.09	3.09	3.9	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09	3.09
15		6.22	8.63	6	3.05	3.85	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05

ตารางที่ ก-2 การเก็บข้อมูลความเข้มแสงของตู้บ่มแห่งพลังงานแสงอาทิตย์ฟาราโบลาคอมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

เวลา	Shading 0%			Shading 50%			Shading 60%			Shading 70%			Shading 80%		
6	0	2.12	4.74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	25.56	29.76	36.15	0.95	138.55	153	0	100	105	100	101	125	105	105	116
8	82.48	69.38	82.48	118.5	183.26	508	111	153	121	170	123	185	303	303	325
9	460.57	97.17	460.57	426.6	182	721	630	710	172	815	171	765	736	736	425
10	834.24	447.93	1015.15	560.66	192	795	636	881	833	924	779	924	834	834	897
11	985.13	294.04	1300.34	789.92	825	971	998	909	964	952	797	952	931	931	944
12	1075.19	531.75	1301.13	924.3	812	216	1014	934	988	969	867	985	960	960	951
13	1156.56	65.01	1301.92	1453.6	907	294	1027	932	995	864	885	965	985	985	914
14	644.25	239.45	392.63	900.6	1020	600	1014	952	104	891	945	891	913	913	853
15	442.4	932.2	1107.58	102.07	1052	615	979	854	102	767	834	767	899	899	706
16	116.13	919.56	163.14	133.35	904	805	853	494	263	385	464	355	836	836	531
17	23.94	65.29	121.66	37.86	755	169	116	262	116	340	153	320	496	496	496
18	0	23.31	76.71	11.85	138.55	21.33	21.33	105	121	2.69	0	0	0	0	0
19	0	0	0.92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0.03	27.38	9.638	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	36.83	98.99	52.732	1.5	21.61	180	180	118.68	160	143	124	123	142	142	142
8	138.49	196.71	138.48	155.41	124	244	244	155.24	244	195	410	175	354	354	359

9	477	431.1	477.00	395.79	131	713	685	395.79	474	825	714	746	635	635	528
---	-----	-------	--------	--------	-----	-----	-----	--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

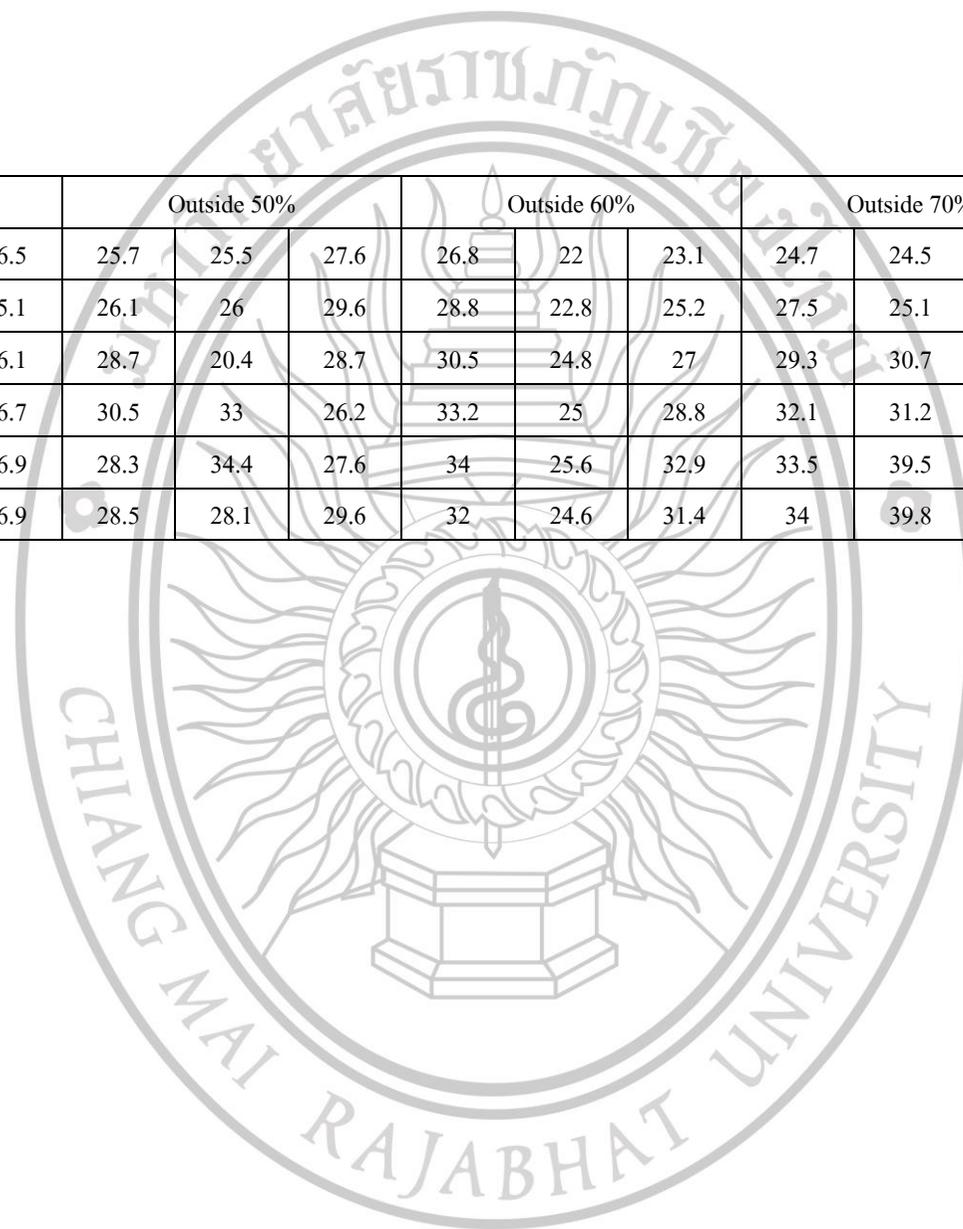
เวลา	Shading 0%			Shading 50%			Shading 60%			Shading 70%			Shading 80%		
10	633.9	857.15	873.42	423.52	737	564	705	621.78	821	973	945	973	849	849	712
11	928.25	984.34	985.13	697	816	995	951	550.63	905	1011	973	1020	907	907	716
12	1045.17	1215.02	1058.99	101	1035	972.12	972.12	972.12	1006	1051	1029	1045	946	946	860
13	948	399.66	919.56	199.87	1039	776.1	904	776.09	982	1100	1023	1103	932	932	668
14	890.33	63.44	932.67	718.9	979	584.6	901	709.82	943	983	992	993	948	948	829
15	611.38	273.66	634.37	292.3	570	673.08	714	808.57	897	981	940	981	880	880	650
16	316	175.46	399.66	568.8	568.8	606	508	530.88	681	452	681	420	666	666	352
17	100.33	119.84	139.35	19.77	0	175	0	0	110	325	110	315	420	420	250
18	15.16	13.56	11.96	9.48	0	0	0	0	15	11	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ก-3 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายนอกตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

เวลา	Outside 0%			Outside 50%			Outside 60%			Outside 70%			Outside 80%		
6	20.4	24	22.8	22	22.1	22.6	20	16	16	16	15.9	16	14	15	15
7	22.3	25	23.5	23	22.4	23.7	21.2	17	16	17	17	17	15	16.5	17.3
8	24.5	26	25.5	23	23.1	24.1	22.6	18	18	18.6	18	18.6	15.4	18.6	18.6
9	28.9	28	29	26	25	24.7	23.2	21	21.1	21.7	19	22.3	19.7	20.5	20.5
10	32.6	28	32.6	27.3	27	27.8	23.3	23.2	24.2	24.1	25.1	24.1	23.1	23.3	22.4
11	35.7	33	34.3	30.3	29.2	29.8	29.2	26.2	26.8	27.3	29.6	27.3	25	26.6	25.2
12	36.6	34.5	36.3	32.2	33.2	30.9	31.1	30.4	28.4	29.3	30.3	29.3	28	29.5	27.2
13	36.4	34	36.9	36.4	33.5	31.7	34.5	32.6	32.4	31.5	37.2	31.5	38.5	33	32.8
14	36.2	35.5	36.9	32.6	35.2	31.8	33.7	34.5	30.5	33.5	37.2	33.5	38.9	34.1	34.9
15	35.5	38.4	36.5	33.9	33.7	33.1	34.3	31.9	29.5	33.9	33.2	33.9	39	33.5	34
16	33.8	34	34	31.3	33.1	32.7	34.1	29.7	30.5	31	31.4	31	37.8	32.7	31.6
17	31.2	33.2	32.4	30.2	30.4	32	31.6	27.7	27.7	27.3	29	27.3	32.9	30.3	30.3
18	29.2	30.7	30.4	27.8	28	27	27.8	26.3	25.4	25	26.9	25	27.6	27	28.4
19	28.6	26	27.5	26.1	25.1	25.2	25.4	24.9	24	27	22.7	27	22.1	24.5	24.6
6	20.3	24	24	20	20	22.5	19.6	16.2	15.9	16.5	14.5	16.5	14	15	15
7	21.1	26.4	26.5	20	21.2	22	20.5	18.3	16.2	17.6	15.2	17.6	16.4	17.2	16.5
8	25.1	28.3	28.3	22	21.7	23	22.5	20.6	18.3	18.1	16.2	18.1	17.5	19.5	17.2
9	30.3	32.1	34.5	25.5	22.7	25	25.1	21.3	19.7	20.9	19.4	20.9	19.4	20.3	20.1

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

เวลา	Outside 0%			Outside 50%			Outside 60%			Outside 70%			Outside 80%		
10	32.7	35.4	36.5	25.7	25.5	27.6	26.8	22	23.1	24.7	24.5	24.7	23.8	21.6	22.7
11	35.6	36.4	35.1	26.1	26	29.6	28.8	22.8	25.2	27.5	25.1	27.5	26.5	23.2	26.4
12	36.1	38.1	36.1	28.7	20.4	28.7	30.5	24.8	27	29.3	30.7	29.3	30	23.6	30.2
13	36.2	38	36.7	30.5	33	26.2	33.2	25	28.8	32.1	31.2	32.1	33	26.3	31.1
14	37.8	35.4	36.9	28.3	34.4	27.6	34	25.6	32.9	33.5	39.5	33.5	34.3	27.3	34.1
15	37.5	33	36.9	28.5	28.1	29.6	32	24.6	31.4	34	39.8	34	37.5	29	30.3



ตารางที่ ก-4 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

เวลา	Inside 0%			Inside 50%			Inside 60%			Inside 70%			Inside 80%		
6	20	20.5	20	23.5	23.6	23.5	20.4	20.1	20.2	16.8	16.5	16.2	13.7	13.7	13.9
7	25.2	25.5	25.2	24.8	24	24.9	21.6	21.6	21.6	17.3	17.4	17.4	21.7	21.1	21.4
8	30.8	29.5	30.7	25.9	25.4	26	22.8	23.2	22.9	18.3	19.6	19.9	26.7	26.2	26.6
9	38.6	38.8	41.7	33	33.4	43.9	27.6	28.5	28.2	24.3	24.7	24.3	32	32.8	31.9
10	47.3	49.6	40.3	43.5	47.8	66.4	28.3	28.6	28.3	29.5	29.9	21.6	47.2	48.5	47.4
11	53.2	57.3	52.9	51.6	54.4	60.8	43.4	49.1	45.8	34	36	34	48.2	50.8	47.8
12	65.6	66.7	63.4	53.2	56.6	61	52.2	54.1	51.3	47.2	50	47	47.2	52.1	50.2
13	68.8	67.3	64.3	57.7	59.6	63.7	54.1	56.8	53.2	52.6	52.8	49.4	53.7	54.5	52.2
14	73.7	70.3	69.4	42	42.2	61.9	55.5	56.4	53.7	57.9	54	52.2	54.5	55.6	52.7
15	62.1	59.2	57.8	49.7	49.7	55.6	55.1	55.6	53.2	57.7	59.2	56	55.6	56.5	52.5
16	57.9	55.2	56.6	42.8	41.6	47.5	53.6	54.5	52.2	49.6	51	56.2	54.5	57.6	46.3
17	50.6	48.2	49.4	40.5	39.1	37.3	41.9	42.3	41.7	43.5	44.2	49.3	47.7	40.6	38
18	47.7	45.2	47.4	57.6	35.3	42.8	36.5	36.2	36	32.8	32.3	44.2	38.4	32.5	33
19	48.7	45.5	48.2	34	31.9	32.9	33.1	31.8	32	30.5	31.2	32.7	33.2	32.5	32.1
6	20.3	20.5	20.4	21.2	21.5	25.1	19.8	19.5	19.2	16.6	16.6	16.4	14.6	14.9	13.9
7	39.2	38.5	38.6	23.6	23.6	40.1	20.3	20.5	20.6	20.6	20.4	21.6	17.2	17.5	17.3
8	36.7	37.4	36.8	31.8	31.1	44.2	24.4	24.3	24	26.8	26.6	26.3	28.6	27.9	28.9
9	49.3	48.8	54	35.4	35.6	38.9	35.2	35.1	35	33.5	33.3	33.4	45	47	45

ตารางที่ ก-4 (ต่อ)

เวลา	Inside 0%			Inside 50%			Inside 60%			Inside 70%			Inside 80%		
10	58.5	60.2	61.9	39.6	38.2	39.2	41.2	44.1	41.8	46.5	48.2	45.8	48.6	51.8	48.4
11	58.1	60.2	58.6	39.7	38.6	58.2	46.5	49.5	47.2	55.9	57.1	55.4	53.2	56.8	52.7
12	57.7	59.4	57.2	58.1	59.4	53.2	50.2	54.7	50.2	56.9	59.2	56	55.5	58.4	54.4
13	59.3	60	57.8	52.9	53.5	41.4	54.6	56.6	53.2	57.6	57.5	55.6	56.3	58.6	54.7
14	62.5	60.8	59.8	42.1	40.2	41.9	51.4	52.7	51.8	58.5	60	56.4	57.1	59.8	55.2
15	62.1	59.6	59	42.8	40.5	44.4	49.5	50.2	49.9	57.4	58.8	55.2	53.7	55.6	52.6

ตารางที่ ก-5 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

เวลา	Outside 0%			Outside 50%			Outside 60%			Outside 70%			Outside 80%		
6	100	100	100	96	98	99.5	99.5	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6
7	100	100	95	95	94	84	84	91	96	96.2	98	92.6	98.4	95.6	97.6
8	100	100	89	79	88	84	82	89	88	82	80	82	95.1	91	85.4
9	90.6	90.6	74	78	85	82	78	84	80	78	70	77	83.4	83.4	78.6
10	72.2	72.2	72.2	80	79	74	77	78	76	74	67	70.6	62.6	73	63
11	54	52	66	68	73	67	66	72	69	68	54	52	65.4	58	58
12	51.7	51.7	64	63	61	63	62	61	64	59	45	51.3	32.1	49	52
13	51.9	51.9	60	52	58	60	55	54	49	56	38	56	31.3	44	36
14	54.3	54.3	50	60	52	60	52	50	51	45	38	43.2	34	38	35
15	53.9	53.9	45	59	52.1	55	53	49	51	47	40	47	32	39	36
16	58.4	58.4	41.2	66	55	56	48	52	55	49	43	49	36	43	39
17	65	65	39.6	67	63	55	49	58	62.4	48	46	48	41	49	40
18	69.2	69.2	40.8	74	70	70	56	62	69	54	49	54	48	57	47
19	69.1	70.2	44.1	80	82	79	67	68	67	62	66	62	68	57	52
6	100	100	100	95	99	90	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.8
7	100	100	98	93	94	89	90	90	96	96	96	96	90	95	90.6
8	96.1	96.1	96.1	89	93	89	89	68	91	90	94	90	86	86	87
9	78.5	78.5	78.5	86	89	83	83	65	89	88	83	84	81	81	79

ตารางที่ ก-5 (ต่อ)

เวลา	Outside 0%			Outside 50%			Outside 60%			Outside 70%			Outside 80%		
10	67.5	67.5	67.5	83	83	74	75	64	81	69	68	65.3	69	75	71
11	56.7	56.7	56.7	79	82	69	68	63	75	64	65	58	60	69	57
12	54	54	54	65	67	72	62	58	67	58	49	49	50	66	50
13	52.9	52.9	52.9	75	52	75	45	57	66	50	48	47.3	49	58	46
14	51	51	50.2	77	51	70	48	56	49	43	30	43.9	38	54	41
15	46.2	46.2	40.3	75	55	75	50	58	50	42	31	42.9	35	50	46

ตารางที่ ก-6 การเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

เวลา	Inside 0%			Inside 50%			Inside 60%			Inside 70%			Inside 80%		
6	77.2	79.6	77	100	100	99.5	99.5	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6
7	63.2	65.7	63.3	99	99.5	84	84	91	96	96.2	98	92.6	98.4	95.6	97.6
8	54.6	60.3	52.4	99	87.5	84	82	89	88	82	80	82	95.1	91	85.4
9	41.2	40.9	34.5	78.3	73.5	82	78	84	80	78	70	77	83.4	83.4	78.6
10	31.5	27	29.5	51.7	51.2	74	77	78	76	74	67	70.6	62.6	73	63
11	23.6	14.4	21.7	35.1	35.4	67	66	72	69	68	54	52	65.4	58	58
12	20.5	20	20.9	31.1	34.2	63	62	61	64	59	45	51.3	32.1	49	52
13	20.9	20.7	20	30.2	30	60	55	54	49	56	38	56	31.3	44	36
14	20.6	20.7	20	48.7	40.6	60	52	50	51	45	38	43.2	34	38	35
15	20.5	20.6	19.9	47.7	42.2	55	53	49	51	47	40	47	32	39	36
16	19.5	19.5	18.4	60.3	49	56	48	52	55	49	43	49	36	43	39
17	22.4	23.7	22.2	61.4	49	55	49	58	62.4	48	46	48	41	49	40
18	25.2	27.5	25	69.9	56	70	56	62	69	54	49	54	48	57	47
19	25.7	28	25	72	58.8	79	67	68	67	62	66	62	68	57	52
6	70.4	78.1	69.9	99.8	99.2	90	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.4	99.8
7	55.8	62.4	52.3	92.2	89.5	89	90	90	96	96	96	96	90	95	90.6
8	37.4	40.2	49.5	76	69.4	89	89	68	91	90	94	90	86	86	87
9	25.7	25	21.7	68.4	64.9	83	83	65	89	88	83	84	81	81	79

ตารางที่ ก-6 (ต่อ)

เวลา	Inside 0%			Inside 50%			Inside 60%			Inside 70%			Inside 80%		
10	21.2	20	20.2	52.1	48.2	74	75	64	81	69	68	65.3	69	75	71
11	20	20.4	20	28.4	49	69	68	63	75	64	65	58	60	69	57
12	19.9	20.5	19	28.9	24.1	72	62	58	67	58	49	49	50	66	50
13	20	20.7	19.8	48.6	24	75	45	57	66	50	48	47.3	49	58	46
14	20	20.9	20.3	45.1	38.3	70	48	56	49	43	30	43.9	38	54	41
15	20.9	20	20	44.3	39.5	75	50	58	50	42	31	42.9	35	50	46

ตารางที่ ก-7 การเก็บข้อมูลความเร็วลมภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโคมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

เวลา	Inside 0%			Inside 50%			Inside 60%			Inside 70%			Inside 80%		
6	3.5	3.3	3.3	3.3	2.7	3.3	3.3	3.3	3.3	3	3.3	3	3	3	3.3
7	3.3	2.8	2.8	3.3	2.5	2.9	3.2	3.2	3.2	3	3.2	3.2	2.9	2.9	3.3
8	3	3	2.5	3.3	2.7	3	3	3	3	2.8	3.3	2.8	2.8	2.8	3
9	3	3	2	2.5	2.8	2.5	3	2.5	3	2.5	3.3	2.5	2.5	2.5	2.8
10	3.1	1.9	1.8	1.8	3.1	1.8	1.8	2.7	3	3	3	3	3	3	2.4
11	1	0.9	1.2	1.2	2.6	1.2	1.2	3	3	3.3	3	3.3	3.3	3.3	2.6
12	0.7	1.4	1.2	1.6	3	1.6	1.6	2.8	2.8	3	2.8	3	3	3	1.9
13	1.2	1.2	1.2	1.8	2.8	1.8	1.2	1.2	1.2	2.8	1.2	2	2.5	2.5	2
14	1	3	1.2	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.8	1.8	1.8
15	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
16	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.9	1.9	1.9	1.9
17	2.4	2.4	2.1	2.1	1.3	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2
18	2	0	2	2.0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
19	1.7	2	1.7	2.2	1.7	2	1.3	2	2.2	2	2.2	2	1.7	2	2
6		2.4	3	3.0	2.2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	1.5	3.2	2.9	2.9	1.7	2.8	3.3	3	3.3	3.3	3.3	3.3	3	3	3

ตารางที่ ก-7 (ต่อ)

เวลา	Inside 0%			Inside 50%			Inside 60%			Inside 70%			Inside 80%		
8	2.5	3.2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.8	2.5	3	3	3	3	3	3.2
9	2.7	2.8	2.7	2.7	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.9	2.9	2.9	3	3	3.1
10	1.8	0	1.7	1.7	2.8	1.7	1.3	1.3	1.3	2	1.3	2	2.3	2.3	2.3
11	1.6	1.7	1.7	1.7	2.2	1.7	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
12	2.2	3.8	1.5	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.9
13	1.2	3.4	1.2	1.8	2.5	1.8	1.8	2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
14	1.9	1.2	1.8	2.0	2.1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.7
15	2.3	2.9	1.2	1.9	1.9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2

ภาคผนวก ข

บทความวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่ในระดับชาติ

1. การจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 10 NCTIM 2024

TIPAL
Technology and Innovation Professional
Association for Local development

**การจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม
ครั้งที่ 10 NCTIM 2024**

**โดยสมาคมวิชาชีพเทคโนโลยี
และนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น
(ครั้งที่ 1)**

March 8, 2024

- Rajabhat Maha Sarakham University
- Phetchaburi Rajabhat University
- Nakhon Ratchasima Rajabhat University
- Buriram Rajabhat University
- Phranakhon Rajabhat University
- Sisaket Rajabhat University
- Sakon Nakhon Rajabhat University
- Nakhon Pathom Rajabhat University
- Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
- Thepsatri Rajabhat University
- Surindra Rajabhat University

The 10th National Conference on Technology and Innovation Management

การนำเสนอบทความวิจัย				
ที่	รหัสบทความ	ชื่องานวิจัย	เวลา	หน้า
1	3786	อิทธิพลของการตระหนักในสิ่งแวดล้อมและการสื่อสารการตลาดดิจิทัลที่ส่งผลต่อความตั้งใจของผู้บริโภคในการใช้บริการพักรักที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม // อารีญา วงศ์อารัญ และ เดชอนันต์ บังกิโล	10.00-10.20	219-230
2	3791	การพัฒนากระบวนการอบแห้งอะโวคาโดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการอบตบแต่งแสงแดดและการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ // สิตาวันท์ ไควงทรี, กิตติ สดวพรประสารณ์ และ สุรชัย อนุรักษ์ จันทร์ศรี	10.20-10.40	231-238
3	3801	แนวทางในการพัฒนาบุคลากรครูสู่การจัดการเรียนรู้ฐานสมรรถนะ โรงเรียนมัธยมศึกษาพื้นที่นวัตกรรมการศึกษา // ณรงค์ธร คงเจริญ, พร้อมพิไล บัวสุวรรณ และ สุตติเทพ ศิริพิพัฒนกุล	10.40-11.00	239-245
4	3803	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนทางการเงิน ความสามารถในการทำกำไรและคุณภาพกำไรของบริษัทจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย : กลุ่มอุตสาหกรรมพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ // ธนัตถ์ เกษมเมธากุล และ ชัยมงคล ผลแก้ว	11.00-11.20	246-253
5	3805	อิทธิพลของการปฏิบัติด้านการจัดการทรัพยากรมนุษย์สีเขียวที่มีผลต่อความภักดีของพนักงานในกลุ่มบริษัทก่อสร้าง // กุวิษฐา กาญจนวิเศษชาญ, สุนันท์ทิพย์ วงศ์พันธ์ และ สุวีรัตน์ อินทร์หม้อ	11.20-11.40	254-264
6	3808	ส่วนประสมทางการตลาดในการซื้อสินค้าผ่านสื่อสังคมออนไลน์เพชบึกของผู้บริโภคในกลุ่มเจนเนอเรชันวาย // วิวัฒนา วงศ์สังการ์	11.40-12.00	265-275
7	3809	การศึกษานโยบายของผู้บริหารสถานศึกษาในการส่งเสริมการจัดการเรียนรู้วิชาพลศึกษาของครูในโรงเรียนเครือข่ายที่ 49 สำนักงานเขตคลองสามวา กรุงเทพมหานคร // สุดาวันท์ ทราวยินทร์ และ เบญจวรรณ ศรีมารุต	13.00-13.20	276-282
8	3812	ความสัมพันธ์ระหว่างภาวะผู้นำของผู้บริหารสถานศึกษาในศตวรรษที่ 21 กับการบริหารงานบุคลากรในสถานศึกษา สังกัดสำนักการศึกษา เทศบาลเมืองชลบุรี // วิภาสิณี อิ่มสะอาด และ มินมาส พรานป่า	13.20-13.40	283-289
9	3830	อิทธิพลของการทำการตลาดด้วยเกมและปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อเครื่องสำอางออนไลน์ของผู้บริโภค // สุมิตรา ทองดี, สุวีรัตน์ อินทร์หม้อ และ สุนันท์ทิพย์ วงศ์พันธ์	13.40-14.00	290-299
10	3832	อิทธิพลของความปลอดภัย และการยอมรับเทคโนโลยีที่ส่งผลต่อการตัดสินใจใช้งานถุงมือนิวอลเลทในร้านสะดวกซื้อ // ชนินทร์ บุญมา, สุวีรัตน์ อินทร์หม้อ และ สุนันท์ทิพย์	14.00-14.20	300-309



การพัฒนากระบวนการอบแห้งอะโวคาโดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่มีการบดบังแสงแดดและการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์
 Development of an Avocado Drying Process Using a Hybrid Solar Dryer Incorporating Sunlight Blocking and Product Quality Analysis

สิตานันท์ โกวฤทธิ์¹ กิตติ สฬาพรประสาธน์² และ สุรัชชัย ญรัฐ จันทรศรี^{3*}
 Sitanan Kowarit¹, Kitti Sathapornprasath², and Surachai Narrat Jansri^{3*}

สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180¹,

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120²

Major of Community Energy and Environment, Asian Development College for Community Economy and Technology,

Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50180^{3*}

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

Srinakharinwirot University, Nakhon Nayok, 26120

Email: surachai_nar@g.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

อะโวคาโดที่มีคุณภาพต่ำของโครงการหลวงที่ไม่สามารถจำหน่ายสดได้เคยทดลองเพื่อแปรรูปเป็นน้ำมันสำหรับการอุปโภคและบริโภคแต่คุณภาพน้ำมันที่ได้ยังไม่ดีพอ จึงมีความต้องการในการแปรรูปด้วยกระบวนการที่ง่ายและใช้เทคโนโลยีต้นทุนต่ำ การวิจัยนี้จึงศึกษาการผลิตเนื้ออะโวคาโดแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับการปรับปรุงระบบระบายอากาศและการคลุมตาข่ายที่มีความสามารถในการบดบังแสงแดดได้ 80% พร้อมทั้งติดตามสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ เนื้ออะโวคาโดแห้งที่ได้หลังการอบแห้งมีน้ำตาลและให้ผลผลิต 28% เนื้ออะโวคาโดแห้งมีความชื้น 3%db. จากนั้นนำไปสกัดน้ำมัน พบว่า ได้ผลผลิตเป็นน้ำมันที่มีสีแดงแกมน้ำเงิน 33% น้ำมันมีกรดไขมันอิสระ 0.62% และปริมาณน้ำอิสระสูงกว่า 0.6 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแม้การอบแห้งด้วยพลังงานที่มีการบดบังแสงอาทิตย์สามารถลดความชื้นเนื้ออะโวคาโดได้ตามมาตรฐาน แต่ด้วยการใช้เวลานานเกินไปทำให้สีเนื้ออะโวคาโดถูกทำลาย และส่งผลต่อคุณภาพน้ำมันที่ได้ ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การศึกษาในอนาคตจึงควรศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการบดบังแสง และเทคนิคการสกัดน้ำมันด้วยสกรู

คำสำคัญ: อะโวคาโด, น้ำมันอะโวคาโด, การอบแห้งพลังงานแสงแดด, การบดบังแสงแดด

ABSTRACT

The attempt to process low-quality avocados from the Royal Project into edible oil was unsuccessful due to poor oil quality, requiring a simple process and low-cost technology. Investigating dried avocado pulp production using a commercially available solar dryer with improved ventilation and an 80% sunshade net capacity to meet community product standards. Physical and chemical properties of avocado pulp and oil were monitored throughout the process. Dried avocado pulp yielded 28% and was brown with 3%db. moisture. After oil extraction, 33% of the output was red-blue hue. Avocado oil had 0.62% free fatty acid and water activity over 0.6. While solar drying with sunshade netting generated avocado pulp with standard moisture content, extended drying durations led to color deterioration and oil quality issues. To improve product quality, future investigations will optimize solar energy drying conditions, evaluate sunlight-blocking techniques, and investigate screw oil extraction procedures.

Keyword: Avocado, Avocado oil, Solar drying, Sunlight blocking

บทนำ

อะโวคาโดนับว่าเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน และมีผลผลิตอะโวคาโดเข้าสู่ตลาดทั้งค้าปลีก และค้าส่ง ปริมาณปีละ 160 ตัน แหล่งผลิตอะโวคาโดที่สำคัญของประเทศไทยมี 3 แห่ง ได้แก่ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเงียง ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงหนองเขียว และศูนย์พัฒนาโครงการหลวงปางอุ๋ง ซึ่งศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเงียง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่เป็นอีกหนึ่งแห่งที่มีการผลิตอะโวคาโดสดจำหน่ายตามท้องตลาดเป็นจำนวนมากเช่นกัน เดือนมิถุนายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ของทุกปี ศูนย์พัฒนาแห่งนี้ได้ส่งออกอะโวคาโดที่ได้ตามมาตรฐานของโครงการหลวงมากถึงปีละ 30 ตัน ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรมากถึงปีละ 4.4 ล้านบาท อย่างไรก็ตามก็มีปริมาณอะโวคาโดที่ไม่ได้มาตรฐานประมาณปีละ 2-3 ตันต่อปี (มูลนิธิโครงการหลวง, 2559) ซึ่งอะโวคาโดมีคุณภาพต่ำเหล่านี้จะถูกนำไปทิ้งหรือนำผลไปแยกเมล็ดสำหรับเตรียมเป็นพันธุ์ต้นต่อเพื่อเสียบยอด ศูนย์พัฒนา จึงมีแนวคิดในการหาช่องทางสำหรับเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรจากอะโวคาโดที่ไม่ได้ผ่านมาตรฐานเหล่านี้ โดยแปรรูปน้ำมันอะโวคาโดดิบสำหรับการอุปโภคและบริโภค ด้วยการหั่นและตากแดดธรรมชาติ (ปิยวรรณ สิมะไพศาล และคณะ, 2544) พบว่า น้ำมันที่ได้เป็นสามารถนำไปใช้อุปโภค และบริโภคได้ ดังนั้นศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยเงียงจึงต้องการที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันอะโวคาโดดิบให้คุณภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันสำหรับบริโภคได้โดยใช้กระบวนการผลิตที่ง่ายและใช้เทคโนโลยีต้นทุนต่ำ การวิจัยครั้งนี้จึงศึกษาการระเหยของน้ำในเนื้ออะโวคาโดที่สามารถรักษาคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผัก-ผลไม้แห้ง (มผช. 136/2558) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558) และรักษาสีซึ่งเป็นแรงจูงใจของเนื้ออะโวคาโดโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก และติดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันอะโวคาโดที่สกัด

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.1 เพื่อศึกษาการทำเนื้ออะโวคาโดแห้งที่สามารถรักษาคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการควบคุมค่าความชื้นที่สามารถในการบดบึงแสงแดดได้ 80%
- 1.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของเนื้ออะโวคาโดและน้ำมันอะโวคาโด

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การอบแห้งอะโวคาโด อะโวคาโดที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันอะโวคาโดมี 2 ประเภท คือ อะโวคาโดสุกซึ่งเป็นอะโวคาโดผลแก่ที่มีอายุประมาณ 9 เดือนหลังจากการออกดอกถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต และอะโวคาโดดิบ (Chimsook, 2017) โดยอะโวคาโดเตรียมได้ 2 รูปแบบ คือ การหั่นเป็นชิ้น หรือบดให้ละเอียด เช่น งานวิจัยของปิยวรรณ สิมะไพศาล และคณะ (2544) ได้เตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันจากอะโวคาโดสุกโดยนำมาปอกเปลือก เอาเมล็ดออก บด และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส งานวิจัยของ Chimsook & Assawarachan (2017) ได้เตรียมวัตถุดิบโดยนำอะโวคาโดหั่นอะโวคาโดหั่นเป็นชิ้น แล้วนำไปอบแห้ง จากนั้นนำอะโวคาโดแห้งไปสกัดน้ำมัน งานวิจัยของวรรัตน์ ชัยนการ และคณะ (2566) ได้เตรียมวัตถุดิบโดยการหั่นอะโวคาโดดิบพันธุ์แฮส อบแห้งแล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดจนเป็นผง การศึกษาการอบแห้งอะโวคาโดส่วนใหญ่ใช้การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนซึ่งใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน เช่น Chimsook (2017) ได้เปรียบเทียบการอบแห้งอะโวคาโดและคุณภาพของน้ำมันอะโวคาโดด้วย 3 กระบวนการ ได้แก่ การตากธรรมชาติ, การอบแห้งด้วยลมร้อน, การอบแห้งด้วยวิธีสูญญากาศ (Vacuum drying) พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีที่ดีที่สุดเนื่องจากไม่มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะวิตามิน และกรดไขมัน แต่จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยบางชิ้นได้ศึกษาการอบแห้งอะโวคาโดด้วยรังสีดวงอาทิตย์ เช่น Park et al. (2015) ได้ออกแบบตู้พลังงานแสงอาทิตย์อูโมงค์เพื่ออบแห้งอะโวคาโด ตู้อบแห้งนี้สามารถทำอุณหภูมิภายในตู้อบได้ประมาณ 57°C หลังจากการดำเนินการอบแห้งจะได้เนื้ออะโวคาโดแห้ง และน้ำมันอะโวคาโดได้จากสกัดแบบบีบอัด

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้งประกอบด้วย 8 ปัจจัย (ณัฐพล กระจำง, 2560) ดังนี้ 1) ลักษณะทางธรรมชาติของวัสดุวัสดุที่มีเนื้อโปร่งหรือรูพรุนมาก น้ำจะเคลื่อนที่แบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในวัสดุ ดังนั้นวัสดุเนื้อโปร่งจะแห้งไวกว่าวัสดุเนื้อแน่น โชนไฟโรไลซิส 2) ขนาดและรูปร่างของวัสดุ 3) ตำแหน่ง ปริมาณ การจัดเรียงวัสดุ 4) อุณหภูมิของอากาศร้อน 5) ความชื้นของอากาศร้อน 6) ความดันบรรยากาศ 7) ความเร็วอากาศ 8) ความสมบัติเชิงความร้อน และฟิสิกส์ของวัสดุ คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุเกี่ยวข้องกับการอบแห้ง คือ ความร้อนจำเพาะ สภาพการนำความร้อน และการแพร่ความร้อน

สมบัติทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์แห้งและน้ำมัน สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ 1) ความชื้นมาตรฐานแห้งจะวิเคราะห์น้ำหนักแห้งไม่เปลี่ยนแปลงในการระหว่างการอบแห้งต่อการวิเคราะห์การถ่ายความร้อน (Bergman, 2021) 2) ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี เป็นการบ่งบอกการเสื่อมของอาหาร อายุการเก็บรักษา โดยถ้าเป็นอาหารสดจะมีค่าวอเตอร์แอกทีวิตีที่มากกว่า 0.85 อาหารกึ่งแห้งค่าวอเตอร์แอกทีวิตี 0.6-0.85 ส่วนอาหารแห้งค่าวอเตอร์แอกทีวิตีต่ำกว่า 0.6 ค่าที่ต่ำสุดนี้จะทำให้อาหารไม่มีจุลินทรีย์ เชื้อราที่ไม่สามารถเติบโตได้ โดยค่าวอเตอร์แอกทีวิตี ค่าจะอยู่ระหว่าง 0-1 ค่าวอเตอร์แอกทีวิตีของอาหารจะสัมพันธ์กับอัตราการระเหยก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและปฏิกิริยาต่าง ๆ เมื่อค่าวอเตอร์แอกทีวิตีมีค่าที่สูงส่งผลต่อการเกิดจุลินทรีย์มากขึ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียมากกว่าค่าวอเตอร์แอกทีวิตีที่ต่ำ โดยอะโวคาโดสดจะมีค่าวอเตอร์แอกทีวิตี 0.98 (Schmidt & Fotana, 2020) 3) การเสื่อมคุณภาพของอาหาร เช่น ค่าออกซิเดชันที่ทำให้เกิดการเหม็นหืนจะเกิดปฏิกิริยานี้เมื่อมีน้ำในอาหารมีปริมาณที่สูง การเกิดสีน้ำตาลของผัก ผลไม้ เนื่องจากเป็นเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase) และการเกิดสีน้ำตาลโดยไมโซเมโซไมซ์ เช่น ปฏิกิริยามัลลาร์ด (Maillard reaction) แวนิลีนมีเอนไซม์อะโรมาติกในอาหารมีค่าสูง (วีระชัย จิตดาณชัย, 2559)

สมบัติทางเคมี ได้แก่ 1) การวิเคราะห์สีสีเป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งในการบ่งบอกคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งเชิงเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัส โดยความยาวคลื่นที่มองเห็นอยู่ในช่วง 380-780 นาโนเมตร มนุษย์แบ่งสีออกเป็น 3 ลักษณะ คือ เดดสี (Hue) ความสว่าง (Value หรือ Lightness) และความบริสุทธิ์ (Chroma หรือ Saturation) (นัฐพล กระจ่าง, 2560) 2) วิเคราะห์ค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid; FFA) โดยการใช้น้ำมันอะโวคาโด 5 กรัม โดยใช้สารละลายแอลกอฮอล์ ใช้ฟีนอลทาสิ่น 3-5 หยด ใช้ความเข้มข้นไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยหยดที่ละหยดจนเป็นสีชมพู (ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย และคณะ, 2563)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมเนื้ออะโวคาโดดิบสำหรับการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

อะโวคาโดดิบที่ซื้อจากตลาดถูกนำมาแช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 1-4°C เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำออกมาปอกเปลือก และสไลด์ให้เป็นแท่งที่มีหน้าตัดขนาด 1x1 cm ด้วยเครื่องสไลด์มันฝรั่ง ดังภาพที่ 1 พร้อมทั้งมีการวัดความชื้นและสีของเนื้ออะโวคาโดสด



ภาพที่ 1 การเตรียมอะโวคาโดสำหรับอบแห้ง

2. กระบวนการอบแห้งอะโวคาโดสดด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้ใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายโดยทั่วไปโดยทำการปรับปรุงด้วยการเพิ่มระบบให้ความร้อนจากหลอดไฟฟ้า ระบบระบายอากาศขึ้นและอากาศร้อน และมีการคลุมด้วยตาข่ายกรองแสงที่มีอัตราบังแสง 80% ดังภาพที่ 2 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นมีหลักการทำงานดังนี้ ถ้าภายในตู้อบมีความชื้นสูงระบบจะระบายความชื้นในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ถ้าภายในตู้อบมีความร้อนต่ำกว่า 60°C ระบบให้ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าเริ่มทำงาน และถ้าภายในตู้อบมีอุณหภูมิสูงกว่า 60°C ระบบระบายอากาศร้อนก็จะเริ่มทำงานทันที การทำงานระบบต่างๆ ถูกควบคุมด้วยเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งภายในตู้อบแห้ง ภาพที่ 2

อะโวคาโดดิบที่เตรียมไว้ปริมาณทั้งหมด 7 กิโลกรัม แบ่งออกเป็น 2 ถาดประมาณถาดละ 3.5 กิโลกรัม นำมาใช้ในการทดลองด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ปรับปรุง การอบดำเนินการระหว่างวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2566 – 02 กุมภาพันธ์ 2566 โดยดำเนินการทั้งหมด 3 ซ้ำ การทดลองแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 22 ชั่วโมง โดยแบ่งออกเป็น 2 วันวันที่ 1 จำนวน 13 ชั่วโมง (ตั้งแต่ 06.00 น.- 19.00 น.) วันที่ 2 จำนวน 9 ชั่วโมง (ตั้งแต่ 06.00 น.-14.00 น.) หลังจากการอบแห้งสิ้นสุดในแต่ละวันตัวอย่างจะถูกจัดเก็บไว้ในถุงพลาสติกอย่างมิดชิด ระหว่างการอบแห้งได้มีการสลับถาดอบทุก 1 ชั่วโมงเพื่อให้

การประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 10
สมาคมวิชาชีพเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น | 8 มีนาคม 2567

ตัวอย่างได้รับความร้อนได้อย่างทั่วถึง พร้อมทั้งสุ่มเก็บตัวอย่างถาดละ 9 จุดจุดละ 1 ชิ้นตัวอย่างที่สุ่มเก็บจากตูบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สับให้ละเอียดและผสมให้เข้ากัน จากนั้นทำการเลือกตัวอย่างแบบสุ่มใหม่โดยวิธีการแบ่งสี่ (Quartering method) ตัวอย่างที่สุ่มได้ใหม่นำไปใช้ในการติดตามคุณภาพของเนื้ออะโวคาโด นอกจากนี้ยังมีการติดตามอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมในการระบายของตูบแห้งพลังงาน และความเข้มแสงรังสีดวงอาทิตย์ จากนั้นนำเนื้ออะโวคาโดแห้งมาสกัดน้ำมันด้วยเครื่องบีบอัดแบบ สกรู พร้อมทั้งมีการติดตามคุณภาพน้ำมันที่ผลิตได้



ภาพที่ 2 ตูบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

3.1 ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง

ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis สามารถหาได้จากค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวอย่างก่อนคืออะโวคาโดสดก่อนเริ่มทำการอบแห้ง และหลังทำการอบแห้งด้วยตูบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์คืออะโวคาโดอบแห้ง (ชาลินี เพ็ชรนิล, 2566) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้คำนวณร้อยละความชื้นดังสมการที่ 1

$$db. = \frac{W-d}{d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ	db.	คือ ร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง
	W	คือ น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (กรัม)
	D	คือ น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง (กรัม)

3.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

น้ำมันอะโวคาโดที่ผ่านการสกัดจะได้รับการทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid; FFA) โดยวิธีการไทเทรตแบบกรด-เบสจากนั้นคำนวณหาร้อยละของกรดไขมันอิสระดังสมการที่ 2 (ศศิกานต์ ปานปรานณีเจริญ และคณะ, 2561)

$$FFA (\%) = \frac{(A-B) \times N \times 28.2}{W} \quad (2)$$

เมื่อ	A	ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมัน (มิลลิลิตร)
	B	ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไทเทรต Blank (มิลลิลิตร)
	N	ความเข้มข้นของ NaOH (นอร์มอล)
	W	น้ำหนักของน้ำมัน (กรัม)

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

น้ำมันอะโวคาโดได้รับการตรวจสอบปริมาณน้ำอิสระ (Water activity; a_w) ด้วยเครื่อง AQUA LAB Dew point water activity meter 4 ค่าปริมาณน้ำอิสระต้องมีค่าน้อยกว่า 0.6 เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รา และยีสต์ (สิริกาญจน์ อนุบุญรุ่งคำ และคณะ, 2566)

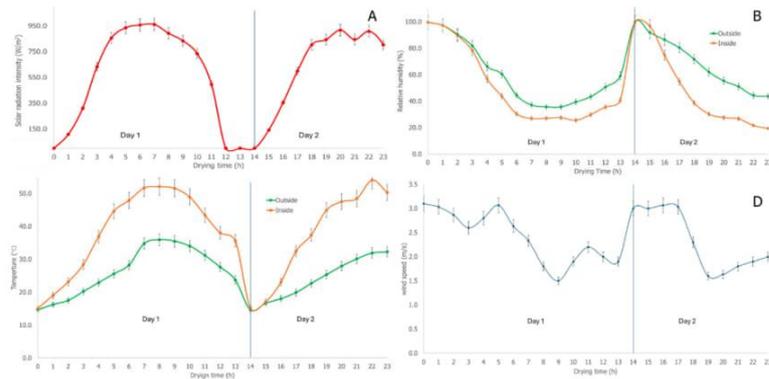
3.4 การวิเคราะห์สีของเนื้อและน้ำมันอะโวคาโด

สีของเนื้ออะโวคาโดและน้ำมันอะโวคาโดได้รับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี KONICA MINOLTA Chroma Meter CR-400 โดยวัดค่าสีของเนื้อและน้ำมันอะโวคาโดแบบ Commission International de l'Eclairage L* a* b* (CIELAB) มีการวัดค่าสี 3 ลักษณะ คือ L* แสดงถึงความสว่าง (Lightness) ค่าตั้งแต่ 0 -100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว ค่า a* แสดงสี จากสีเขียว (-a*) ถึง สีแดง (+a*) ค่า b* แสดงสีจากสีน้ำเงิน (-b*) ถึง สีเหลือง (+b*) (กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ และศรีมา แจ้คำ, 2562)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. สภาพแวดล้อม

การทดลองอบแห้งดำเนินการในช่วงวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2566 – 02 กุมภาพันธ์ 2566 มีความเข้มแสงของรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยดังภาพที่ 3A อยู่ที่ 531 W/m² ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเข้มแสงของรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดที่ 961 W/m² ในช่วงการทดลองดังกล่าวมีความเข้มแสงของรังสีดวงอาทิตย์มากกว่า 800 W/m² ประมาณวันละ 6 ชั่วโมง สภาพบรรยากาศดังภาพที่ 3A, 3B และ 3C แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิของอากาศแปรผันตามความเข้มแสงรังสีดวงอาทิตย์ แต่ความชื้นสัมพัทธ์แปรผันกับความเข้มแสงดวงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 64% และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 36% ในช่วง 13.00-14.00 น. ของวันที่ 1 และอุณหภูมิของบรรยากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 25°C และมีอุณหภูมิสูงสุด 36°C ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับการวัดความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงดวงอาทิตย์ (A) ความชื้นสัมพัทธ์ (B) อุณหภูมิ (C) และความเร็วลม (D)

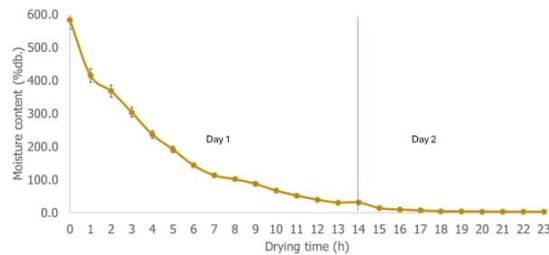
2. สภาพบรรยากาศภายในตู้อบแห้ง

ตู้อบแห้งมีอุณหภูมิภายในดังภาพที่ 3C เฉลี่ย 38°C สูงกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศประมาณ 13°C และมีอุณหภูมิภายในตู้อบสูงกว่า 45°C เป็นเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง (10.00-15.00 น.) อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเพิ่มสูงขึ้นเกิดจากความร้อนจากการแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์ และจากระบบให้ความร้อนจากหลอดไฟฟ้า แต่อุณหภูมิภายในตู้อบไม่สามารถเพิ่มได้ถึง 60°C อาจเกิดจากการคลุมตู้อบแห้งด้วยตาข่ายกรองแสงที่มีอัตราบังแสง 80% นอกจากนั้นพบว่าความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม ดังภาพที่ 3B และ 3D พบว่า มีความสัมพันธ์ที่ผกผันกัน ในช่วงเช้าพัดลมได้ระบายความชื้นออกจากตู้อบตลอดเวลา แม้พฤติกรรมการระบายอากาศนี้รบกวนกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิของระบบ แต่ส่งผลต่อการระเหยน้ำต่อการระเหยน้ำของเนื้ออะโวคาโด ดังภาพที่ 4

3. สมบัติทางกายภาพและเคมีของเนื้อและน้ำมันอะโวคาโด

3.1 ความชื้นของเนื้ออะโวคาโด

อะโวคาโดสดมีความชื้นประมาณ 580%db. ดังภาพที่ 4 เมื่ออบแห้งด้วยตู้อบแห้งเป็นเวลา 13 ชั่วโมง (วันที่ 1) มีความชื้นลดลงเหลือ 31%db. ซึ่งยังสูงกว่ามาตรฐาน 12 %db. (มผช.136/2558) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558) เมื่อสิ้นสุดวันที่ 1 อะโวคาโดแห้งถูกเก็บไว้ในถุงอย่างมิดชิดจากนั้นจึงเริ่มดำเนินการตากแห้งอีกครั้งในวันที่ 2 ความชื้นเริ่มต้นของการตากแห้งในวันที่ 2 (ชั่วโมงที่ 14) สูงกว่าความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้ายของวันที่ 1 ประมาณ 1%db. ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อะโวคาโดแห้งจึงถูกตากในตู้อบแห้งต่อจนครบ 9 ชั่วโมงพบว่า ได้ผลผลิตเป็นเนื้ออะโวคาโดแห้ง ดังภาพที่ 5A ประมาณ 28% มีความชื้นประมาณ 3%db. ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผัก-ผลไม้แห้ง (มผช.136/2558) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558) เนื้ออะโวคาโดแห้งที่ผลิตได้สามารถสกัดเป็นน้ำมัน ดังภาพที่ 5B ได้ประมาณ 33%



ภาพที่ 4 ความชื้นของเนื้ออะโวคาโด



ภาพที่ 5 เนื้ออะโวคาโดแห้ง (A) และน้ำมันอะโวคาโด (B)

3.2 กรดไขมันอิสระ และปริมาณน้ำอิสระในน้ำมันอะโวคาโด

น้ำมันอะโวคาโดที่สกัดมีกรดไขมันอิสระ 0.62% น้ำมันที่ผลิตได้มีกรดไขมันอิสระ ต่ำกว่า 2.00% ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมัน และไขมันบริโภค (มอก. 47.2533) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันบริโภค, 2533) อย่างไรก็ตามเพื่อลดการเกิดชั้นของกรดไขมันอิสระในน้ำมันอิสระในน้ำมันระหว่างการอบแห้งอาจจะต้องเปลี่ยนเทคนิคในการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง หรือต้องทำการกลั่นน้ำมัน แต่ถ้าต้องการประยุกต์ใช้กับชุมชนวิธีการแรกน่าจะมีเหมาะสมกว่า

น้ำมันอะโวคาโดมีปริมาณน้ำอิสระประมาณ 0.62 ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน 0.60 เล็กน้อย ดังนั้นถ้าใช้น้ำมันอะโวคาโดไว้ระยะหนึ่งมีโอกาสสุกหรือหืนได้ และยีสต์บางชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ ส่งผลให้ระยะเวลาในการเก็บสั้นลง แม้การอบแห้งด้วยเงื่อนไขที่สามารถลดความชื้นได้ต่ำกว่ามาตรฐานแต่ไม่สามารถลดปริมาณน้ำอิสระได้ เนื่องจากระหว่างการอบแห้งผิวหน้าของอะโวคาโดอาจจะหดตัว แห้ง และแข็งอย่างรวดเร็วจนทำให้มีผิวหน้าของเนื้ออะโวคาโดมีช่องว่างระหว่างเซลล์น้อย ซึ่งยากต่อการระเหยน้ำในเนื้ออะโวคาโดได้ทันตามระยะเวลาการอบแห้งที่กำหนด ดังนั้นอาจจะต้องเพิ่มระยะเวลาในการอบแห้ง หรือปรับเปลี่ยนเทคนิคการอบแห้งให้เหมาะสม

3.3 สี

เนื้ออะโวคาโดสดมีสีเขียวอมเหลืองที่มีความสว่าง ดังภาพที่ 1 และตารางที่ 1 ส่วนเนื้ออะโวคาโดแห้งมีสีน้ำตาลซึ่งมีความเข้มมากกว่าเนื้ออะโวคาโดสด ดังภาพที่ 5A และตารางที่ 1 เนื่องจากความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เร่งให้เกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาเคมีที่มีเอนไซม์ในกระบวนการผลิตไปเร่งให้สารฟีนอลในผัก ผลไม้ เกิดการออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ (browning reaction) (ณัฐพร สุบรรณมณี, 2563) และการทำลายรงควัตถุของรังสียูวี (วรวิทย์ ศรีวิทยากุล และคณะ, 2564) เมื่อนำเนื้ออะโวคาโดแห้งไปบีบอัดน้ำมันด้วยสกรู พบว่า น้ำมัน ดังภาพที่ 5B และตารางที่ 1 มีสีแดงแกมน้ำเงิน และสีมีความเข้มมากกว่าสีเนื้ออะโวคาโดแห้ง เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดจากการบีบเนื้อเยื่อของอะโวคาโด (ฤทัยภัคดี ชาญศรี และเนาวรัตน์ กองคำ, 2565) ดังนั้นการวิจัยต้องลดระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อให้สีของเนื้ออะโวคาโดมีความใกล้เคียงกับเนื้ออะโวคาโดสด และควรปรับปรุงเทคนิคการสกัดน้ำมันโดยการบีบอัดด้วยสกรูเพื่อให้น้ำมันมีสีที่สดใสขึ้น

ตารางที่ 1 ของอะโวคาโด

รายการ	L*	a*	b*
เนื้ออะโวคาโดสด	76	-3.5	30.2
เนื้ออะโวคาโดแห้ง	52	3.2	14.6
น้ำมันอะโวคาโด	25	1.3	-2.1

สรุปผลการทดลอง

การอบแห้งอะโวคาโดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการคลุมตาข่ายกรองแสงที่สามารถบดบังแสงได้ 80% โดยอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเฉลี่ย 38°C และมีอุณหภูมิสูงกว่า 45°C เป็นเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง การอบแห้งใช้อะโวคาโด 7 กิโลกรัม มีค่าความชื้น 580 %db. หลังจากการอบแห้งได้เนื้ออะโวคาโดแห้ง 2 กิโลกรัม และความชื้นสุดท้ายประมาณ 3 %db. ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลผลิตแห้งที่ได้สามารถสกัดน้ำมันได้ประมาณ 33% . น้ำมันที่ผลิตได้มีกรดไขมันอิสระของน้ำมันอะโวคาโด 0.62% ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค และมีปริมาณน้ำอิสระ 0.62 ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน แม้กระบวนการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และมีการบดบังแสงแดดด้วยตาข่ายบดบังรังสีดวงอาทิตย์สามารถระเหยน้ำในเนื้ออะโวคาโดจนมีความชื้นคงเหลือต่ำกว่ามาตรฐานได้ แต่การอบแห้งที่ใช้เวลานานเกินไปส่งผลให้สีของเนื้ออะโวคาโดถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาเคมีที่มีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจนทำให้เนื้ออะโวคาโดมีสีเข้มกว่าเนื้ออะโวคาโดสด และส่งผลต่อคุณภาพน้ำมันที่สกัดได้ด้วย

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในอนาคตควรศึกษา:

1. เทคนิคในการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้เวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมด้วยการใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response surface methodology) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบประสมกลาง (Central Composite Design) เพื่อให้ทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการอบแห้งที่สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาเคมีถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์จนทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ และการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้ออะโวคาโด
2. ประสิทธิภาพการบดบังแสงที่เหมาะสมที่สามารถรักษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของเนื้ออะโวคาโด
3. เทคนิคการสกัดน้ำมันอะโวคาโดโดยการบีบอัดด้วยสกรู เพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ส่งผลต่อสีของน้ำมัน

เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ และศรีมา แจ้คำ. (2562). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชาด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด. *วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 9(3), 29-43
- ชาลินี เพ็ชรนิล, ณัฐหทัย แซ่ย่าง และกิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. (2566). การอบแห้งดอกบัวด้วยสารดูดความชื้นร่วมกับเทคนิคสุญญากาศและไมโครเวฟ. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ตสงคราม*, 5(1), 43-58.

- ณัฐพร สุพรรณมณี. (2563). ผลของการแช่กล้วยน้ำว้าในสารละลายชนิดต่างๆ และการประยุกต์ใช้ในการผลิตมาเดอลินเค้ก. *Journal of Food Technology, Siam University*, 15(2), 110-121.
- ณัฐพล กระจำง. (2560). *การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรด*. (วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา).
- ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย, ทิพริกษ์ วงชาติ และแพรว จงรวมกลาง. (2563). การสกัดรำข้าวด้วยน้ำมันพืชบริโภคได้เพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดน้ำมัน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 25(3), 983-997.
- ปิยวรรณ สิมะไพศาล, หทัยรัตน์ ริมศิริ และวิชัย หฤทัยธนาสันต์. (2544). การสกัดน้ำมันอะโวคาโดเพื่อใช้ในครีมบำรุง. *รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 39(1), 434-440.
- มูลนิธิโครงการหลวง. (2559). *รายงานผลการพัฒนามูลนิธิโครงการหลวง ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558*. มูลนิธิโครงการหลวง
- ฤทัยภักดี ชาญศรี และเนาวรัตน์ กองคำ. (2565). การยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลด้วยการสกัดรำข้าวหอมมะลิสุรินทร์ (กข 15) ในผลมะเขือยาวสไลด์สด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, 8(1), 41-55.
- วรวิทย์ ศรีวิทยากุล, มาหามะสุโอมิ มะแซ, พงศ์พัฒน์ ศิริธรรม, วงศกร อ่อนเทพ และพีรวัส คงสง.(2564). การต้านรังสียูวีและการยับยั้งแบคทีเรียของด้ายเคลือบด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องกรองด้าย. *RMUTP Research Journal*, 15(1), 66-76
- วรรณรัตน์ ชัยนการ, สาโรจน์ ปัญญามงคล, จินตนา จันทร์ฤทธิ์, มณฑิรา วิชิตพรชัย และมาลินี ปัญญาโชควิมล. (2566). การเปรียบเทียบการสกัดน้ำมันอะโวคาโดด้วยตัวทำละลายกับการใช้เครื่องอัดบีบ. *Journal of Science and Technology Phetchabun University*, 3(2), 47-56.
- วีระเชษฐ์ จิตดาณิษฐ์.(2559). *กระบวนการทำแห้งอาหาร*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิริกัญจน์ ธนบุรณ์รุ่งคำ, พิทยา ใจคำ, เกตุการ ดาจันทร์ และอุทัยวรรณ ฉัตรธง. (2566). การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวเสริมสารสกัดด้วยสมุนไพรด้วยกระบวนการแทรกซึมภายใต้สภาวะสุญญากาศในระหว่างการเก็บรักษา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 28(1), 456.475.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2547ก). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องผักและผลไม้แห้ง มผช. 136/2558.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2533). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค. มอก. 47-2533. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ศศิกานต์ ปานปรานณีเจริญ, เสาวภา ชุมณี, วิไลพร ปองเพียร, รุจิรา คุ่มทรัพย์ และนันทกรักษ์ รอดเกตุ. (2561). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์. *Journal of Science & Technology Phetchabun Rajabhat University*, 3(1), 1-12.
- Bergman, R. (2021). Drying and control of moisture content and dimensional changes. *Chapter 13 in FPL-GTR-282*, 13-1.
- Chimsook, T. (2017). Microwave assisted extraction of avocado oil from avocado skin and encapsulation using spray drying. In *Key Engineering Materials*, 737, 341-346.
- Chimsook, T., & Assawarachan, R. (2017). Effect of Drying Methods on Yield and Quality of the Avocado Oil. In *Key Engineering Materials*, 735, 127-131.
- Park, R., Saleh, D., Vitry, C., & Wang, L. (2015). *Exploration of avocado oil extraction methods and potential in rural Tanzania*. Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139.
- Schmidt, S. J., & Fontana Jr, A. J. (2020). E: water activity values of select food ingredients and products. *Water activity in foods: Fundamentals and applications*, 573-591.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวสิตานันท์ โกวฤทธิ
วัน เดือน ปี เกิด	14 กันยายน 2539
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 157 บ้านทุ่งข่วง หมู่ 2 ตำบลทุ่งกว้าว อำเภอเมืองปาน จังหวัด ลำปาง รหัสไปรษณีย์ 52240
ประวัติการศึกษา	2562-ปัจจุบัน วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 2558-2561 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน) มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ประวัติการทำงาน	2562-2565 ผู้ช่วยนักวิจัย วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย