

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมการทำงานของเครื่องสลัดน้ำผักสดตัดแต่งชนิดผักใบด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

The Optimization of Parameters for Vegetable Spin Drying Using Design of Experiment

เอกรัฐ ชะอุมเอียด¹ และเดือนแรม แพ่งเกี้ยว^{1*}

Accarat Chaoumead¹ and Duanraem Phaengkiao^{1*}

Received: July 3, 2022; Revised: December 9, 2022; Accepted: December 9, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมการสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดของการสลัดน้ำออกจากผักและเพิ่มอายุการเก็บรักษา ทำการทดสอบตัวอย่างผักใบ 3 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม กรีนคอส และกรีนโอ๊ค ทดสอบตัวแปรทั้งหมด 3 ตัวแปร แต่ละตัวแปรทดสอบ 3 ระดับ ได้แก่ น้ำหนัก ทดสอบน้ำหนักที่ 1 2 และ 3 กิโลกรัม ความเร็วรอบ 85 130 และ 180 รอบต่อนาที และระยะเวลา 5 10 และ 15 นาที โดยเอาต์พุต คือ ปริมาณน้ำที่สลัดออกจากผักและอายุการเก็บรักษา ซึ่งจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 64 การทดลอง แบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่สลัดออกจากผักกับน้ำหนักเริ่มต้น ผลการทดลองพบว่า ผักกาดหอม น้ำหนัก 3 กิโลกรัม สลัดด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ระยะเวลา 15 นาที สามารถสลัดน้ำออกจากผักได้มากที่สุด 98 % กรีนคอส น้ำหนัก 1 กิโลกรัม สลัดด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ระยะเวลา 10 นาที สามารถสลัดน้ำออกจากผักได้มากที่สุด 96.50 % และกรีนโอ๊ค น้ำหนัก 1 กิโลกรัม สลัดด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ระยะเวลา 15 นาที สามารถสลัดน้ำออกจากผักได้มากที่สุด 96.50 % ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของผักหลังการสลัด โดยบรรจุในถุงพลาสติกเจาะรูและเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 8 - 12 °C ผลการทดลองพบว่า ผักกาดหอมมีอายุการเก็บรักษา 15 วัน กรีนคอสมีอายุการเก็บรักษา 12 วัน และกรีนโอ๊คมีอายุการเก็บรักษา 13 วัน โดยมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นคิดเป็น 80 66.67 และ 20.08 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผักที่ไม่ผ่านการล้างและสลัดน้ำ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสลัดน้ำออกจากผักแต่ละชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : เครื่องสลัดน้ำ; ผักสดตัดแต่ง; ผักใบ; วิธีการออกแบบการทดลอง

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok

* Corresponding Author, Tel. 09 5642 2229, E - mail: duanraem@rmutl.ac.th

Abstract

This study proposes using a factorial experimental design method to determine optimal parameters for controlling water removal from fresh-cut vegetables. The objective was to achieve maximum efficiency of water removal and increase the shelf life. The tests were conducted on samples of three leafy vegetables, including lettuce, green cos and green oak, with the samples weighing 1, 2, and 3 kilogram; the speeds of water removal were 85, 130, and 180 rpm; and time was 5, 10, and 15 minutes. The output parameters were the amount of vegetable water removed and the shelf life which made for 64 tests in total. The amount of water removed from vegetables was compared with the initial weight. The results showed that removal of water from lettuce weighing 3 kilograms, at 180 rpm, for 15 minutes was up to 98 %; 96.50 % for 1 kilogram of green cos at 180 rpm for 10 minutes can remove water from vegetables up to and 96.50 % for 1 kilogram of green oak at 180 rpm for 15 minutes. The shelf life of vegetables after drying was compared when stored in the fridge in a perforated plastic bag at 8 - 10 °C. The results showed that lettuce had a 15-day shelf life, green cos had a 12-day shelf life, and green oak had a 13-day shelf life. The shelf life was increased by 80, 66.67 and 20.08 %, respectively, compared with the conventional method. Therefore, it can be concluded that the proposed method was able to obtain optimal parameters for effective spin-drying of each type of vegetable.

Keywords: Spin Drying Machine; Fresh-Cut Vegetables; Leafy Vegetables; Design of Experiment (DOE)

บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตสินค้าเกษตรเพื่อบริโภคในประเทศเป็นหลัก โดยผักสดเป็นอาหารที่มีความสำคัญทั้งทางเศรษฐกิจและต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยในปี พ.ศ. 2563 มีการบริโภคสินค้าเกษตรและอาหารมากกว่าร้อยละ 30 ของทั้งหมด และมีการส่งออกผักและผลไม้สดเป็นมูลค่า 80,858 ล้านบาท โดยเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2562 คิดเป็น 9.52 % [1] จากการตรวจสอบการพิชิตค้างในผักและผลไม้สดที่บริโภคในประเทศพบว่าเกินมาตรฐาน นอกจากนี้ยังพบปัญหาการส่งออกผักผลไม้ไปจำหน่ายในกลุ่มสหภาพยุโรป (European Union: EU) เนื่องจากการปนเปื้อนสารตกค้างและจุลินทรีย์อย่างต่อเนื่อง และกลุ่มสหภาพยุโรปได้เพิ่มความเข้มงวดในกฎระเบียบที่เรียกว่า EC Regulation 66/2009 โดยเพิ่มระดับการสุ่มตรวจสอบกลุ่มออร์แกนิกฟอสเฟตสำหรับสินค้าผักในกลุ่ม มะเขือ กะหล่ำ และถั่วฝักยาวเป็นระดับ 50 % โดยพบปัญหาการปนเปื้อนตั้งแต่ผู้รวบรวมสินค้าผักและโรงคัดบรรจุที่มีการล้าง คัด ตัดแต่งก่อนบรรจุลงส่งต่อไปยังแหล่งจำหน่าย การใช้ น้ำ ในการล้างและกำจัดสิ่งสกปรกที่ผิวผักจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา เพราะสามารถช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ผิว การเติมสารฆ่าเชื้อลงในน้ำล้าง จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดจุลินทรีย์ที่ผิวเพิ่มขึ้น 100 เท่า เมื่อล้างผักสะอาดเรียบร้อยแล้วต้องทำการสลัดน้ำออกจากผักจนผักแห้ง ลักษณะของผักบางชนิดนั้นมีขอก มีความหยิกงอ ดังนั้น เกษตรกรต้องสลัดน้ำออกจากผักด้วยมือซึ่งใช้เวลานานทำให้คุณค่าทางอาหารลดลงตามอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมและไม่สามารถควบคุมคุณภาพได้จึงทำให้เกิดความชื้นและน้ำที่คงเหลือที่ผัก ซึ่งอาจทำให้ผักเน่าเสียเมื่ออยู่ในบรรจุภัณฑ์ขณะทำการขนส่งได้ [2] - [3] จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสลัดน้ำในหลากหลายผลิตผล (การประยุกต์ใช้งาน) อาทิ ดอกดาวเรือง เห็ด ผักใบ ซึ่งมีวัตถุประสงค์และเงื่อนไขสำหรับการควบคุมการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น ลดระยะเวลาการสลัดน้ำ เพิ่มประสิทธิภาพการสลัดน้ำ ลดค่าใช้จ่ายเพิ่มกำลังการผลิต [3] - [7] โดยงานวิจัยดังกล่าวใช้รูปแบบการทำงานของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยระบบมอเตอร์หมุนถึงควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติหรือควบคุมด้วยผู้ใช้งาน ซึ่งเมื่อพิจารณาปัจจัยที่สำคัญสำหรับการสลัดน้ำ

ได้แก่ ความเร็วรอบของมอเตอร์ ระยะเวลาการทำงานและปริมาณของผลิตผล จากการตั้งค่างานเริ่มต้นการทำงาน และหยุดการทำงานตามผู้ใช้งานกำหนดอาจยังไม่สามารถควบคุมคุณภาพของการสลัดน้ำออกจากผักที่มีความหลากหลายของลักษณะใบหรือปริมาณน้ำหนักที่ไม่แน่นอนได้ จึงจำเป็นต้องศึกษาหาความเหมาะสมของแต่ละตัวแปรเพื่อศึกษาความเป็นไปได้และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและเอาต์พุตทั้งหมด ซึ่งที่ผ่านมามีวิธีการออกแบบการทดลองนิยมนำมาประยุกต์ในงานทางวิศวกรรมอย่างแพร่หลายในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการออกแบบ อาทิ การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความเหมาะสมในการคำนวณการกระจาย การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดระดับการควบคุมที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแก๊สอัดสำหรับฮาร์ดดิสก์ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อเอาต์พุตที่สนใจ [8] - [12] เนื่องจากวิธีการออกแบบการทดลองสามารถใช้สำหรับสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้อย่างเหมาะสมได้ [13] - [14]

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาต้นแบบเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบและการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมการสลัดน้ำด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล ซึ่งสามารถทำงานแบบอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดของการสลัดน้ำออกจากผักและเพิ่มอายุการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการสลัดแบบเดิม

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมการทำงานของเครื่องสลัดน้ำผักสดตัดแต่งชนิดผักใบด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง เพื่อใช้สำหรับการควบคุมการทำงานของต้นแบบเครื่องสลัดน้ำออกจากผัก ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ต้นแบบเครื่องสลัดน้ำออกจากผัก

ต้นแบบเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสำหรับงานวิจัยนี้มีส่วนประกอบ 7 ส่วน ได้แก่ ถังภายนอก ถังภายใน ปุ่ม on/off สั่งการทำงาน มอเตอร์ ท่อน้ำทิ้ง ล้อเลื่อนและฝาปิด/เปิด แสดงรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะดังตารางที่ 1 และการออกแบบโครงสร้างและต้นแบบเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องสลัดน้ำออกจากผัก

Parameters	Specification
Size of Structure (Outside)	90 x 90 x 100 cm.
Radian of Structure (Inside)	78 cm.
High of Structure (Inside)	70 cm.
Volume	10 kg.
AC Motor	220 V, 1/2 hp, 50 Hz. , Speed 1500 rpm.
Operation Control	Automatic

2. หลักการทำงานของเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบ

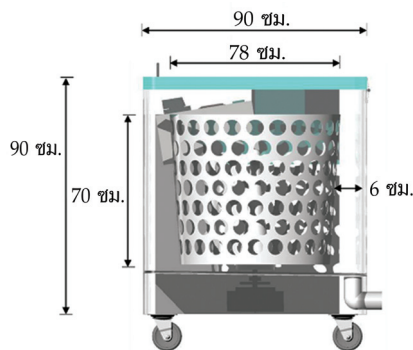
การทำงานของเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ส่วนของระบบควบคุมการทำงานของเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบ และส่วนที่ 2 ส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งแสดงรายละเอียดดังนี้

2.1 ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบ

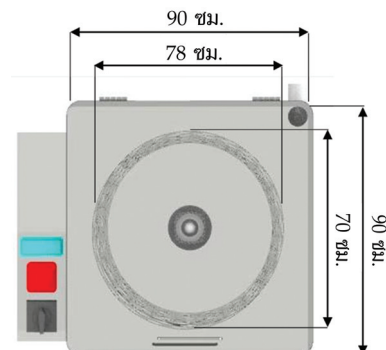
ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบสามารถกำหนดความเร็วรอบได้ 0 - 180 รอบต่อนาที น้ำหนักสูงสุดที่สามารถสลัดได้ไม่เกิน 10 กิโลกรัม และสามารถกำหนดเวลา

ได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ แสดงผังงานของระบบควบคุมการทำงานของเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบดังรูปที่ 2 และมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

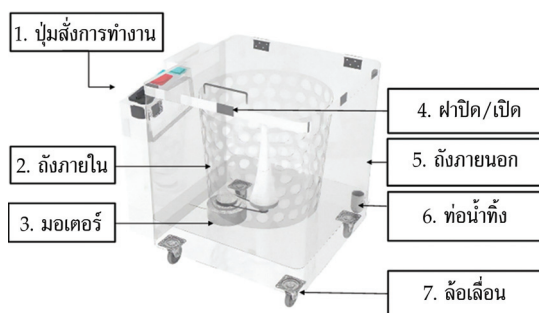
- ขั้นตอนที่ 1 ใส่ผักตามที่ต้องการ
- ขั้นตอนที่ 2 เปิดสวิทช์
- ขั้นตอนที่ 3 ปรับความเร็วรอบตามที่ต้องการ
- ขั้นตอนที่ 4 ระบบทำงาน
- ขั้นตอนที่ 5 หยุดการทำงานตามเวลาที่ผู้ใช้งานกำหนด ปรับความเร็วรอบของเครื่องสลัดน้ำออกจากผักไปที่ตำแหน่งเริ่มต้น
- ขั้นตอนที่ 6 ปิดสวิทช์



(ก) มุมมองด้านข้าง (Side View)



(ข) มุมมองด้านบน (Top View)



(ค) มุมมองไอโซเมตริก (Isometric View)



(ง) ลักษณะต้นแบบเครื่องเครื่องสลัด

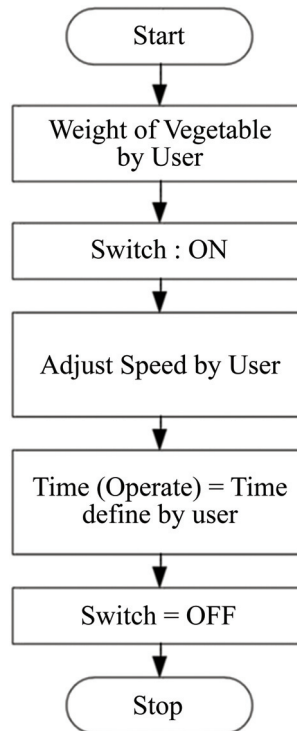
รูปที่ 1 ต้นแบบเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบ

2.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ

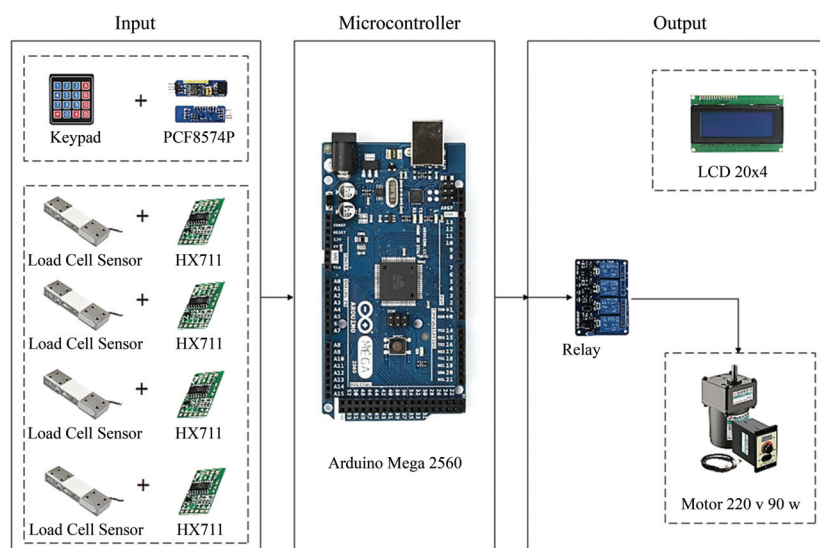
โปรแกรมควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลตามเงื่อนไขที่กำหนด (เปอร์เซ็นต์การสลัดน้ำไม่น้อยกว่า 95 %) ซึ่งรับอินพุต คือ ค่าจากคีย์แพด และค่าน้ำหนักจากเซนเซอร์ชั่งน้ำหนัก และส่งงานเอาต์พุต คือ มอเตอร์และจอแสดงผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เลือกฟังก์ชันการทำงานจากคีย์แพด ซึ่งสามารถเลือกชนิดผักได้ 2 ชนิด ได้แก่ A คือ ผักใบหยัก และ B คือ ผักก้านตรง
- ขั้นตอนที่ 2 รับค่าน้ำหนักปัจจุบันจากเซนเซอร์ชั่งน้ำหนัก
- ขั้นตอนที่ 3 โปรแกรมทำงานตามเงื่อนไขของสมการควบคุม
- ขั้นตอนที่ 4 ระบบหยุดทำงานเมื่อน้ำหนักลดลงตามสมการ

แสดงไดอะแกรมของระบบและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบดังรูปที่ 3 และ 4



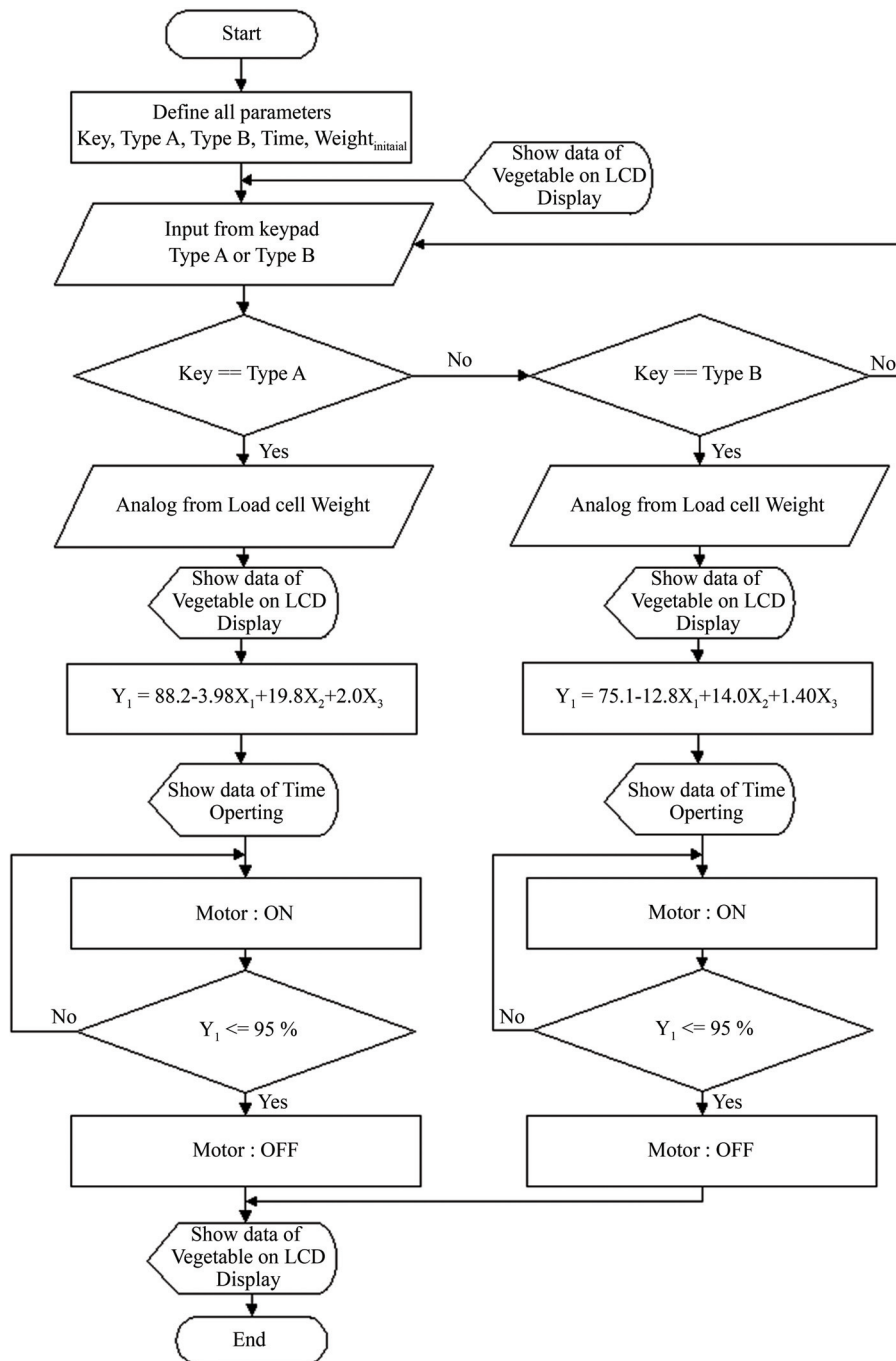
รูปที่ 2 ฟังก์ชันระบบควบคุมการทำงานของเครื่องสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบ



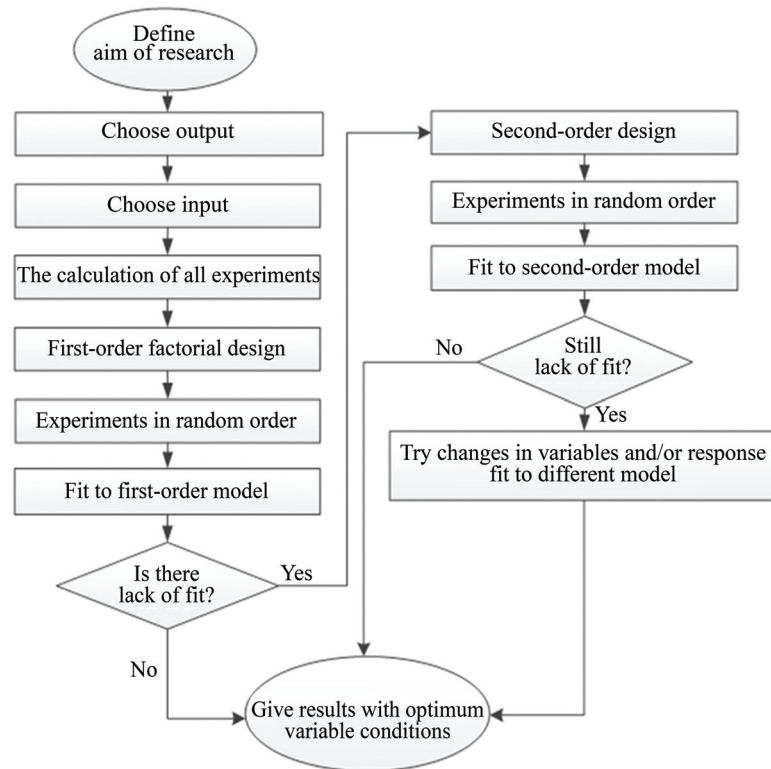
รูปที่ 3 ไดอะแกรมของระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ

3. การออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

วิธีการทดลองแบบทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full-Factorial Experimental Design Method) เป็นหนึ่งในวิธีของวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบของการออกแบบที่มีประสิทธิภาพ แสดงขั้นตอนการทำงานและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในกระบวนการออกแบบด้วยวิธีแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ดังรูปที่ 5 และเมื่อพิจารณาตัวแปรสำหรับการออกแบบในงานวิจัยทั้งหมด 3 ตัวแปร สามารถกำหนดรูปแบบได้ดังตารางที่ 2



รูปที่ 4 ฟังก์ชันโปรแกรมควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 5 แผนภาพการไหลของวิธี Full-Factorial Experimental Design Method

ตารางที่ 2 การเข้ารหัสของตัวแปรอินพุตสำหรับการสลัดน้ำผักสดตัดแต่งชนิดผักใบ

Variables	Unit	Symbol	Coded and Uncoded Levels		
			-1	0	+1
Weight	kg.	X_1	1	2	3
Speed	rpm	X_2	85	130	180
Time	min	X_3	5	10	15

และพิจารณาเอาต์พุต (Y) คือ ปริมาณน้ำที่สลัดออกจากผัก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$\%W = \left(\frac{W_{initial} - W_{final}}{W_{initial}} \right) \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

$\%W$ คือ เปอร์เซ็นต์การสลัดน้ำออกจากผัก (%)
 $W_{initial}$ คือ น้ำหนักผักก่อนการสลัดน้ำออกจากผัก (kg)
 W_{final} คือ น้ำหนักผักหลังการสลัดน้ำออกจากผัก (kg)

สมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาค่าจำนวนการทดลองทั้งหมดที่เป็นไปได้ มีค่าเท่ากับ a^k โดยที่ a คือ จำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และ k คือ จำนวนปัจจัย [15] ในงานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัย 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยศึกษาที่ 3 ระดับ ผักที่เลือกนำมาใช้ในการทดลองเป็นผักที่มีลักษณะผักใบก้านตรง และผักใบหยัก แต่ละปัจจัยศึกษาที่ 3 ระดับ โดยระดับที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้แก่ 85 130 และ 180 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นระดับความเร็วรอบต่ำ กลาง และสูง โดยความเร็ว 85 และ 180 รอบต่อนาที คือความเร็วรอบต่ำสุดและความเร็ว

รอบสูงสุดที่เครื่องสลัดน้ำผักที่พัฒนาขึ้นสามารถทำได้ ซึ่งแต่ละระดับความเร็วมีการเพิ่มขึ้นประมาณ 50 รอบต่อนาที จากการออกแบบด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง (3^3 Full Factorial Experiment) แสดงแผนการทดลอง 3^3 แฟกทอเรียล ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แผนการทดลอง 3^3 แฟกทอเรียลสำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมการทำงานของเครื่องสลัดน้ำผักสดตัดแต่งชนิดผักใบ

Run	Factors			Run	Factors			Run	Factors		
	X_1	X_2	X_3		X_1	X_2	X_3		X_1	X_2	X_3
1	1	1	1	10	0	1	1	19	-1	1	1
2	1	1	0	11	0	1	0	20	-1	1	0
3	1	1	-1	12	0	1	-1	21	-1	1	-1
4	1	0	1	13	0	0	1	22	-1	0	1
5	1	0	0	14	0	0	0	23	-1	0	0
6	1	0	-1	15	0	0	-1	24	-1	0	-1
7	1	-1	1	16	0	-1	1	25	-1	-1	1
8	1	-1	0	17	0	-1	0	26	-1	-1	0
9	1	-1	-1	18	0	-1	-1	27	-1	-1	-1

ในการทดสอบค่าความเหมาะสมของสมการต้นแบบ โดยจะทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ซึ่งค่า R^2 ยิ่งมาก หมายถึง สมการมีความเหมาะสมมาก ซึ่งแสดงรูปแบบตารางการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 4 เมื่อ N คือจำนวนข้อมูล p คือจำนวนพจน์ตัวแปรอิสระในสมการการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแยกเป็น 3 ส่วน คือ ความแปรปรวนรวม (Sum Square Total: SST) เป็นความแปรปรวนรวมของข้อมูล ส่วนที่อธิบายได้ด้วยสมการถดถอย (Sum Squares Regression; SSR) และส่วนที่อธิบายไม่ได้ด้วยสมการถดถอย (Sum Squares Error; SSE) ดังสมการที่ (2)-(6) [15] - [17]

$$SST = SSR + SSE \quad (2)$$

$$SSR = \sum_{i=1}^N (Y'_i - \bar{Y})^2 \quad (3)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (4)$$

เมื่อ $\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2$ คือ ผลบวกของผลต่างกำลังสองของ Y จากค่าเฉลี่ย

ซึ่งค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนระหว่าง SSR กับ SSE หาได้จาก

$$F = \frac{\text{Mean Square Regression}}{\text{Mean Square Residual}} = \frac{SSR/(p-1)}{SSE/(N-p)} \quad (5)$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) หาได้จาก

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (6)$$

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) [16]

Source of Variation	Degree of Freedom (DF)	Sum of Squares (SS)	Mean Square (MS)
Regression	p-1	SSR	SSR/(p-1)
Residual (Error)	N-p	SSE	SSE/(N-p)
Total	N-1	SST	

ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบตัวอย่างผักใบ 3 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม กรีนคอส และกรีนโอ๊ค ทดสอบปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยทดสอบ 3 ระดับ แบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี Full-Factorial Experimental ของผักกาดหอม กรีนคอส และกรีนโอ๊ค โดยผลการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ เมื่อมีตัวแปร 3 อินพุต และ 2 เอาต์พุต ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง ซึ่งแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 5 - 7

ตารางที่ 5 ผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี Full-Factorial Experimental ผักกาดหอม

Run	Factors			Y ₁	Run	Factors			Y ₁	Run	Factors			Y ₁
	X ₁	X ₂	X ₃			X ₁	X ₂	X ₃			X ₁	X ₂	X ₃	
1	1	1	1	98.0	10	0	1	1	97.5	19	-1	1	1	96.5
2	1	1	0	97.5	11	0	1	0	97.0	20	-1	1	0	96.5
3	1	1	-1	96.0	12	0	1	-1	97.0	21	-1	1	-1	96.0
4	1	0	1	96.0	13	0	0	1	90.5	22	-1	0	1	94.0
5	1	0	0	97.5	14	0	0	0	86.5	23	-1	0	0	94.0
6	1	0	-1	95.0	15	0	0	-1	85.0	24	-1	0	-1	92.7
7	1	-1	1	51.0	16	0	-1	1	63.0	25	-1	-1	1	87.5
8	1	-1	0	49.5	17	0	-1	0	61.5	26	-1	-1	0	83.5
9	1	-1	-1	47.0	18	0	-1	-1	71.5	27	-1	-1	-1	80.0

ตารางที่ 6 ผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี Full-Factorial Experimental ผักกรีนคอส

Run	Factors			Y ₂	Run	Factors			Y ₂	Run	Factors			Y ₂
	X ₁	X ₂	X ₃			X ₁	X ₂	X ₃			X ₁	X ₂	X ₃	
1	1	1	1	83.5	10	0	1	1	90.0	19	-1	1	1	94.5
2	1	1	0	82.5	11	0	1	0	91.5	20	-1	1	0	96.5
3	1	1	-1	78.5	12	0	1	-1	85.0	21	-1	1	-1	93.5
4	1	0	1	75.0	13	0	0	1	91.5	22	-1	0	1	92.4

ตารางที่ 6 ผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี Full-Factorial Experimental ผักกักรีนคอส (ต่อ)

Run	Factors			Y ₂	Run	Factors			Y ₂	Run	Factors			Y ₂
	X ₁	X ₂	X ₃			X ₁	X ₂	X ₃			X ₁	X ₂	X ₃	
5	1	0	0	72.5	14	0	0	0	85.5	23	-1	0	0	90.5
6	1	0	-1	70.5	15	0	0	-1	83.0	24	-1	0	-1	88.5
7	1	-1	1	69.0	16	0	-1	1	83.5	25	-1	-1	1	86.5
8	1	-1	0	65.5	17	0	-1	0	77.5	26	-1	-1	0	92.0
9	1	-1	-1	47.0	18	0	-1	-1	74.5	27	-1	-1	-1	85.0

ตารางที่ 7 ผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธี Full-Factorial Experimental ผักกักรีนโอ๊ค

Run	Factors			Y ₃	Run	Factors			Y ₃	Run	Factors			Y ₃
	X ₁	X ₂	X ₃			X ₁	X ₂	X ₃			X ₁	X ₂	X ₃	
1	1	1	1	84.5	10	0	1	1	89.5	19	-1	1	1	96.5
2	1	1	0	84.0	11	0	1	0	91.0	20	-1	1	0	94.0
3	1	1	-1	79.0	12	0	1	-1	86.5	21	-1	1	-1	94.0
4	1	0	1	68.0	13	0	0	1	83.0	22	-1	0	1	91.0
5	1	0	0	65.5	14	0	0	0	86.5	23	-1	0	0	90.0
6	1	0	-1	61.5	15	0	0	-1	73.5	24	-1	0	-1	88.0
7	1	-1	1	42.5	16	0	-1	1	60.5	25	-1	-1	1	84.0
8	1	-1	0	44.0	17	0	-1	0	58.5	26	-1	-1	0	80.0
9	1	-1	-1	39.0	18	0	-1	-1	57.5	27	-1	-1	-1	80.5

เมื่อนำค่าในตารางที่ 5 - 7 มาวิเคราะห์และสร้างเป็นสมการต้นแบบ ดังสมการที่ (7) - (9)

$$Y_1 = 88.2 - 3.98X_1 + 19.8X_2 + 2.02X_3 \quad (7)$$

$$Y_2 = 82.4 - 9.74X_1 + 6.39X_2 + 3.36X_3 \quad (8)$$

$$Y_3 = 75.1 - 12.8X_1 + 14.0X_2 + 1.40X_3 \quad (9)$$

เมื่อ

Y_1	คือ	เปอร์เซ็นต์การสลัดน้ำของผักกาดหอม
Y_2	คือ	เปอร์เซ็นต์การสลัดน้ำของผักกักรีนคอส
Y_3	คือ	เปอร์เซ็นต์การสลัดน้ำของผักกักรีนโอ๊ค
X_1	คือ	น้ำหนักของผัก
X_2	คือ	ความเร็วรอบของมอเตอร์
X_3	คือ	เวลาที่ใช้สลัด

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

จากผลการออกแบบค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Full-Factorial Experimental เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยการทดสอบค่าความเหมาะสมของสมการต้นแบบ ด้วยค่า R^2 พบว่า สมการต้นแบบ Y_1

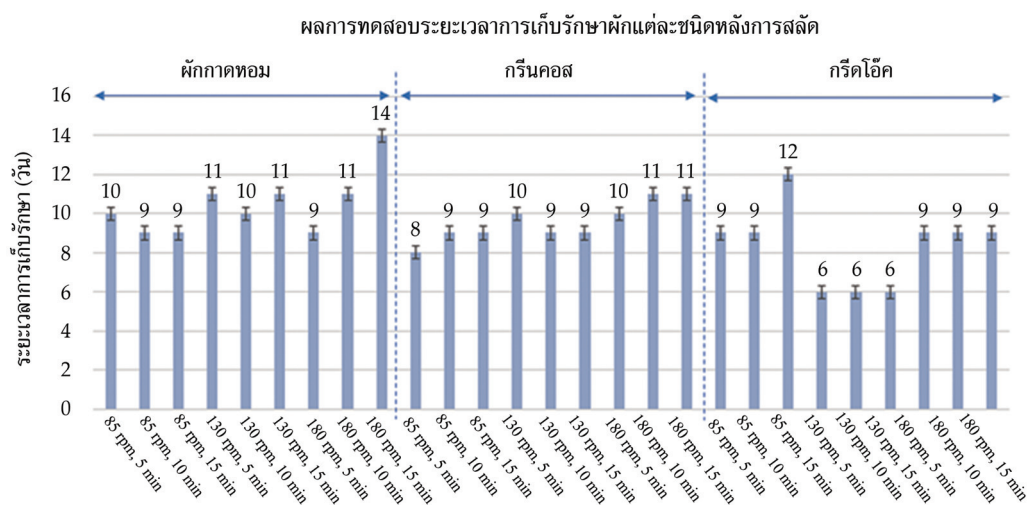
มีค่า R^2 เท่ากับ 76.9 % และมีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 Y_2 มีค่า R^2 เท่ากับ 84.20 % และมีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 และ Y_3 มีค่า R^2 เท่ากับ 89.30% และมีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วย ANOVA สำหรับการสลัดน้ำของผักกาดหอม กรีนคอส และกรีนโอ๊ค ดังตารางที่ 8 จากการศึกษาเอกสารวิชาการและวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง พบว่า การออกแบบการทดลองที่ดีควรมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 > 70$ % และค่า P- Value (ความน่าจะเป็น) < 0.05 (α) แสดงว่าแบบจำลองนี้มีความเพียงพอในการฟิตข้อมูลและถือว่าเป็นข้อมูลที่ดี สามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด [17]

ตารางที่ 8 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

Variables	Source	DF	SS	MS	F	P
Y_1	Regression	3	7419.5	2473.2	25.59	0.001
	Residual Error	23	2222.9	96.6		
	Total	26	9642.4			
Y_2	Regression	3	2646.57	882.19	40.80	0.001
	Residual Error	23	497.27	21.62		
	Total	26	3143.85			
Y_3	Regression	3	6562.8	2187.6	63.90	0.001
	Residual Error	23	787.4	34.2		
	Total	26	7350.2			

3. ผลการวิเคราะห์ด้านคุณภาพของผักสดตัดแต่งชนิดใบหลังการสลัดน้ำออกจากผัก

การเก็บรักษาผลผลิตที่อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการทำให้กระบวนการต่าง ๆ ทางชีวภาพช้าลงและยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ เนื่องจากสามารถลดอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ [18] ซึ่งผักสดตัดแต่งชนิดใบเมื่อนำไปบรรจุตามกรรมวิธี คือ บรรจุลงชนิด Oriented Polypropylene (OPP) เจาะรูขนาดรูเข็ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 - 12 °C [19] สามารถนำมาวิเคราะห์คุณภาพของผักสด โดยพิจารณาระยะเวลาการเก็บรักษาและความสมบูรณ์ของผักทั้ง 3 ชนิด และทดสอบที่ความเร็วรอบ 85 130 และ 180 รอบต่อนาที ระยะเวลาการสลัดน้ำออกจากผัก 5 10 และ 15 นาที แสดงผลการทดสอบคุณภาพของผักสดตัดแต่งชนิดใบหลังการสลัดน้ำ ด้านระยะเวลาการเก็บรักษาและความสมบูรณ์ของผักทั้ง 3 ชนิดดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการทดสอบระยะเวลาเก็บรักษาผักแต่ละชนิดหลังการสลัดน้ำออกจากผัก

จากผลการทดสอบระยะเวลาเก็บรักษาผักแต่ละชนิดหลังการสลัดน้ำออกจากผักพบว่า ผักกาดหอม ที่ผ่านการสลัดน้ำออกจากผักที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด คือ 14 วัน ผักก้านคอสที่ผ่านการสลัดน้ำออกจากผักที่ความเร็ว 180 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด คือ 11 วัน ผักก้านโศกที่ผ่านการสลัดน้ำออกจากผักที่ความเร็ว 85 รอบต่อนาที เวลา 15 นาที สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด คือ 12 วัน ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ [19] ซึ่งทำการทดสอบ เก็บผลิตผลสดหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยบรรจุในถุง OPP ที่อุณหภูมิ 7 - 15 °C สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้มากกว่า 10 วัน

4. ผลการทดสอบการสลัดน้ำออกจากผักด้วยโปรแกรมควบคุมการทำงานอัตโนมัติ

ผลการทดสอบการสลัดน้ำออกจากผักด้วยโปรแกรมควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ โดยใช้สมการที่ (6) - (8) สำหรับเป็นสมการควบคุมการทำงาน ใช้ตัวอย่างผักชนิด A คือ ใบหยก และผักชนิด B คือ ผักก้านตรง น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ทดสอบซ้ำ 5 ครั้ง และพิจารณาความแม่นยำของการทำงานของโปรแกรม ตามเงื่อนไขที่กำหนด แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 9 จากผลการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติพบว่า เมื่อนำผักชนิด A คือ ผักใบหยก น้ำหนัก 1 กิโลกรัม โปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำทั้ง 5 ครั้ง ตามเงื่อนไขที่กำหนด คือ เปอร์เซนต์การสลัดน้ำออกจากผักไม่น้อยกว่า 95 % และเมื่อนำผักชนิด B คือ ผักก้านตรง น้ำหนัก 1 กิโลกรัม โปรแกรมสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำทั้ง 5 ครั้ง ตามเงื่อนไขที่กำหนด คือ เปอร์เซนต์การสลัดน้ำออกจากผักไม่น้อยกว่า 95 % เช่นกัน

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบความแม่นยำของโปรแกรมควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ

ชนิดผัก ที่ทดสอบ	เปอร์เซนต์การสลัดน้ำออกจากผัก					เปอร์เซนต์ ความแม่นยำ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
A	96.0	96.0	95.0	95.0	96.0	95.6
B	95.0	95.0	97.0	97.0	97.0	96.0

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้นำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมการสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบ ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดของการสลัดน้ำออกจากผักและเพิ่มอายุการเก็บรักษา ทำการทดสอบตัวอย่างผักใบ 3 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม กรีนคอส และ กรีนโศก ทดสอบพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 พารามิเตอร์ แต่ละพารามิเตอร์ทดสอบ 3 ระดับ ได้แก่ น้ำหนัก ทดสอบน้ำหนักที่ 1 2 และ 3 กิโลกรัม ความเร็วรอบ 85 130 และ 180 รอบต่อนาที และระยะเวลา 5 10 และ 15 นาที โดยเอาต์พุต คือ ปริมาณน้ำที่สลัดออกจากผักและอายุการเก็บรักษา ซึ่งจำนวนการทดลองทั้งหมด เท่ากับ 64 การทดลอง แบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณน้ำที่สลัดออกจากผักกับน้ำหนักเริ่มต้น ผลการทดลองพบว่า ผักกาดหอมน้ำหนัก 3 กิโลกรัม สลัดด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ระยะเวลา 15 นาที สามารถสลัดน้ำออกจากผักได้มากที่สุด 98 % กรีนคอสน้ำหนัก 1 กิโลกรัม สลัดด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ระยะเวลา 10 นาที สามารถสลัดน้ำออกจากผักได้มากที่สุด 96.50 % และกรีนโศกน้ำหนัก 1 กิโลกรัม สลัดด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ระยะเวลา 15 นาที สามารถสลัดน้ำออกจากผักได้มากที่สุด 96.50 % ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของเครื่องสลัดแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง คือ ความเร็วรอบและระยะเวลาที่ใช้ในการสลัดมีผลต่อการสลัดแห้ง [3], [7], [20] ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับควบคุมการสลัดน้ำออกจากผักสดตัดแต่งชนิดผักใบด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล

ชนิดผัก	น้ำหนัก (kg)	ความเร็วในการสลัด (rpm)	ระยะเวลา (min)	การสลัดน้ำ (%)
ผักกาดหอม	3	180	15	98.00
กรีนคอส	1	180	10	96.50
กรีนโอ๊ค	1	180	15	96.50

ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาของผักหลังการสลัด บรรจุในถุงพลาสติกเจาะรูและเก็บรักษาในตู้เย็นอุณหภูมิ 8 - 12 °C ผลการทดลองพบว่าผักกาดหอมมีอายุการเก็บรักษา 15 วัน กรีนคอสมีอายุการเก็บรักษา 12 วัน และกรีนโอ๊คมีอายุการเก็บรักษา 13 วัน โดยมีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นคิดเป็น 80 66.67 และ 20.08 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผักที่ไม่ผ่านการล้างและสลัดน้ำ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่น่าเสนอสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการสลัดน้ำออกจากผักแต่ละชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก และหน่วยวิจัยเทคโนโลยีและนวัตกรรมการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ดำเนินงานวิจัย

References

- [1] Department of International Trade Promotion. (2020). **Annual Report 2020**. Access (20 March 2021). Available (https://www.ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/731355/731355.pdf&title=731355&cate=900&d=0)
- [2] Brackett, R. E. (2000). **Safe Handling of Fruits and Vegetables**. Safe Handling of Foods. New York; Marcel Dekker, Inc.
- [3] Poondee, J. and Nimjit, S. (2021). Optimal Storage Pattern for Extremely Delicate Produce: Case Study of Sunflower Sprouts. **Srinakharinwirot University Engineering Journal**. Vol. 16, No. 3, pp. 75-83
- [4] Kruekumary, P., Ngermnate, T., Hebkham, W., and Thongdee, P. (2016). Development of Spinning Marigolds Dehydrator Machine. In **Proceeding of 3th Conference on Research and Creative Innovations**. pp. 1-6. Chiang Mai
- [5] Surekham, W. and Somjai, S. (2017). A Salad of Mushrooms Community Enterpris Ban Kum 2/8 Moo 2 Bang Phae Sub-district, Bang Phae District, Ratchaburi Province. In **Proceeding of 5th Muban Chombueng Rajabhat University's National Conference**. pp. 249-254. Ratchaburi
- [6] Putakamnerd, C., Warapat, C., and Winyangkul, S. (2019). Design and Construction of Spinning Machine for Vegetable. In **Proceeding of the 6th NEU National and International Conference 2019 (NEUNIC 2019)**. North Eastern University: Khon Kaen. pp. 1050-1057

- [7] Yamfang, M. (2019). Design and Construction of Water and Oil Removal Machine for Pork Snack Production. **Journal of Engineering, RMUTT**. Vol. 17, No. 2, pp. 99-111
- [8] Li, J. T., Liu, Z. J., Jabbar, M. A., and Gao, X. K. (2004). Design Optimization for Cogging Torque Minimization Using Response Surface Methodology. **IEEE Transactions on Magnetics**. Vol. 40, Issue 2, pp. 1176-1179. DOI: 10.1109/TMAG.2004.824809
- [9] Sezgin, H., Bahadir, S. K., Boke, Y. E., and Kalaoglu, F. (2014). Thermal Analysis of E-Textile Structures Using Full-Factorial Experimental Design Method. **Journal of Industrial Textiles**. pp. 1-13. DOI: 10.1177/1528083714540699
- [10] Li, Z., Zhang, L., Lun, Q., and Jin, H. (2014). Optimal Design of Multi-DOF Deflection Type PM Motor by Response Surface Methodology. **Journal of Electrical Engineering and Technology**. Vol. 10, Issue 3, pp. 965-970
- [11] Limratchapong, T. and Huailuek, N. (2019). **Design of Experiment for Evaluating the Optimal Condition in Coffee Beans Roasting**. B. Eng. Management and Logistics Engineering Dhurakij Pundit University
- [12] Jittraboon, C. (2018). **Design of Experiment to Determine the Appropriate Control Level in Hard Disk Pivot Manufacturing Process**. M. Eng. Engineering Management Kasetsart University
- [13] Vennilaaa, D. B., Karuppusamib, G., and Senthila, P. (2016). Analysis of Different Infiltration Effect for Selective Laser Sintering Process Through Taguchi Method. **Australian Journal of Mechanical Engineering**. Vol. 14, Issue 3, pp. 217-223. DOI: 10.1080/14484846.2015.1093255
- [14] Srebrenkoska, S., Kochoy, A., and Minovski, R. (2016). Six Sigma and Design of Experiments for Improving the Production of Composite Pipes. **Journal for Technology of Plasticity**. Vol. 41, No. 2, pp. 11-17
- [15] Sudasna-na-Ayudhya, P. and Luangpaiboon, P. (2008). **Design and Analysis of Experiments**. Bangkok: Top Publishers
- [16] Silpcharu, T. (2012). **Research and Statistical Analysis with SPSS and AMOS**. Bangkok: Business R&D Publishers
- [17] Haaland, P. D. (1989). **Experimental Design in Biotechnology**. New York: Marcel Dekker Publishers
- [18] Giannakourou, M. C. and Tsironi, T. N. (2021). Application of Processing and Packaging Hurdles for Fresh-Cut Fruits and Vegetables Preservation. **Foods**. Vol. 10, Issue 4, pp. 1-23. DOI: 10.3390/foods10040830
- [19] Kwanhong, P., Songchan, K., and Srithanyarat, S. (2021). **Annual Report Using Different Packaging for Storage of Minimally Processed Vegetables**. Access (10 May 2021). Available (<http://www.doa.go.th>)
- [20] Maunkhaw, D. and Dulyakul, Y. (2016). The Study and Design of Plastic Spinning Process for Plastic Recycling. In **Proceeding of the 8th Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus**. Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus: Nakhon Pathom. pp. 363-371