

การออกแบบและพัฒนาเครื่องล้างอุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์
ร่วมกับไอโซนแบบต่อเนื่อง



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2562

**DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN ULTRASONIC-
OZONE ASSISTED CONTINUOUS GRAPE
WASHING MACHINE**

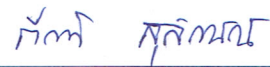


**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical
and Process System Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2019**

การออกแบบและพัฒนาเครื่องล้างอุณหภูมิด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับไอโซนแบบต่อเนื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.กীরดี สุลักษณ์)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนาจ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



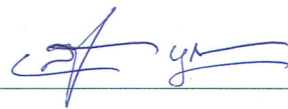
(ผศ. ดร.กระวี ตรีอำนาจ)

กรรมการ



(ผศ. ดร.ประสิทธิ์ ทิมขำ)

กรรมการ



(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)

กรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ทิวา สายประดิษฐ : การออกแบบและพัฒนาเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับ
โอโซนแบบต่อเนื่อง (DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN ULTRASONIC-OZONE
ASSISTED CONTINUOUS GRAPE WASHING MACHINE) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทวรัตน์ ตรีอำนาจ, 133 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่อง รวมทั้งทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น โดยได้ทำการศึกษาในหัวข้อต่างๆดังนี้ 1) ศึกษาผลของสารเคมีตกค้างต่อค่าปริภูมิ $L^* a^* b^*$ โดยการนำสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มาตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit ได้ผลคือเมื่อความเข้มข้นของสารเคมีเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า $L^* a^* b^*$ ลดลง หรือตัวอย่างมีสีเข้มขึ้นเป็นสีเขียวมากขึ้น และเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเคมีเพิ่มขึ้น 2) ศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อองุ่นตัวอย่างโดยนำช่อองุ่นตัวอย่างไปแช่ในสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตเข้มข้น 1 ppm เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9, 40.3 และ 120.3 kHz เป็นเวลา 0, 5, 10 และ 15 นาที ได้ผลคือเมื่อล้างองุ่นตัวอย่างด้วยอัลตราโซนิกส์ที่ความถี่และเวลามากขึ้นจะช่วยลดสารเคมีตกค้างได้ดีขึ้น โดยความถี่และเวลาที่ดียที่สุดคือ 120.3 kHz เวลา 10 นาที ซึ่งสามารถลดสารเคมีตกค้างจนอยู่ในระดับที่ไม่มีสารเคมีตกค้าง 3) ศึกษาผลของโอโซนต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อองุ่นตัวอย่างโดยนำช่อองุ่นตัวอย่างไปแช่ในสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตเข้มข้น 1 ppm เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยโอโซนความเข้มข้น 4, 6 และ 8 ppm เป็นเวลา 0, 5, 10 และ 15 นาที ได้ผลคือเมื่อล้างองุ่นตัวอย่างด้วยโอโซนที่ความเข้มข้นและเวลามากขึ้นจะช่วยลดสารเคมีตกค้างได้ดีขึ้น โดยความเข้มข้นและเวลาที่ดียที่สุดคือ 8 ppm เวลา 5 นาที ซึ่งสามารถลดสารเคมีตกค้างจนอยู่ในระดับที่ไม่มีสารเคมีตกค้าง 4) ศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่น โดยนำช่อองุ่นตัวอย่างไปย้อมด้วยสีผงและนำไปล้างด้วยอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9, 40.3 และ 120.3 kHz เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที ผลคือเมื่อล้างองุ่นตัวอย่างด้วยอัลตราโซนิกส์ที่ความถี่และเวลามากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก โดยความถี่ 120.3 kHz เวลา 15 นาที มีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก 93.16% 5) ศึกษาผลของโอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่น โดยนำช่อองุ่นตัวอย่างไปย้อมด้วยสีผงและนำไปล้างด้วยโอโซนความเข้มข้น 4, 6 และ 8 ppm เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที ผลคือเมื่อล้างองุ่นตัวอย่างด้วยโอโซนที่ความเข้มข้นและเวลามากขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก โดยความเข้มข้น 8 ppm เวลา 15 นาที มีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก 56.61% ซึ่งถือว่าน้อยเมื่อเทียบกับอัลตราโซนิกส์ 6) ทดสอบสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ ผลที่ได้คือเครื่องต้นแบบมีอัตราการล้างองุ่นอยู่ที่

83.85 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และลดสารเคมีตกค้างในองุ่นตัวอย่างจนอยู่ในระดับที่ไม่มีสารเคมีตกค้าง และจากการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเครื่องต้นแบบมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 2 เดือน



สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนักศึกษา พิมพ์ สาขประดิษฐ์

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร. [ลายมือ]

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม น.อ. ชัยธนา

TIWA SAIPRADIT : DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN
ULTRASONIC-OZONE ASSISTED CONTINUOUS GRAPE WASHING
MACHINE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TAWARAT TREEAMNUK,
Ph.D., 133 PP.

GRAPE/PESTICIDE RESIDUE/SEMI-AUTOMATIC MACHINE

The aim of this thesis was to design and develop an Ultrasonic-Ozone Assisted Continuous Grape Washing Machine. Including testing and evaluating the performance of the developed prototype. By conducting studies on various topics as follows:

- 1) Study the effect of pesticide residue on color space L^* , a^* , b^* by using the carbamate chemicals at various concentrations to check for chemical residues by using GT-Pesticide test kit. It is effective that when the concentration of chemicals increases, the L^* , a^* , b^* value decreases or samples will darker, becomes green and blue as the chemical concentration increases.
- 2) Study the effect of ultrasonic on the reduction of pesticide residues in grape samples by immersing the samples in 1 ppm of carbamate for 30 minutes. After that, washing with ultrasonic frequency of 28.9, 40.3 and 120.3 kHz for 0, 5, 10 and 15 minutes. The result shown that when washing the grapes samples with ultrasonic at a higher frequency and longer time will help to reduce chemical residues better. The best condition of washing is frequency of 120.3 kHz and time of 10 minutes, which can reduce the pesticide residue to the level of non-residue.
- 3) Study the effect of ozone on the reduction of pesticide residues in grape samples by immersing the samples in 1 ppm of carbamate for 30 minutes. After that, washing with ozone concentration of 4, 6 and 8 ppm for 0, 5, 10 and 15 minutes. The result shown that when washing the grapes samples with ozone at a higher concentration and longer time will

help to reduce chemical residues better. The concentration of 8 ppm and 5 minutes of time is the best condition of washing, which can reduce the pesticide to the non-residue level. 4) Study the effect of ultrasonic on reducing skin impurities in grape bunches. The samples were dyed with powdered color and washed with ultrasonic at the frequency of 28.9, 40.3 and 120.3 kHz for 5, 10 and 15 minutes. The result shown that when washing grape samples using ultrasonic at greater frequency and time, it improves the efficiency of reducing impurities. The frequency of 120.3 kHz for 15 minutes has the efficiency of reducing impurities 93.16%. 5) Study the effect of ozone on reducing skin impurities in grape bunches. The samples were dyed with powdered color and washed with ozone at the concentration of 4, 6 and 8 ppm for 5, 10 and 15 minutes. The result shown that when washing grape samples using ozone at greater concentration and time, it improves the efficiency of reducing impurities. The concentration of 8 ppm for 15 minutes has the efficiency of reducing impurities 56.61%. 6) Test the performance of the prototype. The result shown that the prototype has the washing rate of 83.85 kg/h and can remove chemical residues in the grape samples to non-residue level. Moreover, the economic evaluation found that the prototype has the fastest payback period of 2 months.

School of Mechanical Engineering

Academic year 2019

Student's Signature Tiwa Saipradit

Advisor's Signature [Signature]

Co-Advisor's Signature Kaewee Treeamnule

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบุคคลต่อไปนี้ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ให้กำลังใจ และช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนาจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งเปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าเข้ามาศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา คอยอบรม สั่งสอน และให้คำปรึกษาตลอดจนให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จลุล่วง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนาจ ที่เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้รู้จักกับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนาจ นอกจากนี้ยังเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม คอยให้คำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนถึงแนะแนวทางที่ถูกต้องในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่สำหรับงานวิจัย รวมถึงบุคลากรสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ บุคลากรสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และบุคลากรสาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร ที่ให้คำแนะนำเรื่องเอกสารต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจ และคอยสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีเสมอมา อีกทั้งขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นที่ปรึกษา และเป็นกำลังใจ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ทิวา สายประดิษฐ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ท
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 อ่งุ่น.....	3
2.2.1 อ่งุ่นทานผลสดชนิดไม่มีเมล็ด.....	3
2.2.2 อ่งุ่นทานผลสดมีเมล็ด.....	5
2.3 ไอโซน.....	6
2.3.1 ความหมายของไอโซน.....	6
2.3.1.1 ลักษณะเด่นของไอโซน.....	7
2.3.1.2 ข้อจำกัดของไอโซน.....	7
2.3.2 วิธีการผลิตไอโซน.....	7
2.4 อัลตราโซนิคส์.....	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1	ความหมายของอัลตราโซนิคส์.....	11
2.4.2	การสร้างคลื่นอัลตราโซนิคส์.....	11
2.4.2.1	ลิกวิดไคร์ฟเวนทรานส์ดีวเซอร์.....	12
2.4.2.2	แมกนีโตสทริกทีฟทรานส์ดีวเซอร์.....	12
2.4.2.3	พีโซอิเล็กทริกทรานส์ดีวเซอร์.....	13
2.4.3	การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ของอัลตราโซนิคส์.....	14
2.5	ระบบควบคุมอัตโนมัติ.....	15
2.5.1	Programmable Logic Controller (PLC).....	15
2.5.2	มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	15
2.5.3	พรีอักษิมิตีเซนเซอร์.....	16
2.6	ระบบนิวเมติกส์.....	17
2.6.1	อุปกรณ์เบื้องต้นในระบบนิวเมติกส์.....	17
2.6.1.1	เครื่องอัดลม (Air compressor).....	18
2.6.1.2	ถังเก็บลม (Air tank).....	19
2.6.1.3	เครื่องระบายความร้อน (After cooler).....	19
2.6.1.4	เครื่องกรองในท่อหลัก (Main line air filter).....	19
2.6.1.5	เครื่องทำลมแห้ง (Refrigerated air dryer).....	20
2.6.1.6	ตัวกรองลมอัด (Air filter).....	20
2.6.1.7	วาล์วควบคุมความดัน (Air regulator).....	21
2.6.1.8	ตัวเติมน้ำมันหล่อลื่น (Air lubricator).....	21
2.6.1.9	ตัวเก็บเสียง (Air silencer).....	22
2.6.1.10	วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลมอัด (Directional control valve).....	22
2.6.1.11	วาล์วควบคุมความเร็ว (Speed control valve).....	23
2.6.1.12	กระบอกสูบ (Air cylinder).....	23
2.6.2	การคำนวณหาขนาดกระบอกสูบในระบบนิวเมติกส์.....	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7	การตรวจสอบสารเคมีตกค้างในตัวอย่าง.....	26
2.7.1	ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit.....	26
2.7.2	การประมวลผลภาพ (Image processing).....	26
2.7.3	โปรแกรม ImageJ.....	27
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.1	การศึกษาสมบัติทางกายภาพขององุ่นพันธุ์มรกต ซีคเลส และการออกแบบ เครื่องต้นแบบเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิคส์ร่วมกับไอโซนแบบ ต่อเนื่อง.....	28
3.1.1	การศึกษาสมบัติทางกายภาพขององุ่นพันธุ์มรกต ซีคเลส.....	28
3.1.2	การออกแบบเครื่องต้นแบบ.....	29
3.1.2.1	ภาชนะสำหรับบรรจุช่อองุ่นและภาชนะบรรจุน้ำ สำหรับการล้าง.....	29
3.1.2.2	การเลือกกระบอกสูบสำหรับช่อองุ่น.....	31
3.1.2.3	การเลือกมอเตอร์สำหรับเป็นต้นกำลังในการหมุน.....	32
3.1.2.4	การเลือกเครื่องกำเนิดอัลตราโซนิคส์และเครื่องกำเนิด ไอโซน.....	33
3.1.2.5	ชุดเฟืองเงินิวา.....	34
3.1.2.6	เซนเซอร์สำหรับตรวจจับตำแหน่ง.....	35
3.1.2.7	เครื่องอัดลม.....	35
3.1.2.8	วาล์วควบคุมทิศทางการไหลและวาล์วควบคุม ความเร็วลมอัด.....	36
3.1.2.9	พัดลมสำหรับกำจัดความชื้นส่วนเกินเบื้องต้น.....	36
3.1.2.10	ระบบควบคุมอัตโนมัติและกลไกการทำงานของ เครื่องต้นแบบ.....	37
3.2	การศึกษาผลของสารเคมีตกค้างต่อค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$	42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3	การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อองุ่น ตัวอย่าง.....	44
3.4	การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อองุ่นตัวอย่าง.....	46
3.5	ขั้นตอนการใช้งานชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit และการวิเคราะห์ค่าสีในกระบวนการ Image processing.....	47
3.5.1	ขั้นตอนการใช้งานชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit.....	47
3.5.2	การวิเคราะห์ค่าสีด้วยกระบวนการ Image Processing.....	49
3.6	การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่น.....	54
3.7	การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่น.....	55
3.8	การใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลตราโซนิกส์ ในการลดคราบสกปรกและประสิทธิภาพของโอโซนในการลดคราบ สกปรก.....	57
3.9	การทดสอบสมรรถนะของเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับ โอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ.....	62
3.9.1	อัตราการผลิต.....	62
3.9.2	ผลของเครื่องต้นแบบต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อองุ่น ตัวอย่าง.....	63
3.9.3	ความสิ้นเปลืองพลังงาน.....	64
3.9.3.1	ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า.....	64
3.9.3.2	ความสิ้นเปลืองน้ำในการล้าง.....	64
3.9.4	การสูญเสียหลังการล้างด้วยเครื่องต้นแบบ.....	65
3.9.5	การกำจัดความชื้นส่วนเกิน.....	65
3.10	การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	65
3.10.1	การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ.....	65
3.10.2	จุดคุ้มทุน.....	67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.10.3	ระยะเวลาคืนทุน.....	67
3.10.4	อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR).....	68
4	ผลการดำเนินการวิจัย.....	69
4.1	ผลของสารเคมีตกค้างต่อค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$	69
4.2	ผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อดงุ่นตัวอย่าง.....	71
4.2.1	ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อดงุ่นตัวอย่าง.....	71
4.2.2	ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อดงุ่นตัวอย่าง.....	75
4.2.3	ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อดงุ่นตัวอย่าง.....	78
4.3	ผลของโอโซนต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อดงุ่นตัวอย่าง.....	81
4.3.1	ผลของโอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อดงุ่นตัวอย่าง.....	81
4.3.2	ผลของโอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อดงุ่นตัวอย่าง.....	84
4.3.3	ผลของโอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อดงุ่นตัวอย่าง.....	87
4.4	ผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อดงุ่น.....	90
4.5	ผลของโอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อดงุ่น.....	91
4.6	ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องล้างดงุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ.....	92
4.7	ผลการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	93
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	94
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	94

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.1	การศึกษาผลของสารเคมีตกค้างต่อค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$	94
5.1.2	การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดสารเคมีตกค้าง ในช่อดงุ่นตัวอย่าง.....	94
5.1.3	การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อดงุ่น ตัวอย่าง.....	94
5.1.4	การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิว ของช่อดงุ่น.....	95
5.1.5	การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของ ช่อดงุ่น.....	95
5.1.6	การทดสอบสมรรถนะของเครื่องล้างช่อดงุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ.....	95
5.1.7	การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.....	95
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	96
	รายการอ้างอิง.....	97
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลอง.....	100
	ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ.....	110
	ภาคผนวก ค. แบบเครื่องจักรต้นแบบที่พัฒนาขึ้น.....	117
	ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	119
	ประวัติผู้เขียน.....	133

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 จำนวนเชื้อราทั้งหมดในเปลือกมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยหลังการรมด้วยโอโซน แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส	10
3.1 สมบัติทางกายภาพของอุ้งน้พันธุ์มารู ซีคเลส	29
4.1 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อค่า L*	72
4.2 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อค่า a*	72
4.3 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อค่า b*	73
4.4 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่ของุ่น ตัวอย่าง	74
4.5 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อค่า L*	75
4.6 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อค่า a*	76
4.7 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อค่า b*	76
4.8 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่ของุ่น ตัวอย่าง	77
4.9 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อค่า L*	78
4.10 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อค่า a*	79
4.11 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อค่า b*	79
4.12 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่ของุ่น ตัวอย่าง	80
4.13 ผลของโอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อค่า L*	81
4.14 ผลของโอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อค่า a*	82
4.15 ผลของโอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อค่า b*	83
4.16 ผลของโอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่ของุ่น ตัวอย่าง	84
4.17 ผลของโอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อค่า L*	84
4.18 ผลของโอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อค่า a*	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.19 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อค่า b^*	86
4.20 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง.....	87
4.21 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อค่า L^*	87
4.22 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อค่า a^*	88
4.23 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อค่า b^*	89
4.24 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง.....	90
4.25 ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของเครื่องต้นแบบ เมื่อขายองุ่นปลอดสารพิษที่ราคาต่าง ๆ	93
ก.1 ผลของความเข้มข้นสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตต่อค่าสี RGB.....	101
ก.2 ผลของความเข้มข้นสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตต่อค่าสี $L^* a^* b^*$	101
ก.3 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 28.9 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่าง ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	102
ก.4 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 40.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่าง ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	102
ก.5 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 120.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่าง ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	102
ก.6 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 28.9 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า $L^* a^* b^*$ ขององุ่น ตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit.....	103
ก.7 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 40.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า $L^* a^* b^*$ ขององุ่น ตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit.....	103
ก.8 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 120.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า $L^* a^* b^*$ ขององุ่น ตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit.....	103
ก.9 ผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่าง ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	104
ก.10 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่าง ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.11 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่าง ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	104
ก.12 ผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า L* a* b* ขององุ่น ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	105
ก.13 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า L* a* b* ขององุ่นตัวอย่าง ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	105
ก.14 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า L* a* b* ขององุ่นตัวอย่าง ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	105
ก.15 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพ ในการลดคราบสกปรกบนผิวช่อองุ่นตัวอย่าง	106
ก.16 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพ ในการลดคราบสกปรกบนผิวช่อองุ่นตัวอย่าง	106
ก.17 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพ ในการลดคราบสกปรกบนผิวช่อองุ่นตัวอย่าง	106
ก.18 ผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลด คราบสกปรกบนผิวช่อองุ่นตัวอย่าง	106
ก.19 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลด คราบสกปรกบนผิวช่อองุ่นตัวอย่าง	107
ก.20 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลด คราบสกปรกบนผิวช่อองุ่นตัวอย่าง	107
ก.21 ผลของเครื่องดันแบบต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 1) ที่ผ่าน การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	107
ก.22 ผลของเครื่องดันแบบต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 2) ที่ผ่าน การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	107
ก.23 ผลของเครื่องดันแบบต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 3) ที่ผ่าน การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit	108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.24	ผลของเครื่องต้นแบบต่อค่า $L^* a^* b^*$ ขององุ่นตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 1) ที่ผ่าน การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit 108
ก.25	ผลของเครื่องต้นแบบต่อค่า $L^* a^* b^*$ ขององุ่นตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 2) ที่ผ่าน การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit 108
ก.26	ผลของเครื่องต้นแบบต่อค่า $L^* a^* b^*$ ขององุ่นตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 3) ที่ผ่าน การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit 109
ข.1	ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิกร่วมกับโอโซน แบบต่อเนื่อง..... 113



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ผลของไอโซนต่อค่า pH ที่เกิดในเนื้อปูน้ำนิ่งเมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ($5\pm 1^{\circ}\text{C}$).....9
2.2	คลื่นความถี่ของอัลตราโซนิคส์ในช่วงต่าง ๆ..... 11
2.3	ทรานส์ดิวเซอร์แบบลิควิดไคร์ฟเวน 12
2.4	ทรานส์ดิวเซอร์แบบแมกนีโตสตริกทีฟ 13
2.5	ทรานส์ดิวเซอร์แบบพีโซอิเล็กตริก 14
2.6	บอร์ด PLC (Programmable Logic Controller)..... 15
2.7	มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor) 16
2.8	อินเวอร์เตอร์ (Inverter) 16
2.9	พรีอกซิมีตีเซนเซอร์ (Proximity sensor)..... 17
2.10	อุปกรณ์พื้นฐานในระบบนิวเมติกส์..... 18
2.11	เครื่องอัดลมแบบติดตั้งถังเก็บลมในตัว 18
2.12	เครื่องกรองในท่อหลัก (Main line air filter) 19
2.13	เครื่องทำลมแห้ง (Refrigerated air dryer)..... 20
2.14	ตัวกรองลมอัด (Air filter)..... 20
2.15	วาล์วควบคุมความดันติดตั้งร่วมกับตัวกรองลมอัด..... 21
2.16	ตัวเติมน้ำมันหล่อลื่นติดตั้งร่วมกับวาล์วควบคุมความดันและตัวกรองลมอัด..... 21
2.17	ตัวเก็บเสียง (Air silencer)..... 22
2.18	วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลมอัด (Directional control valve)..... 22
2.19	วาล์วควบคุมความเร็ว (Speed control valve) 23
2.20	โครงสร้างกระบอกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว (Single acting air cylinder) 24
2.21	โครงสร้างกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง (Double acting air cylinder)..... 25
3.1	ตะแกรงสแตนเลสเจาะรู 29
3.2	ภาชนะบรรจุห่อถุง 30
3.3	ภาชนะบรรจุน้ำ 30
3.4	กระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทางยี่ห้อ SMC รุ่น CG1FN50-550Z..... 31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5	มอเตอร์ MITSUBISHI รุ่น SF-JR.....32
3.6	เกียร์ทด CPG แบบ PORU.....33
3.7	Ultrasonic generator.....33
3.8	เครื่องกำเนิดโอโซน34
3.9	เฟืองเจนิวาและเฟืองขับ34
3.10	พรีอักษมิติเซ็นเซอร์ (Proximity sensor) ยี่ห้อ FOTEK รุ่น PL-50N.....35
3.11	เครื่องอัดลมยี่ห้อ MASAKI รุ่น XH-25-30.....35
3.12	วาล์วควบคุมทิศทางการไหลยี่ห้อ SMC รุ่น VF3230-5D8-02.....36
3.13	พัดลมยี่ห้อ HATARI รุ่น HT-IS22M136
3.14	ภาชนะใส่ช่ออุ้งนถูกยกขึ้นด้วยก้านสูบ.....37
3.15	การเคลื่อนที่ของเฟืองขับและเฟืองเจนิวา38
3.16	ทิศทางการเคลื่อนที่ของภาชนะบรรจุช่ออุ้งน.....38
3.17	ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับพื้นเฟืองเจนิวา.....39
3.18	ภาชนะใส่ช่ออุ้งนถูกดึงลงด้วยก้านสูบ39
3.19	เครื่องต้นแบบเครื่องล้างอุ้งนด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่อง และตำแหน่งต่าง ๆ ในกระบวนการทำงาน40
3.20	แผนผังแสดงระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเครื่องต้นแบบ41
3.21	ชุดคำสั่งสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเครื่องต้นแบบ.....41
3.22	ขั้นตอนการผสมสารละลายตัวอย่างกับน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Sovent-1)42
3.23	การเติมน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Sovent-1) และน้ำยา Sovent-2 ลงในหลอดทดลอง43
3.24	องค์ประกอบของกระบวนการระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Sovent-1)43
3.25	ขั้นตอนการผสมตัวอย่างที่ผ่านการปั่นกับน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Sovent-1)44
3.26	การเติมน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Sovent-1) และน้ำยา Sovent-2 ลงในหลอดทดลอง45
3.27	องค์ประกอบของกระบวนการระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Sovent-1)45
3.28	ขั้นตอนการเติมสารเคมีของชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.29 การเปรียบเทียบปริมาณสารเคมีกลุ่มคาบาเมตตกค้างในตัวอย่างองุ่นที่ล้างด้วยอัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 120.3 kHz ในช่วงเวลาต่างกัน.....	49
3.30 องค์ประกอบสำหรับการถ่ายภาพหลอดตัวอย่าง	49
3.31 ภาพถ่ายหลอดตัวอย่างขององุ่นที่ล้างด้วยอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40 kHz เป็นเวลา 10 นาที	50
3.32 ขั้นตอนการเปิดภาพถ่ายที่ต้องการวัดค่าสี	50
3.33 การเลือกพื้นที่บนภาพถ่ายตัวอย่างเพื่อนำไปวัดค่าสี	51
3.34 คำสั่งสำหรับวัดค่าสีในโปรแกรม ImageJ	51
3.35 ค่าสีที่ได้จากการวัดด้วยโปรแกรม ImageJ	52
3.36 ข้อมูลตัวอย่างที่ถูกย้อมด้วยสีผงสำหรับการศึกษาหัวข้อที่ 3.6.....	54
3.37 การล้างข้อมูลตัวอย่างที่ผ่านการย้อมสีผงด้วยอัลตราโซนิกส์.....	55
3.38 ข้อมูลตัวอย่างที่ถูกย้อมด้วยสีผงสำหรับการศึกษาหัวข้อที่ 3.7.....	56
3.39 การล้างข้อมูลตัวอย่างที่ผ่านการย้อมสีผงด้วยไอโซน	56
3.40 องค์ประกอบสำหรับการถ่ายภาพตัวอย่าง	57
3.41 อนุที่ผ่านการล้างด้วยอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 Hz เป็นเวลา 10 นาที	58
3.42 การเปิดภาพถ่ายที่ต้องการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	58
3.43 การหาพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	59
3.44 การเลือกคำสั่งเพื่อคำนวณพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่าง.....	59
3.45 การแสดงผลการหาพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม ImageJ.....	60
3.46 การใช้โปรแกรม ImageJ หาพื้นที่ของสีผง.....	60
3.47 การเลือกพื้นที่ของสีผงในภาพตัวอย่างเพื่อไปคำนวณหาพื้นที่สกปรก	61
3.48 การใช้โปรแกรม ImageJ คำนวณหาพื้นที่สกปรก.....	61
3.49 ข้อมูลตัวอย่างสำหรับการหาปริมาณสารเคมีตกค้างก่อนการล้างด้วยเครื่องต้นแบบ	63
3.50 ข้อมูลตัวอย่างสำหรับการหาปริมาณสารเคมีตกค้างหลังการล้างด้วยเครื่องต้นแบบ	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บาเมตกับค่า L^*	69
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บาเมตกับค่า a^*	70
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บาเมตกับค่า b^*	71
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกของ อัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9, 40.3 และ 120.3 kHz	91
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกของ ไอโซนความเข้มข้น 4, 6 และ 8 ppm	92
ค.1 แบบเครื่องล้างอู่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับ ไอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ	118



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ (m)
F	=	แรงที่กระทำกับก้านสูบในจังหวะดัน (N)
m	=	โหลคน้ำหนักรวม (kg)
g	=	แรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.8 m/s^2
P	=	ความดันลมอัด (Pa)
S	=	ความถี่จำเพาะของช่องงู้น
M_a	=	น้ำหนักของช่องงู้นเมื่อชั่งในอากาศ (g)
M_b	=	น้ำหนักของปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยช่องงู้น (g)
Pr	=	ราคาสร้างเครื่องต้นแบบ (บาท)
LT	=	อายุการใช้งานเครื่อง ≈ 10 ปี
S	=	ราคาซากเครื่องเมื่อครบ 10 ปี $= 0.1 * P$ (บาท)
De	=	ค่าเสื่อมราคา/ปี (บาท/ปี)
R	=	ค่าเสียโอกาสในการลงทุน/ปี (บาท/ปี)
I	=	อัตราดอกเบี้ยต่อปี (%)
N^*	=	ปริมาณผลิตที่จุดคุ้มทุนพอดี (หน่วย/ปี)
FC	=	ต้นทุนคงที่ (บาท/ปี)
p	=	กำไรต่อหน่วย (บาท)
v	=	ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย (บาท)
PBP	=	ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
Pe	=	กำไร (บาท/ปี)
R	=	รายได้ (บาท/ปี)
AC	=	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท/ปี)
IRR	=	อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)
CF	=	เงินสดสุทธิหรือรายได้สุทธิ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

องุ่นเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคในประเทศไทยเนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี มีสีสวยงาม นำมารับประทาน โดยรสชาติและสีขององุ่นจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ขององุ่นซึ่งมีทั้งรสหวาน และหวานอมเปรี้ยว นอกจากนี้องุ่นยังมีประโยชน์ต่อร่างกาย ในผลองุ่นอุดมไปด้วยวิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินซี และเกลือแร่ ซึ่งจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ อีกทั้งยังมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แอนโทไซยานิน (Yilmaz and Toledo, 2004) นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่าการบริโภคองุ่นสดหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากองุ่นอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลดีต่อสุขภาพหลายประการ เช่น ลดการเกาะตัวของเกร็ดเลือด (Keevil et al., 2000) ลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบหลอดเลือด (Stein et al., 1999) เป็นต้น โดยผู้บริโภคสามารถเลือกบริโภคองุ่นได้หลากหลายทั้งแบบองุ่นสด และองุ่นที่ผ่านการแปรรูป เช่น องุ่นแห้ง น้ำองุ่น และไวน์องุ่น เป็นต้น ด้วยคุณค่าขององุ่นดังกล่าวมา ทำให้องุ่นเป็นผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2558 มีการส่งออกองุ่นเป็นมูลค่ากว่า 159 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและประเทศไทยเป็นอย่างมาก

เนื่องจากเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของไทย เกษตรกรจึงนิยมปลูกองุ่นเพื่อสร้างรายได้กันเป็นจำนวนมาก แต่ทว่าในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวองุ่นนั้นจะทำให้เกิดการสูญเสียของผลองุ่นเป็นอย่างมาก เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวองุ่นมาแล้วจะนำองุ่นมาตัดแต่งพวงเพื่อความสวยงาม และล้างพวงองุ่นด้วยน้ำเปล่าก่อนที่จะส่งองุ่นขาย กระบวนการนี้ต้องใช้แรงงานจำนวนมากและเสียเวลาทำให้เกิดความเสียหายและการสูญเสียของผลองุ่น การล้างองุ่นด้วยน้ำเปล่าไม่ทำให้องุ่นสะอาดอย่างเพียงพอ อีกทั้งการที่ผลองุ่นอยู่ชิดกันทำให้การทำความสะอาดผลองุ่นทำได้ยาก จึงส่งผลให้เชื้อสารเคมีตกค้างที่ผลองุ่นซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยในประเทศและการส่งออก ในปัจจุบันได้มีการนำโอโซน (Ozone ; O₃) มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งโอโซนสามารถลดปริมาณสารเคมีตกค้างในอาหาร กำจัดและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีการนำอัลตราโซนิกส์มาใช้ทำความสะอาดผักและผลไม้โดยสามารถกำจัดสิ่งสกปรกตามซอกมุมและกำจัดสารเคมีตกค้างได้เป็นได้อย่างดี

ด้วยปัญหาและทฤษฎีดังกล่าว ผู้วิจัยจึงต้องการออกแบบและสร้างเครื่องล้างทำความสะอาดพวงองุ่นแบบต่อเนื่องที่สามารถล้างทำความสะอาด กำจัดสารเคมีตกค้าง และสิ่งสกปรกโดยใช้โอโซน

และอัลตราโซนิคส์ และกำจัดความชื้นที่ผิวของผลองุ่นเบื้องต้นด้วยการเป่าลมแห้ง ซึ่งตัวเครื่องจะต้องสร้างความเสียหายต่อผลองุ่นให้น้อยที่สุด และทำงานได้รวดเร็ว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องล้างทำความสะอาดพวงองุ่นสดด้วยอัลตราโซนิคส์ร่วมกับโอโซนแบบทำงานต่อเนื่อง
- 2) ทดสอบและประเมินสมรรถนะการทำงานของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติทำงานแบบต่อเนื่อง
- 2) ทดสอบกับพวงองุ่นพันธุ์ Marroo Seedless ที่ปลูกในจังหวัดนครราชสีมา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้เครื่องล้างทำความสะอาดพวงองุ่นสดแบบทำงานต่อเนื่องต้นแบบที่สามารถล้างพวงองุ่นสดได้สะอาด รวดเร็ว และลดการสูญเสียของพวงองุ่น
- 2) ได้ผลงานวิชาการที่เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับชาติ/นานาชาติ หรือลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง
- 3) เครื่องต้นแบบที่ได้สามารถนำไปเผยแพร่ให้เกษตรกร ภาควิชาการหรือผู้สนใจสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่อง รวมถึงบทความวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2 องุ่น

องุ่น (Grape) เป็นผลไม้ชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในกลุ่ม Non climacteric fruit หมายถึงผลไม้ที่เก็บเกี่ยวเมื่อมีระยะสุกพร้อมบริโภค เนื่องจากไม่สามารถบ่มให้สุกเหมือนผลไม้กลุ่ม Climacteric fruit ได้ ผลสุกมีรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยว มีรสชาติดี มีผลเป็นพวง มีเปลือกบาง มีหลายสายพันธุ์ ซึ่งจะแตกต่างกันที่ขนาดของผล สีเปลือกซึ่งมีสีต่าง ๆ เช่น สีเขียว สีแดง สีน้ำตาล สีม่วง องุ่นใช้รับประทานสด หรือเป็นวัตถุดิบแปรรูปเป็นไวน์องุ่น น้ำองุ่น และลูกเกด (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์, ม.ป.ป.) องุ่นแม้จะไม่ใช่พืชเขตร้อน แต่ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นอย่างประเทศไทย ถ้าได้รับการตัดแต่งกิ่งก็สามารถออกดอกได้ดีเช่นเดียวกับองุ่นที่ปลูกในเขตหนาวสามารถให้ผลผลิตทางการเกษตรมากกว่า 1 ครั้งต่อปี และสามารถบังคับให้ผลองุ่นแก่ในฤดูใดของปีก็ได้ ในขณะที่องุ่นที่ปลูกในเขตหนาวให้ผลผลิตทางการเกษตรปีละครั้งและผลแก่ช่วงฤดูร้อนเท่านั้น องุ่นสามารถเจริญเติบโตได้ในดินทั่วไปที่มีความอุดมสมบูรณ์เพียงพอ ดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกองุ่นได้ผลดีนั้นมักเป็นดินเหนียวที่มีธาตุอาหารพืชอยู่มาก โดยพันธุ์องุ่นที่ปลูกเพื่อทานผลสดในประเทศไทยมีดังต่อไปนี้ (นันทกร บุญเกิด, ม.ป.ป.)

2.2.1 องุ่นทานผลสดชนิดไม่มีเมล็ด

1) เฟลม ซีดเลส (Flame seedless) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดทรงกลม ผลมีขนาดปานกลางสีแดง หวานกรอบ มีกลิ่นหอม พวงช่อยาวปานกลาง มีการเจริญเติบโตทางลำต้นดีมาก ใบใหญ่ การตัดแต่งให้ออกดอกควรตัดให้มีตาถึงละ 4-8 ตา

2) คริมสัน ซีดเลส (Crimson seedless) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดทรงผลยาวรี มีขนาดปานกลางถึงใหญ่ สีแดง เนื้อแน่นหวานกรอบ ผลสุกช้ากว่าพันธุ์อื่น ๆ และเข้าสียากกว่าพันธุ์อื่น ๆ

ถ้าให้ออกผลในฤดูฝน เป็นพันธุ์ที่เจริญเติบโตดีมาก การจัดทรงต้องทำแบบ Head คือให้กิ่งออกบริเวณส่วนบนของต้น ตัดแต่งให้ออกดอกแบบ Cane prune คือ ตัดยาวให้มีตากิ่งละ 10-14 ตา

3) บิวตี้ ซีดเลส (Beauty seedless) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดทรงผลรี มีขนาดปานกลาง สีดำ พวงช่อปานกลาง-ใหญ่ มีการเจริญเติบโตทางลำต้นช้า ออกดอกติดผลง่าย การตัดแต่งให้ออกดอกแบบ Spur prune คือ ตัดสั้นให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

4) ลูส เพิลเล็ท (Loose perlette) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดที่มีทรงผลกลม มีขนาดปานกลาง สีเหลืองทองรสหวานหอมกรอบ เปลือกบาง ผลแตกง่ายเมื่อโดนฝน ช่อผลยาวขนาดปานกลาง การเจริญเติบโตของลำต้นดีปานกลาง การตัดแต่งให้ออกดอกตัดแบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

5) มารู ซีดเลส (Marroo seedless) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดผลทรงกลม ขนาดปานกลาง สีดำ ช่อผลขนาดปานกลางถึงใหญ่ สุกแก่เร็ว เปลือกผลบาง ผลแตกง่ายเมื่อโดนฝน มีการเจริญเติบโตดี การตัดแต่งให้ออกดอกตัดแบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

6) รูบี้ ซีดเลส (Ruby seedless) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดมีทรงผลกลม มีขนาดผลปานกลาง มีขนาดช่อผลปานกลางถึงใหญ่ สุกแก่เร็ว เปลือกผลบาง แตกง่ายเมื่อโดนฝน เจริญเติบโตดี การตัดแต่งให้ออกดอกตัดแบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

7) ดีไลท์ (Delight) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดที่มีทรงผลกลม ขนาดปานกลาง มีสีเขียวอมเหลือง มีกลิ่นหอมขององุ่นมัสแคท ช่อผลมีขนาดปานกลาง-ใหญ่ ผิวบางมักแตกง่ายเมื่อโดนฝน การเจริญเติบโตทางลำต้นดีปานกลาง การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

8) แฟนตาซี ซีดเลส (Fantasy seedless) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดผลยาวรีปลายแหลม สีดำ ขนาดค่อนข้างใหญ่ เนื้อแน่น ขนาดช่อผลปานกลาง การเจริญเติบโตทางลำต้นดีมากจึงควรจัดทรงต้นแบบ Head ให้มีกิ่งแตกออกบริเวณส่วนบนของต้นในตำแหน่งใกล้เคียงกัน และทำการตัดแต่งให้ออกดอกแบบ Cane prune ให้มีตากิ่งละ 10-14 ตา

9) เซนเทนเนียล ซีดเลส (Centennial seedless) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดผลยาวรีปลายแหลม สวยงามมาก (Lady's Finger) มีสีเหลืองทอง ผลขนาดปานกลาง เนื้อแน่นมาก ช่อผลขนาดปานกลาง การเจริญเติบโตทางลำต้นดีมาก การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา หรือ Cane prune ให้มีตากิ่งละ 10-14 ตา

10) ทมมัสแคท (Thomustcat) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดผลทรงกลมขนาดเล็ก สีเหลืองทอง รสหวานหอม อร่อยมาก ช่อผลขนาดเล็ก การเจริญเติบโตทางลำต้นปานกลาง การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

11) ดอน ซีดเลส (Dawn seedless) เป็นองุ่นไม่มีเมล็ดทรงกลมรี ขนาดปานกลาง เมื่อแก่มีสีเหลืองทอง เนื้อแน่น ช่อผลขนาดปานกลาง การเจริญเติบโตของลำต้นปานกลาง การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

2.2.2 องุ่นทานผลสดมีเมล็ด

1) แบลค ควีน (Black queen) เป็นองุ่นมีเมล็ดทรงผลยาวรีขนาดใหญ่ สีม่วงแดง ผิวดำ ผิวบางแตกง่ายเมื่อโดนฝน มีช่อผลขนาดใหญ่ การเจริญเติบโตทางลำต้นดีมากจึงควรจัดทรงแบบ Head ตัดแต่งให้ออกดอกแบบ Cane prune ให้มีตากิ่งละ 10-14 ตา

2) เอ็กโซติก (Exotic) เป็นองุ่นมีเมล็ดทรงผลกลมขนาดปานกลาง มีสีดำ เปลือกหนา เนื้อแน่น ช่อผลแน่นขนาดปานกลาง มีการเจริญเติบโตทางลำต้นดี ออกผลง่าย การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

3) อิตาลี (Italia) เป็นองุ่นมีเมล็ดทรงผลกลมรีขนาดใหญ่ สีขาวอมเหลือง เนื้อแน่น เปลือกหนา ช่อผลใหญ่ มีการเจริญเติบโตทางลำต้นดี ตัดแต่งให้ออกดอกแบบกิ่งยาวให้มีตากิ่งละประมาณ 4-6 ตา

4) โกลเด็น มัสแคท (Early muscat) เป็นองุ่นมีเมล็ดทรงผลกลมขนาดปานกลาง มีสีเหลืองทอง รสหวานหอมมาก ช่อผลขนาดปานกลาง ผลแก่เร็ว เจริญเติบโตทางลำต้นช้า ต้นเล็ก การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

5) เกียวโฮ (Kyoho) เป็นองุ่นมีเมล็ดทรงผลกลมขนาดใหญ่ มีสีม่วงแดง รสหวานหอม ผลนุ่ม ผิวเปลือกเหนียว ช่อผลขนาดปานกลาง การเจริญเติบโตของลำต้นค่อนข้างช้า การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

6) ไวท์ มะละกา (White Malaga) เป็นองุ่นมีเมล็ดทรงผลยาวรี ขนาดผลใหญ่มีสีเขียวอมเหลือง เนื้อแน่น ผิวหนา รสหวาน ช่อผลขนาดใหญ่ การเจริญเติบโตของลำต้นดีมาก การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

7) คาร์ดินาล (Cardinal) เป็นองุ่นมีเมล็ดทรงผลกลมขนาดปานกลาง สีแดง รสหวานหอม เปลือกบาง มักแตกง่ายเมื่อโดนฝน ช่อผลขนาดปานกลาง มีการเจริญเติบโตทางลำต้นดี การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

8) มัสแคท แฮมเบอร์ก (Muscat hamberg) เป็นองุ่นมีเมล็ดทรงผลกลมขนาดปานกลาง มีสีน้ำเงินดำ มีกลิ่นหอม ผิวเปลือกเหนียว ช่อผลขนาดใหญ่ การเจริญเติบโตของลำต้นดีมาก การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตากิ่งละ 3-4 ตา

9) แบลคโรส (Black rose) เป็นองุ่นมีเมล็ดทรงผลกลมรีขนาดใหญ่ มีสีม่วงดำ ผิวบาง เนื้อแน่น ช่อผลขนาดปานกลาง การเจริญเติบโตทางลำต้นดีมาก การตัดแต่งให้ออกดอกใช้แบบ Spur prune คือ ตัดให้มีตาถึงละ 3-4 ตา

โดยผู้วิจัยได้เลือกองุ่นทานผลสดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส (Marroo seedless) มาทำการวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องล้างทำความสะอาดองุ่นสดแบบทำงานต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นพันธุ์องุ่นที่นิยมปลูกในจังหวัดนครราชสีมา

2.3 โอโซน

2.3.1 ความหมายของโอโซน

โอโซนเป็นสารอยู่ในสถานะก๊าซโอโซน 1 โมเลกุล ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม ก๊าซโอโซนพบมากที่ระดับความสูงประมาณ 10-50 กิโลเมตรเหนือผิวโลก ในชั้นบรรยากาศ Stratospheres ช่วยลดอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ ก๊าซโอโซนเกิดได้เองในธรรมชาติจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงในอากาศ เนื่องจากฟ้าผ่าหรือฟ้าแลบทำให้ก๊าซออกซิเจนซึ่งปกติประกอบด้วยออกซิเจน 2 อะตอม รวมกันเป็น 1 โมเลกุล (O_2) แตกตัวเป็นอะตอมออกซิเจน (O) อิสระแล้วรวมกับก๊าซออกซิเจน โมเลกุลอื่น เกิดเป็นโอโซน 1 โมเลกุล (O_3) นอกจากนี้รังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ก็ทำให้โมเลกุลออกซิเจนแตกตัวเกิดก๊าซโอโซนได้เช่นกัน O_3 ที่เกิดโดยวิธีนี้มีปริมาณความเข้มข้นเพียง 0.02-0.2 ppm เท่านั้น (Horvath et al., 1985)

แม้จะเกิดจากโมเลกุลของออกซิเจนเหมือนกันแต่ O_2 และ O_3 กลับมีคุณสมบัติต่างกันมาก กล่าวคือ O_2 สามารถคงสภาพอยู่ได้ดีกว่า เนื่องจากพันธะที่ยึดอะตอมของออกซิเจน 2 อะตอมไว้ด้วยกันมีความแข็งแรง นั่นคือมีความเสถียรสูง ในขณะที่ O_3 มีการเติมอะตอมของออกซิเจนเพิ่มเข้ามาอีก 1 อะตอม ทำให้โมเลกุลใหม่ที่ได้มีพลังงานสูง มีความเสถียรต่ำทำให้เสถียรภาพได้ง่ายจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความดันและการเกิดปฏิกิริยากับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดการออกซิเดชัน (Oxidation) อย่างรวดเร็วด้วยการให้อะตอมของออกซิเจน 1 อะตอม และได้ผลิตผลกลับเป็น O_2 ที่มีพลังงานต่ำกว่านั่นเอง ในปัจจุบันได้มีการนำโอโซนมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้ดังนี้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์, ม.ป.ป.)

1) ใช้ล้างวัตถุดิบ (Raw material cleaning) โดยเป็นสารฆ่าเชื้อ (Sanitizer) ใช้ได้กับวัตถุดิบหลายชนิด เช่น ผักผลไม้ สมุนไพร และเนื้อสัตว์

2) ใช้ทำความสะอาด (Cleaning) เพื่อฆ่าเชื้อ กำจัดสารตกค้าง สถานที่ผลิตสถานที่เก็บรักษาอาหาร อุปกรณ์ที่ใช้ในการแปรรูป การขนส่ง ขนถ่าย

3) ใช้ฆ่าเชื้อบรรจุภัณฑ์ เช่น ใช้โอโซน 20 ppm แทนคลอรีน เพื่อฆ่าเชื้อขวดบรรจุน้ำดื่มในภาชนะที่ปิดสนิท

4) ใช้ในการรม (Fumigation) เพื่อควบคุมแมลงที่ผิวของอาหาร

5) กำจัดแก๊สเอทิลีน (Ethylene) เพื่อชะลอการสุกของผลไม้ได้

6) ใช้บำบัดน้ำเสีย (Waste water treatment) โดยการปรับสภาพน้ำที่ใช้แล้วเพื่อนำกลับมาใช้อีก

2.3.1.1 ลักษณะเด่นของโอโซน

ในปัจจุบัน โอโซนเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม โดยโอโซนมีลักษณะเด่นดังนี้ (ยูวันดา นะหิม, 2545)

1) สลายตัวเร็ว เนื่องจากมีความเสถียรต่ำ การสลายตัวจะขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นจึงไม่เหลือสารตกค้าง

2) มีกลิ่นคล้ายกลิ่นฝนตกใหม่ ๆ ถ้ามีความเข้มข้นสูงจะมีกลิ่นฉุนสถานะทั่วไปเป็นก๊าซ

3) มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่รุนแรงมาก (Potential bactericidal disinfection) ทั้งในน้ำและอากาศ

4) เป็นสารออกซิไดซ์ที่มีความรุนแรงมาก (Potential oxidizing agent) จึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้

2.3.1.2 ข้อจำกัดของโอโซน

โอโซนมีข้อจำกัดในการใช้งานดังต่อไปนี้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์, ม.ป.ป.)

1) โอโซนเป็นอันตรายต่อมนุษย์ หากได้รับที่ความเข้มข้นเกิน 4 ppm เป็นเวลา ต่อเนื่อง จึงต้องมีระบบตรวจจับและเตือนภัย และมีระบบการระบายอากาศที่ดีในบริเวณที่ใช้งาน

2) โอโซนเป็นเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง กัดกร่อนพื้นผิววัสดุได้ จึงต้องใช้กับพื้นผิวที่ทนการกัดกร่อน เช่น เหล็กปลอดสนิม (Stainless steel)

2.3.2 วิธีการผลิตโอโซน

วิธีการที่นิยมใช้ในการผลิตโอโซนในมืออยู่ด้วยกัน 4 วิธี ดังต่อไปนี้ (Barlow, 1994)

1) Corona discharge เป็นวิธีจำลองการเกิด O_3 ตามปรากฏการณ์ฟ้าผ่าในธรรมชาติ โดยใช้กระแสไฟฟ้าความต่างศักย์สูงทำลายโมเลกุลของ O_2 แล้วจึงลดพลังงานโมเลกุลลง เพื่อเอื้อ

ให้เกิดการจับกันของโมเลกุลออกซิเจนอิสระได้เป็น O_3 ในที่สุด วิธีนี้นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากต้นทุนต่ำและสร้าง O_3 ได้มากพอในการใช้ประโยชน์เชิงการค้า

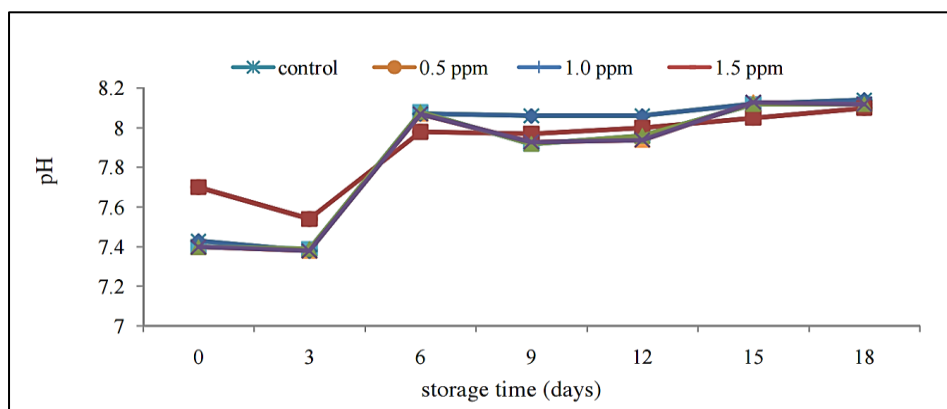
2) UV Radiation เป็นวิธีจำลองการเกิด O_3 ในธรรมชาติกล่าวคือใช้รังสี UV ความยาวคลื่นสั้น โดยเฉพาะที่ 254 nm ซึ่งจะมีพลังงานมากพอที่จะทำให้โมเลกุลของ O_2 ไม่เสถียรได้เป็นโมเลกุลออกซิเจนอิสระแล้วจึงสร้าง O_3 ได้ใหม่ วิธีนี้มีต้นทุนสูงและผลิต O_3 ได้น้อยกว่า

3) Electrolysis วิธีนี้ทำโดยให้กระแสไฟฟ้าวิ่งในตัวนำไฟฟ้าที่มีสถานะเป็นของเหลว (Electrolyte) เช่น น้ำหรือ H_2SO_4 วิธีนี้ประสิทธิภาพในการผลิต O_3 ไม่ดียังต้องการการพัฒนาต่อไป

4) Radiochemical ใช้สารกัมมันตรังสี (Radioactive) เป็นแหล่งพลังงาน เพื่อแยกโมเลกุล O_2 เป็นวิธีที่ผลิต O_3 ได้ปริมาณมาก ต้นทุนต่ำ แต่ต้องมีการควบคุมความปลอดภัยที่ดีพอ

สุพรรณพันธ์ โลหะลักษณะเดช และชุตินุช สุจริต (2556) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้โอโซนต่อคุณภาพของเนื้อปูม้าหนึ่งในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เย็น โดยจุ่มเนื้อปูหนึ่งในน้ำที่มีโอโซน ระดับ 0.5 1.0 และ 1.5 ppm การใช้สารละลายโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเนื้อปูม้าในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบคุณภาพของเนื้อปูม้าในระหว่างการเก็บรักษา 18 วัน วิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส เคมี ได้แก่ ปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total Volatile Base, TVB-N) ค่า pH และจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการศึกษาโดยการทางประสาทสัมผัส เคมี และจุลินทรีย์ พบว่าการใช้สารละลายโอโซนทุกระดับสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 15 วัน ขณะที่กลุ่มควบคุมมีอายุการเก็บ 6 วัน

จากการศึกษาดังกล่าว สุพรรณพันธ์ โลหะลักษณะเดช และชุตินุช สุจริต (2556) ได้ทำการวิเคราะห์ไว้ว่าค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้น การเปลี่ยนแปลง pH ในตัวอย่างเนื้อปูม้าเพิ่มขึ้นตลอดช่วงอายุการเก็บรักษา ดังรูปที่ 2.1 และมีลักษณะปรากฏที่บ่งบอกถึงการเน่าเสีย สาเหตุการเพิ่มขึ้นของ pH เนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์พร้อม ๆ กับการผลิตสารเมทาโบไลต์ต่าง ๆ ในขณะเดียวกันจะเกิดการสลายตัวของสารประกอบไนโตรเจน (Nitrogenous compounds) เช่น TVB-N ทำให้ pH เพิ่มขึ้น (Sikorski, 1990) การเพิ่มของ pH จะสัมพันธ์กับ อุณหภูมิการเก็บรักษา คือ อุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้ทำให้การเพิ่มขึ้นของ pH เป็นไปอย่างช้า ๆ และการแช่เนื้อปูม้าในน้ำโอโซนความเข้มข้นมากจะยิ่งช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า pH



รูปที่ 2.1 ผลของโอโซนต่อค่า pH ที่เกิดในเนื้อปูม้าหนึ่งเมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป ($5\pm 1^{\circ}\text{C}$)
ที่มา : สุพรรณพันธ์ โลหะลักษณ์เดช และชุตินุช สุจริต (2556)

สมภพ อยู่เอ (2558) ได้ทำการวิจัยผลของโอโซนต่อคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย โดยการรมผลมะม่วงด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 2, 4 และ 6 ppm เป็นเวลา 30 นาที และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จนสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาผลที่ได้พบว่ามะม่วงชุดควบคุมมีปริมาณจุลินทรีย์เกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดเมื่อเก็บรักษานาน 3 วัน การรมผลมะม่วงด้วยก๊าซโอโซน ความเข้มข้น 2 และ 4 ppm มีปริมาณจุลินทรีย์เกินมาตรฐานเมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน และ 9 วันตามลำดับ การรมผลมะม่วงด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 6 ppm มีปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินมาตรฐานตลอดอายุการเก็บรักษา และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เป็นเวลา 15 วัน การใช้ก๊าซโอโซนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อ สี ปริมาณของแข็งละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และคะแนนทางประสาทสัมผัส ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านการรมด้วยก๊าซ โอโซนความเข้มข้น 6 ppm อายุการเก็บรักษา 12 วัน ได้คะแนนทางประสาทสัมผัสสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมด้วยก๊าซโอโซนความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 2 และ 4 ppm ดังตารางที่ 2.1

จากงานวิจัยดังกล่าว สมภพ อยู่เอ (2558) ได้วิเคราะห์ไว้ว่า โอโซนสามารถยับยั้งการเกิดเชื้อราที่ผลมะม่วงได้ จากตารางที่ 2.1 พบว่าชุดควบคุมมีปริมาณเชื้อราเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ถึงวันที่ 6 และมะม่วงจะเริ่มเน่าเสื่อมเสียในวันที่ 9 ส่วนที่ความเข้มข้น 2 ppm พบว่ามีปริมาณเชื้อเริ่มเจริญในวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 และมะม่วงเริ่มมีการเน่าเสียในวันที่ 12 ที่ความเข้มข้นที่ 4-6 ppm พบว่าเชื้อจุลินทรีย์เริ่มเจริญในวันที่ 3 ถึง 12 ของการเก็บรักษา ที่ความเข้มข้น 6 ppm สามารถยืดอายุได้ถึง 15 วัน สรุปได้ว่าที่ชุดทดลอง 6 ppm สามารถยับยั้งเชื้อราได้ดีกว่าชุดทดลองอื่น ๆ เพราะเกิดจากก๊าซ

โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizer) อย่างแรงจึงทำให้เซลล์แบคทีเรียเกิดการแตกสลาย ซึ่งแตกต่างจากชุดควบคุม (0 ppm) ที่เชื้อราเจริญเกินมาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 2.1 จำนวนเชื้อราทั้งหมดในเปลือกมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยหลังการรมด้วยโอโซนแล้ว เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส

Treat	จำนวนเชื้อรา (CFU/g) ต่อวันที่ทำการรักษา (วัน)						
	0	3	6	9	12	15	18
0 ppm	1.9×10^5	2.4×10^6	2.2×10^7	-	-	-	-
2 ppm	ND	4.1×10^2	1.8×10^3	2.4×10^3	-	-	-
4 ppm	ND	<30	<30	5.5×10^2	6.6×10^2	-	-
6 ppm	ND	<30	<30	<30	<30	4.5×10^1	-

ที่มา : สมภพ อยู่เอ (2558)

ดวงธิดา ขุมทอง, มนตรี อิศร ไกรศีล, วาริน อินทนา, หมุดต่อเล็บ หนีสอ และ ประครอง เข็นจิตต์ (2549) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้โอโซนในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะ การใช้เงาะรมด้วยก๊าซโอโซนพบว่าเงาะที่ผ่านการรมด้วยการก๊าซโอโซนทำให้ปริมาณเชื้อราลดลง 93.9-99.0% ตามความเข้มข้นและเวลาที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลเงาะที่ไม่ผ่านการรมด้วยก๊าซโอโซนปริมาณเชื้อราที่ลดลงเท่ากับ 17%

อัจฉรา แสนคม, นันทิพย์ ขันตยาภรณ์ และวราภา มหากาญจนกุล (ม.ป.ป.) ได้ทำการศึกษาการใช้สารฆ่าเชื้อกลุ่มออกซิไดซ์ซึ่งเพื่อลดจุลินทรีย์ก่อโรคในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ พบว่าการใช้น้ำโอโซน ความเข้มข้น 0.5 ppm ล้างอาหารทะเลเป็นเวลานาน 5, 10 และ 15 นาที สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในตัวอย่างอาหารทะเลได้ 7.96%, 46.15% และ 76.92% ตามลำดับสรุปได้ว่าหากล้างอาหารทะเลด้วยน้ำโอโซนด้วยเวลาที่นานขึ้นจะช่วยกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีขึ้น

นอกจากนี้ นภา จิระกิตติเจริญ, พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ, ประเวทย์ ดุ้ยเต็มวงศ์ และพิพัฒน์ ไทรทอง (ม.ป.ป.) ได้รายงานว่โอโซนสามารถกำจัดเชื้อ TPC, *Vibrio* spp. และ *Vibrio harveyi* ได้ดีกว่าคลอรีน และลูกกุ้งที่ถูกเลี้ยงในน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซน มีอัตราการรอดชีวิตและเจริญเติบโตได้รวดเร็วกว่าลูกกุ้งที่เลี้ยงในน้ำที่ฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน แสดงว่าโอโซนไม่เหลือสารตกค้างและปลอดภัยกว่าคลอรีน

จากงานวิจัยและการศึกษาดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า โอโซนมีผลต่อการต่อการยับยั้งการเกิดเชื้อรา ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ กำจัดสารตกค้าง และชะลอการเน่าเสียของอาหารได้

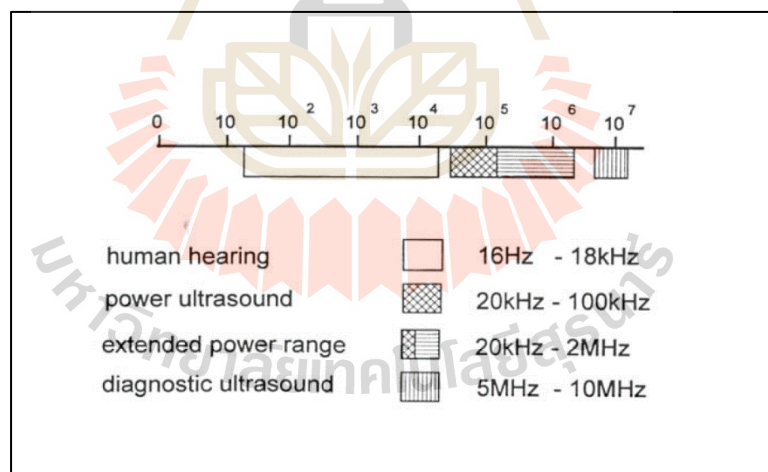
เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังไม่มีสารตกค้างอีกด้วย จึงสมควรนำไอโซนมาล้าง ผัก และผลไม้ ก่อนนำไปเก็บรักษาหรือก่อนทำการขนส่ง จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผักและผลไม้ได้

2.4 อัลตราโซนิกส์

2.4.1 ความหมายของอัลตราโซนิกส์

อัลตราโซนิกส์ (Ultrasonic) หมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงตั้งแต่ 20 kHz ขึ้นไป ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน เป็นคลื่นที่มีทิศทางและไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์, ม.ป.ป.)

ในปัจจุบันมีการนำอัลตราโซนิกส์ 2 ประเภทมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ อัลตราโซนิกส์กำลังต่ำและความถี่สูง (Low power and high frequencies) ซึ่งใช้ในการวินิจฉัย (Diagnostic ultrasonic) เป็นส่วนใหญ่ และการใช้อัลตราโซนิกส์กำลังสูงและความถี่ต่ำ (High power and low frequencies) หรือพาวเวอร์อัลตราโซนิกส์ (Power ultrasonic หรือ Power ultrasound) ซึ่งเป็นที่นิยมในการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Mason, 1998) ความถี่ของอัลตราโซนิกส์ ในช่วงต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 คลื่นความถี่ของอัลตราโซนิกส์ในช่วงต่าง ๆ

ที่มา : Mason (1998)

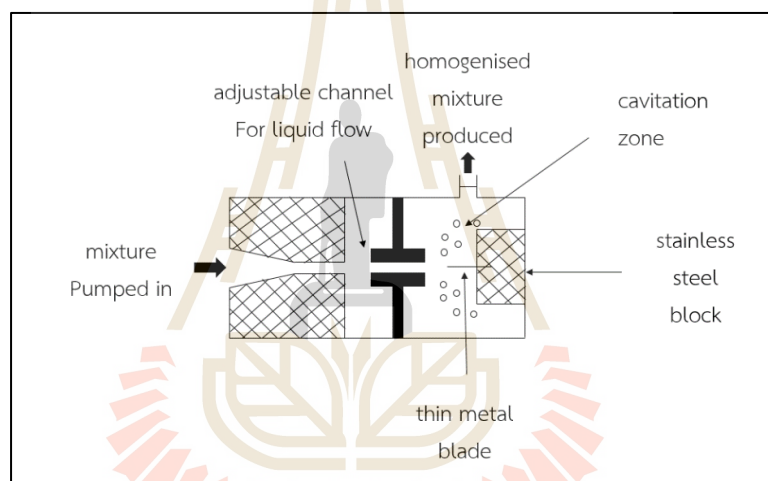
2.4.2 การสร้างคลื่นอัลตราโซนิกส์

ก่อนจะนำคลื่นอัลตราโซนิกส์มาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงกระบวนการเกิดคลื่นรวมทั้งการนำพลังงานคลื่นที่สร้างขึ้นไปใช้งาน โดยอุปกรณ์ให้

กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิคส์เรียกว่าทรานส์ดิวเซอร์ (Transducer) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานในรูปแบบอื่นเป็นพลังงานกล (การสั่น) โดยสามารถแบ่งชนิดของทรานส์ดิวเซอร์ออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ (Mason, 1998)

2.4.2.1 ลิควิดไดร์ฟเวนทรานส์ดิวเซอร์

ลิควิดไดร์ฟเวนทรานส์ดิวเซอร์ (Liquid driven transducer) ทำงานโดยการบังคับของเหลวให้ไหลผ่านช่องขนาดเล็กและไหลผ่านไปกระทบกับแผ่นโลหะขนาดบาง (Thin blade) ซึ่งวางตัวตามแนวทิศทางการไหลของของเหลว ทำให้แผ่นโลหะบางดังกล่าวเกิดการสั่นจนเกิดคลื่น การสั่นแต่ละครั้งจะทำให้ผิวของแผ่นโลหะเกิดการปะทะกับของเหลวทำให้เกิดคลื่นความดันและเกิดปรากฏการณ์แคปวิเทชัน ลักษณะของลิควิดไดร์ฟเวนทรานส์ดิวเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.3

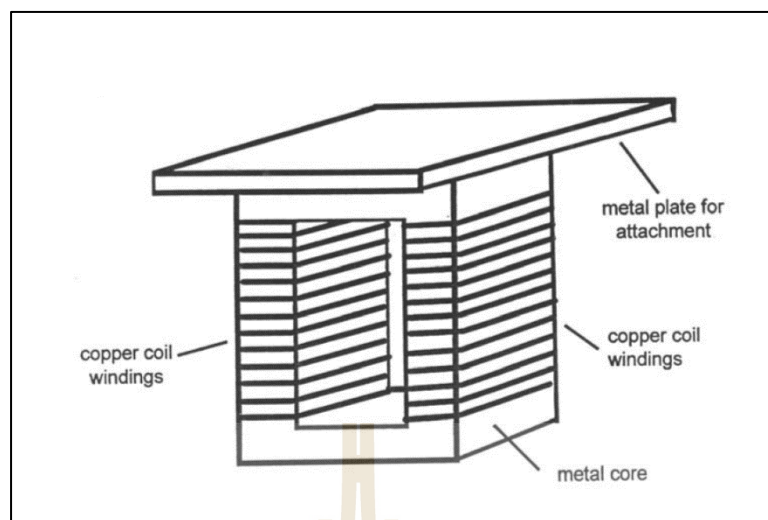


รูปที่ 2.3 ทรานส์ดิวเซอร์แบบลิควิดไดร์ฟเวน

ที่มา : คัดแปลงจาก Mason (1998)

2.4.2.2 แมกนีโตสตริกทีฟทรานส์ดิวเซอร์

แมกนีโตสตริกทีฟทรานส์ดิวเซอร์ (Magnetostrictive transducer) เป็นทรานส์ดิวเซอร์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยใช้คุณสมบัติแมกนีโตสตริกชัน (Magnetostriction) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่สารเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic materials) เช่น นิกเกิล (Nickel) หรือ เหล็ก (Iron) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของมิติเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้สารเฟอร์โรแมกเนติกเป็นแกน โดยตัวแกนจะประกอบขึ้นจากแผ่นนิกเกิลขนาดบางจำนวนหลายชั้น รูปทรงของแมกนีโตสตริกทีฟทรานส์ดิวเซอร์อย่างง่ายที่สุดจะมีลักษณะเป็นวงสี่เหลี่ยมมีรูตรงกลางพันด้วยลวดทองแดงในแต่ละด้านที่อยู่ตรงกันข้ามกันแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ทรานส์ดิวเซอร์แบบแมกนีโตสตริกทีฟ

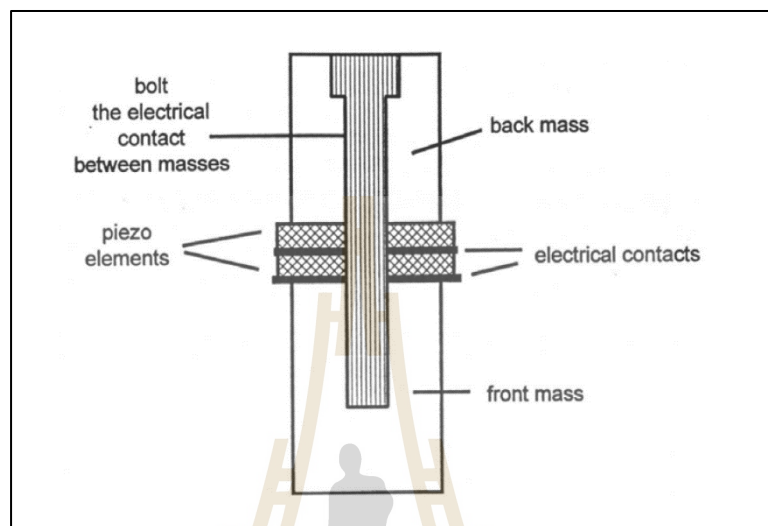
ที่มา : Mason (1998)

จากรูปที่ 2.4 เมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดจะทำให้แกน ซึ่งผลิตจากสารเฟอร์โรแมกเนติกเกิดการลดขนาดลง ทำให้น้ำหนักของทรานส์ดิวเซอร์ลดลงด้วย และเมื่อหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดจะทำให้แกนและทรานส์ดิวเซอร์มีขนาดเท่าเดิม การสลับจ่ายและหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับตัวแกนจะทำให้แกนมีการเปลี่ยนแปลงขนาดอย่างต่อเนื่องจนทำให้เกิดแรงสั่นและเกิดคลื่นอัลตราโซนิกส์ในที่สุด โดยช่วงความถี่ของการสั่นที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของทรานส์ดิวเซอร์

2.4.2.3 พีโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์

พีโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์ (Piezoelectric transducer) เป็นทรานส์ดิวเซอร์ที่นิยมใช้กันทั่วไป ทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกส์ โดยการใส่เซรามิกส์ที่มีส่วนผสมของสารพีโซอิเล็กทริก เช่น แบเรียมไทเทเนต (Barium titanate) หรือเลดเมตาไนโอเบต (Lead metaniobate) สารพีโซเซรามิกดังกล่าวนิยมใช้ในเครื่องอัลตราโซนิกส์ที่ใช้ เพื่อทำความสะอาดให้สิ่งสกปรกหลุดออก หรือใช้ร่วมกับระบบโพรบ (Probe systems) โดยโพรบมีลักษณะเป็นแผ่นกลมที่มีรูตรงกลาง ทรานส์ดิวเซอร์เซรามิกส์ชนิดนี้จะมีความประะจึงทำให้แตกหักง่ายมาก ดังนั้นจึงต้องใส่แท่งโลหะมาประกบรอบด้านเพื่อป้องกันความเสียหายเมื่อตกหรือกระแทก นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันความเสียหายที่เกิดจากความร้อนส่วนเกิน โดยมีหน้าที่เป็นตัวรับความร้อนส่วนเกินอีกด้วย โครงสร้างของทรานส์ดิวเซอร์ชนิดนี้จะใช้แผ่นพีโซเซรามิกส์สองชนิดมาประกบกัน มีผลช่วยให้การสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้เพียงชนิดเดียวมาประกบกัน

ข้อดีของพีโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์คือ มีประสิทธิภาพในการใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่า 95% อีกทั้งยังสามารถปรับใช้งานได้ในทุกช่วงความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิกส์ พีโซอิเล็กทริกทรานส์ดิวเซอร์แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ทรานส์ดิวเซอร์แบบพีโซอิเล็กทริก
ที่มา : Mason (1998)

2.4.3 การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ของอัลตราโซนิกส์

คลื่นอัลตราโซนิกส์ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้เนื่องจากปรากฏการณ์แคปิวิตีชัน เมื่อเกิดปรากฏการณ์แคปิวิตีชัน จุลินทรีย์จะถูกทำลายเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความดันสูงจากการแตกตัว (Implosions) ของฟองอากาศ ซึ่งการแตกตัวของฟองอากาศนั้นจะทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและเป็นจุดร้อนขนาดเล็ก (Hot spots) แต่เนื่องจากตัวกลางที่ได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้มีปริมาตรหรือขนาดเล็กมาก ดังนั้นอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้เพียงส่วนน้อยเท่านั้น (Sherba et al., 1991) แต่จุลินทรีย์จะไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความดันที่สลับเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงปรากฏการณ์แคปิวิตีชันจนโครงสร้างของเซลล์จุลินทรีย์ถูกทำลายลงในที่สุด ตัวอย่างของการนำอัลตราโซนิกส์มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารมีดังต่อไปนี้

- 1) ใช้ทำลายโครงสร้างของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ (Petrier et al., 1998)
- 2) ใช้กำจัดสารตกค้าง เช่น ยาฆ่าแมลง (กานดา หวังชัย, 2555)
- 3) ใช้ลดความเป็นพิษของ Microcystins ในน้ำดื่ม (Song et al., 2005)

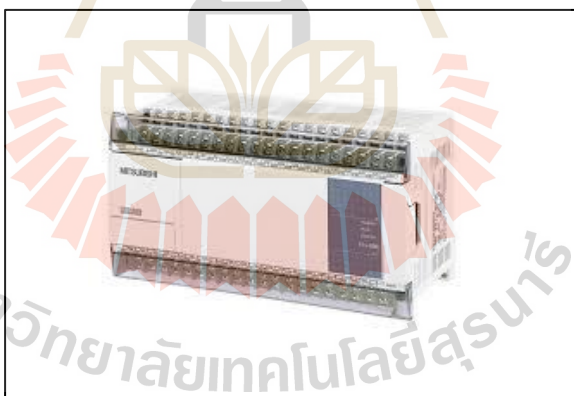
จากการศึกษาและงานวิจัยที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่าอัลตราโซนิกสามารถล้างสิ่งสกปรกและสารเคมีต่าง ๆ รวมทั้งทำลายจุลินทรีย์ได้ จึงสมควรใช้อัลตราโซนิกร่วมกับ โอโซน ในการล้างผัก และผลไม้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการล้างสิ่งสกปรก และกำจัดสารตกค้างให้ดียิ่งขึ้น

2.5 ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ระบบควบคุมอัตโนมัติคือระบบที่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง โดยทำงานตามโปรแกรมที่เขียนไว้บนชุดควบคุม ซึ่งชุดควบคุมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ PLC (Programmable Logic Controller)

2.5.1 Programmable Logic Controller (PLC)

PLC เป็นชุดอุปกรณ์ควบคุมที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมควบคุมอัตโนมัติ เนื่องจากเป็นชุดอุปกรณ์ที่มีภาษาเขียนเป็นสัญลักษณ์ที่เข้าใจง่าย มีช่องสำหรับใส่ Input และ Output ในตัวอุปกรณ์และมีความทนทานสูง อุปกรณ์นี้ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับเขียนโปรแกรม ลงบนตัวอุปกรณ์และรับ Input มาพิจารณาและสั่งให้ Output ไปควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามที่โปรแกรมกำหนดไว้ บอร์ด PLC ที่ใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบควบคุมอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 บอร์ด PLC (Programmable Logic Controller)

2.5.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor) ดังรูปที่ 2.7 เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม มอเตอร์ชนิดนี้มีข้อดีคือ มีประสิทธิภาพสูง การเริ่มเดินเครื่องทำได้ง่าย มีความเร็วรอบที่ค่อนข้างคงที่ มีความทนทานสูง และมีราคาถูก แต่มีข้อเสียคือสามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบได้ยาก

จึงได้มีการพัฒนาชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เรียกว่าอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ดังรูปที่ 2.8 ใช้สำหรับควบคุมหรือปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



รูปที่ 2.7 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor)



รูปที่ 2.8 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

2.5.3 ฟร็อกซิมีตี้เซนเซอร์

ฟร็อกซิมีตี้เซนเซอร์ (Proximity sensor) ดังรูปที่ 2.9 คือ เซนเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถทำงานโดยไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการตรวจจับ มีหลักการทำงานคือใช้การรับหรือส่งพลังงานในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง เช่น สัญญาณลม สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสง และเสียง โดยนิยมใช้ในงานตรวจจับตำแหน่ง รวมถึงตรวจจับระดับ ขนาด และรูปร่างของวัตถุที่ต้องการตรวจจับ มีข้อดีคือ ไม่ต้องอาศัยการสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการตรวจจับ นอกจากนี้ยังมี

อายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าและมีความเร็วในการตรวจจับวัตถุที่เร็วกว่าอุปกรณ์ประเภทสวิตช์ (อรุณ ตั้งใจ, 2554)



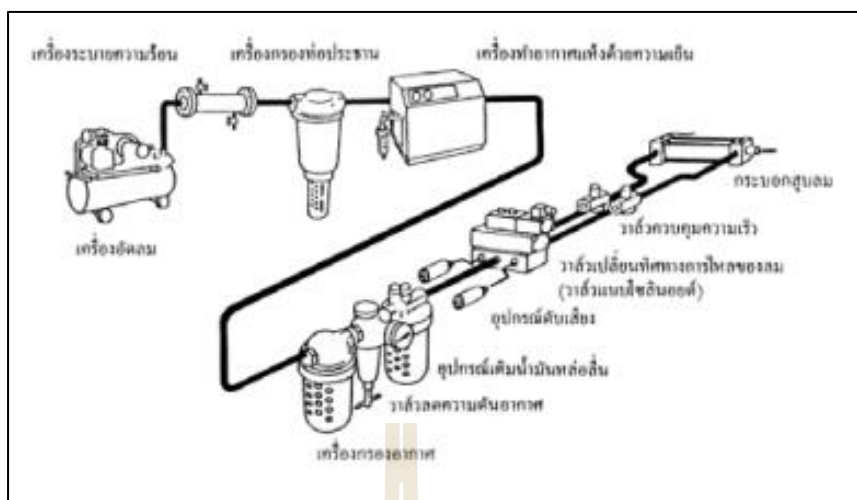
รูปที่ 2.9 พร็อกซิมีตี้เซนเซอร์ (Proximity sensor)

2.6 ระบบนิวเมติกส์

ระบบนิวเมติกส์ คือ ระบบที่ประยุกต์ใช้อากาศอัดและส่งไปตามท่อ โดยอากาศคือตัวกลางในการส่งถ่ายกำลังจากของไหลไปเป็นพลังกลเพื่อนำไปใช้งานในลักษณะต่าง ๆ เช่น ใช้แรงดันลมจากกระบอกสูบของหรือคัน/เคลื่อนย้ายของ ในปัจจุบันได้มีการนำระบบนิวเมติกส์มาประยุกต์ใช้ในการทำงานต่าง ๆ มากมาย เช่น ใช้ในเครื่องจักรที่ใช้พลังงานลมในการขับเคลื่อน ใช้ขนย้ายวัสดุบรรจุสินค้าลงบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

2.6.1 อุปกรณ์เบื้องต้นในระบบนิวเมติกส์

อุปกรณ์พื้นฐานในระบบนิวเมติกส์สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ อุปกรณ์ส่วนที่อยู่นอกวงจร และอุปกรณ์ส่วนที่อยู่ในวงจร อุปกรณ์ส่วนที่อยู่นอกวงจร ได้แก่ เครื่องอัดลม เครื่องระบายความร้อน ถังเก็บลม เครื่องกรองในท่อหลัก เครื่องทำลมแห้ง และอุปกรณ์ส่วนที่อยู่ในวงจร ได้แก่ ตัวกรองลมอัด วาล์วควบคุมความดัน ตัวเติมน้ำมันหล่อลื่น อุปกรณ์เก็บเสียง วาล์วควบคุมทิศทางของไหล วาล์วควบคุมความเร็ว และกระบอกสูบ โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาแสดงดังรูปที่ 2.10 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์, 2546)



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์พื้นฐานในระบบนิวแมติกส์

ที่มา : คัดแปลงจาก ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์ (2546)

2.6.1.1 เครื่องอัดลม (Air compressor)

เครื่องอัดลมหรือปั๊มลม (Air compressor) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ดูดอากาศที่อยู่บริเวณรอบ ๆ ส่งไปเก็บในถังเก็บลมจนได้ความดันลมที่ต้องการใช้งาน ซึ่งถังเก็บลมอาจติดตั้งแยกหรือติดตั้งอยู่กับเครื่องอัดลมเลยก็ได้ โดยความดันในถังเก็บลมในระบบนิวแมติกส์ทั่วไปจะอยู่ที่ 4-8 บาร์ เครื่องอัดลมแบบติดตั้งถังเก็บลมแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เครื่องอัดลมแบบติดตั้งถังเก็บลมในตัว

2.6.1.2 ถังเก็บลม (Air tank)

ถังเก็บลม (Air tank) คือ อุปกรณ์ซึ่งมีหน้าที่เก็บลมที่ถูกอัดตัวจนได้ความดันที่ต้องการ จากนั้นจึงปล่อยลมออกไปใช้งาน อุปกรณ์นี้ติดตั้งอยู่ที่ทางลมออกของเครื่องอัดลม โดยอาจจะติดตั้งแยกหรือติดตั้งร่วมกับเครื่องอัดลม ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งทำให้สะดวกต่อการใช้งานและเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ ถังเก็บลมทำหน้าที่จ่ายลมให้มีความดันสม่ำเสมอป้องกันความดันลมลดลง เนื่องจากการใช้งานลมในปริมาณมากในระยะเวลาที่สั้น จ่ายลมเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน เมื่อไฟฟ้าดับและเครื่องอัดลมไม่สามารถใช้งานได้ และแยกน้ำออกจากลมที่ถูกอัด โดยถังเก็บลมเป็นอุปกรณ์ที่ต้องทนความดันจึงต้องมีการติดตั้ง เกจวัดความดัน วาล์วนิรภัย และสวิทช์ความดันเพื่อความปลอดภัย

2.6.1.3 เครื่องระบายความร้อน (Aftercooler)

เครื่องระบายความร้อน (Aftercooler) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งต่อจากเครื่องอัดลมมีหน้าที่ทำให้ลมอัดเย็นตัวลงและกำจัดไอน้ำที่ผสมรวมกับลมอัดเพื่อป้องกันไม่ให้ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบนิวเมติกส์เสียหายได้ เครื่องระบายความร้อนในระบบนิวเมติกส์มี 2 แบบ คือ แบบระบายความร้อนด้วยน้ำและแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยเครื่องระบายความร้อนควรลดอุณหภูมิลมอัดให้ลดเหลือ 40°C

2.6.1.4 เครื่องกรองในท่อหลัก (Main line air filter)

เครื่องกรองในท่อหลัก (Main line air filter) มีหน้าที่กำจัดน้ำ คราบน้ำมัน และฝุ่นละอองที่ปนกับลมอัดในท่อหลัก จากนั้นจึงนำลมอัดไปใช้งานหรือนำไปผ่านการกรองละเอียดอีกครั้ง ลักษณะของเครื่องกรองในท่อหลักแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เครื่องกรองในท่อหลัก (Main line air filter)

2.6.1.5 เครื่องทำลมแห้ง (Refrigerated air dryer)

เครื่องทำลมแห้ง (Refrigerated air dryer) มีหน้าที่ทำให้ลมอัดเย็นลงจนไอน้ำในลมอัดควบแน่นเป็นหยดน้ำและไหลออกทางช่องระบายของวาวว ดังนั้นลมแห้งที่ถูกแยกไอน้ำออกจะไหลผ่านวาววเพื่อนำไปใช้งานต่อไป เครื่องทำลมแห้งแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เครื่องทำลมแห้ง (Refrigerated air dryer)

2.6.1.6 ตัวกรองลมอัด (Air filter)

อุปกรณ์ชนิดนี้มีหน้าที่กรองฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกที่ติดมากับลมอัด เพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบ หากระบบไม่มีการติดตั้งเครื่องทำลมแห้ง ตัวกรองลมอัดจะทำหน้าที่กรองไอน้ำออกจากระบบแทน โดยตัวกรองลมอัดจะกรองได้ละเอียดกว่าเครื่องกรองในท่อหลัก ตัวกรองลมอัดแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ตัวกรองลมอัด (Air filter)

2.6.1.7 วาล์วควบคุมความดัน (Air regulator)

ลมอัดที่ได้จากเครื่องอัดลมนั้นจะมีความดันที่มากกว่าความดันที่ต้องการใช้งานเล็กน้อย จึงต้องใช้วาล์วควบคุมความดันลดความดันลมอัดและรักษาระดับให้อยู่ในระดับที่ต้องการใช้งานเสมอ โดยวาล์วควบคุมความดันอาจติดตั้งร่วมกับตัวกรองลมอัดให้เป็นอุปกรณ์ชุดเดียวกันดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วาล์วควบคุมความดันติดตั้งร่วมกับตัวกรองลมอัด

2.6.1.8 ตัวเติมน้ำมันหล่อลื่น (Air lubricator)

ตัวเติมน้ำมันหล่อลื่น (Air lubricator) อาจติดตั้งร่วมกับวาล์วควบคุมความดันและตัวกรองลมอัด ดังรูปที่ 2.16 มีหน้าที่ส่งสารหล่อลื่นปนไปกับการไหลของลมอัดช่วยให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบทำงานได้อย่างไม่ติดขัดและช่วยยืดอายุการใช้งานของตัวอุปกรณ์อีกด้วย



รูปที่ 2.16 ตัวเติมน้ำมันหล่อลื่นติดตั้งร่วมกับวาล์วควบคุมความดันและตัวกรองลมอัด

2.6.1.9 ตัวเก็บเสียง (Air silencer)

อุปกรณ์ชนิดนี้มีหน้าที่ลดเสียงลมอัดที่ระบายออกจากรูระบายของวาล์วให้ดังน้อยลง ตัวเก็บเสียงแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ตัวเก็บเสียง (Air silencer)

2.6.1.10 วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลมอัด (Directional control valve)

อุปกรณ์ชนิดนี้มีหน้าที่บังคับเปลี่ยนทิศทางการไหลของลมอัด โดยการเปิดหรือปิดวาล์วให้สัมพันธ์กับสัญญาณทางไฟฟ้าจากระบบควบคุมอัตโนมัติหรือสัญญาณลม วาล์วควบคุมการไหลแสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลมอัด (Directional control valve)

2.6.1.11 วาล์วควบคุมความเร็ว (Speed control valve)

วาล์วควบคุมความเร็ว (Speed control valve) มีหน้าที่ปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตรของลมอัดที่ไหลเข้าสู่กระบอกลูกสูบ เพื่อควบคุมความเร็วของก้านสูบในกระบอกลูกสูบให้ได้ความเร็วที่ต้องการใช้งาน ลักษณะของวาล์วควบคุมความเร็วแสดงดังรูปที่ 2.19



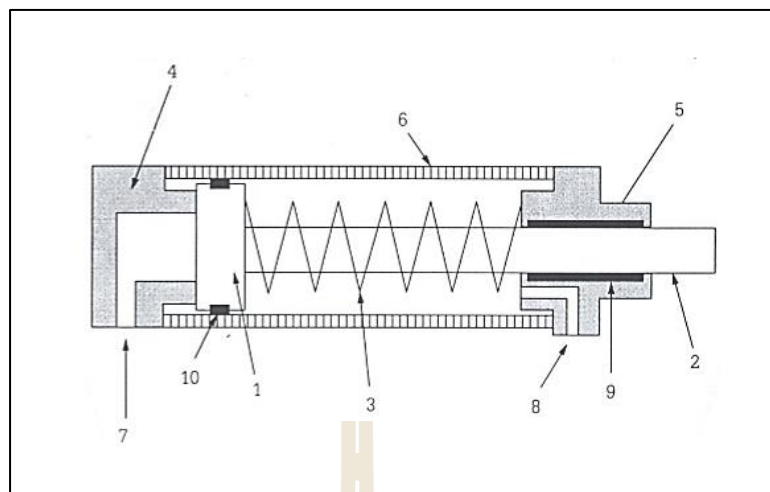
รูปที่ 2.19 วาล์วควบคุมความเร็ว (Speed control valve)

2.6.1.12 กระบอกลูกสูบ (Air cylinder)

อุปกรณ์ชนิดนี้มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากลมอัดไปเป็นพลังงานทางกลในรูปแบบของการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง โดยกระบอกลูกสูบแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามลักษณะการทำงานคือ

1) กระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว (Single acting air cylinder)

กระบอกลูกสูบชนิดนี้ให้แรงในแนวเส้นตรงและทำงานแบบทิศทางเดียว มีหลักการทำงานคือ เมื่อปล่อยลมอัดเข้าสู่กระบอกลูกสูบ ก้านสูบจะดันออกจากกระบอกลูกสูบและดันสปริงที่ติดตั้งภายในกระบอกลูกสูบให้หดตัวลง และเมื่อตัดสัญญาณลมสปริงที่ยุบตัวก็จะดันก้านสูบกลับเข้าไปยังตำแหน่งเดิมของกระบอกลูกสูบ โดยจะมีรูต่อลมเข้าเพียงรูเดียวติดตั้งอยู่บริเวณด้านหลังลูกสูบ และมีรูระบายลมออกติดตั้งบริเวณปลายกระบอกลูกสูบอีกด้านหนึ่ง ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 โครงสร้างกระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว (Single acting air cylinder)

ที่มา : ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์ (2546)

จากรูปที่ 2.20 โครงสร้างของกระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว ประกอบด้วย (ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์, 2546)

หมายเลข 1 ลูกสูบ (Piston)

หมายเลข 2 ก้านสูบ (Piston rod)

หมายเลข 3 สปริงสำหรับดันลูกสูบให้ถอยกลับ (Return spring)

หมายเลข 4 ฝาครอบท้าย (Base and Cover)

หมายเลข 5 ฝาครอบหัว (Head cover)

หมายเลข 6 กระบอกลูกสูบ (Cylinder tube)

หมายเลข 7 รูต่อลม (Pressure connection)

หมายเลข 8 รูระบายลม (Vent hole)

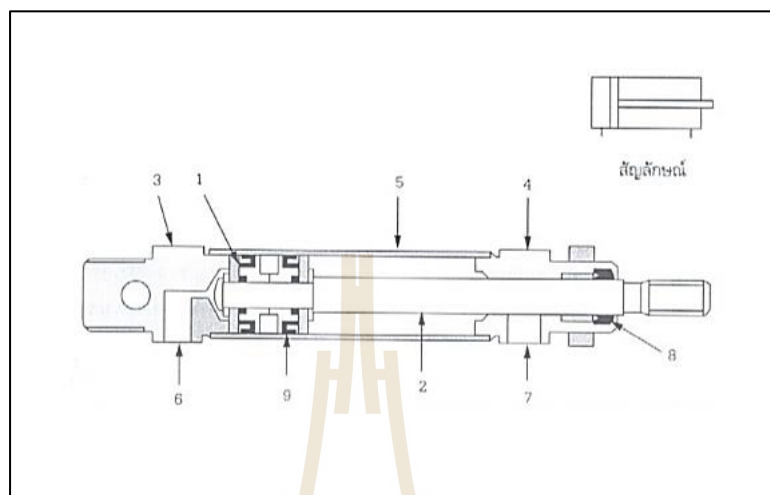
หมายเลข 9 บูชก้านสูบ (Bush and Sealing element)

หมายเลข 10 ซีลลูกสูบ (Piston seal)

2) กระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง (Double acting air cylinder)

กระบอกลูกสูบชนิดนี้ให้แรงในแนวเส้นตรงทำงานสองทิศทางทั้งดันออกและดันเข้า กระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทิศทางแตกต่างจากกระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียวตรงที่ไม่ได้ติดตั้งสปริงไว้ภายในกระบอกลูกสูบ เพราะฉะนั้นหากต้องการให้ก้านสูบดันเข้าหรือ

ออกจึงต้องปล่อยลมอัดเข้าไปในกระบอกสูบทางรูรับลมที่ติดตั้งไว้บริเวณปลายกระบอกสูบ โครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทางแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 โครงสร้างกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง (Double acting air cylinder)

ที่มา : ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์ (2546)

จากรูปที่ 2.21 โครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง ประกอบด้วย (ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์, 2546)

หมายเลข 1 ลูกสูบ (Piston)

หมายเลข 2 ก้านสูบ (Piston rod)

หมายเลข 3 ฝาครอบท้าย (Base and Cover)

หมายเลข 4 ฝาครอบหัว (Head and Cover)

หมายเลข 5 กระบอกสูบ (Cylinder tube)

หมายเลข 6 รูต่อลมด้านลูกสูบ (Pressure connector, Base side)

หมายเลข 7 รูต่อลมด้านก้านสูบ (Pressure connector, Head side)

หมายเลข 8 ซีลก้านสูบ (Bush and Sealing element)

หมายเลข 9 ซีลลูกสูบ (Piston seal)

2.6.2 การคำนวณหาขนาดกระบอกสูบในระบบนิวเมติกส์

ขนาดของกระบอกสูบในที่นี้คือความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าตัดกระบอกสูบสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.1 (ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์, 2546)

$$F = \frac{\pi}{4} D^2 P \quad (2.1)$$

เมื่อ	D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (m)
	F	คือ แรงที่กระทำกับก้านสูบในจังหวะดัน (N)
	P	คือ ความดันลมอัด (Pa)

2.7 การตรวจสอบสารเคมีตกค้างในตัวอย่าง

2.7.1 ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit

ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit สามารถตรวจสอบปริมาณสารพิษตกค้างในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต, คาร์บาเมต และสารเคมีอื่น ๆ ที่เป็นโคลีนเอสเตอเรสอินฮิบิเตอร์ โดยสารเคมีประเภทนี้มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์โคลีนเอสเตอเรส ซึ่งเป็นเอ็นไซม์ที่มีอยู่ในมนุษย์ สัตว์มีกระดูกสันหลัง และแมลง ถ้าหากสิ่งมีชีวิตดังกล่าวได้รับสารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และคาร์บาเมต จะทำให้เอ็นไซม์โคลีนเอสเตอเรสถูกยับยั้งการทำงาน ทำให้มีอาการผิดปกติ เช่น อ่อนเพลีย เวียนหัว ปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน กล้ามเนื้อกระตุก ความดันโลหิตลดลง หัวใจเต้นช้าลง หายใจลำบาก และอาจเสียชีวิตได้ โดยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit มีหลักการคือ ถ้าตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบมีสารพิษตกค้างอยู่ สารพิษจะยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์โคลีนเอสเตอเรส (GT-1) ทำให้เอ็นไซม์ไม่สามารถไฮโดรไลสอะซิetyl โคลีน (GT-2) ได้ และปริมาณอะซิetyl โคลีนที่เหลืออยู่คือตัวกำหนดความเข้มของสีในตัวอย่างทดสอบ หากเหลือปริมาณอะซิetyl โคลีนมากหมายความว่าเหลือปริมาณสารพิษตกค้างมาก สีจะยิ่งเข้มมากตามปริมาณสารพิษที่ตกค้างอยู่ โดยข้อดีของชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit คือ ใช้เวลาในการตรวจสอบน้อย ต้นทุนต่ำมากเมื่อเทียบกับการตรวจแบบ Standard Methods และมีค่าความถูกต้องเมื่อตัวอย่างที่ตรวจเป็นผัก-ผลไม้สูงถึง 87.1% (กอบทอง ฐูปหอม, 2553)

2.7.2 การประมวลผลภาพ (Image processing)

การประมวลผลภาพ (Image processing) คือ การนำภาพหรือภาพถ่ายมาประมวลผลหรือคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ เช่น พื้นที่ของภาพ พื้นที่ของสีที่สนใจในภาพ ค่าสีของภาพในระบบต่าง ๆ ในปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการ Image processing มาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในทางการแพทย์ การเกษตร เนื่องจากมีความสะดวก และแม่นยำสูง

2.7.3 โปรแกรม ImageJ

ImageJ เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ขนาดของวัตถุรวมถึงวิเคราะห์ค่าสีบนภาพถ่าย ซึ่งเป็นโปรแกรมของสถาบันวิจัย National Institute of Mental Health ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยโปรแกรม ImageJ เป็นโปรแกรมที่มีประโยชน์ในงานวิจัยอย่างมาก ข้อดีของโปรแกรม ImageJ คือ เป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย สามารถวิเคราะห์ภาพถ่ายได้ที่หลายภาพ และเป็นโปรแกรมที่ใช้ได้ฟรี ไม่มีค่าใช้จ่าย

เนื่องจากการตรวจสอบสารเคมีตกค้างในตัวอย่างด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit นั้น ผลที่ได้จะเป็นค่าสีซึ่งบ่งบอกระดับของสารเคมีที่ตกค้างในตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้กระบวนการ Image processing ในการวิเคราะห์ตัวอย่างผ่านโปรแกรม ImageJ ซึ่งจะทำให้ความถูกต้อง และแม่นยำกว่าการอ่านผลด้วยตาเปล่า

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดในการดำเนินการวิจัย ได้แก่ การออกแบบเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิคส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ การทดสอบผลของอัลตราโซนิคส์ต่อการลดสารตกค้างในตัวอย่าง การทดสอบผลของโอโซนต่อการลดสารตกค้างในตัวอย่าง การทดสอบผลของอัลตราโซนิคส์ต่อการลดคราบฝุ่นผงในตัวอย่าง การทดสอบผลโอโซนต่อการลดคราบฝุ่นผงในตัวอย่าง การประเมินสมรรถนะของเครื่องต้นแบบ และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ รวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพขององุ่นพันธุ์มารู ซีดเลส และการออกแบบเครื่องต้นแบบเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิคส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่อง

3.1.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพขององุ่นพันธุ์มารู ซีดเลส

ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพขององุ่นพันธุ์มารู ซีดเลส เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบ โดยเริ่มจากนำช่อองุ่นตัวอย่างที่สุ่มตัดจากแปลงปลูกในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 20 ช่อ มาชั่งน้ำหนักเพื่อหาความถ่วงจำเพาะ โดยชั่งน้ำหนักช่อองุ่นในอากาศก่อนและชั่งแทนที่ปริมาตรน้ำด้วยเครื่องชั่งทศนิยมสามตำแหน่ง คำนวณหาความถ่วงจำเพาะจากสมการที่ 3.1 จากนั้นนำช่อองุ่นไปวัดความกว้างและความยาวช่อด้วยไม้บรรทัด นับจำนวนช่อย่อยและจำนวนผลในแต่ละช่อ สุ่มผลองุ่นในแต่ละช่อมา 15 ผล และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านกว้างและยาวของผลองุ่นโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ ได้สมบัติทางกายภาพขององุ่นพันธุ์มารู ซีดเลส ดังตารางที่ 3.1

$$S = \frac{M_a}{M_b} \quad (3.1)$$

เมื่อ S คือ ความถ่วงจำเพาะของช่อองุ่น, M_a คือ มวลของช่อองุ่น (g), M_b คือมวลของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยช่อองุ่น (g)

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพขององุ่นพันธุ์มารู ซีดเลส

Bunch size (cm)		Weight of bunch (g)	S	No. of sub bunch	Total fruit of bunch	Fruit size (mm)	
Width	Length					Width	Length
13.26	18.60	301.75	1.06	15.15	123.65	14.97	16.74

3.1.2 การออกแบบเครื่องต้นแบบ

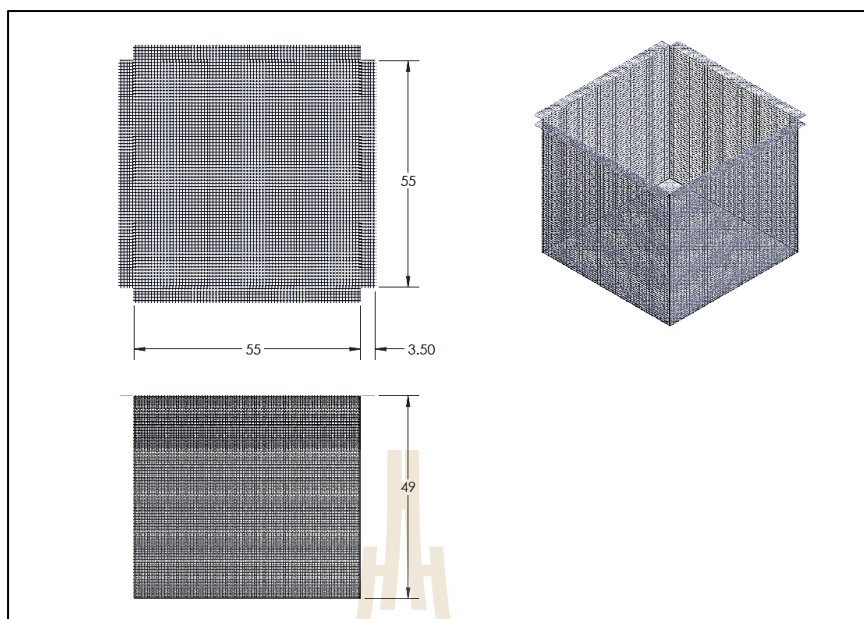
นำข้อมูลสมบัติทางกายภาพขององุ่นพันธุ์มารู ซีดเลส ที่ได้จากการศึกษาจากขั้นตอนที่ 3.1.1 มาใช้ในการออกแบบ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks 2016 ในการออกแบบโครงสร้างและกลไกต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบ ซึ่งมีรายละเอียดการออกแบบและรายละเอียดการเลือกวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบดังนี้

3.1.2.1 ภาชนะสำหรับบรรจุช่อองุ่นและภาชนะบรรจุน้ำสำหรับการล้าง

จากตารางที่ 3.1 องุ่นมีน้ำหนักเฉลี่ย 301.75 กรัม ความกว้างช่อเฉลี่ย 13.26 ซม. ความยาวช่อเฉลี่ย 18.60 ซม. และมีขนาดผลกว้าง 14.97 มม. และยาว 16.74 มม. ใช้ข้อมูลเบื้องต้นออกแบบให้ภาชนะสำหรับบรรจุช่อองุ่นสามารถบรรจุองุ่นได้ 15 กิโลกรัม โดยภาชนะบรรจุช่อองุ่นทำจากสแตนเลสแผ่นหนา 1 มม. เจาะรูขนาด 6 มม. ดังรูปที่ 3.1 และภาชนะมีขนาดความกว้าง 55 ซม., ความยาว 55 ซม. และความสูง 49 ซม. โดยด้านบนทั้งสองด้านพับออก ดังรูปที่ 3.2

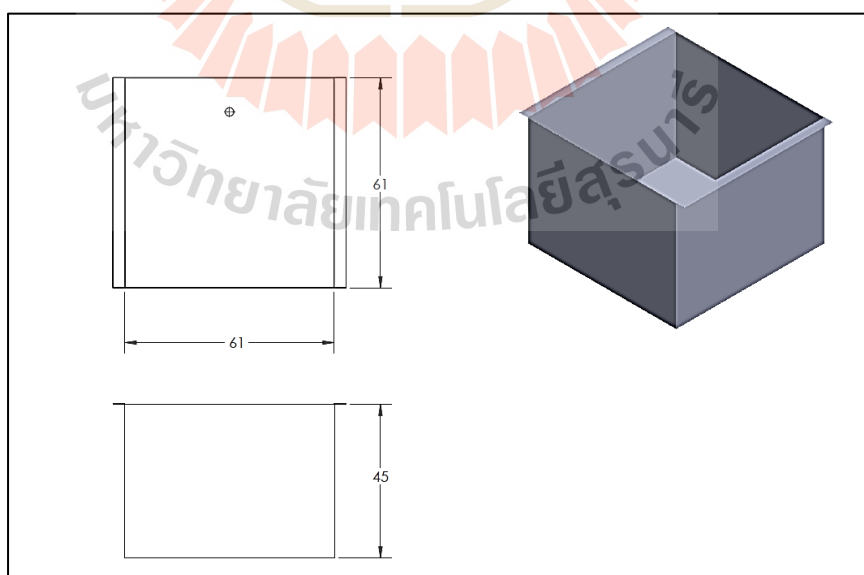


รูปที่ 3.1 ตะแกรงสแตนเลสเจาะรู



รูปที่ 3.2 ภาชนะบรรจุช่องงุ่น

สำหรับภาชนะบรรจุน้ำถูกออกแบบให้ใหญ่กว่าภาชนะบรรจุช่องงุ่น โดยมีขนาดความกว้าง 61 ซม., ความยาว 61 ซม. และความสูง 45 ซม. ด้านบนของภาชนะพับออกสองด้าน และเจาะรูเพื่อใช้ระบายน้ำทั้งดังแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาชนะบรรจุน้ำ

3.1.2.2 การเลือกกระบอกสูบสำหรับยกช่ออ่งุ่น

คำนวณหาขนาดกระบอกสูบจากโหลดน้ำหนักทั้งหมด โดยใช้ดันท่ำกำลัง เป็นเครื่องอัดลมขนาด 8 บาร์ และโหลดน้ำหนักรวมประกอบด้วยน้ำหนักอ่งุ่น 4 ตะกร้า ตะกร้าละ 20 กิโลกรัม และน้ำหนักวัสดุ 20 กิโลกรัม รวมน้ำหนักทั้งหมด 100 กิโลกรัม คำนวณหาขนาดกระบอกสูบได้จากสมการที่ 3.2 ได้ขนาดกระบอกสูบเท่ากับ 5 ซม. ระยะแกนชัก (Stroke) 55 ซม. โดยเลือกใช้กระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทางยี่ห้อ SMC รุ่น CG1FN50-550Z ดังรูปที่ 3.4

$$D = \sqrt{\frac{mg4}{P\pi}} \quad (3.2)$$

เมื่อ	D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางกระบอกสูบ (m)
	m	คือ โหลดน้ำหนักรวม (kg)
	g	คือ แรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.8 m/s ²
	P	คือ แรงดัน (Pa)



รูปที่ 3.4 กระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทางยี่ห้อ SMC รุ่น CG1FN50-550Z

3.1.2.3 การเลือกมอเตอร์สำหรับเป็นต้นกำลังในการหมุน

คำนวณหาขนาดมอเตอร์จากโหลดน้ำหนักทั้งหมด โดยใช้สมการคำนวณ ดังสมการที่ 3.3 ได้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 1 hp ความเร็วรอบ 950 rpm ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น SF-JR ดังรูปที่ 3.5 เนื่องจากมอเตอร์มีความเร็วรอบสูงจึงได้ทำการติดตั้งเกียร์ทดเพื่อทดรอบให้ช้าลง โดยเลือกใช้เกียร์ยี่ห้อ CPG แบบ PORU อัตราทด 1:60 ดังรูปที่ 3.6

$$T = I\alpha$$

$$P = T\omega \quad (3.3)$$

โดยที่	T	คือ แรงบิดของมอเตอร์ (N·m)
	I	คือ โมเมนต์ความเฉื่อย (kg·m ²)
	α	คือ ความเร่งเชิงมุม (rad/s ²)
	P	คือ กำลังมอเตอร์ (W)
	ω	คือ ความเร็วเชิงมุม (rad/s)



รูปที่ 3.5 มอเตอร์ MITSUBISHI รุ่น SF-JR



รูปที่ 3.6 เกียรติท CPG แบบ PORU

3.1.2.4 การเลือกเครื่องกำเนิดอัลตราโซนิกส์และเครื่องกำเนิดโอโซน

งานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องกำเนิดอัลตราโซนิกส์ยี่ห้อ Ultrasonic generator แบบ Auto frequency control ดังรูปที่ 3.7 เนื่องจากใช้งานง่ายสามารถเลือกความถี่ได้สามค่า คือ ความถี่ 28.9 kHz, 40.3 kHz และ 120.3 kHz เหมาะแก่การเปรียบเทียบความสะอาดเมื่อด่างที่ความถี่ต่างกัน ในส่วนของเครื่องกำเนิดโอโซน งานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องกำเนิดโอโซนรุ่น CH-PC18G 220V ดังรูปที่ 3.8 เนื่องจากมีอัตราการผลิตโอโซนที่มากถึง 18 กรัมต่อชั่วโมง จึงทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเพิ่มลดปริมาณน้ำในการล้าง เพื่อเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของโอโซนในการทดลอง



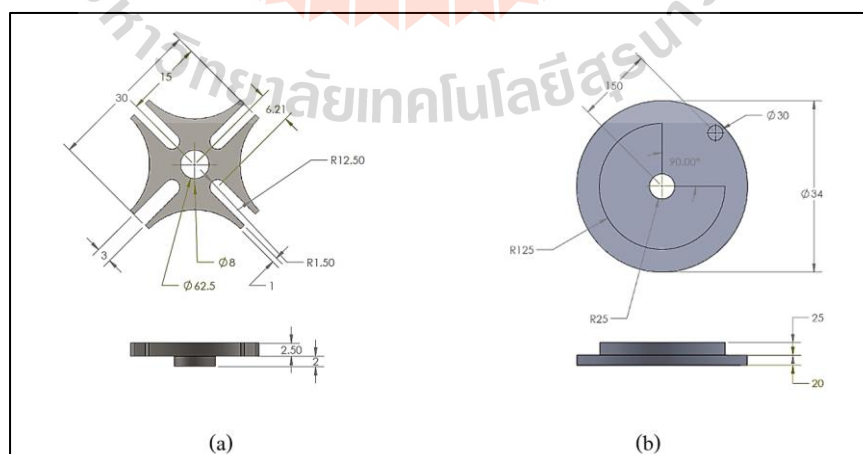
รูปที่ 3.7 Ultrasonic generator



รูปที่ 3.8 เครื่องกำเนิดไอโซน

3.1.2.5 ชุดเฟืองเจนิวา

ทำการออกแบบเฟืองเจนิวาและเฟืองขับด้วยโปรแกรม SolidWorks 2016 ได้เฟืองเจนิวาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. ดังรูปที่ 3.9 (a) และเฟืองขับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 ซม. ดังรูปที่ 3.9 (b) เมื่อเฟืองขับหมุนครบ 1 รอบ จะขับให้เฟืองเจนิวาหมุนได้ $\frac{1}{4}$ รอบ



รูปที่ 3.9 เฟืองเจนิวาและเฟืองขับ

3.1.2.6 เซนเซอร์สำหรับตรวจจับตำแหน่ง

งานวิจัยนี้เลือกใช้ฟร็อกซิมีตี้เซนเซอร์ (Proximity sensor) ยี่ห้อ FOTEK รุ่น PL-50N ดังรูปที่ 3.10 เนื่องจากมีราคาถูก ใช้งานง่าย และสามารถตรวจจับวัตถุได้ โดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุจึงทำให้มีความสะดวกในการใช้งาน



รูปที่ 3.10 ฟร็อกซิมีตี้เซนเซอร์ (Proximity sensor) ยี่ห้อ FOTEK รุ่น PL-50N

3.1.2.7 เครื่องอัดลม

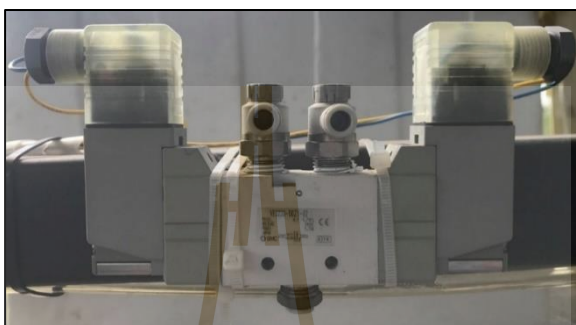
เลือกใช้เครื่องอัดลมยี่ห้อ MASAKI รุ่น XH-25-30 ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นเครื่องอัดลมแบบติดตั้งถังเก็บลมอัดในตัวขนาด 30 L สามารถปรับความดันลมอัดได้สูงสุด 8 บาร์ และมีมาตรวัดความดันติดตั้งไว้เพื่อใช้อ่านค่าความดันลมอัดเพื่อความถูกต้องของการใช้งานและความปลอดภัย



รูปที่ 3.11 เครื่องอัดลมยี่ห้อ MASAKI รุ่น XH-25-30

3.1.2.8 วาล์วควบคุมทิศทางการไหลและวาล์วควบคุมความเร็วลมอัด

งานวิจัยนี้เลือกใช้วาล์วควบคุมทิศทางการไหลแบบติดตั้งวาล์วควบคุมความเร็วลมอัดในตัว เพื่อให้สอดคล้องกับระบบอกสูบลูกชิ้นทำงานสองทิศทาง โดยเลือกวาล์วควบคุมทิศทางการไหลยี่ห้อ SMC รุ่น VF3230-5D8-02 ดังรูปที่ 3.12 ซึ่งสามารถต่อสายสัญญาณควบคุมเข้ากับ PLC ได้โดยตรง ทำให้สามารถควบคุมทิศทางการไหลได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 3.12 วาล์วควบคุมทิศทางการไหลยี่ห้อ SMC รุ่น VF3230-5D8-02

3.1.2.9 พัดลมสำหรับกำจัดความชื้นส่วนเกินเบื้องต้น

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งพัดลมสำหรับระบายความชื้นส่วนเกินเบื้องต้นลงในเครื่องต้นแบบ โดยเลือกใช้พัดลมยี่ห้อ HATARI รุ่น HT-IS22M1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 22 นิ้ว ความเร็วรอบ 920 rpm และมีอัตราการไหลของลมอยู่ที่ $184 \text{ m}^3/\text{min}$ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 พัดลมยี่ห้อ HATARI รุ่น HT-IS22M1

3.1.2.10 ระบบควบคุมอัตโนมัติและกลไกการทำงานของเครื่องต้นแบบ

เครื่องต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้แสดงดังรูปที่ 3.19 โดยออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติของเครื่องต้นแบบ ดังรูปที่ 3.20 และใช้โปรแกรม Gx Works2 เขียนชุดคำสั่งสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติของเครื่องต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 3.21 เลือกใช้ PLC ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น FX3S-14MR/DS มาใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย มีช่องต่อ Input/Output ในตัว และมีความทนทานต่อการใช้งานในสภาวะต่าง ๆ สูง โดยกลไกการทำงานของเครื่องต้นแบบและลำดับขั้นตอนของระบบควบคุมอัตโนมัติ มีรายละเอียดดังนี้

- 1) เริ่มต้นการทำงานโดยกดเปิดสวิตช์ (X000) ซึ่งเป็น Input มีหน้าที่สั่งให้ระบบเริ่มทำงาน
- 2) เมื่อระบบเริ่มทำงาน T6 ซึ่งเป็น Timer จะเริ่มนับเป็นเวลา 1 วินาที เมื่อนับเสร็จ T6 จะสั่งให้ M0 (ทำงานคล้ายสวิตช์แต่เป็นสวิตช์ในซอฟต์แวร์) ทำงานเพื่อสั่งให้ T0 (Timer) เริ่มนับเป็นเวลา 1 วินาที
- 3) เมื่อ T0 นับครบ 1 วินาที จะมีผลสองอย่างคือ
 - สั่งให้ Y002 ซึ่งเป็น Output ทำงาน มีผลให้วาล์วควบคุมทิศทาง การไหลของลมอัดเปิดออกและดันก้านสูบขึ้น (ภาพขณะใส่ช่องงุ่นถูกยกขึ้นด้านบน ดังรูปที่ 3.14)
 - สั่งให้ T1 (Timer) เริ่มนับเป็นเวลา 5 วินาที (เป็นช่วงเวลาขณะที่ ก้านสูบเคลื่อนที่ขึ้น)



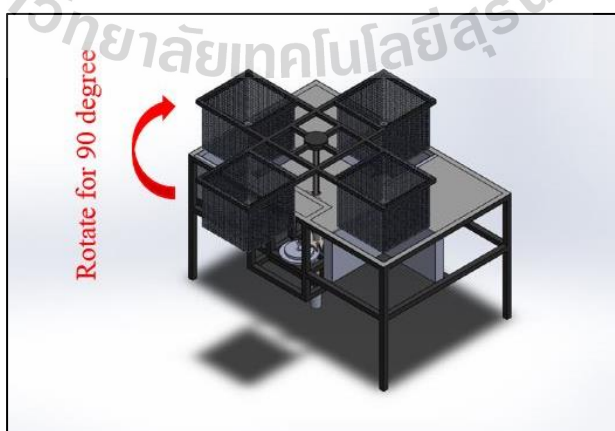
รูปที่ 3.14 ภาพขณะใส่ช่องงุ่นถูกยกขึ้นด้วยก้านสูบ

4) เมื่อ T1 นับครบ 5 วินาที จะสั่งเปิด Y000 (เป็น Output มีหน้าที่สั่งให้รีเลย์ควบคุมการเปิด-ปิดของมอเตอร์ทำงาน) มีผลให้มอเตอร์เริ่มทำงานและหมุนเฟืองขับเคลื่อนดังรูปที่ 3.15

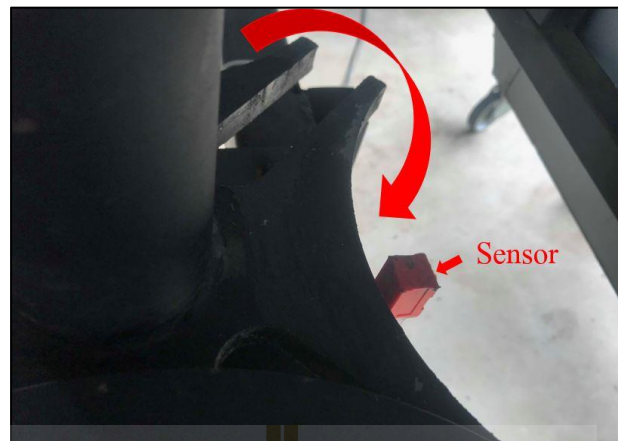


รูปที่ 3.15 การเคลื่อนที่ของเฟืองขับและเฟืองเจนีวา

5) เฟืองขับจะหมุนและขับให้เฟืองเจนีวาหมุนตาม ดังรูปที่ 3.15 (ในขณะนี้นักชณะสำหรับบรรจุถุงที่ถูกยกลอยอยู่จะเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งและเปลี่ยนตำแหน่งไปจากเดิม 90 องศา ดังรูปที่ 3.16) เมื่อเฟืองเจนีวาหมุนครบ $\frac{1}{4}$ รอบ พื้นของเฟืองเจนีวาจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ติดตั้งพรีอักษิมิต์เซนเซอร์ (X003) ดังรูปที่ 3.17

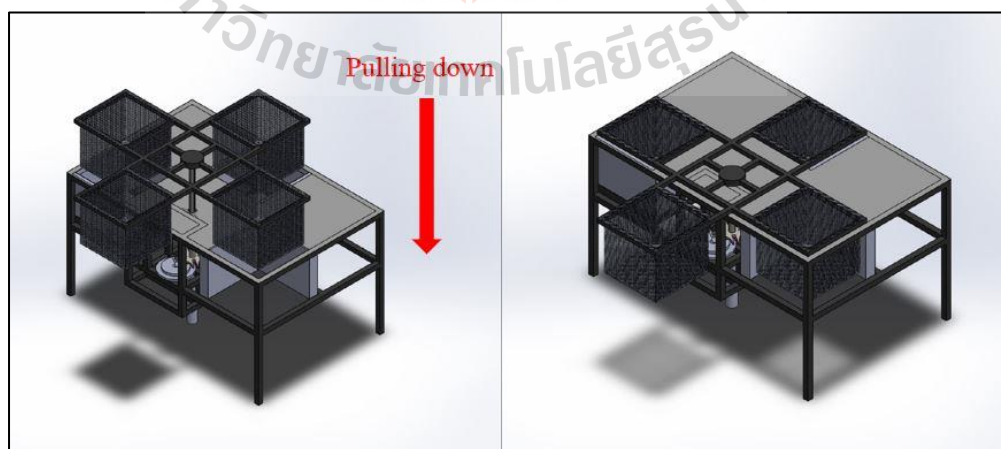


รูปที่ 3.16 ทิศทางการเคลื่อนที่ของภาชนะบรรจุช่อถุง



รูปที่ 3.17 ตำแหน่งของเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับพื้นเฟืองเงินิวา

- 6) เมื่อพรีอ็อกซิมีตี้เซนเซอร์ (X003) ซึ่งเป็น Input ตรวจจับพื้นของเฟืองเงินิวาได้ จะสั่งการให้ M1 ทำงานและสั่งให้ Timer T2 เริ่มนับเป็นเวลา 5 วินาที
- 7) เมื่อ T2 ครบ 5 วินาที จะส่งผลดังนี้
- รีเลย์ (Y000) สั่งให้มอเตอร์หยุดทำงาน
 - ปิดการทำงานของวาล์วควบคุมทิศทางการไหล (Y002)
- เพื่อเตรียมดึงภาชนะสำหรับใส่ช่องุ่นกลับลงมายังตำแหน่งเดิม
- Timer T3 เริ่มนับเป็นเวลา 1 วินาที
- 8) เมื่อ Timer T3 นับครบ 1 วินาที จะส่งผลดังนี้



รูปที่ 3.18 ภาชนะใส่ช่องุ่นถูกดึงลงด้วยก้านสูบ

- Y001 ซึ่งเป็น Output ทำงาน มีผลให้วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลมอัดเปิดออกและดึงก้านสูบลง (ภาพนี้สำหรับบรรจุองุ่นจะถูกก้านสูบดึงลงมายังตำแหน่งเดิม ดังรูปที่ 3.18)

- Timer T4 เริ่มนับเป็นเวลา 5 วินาที (เป็นช่วงเวลาขณะที่ก้านสูบเคลื่อนที่ลง)

9) เมื่อ Timer T4 นับครบ 5 วินาที จะมีผลให้ Timer T5 ซึ่งเป็นตัวเวลาสำหรับการล้างองุ่นที่ต้องการเริ่มนับ

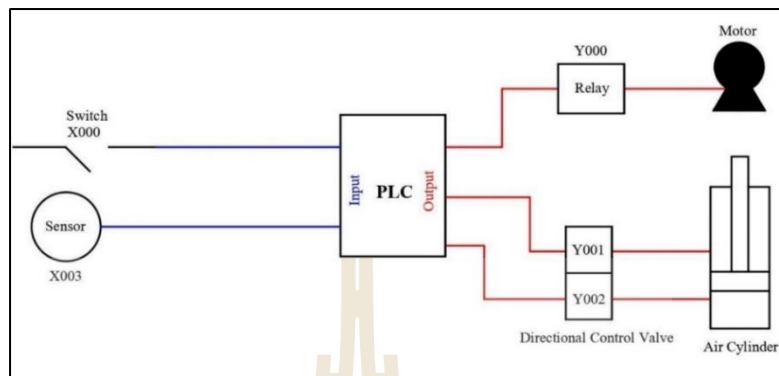
10) เมื่อ Timer T5 นับจนครบเวลาที่กำหนด (องุ่นถูกล้างจนเสร็จ) จะมีผลให้ M0 และ M1 ถูกรีเซ็ตทำให้การทำงานของระบบย้อนกลับไปยังเริ่มยังขั้นตอนที่ 3) และทำงานแบบต่อเนื่องวนกลับไปเรื่อยๆจนกว่าจะกดปิดสวิทช์ X000 เพื่อหยุดการทำงาน



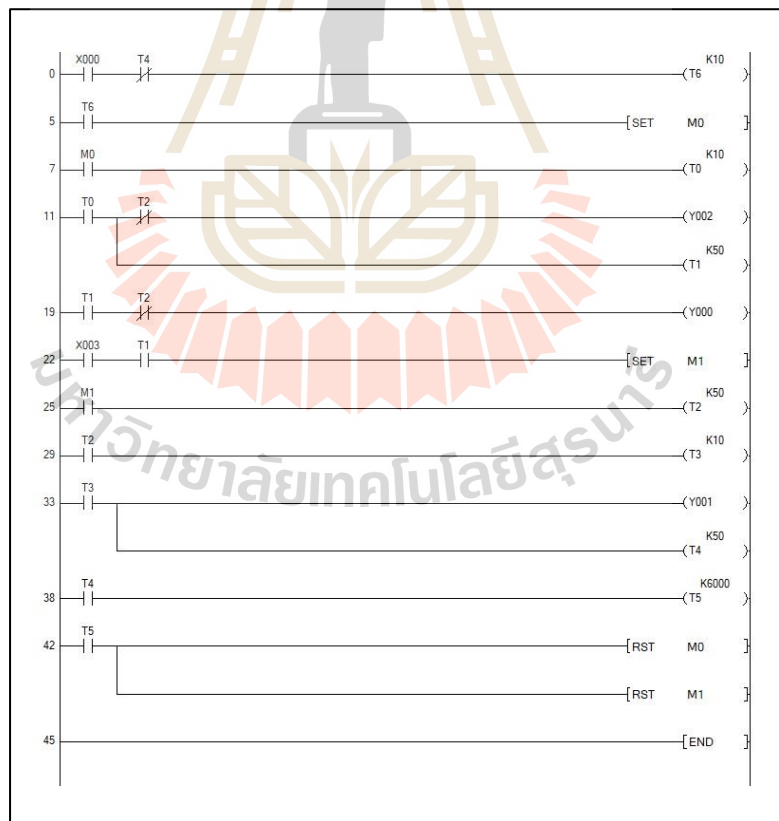
รูปที่ 3.19 เครื่องต้นแบบเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องและตำแหน่งต่าง ๆ ในกระบวนการทำงาน

โดยช่อองุ่นตัวอย่างจะถูกใส่ลงในภาชนะตำแหน่งที่ 1 ก่อนเริ่มกระบวนการทำงาน และเมื่อเริ่มการทำงาน ช่อองุ่นตัวอย่างจะถูกเคลื่อนย้ายไปยังตำแหน่งที่ 2, 3 และ 4 เพื่อทำการล้างด้วยอัลตราโซนิกส์ โอโซน และกำจัดความชื้นเบื้องต้นตามลำดับ เมื่อช่อองุ่น

ตัวอย่างถูกเคลื่อนย้ายกลับมายังตำแหน่งที่ 1 จึงถือว่าเสร็จสิ้นกระบวนการล้างและนำช้อออุ่น
ตัวอย่างออกจากภาวะคั่งแสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.20 แผนผังแสดงระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเครื่องต้นแบบ

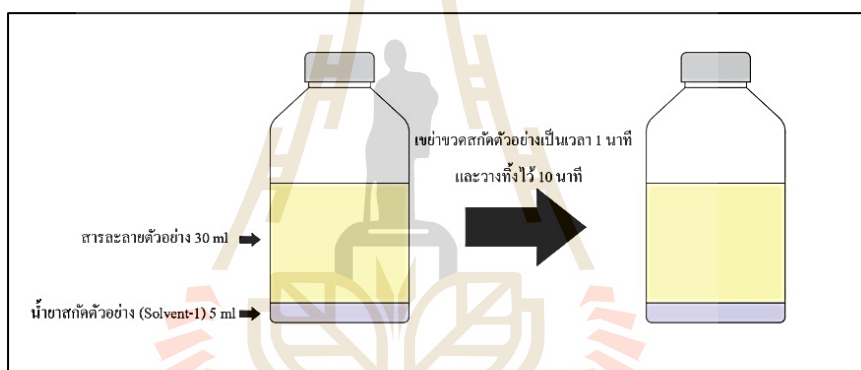


รูปที่ 3.21 ชุดคำสั่งสำหรับระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับเครื่องต้นแบบ

3.2 การศึกษาผลของสารเคมีตกค้างต่อค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$

ทำการศึกษาความเข้มของสีในสารละลายตัวอย่างเมื่อปริมาณสารเคมีตกค้างเพิ่มขึ้น ซึ่งในหัวข้อนี้กล่าวถึงวิธีการสกัดตัวอย่าง (Sample extract) เพื่อนำไปตรวจสอบหาปริมาณสารเคมีตกค้างโดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

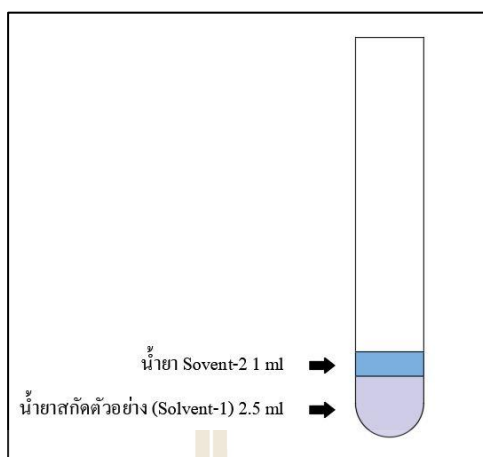
1. ผสมสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตกับน้ำกลั่นจนได้สารละลายปริมาตร 1 ลิตร จำนวน 10 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างมีความเข้มข้นของสารเคมีอยู่ที่ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 ppm
2. นำสารละลายที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ตัวอย่างละ 30 มล. ผสมกับน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Solvent-1) 5 มล. ในขวดสกัดตัวอย่าง โดยสารละลายตัวอย่างและน้ำยาสกัดตัวอย่างจะแยกเป็นสองชั้น ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการผสมสารละลายตัวอย่างกับน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Solvent-1)

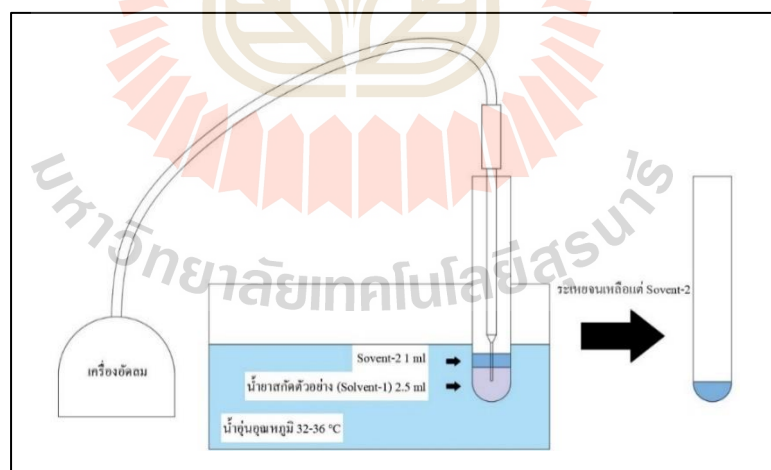
3. เขย่าขวดสกัดตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ น้ำยาสกัดตัวอย่างผสมเข้ากับสารละลายตัวอย่าง จากนั้นวางทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้ น้ำยาสกัดตัวอย่างแยกออกจากสารละลายตัวอย่างอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.22

4. จากนั้นใช้หลอดดูดสารดูดน้ำยาสกัดตัวอย่างชั้นล่างจากขวดสกัดตัวอย่างปริมาตร 2.5 มล. ดังรูปที่ 3.22 นำไปใส่ในหลอดทดลอง และเติมน้ำยา Solvent-2 ปริมาตร 1 มล. ลงในหลอดทดลองเดียวกัน น้ำยาสกัดตัวอย่างและน้ำยา Solvent-2 จะแยกออกเป็นสองชั้น ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การเติมน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Solvent-1) และน้ำยา Solvent-2 ลงในหลอดทดลอง

5. ทำการระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่าง (ชั้นล่าง) โดยใช้หลอดแก้วปลายแหลมต่อเข้ากับเครื่องอัดลมขนาดเล็กมาช่วยในการเป่าระเหย ทำให้น้ำยาสกัดตัวอย่างระเหยเร็วขึ้น ดังรูปที่ 3.24 ซึ่งต้องระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่างจนหมดให้เหลือไว้เพียงน้ำยา Solvent-2 (ชั้นบน) และกระบวนการระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่างนี้ต้องทำในถาดน้ำอุ่นที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 32-36 °C



รูปที่ 3.24 องค์ประกอบของกระบวนการระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Solvent-1)

6. ทำการสกัดตัวอย่างซ้ำตามขั้นตอนที่ 1-5 ตัวอย่างละ 3 ครั้ง โดยน้ำยา Solvent-2 ที่เหลืออยู่จะถูกใช้เป็นสารสกัดตัวอย่าง (Sample extract) เพื่อใช้ในกระบวนการตรวจสอบสารเคมี

ตกค้างโดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image processing ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ “3.5 ขั้นตอนการใช้งานชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit และการวิเคราะห์ค่าสีในกระบวนการ Image Processing”

3.3 การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอ่งุ่นตัวอย่าง

ทำการศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอ่งุ่นตัวอย่าง โดยการล้างทำความสะอาดซอ่งุ่นตัวอย่างที่ปนเปื้อนสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตด้วยอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9, 40.3 และ 120.3 kHz เป็นเวลา 0 (ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการล้าง), 5, 10 และ 15 นาที และนำไปตรวจสอบปริมาณสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ซึ่งในหัวข้อนี้กล่าวถึงวิธีการสกัดตัวอย่าง (Sample extract) เพื่อนำไปตรวจสอบหาปริมาณสารเคมีตกค้าง โดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

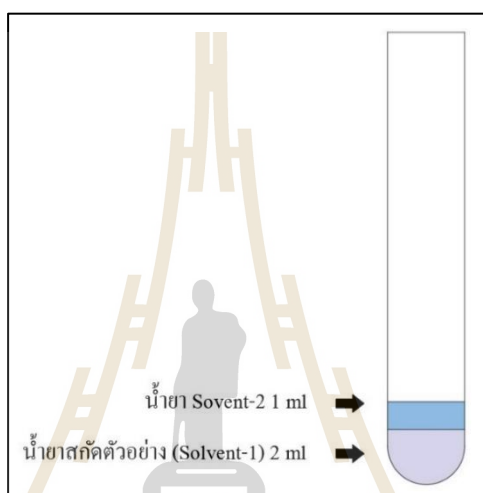
1. นำซอ่งุ่นตัวอย่างพันธุ์มารู ซีดเลส 0.5 กิโลกรัม มาแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมต 1 ppm ปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง จากนั้นพักซอ่งุ่นตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมงหรือจนกว่าซอ่งุ่นตัวอย่างแห้งสนิท
2. นำซอ่งุ่นตัวอย่างจากขั้นตอนที่ 1 มาล้างทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกส์ โดยเริ่มจากความถี่อัลตราโซนิกส์ที่ 28.9 kHz และใช้น้ำในการล้าง 5 ลิตร เป็นเวลา 0, 5, 10 และ 15 นาที จากนั้นพักไว้ให้แห้งสนิท
3. ปั่นซอ่งุ่นตัวอย่างที่ผ่านการล้างแล้วด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียดจากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการปั่นตัวอย่างละ 5 กรัม ผสมกับน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Solvent-1) 10 มล. ในขวดสกัดตัวอย่าง โดยตัวอย่างและน้ำยาสกัดตัวอย่างจะแยกเป็นสองชั้น ดังรูปที่ 3.25



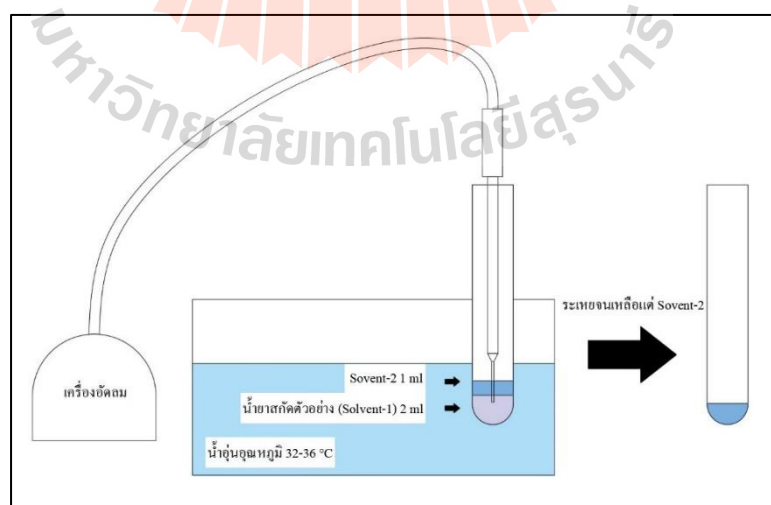
รูปที่ 3.25 ขั้นตอนการผสมตัวอย่างที่ผ่านการปั่นกับน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Solvent-1)

4. เขย่าขวดสกัดตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้น้ำยาสกัดตัวอย่างผสมเข้ากับสารละลายตัวอย่าง จากนั้นวางทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้น้ำยาสกัดตัวอย่างแยกออกจากสารละลายตัวอย่างอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.25

5. จากนั้นใช้หลอดดูดสารคูดน้ำยาสกัดตัวอย่างชั้นล่างจากขวดสกัดตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.25 เป็นปริมาตร 2 มล. นำไปใส่ในหลอดทดลอง และเติมน้ำยา Sovent-2 ปริมาตร 1 มล. ลงในหลอดทดลองเดียวกัน น้ำยาสกัดตัวอย่างและน้ำยา Sovent-2 จะแยกออกเป็นสองชั้น ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 การเติมน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Solvent-1) และน้ำยา Sovent-2 ลงในหลอดทดลอง



รูปที่ 3.27 องค์ประกอบของกระบวนการระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Solvent-1)

6. ทำการระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่าง (ชั้นล่าง) โดยใช้หลอดแก้วปลายแหลมต่อเข้ากับเครื่องอัลตราซาวด์ขนาดเล็กมาช่วยในการเป่าระเหย ทำให้น้ำยาสกัดตัวอย่างระเหยเร็วขึ้น ดังรูปที่ 3.27 ซึ่งต้องระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่างจนหมดให้เหลือไว้เพียงน้ำยา Solvent-2 (ชั้นบน) และกระบวนการระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่างนี้ต้องทำในภาคน้ำอุ่นที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 32-36 °C

7. ทำการสกัดตัวอย่างซ้ำตามขั้นตอนที่ 1-6 และเปลี่ยนความถี่ของอัลตราโซนิกส์เป็น 40.3 และ 120.3 kHz โดยทำซ้ำความถี่ละ 3 ครั้ง น้ำยา Solvent-2 ที่เหลืออยู่จากขั้นตอนที่ 6 จะถูกใช้เป็นสารสกัดตัวอย่าง (Sample Extract) เพื่อใช้ในกระบวนการตรวจสอบสารเคมีตกค้าง โดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image Processing ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ “3.5 ขั้นตอนการใช้งานชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit และการวิเคราะห์ค่าสีในกระบวนการ Image processing”

3.4 การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องอุ่นตัวอย่าง

ทำการศึกษาผลโอโซนต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องอุ่นตัวอย่าง โดยการล้างทำความสะอาดช่องอุ่นตัวอย่างที่ปนเปื้อนสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตด้วยโอโซนความเข้มข้น 4, 6 และ 8 ppm เป็นเวลา 0 (ตัวอย่างที่ไม่ผ่านการล้าง), 5, 10 และ 15 นาที และนำไปตรวจสอบปริมาณสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ซึ่งในหัวข้อนี้กล่าวถึงวิธีการสกัดตัวอย่าง (Sample extract) เพื่อนำไปตรวจสอบหาปริมาณสารเคมีตกค้างโดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำช่องอุ่นตัวอย่างพันธุ์มารู ซีดเลส 0.5 กิโลกรัม มาแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมต 1 ppm ปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง จากนั้นพักช่องอุ่นตัวอย่างเป็นเวลา 2 ชั่วโมงหรือจนกว่าช่องอุ่นตัวอย่างแห้งสนิท

2. นำช่องอุ่นตัวอย่างจากขั้นตอนที่ 1. มาล้างทำความสะอาดด้วยโอโซนโดยเริ่มจากความเข้มข้นโอโซนที่ 4 ppm และใช้น้ำในการล้าง 150 ลิตร เป็นเวลา 0, 5, 10 และ 15 นาที จากนั้นพักไว้ให้แห้งสนิท

3. ปั่นช่องอุ่นตัวอย่างที่ผ่านการล้างแล้วด้วยเครื่องปั่นให้ละเอียดจากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการปั่นตัวอย่างละ 5 กรัม ผสมกับน้ำยาสกัดตัวอย่าง (Solvent-1) 10 มล. ในขวดสกัดตัวอย่าง โดยตัวอย่างและน้ำยาสกัดตัวอย่างจะแยกเป็นสองชั้น ดังรูปที่ 3.25

4. เขย่าขวดสกัดตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้น้ำยาสกัดตัวอย่างผสมเข้ากับสารละลายตัวอย่าง จากนั้นวางทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้น้ำยาสกัดตัวอย่างแยกออกจากสารละลายตัวอย่างอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.25

5. จากนั้นใช้หลอดดูดสารดูดน้ำยาสกัดตัวอย่างชั้นล่างจากขวดสกัดตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.25 เป็นปริมาตร 2 มล. นำไปใส่ในหลอดทดลอง และเติมน้ำยา Sovent-2 ปริมาตร 1 มล. ลงในหลอดทดลองเดียวกัน น้ำยาสกัดตัวอย่างและน้ำยา Sovent-2 จะแยกออกเป็นสองชั้น ดังรูปที่ 3.26

6. ทำการระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่าง (ชั้นล่าง) โดยใช้หลอดแก้วปลายแหลมต่อเข้ากับเครื่องอัดลมขนาดเล็กมาช่วยในการเป่าระเหย ทำให้น้ำยาสกัดตัวอย่างระเหยเร็วขึ้น ดังรูปที่ 3.27 ซึ่งต้องระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่างจนหมดให้เหลือไว้เพียงน้ำยา Sovent-2 (ชั้นบน) และกระบวนการระเหยน้ำยาสกัดตัวอย่างนี้ต้องทำในภาคน้ำอุ่นที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 32-36 °C

7. ทำการสกัดตัวอย่างซ้ำตามขั้นตอนที่ 1-6 และเปลี่ยนความเข้มข้นของไอโซนเป็น 6 ppm ใช้น้ำในการล้าง 100 ลิตร และ 8 ppm ใช้น้ำในการล้าง 75 ลิตร โดยทำซ้ำความเข้มข้นละ 3 ครั้ง น้ำยา Sovent-2 ที่เหลืออยู่จากขั้นตอนที่ 6 จะถูกใช้เป็นส่วนสกัดตัวอย่าง (Sample extract) เพื่อใช้ในกระบวนการตรวจสอบสารเคมีตกค้าง โดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image processing ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ “3.5 ขั้นตอนการใช้งานชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit และการวิเคราะห์ค่าสีในกระบวนการ Image processing”

3.5 ขั้นตอนการใช้งานชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit และการวิเคราะห์ค่าสีในกระบวนการ Image processing

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงวิธีการใช้งานชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit โดยนำสารสกัดตัวอย่าง (Sample extract) จากหัวข้อที่ 3.2, 3.3 และ 3.4 มาตรวจสอบ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าสีด้วยกระบวนการ Image processing ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

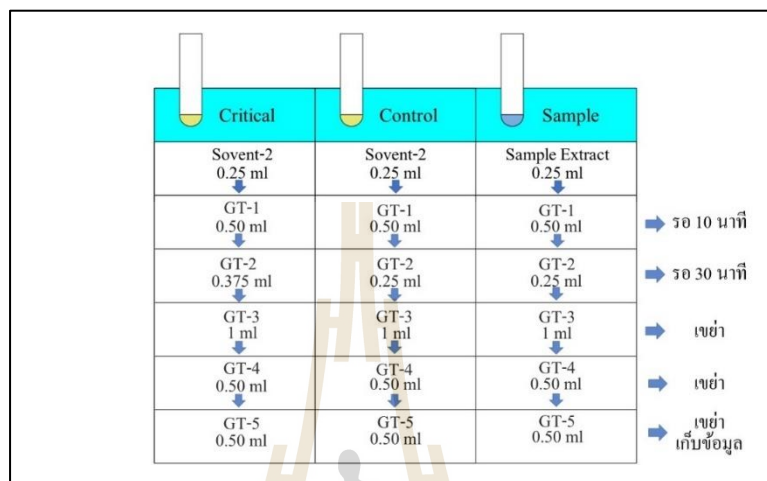
3.5.1 ขั้นตอนการใช้งานชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit

ขั้นตอนต่อไปนี้ต้องทำในภาคน้ำอุ่นควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 32-36 °C โดยมีขั้นตอน ดังรูปที่ 3.28 (กอบทอง รูปหอม, 2553) ซึ่งมีรายละเอียดการเติมสารเคมีต่าง ๆ ดังนี้

1. นำสารสกัดตัวอย่าง (Sample extract) ที่ได้มาเติมลงในหลอดทดลองตัวอย่างละ 0.25 มล. โดยหลอดทดลองนี้จะถูกใช้เป็นหลอดตัวอย่าง (Sample) ในการวิเคราะห์ จากนั้นเติมน้ำยา Sovent-2 ลงในหลอดทดลองอีกสองหลอด หลอดละ 0.25 มล. โดยหลอดทดลองทั้งสองหลอดนี้จะถูกใช้เป็นหลอดควบคุม (Control) และหลอดตัดสิน (Critical)

2. จากนั้นเติมเติมน้ำยา GT-1 ลงในหลอดตัวอย่าง หลอดควบคุม และหลอดตัดสิน หลอดละ 0.5 มล. และรอเป็นเวลา 10 นาที

3. เมื่อรอจนครบ 10 นาที จึงเติมน้ำยา GT-2 ลงในหลอดทดลอง โดยเติมลงในหลอดตัดสี 0.375 มล. เติมลงในหลอดควบคุม 0.25 มล. และเติมลงในหลอดตัวอย่าง 0.25 มล. จากนั้นรอเป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.28 ขั้นตอนการเติมสารเคมีของชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit

4. เมื่อรอจนครบ 30 นาทีจึงเติมน้ำยา GT-3 หลอดตัดสี หลอดควบคุม และหลอดตัวอย่าง หลอดละ 1 มล. จากนั้นเขย่าเบา ๆ ให้สารเคมีผสมกัน

5. เติมน้ำยา GT-4 ลงในหลอดตัดสี หลอดควบคุม และหลอดตัวอย่าง หลอดละ 0.5 มล. จากนั้นเขย่าเบา ๆ ให้สารเคมีผสมกัน

6. เติมน้ำยา GT-5 ลงในหลอดตัดสี หลอดควบคุม และหลอดตัวอย่างหลอดละ 0.5 มล. จากนั้นเขย่าเบา ๆ ให้สารเคมีผสมกันและทำการเก็บข้อมูล โดยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit มีเกณฑ์การตรวจสอบอยู่ 3 เกณฑ์ ดังรูปที่ 3.29 คือ

- หากสีในหลอดตัวอย่างมีสีอ่อนกว่าหรือเท่ากับสีของหลอดควบคุม (Control) สามารถอ่านค่าได้ว่าไม่มีสารตกค้าง

- หากสีในหลอดตัวอย่างเข้มกว่าหลอดควบคุม (Control) แต่อ่อนกว่าหลอดตัดสี (Critical) สามารถอ่านค่าได้ว่ามีสารเคมีตกค้างแต่อยู่ในระดับที่ปลอดภัย

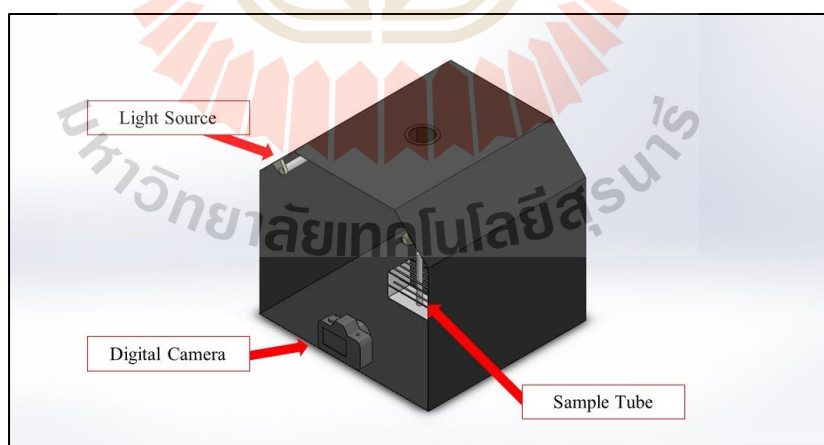
- หากสีของหลอดตัวอย่างเท่ากับหรือเข้มกว่าหลอดตัดสี (Critical) สามารถอ่านค่าได้ว่ามีสารเคมีตกค้างในระดับที่ไม่ปลอดภัย



รูปที่ 3.29 การเปรียบเทียบปริมาณสารเคมีกลุ่มคาบาเมตตก้างในตัวอย่างองุ่นที่ล้างด้วยอัลตราโซนิคส์ที่ความถี่ 120.3 kHz ในช่วงเวลาต่างกัน

3.5.2 การวิเคราะห์ค่าสีด้วยกระบวนการ Image Processing

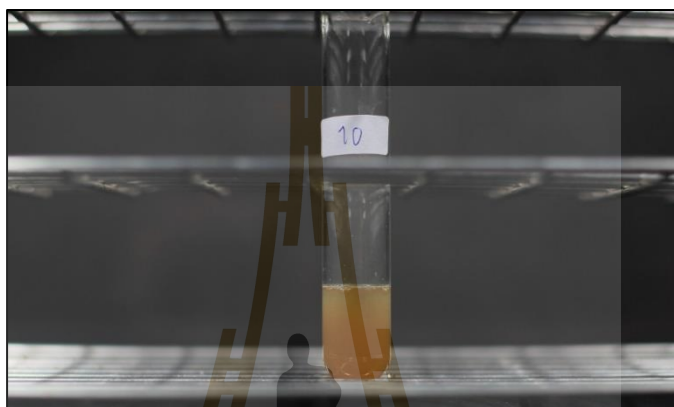
รายละเอียดที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็น การนำตัวอย่างที่ได้จากหัวข้อที่ 3.5.1 มาผ่านกระบวนการ Image processing เพื่อหาความเข้มของสีในแต่ละตัวอย่างและนำไปวิเคราะห์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.30 องค์ประกอบสำหรับการถ่ายภาพหลอดตัวอย่าง

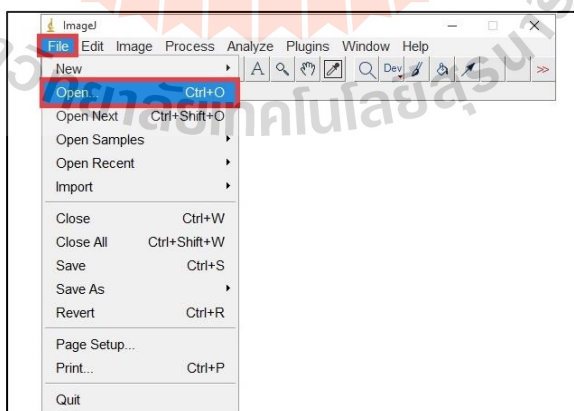
1. นำหลอดทดลองที่ได้จากหัวข้อที่ 3.5.1 มาถ่ายภาพทีละหลอด โดยถ่ายภาพในกล่องควบคุมแสงขนาดกว้าง × ยาว × สูง (60 × 55.5 × 56 ซม.) ที่ติดหลอดไฟ Relight Lamp

(D65/18 W, ยาว 36 ซม.) มาตรฐาน ISO 3664:2016 ส่องหลอดไว้ด้านใน ดังรูปที่ 3.30 ใช้กล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Cannon รุ่น EOS 60D โดยตั้งค่าการถ่ายภาพที่ $f=2.5$, Speed = 1/100, ISO 200, ความละเอียดภาพ 5184×3456 pixels ถ่ายภาพโดยตั้งกล้องถ่ายภาพห่างจากหลอดตัวอย่างเป็นระยะ 49 ซม. ไม่มีการซูมภาพและไม่ใช้แสงแฟลชในการถ่ายภาพ ภาพถ่ายหลอดตัวอย่างที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.31



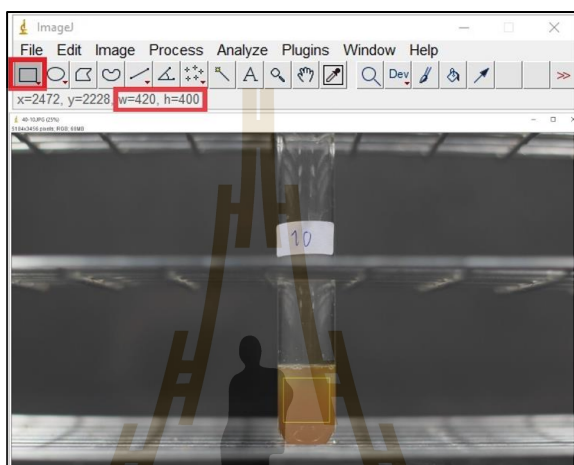
รูปที่ 3.31 ภาพถ่ายหลอดตัวอย่างของอุ้งนึ่งที่ล้างด้วยอัลตราโซนิคส์ความถี่ 40 kHz เป็นเวลา 10 นาที

2. นำภาพถ่ายหลอดตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาวัดค่าสีโดยใช้โปรแกรม ImageJ ซึ่งมีขั้นตอนการใช้งาน โปรแกรมดังนี้



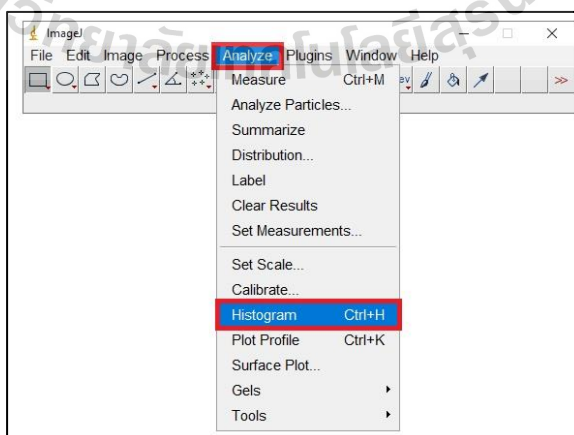
รูปที่ 3.32 ขั้นตอนการเปิดภาพถ่ายที่ต้องการวัดค่าสี

- 1) เปิดโปรแกรม ImageJ จากนั้นเลือกภาพที่ต้องการวัดค่าสี โดยคลิกที่เมนู File จากนั้นเลือก Open และเลือกเปิดภาพที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.32
- 2) เลือกพื้นที่ในการวัดค่าสีโดยคลิกที่คำสั่ง Rectangle จากนั้นใช้เมาส์ลากคลุมพื้นที่ในตำแหน่งที่ต้องการวัดค่าสีบนรูปภาพให้ได้พื้นที่ กว้าง×ยาว เท่ากับ 420×400 Pixels ดังรูปที่ 3.33



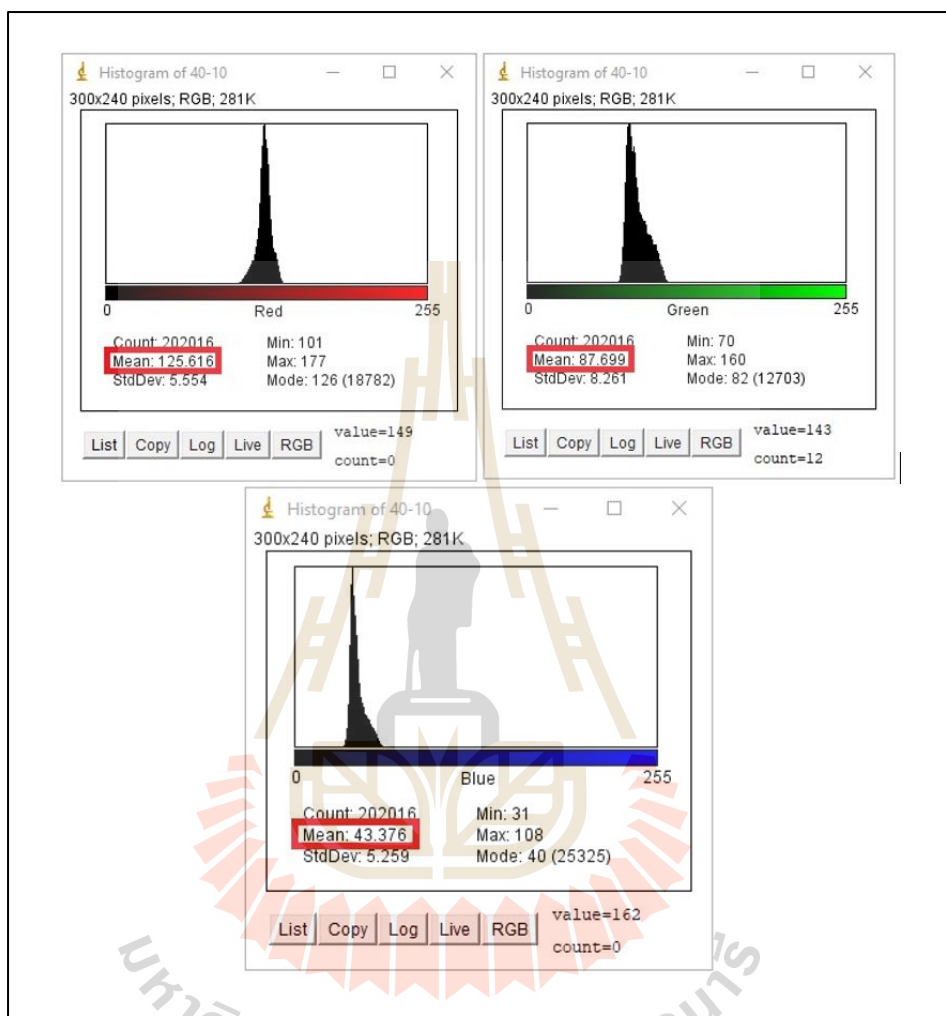
รูปที่ 3.33 การเลือกพื้นที่บนภาพถ่ายตัวอย่างเพื่อนำไปวัดค่าสี

- 3) จากนั้นทำการวัดค่าสีโดยคลิกที่เมนู Analyze และเลือก Histogram ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 คำสั่งสำหรับวัดค่าสีใน โปรแกรม ImageJ

4) จะได้อ่าค่าสีในระบบ RGB ดังรูปที่ 3.35 และนำค่าสีที่ได้ไปแปลงเป็นค่าสีในระบบ CIELAB



รูปที่ 3.35 ค่าสีที่ได้จากการวัดด้วยโปรแกรม ImageJ

3. นำค่าสีในระบบ RGB ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาแปลงเป็นค่าสีในระบบ CIELAB โดยมีขั้นตอนดังนี้ (Teerawat et al., 2018)

1) แปลงค่า RGB แบบไม่เชิงเส้นไปเป็นค่า sRGB เชิงเส้น โดยใช้สมการที่ 3.4 และสมการที่ 3.5

$$NR = \frac{R}{255}; NG = \frac{G}{255}; NB = \frac{B}{255} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned}
 r &= \begin{cases} (NR + 0.055) / 1.005, NR > 0.04045 \\ NR / 12.92, NR \leq 0.04045 \end{cases} \\
 g &= \begin{cases} (NG + 0.055) / 1.005, NG > 0.04045 \\ NG / 12.92, NG \leq 0.04045 \end{cases} \\
 b &= \begin{cases} (NB + 0.055) / 1.005, NB > 0.04045 \\ NB / 12.92, NB \leq 0.04045 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

2) แปลงค่าสีในระบบ sRGB เป็นระบบ CIE XYZ โดยใช้สมการที่ 3.6

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = 100 \times \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \tag{3.6}$$

3) แปลงค่าสีในระบบ CIE XYZ เป็นระบบ CIELAB สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 3.7 และสมการที่ 3.8

$$\begin{aligned}
 f\left(\frac{X}{X_n}\right) &= \begin{cases} 7.787x + \frac{16}{116}, x \leq 0.008856 \\ x^{1/3}, x > 0.008856 \end{cases} \\
 f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) &= \begin{cases} 7.787y + \frac{16}{116}, y \leq 0.008856 \\ y^{1/3}, y > 0.008856 \end{cases} \\
 f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) &= \begin{cases} 7.787z + \frac{16}{116}, z \leq 0.008856 \\ z^{1/3}, z > 0.008856 \end{cases}
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

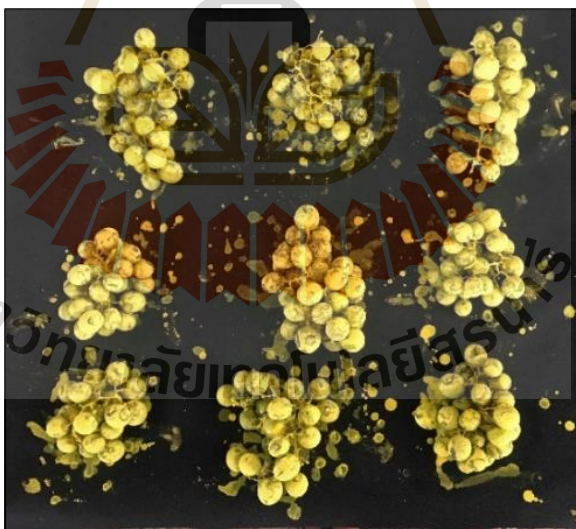
$$\begin{aligned}
 L^* &= 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \\
 a^* &= 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \\
 b^* &= 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

ค่า L^* , a^* , b^* ที่ได้เป็นค่าที่บอกความแตกต่างของสีที่ตามนุษย์มองเห็น (Oliver et al., 1992) และจะถูกนำมาวิเคราะห์ถึงปริมาณสารเคมีตกค้างในตัวอย่างทดสอบ โดยที่ค่า L^* เป็นค่าที่บ่งบอกความสว่างโดยมีช่วงสีเริ่มจากสีดำ (0) จนถึงสีขาว (100) ค่า a^* เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นสีเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงสีแดง ($+a^*$) และค่า b^* เป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีน้ำเงิน ($-b^*$) ไปจนถึงสีเหลือง ($+b^*$)

3.6 การศึกษาผลของอัลตราโซนิคส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่น

ทำการศึกษาผลของอัลตราโซนิคส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่น โดยนำช่อองุ่นตัวอย่างมาข้อมด้วยสีผงจากนั้นนำไปล้างด้วยอัลตราโซนิคส์ที่ความถี่ 28.9, 40.3, และ 120.3 kHz ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลตราโซนิคส์ในการลดคราบสกปรกด้วยโปรแกรม ImageJ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำช่อองุ่นตัวอย่างพันธุ์มารู ซีคเลส จำนวน 9 ช่อ มาข้อมด้วยสีผงยี่ห้อ GOUACHE (สีเหลือง) โดยใช้ช่อองุ่น 1 ช่อต่อสีผง 100 กรัม ต่อน้ำ 50 มล. ดังรูปที่ 3.36 จากนั้นทิ้งไว้ 30 นาที หรือจนกว่าช่อองุ่นตัวอย่างจะแห้งสนิท



รูปที่ 3.36 ช่อองุ่นตัวอย่างที่ถูกข้อมด้วยสีผงสำหรับการศึกษาหัวข้อที่ 3.6

2. สุ่มเลือกช่อองุ่นตัวอย่างจากข้อที่ 1 มา 3 ตัวอย่าง และนำไปล้างด้วยอัลตราโซนิคส์ที่ความถี่ 28.9 kHz พร้อมกันทั้ง 3 ตัวอย่าง เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที โดยใช้น้ำ 5 ลิตรในการล้าง ดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 การล้างช่องอุ่นตัวอย่างที่ผ่านการข้อมด้วยอัลตราโซนิกส์

3. ทำการถ่ายภาพช่องอุ่นตัวอย่างโดยถ่ายภาพในทุก 5 นาทีของระยะเวลาในการล้างจนครบ 15 นาที จากนั้นนำภาพถ่ายตัวอย่างไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลตราโซนิกส์ในการลดคราบสกปรกด้วยโปรแกรม ImageJ โดยรายละเอียดของการถ่ายภาพตัวอย่าง และการใช้งานโปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่ “3.8 การใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลตราโซนิกส์ในการลดคราบสกปรกและประสิทธิภาพของไอโซนในการลดคราบสกปรก”

4. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1-3 โดยปรับความถี่อัลตราโซนิกส์เพิ่มเป็น 40.3 และ 120.3 kHz ตามลำดับ

3.7 การศึกษาผลของไอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่องอุ่น

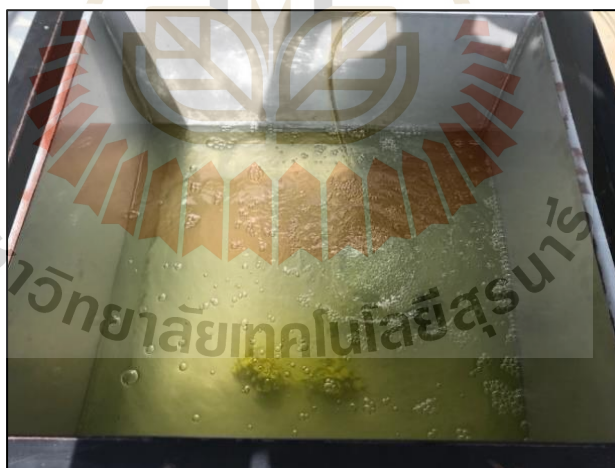
ทำการศึกษาผลของไอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่องอุ่น โดยนำช่องอุ่นตัวอย่างมาข้อมด้วยสีผงจากนั้นนำไปล้างด้วยไอโซนที่ความเข้มข้น 4, 6 และ 8 ppm ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของไอโซนในการลดคราบสกปรกด้วยโปรแกรม ImageJ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำช่องอุ่นตัวอย่างพันธุ์มารู ซีดเลส จำนวน 9 ช่อง มาข้อมด้วยสีผงยี่ห้อ GOUACHE (สีเหลือง) โดยใช้ช่องอุ่น 1 ช่องต่อสีผง 100 กรัม ต่อน้ำ 50 มล. ดังรูปที่ 3.38 จากนั้นทิ้งไว้ 30 นาที หรือนานกว่าช่องอุ่นตัวอย่างจะแห้งสนิท



รูปที่ 3.38 ซ่อองุ่นตัวอย่างที่ถูกห่อด้วยสีมสำหรับการศึกษาหัวข้อที่ 3.7

2. สุ่มเลือกซ่อองุ่นตัวอย่างจากข้อที่ 1 มา 3 ตัวอย่าง และนำไปล้างด้วยโอโซนที่ความเข้มข้น 8 ppm พร้อมกันทั้ง 3 ตัวอย่างเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที โดยใช้น้ำ 75 ลิตร สำหรับการล้าง ดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 การล้างซ่อองุ่นตัวอย่างที่ผ่านการห่อสีมด้วยโอโซน

3. ทำการถ่ายภาพซ่อองุ่นตัวอย่างโดยถ่ายภาพในทุก 5 นาทีของระยะเวลาในการล้างจนครบ 15 นาที จากนั้นนำภาพถ่ายตัวอย่างไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโอโซนในการลดการปนสกปรกด้วยโปรแกรม ImageJ โดยรายละเอียดของการถ่ายภาพตัวอย่างและการใช้งาน โปรแกรม

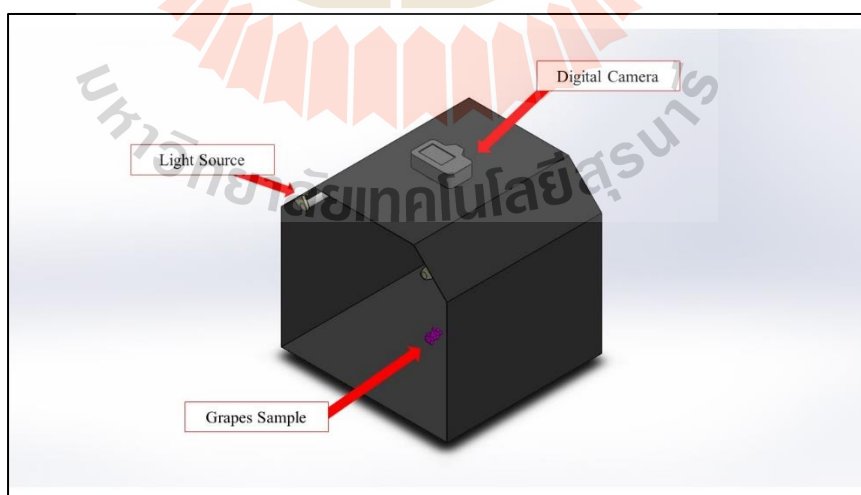
ImageJ ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่ “3.8 การใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลตราโซนิคส์ในการลดคราบสกปรกและประสิทธิภาพของโอโซนในการลดคราบสกปรก”

4. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1-3 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของโอโซนเป็น 6 ppm ใช้น้ำในการล้าง 100 ลิตร และ 4 ppm ใช้น้ำในการล้าง 150 ลิตร ตามลำดับ

3.8 การใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลตราโซนิคส์ในการลดคราบสกปรกและประสิทธิภาพของโอโซนในการลดคราบสกปรก

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงวิธีการถ่ายภาพตัวอย่างที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อที่ 3.6 และ 3.7 รวมถึงวิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายตัวอย่างเพื่อหาประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกของอัลตราโซนิคส์และประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกของโอโซนด้วยโปรแกรม ImageJ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ถ่ายภาพตัวอย่างที่ผ่านการล้างในหัวข้อที่ 3.6 และ 3.7 โดยถ่ายภาพในกล่องควบคุมแสงขนาดกว้าง×ยาว×สูง (60×55.5×56 ซม.) ที่ติดหลอดไฟ Relight Lamp (D65/18 W, ยาว 36 ซม.) มาตรฐาน ISO 3664:2016 สองหลอดไว้ด้านใน ดังรูปที่ 3.40 ใช้กล้องถ่ายภาพยี่ห้อ Cannon รุ่น EOS 60D โดยตั้งค่าการถ่ายภาพที่ $f = 2.5$, Speed = 1/100, ISO 200, ความละเอียดภาพ 5184×3456 pixels ถ่ายภาพโดยนำส่วนเลนส์กล้องถ่ายภาพสอดเข้าไปในรูเจาะสำหรับถ่ายภาพบนกล่องควบคุมแสง ดังรูปที่ 3.40 ไม่มีการซูมภาพและไม่ใช้แสงแฟลชในการถ่ายภาพ ภาพถ่ายตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.41

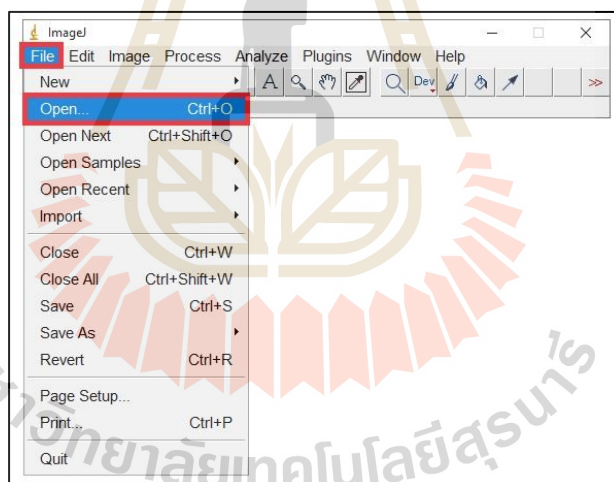


รูปที่ 3.40 องค์ประกอบสำหรับการถ่ายภาพตัวอย่าง



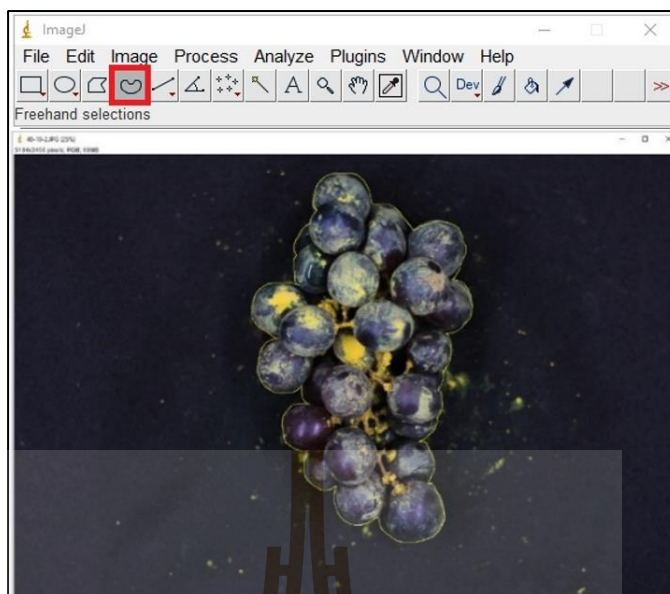
รูปที่ 3.41 องุ่นที่ผ่านการล้างด้วยอัลตราโซนิคส์ความถี่ 40.3 Hz เป็นเวลา 10 นาที

2. เปิดโปรแกรม ImageJ และเปิดภาพตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์โดยเลือกคำสั่ง File > Open จากนั้นเลือกภาพที่ต้องการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.42

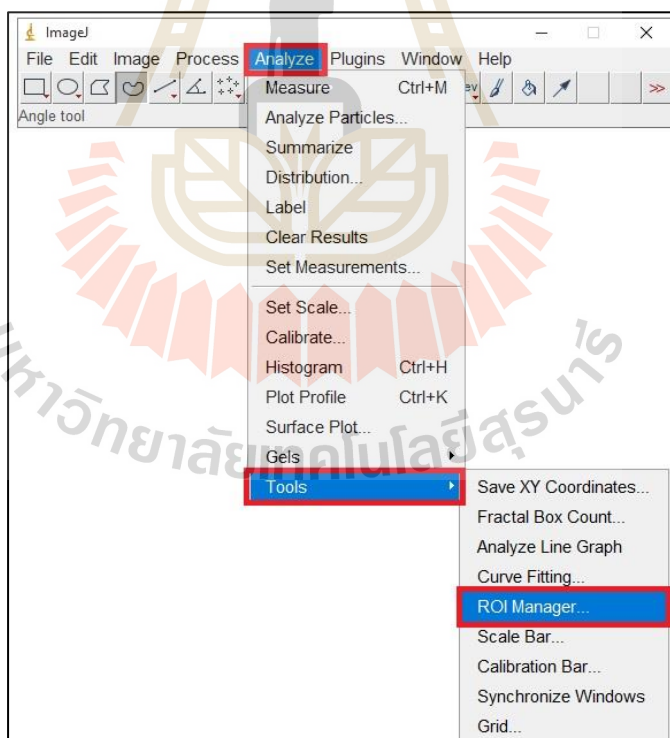


รูปที่ 3.42 การเปิดภาพตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ImageJ

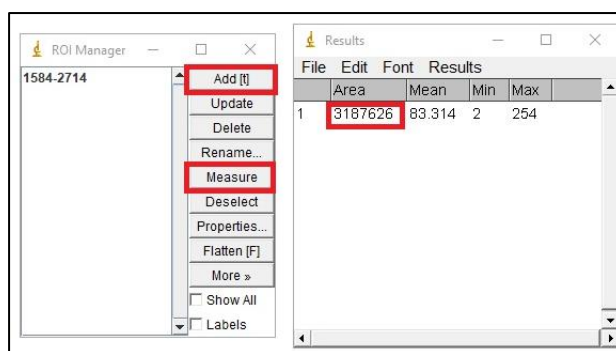
3. หาพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่างโดยเลือกคำสั่ง Freehand selection และใช้เมาส์ลากคลุมพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.43 จากนั้นเลือกคำสั่ง Analyze > Tool > ROI Manager ดังรูปที่ 3.44 แล้วเลือกคำสั่ง Add [t] เพื่อนำพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่างมาคำนวณ แล้วจึงเลือกคำสั่ง Measure เพื่อคำนวณหาพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่าง โดยค่าที่ได้จะแสดงผลออกมาในรูปแบบของ Area มีหน่วยเป็น pixels ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.43 การหาพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่าง โดยใช้โปรแกรม ImageJ

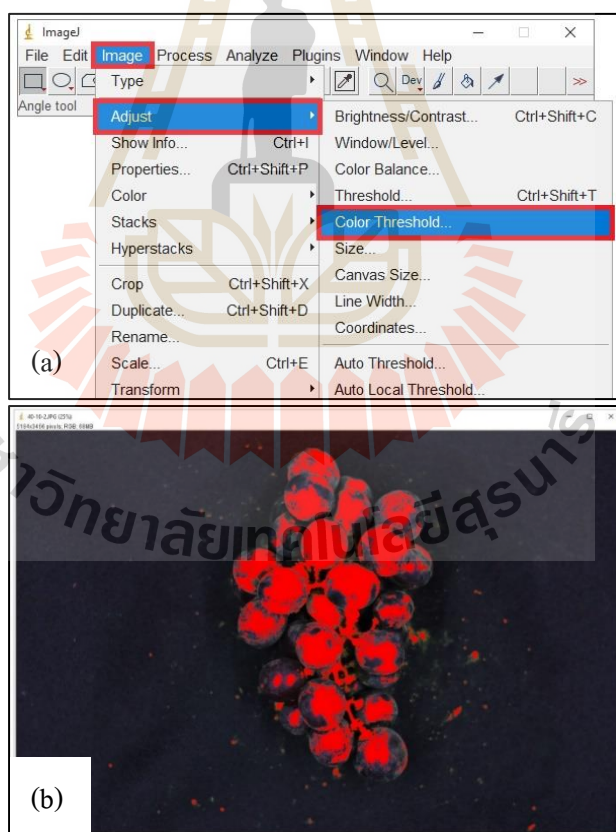


รูปที่ 3.44 การเลือกคำสั่งเพื่อคำนวณพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่าง



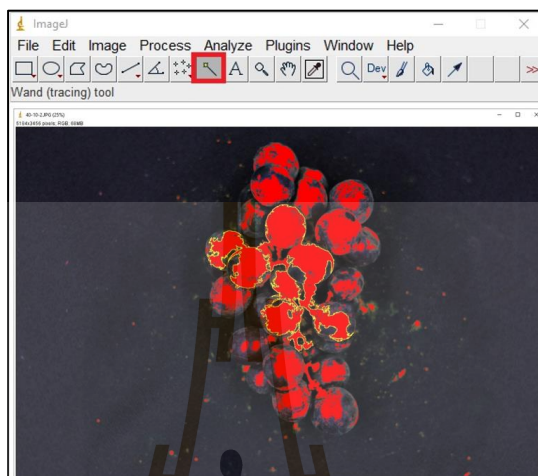
รูปที่ 3.45 การแสดงผลการหาพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม ImageJ

4. หาพื้นที่ของสีม่วงที่ติดอยู่บนผิวองุ่น โดยเลือกคำสั่ง Image > Adjust > Color Threshold ตามรูปที่ 3.46 (a) ซึ่ง โปรแกรม ImageJ จะหาพื้นที่ของสีม่วงให้โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.46 (b)



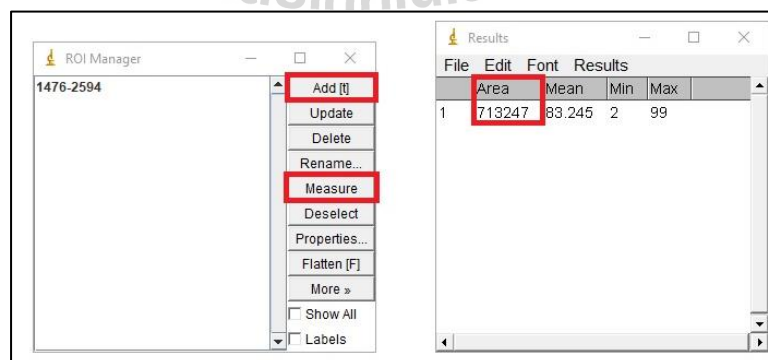
รูปที่ 3.46 การใช้โปรแกรม ImageJ หาพื้นที่ของสีม่วง

5. ใช้คำสั่ง Wand เลือกพื้นที่ของสีผงในภาพตัวอย่างเพื่อนำไปคำนวณหาพื้นที่สกปรก โดยการคลิกเลือกพื้นที่ที่ต้องการตามรูปที่ 3.47 จากนั้นเลือกคำสั่ง Analyze > Tool > ROI Manager (รูปที่ 3.44) เพื่อเปิดหน้าต่าง ROI Manager สำหรับใช้ในการคำนวณพื้นที่สกปรก



รูปที่ 3.47 การเลือกพื้นที่ของสีผงในภาพตัวอย่างเพื่อนำไปคำนวณหาพื้นที่สกปรก

6. เมื่อเปิดหน้าต่าง ROI Manager ขึ้นมาแล้วจึงเลือกคำสั่ง Add [t] เพื่อนำพื้นที่ของสีผงจากข้อที่ 5. มาคำนวณหาพื้นที่สกปรกโดยเลือกคำสั่ง Measure โดยค่าที่ได้จะแสดงผลออกมาในรูปของ Area มีหน่วยเป็น pixels ดังรูปที่ 3.48 ซึ่งสามารถเลือกคำสั่ง Add [t] เพื่อเลือกพื้นที่ของสีผงที่เหลืออยู่ในภาพตัวอย่างมาคำนวณหาพื้นที่สกปรกได้ (ต้องเลือกพื้นที่ของสีผงบนช่องอ์งุ่นทั้งหมดมาใช้ในการคำนวณ โดยผลรวมของพื้นที่ของสีผงทั้งหมดในภาพตัวอย่างคือพื้นที่สกปรก)



รูปที่ 3.48 การใช้โปรแกรม ImageJ คำนวณหาพื้นที่สกปรก

7. นำพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่างและพื้นที่สกปรกมาคำนวณหาประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก ทำได้โดยนำพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่างลบออกด้วยพื้นที่สกปรกจะได้พื้นที่สะอาด จากนั้นนำพื้นที่สะอาดมาเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่างก็จะได้ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกดังสมการที่ 3.9

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{All Area} - \text{Dirty Area}}{\text{All Area}} \times 100\% \quad (3.9)$$

เมื่อ	Efficiency	คือ ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก (%)
	All Area	คือ พื้นที่ทั้งหมดของภาพตัวอย่าง (pixels)
	Dirty Area	คือ พื้นที่สกปรก (pixels)

3.9 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องล้างด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการทดสอบสมรรถนะโดยรวมของเครื่องต้นแบบ ได้แก่ อัตราการล้างผลของของเครื่องต้นแบบต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อดองุ่นตัวอย่าง ความสิ้นเปลืองพลังงาน การสูญเสียหลังการล้างด้วยเครื่องต้นแบบ และการกำจัดความชื้นส่วนเกิน

3.9.1 อัตราการล้าง

นำช่อดองุ่นตัวอย่างจำนวน 15 กิโลกรัม มาแช่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมต 1 ppm โดยแช่ช่อดองุ่นตัวอย่าง 0.5 กิโลกรัม ต่อสารละลายที่มีความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมต 1 ppm ปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลาครึ่งชั่วโมงและพักช่อดองุ่นตัวอย่างให้แห้งสนิท จากนั้นนำช่อดองุ่นตัวอย่างไปทดสอบหาอัตราการล้างโดยใช้เครื่องต้นแบบซึ่งมีหลักการทำงานตามหัวข้อที่ “3.1.2.11 ระบบควบคุมอัตโนมัติและกลไกการทำงานของเครื่องต้นแบบ” โดยเลือกล้างที่ความถี่ของอัลตราโซนิกส์ที่ 120.3 kHz เป็นเวลา 10 นาที ใช้น้ำ 75 ลิตร และความเข้มข้นของโอโซน 8 ppm เป็นเวลา 10 นาที ใช้น้ำ 75 ลิตร (เนื่องจากเป็นค่าความถี่และความเข้มข้นที่ดีที่สุดในการลดสารเคมีตกค้าง และเวลา 10 นาที คือเวลาที่น้อยที่สุดในการลดสารเคมีตกค้างจนหมด) ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการล้างโดยนำน้ำหนักของช่อดองุ่นตัวอย่างที่ล้างได้ทั้งหมดเทียบกับเวลาที่ใช้ในการล้างด้วยเครื่องต้นแบบ ดังสมการที่ 3.10

$$\text{Washing Rate} = \frac{\text{Mass of Grapes}}{\text{Time}} \quad (3.10)$$

เมื่อ	Washing Rate	คือ อัตราการล้าง (kg/h)
	Mass of Grape	คือ น้ำหนักของช่อองุ่นตัวอย่างที่เครื่องต้นแบบล้างได้ (kg)
	Time	คือ เวลาที่ใช้ในการล้าง (h)

3.9.2 ผลของเครื่องต้นแบบต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อองุ่นตัวอย่าง

ก่อนทำการทดสอบหาอัตราการล้างของเครื่องต้นแบบได้มีการติดแท็กที่ช่อองุ่นตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อทำการหาปริมาณสารเคมีตกค้างก่อนการล้าง ดังรูปที่ 3.49 และหลังการล้างด้วยเครื่องต้นแบบ ดังรูปที่ 3.50 เมื่อทดสอบหาอัตราการล้างเสร็จจึงนำช่อองุ่นตัวอย่างที่ถูกติดแท็กไว้มาหาปริมาณสารเคมีตกค้างก่อนและหลังการล้างด้วยเครื่องต้นแบบโดยมีวิธีการสกัดตัวอย่างตามขั้นตอนที่ 3-6 ในหัวข้อหัวข้อที่ “3.3 การศึกษาผลของอัลตราโซนิคส์ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อองุ่นตัวอย่าง” โดยทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และมีวิธีการตรวจสอบสารพิษตกค้างในตัวอย่างที่สกัดได้ตามหัวข้อที่ “3.5 ขั้นตอนการใช้งานชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit และการวิเคราะห์ค่าสีในกระบวนการ Image processing”



รูปที่ 3.49 ช่อองุ่นตัวอย่างสำหรับการหาปริมาณสารเคมีตกค้างก่อนการล้างด้วยเครื่องต้นแบบ



รูปที่ 3.50 ซ่อองุ่นตัวอย่างสำหรับการหาปริมาณสารเคมีตกค้างหลังการล้างด้วยเครื่องต้นแบบ

3.9.3 ความสิ้นเปลืองพลังงาน

3.9.3.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

หาค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักของซ่อองุ่นตัวอย่างที่ล้างได้ของเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ ซึ่งความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเท่ากับพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการล้างซ่อองุ่นตัวอย่างเทียบกับน้ำหนักของซ่อองุ่นตัวอย่างที่ล้างได้ ดังสมการที่ 3.11

$$\text{Specific Energy Consumption (SEC)} = \frac{\text{Total Energy}}{\text{Mass of Grapes}} \quad (3.11)$$

โดยที่ SEC คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักของซ่อองุ่นตัวอย่าง (kW·h/kg)

Total Energy คือ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ (kW·h)

Mass of Grapes คือ น้ำหนักของซ่อองุ่นตัวอย่างที่ล้างได้ (kg)

3.9.3.2 ความสิ้นเปลืองน้ำในการล้าง

หาค่าดัชนีการใช้น้ำในการล้างต่อน้ำหนักของซ่อองุ่นตัวอย่างที่ล้างได้ของเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ ซึ่งเท่ากับปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้างซ่อองุ่นตัวอย่างเทียบกับน้ำหนักของซ่อองุ่นตัวอย่างที่ล้างได้ ดังสมการที่ 3.12

$$\text{Specific Water Consumption (SWC)} = \frac{\text{Volume of Water}}{\text{Mass of Grapes}} \quad (3.12)$$

โดยที่	SWC	คือ ค่าดัชนีการใช้น้ำต่อน้ำหนักของช่อองุ่นตัวอย่าง (Liter/kg)
	Volume of Water	คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการล้าง (Liter)
	Mass of Grapes	คือ น้ำหนักของช่อองุ่นตัวอย่างที่ล้างได้ (kg)

3.9.4 การสูญเสียหลังการล้างด้วยเครื่องต้นแบบ

หาน้ำหนักขององุ่นที่สูญเสียหลังการล้างด้วยเครื่องต้นแบบ โดยนำผลองุ่นที่ร่วงหลังการล้างทั้งหมดมาชั่งน้ำหนัก และนำไปเทียบกับน้ำหนักของช่อองุ่นตัวอย่างก่อนทำการล้างด้วยเครื่องต้นแบบเพื่อหาอัตราการสูญเสียดังสมการที่ 3.13

$$\text{Grapes Loss} = \frac{\text{Fall Grapes}}{\text{Mass of Grapes}} \times 100 \% \quad (3.13)$$

โดยที่	Grapes Loss	คือ อัตราการสูญเสียขององุ่นหลังการล้าง (%)
	Mass of Grapes	คือ น้ำหนักของช่อองุ่นตัวอย่างก่อนล้าง (kg)
	Fall Grapes	คือ น้ำหนักของผลองุ่นที่ร่วงหลังการล้าง (kg)

3.9.5 การกำจัดความชื้นส่วนเกิน

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการล้างช่อองุ่นตัวอย่างด้วยเครื่องต้นแบบทำการพิจารณาความชื้นส่วนเกินที่เหลืออยู่บนช่อองุ่นตัวอย่าง โดยแบ่งเกณฑ์การพิจารณาเป็น 2 เกณฑ์ คือ แห้งสนิท และแห้งบางส่วน

3.10 การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม คือ การนำเอาเศรษฐศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับงานด้านวิศวกรรม เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่กับการงานวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ไพบูลย์ เข้มเพื่อน, 2546) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมดังนี้

3.10.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการคือค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องต้นแบบ คำนวณได้จากต้นทุนคงที่ (Fixed cost : FC) และต้นทุนแปรผัน (Variable cost : VC)

ต้นทุนคงที่ (Fixed cost: FC) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการตั้งอู่ สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.15

$$AC = FC + VC \quad (3.14)$$

โดยที่ AC คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด

$$FC = De + R \quad (3.15)$$

ค่าเสื่อมราคา (คิดโดยวิธีตรง)

$$De = \frac{(Pr - S)}{LT} \quad (3.16)$$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน

$$R = \frac{(Pr + De)}{2} \times i \quad (3.17)$$

โดยที่ Pr คือ ราคาสร้างเครื่องต้นแบบ (บาท)
 LT คือ อายุการใช้งานเครื่อง ≈ 10 ปี
 S คือ ราคาซากเครื่องเมื่อครบ 10 ปี $= 0.1 * P$ (บาท)
 De คือ ค่าเสื่อมราคา/ปี (บาท/ปี)
 R คือ ค่าเสียโอกาสในการลงทุน/ปี (บาท/ปี)
 I คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี

ต้นทุนแปรผัน (Variable cost: VC) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.18

$$VC = \text{ค่าจ้างแรงงาน (C)} + \text{ค่าไฟฟ้า (EC)} + \text{ค่าบำรุงรักษา (MC)} + \text{ค่าน้ำประปา (WC)} \quad (3.18)$$

3.10.2 จุดคุ้มทุน

จุดคุ้มทุน คือ จุดที่ยอดขายเท่ากับค่าใช้จ่ายทั้งหมด หรือก็คือจุดที่ไม่มีผลกำไรหรือขาดทุนนั่นเอง จุดคุ้มทุนของเครื่องล้างจานด้วยอัลตราโซนิคส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.19

$$N^* = \frac{FC}{p - v} \quad (3.19)$$

โดยที่ N^* คือ ปริมาณผลิตที่จุดคุ้มทุนพอดี
 FC คือ ต้นทุนคงที่
 p คือ กำไรต่อหน่วย
 v คือ ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

3.10.3 ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสม จากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับมูลค่าในการลงทุนทั้งหมด การคิดระยะเวลาคืนทุนที่นิยมใช้คือวิธี Simple Payback Period หรือวิธีคิดระยะคืนทุนแบบง่าย ซึ่งเป็นวิธีคิดอย่างง่ายโดยระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.20

$$PBP = \frac{Pr}{Pe} \quad (3.20)$$

$$Pe = R - AC \quad (3.21)$$

โดยที่ PBP คือ ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
 Pr คือ ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องต้นแบบ (บาท)
 Pe คือ กำไร (บาท/ปี)
 R คือ รายได้ (บาท/ปี)
 AC คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท/ปี)

3.10.4 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในหรือ IRR คือ การประเมินว่าการลงทุนให้อัตราผลตอบแทนเท่าใด โดยวิธีการคิดคือใช้การสุ่มอัตราคิดลด (Discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (NPV) เท่ากับศูนย์ กล่าวคือ ทำให้เงินสดสุทธิในอนาคตตอนมูลค่ากลับมาปัจจุบันแล้วมีค่าเท่ากับเงินลงทุนก้อนแรกนั่นเอง ดังนั้น IRR ควรจะมีค่ามากกว่าต้นทุนทางการเงินหรือดอกเบี้ยเงินกู้ และยังมีค่ามากยิ่งดี สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.22

$$\sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+IRR)^i} = 0 \quad (3.22)$$

หรือ

$$0 = -CF_0 + \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \frac{CF_3}{(1+IRR)^3} + \dots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} \quad (3.23)$$

โดยที่ IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return)

CF คือ เงินสดสุทธิหรือรายได้สุทธิ

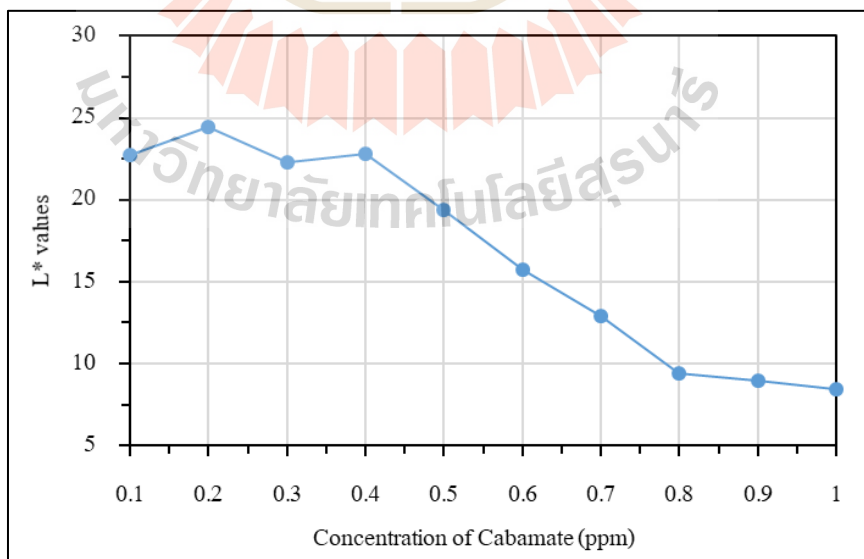
บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงผลการศึกษาในงานวิจัย อันได้แก่ การศึกษาผลของสารเคมีตกค้างต่อค่าปริภูมิสี L^* a^* b^* การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่ของงุ่นตัวอย่าง การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่ของงุ่นตัวอย่าง การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่ของงุ่น การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่ของงุ่น การทดสอบสมรรถนะของเครื่องล้างงุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ และการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

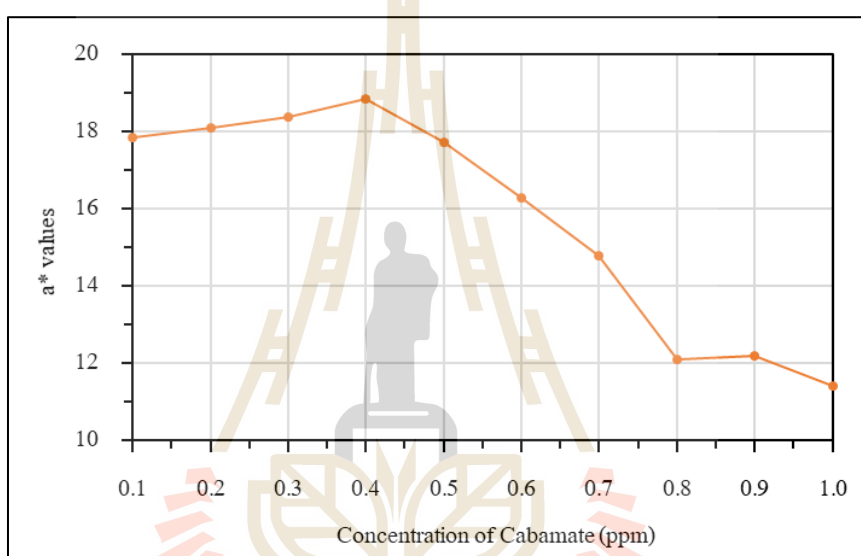
4.1 ผลของสารเคมีตกค้างต่อค่าปริภูมิสี L^* a^* b^*

จากการศึกษาผลของสารเคมีตกค้างกลุ่มคาร์บาเมตต่อความเข้มสีของตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของสารเคมีอยู่ที่ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 ppm โดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image processing ผลที่ได้อยู่ในรูปของปริภูมิสี L^* a^* b^* ดังรูปที่ 4.1-4.3



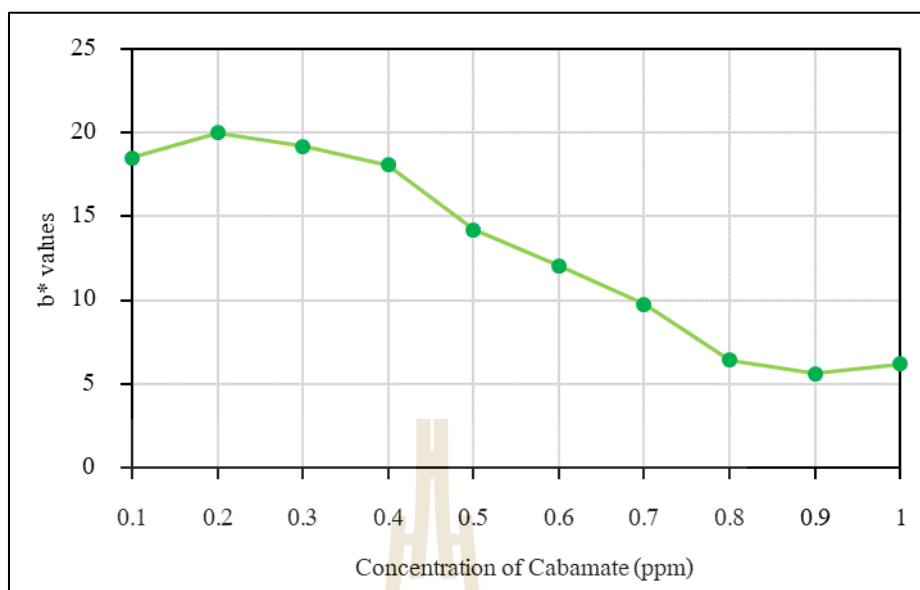
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บาเมตกับค่า L^*

จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บาเมตกับค่า L^* จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อเข้มข้นสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า L^* มีแนวโน้มลดลง ซึ่งค่า L^* นี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสว่างของสี หากมีค่ามากจะยิ่งสว่างหรือเป็นสีขาวมากขึ้น หากมีค่าน้อยจะยิ่งเข้มหรือเป็นสีดำมากขึ้น (Oliver et al., 1992) ซึ่งแนวโน้มที่ลดลงของค่า L^* เมื่อความเข้มข้นสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตเพิ่มขึ้นเป็นไปตามหลักการของชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit คือหากตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบมีสารพิษตกค้างในปริมาณมากสีของตัวอย่างที่ได้จะยิ่งเข้มมากขึ้นนั่นเอง (กอบทอง รูปหอม, 2553)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บาเมตกับค่า a^*

ค่า a^* เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นสีเขียวเมื่อมีค่าน้อยไปจนถึงสีแดงเมื่อมีค่ามาก (Oliver et al., 1992) จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บาเมตกับค่า a^* เมื่อตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบสารพิษตกค้างมีความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตมากขึ้นจะทำให้ค่า a^* ลดลงหรือเป็นสีเขียวมากขึ้นนั่นเอง และในทางกลับกันหากความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตลดลงจะทำให้ค่า a^* เพิ่มขึ้นหรือเป็นสีแดงมากขึ้น



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บาเมตกับค่า b^*

ค่า b^* เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นสีน้ำเงินเมื่อมีค่าน้อยไปจนถึงสีเหลืองเมื่อมีค่ามาก (Oliver et al., 1992) จากรูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บาเมตกับค่า b^* เมื่อตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบสารพิษตกค้างมีความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตมากขึ้นจะทำให้ค่า b^* ลดลงหรือเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นนั่นเอง และในทางกลับกันหากความเข้มข้นของสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตลดลงจะทำให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นหรือเป็นสีเหลืองมากขึ้น

4.2 ผลของอัลตราโซนิคส์ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องงุ่นตัวอย่าง

4.2.1 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องงุ่นตัวอย่าง

จากการศึกษาผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องงุ่นตัวอย่าง ที่เวลาการล้าง 0, 5, 10 และ 15 นาที และนำไปตรวจสอบปริมาณสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image processing ซึ่งผลที่ได้อยู่ในรูปของค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$ ดังตารางที่ 4.1-4.3 และมีการวัดผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อค่า L*

ความถี่ 28.9 kHz		
เวลา (นาทีก)	ค่า L*	การวัดผล
หลดดตัดสิน (Critical)	15.24	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	30.33	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
5	37.13	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
10	41.09	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
15	41.90	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลดดควบคุม (Control)	45.29	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อใช้อัลตราโซนิคส์ที่ความถี่ 28.9 kHz ล้างซอองุ่นตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า L* เพิ่มขึ้นหรือความเข้มสีลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit (ตัวอย่างที่มีสีเข้มน้อยคือตัวอย่างที่มีสารเคมีตกค้างน้อย) โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0, 5, 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า L* ในระดับที่มากกว่าหลดดตัดสิน (สีเข้มน้อยกว่าหลดดตัดสิน) แต่น้อยกว่าหลดดควบคุม (สีเข้มมากกว่าหลดดควบคุม) และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า L* ดีที่สุด (มากที่สุด 41.90) คือ 15 นาที

ตารางที่ 4.2 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อค่า a*

ความถี่ 28.9 kHz		
เวลา	ค่า a*	การวัดผล
0	13.86	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
หลดดตัดสิน (Critical)	11.50	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
5	9.93	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
10	8.34	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
15	7.25	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลดดควบคุม (Control)	1.33	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 28.9 kHz ล้างช่อกุ้งตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า a^* ลดลงหรือเป็นสีเขียวมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ไม่ถูกล้าง (เวลา 0 นาที) อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” เนื่องจากมีค่า a^* ในระดับที่มากกว่าหลอดตัดสิน ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า a^* ในระดับที่น้อยกว่าหลอดตัดสิน แต่มากกว่าหลอดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า a^* ดีที่สุด (น้อยที่สุด 7.25) คือ 15 นาที

สำหรับค่า a^* นี้มีจุดสังเกตคือ เมื่อนำตัวอย่างไปล้างด้วยอัลตราโซนิกส์เป็นเวลานานขึ้นกลับทำให้ค่า a^* ลดลง ขัดกับผลการทดลองที่ 4.1 (วิเคราะห์ไว้ว่าเมื่อปริมาณสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตลดค่า a^* จะเพิ่มขึ้น) อาจเป็นเพราะว่าในช่อกุ้งตัวอย่างมีสารเคมีกลุ่มอื่นปนเปื้อนมาด้วย และสารเคมีชนิดนั้นมีอิทธิพลต่อค่า a^* มากกว่าสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมต จึงทำให้ค่า a^* ลดลงเมื่อเวลาในการล้างมากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อค่า b^*

ความถี่ 28.9 kHz		
เวลา	ค่า b^*	การวัดผล
หลอดตัดสิน (Critical)	9.19	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	22.30	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลอดควบคุม (Control)	24.45	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
5	25.81	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	29.30	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	29.41	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อใช้อัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 28.9 kHz ล้างช่อกุ้งตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นหรือเป็นสีเหลืองมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ไม่ถูกล้าง (เวลา 0 นาที) อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า b^* มากกว่าหลอดตัดสินแต่น้อยกว่าหลอดควบคุม ส่วนตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า b^* ในระดับที่มากกว่าหลอดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า b^* ดีที่สุด (มากที่สุด 29.41) คือ 15 นาที

เนื่องจากการวัดผลที่ได้กล่าวมาเป็นการวัดผลแบบแยกวิเคราะห์ ซึ่งค่า L^* , a^* และ b^* ให้การวัดผลที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการวัดผลรวมเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำที่สุด โดยนำการวัดผล

จากค่า L^* , a^* และ b^* มาเป็นเกณฑ์ในการวัดผลร่วมกัน และมีเกณฑ์การวัดผลที่อิงจากการวัดผลโดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ดังนี้

- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย เมื่อค่า L^* หรือ a^* หรือ b^* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”

- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย เมื่อค่า L^* หรือ a^* หรือ b^* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” และต้องไม่มีค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”

- ไม่มีสารเคมีตกค้าง เมื่อค่า L^* และ a^* และ b^* ทั้งสามค่าอ่านผลได้ได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง”

อาศัยเกณฑ์การวัดผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้วัดผลได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องงุ่นตัวอย่าง

เวลา (นาท)	การวัดผล			สรุปการวัดผล
	L^*	a^*	b^*	
0	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
5	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
10	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
15	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 28.9 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องงุ่นตัวอย่าง ทำให้ทราบว่าตัวอย่างที่ไม่ถูกล้าง (เวลา 0 นาที) อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย”

4.2.2 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอ่งุ่นตัวอย่าง
 จากการศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอ่งุ่นตัวอย่าง ที่เวลาการล้าง 0, 5, 10 และ 15 นาที และนำไปตรวจสอบปริมาณสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image processing ซึ่งผลที่ได้อยู่ในรูปของค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$ ดังตารางที่ 4.5-4.7 และมีการวัดผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อค่า L^*

ความถี่ 40.3 kHz		
เวลา (นาที)	ค่า L^*	การวัดผล
หลุดตัดสิน (Critical)	22.78	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	25.91	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
5	33.40	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลุดควบคุม (Control)	39.05	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	39.83	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	39.84	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 40.3 kHz ล้างซอ่งุ่นตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้นหรือความเข้มสีลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit (ตัวอย่างที่มีสีเข้มน้อยคือตัวอย่างที่มีสารเคมีตกค้างน้อย) โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0 และ 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า L^* ในระดับที่มากกว่าหลุดตัดสิน (สีเข้มน้อยกว่าหลุดตัดสิน) แต่น้อยกว่าหลุดควบคุม (สีเข้มมากกว่าหลุดควบคุม) ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า L^* ในระดับที่มากกว่าหลุดควบคุม (สีเข้มน้อยกว่าหลุดควบคุม) และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า L^* ดีที่สุด (มากที่สุด 39.84) คือ 15 นาที

ตารางที่ 4.6 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อค่า a*

ความถี่ 40.3 kHz		
เวลา	ค่า a*	การวัดผล
0	15.04	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
5	12.15	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
หลดดัดสิน (Critical)	12.07	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
10	11.87	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
15	11.81	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลดควบคุม (Control)	11.37	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัลตราโซนิคส์ที่ความถี่ 40.3 kHz ล้างซอองุ่นตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า a* ลดลงหรือเป็นสีเขียวมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0 และ 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” เนื่องจากมีค่า a* ในระดับที่มากกว่าหลดดัดสิน ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า a* ในระดับที่น้อยกว่าหลดดัดสิน แต่มากกว่าหลดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า a* ดีที่สุด (น้อยที่สุด 11.81) คือ 15 นาที

ตารางที่ 4.7 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อค่า b*

ความถี่ 40.3 kHz		
เวลา	ค่า b*	การวัดผล
หลดดัดสิน (Critical)	15.63	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	18.88	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
5	23.38	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลดควบคุม (Control)	26.58	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	31.32	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	31.70	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัลตราโซนิคส์ที่ความถี่ 40.3 kHz ล้างซอองุ่นตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า b* เพิ่มขึ้นหรือเป็นสีเหลืองมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ถูกล้าง

เป็นเวลา 0 และ 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า b^* มากกว่าหลอดตัดสินแต่น้อยกว่าหลอดควบคุม ส่วนตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า b^* ในระดับที่มากกว่าหลอดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า b^* ดีที่สุด (มากที่สุด 31.70) คือ 15 นาที

เนื่องจากการวัดผลที่ได้กล่าวมาเป็นการวัดผลแบบแยกวิเคราะห์ ซึ่งค่า L^* , a^* และ b^* ให้การวัดผลที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการวัดผลรวมเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำที่สุด โดยนำการวัดผลจากค่า L^* , a^* และ b^* มาเป็นเกณฑ์ในการวัดผลร่วมกัน และมีเกณฑ์การวัดผลที่อิงจากการวัดผลโดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ดังนี้

- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย เมื่อค่า L^* หรือ a^* หรือ b^* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”

- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย เมื่อค่า L^* หรือ a^* หรือ b^* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” และต้องไม่มีค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”

- ไม่มีสารเคมีตกค้าง เมื่อค่า L^* และ a^* และ b^* ทั้งสามค่าอ่านผลได้ได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง”

อาศัยเกณฑ์การวัดผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้วัดผลได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอ่งุ่นตัวอย่าง

เวลา (นาที)	การวัดผล			สรุปการวัดผล
	L^*	a^*	b^*	
0	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
5	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
10	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
15	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 40.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง ทำให้ทราบว่าตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0 และ 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย”

4.2.3 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง

จากการศึกษาผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง ที่เวลาการล้าง 0, 5, 10 และ 15 นาที และนำไปตรวจสอบปริมาณสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image processing ซึ่งผลที่ได้อยู่ในรูปของค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$ ดังตารางที่ 4.9-4.11 และมีการวัดผลดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.9 ผลของอัลตราโซนิคส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อค่า L^*

ความถี่ 120.3 kHz		
เวลา (นาที)	ค่า L^*	การวัดผล
หลุดตัดสิน (Critical)	29.67	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	30.85	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
5	37.08	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลุดควบคุม (Control)	42.08	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	45.52	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	47.24	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัลตราโซนิคส์ที่ความถี่ 120.3 kHz ล้างซอองุ่นตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้นหรือความเข้มสีลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit (ตัวอย่างที่มีสีเข้มน้อยคือตัวอย่างที่มีสารเคมีตกค้างน้อย) โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0 และ 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า L^* ในระดับที่มากกว่าหลุดตัดสิน (สีเข้มน้อยกว่าหลุดตัดสิน) แต่น้อยกว่าหลุดควบคุม (สีเข้มมากกว่าหลุดควบคุม) ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า L^* ในระดับที่มากกว่าหลุดควบคุม (สีเข้มน้อยกว่าหลุดควบคุม) และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า L^* ดีที่สุด (มากที่สุด 47.24) คือ 15 นาที

ตารางที่ 4.10 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อค่า a*

ความถี่ 120.3 kHz		
เวลา	ค่า a*	การวัดผล
0	17.20	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
หลดดัดสิน (Critical)	14.13	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
5	13.16	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลดควบคุม (Control)	8.74	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	7.91	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	5.04	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 120.3 kHz ล้างช่อง
 อุ่นตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า a* ลดลงหรือเป็นสีเขียวมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ไม่ถูกล้าง
 (เวลา 0 นาที) อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” เนื่องจากมีค่า a* มากกว่า
 หลดดัดสิน ส่วนตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่
 ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า a* ในระดับที่น้อยกว่าหลดดัดสินแต่มากกว่าหลดควบคุม ตัวอย่างที่ถูกล้าง
 เป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า a* ในระดับที่
 น้อยกว่าหลดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า a* ต่ำที่สุด (น้อยที่สุด 5.04) คือ 15 นาที

ตารางที่ 4.11 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อค่า b*

ความถี่ 120.3 kHz		
เวลา	ค่า b*	การวัดผล
หลดดัดสิน (Critical)	18.77	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	24.85	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
5	28.52	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลดควบคุม (Control)	32.34	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	34.97	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	35.81	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้อัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 120.3 kHz ล้างช่องุ่นตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า b^* เพิ่มขึ้นหรือเป็นสีเหลืองมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0 และ 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า b^* มากกว่าหลอดตัดสินแต่น้อยกว่าหลอดควบคุม ส่วนตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า b^* ในระดับที่มากกว่าหลอดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า b^* ดีที่สุด (มากที่สุด 35.81) คือ 15 นาที

เนื่องจากการวัดผลที่ได้กล่าวมาเป็นการวัดผลแบบแยกวิเคราะห์ ซึ่งค่า L^* , a^* และ b^* ให้การวัดผลที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการวัดผลรวมเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำที่สุด โดยนำการวัดผลจากค่า L^* , a^* และ b^* มาเป็นเกณฑ์ในการวัดผลร่วมกัน และมีเกณฑ์การวัดผลที่อิงจากการวัดผลโดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ดังนี้

- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย เมื่อค่า L^* หรือ a^* หรือ b^* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”
- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย เมื่อค่า L^* หรือ a^* หรือ b^* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” และต้องไม่มีค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”
- ไม่มีสารเคมีตกค้าง เมื่อค่า L^* และ a^* และ b^* ทั้งสามค่าอ่านผลได้ได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง”

อาศัยเกณฑ์การวัดผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้วัดผลได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องุ่นตัวอย่าง

เวลา (นาที)	การวัดผล			สรุปการวัดผล
	L^*	a^*	b^*	
0	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
5	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
10	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.12 แสดงผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง ทำให้ทราบว่าตัวอย่างที่ไม่ถูกล้าง (เวลา 0 นาที) อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” และตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง”

สังเกตได้ว่าการล้างซอองุ่นตัวอย่างด้วยอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz เป็นเวลา 10 และ 15 นาที ได้ผลดีที่สุดคือ “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” ในขณะที่การล้างซอองุ่นตัวอย่างด้วยอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz และ 40.3 kHz ที่เวลา 15 นาที ให้ผลดีที่สุดเพียง “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” จึงทำให้ทราบว่า การใช้อัลตราโซนิกส์ด้วยความถี่และเวลาการล้างที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ได้ผลที่ดีขึ้น โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้ความถี่ 120.3 kHz และเวลาในการล้าง 10 นาที (เวลาน้อยที่สุดที่ทำให้ตรวจไม่พบสารเคมีตกค้างในตัวอย่าง) ในการทดสอบสมรรถนะเครื่องต้นแบบ เนื่องจากเป็นความถี่ และเวลาที่ดีที่สุด

4.3 ผลของไอโซนต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง

4.3.1 ผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง

จากการศึกษาผลของ ไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง ที่เวลาการล้าง 0, 5, 10 และ 15 นาที และนำไปตรวจสอบปริมาณสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image Processing ซึ่งผลที่ได้ อยู่ในรูปของค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$ ดังตารางที่ 4.13-4.15 และมีการวัดผลดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.13 ผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อค่า L^*

ความเข้มข้น 4 ppm		
เวลา (นาที)	ค่า L^*	การวัดผล
หลุดตัดสิน (Critical)	25.04	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	29.41	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
5	29.91	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
10	34.67	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลุดควบคุม (Control)	37.37	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	37.80	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อใช้ไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ล้างช่อดงุ่น ตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้นหรือความเข้มสีลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit (ตัวอย่างที่มีสีเข้มน้อยคือตัวอย่างที่มีสารเคมีตกค้างน้อย) โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0, 5 และ 10 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า L^* ในระดับที่มากกว่าหลอดตัดสี (สีเข้มน้อยกว่าหลอดตัดสี) แต่น้อยกว่าหลอดควบคุม (สีเข้มน้อยกว่าหลอดควบคุม) ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า L^* มากกว่าหลอดควบคุม (สีเข้มน้อยกว่าหลอดควบคุม) และทำให้ค่า L^* ดีที่สุด (มากที่สุด 37.80)

ตารางที่ 4.14 ผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อค่า a^*

ความเข้มข้น 4 ppm		
เวลา	ค่า a^*	การวัดผล
0	13.81	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
5	14.16	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
หลอดตัดสี (Critical)	13.42	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
10	12.33	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
15	10.51	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลอดควบคุม (Control)	8.61	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ล้างช่อดงุ่น ตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า a^* ลดลงหรือเป็นสีเข้มน้อยขึ้น โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0 และ 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” เนื่องจากมีค่า a^* ในระดับที่มากกว่าหลอดตัดสี ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า a^* ในระดับที่น้อยกว่าหลอดตัดสี แต่มากกว่าหลอดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า a^* ดีที่สุด (น้อยที่สุด 10.51) คือ 15 นาที

สำหรับค่า a^* นี้มีจุดสังเกตคือ เมื่อนำตัวอย่างไปล้างไอโซนเป็นเวลานานขึ้นกลับทำให้ค่า a^* ลดลง ขัดกับผลการทดลองที่ 4.1 (วิเคราะห์ไว้ว่าเมื่อปริมาณสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมต ลดลงค่า a^* จะเพิ่มขึ้น) อาจเป็นเพราะว่าในช่อดงุ่นตัวอย่างมีสารเคมีกลุ่มอื่นปนเปื้อนมาด้วย และสารเคมีชนิดนั้นมีอิทธิพลต่อค่า a^* มากกว่าสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมต จึงทำให้ค่า a^* ลดลงเมื่อเวลาในการล้างมากขึ้น

ตารางที่ 4.15 ผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อค่า b*

ความเข้มข้น 4 ppm		
เวลา	ค่า b*	การวัดผล
หอดตัดสิน (Critical)	16.02	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	19.41	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
5	20.10	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หอดควบคุม (Control)	23.21	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	24.34	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	26.35	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.15 จะเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อใช้ไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ล้างช่องุ่นตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า b* เพิ่มขึ้นหรือเป็นสีเหลืองมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0 และ 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า b* มากกว่าหอดตัดสินแต่น้อยกว่าหอดควบคุม ส่วนตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า b* ในระดับที่มากกว่าหอดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า b* ดีที่สุด (มากที่สุด 26.35) คือ 15 นาที

เนื่องจากการวัดผลที่ได้กล่าวมาเป็นการวัดผลแบบแยกวิเคราะห์ ซึ่งค่า L*, a* และ b* ให้การวัดผลที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการวัดผลรวมเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำที่สุด โดยนำการวัดผลจากค่า L*, a* และ b* มาเป็นเกณฑ์ในการวัดผลรวมกัน และมีเกณฑ์การวัดผลที่อิงจากการวัดผลโดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ดังนี้

- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย เมื่อค่า L* หรือ a* หรือ b* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”
- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย เมื่อค่า L* หรือ a* หรือ b* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” และต้องไม่มีค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”
- ไม่มีสารเคมีตกค้าง เมื่อค่า L* และ a* และ b* ทั้งสามค่าอ่านผลได้ได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง”

อาศัยเกณฑ์การวัดผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้วัดผลได้ ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง

เวลา (นาท)	การวัดผล			
	L*	a*	b*	สรุปการวัดผล
0	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่เป็นอันตราย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่เป็นอันตราย
5	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่เป็นอันตราย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่เป็นอันตราย
10	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย
15	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย

จากตารางที่ 4.16 แสดงผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง ทำให้ทราบว่าตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0 และ 5 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย”

4.3.2 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง

จากการศึกษาผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในซอองุ่นตัวอย่าง ที่เวลาการล้าง 0, 5, 10 และ 15 นาที และนำไปตรวจสอบปริมาณสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image Processing ซึ่งผลที่ได้ อยู่ในรูปของค่าปริภูมิสี L* a* b* ดังตารางที่ 4.17-4.19 และมีการวัดผลดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.17 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อค่า L*

ความเข้มข้น 6 ppm		
เวลา (นาท)	ค่า L*	การวัดผล
หลุดตัดสิน (Critical)	28.78	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	35.07	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
5	39.32	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
10	40.15	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
15	40.90	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลุดควบคุม (Control)	43.09	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ล้างช่องงุ่น ตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้นหรือความเข้มสีลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit (ตัวอย่างที่มีสีเข้มน้อยคือตัวอย่างที่มีสารเคมีตกค้างน้อย) โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0, 5, 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า L^* ในระดับที่มากกว่าหลอดตัดสี (สีเข้มน้อยกว่าหลอดตัดสี) แต่น้อยกว่าหลอดควบคุม (สีเข้มนมากกว่าหลอดควบคุม) และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า L^* ดีที่สุด (มากที่สุด 40.90) คือ 15 นาที

ตารางที่ 4.18 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อค่า a^*

ความเข้มข้น 6 ppm		
เวลา	ค่า a^*	การวัดผล
0	14.11	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
หลอดตัดสี (Critical)	13.50	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
5	10.82	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
10	9.10	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
15	8.82	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลอดควบคุม (Control)	3.97	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ล้างช่องงุ่น ตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า a^* ลดลงหรือเป็นสีเขียวมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” เนื่องจากมีค่า a^* ในระดับที่มากกว่าหลอดตัดสี ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า a^* ในระดับที่น้อยกว่าหลอดตัดสี แต่มากกว่าหลอดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า a^* ดีที่สุด (น้อยที่สุด 8.82) คือ 15 นาที

ตารางที่ 4.19 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อค่า b*

ความเข้มข้น 6 ppm		
เวลา	ค่า b*	การวัดผล
หอดตัดสิน (Critical)	17.79	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	22.17	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
5	27.14	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
10	26.74	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หอดควบคุม (Control)	27.17	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	27.47	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ล้างช่องงุ่นตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า b* เพิ่มขึ้นหรือเป็นสีเหลืองมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 0, 5 และ 10 นาที อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า b* มากกว่าหอดตัดสินแต่น้อยกว่าหอดควบคุม ส่วนตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า b* ในระดับที่มากกว่าหอดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า b* ดีที่สุด (มากที่สุด 27.47) คือ 15 นาที

เนื่องจากการวัดผลที่ได้กล่าวมาเป็นการวัดผลแบบแยกวิเคราะห์ ซึ่งค่า L*, a* และ b* ให้การวัดผลที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการวัดผลรวมเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำที่สุด โดยนำการวัดผลจากค่า L*, a* และ b* มาเป็นเกณฑ์ในการวัดผลรวมกัน และมีเกณฑ์การวัดผลที่อิงจากการวัดผลโดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ดังนี้

- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย เมื่อค่า L* หรือ a* หรือ b* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”
- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย เมื่อค่า L* หรือ a* หรือ b* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” และต้องไม่มีค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”
- ไม่มีสารเคมีตกค้าง เมื่อค่า L* และ a* และ b* ทั้งสามค่าอ่านผลได้ได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง”

อาศัยเกณฑ์การวัดผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้วัดผลได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องุ่นตัวอย่าง

เวลา (นาท)	การวัดผล			
	L*	a*	b*	สรุปการวัดผล
0	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่เป็นอันตราย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่เป็นอันตราย
5	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย
10	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย
15	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย

จากตารางที่ 4.20 แสดงผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องุ่นตัวอย่าง ทำให้ทราบว่าตัวอย่างที่ไม่ถูกล้าง (เวลา 0 นาท) อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” และตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาท อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย”

4.3.3 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องุ่นตัวอย่าง

จากการศึกษาผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องุ่นตัวอย่าง ที่เวลาการล้าง 0, 5, 10 และ 15 นาท และนำไปตรวจสอบปริมาณสารเคมีตกค้างด้วยชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image processing ซึ่งผลที่ได้ อยู่ในรูปของค่าปริภูมิสี L* a* b* ดังตารางที่ 4.21-4.23 และมีการวัดผลดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.21 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อค่า L*

ความเข้มข้น 8 ppm		
เวลา (นาท)	ค่า L*	การวัดผล
หลุดตัดสิน (Critical)	25.49	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	31.99	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หลุดควบคุม (Control)	37.48	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
5	38.95	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	40.41	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	46.62	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ล้างช่อองุ่น ตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า L^* เพิ่มขึ้นหรือความเข้มสีลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit (ตัวอย่างที่มีสีเข้มน้อยคือตัวอย่างที่มีสารเคมีตกค้างน้อย) โดยตัวอย่างที่ถูกไม่ถูกล้าง (เวลา 0 นาที) อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า L^* ในระดับที่มากกว่าหลอดตัดสี (สีเข้มน้อยกว่าหลอดตัดสี) แต่น้อยกว่าหลอดควบคุม (สีเข้มมากกว่าหลอดควบคุม) ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า L^* ในระดับที่มากกว่าหลอดควบคุม (สีเข้มน้อยกว่าหลอดควบคุม) และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า L^* ดีที่สุด (มากที่สุด 46.62) คือ 15 นาที

ตารางที่ 4.22 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อค่า a^*

ความเข้มข้น 8 ppm		
เวลา	ค่า a^*	การวัดผล
0	14.06	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
หลอดตัดสี (Critical)	13.83	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
หลอดควบคุม (Control)	9.56	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
5	9.52	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	9.29	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	3.61	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ล้างช่อองุ่น ตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า a^* ลดลงหรือเป็นสีเขียวมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ไม่ถูกล้าง (เวลา 0 นาที) อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่อันตราย” เนื่องจากมีค่า a^* มากกว่าหลอดตัดสี ส่วนตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า a^* ในระดับที่น้อยกว่าหลอดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า a^* ดีที่สุด (น้อยที่สุด 3.61) คือ 15 นาที

ตารางที่ 4.23 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อค่า b*

ความเข้มข้น 8 ppm		
เวลา	ค่า b*	การวัดผล
หอดตัดตีสิน (Critical)	15.61	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย
0	19.24	มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย
หอดควบคุม (Control)	22.49	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
5	23.65	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	25.91	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	27.73	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ล้างช่องงุ่นตัวอย่างที่เวลานานขึ้นจะทำให้ค่า b* เพิ่มขึ้นหรือเป็นสีเหลืองมากขึ้น โดยตัวอย่างที่ไม่ถูกล้าง (เวลา 0 นาที) อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” เนื่องจากมีค่า b* มากกว่าหอดตัดตีสินแต่น้อยกว่าหอดควบคุม ส่วนตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เนื่องจากมีค่า b* ในระดับที่มากกว่าหอดควบคุม และระยะเวลาการล้างที่ทำให้ค่า b* ดีที่สุด (มากที่สุด 27.73) คือ 15 นาที

เนื่องจากการวัดผลที่ได้กล่าวมาเป็นการวัดผลแบบแยกวิเคราะห์ ซึ่งค่า L*, a* และ b* ให้การวัดผลที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการวัดผลรวมเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำที่สุด โดยนำการวัดผลจากค่า L*, a* และ b* มาเป็นเกณฑ์ในการวัดผลรวมกัน และมีเกณฑ์การวัดผลที่อิงจากการวัดผลโดยใช้ชุดตรวจสอบสารพิษตกค้าง GT-Pesticide test kit ดังนี้

- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย เมื่อค่า L* หรือ a* หรือ b* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”
- มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย เมื่อค่า L* หรือ a* หรือ b* ค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” และต้องไม่มีค่าใดค่าหนึ่งอ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย”
- ไม่มีสารเคมีตกค้าง เมื่อค่า L* และ a* และ b* ทั้งสามค่าอ่านผลได้ได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง”

อาศัยเกณฑ์การวัดผลที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้วัดผลได้ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องงุ่นตัวอย่าง

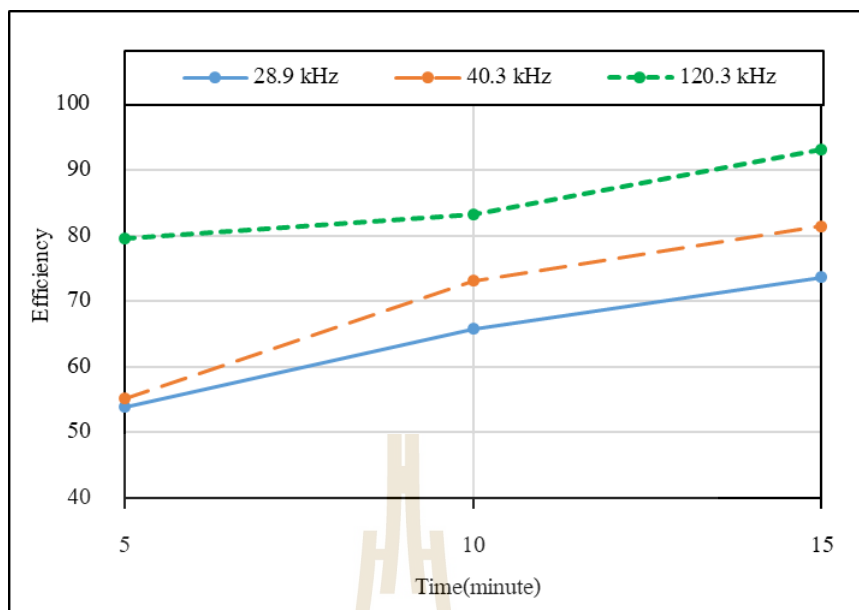
เวลา (นาท)	การวัดผล			
	L*	a*	b*	สรุปการวัดผล
0	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่เป็นอันตราย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่ปลอดภัย	มีสารเคมีตกค้างใน ระดับที่เป็นอันตราย
5	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
10	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง
15	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง	ไม่มีสารเคมีตกค้าง

จากตารางที่ 4.24 แสดงผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่องงุ่นตัวอย่าง ทำให้ทราบว่าตัวอย่างที่ไม่ถูกล้าง (เวลา 0 นาที) อ่านผลได้ว่า “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่เป็นอันตราย” ในส่วนของตัวอย่างที่ถูกล้างเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที อ่านผลได้ว่า “ไม่มีสารเคมีตกค้าง”

สังเกตได้ว่าการล้างช่องงุ่นตัวอย่างด้วยไอโซนความเข้มข้น 8 ppm เป็นเวลา 5, 10 และ 15 ได้ผลดีที่สุดคือ “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” ในขณะที่การล้างช่องงุ่นตัวอย่างด้วยไอโซนความเข้มข้น 4 ppm และ 6 ppm ที่เวลา 15 นาที ให้ผลดีที่สุดเพียง “มีสารเคมีตกค้างในระดับที่ปลอดภัย” จึงทำให้ทราบได้ว่าการใช้ไอโซนด้วยความเข้มข้นและเวลาการล้างที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ได้ผลที่ดีขึ้น โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้ความเข้มข้น 8 ppm และเวลาในการล้าง 10 นาที ในการทดสอบสมรรถนะเครื่องต้นแบบไม่สามารถเลือกเวลา 5 นาทีได้ เนื่องจากการทดสอบเครื่องต้นแบบต้องใช้เวลาในการล้างด้วยอัลตราโซนิกส์และไอโซนเป็นเวลาเท่ากัน จึงต้องเลือกเวลาในการล้าง 10 นาทีเท่ากัน (จากผลการทดลองที่ 4.2.3 แสดงให้เห็นว่าเวลา 10 นาทีเป็นเวลาน้อยที่สุดที่ทำให้อัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz สามารถลดสารเคมีตกค้างในตัวอย่างได้ทั้งหมด)

4.4 ผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่องงุ่น

จากการศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่องงุ่น โดยนำช่องงุ่นตัวอย่างมาข้อมด้วยสีผงจากนั้นนำไปล้างด้วยอัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 28.9, 40.3, และ 120.3 kHz ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลตราโซนิกส์ในการลดคราบสกปรกด้วยโปรแกรม ImageJ ได้ผลดังรูปที่ 4.4

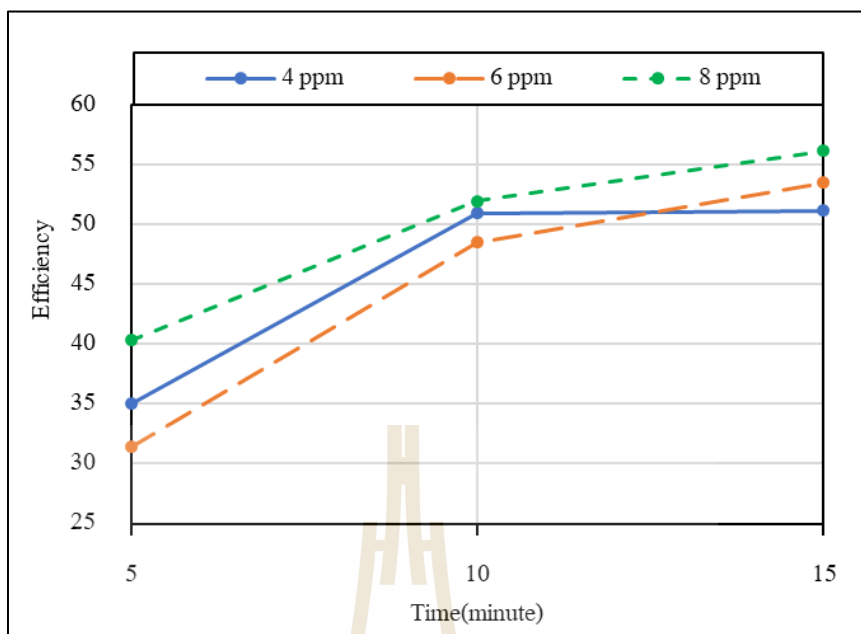


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกของอัลตราโซนิกส์ ความถี่ 28.9, 40.3 และ 120.3 kHz

จากรูปที่ 4.4 เมื่อด้างช่องุ่นตัวอย่างด้วยอัลตราโซนิกส์เป็นเวลานานขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกบนผิวขององุ่นตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และการใช้อัลตราโซนิกส์ด้วยความถี่ที่มากขึ้นจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเช่นกัน ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าความถี่ที่มีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกน้อยที่สุด คือความถี่ 28.9 kHz มีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก 73.66% ที่เวลา 15 นาที ถัดไปเป็นความถี่ 40.3 kHz มีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก 81.47% ที่เวลา 15 นาที และความถี่ที่ดีที่สุดคือความถี่ 120.3 kHz ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกมากถึง 93.16% ที่เวลา 15 นาที

4.5 ผลของโอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่องุ่น

จากการศึกษาผลของโอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวขององุ่น โดยนำช่องุ่นตัวอย่างมาข้อมด้วยสีผงจากนั้นนำไปล้างด้วยโอโซนความเข้มข้น 4, 6, และ 8 ppm ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโอโซนในการลดคราบสกปรกด้วยโปรแกรม ImageJ ได้ผลดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกของโอโซน ความเข้มข้น 4, 6 และ 8 ppm

จากรูปที่ 4.5 เมื่อล้างช่องุ่นตัวอย่างด้วยโอโซนเป็นเวลานานขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกบนผิวขององุ่นตัวอย่างเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก และการใช้โอโซนความเข้มข้นมากขึ้นจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนักเช่นกัน ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกน้อยที่สุด คือความเข้มข้น 4 ppm มีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก 51.19% ที่เวลา 15 นาที ถัดไปเป็นความเข้มข้น 6 ppm มีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก 53.50% ที่เวลา 15 นาที และความเข้มข้นที่ดีที่สุดคือความเข้มข้น 8 ppm มีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกเพียง 56.16% ที่เวลา 15 นาที เมื่อนำมาพิจารณาจะพบว่าประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกแทบไม่ต่างกันเลยเมื่อความเข้มข้น โอโซน เพิ่มขึ้น

4.6 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิคส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ

จากการทดสอบสมรรถนะโดยรวมของเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิคส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ ได้ผลว่าเครื่องต้นแบบมีอัตราการล้าง 83.85 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักองุ่นเท่ากับ 0.0156 kW.h/kg ความสิ้นเปลืองน้ำในการล้างเท่ากับ

0.8945 Liter/kg อัตราการสูญเสียของงุ่นหลังการล้างเท่ากับ 0.93% โดยเครื่องต้นแบบสามารถกำจัดความชื้นบนผิวของช่องุ่นตัวอย่างจนแห้งสนิทเป็นจำนวน 3.91 กิโลกรัม และแห้งบางส่วน 10.89 กิโลกรัม ซึ่งตัวอย่างที่แห้งสนิทคือตัวอย่างที่อยู่ด้านบนจึงแลกเปลี่ยนความชื้นกับอากาศที่ถูกส่งมาจากพัดลมซึ่งติดตั้งไว้ด้านบนได้เป็นอย่างดี ส่วนตัวอย่างที่แห้งบางส่วนคือตัวอย่างที่อยู่ด้านล่างทำให้แลกเปลี่ยนความชื้นกับอากาศที่ถูกส่งมาได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงควรพัฒนาระบบกำจัดความชื้นส่วนเกินให้มีอากาศถูกส่งมาจากทุกทิศทาง ในส่วนของการลดสารเคมีตกค้าง เครื่องต้นแบบสามารถลดสารเคมีตกค้างในงุ่นตัวอย่างได้ในระดับที่ “ไม่มีสารเคมีตกค้าง” เมื่อตรวจสอบสารเคมีตกค้างในงุ่นตัวอย่างด้วยชุดตรวจสอบสารมีตกค้าง GT-Pesticide test kit

4.7 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยอ้างอิงอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคารออมสิน (ธนาคารออมสิน, 2560) ซึ่งเครื่องต้นแบบมีราคาเท่ากับ 173,798 บาท มีอัตราการล้างเท่ากับ 134,160 กิโลกรัมต่อปี มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเท่ากับ 94,974 บาทต่อปี และมีระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ตามราคาขายงุ่นปลอดสารพิษ ดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของเครื่องต้นแบบเมื่อขายงุ่นปลอดสารพิษที่ราคาต่าง ๆ

ราคาขาย (บาท/กิโลกรัม)	กำไร (บาท/กิโลกรัม)	ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)	IRR (%)
270	10	2	717
265	5	4	331
263	3	7	177

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของสารเคมีตกค้างต่อค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$ การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อบองุ่นตัวอย่าง การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อบองุ่นตัวอย่าง การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อบองุ่น การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อบองุ่น การทดสอบสมรรถนะของเครื่องล้างช่อบองุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ และการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาผลของสารเคมีตกค้างต่อค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$

ผลของสารเคมีตกค้างความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 ppm ต่อค่าปริภูมิสี $L^* a^* b^*$ เมื่อตรวจสอบสารพิษตกค้างโดยใช้ชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit ร่วมกับกระบวนการ Image processing คือ เมื่อปริมาณสารเคมีตกค้างเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่า L^* , a^* , และ b^* ลดลง หรือสีเข้มขึ้น เป็นสีเขียวมากขึ้น และเป็นสีน้ำตาลมากขึ้น ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าหลักการของชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit ที่กล่าวว่า (กอบทอง ฐูปหอม, 2553) เมื่อตัวอย่างที่นำมาตรวจสอบมีสารเคมีตกค้างในปริมาณมากจะยิ่งทำให้สีของตัวอย่างเข้มขึ้นถูกต้อง

5.1.2 การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อบองุ่นตัวอย่าง

จากการศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9, 40.3 และ 120.3 kHz ที่เวลา 0, 5, 10 และ 15 นาทีต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อบองุ่นตัวอย่าง สรุปได้ว่าเมื่อล้างช่อบองุ่นตัวอย่างด้วยอัลตราโซนิกส์ที่ความถี่และเวลามากขึ้นจะช่วยลดสารเคมีตกค้างได้ดีขึ้น โดยความถี่และเวลาที่ดีที่สุดคือ 120.3 kHz เวลา 10 นาที ซึ่งสามารถลดสารเคมีตกค้างในตัวอย่างจนอยู่ในระดับ “ไม่มีสารเคมีตกค้าง”

5.1.3 การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อบองุ่นตัวอย่าง

จากการศึกษาผลของโอโซนความเข้มข้น 4, 6 และ 8 ppm ที่เวลา 0, 5, 10 และ 15 นาทีต่อการลดสารเคมีตกค้างในช่อบองุ่นตัวอย่าง สรุปได้ว่าเมื่อล้างช่อบองุ่นตัวอย่างด้วยโอโซนที่ความเข้มข้นและเวลามากขึ้นจะช่วยลดสารเคมีตกค้างได้ดีขึ้น โดยความเข้มข้นและเวลาที่ดีที่สุดคือ 8 ppm เวลา 5 นาที ซึ่งสามารถลดสารเคมีตกค้างในตัวอย่างจนอยู่ในระดับ “ไม่มีสารเคมีตกค้าง”

5.1.4 การศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่น

หลังการศึกษาผลของอัลตราโซนิกส์ต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่น โดยนำช่อองุ่นตัวอย่างมาข้อมด้วยสีผงจากนั้นนำไปล้างด้วยอัลตราโซนิกส์ที่ความถี่ 28.9, 40.3 และ 120.3 kHz ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที สรุปได้ว่าเมื่อใช้อัลตราโซนิกส์ด้วยความถี่และเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยที่ความถี่ 120.3 kHz และเวลาในการล้าง 15 นาที สามารถลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่นตัวอย่างได้ถึง 93.16%

5.1.5 การศึกษาผลของโอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่น

หลังการศึกษาผลของโอโซนต่อการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่น โดยนำช่อองุ่นตัวอย่างมาข้อมด้วยสีผงจากนั้นนำไปล้างด้วยโอโซนความเข้มข้น 4, 6, และ 8 ppm ที่เวลา 5, 10 และ 15 นาที สรุปได้ว่าเมื่อใช้โอโซนด้วยความเข้มข้นและเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกเพิ่มขึ้น แต่ไม่มากนัก โดยที่ความเข้มข้น 8 ppm และเวลาในการล้าง 15 นาที สามารถลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่นตัวอย่างได้เพียง 56.61% เท่านั้น หากต้องการลดคราบสกปรกบนผิวของช่อองุ่นจึงควรเลือกใช้อัลตราโซนิกส์ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกมากกว่าโอโซนอย่างมาก

5.1.6 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ

จากผลการทดสอบสมรรถภาพของเครื่องต้นแบบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. อัตราการล้าง 83.85 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
2. ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนักองุ่นเท่ากับ 0.0156 kW·h/kg
3. ความสิ้นเปลืองน้ำในการล้างเท่ากับ 0.8945 Liter/kg
4. อัตราการสูญเสียองุ่นหลังการล้างเท่ากับ 0.93%
5. สามารถกำจัดความชื้นบนผิวของช่อองุ่นตัวอย่างจนแห้งสนิทเป็นจำนวน 3.91 กิโลกรัม จากน้ำหนัก 15 กิโลกรัม
6. สามารถกำจัดความชื้นบนผิวของช่อองุ่นตัวอย่างจนแห้งบางส่วนเป็นจำนวน 10.89 กิโลกรัม จากน้ำหนัก 15 กิโลกรัม
7. ตัวอย่างที่ผ่านการล้างด้วยเครื่องต้นแบบไม่มีสารเคมีตกค้าง

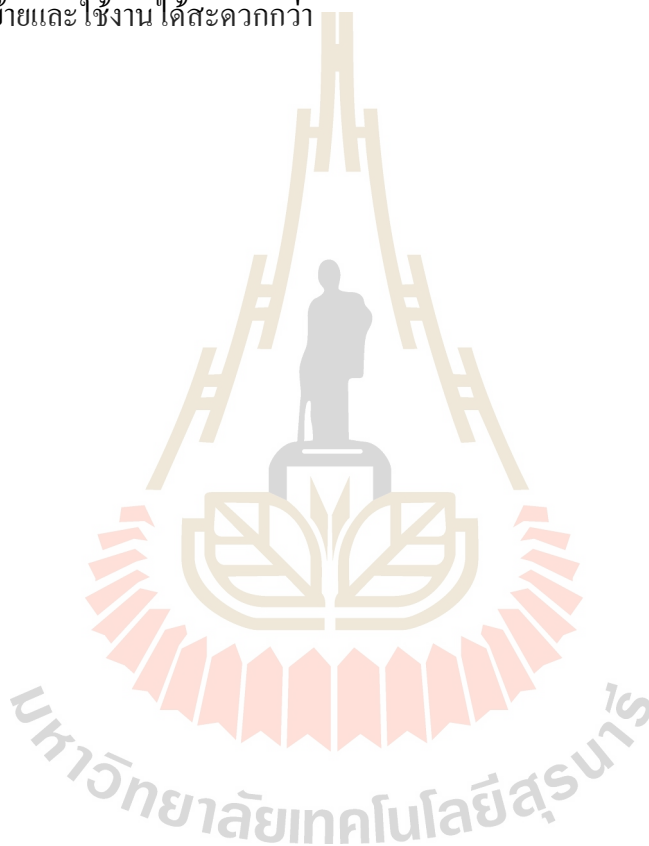
5.1.7 การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

จากผลการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สามารถสรุปได้ว่าเครื่องต้นแบบมีราคาในการสร้างเท่ากับ 173,798 บาท มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 2 เดือน และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มากที่สุด 717%

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของการทดสอบสมรรถนะของเครื่องต้นแบบพบว่า การกำจัดความชื้นส่วนเกินบนผิวของช่อองุ่นตัวอย่างทำได้ไม่ดี โดยสามารถกำจัดความชื้นจนแห้งสนิทได้เพียง 3.91 กิโลกรัม จากน้ำหนัก 15 กิโลกรัม เนื่องจากพัดลมที่ใช้สำหรับเป่าอากาศเพื่อกำจัดความชื้นส่วนเกินติดตั้งอยู่ด้านบนจึงทำให้ช่อองุ่นที่อยู่ด้านบนแห้งสนิท แต่ช่อองุ่นที่อยู่ด้านล่างแห้งเพียงบางส่วนจึงควรปรับปรุงระบบกำจัดความชื้นส่วนเกินให้มีอากาศถูกเป่ามายังทุกทิศทางของภาชนะใส่องุ่น

นอกจากนี้ยังควรพัฒนาให้เครื่องต้นแบบมีขนาดเล็กลงไม่ใหญ่โตจนเกินไป เนื่องจากจะทำให้เคลื่อนย้ายและใช้งานได้สะดวกกว่า

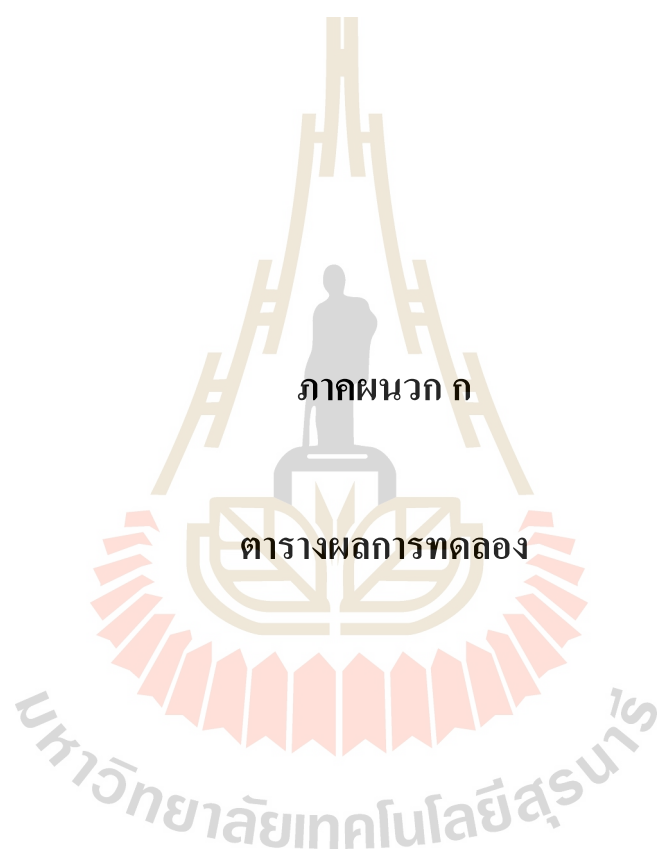


รายการอ้างอิง

- กอบทอง รูปปหอม. (2553). Handbook GT-Pesticide Test Kit. ห้าง GT การค้า. บางกรวย. นนทบุรี.
กานดา หวังชัย. (2555). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีออกซิเดชัน เพื่อลดสารพิษตกค้างยาฆ่าแมลง
ในผักและผลไม้. ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว.
- ดวงธิดา ขุมทอง, มนตรี อิศรไกรศีล, วาริน อินทนา, หมุดตอเลียบ หนิสอ และประคอง เย็นจิตต์. (2549).
ผลของการใช้โอโซนในการควบคุมโรงหลังการเก็บเกี่ยวของเงาะ ทุเรียน และมะม่วง.
หน่วยวิจัยไม้ผลเขตร้อน สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์. (2546). นิวแมติกส์อุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ธนาคารออมสิน. (2560). อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://www.gsb.or.th>.
14 กุมภาพันธ์ 2562.
- นันทกร บุญเกิด. (ม.ป.ป.). คู่มือการสร้างสวนองุ่น. พิมพ์ครั้งที่ 3. นครราชสีมา: สมบูรณ์พรินต์ติ้ง.
- นภา จิระกิตติเจริญ, พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ, ประเวทย์ ต้อยเต็มวงศ์ และพิพัฒน์ ไทรทอง (ม.ป.ป.).
การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแบคทีเรียในน้ำอุนบาลลูกกุ้งเตรียมโดยระบบโอโซนและ
ระบบคลอรีน. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. (ม.ป.ป.). grape/องุ่น. Food Network Solution
[ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/>. 11 กันยายน 2559.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. (ม.ป.ป.). Ozone/โอโซน. Food Network Solution
[ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com>. 11 กันยายน 2559.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. (ม.ป.ป.). ultrasonic/อัลตราโซนิกส์. Food Network
Solution [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com>. 12 กันยายน 2559.
- ยุวันดา นะหิม (2545). อิทธิพลของโอโซน ไข่ขาวผงและซีเอสดีต่อคุณภาพเจลของซูริมิที่ทำ
จากปลาหูแหก (*Decapterus maruadsi*) แซ่เข็อกแข็ง. บัณฑิตวิทยาลัยปริญญาโท สาขาวิชา
ผลิตภัณฑ์ประมง ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
กรุงเทพฯ.
- สุเทพ นิยมญาติ. (2553). ผลของโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มโอตัดแต่งพร้อมบริโภค
ในระหว่างการเก็บรักษา. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร
ภาคเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). สถิติการส่งออก [ออนไลน์]. ได้จาก : <http://www.oae.go.th>. 10 กันยายน 2559.
- สุพรรณพันธ์ โลหะลักษณะเดช และชุตินุช สุจริต. (2556). ผลของการใช้โอโซนต่อคุณภาพของเนื้อปูม้าหนึ่งในระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่เย็น. แก่นเกษตร 41 ฉบับพิเศษ 1 (2556): 466-471.
- สมภพ อยู่เอ. (2558). ผลของโอโซนต่อคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. การประชุมวิชาการระดับชาติสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย (สสอท.) ประจำปี 2558: 365-381.
- อัจฉรา แสนคม, น้ำทิพย์ ชันตยาภรณ์ และ วราภา มหากาญจนกุล (ม.ป.ป.). การประยุกต์ใช้สารฆ่าเชื้อกลุ่มออกซิไดส์ซึ่งเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรคในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรชุน ตั้งใจ. (2554). มาร์จิกพร็อกซิมิตีเซนเซอร์ (PROXIMITY SENSOR) กันเถอะ [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.amda.co.th>. 10 พฤศจิกายน 2562.
- Barlow, P.J. (1994). An introduction to ozone generation.
- Horvath, M., Bilitzky, L. and Huttner, J. (1985). Ozone. Budapest: Elsevier.
- Keevil, J.G., Osman, H. E., Reed, J. D. and Folts, J. D. (2000). Grape Juice, but not Orange Juice of Grapefruit Juice. Inhibits Human Platelet Aggregation. *Journal of Nutrition*. 100: 53-56.
- Mason, T. J. (1998). Power ultrasound in food processing-the way forward. *Ultrasound in Food Processing*. Blackie Academic & Professional, London: 105-126.
- Oliver, J. R., A. B. Blakeney, H. M. ALLEN. (1992). Measurement of Flour Color in Color Space Parameters. *Cereal Chem* 69(5): 546-551.
- Petrier, C., Y. Jiang, and M. Lamy. 1998. Ultrasound and environment: sonochemical destruction of chloroaromatic derivatives. *Environmental Science and Technology* 32: 1316-1318.
- Sherba, G., R. M. Weigel and J. R. O' Brien. (1991). Quantitative assessment of the germicidal efficacy of ultrasonic energy. *Appl. Environ. Microbiol.* 57: 2079-2084.
- Sikorski, Z.E. (1990). *Seafood: Resources Nutritional Composition and Preservation*. CRC Press Inc, Florida.

- Song, W., T. Teshiba, K. Rein and K. E. O'Shea. 2005. Ultrasonically induced degradation and detoxification of microcystin-LR (cyanobacterial toxin). *Environmental Science and Technology* 39(16): 6300-6305.
- Stein, J. H., Keevil, J. G., Wiebe, D. A., Aeschlimann, S. and Folts, J. D. (1999). Purple Grape Juice Improves Endothelial Function and Reduces the Susceptibility of LDL Cholesterol to Oxidation in Patients with Coronary Artery Disease. *Circulation*.100: 1050-1055.
- Suslick, K. S. (1994). The chemistry of ultrasound. *The year book of science & the future*. Encyclopedia Britannica, Chicago: 138-155
- Teerawat C., Tawarat T. and Krawee T. (2018). Comparison of the Ability to Evaluation of "Monthong" Durian Maturity Using Color Value from Spectrometer and Image Processing. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*. Volume 6, Issue 1. ISSN(p): 2320-2092, ISSN(e): 2321-2071.
- Yilmaz, Y. and Toledo, R. T. (2004). Major Flavonoids in Grape Seeds and Skins: Antioxidant Capacity of Catechin, Epicatechin, and Gallic Acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 25: 255-260.



ตารางที่ ก.1 ผลของความเข้มข้นสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตต่อค่าสี RGB

ความเข้มข้น (ppm)	R	G	B
0	99.48	50.91	32.88
0.1	84.84	42.77	27.44
0.2	89.94	46.34	28.69
0.3	84.50	41.40	25.49
0.4	86.24	42.29	28.39
0.5	75.41	35.83	27.14
0.6	64.22	29.17	22.84
0.7	55.37	24.58	20.48
0.8	43.57	19.48	17.53
0.9	42.47	18.58	17.82
1	40.74	17.99	15.41

ตารางที่ ก.2 ผลของความเข้มข้นสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตต่อค่าสี L* a* b*

ความเข้มข้น (ppm)	L*	a*	b*
0	27.15	20.03	20.99
0.1	22.71	17.84	18.49
0.2	24.44	18.11	19.99
0.3	22.28	18.37	19.21
0.4	22.83	18.86	18.08
0.5	19.41	17.74	14.23
0.6	15.73	16.29	12.08
0.7	12.94	14.79	9.78
0.8	9.40	12.09	6.44
0.9	8.97	12.20	5.62
1	8.43	11.43	6.18

ตารางที่ ก.3 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่างที่ผ่าน
การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	R	G	B
critical	56.95	31.59	25.73
0	100.61	62.42	37.10
5	114.26	80.54	45.84
10	123.59	90.80	48.55
15	124.28	93.39	50.05
control	123.01	105.19	66.27

ตารางที่ ก.4 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่างที่
ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	R	G	B
critical	77.54	46.99	31.61
0	89.83	51.82	33.30
5	106.87	70.53	41.10
10	125.49	85.56	42.33
15	125.53	85.60	41.65
control	121.49	84.16	48.90

ตารางที่ ก.5 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ที่เวลาต่างๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่างที่
ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	R	G	B
critical	98.33	60.89	41.41
0	106.69	61.24	34.23
5	119.35	78.17	41.28
10	136.49	101.62	48.31
15	137.36	107.52	50.50
control	127.61	92.85	45.33

ตารางที่ ก.6 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz ที่เวลาต่างๆ ต่อค่า L* a* b* ขององุ่นตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	L*	a*	b*
critical	15.24	11.50	9.19
0	30.33	13.86	22.30
5	37.13	9.93	25.81
10	41.09	8.34	29.30
15	41.90	7.25	29.44
control	45.29	1.33	24.45

ตารางที่ ก.7 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า L* a* b* ขององุ่นตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	L*	a*	b*
critical	22.78	12.07	15.63
0	25.91	15.04	18.88
5	33.40	12.15	23.84
10	39.83	11.87	31.32
15	39.84	11.81	31.70
control	39.05	11.37	26.58

ตารางที่ ก.8 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า L* a* b* ขององุ่นตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	L*	a*	b*
critical	29.67	14.13	18.77
0	30.85	17.20	24.85
5	37.08	13.36	28.52
10	45.52	7.91	34.97
15	47.24	5.04	35.81
control	42.08	8.74	32.34

ตารางที่ ก.9 ผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่างที่ผ่านการ
ตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	R	G	B
critical	84.91	51.07	35.80
0	97.41	60.47	39.79
5	99.34	61.36	39.79
10	110.56	73.34	43.06
15	116.95	81.74	46.44
control	112.36	82.01	50.72

ตารางที่ ก.10 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่างที่ผ่าน
การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	R	G	B
critical	94.99	59.33	41.00
0	113.45	73.17	46.76
5	121.63	85.13	48.50
10	121.40	88.19	50.98
15	123.21	90.11	51.37
control	122.11	98.25	56.60

ตารางที่ ก.11 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า RGB ขององุ่นตัวอย่างที่ผ่าน
การตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	R	G	B
critical	86.31	51.85	38.09
0	104.36	66.22	45.68
5	117.85	85.17	53.57
10	122.10	88.72	53.00
15	131.11	107.07	63.75
control	113.70	81.71	52.21

ตารางที่ ก.12 ผลของไอโซนความเข้มข้น 4 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า L^* a^* b^* ขององุ่นตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	L^*	a^*	b^*
critical	25.04	13.42	16.02
0	29.41	13.81	19.41
5	29.91	14.16	20.10
10	34.67	12.33	24.34
15	37.80	10.51	26.35
control	37.37	8.61	23.21

ตารางที่ ก.13 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า L^* a^* b^* ขององุ่นตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	L^*	a^*	b^*
critical	28.78	13.50	17.79
0	35.07	14.11	22.71
5	39.32	10.82	27.14
10	40.15	9.10	26.74
15	40.90	8.82	27.47
control	43.09	3.97	27.17

ตารางที่ ก.14 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อค่า L^* a^* b^* ขององุ่นตัวอย่างที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

เวลา (นาที)	L^*	a^*	b^*
critical	25.49	13.83	15.16
0	31.99	14.06	19.24
5	38.95	9.52	23.65
10	40.41	9.29	25.91
15	46.62	3.61	27.73
control	37.48	9.56	22.49

ตารางที่ ก.15 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 28.9 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกบนผิวช้ออุณหภูมิ

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก (%)
5	53.90
10	65.81
15	73.66

ตารางที่ ก.16 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 40.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกบนผิวช้ออุณหภูมิ

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก (%)
5	55.18
10	73.10
15	81.47

ตารางที่ ก.17 ผลของอัลตราโซนิกส์ความถี่ 120.3 kHz ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกบนผิวช้ออุณหภูมิ

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก (%)
5	79.65
10	83.27
15	93.16

ตารางที่ ก.18 ผลของโอโซนความเข้มข้น 4 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกบนผิวช้ออุณหภูมิ

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก (%)
5	35.00
10	50.96
15	51.19

ตารางที่ ก.19 ผลของไอโซนความเข้มข้น 6 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกบนผิวช้องุ่นตัวอย่าง

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก (%)
5	31.39
10	48.52
15	53.50

ตารางที่ ก.20 ผลของไอโซนความเข้มข้น 8 ppm ที่เวลาต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรกบนผิวช้องุ่นตัวอย่าง

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพในการลดคราบสกปรก (%)
5	40.35
10	51.98
15	56.16

ตารางที่ ก.21 ผลของเครื่องต้นแบบต่อค่า RGB ของอุนุ่นตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 1) ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

หลอดตัวอย่าง	R	G	B
critical	58.81	33.29	26.64
ก่อนล้าง	83.54	48.05	34.45
หลังล้าง	110.25	77.99	48.02
control	109.72	75.81	47.98

ตารางที่ ก.22 ผลของเครื่องต้นแบบต่อค่า RGB ของอุนุ่นตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 2) ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

หลอดตัวอย่าง	R	G	B
critical	68.92	38.95	29.49
ก่อนล้าง	96.95	57.65	39.02
หลังล้าง	117.39	84.05	51.85
control	109.64	75.80	46.70

ตารางที่ ก.23 ผลของเครื่องต้นแบบต่อค่า RGB ของอุณหภูมิตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 3) ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

หลอดตัวอย่าง	R	G	B
critical	69.37	38.12	29.26
ก่อนล้าง	87.72	50.05	35.32
หลังล้าง	116.60	86.54	51.94
control	114.00	82.94	50.21

ตารางที่ ก.24 ผลของเครื่องต้นแบบต่อค่า L* a* b* ของอุณหภูมิตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 1) ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

หลอดตัวอย่าง	L*	a*	b*
critical	16.03	11.39	9.66
ก่อนล้าง	24.00	14.56	15.52
หลังล้าง	35.97	9.81	22.99
control	35.31	10.89	22.18

ตารางที่ ก.25 ผลของเครื่องต้นแบบต่อค่า L* a* b* ของอุณหภูมิตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 2) ที่ผ่านการตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

หลอดตัวอย่าง	L*	a*	b*
critical	19.23	12.90	12.21
ก่อนล้าง	28.58	15.27	18.84
หลังล้าง	38.56	9.81	24.16
control	35.27	10.74	22.90

ตารางที่ ก.26 ผลของเครื่องต้นแบบต่อค่า L^* a^* b^* ขององุ่นตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 3) ที่ผ่านการ
ตรวจสอบสารเคมีตกค้างด้วยชุดทดสอบ GT-Pesticide test kit

หลอดตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*
critical	19.07	13.63	12.16
ก่อนล้าง	25.17	15.35	16.58
หลังล้าง	39.14	7.96	24.82
control	37.82	8.76	24.11





ข.1 การคำนวณขนาดกระบอกสูบ

กำหนดให้ไหลค้ำน้ำหนักรวมทั้งหมัดที่กระทำกับกระบอกสูบเท่ากับ 100 กิโลกรัม (น้ำหนักอ่อนในภาชนะบรรจุอ่อน 4 ชั้น ชั้นละ 20 กิโลกรัม และน้ำหนักวัสดุ 20 กิโลกรัม) และใช้เครื่องอัดลมขนาด 8 บาร์ คำนวณหาขนาดกระบอกสูบโดยใช้สมการที่ 3.2 ดังนี้

$$D = \sqrt{\frac{100\text{kg}(9.8\text{m/s}^2)4}{8 \times 10^5 \text{Pa}(\pi)}} = 0.395 \text{ m} = 3.95 \text{ cm}$$

โดยเลือกใช้กระบอกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. ระยะแกนชัก (Stroke) 55 ซม.

ข.2 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์

กำหนดให้ความเร็วเชิงมุมออกแบบของเฟืองขับเท่ากับ 0.628 rad/s คำนวณความเร่งเชิงมุมโดยใช้โปรแกรม SolidWorks ได้เท่ากับ 1.134 rad/s² คำนวณโมเมนต์ความเฉื่อยของคานที่ใช้ยกภาชนะบรรจุอ่อนได้เท่ากับ 64.48 kg·m² แทนค่าลงในสมการที่ 3.3 ได้ขนาดมอเตอร์ดังนี้

$$T = 64.48 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \times 1.134 \text{ rad/s}^2$$

$$= 73.12 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$P = 73.12 \text{ N}\cdot\text{m} \times 0.628 \text{ rad/s}$$

$$= 45.92 \text{ W}$$

โดยเลือกมอเตอร์ขนาด 1 hp ในการขับเคลื่อนระบบ

ข.3 การคำนวณอัตราการล้าง

ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ ต้องใช้เวลา 32 นาที กับอีก 12 วินาที ในการเดินเครื่อง 1 รอบ (กระบวนการล้างด้วยอัลตราโซนิกใช้เวลา 10 นาที 44 วินาที, กระบวนการล้างด้วยโอโซนใช้เวลา 10 นาที 44 วินาที และกระบวนการกำจัดความชื้นส่วนเกินใช้เวลา 10 นาที 44 วินาที) เมื่อเดินเครื่องครบ 1 รอบ จะได้อุ่นที่ผ่านกระบวนการล้าง 15 กิโลกรัม ทุก ๆ 10 นาที 44 วินาที โดยสามารถคำนวณหาอัตราการล้างได้จากสมการที่ 3.10 และมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{เวลาในการล้าง (Time)} = 10 \text{ นาที } 44 \text{ วินาที หรือ } 644 \text{ วินาที}$$

$$\text{น้ำหนักของช่ออ่อนตัวอย่างที่เครื่องต้นแบบล้างได้ (Mass of Grape)} = 15 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{แทนค่าลงในสมการที่ 3.10}$$

$$\text{Washing Rate} = \frac{15 \text{ kg}}{644 \text{ s}} = 0.02329193 \text{ kg/s}$$

เพราะฉะนั้นเครื่องต้นแบบมีอัตราการล้าง 0.02329193 kg/s หรือ 83.85 kg/h

ข.4 ความสิ้นเปลืองพลังงาน

4.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

คำนวณความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจากสมการที่ 3.11 โดยใน 1 ชั่วโมง เครื่องต้นแบบสามารถล้างองุ่นได้ 83.85 กิโลกรัม และใช้พลังงานไฟฟ้า 1.30 kW.h แทนค่าลงในสมการที่ 3.11 ได้ดังนี้

$$\text{Specific Energy Consumption (SEC)} = \frac{1.30 \text{ kW} \cdot \text{h}}{83.85 \text{ kg}} = 0.0156 \text{ kW} \cdot \text{h/kg}$$

ดังนั้นต้องใช้พลังงาน 0.0156 kW.h ต่อการล้างองุ่น 1 กิโลกรัม

4.2 ความสิ้นเปลืองน้ำในการล้าง

คำนวณความสิ้นเปลืองน้ำในการล้างจากสมการที่ 3.12 โดยกำหนดให้เปลี่ยนถ่ายน้ำในการล้างทุก 2 ชั่วโมง รอบละ 150 ลิตร และเครื่องต้นแบบสามารถล้างองุ่นได้ 167.7 กิโลกรัม ในเวลา 2 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นคำนวณความสิ้นเปลืองน้ำในการล้างได้ดังนี้

$$\text{Specific Water Consumption} = \frac{150 \text{ Liter}}{167.7 \text{ kg}} = 0.8945 \text{ Liter/kg}$$

ดังนั้นเครื่องต้นแบบมีอัตราความสิ้นเปลืองน้ำเท่ากับ 0.8945 ลิตรต่อกิโลกรัม

ข.5 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

5.1 ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องต้นแบบเครื่องล้างองุ่นด้วยอัลตราโซนิคส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่อง (Pr) รวมเป็นเงินทั้งหมด 173,798 บาท (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข.1) มูลค่า

ซากเครื่องเมื่อสิ้นสุคปีที่ 10 คงเหลือ 10% ของราคาเครื่อง อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ต่อปีคือ 7% ต่อปี (ธนาคารออมสิน, 2560)

ตารางที่ ข.1 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องล้างอุ่นด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่อง

ลำดับ	รายการวัสดุ	ราคา (บาท)
1.	กระบอกสูบและอุปกรณ์ในระบบนิวเมติกส์	13,883
2.	ค่าจ้างงานกลึง	5,885
3.	สแตนเลสและค่างานเชื่อมสแตนเลส	29,202
4.	PLC MITSUBISHI รุ่น FX3S-20MR/DS	3,745
5.	ชุดเกียร์ทด CPG แบบ PORU	2,996
6.	มอเตอร์ไฟฟ้า MITSUBISHI รุ่น SF-JR	3,692
7.	Ultrasonic Generator	36,500
8.	เครื่องกำเนิดโอโซน	16,900
9.	ตู้ Control และอุปกรณ์ในระบบควบคุม	3,000
10.	อุปกรณ์อื่น ๆ	5,995
11.	ค่าสร้างประกอบเครื่อง	52,000
รวม		173,798

จากตารางที่ ข.1 ราคาซากเครื่อง $S = \left(\frac{10}{100} \right) \times 173,798 = 17,379.8$ บาท

จากสมการที่ 3.16 จะได้

$$\text{ค่าเสื่อมราคา (De)} = \frac{(173,798 - 17,379.8)}{10} = 15,641.82 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการที่ 3.17 จะได้

$$\text{ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R)} = \left(\frac{173,798 + 15,641.82}{2} \right) \times \left(\frac{7}{100} \right) = 6,630.39 \text{ บาท/ปี}$$

จากสมการที่ 3.15 จะได้ต้นทุนคงที่ต่อปี (FC) = 15,641.82+6,630.39 = 22,272.21 บาท/ปี

ต้นทุนแปรผัน (Variable cost: VC) มีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

ค่าบำรุงรักษา (Maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 10 บาท ทำงาน 200 วัน ดังนั้น
ค่าบำรุงรักษา (MC) $10 \times 200 = 2,000$ บาทต่อปี

ค่าไฟฟ้า (EC) หน่วยละ 4.2218 บาท สิ้นเปลืองไฟฟ้า 1.30 หน่วย/ชั่วโมง ใน 1 ปีทำงาน 200 วัน
ดังนั้น ค่าไฟฟ้า (EC) = $1.30 \times 4.2218 \times 8 \times 200 = 8,781.34$ บาท/ปี

ค่าน้ำประปา (WC) หน่วยละ 16 บาท สิ้นเปลืองน้ำ 0.6 หน่วย/วัน ใน 1 ปีทำงาน 200 วัน
ดังนั้น ค่าน้ำประปา (WC) = $0.6 \times 16 \times 200 = 1,920$ บาท/ปี

ค่าจ้างแรงงาน (WC) 1 คน 300 บาท/วัน ใน 1 ปีทำงาน 200 วัน เพราะฉะนั้นค่าจ้างแรงงาน
(C) = $1 \times 300 \times 200 = 60,000$ บาท/ปี

จากสมการที่ 3.18 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนแปรผัน (VC)} &= 2,000 + 8,781.34 + 1,920 + 60,000 \\ &= 72,701.34 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 3.14 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)} &= \text{ต้นทุนคงที่ (FC)} + \text{ต้นทุนแปรผัน (VC)} \\ &= 22,272.21 + 72,701.34 \text{ บาท/ปี} \\ &= 94,973.55 \approx 94,974 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

5.2 จุดคุ้มทุนของเครื่องล้างอุณหภูมิด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับโอโซนแบบต่อเนื่อง

ใน 1 ปี เครื่องต้นแบบทำงาน 200 วัน วันละ 8 ชั่วโมง และมีอัตราการล้าง 83.85 kg/h
เพราะฉะนั้นอัตราการล้างอุณหภูมิของเครื่องต้นแบบเท่ากับ $200 \times 8 \times 83.85 = 134,160$ กิโลกรัม/ปี

โดยอุณหภูมิที่รู้มารู ซีดเลสราคาขาย (ต้นทุน) อยู่ที่กิโลกรัมละ 260 บาท และกำหนด
ราคาขายอุณหภูมิปลอดสารพิษกิโลกรัมละ 270 บาท จึงสามารถคำนวณกำไรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{กำไรต่อหน่วย} &= \text{ราคาขาย} - \text{ต้นทุน} \\ &= 270 - 260 \text{ บาท/กิโลกรัม} \\ &= 10 \text{ บาท/กิโลกรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณจุดคุ้มทุนจากสมการที่ 3.19 ได้ดังนี้

$$\text{จุดคุ้มทุน } N^* = \frac{22,272.21}{\left(10 - \left(94,974/134,160\right)\right)} = 2,396.90 \approx 2,397 \text{ กิโลกรัม/ปี}$$

5.3 ระยะเวลาคืนทุน

จากหัวข้อที่ 5.2 เครื่องต้นแบบสามารถล้างองุ่นได้ 134,160 กิโลกรัม/ปี และมีกำไร กิโลกรัมละ 10 บาท ดังนั้นรายได้ต่อปี (R) จึงอยู่ที่ $134,160 \times 10 = 1,341,600$ บาท/ปี และสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.21 จะได้

$$\begin{aligned} \text{กำไร (Pe)} &= 1,341,600 - 94,974 \text{ บาท/ปี} \\ &= 1,246,626 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 3.20 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 173,798 / 1,246,626 \\ &= 0.14 \text{ ปี} \approx 2 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

หากขายองุ่นด้วยราคา กิโลกรัมละ 265 บาท มีกำไร กิโลกรัมละ 5 บาท จะมีรายได้ต่อปี (R) เท่ากับ $134,160 \times 5 = 670,800$ บาท/ปี และสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.21 จะได้

$$\begin{aligned} \text{กำไร (Pe)} &= 670,800 - 94,974 \text{ บาท/ปี} \\ &= 575,826 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 3.20 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 173,798 / 575,826 \\ &= 0.30 \text{ ปี} \approx 4 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

หากขายองุ่นด้วยราคา กิโลกรัมละ 263 บาท มีกำไร กิโลกรัมละ 3 บาท จะมีรายได้ต่อปี (R) เท่ากับ $134,160 \times 3 = 402,480$ บาท/ปี และสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

จากสมการที่ 3.21 จะได้

$$\begin{aligned} \text{กำไร (Pe)} &= 402,480 - 94,974 \text{ บาท/ปี} \\ &= 307,506 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 3.20 จะได้

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 173,798 / 307,506 \\ &= 0.57 \text{ ปี} \approx 7 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

5.4 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

เครื่องต้นแบบมีราคา 173,798 บาท หากขายองุ่นราคา กิโลกรัมละ 270 บาท จะได้กำไรหรือรายได้สุทธิต่อปี (CF) เท่ากับ 1,246,626 บาท นั่นคือเงินลงทุนในปีแรก (ปีที่ 0) เท่ากับ

173,798 บาท และรายได้สุทธิปีที่ 1-9 เท่ากับ 1,246,626 บาทต่อปี แต่ในปีที่ 10 จะมีรายได้สุทธิเท่ากับ 1,246,626 บาท บวกกับราคาขายซากเครื่องอีก 17,379.8 บาท รวมเป็นเงิน 1264005.8 บาท แทนค่าลงในสมการที่ 3.22 ได้ดังต่อไปนี้

$$0 = -173,798 + \frac{1,246,626}{(1+IRR)^1} + \frac{1,246,626}{(1+IRR)^2} + \frac{1,246,626}{(1+IRR)^3} + \dots + \frac{1,264,005.8}{(1+IRR)^{10}}$$

ใช้วิธีการ trial and error เพื่อหาค่า IRR โดยใช้โปรแกรม Excel ช่วยคำนวณได้ค่า IRR = 717 % หากขายอู่รถราคา กิโลกรัมละ 265 บาท มีรายได้สุทธิ (CF) เท่ากับ 575,826 บาท/ปี สามารถคำนวณหาค่า IRR ได้เท่ากับ 331 % โดยมีวิธีการแทนค่าในสมการที่ 3.22 ดังนี้

$$0 = -173,798 + \frac{575,826}{(1+IRR)^1} + \frac{575,826}{(1+IRR)^2} + \frac{575,826}{(1+IRR)^3} + \dots + \frac{593,205.8}{(1+IRR)^{10}}$$

หากขายอู่รถราคา กิโลกรัมละ 263 บาท มีรายได้สุทธิ (CF) เท่ากับ 307,506 บาท/ปี สามารถคำนวณหาค่า IRR ได้เท่ากับ 177% โดยมีวิธีการแทนค่าในสมการที่ 3.22 ดังนี้

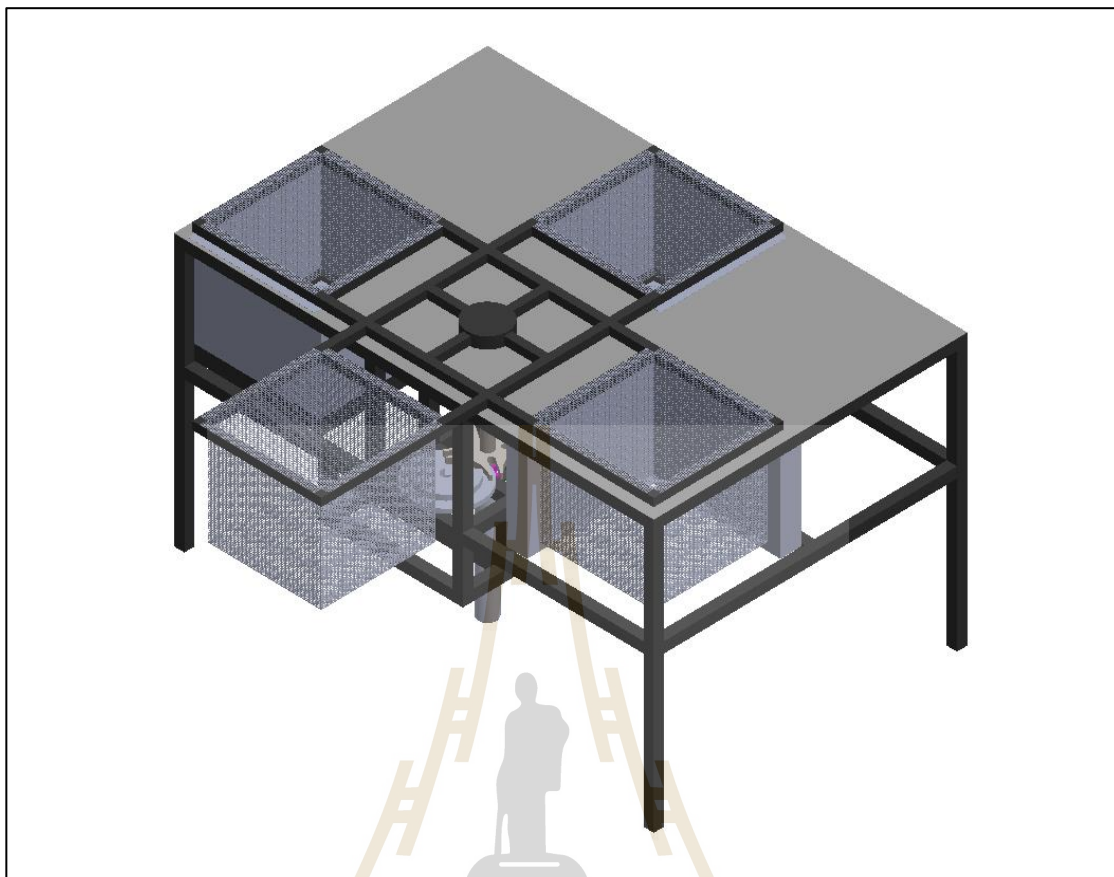
$$0 = -173,798 + \frac{307,506}{(1+IRR)^1} + \frac{307,506}{(1+IRR)^2} + \frac{307,506}{(1+IRR)^3} + \dots + \frac{324,885.8}{(1+IRR)^{10}}$$



ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

แบบเครื่องจักรต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ค.1 แบบเครื่องล้างจานด้วยอัลตราโซนิกส์ร่วมกับ โอโซนแบบต่อเนื่องต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ง

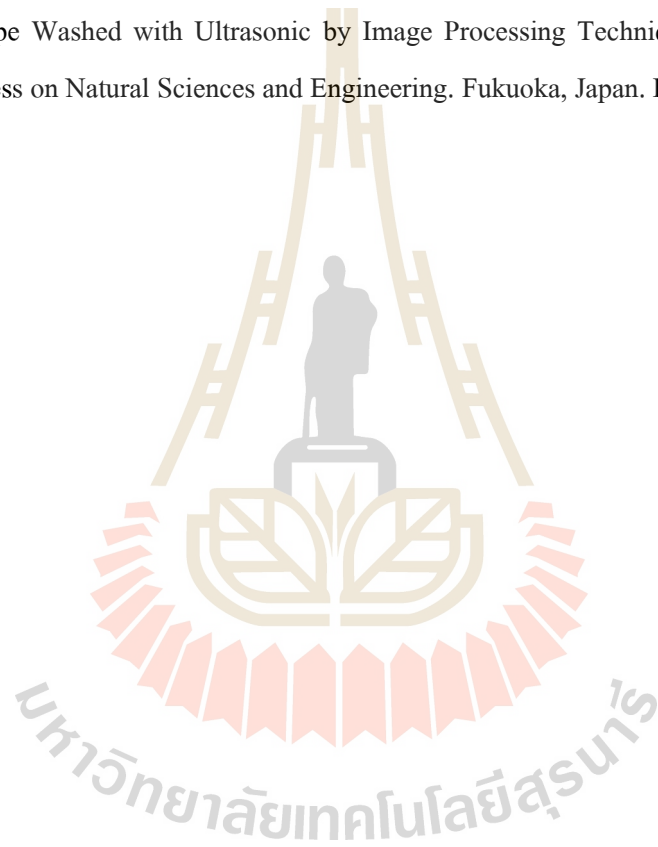
บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ทิวา สายประดิษฐ, เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และกระวี ตรีอำนรรค. (2560). สมบัติทางกายภาพและเคมีขององุ่นสดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 48 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) : 217-220 (2560).

Tiwa Saipradit, Tawarat Treamnuk and Krawee Treamnuk. Evaluating of Carbamate Residue in Grape Washed with Ultrasonic by Image Processing Technique (2019). International Congress on Natural Sciences and Engineering. Fukuoka, Japan. February 25-27, 2019.



สมบัติทางกายภาพและเคมีขององุ่นสดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส
Physical and Chemical Properties of Fresh Marro Seedless Grape

ทิวา สายประดิษฐ์¹, เทวรัตน์ ตริอำนาจค์² และ กระวี ตริอำนาจค์³
Tiwa Saipradit¹, Tawarat Treeamnu² and Krawee Treeamnu³

Abstract

The Objective was this research to investigate physical and chemical properties of flesh Marro Seedless grape. Size and weight of bunch, specific gravity, number of sub bunch, total fruits of bunch, and size of fruits were investigated for physical properties. Total soluble solid (TSS) and titratable acidity (TA) were investigated for chemical properties. The 20 samples of grape bunch from Pak Chong, Nakhon Ratchasima province were used in this study. The result was found that width and length of bunch were 13.26 ± 2.31 cm and 18.60 ± 2.66 cm, weight of bunch was 301.75 ± 107.43 g, specific gravity was 1.06 ± 0.02 , number of sub bunch was 15.15 ± 3.91 , total fruits of bunch was 123.65 ± 39.95 and wide and long diameter of fruits were 14.97 ± 2.25 mm and 16.74 ± 2.69 mm respectively. TSS of fresh grape was 13.83 ± 1.88 Brix and TA was 1.03 ± 0.16 %, respectively. The data was found can use to design the machine that use for postharvest of grape e.g. grape washing machine.

Keywords: Seedless grape, Physical properties, Chemical properties

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีขององุ่นหวานผลสดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส โดยสมบัติทางกายภาพที่ศึกษาประกอบด้วยขนาดและน้ำหนักช่อ ความถ่วงจำเพาะของช่อ จำนวนช่อย่อยต่อช่อ จำนวนผลต่อช่อ และขนาดผล ส่วนสมบัติทางเคมีที่ศึกษาประกอบด้วยค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และค่าปริมาณกรดที่สามารถไทเทรตได้ โดยทำการศึกษากับช่อองุ่นสดจำนวน 20 ช่อ ที่สุ่มตัดจากแปลงปลูกในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ผลจากการศึกษาพบว่าช่อองุ่นมีขนาดความกว้างและความยาวช่อเฉลี่ย 13.26 ± 2.31 ซม. และ 18.60 ± 2.66 ซม. น้ำหนักช่อเฉลี่ย 301.75 ± 107.43 กรัม ค่าความถ่วงจำเพาะ 1.06 ± 0.02 จำนวนช่อย่อยต่อช่อเฉลี่ย 15.15 ± 3.91 ช่อ จำนวนผลต่อช่อเฉลี่ย 123.65 ± 39.95 ผล และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านกว้างและยาวเฉลี่ย 14.97 ± 2.25 มม. และ 16.74 ± 2.69 มม. ผลองุ่นสดค่ามีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เฉลี่ย 13.83 ± 1.88 Brix และค่าปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ 1.03 ± 0.16 % โดยข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวองุ่น เช่น เครื่องล้างองุ่น เป็นต้น

คำสำคัญ: องุ่นไร้เมล็ด สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี

คำนำ

องุ่นเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคในประเทศไทยเนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี มีสีสวยสวยงามรับประทานโดยรสชาติและสีขององุ่นจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ขององุ่นซึ่งมีทั้งรสหวาน และหวานอมเปรี้ยว นอกจากนี้องุ่นยังมีประโยชน์ต่อร่างกาย ในผลองุ่นอุดมไปด้วยวิตามินเอ วิตามินบี1 วิตามินบี2 วิตามินซี และเกลือแร่ ซึ่งจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ อีกทั้งยังมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แอนโทไซยานิน (Yilmaz and Toledo, 2004) นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่าการบริโภคองุ่นสดหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆจากองุ่นอย่างต่อเนื่อง จะส่งผลดีต่อสุขภาพหลายประการ เช่น ลดการเกาะตัวของเกล็ดเลือด (Keevil *et al.*, 2000) ลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบหลอดเลือด (Stein *et al.*, 1999) เป็นต้น โดยผู้บริโภคสามารถเลือกบริโภคองุ่นได้หลากหลายทั้งแบบองุ่นสด และองุ่นที่ผ่านการแปรรูป เช่น องุ่นแห้ง น้ำองุ่น และไวน์องุ่น เป็นต้น ด้วยคุณค่าขององุ่นดังที่ได้กล่าวมา ทำให้องุ่นเป็นผลไม้เศรษฐกิจของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2558 มีการส่งออกองุ่นเป็นมูลค่ากว่า 159 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) สร้างรายได้ให้กับเกษตรกร และประเทศไทยเป็นอย่างมาก ซึ่งการขนส่งเป็น

¹ หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

² Mechanical and Process System Engineering Program, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

³ สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

⁴ School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

⁵ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

⁶ School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง หากทราบคุณสมบัติทางกายภาพขององุ่น เช่น ขนาดช่อ น้ำหนักช่อ และขนาดผลองุ่น ก็จะสามารถจัดสรรพื้นที่ในการบรรจุองุ่นลงบรรจุภัณฑ์ได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง นอกจากนี้ยังสามารถนำสมบัติทางกายภาพและเคมีขององุ่นไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องจักรต่างๆที่ใช้ในกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น เครื่องล้างองุ่น เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีขององุ่นหวานผลสดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส ซึ่งเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกในจังหวัดนครราชสีมา พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของสมบัติดังกล่าว

อุปกรณ์และวิธีการ

1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพขององุ่นผลสดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส

นำองุ่นพันธุ์มารู ซีดเลส ระยะสุกเต็มที่สุ่มตัดมาจากแปลงปลูกในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 20 ช่อ มาชั่งน้ำหนักเพื่อหาความถ่วงจำเพาะ โดยชั่งน้ำหนักช่อองุ่นในอากาศก่อนแล้วจึงชั่งแทนที่ปริมาตรน้ำด้วยเครื่องชั่งทศนิยมสามตำแหน่ง คำนวณหาความถ่วงจำเพาะจากสมการที่ (1) (ชูศักดิ์ และคณะ, ม.ป.ป.) จากนั้นนำช่อองุ่นไปวัดความกว้างและความยาวช่อ นับจำนวนช่อย่อยและจำนวนผลในแต่ละช่อ สุ่มผลองุ่นในแต่ละช่อมา 15 ผล และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านกว้างและความยาวของผลองุ่น

$$SG = \frac{W_{air} \times SG_{water}}{W_{displacedwater}} \quad \dots\dots(1)$$

เมื่อ SG คือความถ่วงจำเพาะของช่อองุ่น, W_{air} คือน้ำหนักของช่อองุ่นเมื่อชั่งในอากาศ (g), SG_{water} คือความถ่วงจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ 1, $W_{displacedwater}$ คือน้ำหนักของปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยช่อองุ่น (g)

2 การศึกษาสมบัติทางเคมีขององุ่นผลสดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส

นำช่อองุ่นตัวอย่างไปปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้และคั้นน้ำองุ่นด้วยผ้าขาวบาง วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำองุ่นโดยใช้เครื่อง Refractometer จากนั้นชั่งน้ำองุ่นให้ได้ 5 กรัม นำไปผสมกับน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร นำไปไทเทรตหาปริมาณกรดซิตริก โดยใช้ Phenolphthalein เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และมี NaOH เป็นสารละลายมาตรฐาน คำนวณหาปริมาณกรดซิตริกโดยใช้สมการที่ (2) (Nartchanok *et al.*, 2015)

$$TA = \left[\left(\frac{V \times N \times M_w}{U \times 1000} \right) \times 100\% \right] \times 3 \quad \dots\dots(2)$$

เมื่อ TA คือปริมาณกรดซิตริกที่ไทเทรตได้ (%), V ปริมาตรของ NaOH เมื่อถึงจุดยุติ (mL), N คือค่านอร์มอลของสารละลายต่างมีค่าเท่ากับ 0.1, M_w คือมวลโมเลกุลของกรดซิตริกมีค่าเท่ากับ 192.124 กรัมต่อโมล, U คือปริมาตรรวมของน้ำองุ่นและน้ำกลั่น (mL), ค่าคงที่ 3 คือแฟคเตอร์การเจือจางของสารละลาย

จากนั้นนำตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองในตอนต้นที่ 1 และ 2 ไปวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics

ผล

ผลจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีขององุ่นผลสดพันธุ์มารู ซีดเลส ซึ่งสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย ขนาดและน้ำหนักช่อ ความถ่วงจำเพาะ จำนวนช่อย่อย จำนวนผลต่อช่อ และขนาดผล ส่วนสมบัติทางเคมีประกอบด้วยปริมาณของแข็งที่ละลายได้และปริมาณกรดซิตริกที่ไทเทรตได้ ได้ผลดัง Table 1

Table1 Physical and Chemical Properties of Fresh Marroo Seedless Grape

Bunch size		Weight of bunch (g)	SG	No. of sub bunch	Total fruit of bunch	Fruit size		TSS ('Brix)	TA (%)
(cm)						Width	Length		
Width	Length								
13.26±2.3	18.60±2.66	301.75±107.43	1.06±0.02	15.15±3.91	123.65±39.95	14.97±2.25	16.74±2.69	13.83±1.88	1.03±0.16

เมื่อนำตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการศึกษาไปหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ผลดัง Table 2

Table 2 Correlation of variables

Correlation	Width of bunch	Length of bunch	W_{air}	$W_{displacedwater}$	SG	No. of sub bunch	Total fruits of bunch	TSS	TA
Width of bunch	1.000	0.334	0.451	0.460	-0.257	0.374	0.362	0.309	-0.095
Length of bunch	0.334	1.000	0.660	0.656	1.000	0.572	0.657	-0.248	-0.014
W_{air}	0.451	0.660	1.000	0.999	-0.033	0.615	0.759	-0.129	-0.119
$W_{displacedwater}$	0.460	0.656	0.999	1.000	-0.083	0.609	0.756	-0.131	-0.117
SG	-0.257	0.000	-0.033	-0.083	1.000	0.164	0.022	-0.091	0.076
No. of sub bunch	0.374	0.572	0.615	0.609	0.164	1.000	0.752	-0.244	0.146
Total fruits of bunch	0.362	0.657	0.759	0.756	0.022	0.752	1.000	-0.308	0.342
TSS	0.309	-0.248	-0.129	-0.131	-0.091	-0.244	-0.308	1.000	-0.454
TA	-0.095	-0.014	-0.119	-0.117	0.076	0.146	0.342	-0.454	1.000

วิจารณ์ผล

จากการที่นำตัวแปรต่างๆซึ่งประกอบไปด้วย ความกว้างและความยาวของ น้ำหนักขององุ่นที่ซึ่งในอากาศ (W_{air}) และ น้ำหนักของปริมาณน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยขององุ่น ($W_{displacedwater}$) ความถ่วงจำเพาะ (SG) จำนวนชื่อย่อยต่อช่อ จำนวนผลต่อช่อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) และกรดซิตริกที่ไทเทรตได้ (TA) มาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Table 1) ปรากฏว่า น้ำหนักขององุ่นที่ซึ่งในอากาศ (W_{air}) มีผลต่อความยาวช่อ (ค่า Correlation เท่ากับ 0.660) จำนวนชื่อย่อยต่อช่อ (ค่า Correlation เท่ากับ 0.615) และจำนวนผลต่อช่อ (ค่า Correlation เท่ากับ 0.759) เป็นไปในทางตรงกันกับน้ำหนักปริมาณน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยขององุ่น ($W_{displacedwater}$) ซึ่งน้ำหนักขององุ่นที่ซึ่งในอากาศและน้ำหนักปริมาณน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยขององุ่นมีค่า Correlation สูงถึง 0.999 (น้ำ 1 cc หนักเท่ากับ 1 กรัม น้ำหนักขององุ่นที่ซึ่งในอากาศจึงครเท่ากับน้ำหนักปริมาณน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยขององุ่น) โดยเมื่อน้ำหนักองุ่นเพิ่มขึ้นตัวแปรต่างๆที่มีความสัมพันธ์ที่ได้กล่าวมาจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ในส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) กับปริมาณกรดซิตริกที่ไทเทรตได้ (TA) มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน (ค่า Correlation เท่ากับ -0.454) โดยองุ่นสดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส มีลักษณะช่อดัง Figure 1



Figure 1 Fresh Marroo Seedless Grape

สรุป

องุ่นหวานเมล็ดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส มีขนาดความกว้างและความช่อดเฉลี่ย 13.26 ซม. และ 18.60 ซม. น้ำหนักช่อดเฉลี่ย 301.75 กรัม ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.06 จำนวนชื่อย่อยต่อช่อดเฉลี่ย 15.15 ช่อ จำนวนผลต่อช่อดเฉลี่ย 123.65 ผล ผลองุ่นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านกว้างและยาวเฉลี่ย 14.97 มม. และ 16.74 มม. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 13.83 Brix และปริมาณกรดซิตริกที่ไทเทรตได้เท่ากับ 1.03 % โดยที่หากช่อดองุ่นมีน้ำหนักที่มากขึ้น ความยาวช่อด จำนวนช่อดชื่อย่อยต่อช่อ และจำนวนผลต่อช่อดก็จะมากขึ้นด้วย

เอกสารอ้างอิง

- ชูศักดิ์ ขวประดิษฐ์, ปรีดาพรรณ ไชยศรีชดธาร, ปวีชา อานันท์รัตนกุล, ยงยุทธ คงชาน และสุภัทร หนูสวัสดิ์. ม.ป.ป. วิจัยและพัฒนาเครื่องคัดแยกคุณภาพมังคุดโดยความถี่จำเพาะ.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถิติการส่งออก. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oea_report/export_import/export_result.php. (30 มิถุนายน 2560).
- Keevil, J.G., H.E. Osman, J.D. Reed and J.D. Folts. 2000. Grape Juice, but not Orange Juice or Grapefruit Juice. Inhibits Human Platelet Aggregation. *Journal of Nutrition* 100: 53-56.
- Nartchanok, P., T. Tawarat, J. Kaitisak, V. Benjawan and T. Krawee. 2015. Comparing the Efficiency of Two Carrier Types on Drum Drying of Tamarind Juice. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal* 21:1-6.
- Stein, J. H., J. G. Keevil, D. A. Wiebe, S. Aeschlimann and J. D. Folts, 1999. Purple Grape Juice Improves Endothelial Function and Reduces the Susceptibility of LDL Cholesterol to Oxidation in Patients with Coronary Artery Disease. *Circulation* 100: 1050-1055.
- Yilmaz, Y. and R. T. Toledo. 2004. Major Flavonoids in Grape Seeds and Skins: Antioxidant Capacity of Catechin, Epicatechin, and Gallic Acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 25: 255-260.



ICNSE-0149

Evaluating of Carbamate Residue in Grape Washed with Ultrasonic by Image Processing Technique

Tiwa Saipradit^a, Tawarat Treeamnu^{b,*}, Krawee Treeamnu^b

^a School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand

^b School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand

*E-mail: tawarat@sut.ac.th

Abstract

The Objective of this research was to evaluate the Carbamate residue in grape from a ultrasonic washer by image processing technique. Ultrasonic washer at frequencies of 28.9, 40.3 and 120.3 kHz and period time of 5, 10 and 15 minutes was used to clean the grape sample. The residue monitoring kit in agricultural crops called GT- Test kit that can detect toxic residues in Organophosphate and Carbamate group was used to measure Carbamate residue in the grape samples. The color of the samples was observed and then compare with control and critical color if the sample contains with toxic residues the color of the sample will darker than control and fruits or vegetable will dangerous for consumer if the color of the sample darker than the critical. For reduce error of color observation by human eye, so the image analysis was used to evaluate the color value of the samples in this research. The result was found that when the concentration of Carbamate increased the L* a* b* values will decrease or a darker color. The ultrasonic frequency and period time of grape washing affect to Carbamate residue in grape samples. The period time of ultrasonic grape washing at 15 minutes can reduce the toxic residue better than washing at 5 and 10 minutes because the L* value was the highest when compared to washing at 5 and 10 minutes. The ultrasonic frequency at 120.3 kHz is the best frequency because after washing the sample for 15 minutes make the L* value increased from non-washing sample by 45.36% while the frequencies of 40.3 and 28.9 kHz the L* values are increased to 9.39% and 6.93%, respectively.

Keywords: Grape, Ultrasonic, GT-Test kit, Image processing

1. Background

Grape is a popular fruit because of good taste and colorful. Moreover, grape is also nutritious and rich in vitamin A, vitamin B1, vitamin B2, vitamin C and minerals which essential to the human body. It also contains antioxidants such as Anthocyanin (Yilmaz and Toledo, 2004). In addition, the study also found that consumption of fresh grapes or products from grapes continued. It can affect many health such as reduces blood clotting (Keevil et al., 2000), reduce the risk of vascular disease (Stein et al., 1999). As mentioned makes grape to be an important fruit in many countries. However, at present, the product of Carbamate group is used to spray for prevent the pests of grapes. This group of chemicals inhibits the action of acetylcholinesterase that will make

poison effect. This chemical can be absorbed through the skin. If a person receives caffeine, they have symptoms of headache, faint, muscle weakness, heart beat slow and squeamish. If given in large amounts, death may occur. In addition to harm to consumers, residues of toxins can also be a transportation problem. In present ultrasonic is used in food processing to reduce dirt (Mason, 1998). The efficiency of the ultrasonic detoxification depends on many factors such as frequency and duration of washing.

This research aims to study the effects of ultrasonic at different frequencies and period times on Carbamate residue removal in grapes. By using pesticide residue monitoring kit in agricultural crops called GT-Test to detect toxic residues. The principle is that if the samples are checked for toxic residues (detect toxic residues in Organophosphate and Carbamate group) the chemicals in test kit will inhibit the action of acetylcholinesterase (GT-1) make it cannot hydrolyze acetylcholine (GT-1). The remaining acetylcholine determines the intensity of the color, the more intense is the residue. The GT-Test kit has 87.1% accuracy when using for fruit / vegetable samples (Gobthong, 2010). Because measure from color shade therefore image processing will be used for measure the color value because it has more precision and accuracy than measure with eyes.

2. Methods

This research was divided into 2 experiments as follows.

A. Determine the L* a* b* values of the Carbamate at different concentrations.

- 1) Mix Carbamate in distilled water gave until the concentration of Carbamate are 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 and 1 ppm.
- 2) Take the solution from 1) for 30 ml each concentration then mixes with 30 ml sample extract solution (Solvent-1) then shake for 1 minute, leave it for 10 minutes. Then take Solvent-1 on the bottom for 5 ml and mix with 1 ml Solvent-2 then evaporate Solvent-1 out. The remaining Solvent-2 is used as a Sample Extract. Then follow the steps given by the GT-Test kit handbook (Fig. 1). Must be done in warm water 32-36°C. Three repeat each concentration.
- 3) Collect data by photography then process through Image Processing by using ImageJ software. The details are shown in **Color values from Image processing** part.

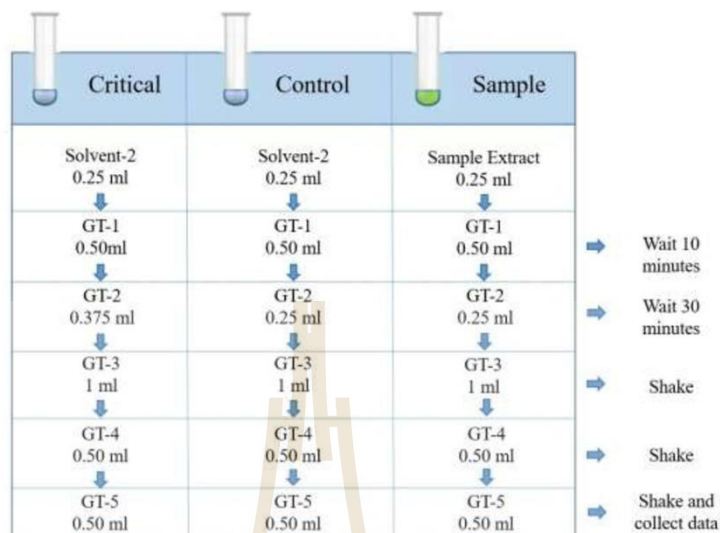


Fig. 1: GT-Test kit using steps.

B. Effects of ultrasonic on Carbamate residue reduction in grapes.

- 1) Grapes were sampled randomly from the local market in Thailand with ultrasonic wash at 28.9 kHz for 0 (not washed), 5, 10 and 15 minutes.
- 2) Take sample to finely chop and mix 5 g of sample with 10 ml sample extract solution (Solvent-1) then shake for 1 minute, leave it for 10 minutes. Then take Solvent-1 on the bottom for 2 ml and mix with 1 ml Solvent-2 then evaporate Solvent-1 out. The remaining Solvent-2 is used as a Sample Extract. Then follow the steps given by the GT-Test kit handbook (Fig. 1). Must be done in warm water 32-36°C. Three repeat each concentration.
- 3) Collect data by photography then process through Image Processing by using ImageJ software. The details are shown in **Color values from Image processing** part.
- 4) Repeat steps 1) – 3) by changing the frequency to 40.3 and 120.3 kHz.

Annotation: Measurement of GT-Test kit can be measured as follows.

- If the color of the sample tube is less than or equal to the control tube, it can be read that there is no toxic residue.
- If the color of the sample tube is darker than the control tube but it is weaker than the critical tube, can read that the residue is safe.
- If the color of the sample tube is darker than the critical tube, can read that the residue is unsafe.

The color of critical, sample, and control tube when Carbamate residue was tested by the GT-Test Kit is shown in fig. 2.

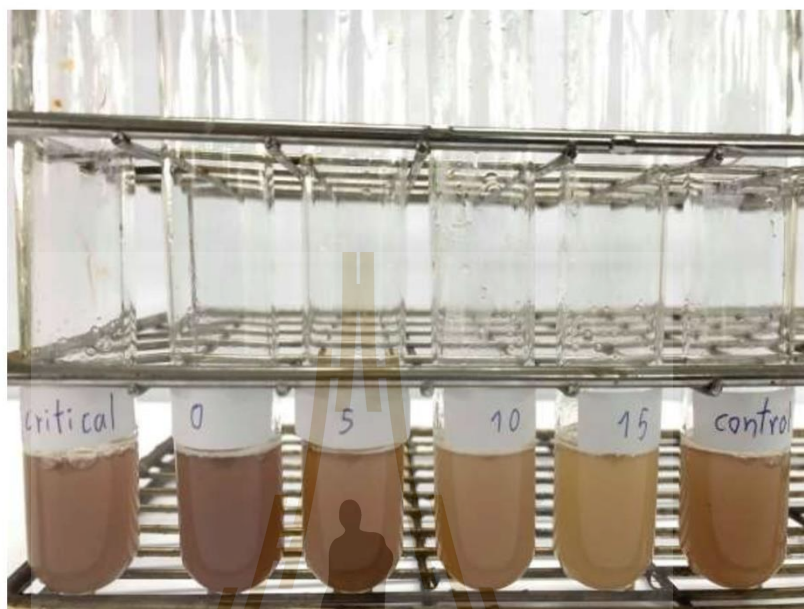


Fig. 2: Comparative of Carbamate residue in grape sample washed by ultrasonic at frequency of 120.3 kHz at difference period time.

Color Values from Image Processing

Take photography of samples from experiments A. and B. by setting Composition of photography to all the same. Each sample tube is placed inside a box at same position with black lining with two lamp (D65/18 W, 36 cm long) which is the standard lamp for ISO 3664: 2016. Camera settings: $f = 2.5$, shutter speed = $1/100$ and ISO = 200. Image files are saved as JPEG format. Additionally, light diffusers covering each lamp and electronic ballast assured a uniform illumination system (Mendoza et al., 2006). Then measure the color of sample photos as RGB value by ImageJ software. Then convert the color values from RGB to CIELab color parameter ($L^* a^* b^*$) has three steps:

1) Convert nonlinear *RGB* values to linear *sRGB* values by using equations (1) and (2).

$$NR = \frac{R}{255}; NG = \frac{G}{255}; NB = \frac{B}{255} \quad (1)$$

$$r = \begin{cases} (NR + 0.055) / 1.005, & NR > 0.04045 \\ NR / 12.92, & NR \leq 0.04045 \end{cases}$$

$$g = \begin{cases} (NG + 0.055) / 1.005, & NG > 0.04045 \\ NG / 12.92, & NG \leq 0.04045 \end{cases}$$

$$b = \begin{cases} (NB + 0.055) / 1.005, NB > 0.04045 \\ NB / 12.92, NB \leq 0.04045 \end{cases} \quad (2)$$

2) *sRGB* values converted to CIE XYZ system using equation (3)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = 100 \times \begin{bmatrix} 0.4124564 & 0.3575761 & 0.1804375 \\ 0.2126729 & 0.7151522 & 0.0721750 \\ 0.0193339 & 0.1191920 & 0.9503041 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (3)$$

3) The CIE XYZ values are converted to the CIELAB system by equations (4) and (5)

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \begin{cases} 7.787x + \frac{16}{116}, x \leq 0.008856 \\ x^{1/3}, x > 0.008856 \end{cases}$$

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \begin{cases} 7.787y + \frac{16}{116}, y \leq 0.008856 \\ y^{1/3}, y > 0.008856 \end{cases} \quad (4)$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \begin{cases} 7.787z + \frac{16}{116}, z \leq 0.008856 \\ z^{1/3}, z > 0.008856 \end{cases}$$

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$$

$$a^* = 500 \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (5)$$

$$b^* = 200 \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]$$

L^* is a function of the green spectral contribution and is a measure of the brightness from black (0) to white (100). a^* is a function of the red-green difference. Positive a^* indicates redness; negative a^* indicates greenness. b^* is a function of the green-blue difference. Positive b^* indicates yellowness; negative b^* indicates blueness. The units within the L^* , a^* , b^* system give equal perception of color difference to a human observer (Oliver et al., 1992).

3. Results

A. Determine the L^* a^* b^* values of the Carbamate at different concentrations.

From experiment A. the relationship between Carbamate concentrations and L^* a^* b^* values are shown in Fig. 3. When concentration of Carbamate increases the L^* a^* b^* values will decrease in linear. From Fig. 3(a) L^* values were in darkness rang and darker when Carbamate concentrations increases. According to principles of GT-Test kit, if the sample is containing more

toxic residue, the color of the sample is darker (Gobthong, 2010). That can be concluded the GT-Test kit can detect the residue of Carbamate residue. The lower a^* value indicates the higher Carbamate concentration (Fig. 3(b)) and color of sample will closer to green. The lower b^* value indicates the higher Carbamate concentration (Fig. 3(c)) and color of sample will closer to blue.

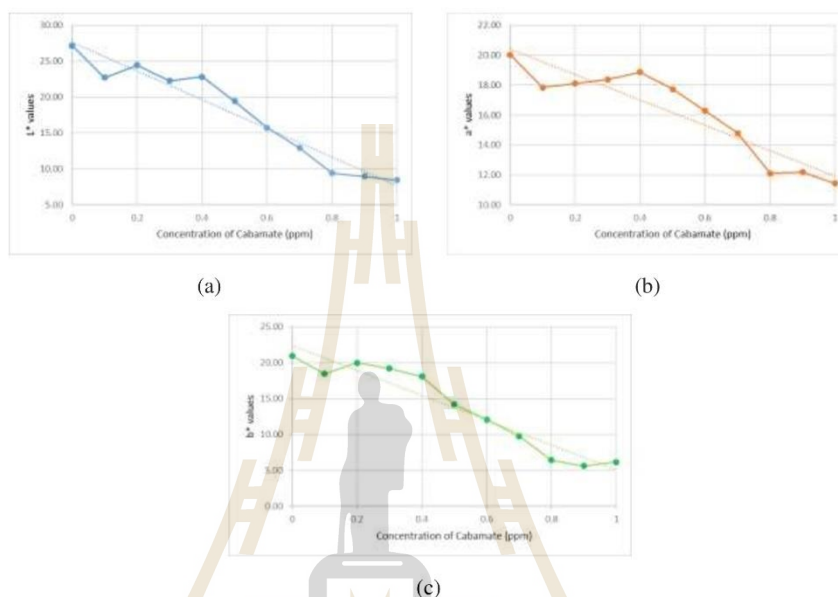


Fig. 3: The relationship between Carbamate concentrations and L^* a^* b^* values.

B. Effects of ultrasonic on Carbamate residue reduction in grapes.

From experiment B, the relationship between period time and L^* a^* b^* values when washing by ultrasonic at different frequencies: 28.9, 40.3 and 120.3 kHz are shown in Fig. 4. When using ultrasonic at 120.3 kHz the L^* value was increase in linear and has the slope of the trend more than frequency at 40.3 and 28.9 kHz (Fig. 4(a)). The L^* at 120 kHz at 15 minutes was increased from L^* at 0 minutes (not washed) to 45.36% while the L values at frequencies of 40.3 and 28.9 kHz are increased to 9.39% and 6.93%, respectively. That can be concluded the ultrasonic cleaning of grapes can reduce the toxic residue better if the duration of cleaning was increase and the best frequency in this research is 120.3 kHz.

The a^* value is decreasing as the period time increases (Fig. 4(b)) which contrary to experiment A. It may be because there are other chemicals that are not Carbamate in the samples.

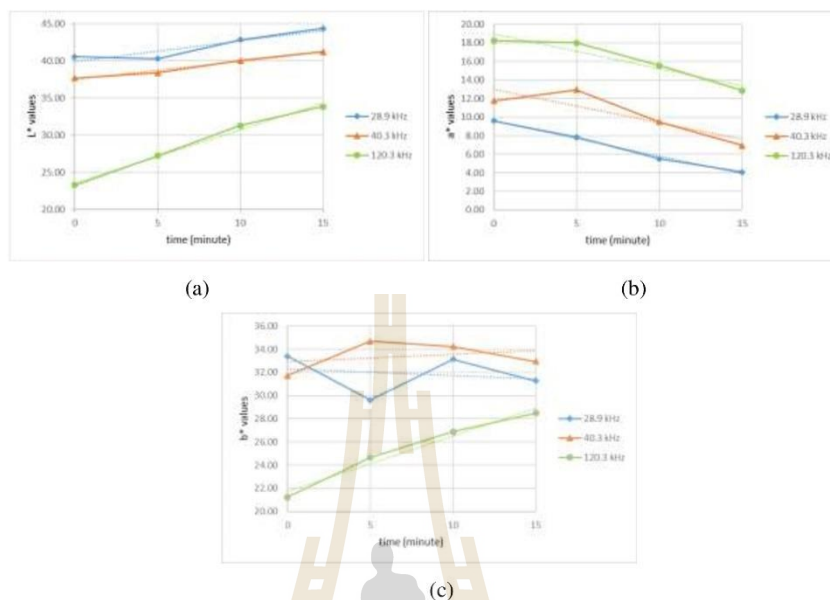


Fig. 4: Effect of ultrasonic frequencies and period time on L* a* b* values.

From Fig. 4(C) value of b* has clearly increase when period time increase for ultrasonic frequency of 120.3 kHz, but at frequencies of 28.9 kHz and 40.3 kHz tend of b* value unclear. However, the ultrasonic washer can reduce Carbamate content in grape. For consider of fig. 2 we found that at 120.3 kHz and 15 minutes of ultrasonic grape washing the color of sample and control are closely. Furthermore, image processing can be applied to evaluate Carbamate residue when GT-Test Kit was selected.

Acknowledgments

The authors wish to thank Suranaree University of Technology for supported this study.

4. References

- Gobthong, T. (2010). Handbook GT-Pesticide test. GT Store. Bang Kruai. Nonthaburi. Thailand.
- Keevil, J.G., H.E. Osman, J.D. Reed and J.D. Folts. (2000). Grape Juice, but not Orange Juice or Grapefruit Juice. Inhibits Human Platelet Aggregation. *Journal of Nutrition* 130: 53-56. doi: 10.1093/jn/130.1.53
- Mason, T. J. (1998). Power ultrasound in food processing – the way forward. pp. 105-126. in "Ultrasound in Food Processing". Povey, M. J. W. and Mason, T. J. (eds.). Blackie Academic & Professional, London.

- Mendoza, F., P. Dejmek, J. M. Aguilera. (2006). Calibrated color measurements of agricultural foods using image analysis. *Postharvest Biology and Technology* 41(3) 285–295. doi: 10.1016/j.postharvbio.2006.04.004
- Oliver, J. R., A. B. Blakeney, H. M. ALLEN. (1992). Measurement of Flour Color in Color Space Parameters. *Cereal Chem.* 69(5):546-551.
- Stein, J. H., J. G. Keevil, D. A. Wiebe, S. Aeschlimann and J. D. Folts, (1999). Purple Grape Juice Improves Endothelial Function and Reduces the Susceptibility of LDL Cholesterol To Oxidation in Patients with Coronary Artery Disease. *Circulation* 100: 1050-1055.
- Yilmaz, Y. and R. T. Toledo. (2004). Major Flavonoids in Grape Seeds and Skins: Antioxidant Capacity of Catechin, Epicatechin, and Gallic Acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 25: 255-260. doi: 10.1021/jf030117h



ประวัติผู้เขียน

นายทิวา สายประดิษฐ เกิดเมื่อวันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2537 เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาล โกรกพระ ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายที่โรงเรียนสตรีนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2558

ในปี พ.ศ. 2559 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย :

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ครั้งที่ 15, 13-14 กรกฎาคม พ.ศ. 2560, มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น. สมบัติทางกายภาพและเคมีขององุ่นสดไร้เมล็ดพันธุ์มารู ซีดเลส.

ได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ International Congress on Natural Sciences and Engineering 2019. Conference Place & Date: Fukuoka, Japan: 25-27 February 2019. Evaluating of Carbamate Residue in Grape Washed with Ultrasonic by Image Processing Technique.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี