การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการคั่วเมล็ดกาแฟ

Design of Experiment for Evaluating the Optimal Condition in Coffee Beans Roasting

ฐิติรัตน์ ลิ่มรัชชพงศ์

ณัฐวัตร ห้วยลึก

College of Innovative Technology and Engineering

โครงงานวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์
วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ปีการศึกษา 2562

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการคั่วเมล็ดกาแฟ

ฐิติรัตน์ ลิ่มรัชชพงศ์
ณัฐวัตร ห้วยลึก

CITE
College of Innovative Technology and Engineering

โครงงานวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์
วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ปีการศึกษา 2562

Design of Experiment for Evaluating the Optimal Condition in Coffee Beans Roasting

Thitirat Limratchapong

Nattawat Huailuek

College of Innovative Technology and Engineering

A Project submitted in Partial Fulfillment of Requirements for the

Management and Logistics Engineering

College of Innovative Technology and Engineering

Dhurakij Pundit University

2019

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

หัวข้อโครงงาน การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการคั่วเมล็ดกาแฟ

เสนอโดย ฐิติรัตน์ ลิ่มรัชชพงศ์

ณัฐวัตร ห้วยลึก

สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ อธิวัฒน์ ลีนะธรรม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมศาสตร์แล้ว

College of Innovative Technology and Engineering

L. Alinat .....ประธาน/ที่ปรึกษา

(อาจารย์ อธิวัฒน์ ลีนะธรรม)

.....กรรมการ

(อาจารย์ บุญชัย แซ่สิ้ว)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ณัฐธยาน์ โสกุล)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

.....

คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

วันที่ 22 เดือน พ.ย. พ.ศ. 62

หัวข้อโครงงาน	การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการคั่วเมล็ดกาแฟ	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวฐิติรัตน์ ลิ่มรัชชพงศ์	590107100030
	นายณัฐวัตร ห้วยลึก	590307100056
สาขาวิชา	วิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์	
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ อธิวัฒน์ ลีนะธรรม	
ปีการศึกษา	2562	

บทคัดย่อ

โครงงานมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดมาตรฐานของการทำงานให้กับเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟกเทอเรียลแบบ 2^k ที่ค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการคั่วเมล็ดกาแฟในเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนที่ทำให้ค่า %TDS (Total Dissatved Solid) เท่ากับ 1.50 ตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งตัวแปรต้นเป็นปัจจัยควบคุมได้ทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ และมุมของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ผลการทดลองพบว่า ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า และเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟมีผลต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) คือ ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า 800 วัตต์ และเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ 13.73 นาที ผู้จัดทำโครงงานได้ยืนยันผลการทดลองด้วยการทดสอบ T-test กับการคั่วเมล็ดกาแฟจำนวน 8 ครั้ง โดยตั้งสมมติฐานว่ากลุ่มตัวอย่างค่า %TDS (Total Dissolved Solid) เท่ากับ 1.50 หรือไม่ ผลคือค่า%TDS (Total Dissolved Solid) มีค่าเท่ากับ 1.50 ที่ค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถนำค่าระดับของแต่ละปัจจัยไปใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟได้จริง

คำสำคัญ: เครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้า, การออกแบบการทดลอง, แฟกเทอเรียลแบบ 2^k

.....ลงนามที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรม

(อาจารย์ อธิวัฒน์ ลีนะธรรม)

College of Innovative Technology and Engineering

Project Title	Design of Experiment for Evaluating the Optimal Condition in Coffee Beans Roasting		
Student Name	Miss Thitirat	Limratchapong	590107100030
	Mr. Nattawat	Huailuek	590307100056
Major Field	Management and Logistics Engineering		
Project Advisor	Mr. Atiwat Leenatham		
Semester/Academic Year	2019		

Abstract

The objective of this project was to set the standard of operation for the clay coffee roaster which uses an induction cooker. By using the design of experiment with 2^k factorial method at the significance level of 0.05 to find the optimal factor for roasting coffee beans by heating which causes the % TDS (Total Dissolved Solid) to be at 1.50 as determined. There are three control factors which are the initial variable, including the watts of the induction cooker, the time for roasting coffee beans, and the corner of the coffee roasting machine. Each factor is separated into 2 levels and repeat the experiment 3 times. Results indicated that the Wattage value of the induction cooker and the time for roasting coffee beans affect the % TDS (Total Dissolved Solid). thus, the optimum factor for the % TDS (Total Dissolved Solid) when the watts of the induction cooker at 800-watt and the time for roasting coffee beans is 13.73 minutes. The project was confirmed by using the T-test with the roasting of coffee for 8 times. Assuming that the % TDS (Total Dissolved Solid) equal to 1.50 or not, so the result is the % TDS (Total Dissolved Solid) is equal to 1.50 at the value of the significant difference is 0.05. Therefore, the level of each factor can be implemented to roast coffee beans.

Keywords: the clay coffee roaster, design of experiment, 2^k factorial method

L. Atiwat .....Advisor's Signature

(Mr. Atiwat Leenatham)

College of Innovative Technology and Engineering

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการให้คำแนะนำและการช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งของท่านอาจารย์อธิวัฒน์ ลีนะธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่กรุณาสละเวลาให้แนวคิดและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ โดยชี้ให้เห็นมุมมองของปัญหาต่าง ๆ พร้อมทั้งควบคุมดูแลการทำโครงงาน รวมถึงการแก้ไขในส่วนที่บกพร่องต่าง ๆ และต้องขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบโครงงานที่ได้ให้คำแนะนำรวมทั้งข้อคิดเพิ่มเติมทำให้โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ไพศาลภาณุมาศ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้ความช่วยเหลือในด้านข้อมูลของเครื่องคั่วกาแฟและดำเนินการทดลองจนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ทุกท่าน

ขอขอบพระคุณบาริสต้าประจำร้าน Blend cafe ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการทดลองจนทำให้โครงงานสำเร็จตามวัตถุประสงค์

ในสุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจและสนับสนุนข้าพเจ้าเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ฐิติรัตน์ ลิ่มรัชชพงศ์
ณัฐวัตร ห้วยลึก

College of Innovative Technology and Engineering

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูปภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 วิธีการดำเนินโครงงาน	2
1.5 ประโยชน์ของโครงงาน	2
1.6 แผนงานการจัดทำโครงงาน	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ประวัติกาแฟ	4
2.2 ชนิดของเมล็ดกาแฟ	5
2.3 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ	6
2.4 การคั่วเมล็ดกาแฟ	8
2.5 การบดเมล็ดกาแฟ	10
2.6 Total Dissolved Solid (TDS)	13
2.7 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล (Factorial Experiment Design)	14
2.8 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)	14
2.9 การทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบ 2^3	15
2.10 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking)	20
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน	27
3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น	27
3.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและกำหนดวิธีการแก้ไข	35
3.3 กำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนอง	35

College of Innovative Technology and Engineering

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 วิเคราะห์ตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง	36
3.5 ออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล	36
3.6 เก็บข้อมูลผลการทดลอง	39
3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง	39
3.8 ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล	39
บทที่ 4 ผลการศึกษา	40
4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง	40
4.2 การเลือกโมเดลการทดลองที่เหมาะสม	42
4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง	44
4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยที่ทำการทดลอง	46
4.5 การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย	47
4.6 การทดสอบเพื่อยืนยันผล	49
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน	51
5.2 ข้อจำกัดของโครงงาน	51
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในโครงงาน	52
5.4 ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน	56

College of Innovative Technology and Engineering

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนงานการจัดทำโครงงาน	3
2.1	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของ 2^3 Factorial Design	16
2.2	ตารางแสดงเครื่องหมายคอนแทรสต์ของการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล 2^3	19
2.3	ตารางสรุปการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
3.1	ตารางแสดงปัจจัยและระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง	37
3.2	ตารางแสดงการสุ่มตัวอย่างและการออกแบบการทดลองที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้นโดยโปรแกรม Minitab 17	38
4.1	ตารางผลการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล 2 ระดับ 3 ปัจจัย	41
4.2	ตารางทดสอบเพื่อยืนยันผล	49

College of Innovative Technology and Engineering

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้แก๊สหุงต้มในการให้ความร้อน	6
2.2	เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้ขดลวดความร้อน	7
2.3	เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้รังสีอินฟราเรดในการให้ความร้อน	7
2.4	เครื่องบดกาแฟแบบ Burr grindin	11
2.5	เครื่องบดกาแฟแบบ Blade grinder	11
2.6	เครื่องบดกาแฟแบบโกร่งและลูกโกร่ง	12
2.7	เครื่องบดกาแฟแบบ Roller grinder	12
2.8	การใช้เครื่อง Refractometer	13
2.9	การใช้เครื่อง Refractometer	13
2.10	Corner Point	15
2.11	กราฟแสดงการพล๊อตความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดมีการกระจายแบบปกติ	20
2.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายเป็นแบบสุ่ม	21
2.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายไม่เป็นแบบสุ่ม	22
3.1	เมล็ดกาแฟคั่วอ่อน	28
3.2	เมล็ดกาแฟคั่วกลาง	28
3.3	เมล็ดกาแฟคั่วเข้ม	29
3.4	เครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้า	29
3.5	เตาแม่เหล็กไฟฟ้า	30
3.6	อุปกรณ์บรรจุเมล็ดกาแฟ	31
3.7	มอเตอร์กระแสตรง	31
3.8	ลูกล้อยาง (Rubber Wheel)	32
3.9	ปรับความเอียงของหม้อดินให้ทำมุมตามองศาที่กำหนด	32
3.10	การเลือกย่านอุณหภูมิที่ต้องการ	33
3.11	เมล็ดกาแฟดิบที่เตรียมไว้ลงในหม้อดินและปิดฝา	33
3.12	การกดสวิตช์มอเตอร์	34
3.13	การเทเมล็ดกาแฟลงบนภาชนะ	34
3.14	เครื่อง Coffee Refractometer	39

College of Innovative Technology and Engineering

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจาก Minitab ก่อนลดรูปปัจจัย 43

4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจาก Minitab หลังจากลดรูปปัจจัย 43

4.3 แสดงการแจกแจงแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง 44

4.4 การทดสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง 45

4.5 การตรวจสอบความเสถียรภาพของค่าแปรปรวน 46

4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง 47

4.7 ผลการวิเคราะห์สภาวะการทำงานที่เหมาะสม 48

4.8 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมแต่ละคู่ของปัจจัย 48

4.9 กราฟการกระจายตัวแบบปกติของค่า %TDS ในการทดสอบเพื่อยืนยันผล 50

4.10 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม 50

College of Innovative Technology and Engineering

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การคั่วกาแฟเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะบ่งบอกถึงรสชาติกาแฟเครื่องคั่วกาแฟมีหลากหลายชนิดแต่ละชนิดก็มีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันออกไปจึงทำให้เครื่องคั่วกาแฟที่มีประสิทธิภาพที่ดีมักจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงทำให้ร้านกาแฟขนาดเล็กต้องซื้อเมล็ดกาแฟที่ผ่านการคั่วสำเร็จมาใช้ในการชงกาแฟ

เนื่องจากปัจจุบันในประเทศไทยมีคนนิยมดื่มกาแฟกันมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นวัยรุ่นจนถึงวัยทำงานปัจจุบันมูลค่าธุรกิจร้านกาแฟพุ่งขึ้นสูงถึง 17,000 ล้านบาท เติบโตปีละ 15-20% จากปัจจัยสำคัญคือ วัฒนธรรมการดื่มกาแฟที่กลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันคนไทยโดยอัตราเฉลี่ยในการบริโภคกาแฟของคนไทยอยู่ที่ปีละ 300 แก้ว/คน/ปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นได้อีกมากเมื่อเทียบกับปริมาณการบริโภคกาแฟจากหลายประเทศ อาทิ ญี่ปุ่นที่บริโภคกาแฟเฉลี่ยอยู่ที่ 400 แก้ว/คน/ปี ยุโรปบริโภคกาแฟเฉลี่ยอยู่ที่ 600 แก้ว/คน/ปี หรือ ฟินแลนด์บริโภคกาแฟเฉลี่ยอยู่ที่ 1,000 แก้ว/คน/ปี จากปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้ธุรกิจร้านกาแฟมีการแข่งขันที่สูงขึ้นแต่ละร้านต้องสร้างจุดเด่นและความแตกต่างเพื่อดึงดูดลูกค้าซึ่งนอกจากการออกแบบและตกแต่งร้านแล้วยังมีการนำเสนอถึงคุณภาพของกาแฟและความสามารถของบาริสต้าควบคู่ไปด้วยที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกลุ่มผู้ดื่มกาแฟรุ่นใหม่ให้ความใส่ใจกับรสชาติและคุณภาพของกาแฟมากขึ้นโดยการชงกาแฟให้ได้รสชาติและคุณภาพดีนั้นต้องอาศัยทักษะ ความรู้ ความสามารถของบาริสต้าซึ่งต้องใส่ใจตั้งแต่การเลือกเมล็ดกาแฟ การคั่วเมล็ดกาแฟ วิธีการชงกาแฟและการสร้างสรรค์เมนูกาแฟให้เป็นที่ถูกใจลูกค้า (เส้นทางเศรษฐีออนไลน์, 2561)

การคั่วเมล็ดกาแฟไม่ใช่แค่การให้ความร้อนแล้วจะได้รสชาติกาแฟที่ดียังมีปัจจัยอีกมากที่มีผลต่อการให้รสชาติ เช่น เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ อุณหภูมิในการคั่วเมล็ดกาแฟ เป็นต้นซึ่งปัจจัยเหล่านี้ก็จะทำให้ค่าความเข้มข้นที่แตกต่างกันออกไป การจัดทำโครงการในครั้งนี้จึงเป็นการเพิ่มศักยภาพของเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนและพัฒนาการคั่วกาแฟให้ได้ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

College of Innovative Technology and Engineering

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการคั่วเมล็ดกาแฟในเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อน
2. เพื่อศึกษาหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ใช้เครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนในการคั่วเมล็ดโดยเป็นการคั่วแบบระบบปิด
2. ใช้กาแฟพันธุ์ PAPUA NEW GUINEA PNG SIGRI ESTATE PB ขนาดเกรด A มีขนาดเมล็ดกาแฟประมาณ 5.5 มิลลิเมตร ความชื้นไม่เกิน 13% โดยในการทดลองจะทำการคั่วเมล็ดกาแฟครั้งละ 200 กรัม
3. พิจารณาเฉพาะปัจจัยที่ควบคุมได้ที่ส่งผลให้เกิดค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ที่ 1.50 ได้แก่ 1. ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า 2. เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ 3. มุมของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ
4. ใช้บาริสต้าจากร้าน Blend café ในการดริฟกาแฟเพื่อหาค่า %TDS
5. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 17

College of Innovative Technology and Engineering

1.4 วิธีการดำเนินโครงงาน

1. ศึกษาสภาพปัจจุบันและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น
2. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและกำหนดวิธีการแก้ไข
3. กำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนอง
4. วิเคราะห์ตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง
5. ออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล
6. เก็บข้อมูลผลการทดลอง
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง
8. ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล

1.5 ประโยชน์ของโครงงาน

1. เพื่อทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการคั่วเมล็ดกาแฟของเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าและปรับตั้งค่าต่าง ๆ เพื่อใช้กำหนดเป็นมาตรฐาน
2. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการจะหาค่า %TDS (Total Dissolved Solid) อื่น ๆ

1.6 แผนงานการจัดทำโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แผนงานการจัดทำโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ.2562								
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1. ศึกษาสภาพปัจจุบันและวิเคราะห์ปัญหาหาที่เกิดขึ้น	↔	↔							
2. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและกำหนดวิธีการแก้ไข		↔	↔						
3. กำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนอง				↔					
4. วิเคราะห์ตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง				↔	↔				
5. ออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล					↔	↔			
6. เก็บข้อมูลผลการทดลอง						↔	↔		
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง							↔	↔	
8. ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล								↔	↔

College of Innovative Technology and Engineering

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 เป็นการนำแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมานำเสนอตามหัวข้อ ดังนี้

2.1 ประวัติกาแฟ

2.2 ชนิดของเมล็ดกาแฟ

2.3 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

2.4 การคั่วเมล็ดกาแฟ

2.5 การบดเมล็ดกาแฟ

2.6 Total Dissolved Solid (TDS)

2.7 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล (Factorial Experiment Design)

2.8 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

2.9 การทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบ 2^3

2.10 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking)

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

College of Industrial Technology and Engineering

2.1 ประวัติกาแฟ

กาแฟหรือ Coffee มีชื่อทางพฤกษศาสตร์คือ Coffee Arabica L. อยู่ในวงค์ Rubica Ceae และมีชื่อสามัญว่า Arabica Coffee, Common Coffee กาแฟเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดปานกลางสูงประมาณ 3-4 เมตร ใบสีเขียวแตกออกจากข้อเป็นคู่ ๆ ดอกออกตามข้อของกิ่งมีสีขาว กลิ่นหอม ระยะเวลาตั้งแต่การออกดอกถึงการเก็บเกี่ยวใช้เวลาประมาณ 8-12 เดือน หลังจากปลูกกาแฟได้ 2-3 ปี กาแฟจะเริ่มออกดอกและติดผล ผลของกาแฟเรียกว่า "Coffee Cherry" มีลักษณะค่อนข้างกลม ขณะที่ผลยังอ่อนมีสีเขียวและเมื่อผลแก่จัดจะมีสีแดงในแต่ละข้อของกิ่งกาแฟติดผลประมาณ 10-60 ผลแต่ละผลมีเมล็ดกาแฟอยู่ 2 เมล็ดโดยส่วนแบนของเมล็ดประกบติดกัน กาแฟพืชที่มีสารออกฤทธิ์ต่อจิตและระบบประสาทในกาแฟจะมีสารคาเฟอีนโดยในแต่ละส่วนของต้นกาแฟจะมีสารคาเฟอีนที่แตกต่างกันออกไป เช่น ในใบกาแฟมีคาเฟอีนอยู่ประมาณ 1–1.25%

เปลือกและผลชั้นนอกของกาแฟมีคาเฟอีนและกรดมอลลิค แมนไนท์ น้ำตาลส่วนเมล็ดกาแฟมีคาเฟอีนอยู่ประมาณ 0.72-2.43% กรดมอลลิค กรดซิตริก โปรตีน กลูโคส กรดCoffee-ionic และน้ำมันหอมระเหยต่าง ๆ นอกจากนี้กาแฟยังมีสรรพคุณทางยากระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง แก้ง่วงนอน กระตุ้นระบบหายใจ ช่วยการทำงานของกระเพาะอาหารและไต ขับปัสสาวะ ช่วยย่อยอาหาร ในระดับความเข้มข้นหนึ่ง ๆ กาแฟยังช่วยล้างฤทธิ์ของแอลกอฮอล์ได้และบรรเทาอาการเจ็บปวดได้ในระดับหนึ่ง กาแฟให้ทั้งประโยชน์หลายอย่างในขณะเดียวกันก็ให้โทษสำหรับผู้ที่มีโรคประจำตัวบางชนิด

2.2 ชนิดของเมล็ดกาแฟ

พันธุ์กาแฟ ในโลกนี้มีกาแฟมากมายหลากพันธุ์หลายชนิดแต่ที่รู้จักและนิยมปลูกเพื่อการค้าและมีขายกันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 พันธุ์คือ อาราบิก้าและโรบัสต้า

2.2.1 พันธุ์อาราบิก้า

เป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากที่สุดในโลกมีปริมาณการผลิตถึง 80% ในตลาดกาแฟโลกแต่จะมีจำนวนเพียง 1 ใน 8 เท่านั้นที่เป็นกาแฟที่มีคุณภาพได้มาตรฐานและเป็นที่นิยม กาแฟชนิดนี้ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณสารกาแฟชั้นดีมีกลิ่นและรสชาติดีที่สุด เมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้านี้จะมีรูปทรงค่อนข้างเรียวผอม กาแฟพันธุ์นี้จะมีกลิ่นหอมหวานอบอวล ซับซ้อนคล้ายกลิ่นช็อกโกแลตและดอกไม้รสชาตินุ่มละมุนมีปริมาณคาเฟอีนประมาณ 1.1–1.7% หรือประมาณครึ่งหนึ่งของพันธุ์โรบัสต้าในสัดส่วนเท่ากัน กาแฟอาราบิก้าชอบความเย็นเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีในพื้นที่ที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 800–2,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล สำหรับในประเทศไทยนิยมปลูกในเขตพื้นที่ทางภาคเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราย ตาก น่าน แม่ฮ่องสอน ลำปาง สายพันธุ์ที่นิยมปลูกมากคือ สายพันธุ์คาร์ติมอร์

2.2.2 พันธุ์โรบัสต้า

เป็นกาแฟพันธุ์ที่ต้องการความชุ่มชื้นสูงปลูกง่ายให้ปริมาณผลผลิตมากนิยมปลูกกันมากในทวีปแอฟริกาและเอเชียสามารถปลูกในพื้นที่ที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 500-600 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลสำหรับประเทศไทยนิยมปลูกกันทางภาคใต้ เช่น จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช เมล็ดพันธุ์ของโรบัสต้าจะอวบอ้วนด้านหลังมีลักษณะนูนเป็นหลังเต่ารอยผ่าไส้กลางเมล็ดจะเป็นเส้นค่อนข้างตรง กาแฟสายพันธุ์นี้กลิ่นไม่หอมหวานอบอวลไม่ซับซ้อนรสชาติฝาดกว่าพันธุ์อาราบิก้าและมีปริมาณคาเฟอีนสูงกว่า 1-2 เท่าตัวหรือประมาณ 2-4.5% ถึงแม้ว่าจะให้รสชาติด้อยกว่า มีรสฝาดมากกว่าแต่ Body (ความเข้มข้น) ของกาแฟพันธุ์นี้จะมีมากกว่าสามารถ

รับรู้ได้เวลาดื่มส่วนใหญ่จะนำมาผลิตเป็นกาแฟสำเร็จรูปหรือนำมาผสมกับกาแฟพันธุ์อาราบิก้าเพื่อให้ได้รสชาติที่แตกต่างออกไป

2.3 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

เครื่องคั่วกาแฟที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นที่ยอมรับจากโรงงานคั่วกาแฟทั้งพันธุ์อาราบิก้าและโรบัสต้าให้ได้กลิ่นต่าง ๆ ตามความต้องการในระดับมาตรฐานสากลซึ่งจะมีระบบควบคุมอุณหภูมิในถังคั่วให้สัมพันธ์กับการเปิด-ปิดของแก๊สหุงต้มซึ่งเป็นเชื้อเพลิงแบบอัตโนมัติมีชุดพัดลมดูดฝุ่นละอองและความชื้นในขณะคั่วมีกระจกทนความร้อนสำหรับให้มองเห็นเมล็ดกาแฟเพื่อดูสีในขณะคั่วอีกทั้งยังมีอุปกรณ์สำหรับนำเมล็ดกาแฟภายในถังคั่วออกมาตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบและนำเมล็ดกาแฟกลับเข้าไปในถังคั่วได้สะดวกโดยไม่ต้องหยุดเครื่องภายหลังการคั่วเสร็จจะมีระบบทำให้เมล็ดกาแฟเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟหลัก ๆ มีอยู่ 3 แบบ คือ เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้แก๊สหุงต้มในการให้ความร้อน เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้ขดลวดคามร้อนในการให้ความร้อนและเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้รังสีอินฟราเรดในการให้ความร้อน

2.3.1 ประเภทของเครื่องคั่วกาแฟ

2.3.1.1 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้แก๊สหุงต้มในการให้ความร้อน

เครื่องประเภทนี้ใช้แก๊สหุงต้มในการให้ความร้อนกับผิวของถังคั่วเมล็ดกาแฟเมล็ดกาแฟจะได้รับความร้อนโดยการสัมผัสกับผิวโลหะโดยตรง (Directly-transferred heat) เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟชนิดนี้สามารถคั่วแบบต่อเนื่องได้ตลอดมีขนาดใหญ่ ราคาแพง และไม่สามารถคั่วได้ในปริมาณน้อย ๆ ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้แก๊สหุงต้มในการให้ความร้อน

ที่มา : Coffee Education

2.3.1.2 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้ขดลวดความร้อน

เครื่องประเภทนี้ใช้ลมร้อนในการหมุนเวียนเพื่อให้ความร้อนสัมผัสกับเมล็ดกาแฟ โดยทั่วไปจะใช้ขดลวดความร้อนหรือฮีตเตอร์ครีบในการให้ความร้อน อุณหภูมิที่จะใช้ในการคั่วนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของขดลวดความร้อนและฮีตเตอร์ครีบ ดังภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้ขดลวดความร้อน

ที่มา : Coffee Education

2.3.1.3 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้รังสีอินฟราเรดในการให้ความร้อน

อินฟราเรดมีอยู่ 2 ประเภท คือ อินฟราเรดไฟฟ้าและอินฟราเรดแก๊สอินฟราเรดไฟฟ้านั้นจะเป็นการให้ความร้อนโดยการกำเนิดรังสีช่วง 3-10 ไมโครเมตรและไม่มีเปลวไฟ มีขนาดเล็กประหยัดเนื้อที่อินฟราเรดแก๊สจะให้ความร้อนในการแผ่รังสีอินฟราเรดแก๊สจะช่วยในการประหยัดแก๊สลงไปประมาณ 40% เทียบกับการให้ความร้อนแบบใช้แก๊สหุงต้ม ดังภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 เครื่องคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้รังสีอินฟราเรดในการให้ความร้อน

ที่มา : Coffee Education

2.4 การคั่วเมล็ดกาแฟ

การคั่วเมล็ดกาแฟคือการเพิ่มความร้อนให้กับเมล็ดกาแฟไปเรื่อย ๆ จนสุกการคั่วเมล็ดกาแฟจึงเป็นการไล่น้ำที่ค้างอยู่ในเมล็ดกาแฟออกไปเมื่อความชื้นถูกขจัดออกไปหมดเมล็ดกาแฟจะเหมือนเนื้อไม้และแก๊สจะเริ่มก่อตัวขึ้นภายในเมล็ดซึ่งจะดีดตัวออกเหมือนเมล็ดข้าวโพดโดยจะขยายขนาดออกเป็น 2 เท่าซึ่งระดับการคั่วตอนนี้เรียกว่าการประทุหรือการแตกตัว CRACK โดยน้ำมันที่อยู่ในเมล็ดจะระเหยออกมาเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้วจะมีสีคล้ำขึ้นส่วนคาร์โบไฮเดรตและไขมันจะกลายเป็นกลิ่นหอมระเหยซึ่งโปรตีนที่มีอยู่มากมายและกรดออแกนิกจะแปรสภาพเป็นรสชาติของกาแฟ เหมือนกับการทำไวน์ วิธีการคั่วกาแฟจะเป็นตัวบอกว่ากาแฟจะออกมาในรูปใดหากนำไปคั่วไม่นานก็จะได้รสชาติของพันธุ์ไม้และผลจากเมล็ดกาแฟถ้าใช้เวลาคั่วนานก็จะให้รสชาติเข้มข้น หวานและได้กลิ่นไหม้หอมกรุ่นโดยจะต้องมีคนที่ทำหน้าที่คอยประเมินตลอดเวลากับกาแฟที่คั่วเพื่อให้ได้ความสม่ำเสมอซึ่งจะทำให้คุณภาพกาแฟดีโดยมีรสชาติที่ดีในขณะเดียวกันต้องมีการดูแลให้แน่ใจว่าเมล็ดกาแฟนั้นจะไม่ถูกคั่วจนไหม้และวิธีการปลูกกาแฟก็ยังมีผลโดยตรงต่อการตัดสินใจเลือกวิธีการคั่วเมล็ดกาแฟอีกด้วย

2.4.1 ระดับการคั่วเมล็ดกาแฟ

2.4.1.1 การคั่วในระดับ Light Roast

สีของเมล็ดกาแฟจะมีความอ่อนมากที่สุดจากทั้งหมดใช้เวลาในการคั่วเพียงระยะสั้น ๆ แค่ 5-10 นาทีเท่านั้นและจะใช้ความร้อนอยู่ที่ระดับ 400 องศาฟาเรนไฮต์ สีสันที่ได้จะยังคงความเป็นสีของกาแฟธรรมชาติเอาไว้แบบจาง ๆ แต่จะเข้มด้วยสีเหลืองนวลอ่อน ๆ ส่วนเรื่องรสชาติจะให้ความเปรี้ยวที่โดดเด่นออกมากับความขมหรือที่เรียกกันว่า Acidity

2.4.1.2 การคั่วในระดับ Medium Roast

การคั่วที่ใช้เวลามากขึ้นกว่าแบบแรกเป็น 11-15 นาที สีสันของเมล็ดกาแฟที่ได้จะเข้มขึ้นมาอีกเล็กน้อยส่วนอุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ไม่เกิน 450 องศาฟาเรนไฮต์ บางครั้งเมล็ดกาแฟจะออกเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือมีสีเหลืองเข้มตามชนิดของเมล็ดกาแฟส่วนรสสัมผัสเมื่อนำมาผ่านการบดและชงจะให้รสชาติเปรี้ยวจาง ๆ หลงเหลืออยู่แต่จะโดดเด่นไปที่ความหวานมากขึ้น

2.4.1.3 การคั่วในระดับ Viennese Roast

การคั่วที่มีความเข้มมากขึ้นให้สีของเมล็ดกาแฟเข้มกว่าแบบ Medium Roast ที่สำคัญสิ่งที่จะออกมาจากผิวของเมล็ดกาแฟก็คือน้ำมันหอมระเหยส่งผลให้กาแฟที่คั่วในระดับนี้มีความหอมมากกว่าชนิดอื่นส่วนใหญ่ใช่เวลาในการคั่วตามแบบมาตรฐานประมาณ 14-16 นาที ด้วยความร้อน 450 องศาฟาเรนไฮต์ สังเกตได้ว่าบริเวณผิวจะมีความมันเนื่องจากตัวน้ำมันในเมล็ดมาเคลือบผิวเอาไว้

2.4.1.4 การคั่วในระดับ Dark Roast

เป็นที่รู้จักกันในอีกชื่อหนึ่งว่า Dark Brown สีของเมล็ดจะเป็นน้ำตาลเข้มทั้งหมด มีความมันวาวมากขึ้นเนื่องจากน้ำมันที่ออกมาเคลือบมากกว่าอุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ที่ประมาณ 480 องศาฟาเรนไฮต์ ใช้เวลา 16-18 นาที ในระยะนี้ความเปรี้ยวภายในเมล็ดจะหายไปได้รสชาติที่นุ่มกลมกล่อมและให้กลิ่นที่หอมอย่างมีเสน่ห์

2.4.1.5 การคั่วในระดับ Continental

เป็นการคั่วที่ถือได้ว่ามีความเข้มเป็นอย่างมากสีของเมล็ดกาแฟที่ได้จะอยู่ในระดับเข้มที่สุดไปจนถึงสีดำถือว่าเป็นการคั่วแบบพิเศษที่ต้องใช้ความสามารถสูงมักนิยมนำเอาไปใช้บดเพื่อทำเป็นกาแฟชนิด espresso การคั่วจะต้องผ่านระยะเวลาประมาณ 17-19 นาที เมล็ดกาแฟจะถูกดึงเอากลิ่นหอมของมันออกมาอย่างเต็มที่ให้รสสัมผัสที่น่าสนใจสำหรับคนชอบการดื่ม espresso เพราะจะได้กลิ่นของน้ำมันจากเมล็ดที่ระเหยออกมาจนเห็นได้ชัดและกลิ่นไหม้ผสมผสานกันอย่างลงตัวเป็นรสชาติที่คอกาแฟส่วนใหญ่นิยมเลือกดื่มเนื่องจากให้สัมผัสที่นุ่มลึกและเต็มเปี่ยมไปด้วยความเข้มอย่างสมบูรณ์แบบ

ปัจจุบันระดับการคั่วเมล็ดกาแฟที่ได้รับความนิยมและมีการค้าและการขายทั่วไปจะมีอยู่ 3 ระดับ คือ การคั่วในระดับ Light Roast การคั่วในระดับ Medium Roast และการคั่วในระดับ Dark Roast

2.4.2 การเปลี่ยนแปลงของเมล็ดกาแฟระหว่างคั่ว

2.4.2.1 ระยะแรก Dying Phase

กระบวนการคั่วช่วงแรกเป็นช่วงที่เมล็ดกาแฟจะมีการดูดซับพลังงานความร้อนจากเตาคั่วกาแฟทำให้เมล็ดสูญเสียความชื้น น้ำหนักและสีของเมล็ดจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินอมเขียวเริ่มกลายเป็นสีเขียวอมเหลือง

2.4.2.2 ระยะที่สอง Mailard Reaction

ระยะที่สารกาแฟเริ่มที่จะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองซีดจนเข้มเป็นสีน้ำตาลจากกลิ่นพืชสดไปเป็นกลิ่นคล้ายขนมปังธัญพืช ไม้หอมรมควันที่เกิดขึ้นในช่วงท้ายของระยะนี้จะมีสีขาวและขั้นตอนนี้เมล็ดกาแฟจะมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 8-10% กระบวนการทางเคมีภายในเมล็ดกาแฟจะเริ่มเกิดขึ้นมากมายในระยะนี้ น้ำตาลภายในเมล็ดกาแฟเริ่มเปลี่ยนแปลงมากมาย

2.4.2.3 ระยะที่สาม First Crack (การแตกตัวครั้งแรก)

เข้าสู่การ Develop 1st Crack เพราะความร้อนระหว่างการคั่วทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำไปเป็นไอน้ำ (hydrolysis) ทำให้เกิดความดันต่อผนังเซลล์และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate oxidation) ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้รอยต่อกลาง

College of Innovative Technology and Engineering

เมล็ดแตกแยกออก เกิดเสียงเมล็ดแตก สีของเมล็ดเปลี่ยนจากเหลืองซีดเป็นสีเหลืองน้ำตาล สีน้ำตาลซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลโมเลกุลรวม (polysaccharides) ควันที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะมีสีออกเทาเมื่อมีการระเหยน้ำภายในเซลล์มากขึ้น (dehydration) โครงสร้างแข็ง (woody structure) ของเมล็ดจะถูกทำลายลงทำให้เมล็ดพองตัวขยายขนาดใหญ่กว่าเมล็ดดิบประมาณร้อยละ 40-60 โดยปริมาตรเมล็ดมีความเปราะมากขึ้น (ความหนาแน่นของเมล็ดลดลง) สารระเหยได้ (volatile substance) เพิ่มมากขึ้นและเยื่อหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลจะหลุดออกเป็นสะเก็ดเล็ก ๆ (chaff)

2.4.2.4 ระยะที่สี่ 2ND Crack

ขณะนี้ความร้อนที่เกินจากเตาไฟนั้นไม่มีผลเท่าใดนักกับเมล็ดกาแฟเพราะเมล็ดกาแฟได้เก็บความร้อนไว้อย่างเต็มที่แล้วและที่เรียกเป็นความร้อนสะสมปฏิกิริยา Pyrosis เสียงแตกของเมล็ดจะหยุดลงแต่ปฏิกิริยาต่าง ๆ ยังคงดำเนินต่อไป การเปลี่ยนแปลงของผนังเมล็ดกาแฟส่งผลต่อเนื่องให้เกิดการแตกตัวครั้งที่สองหรือ 2nd Crack กลิ่น Roast Flavour เข้ามาแทนที่กลิ่นกาแฟดั้งเดิมอย่างช้า ๆ โครงสร้างภายนอกของเมล็ดกาแฟนั้นยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่พบว่าเริ่มมีความมันวาวที่ผิวเมล็ดเป็นมันอันเกิดจากการสูญเสียความชื้นออกไปมากขึ้นเมื่อน้ำมันที่ผิวเมล็ดได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องระยะนี้ถือเป็นการจบการคั่วกาแฟที่ระยะสุดท้ายแล้วที่คนส่วนใหญ่นิยมทานกาแฟกัน

College of Innovative Technology and Engineering

2.5 การบดเมล็ดกาแฟ

การบดเมล็ดกาแฟบางครั้งอาจเรียกกระบวนการบดเมล็ดกาแฟว่า “มิลล์” ซึ่งเมล็ดกาแฟที่บดแล้วจะเสื่อมเร็วกว่าเมล็ดกาแฟคั่ว เนื่องจากการสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ดังนั้นถ้าคุณต้องการดื่มกาแฟที่สดใหม่ก็ควรที่จะบดกาแฟในปริมาณเฉพาะที่ต้องการชงต่อคราวเท่านั้น โดยทั่วไปการบดกาแฟมี 4 กรรมวิธี ได้แก่

2.5.1 Burr grinding

เครื่องบดแบบ Burr มีทั้งแบบธรรมดากับแบบไฟฟ้าการบดด้วย burr grinder จะได้ผงกาแฟบดที่มีความละเอียดสม่ำเสมอและยังช่วยปลดปล่อยน้ำมันในเมล็ดกาแฟซึ่งจะส่งผลทำให้กาแฟมีความหอมกรุ่นมากยิ่งขึ้นอีกทั้งเครื่องบดหลายรุ่นยังมาพร้อมกับระบบอัตโนมัติทำให้สามารถเลือกความละเอียดของการบดได้อย่างง่ายดายตั้งแต่การบดหยาบสำหรับเฟรนช์เพรสไปจนถึงบดละเอียดสำหรับเอสเปรซโซ ดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 เครื่องบดกาแฟแบบ Burr grindin

2.5.2 Blade grinder

เครื่องบดกาแฟในลักษณะนี้จะใช้ใบมีด (blade) ในการบดเมล็ดกาแฟเครื่องบดชนิดนี้มักจะมีราคาที่ถูกกว่า burr grinder และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าแต่การบดด้วย blade grinder มีข้อเสีย คือ ความละเอียดของผงกาแฟไม่มีความสม่ำเสมอละเอียดบ้างหยาบบ้างอีกทั้งการบดกาแฟด้วยวิธีนี้ยังก่อให้เกิดแรงเสียดทานซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดความร้อนในระหว่างการบด อย่างไรก็ตามถ้าบดกาแฟในปริมาณเพียงเล็กน้อยความร้อนที่เกิดขึ้นจะยังไม่มากพอจนมีผลกระทบต่อรสชาติของกาแฟนอกจากนี้ blade grinder อาจทำให้เกิดผงกาแฟที่มีลักษณะละเอียดมากเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดการอุดตันได้ โดยเฉพาะในเครื่องชงกาแฟเอสเปรซโซ ดังภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.5 เครื่องบดกาแฟแบบ Blade grinder

ที่มา : wisebread.com

2.5.3 โกร่งและลูกโกร่ง (Mortar and Pestle)

สำหรับการบดกาแฟด้วยวิธีนี้คือวิธีการบดกาแฟที่ทำให้กาแฟมีเนื้อละเอียดที่สุด เพราะสามารถควบคุมกระบวนการบดกาแฟได้ ดังภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6 เครื่องบดกาแฟแบบโกร่งและลูกโกร่ง

ที่มา : shutterstock.com

2.5.4 เครื่องบดแบบที่ใช้ลูกกลิ้ง (roller grinder)

โดยจะใช้ลูกกลิ้ง (roller) กลิ้งไปบนร่องเพื่อบดเมล็ดกาแฟ ผงกาแฟที่ได้จะมีความละเอียดมาก อีกทั้งการใช้ roller grinder ยังมีแนวโน้มที่จะเกิดความร้อนน้อยกว่าการบดกาแฟด้วยวิธีการอื่น เครื่องบดแบบที่ใช้ลูกกลิ้ง (roller grinder) เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเพราะขนาดของเครื่องและมีค่าใช้จ่ายสูง ดังภาพที่ 2.7

ภาพที่ 2.7 เครื่องบดกาแฟแบบ Roller grinder

ที่มา : shutterstock.com

College of Innovative Technology and Engineering

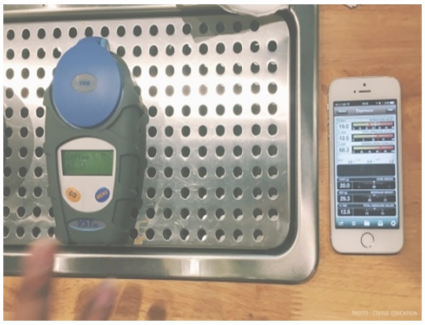
2.6 Total Dissolved Solid (TDS)

Total Dissolved Solid (TDS) คือ การหาปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำในส่วนของกาแฟนั้นจะแสดงถึงระดับการสกัดของกาแฟรวมทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำโดยวิธีที่ใช้ในการหาค่า TDS นั้นคือการใช้เครื่อง Refractometer ในการวัดค่าโดยเครื่อง Refractometer จะได้ค่าออกมาเป็น %TDS โดย %TDS คือค่าที่บอกว่าในสารละลายกาแฟทั้งหมดมีปริมาณ TDS ละลายอยู่กี่ %

Refractometer คือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดดูว่า ในกาแฟนั้นมีของแข็งละลายอยู่เท่าไหร่ (Dissolved solids) หรือก็คือหาค่าความเข้มข้นของกาแฟซึ่งเรียกกันเป็นสากลว่าค่า TDS วัดได้โดยการหยดน้ำกาแฟลงไปบนจานรับของเหลวบนอุปกรณ์ > ปิดฝา > แล้วรอสักครู่ก็จะมีตัวเลขขึ้นบนหน้าจอ (% สูง = เข้มข้นสูง) ดังภาพที่ 2.8, 2.9

ภาพที่ 2.8 การใช้เครื่อง Refractometer

ที่มา : Coffee Education



ภาพที่ 2.9 การใช้เครื่อง Refractometer

ที่มา : Coffee Education

College of Innovative Technology and Engineering

2.7 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล (Factorial Experiment Design)

กฤษดา (2559) การทดลองเชิงแฟกเทอเรียลคือการทดลองที่มีระเบียบแบบแผนในการทดลอง โดยแผนการทดลองจะต้องทำการทดลองทุกวิธีทดลองที่เป็นไปได้จากระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยหลักซึ่งจุดเด่นของการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลคือสามารถพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยร่วมได้ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลมีอยู่ 3 แบบ ได้แก่

2.7.1 การทดลองแบบจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA) หรือการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยเดียวหรือปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีปริมาณไม่มากเหมาะสำหรับการทดลองที่มีความสม่ำเสมอกันและสามารถควบคุมสภาพแวดล้อม (ปุณยรีย์, 2559)

2.7.2 การทดลองแบบบล็อคสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Block Design : RBD) หรือแบบจำแนกสองทาง (Two-Way ANOVA) ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยเดียวและทราบว่ามีปัจจัยรบกวน ดังนั้นในการทดลองจึงยึดหลักการทำการสุ่มการทดลองทุกครั้ง การทดลองซ้ำและการทำบล็อคเพื่อลดปัจจัยรบกวน (ปุณยรีย์, 2559)

2.7.3 การทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) ใช้กับการทดลองที่มีตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปผลกระทบที่สามารถเกิดขึ้นได้แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.7.3.1 ประเภทที่ 1 ผลกระทบกับอิทธิพลหลัก (Main Effect) หมายถึง ผลกระทบของปัจจัยที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยเดียว เช่น ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบปัจจัย B ผลกระทบปัจจัย C

2.7.3.2 ประเภทที่ 2 ผลกกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two Factor) หมายถึง ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ เช่น ผลกระทบของปัจจัยร่วม AB ผลกระทบของปัจจัยร่วม AC และผลกระทบของปัจจัยร่วม BC

2.7.3.3 ประเภทที่ 3 ผลกกระทบร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย (Three Factor) หมายถึง ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณา 3 ปัจจัยพร้อมกัน เช่น ผลกระทบของปัจจัยร่วม ABC (ปุณยรีย์, 2559)

2.8 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

กฤษดา (2559) การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับ ถือเป็นการออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบหนึ่งที่มีลักษณะเฉพาะ คือการทดลองจะประกอบด้วยจำนวน k ปัจจัยและแต่ละปัจจัยจะมีจำนวนระดับ (Levels) 2 ระดับเท่านั้นซึ่งจะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด (Total Runs) เท่ากับ $n2^k$ การทดลอง เมื่อ n คือการทำซ้ำ (Replicates) จะเห็นได้ว่า

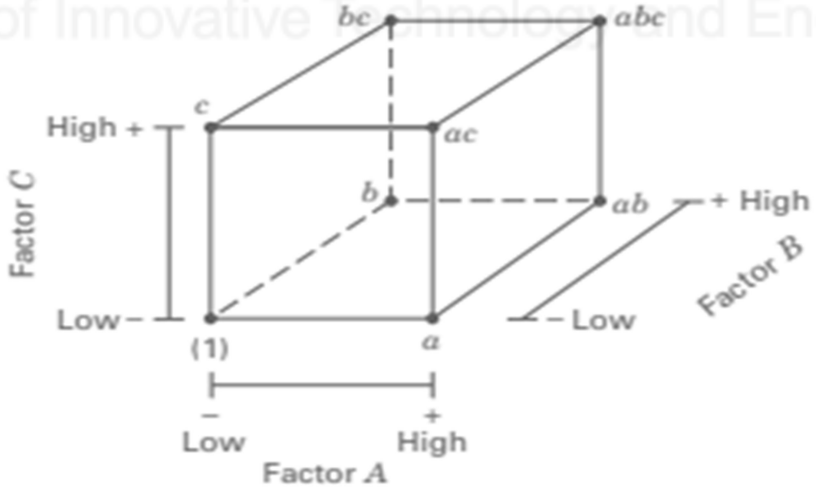
การทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบ 2 ระดับ จะมีจำนวนวิธีทดลองไม่มากนักจึงเป็นที่นิยมสำหรับผู้ทดลองที่ยังมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการมากเพียงพอและต้องการดำเนินการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญก่อนที่จะมีการศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมกับระดับปัจจัยที่มากขึ้นต่อไป การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับจึงถือว่าเป็นการทดลองเพื่อคัดกรองระดับปัจจัย (Screening Experiment) แบบหนึ่ง

การทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบ 2 ระดับ สามารถคำนวณค่าผลรวมผลต่างกำลังสองของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมได้ด้วยวิธีการพิเศษถ้าปัจจัยที่ศึกษาเป็นเชิงปริมาณการทดลองแบบนี้ยังสามารถสร้างสมการเชิงเส้นที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของเทอมต่าง ๆ กับค่าตัวแปรตอบสนองได้

2.9 การทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบ 2^3

กฤษดา (2559) การทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบ 2^3 วิธีทดลองทั้งหมด (Total Treatment Combination) เท่ากับ $2^3 = 8$ วิธีการทดลองหรือ 8 จุดมุม (Corner Point) ดังภาพที่ 2.10 โดยที่การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณี 3 ปัจจัยถูกแสดงดังตารางที่ 2.10

College of Innovative Technology and Engineering



ภาพที่ 2.10 Corner Point

ที่มา: Montgomery, D.C. (2013)

ตารางที่ 2.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของ 2^3 Factorial Design

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F_0
A	SS_A	(a – 1)	MS_A	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS_B	(b – 1)	MS_B	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
C	SS_C	(c – 1)	MS_C	$F_0 = \frac{MS_C}{MS_E}$
AB	SS_{AB}	(a – 1)(b – 1)	MS_{AB}	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	SS_{AC}	(a – 1)(c – 1)	MS_{AC}	$F_0 = \frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	SS_{BC}	(b – 1)(c – 1)	MS_{BC}	$F_0 = \frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	SS_{ABC}	(a – 1)(b – 1)(c – 1)	MS_{ABC}	$F_0 = \frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
ERROR	SS_E	abc(n – 1)	MS_E	
TOTAL	SS_T	abcn – 1	MS_C	

College of Innovative Technology and Engineering

สำหรับการคำนวณค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) ได้ดังสมการที่ 2.1

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\sum_{l=1}^{n} y^2_{ijkl} - \frac{y^2_{....}}{abcn} \qquad (2.1)$$

ค่าผลรวมกำลังสองของปัจจัยหลัก คำนวณได้ดังสมการที่ 2.2, 2.3 และ 2.4

$$SS_A = \frac{1}{bcn}\sum_{i=1}^{a} y^2_{i...} - \frac{y^2_{....}}{abcn} \qquad (2.2)$$

$$SS_B = \frac{1}{acn}\sum_{j=1}^{b} y^2_{.j..} - \frac{y^2_{....}}{abcn} \qquad (2.3)$$

$$SS_C = \frac{1}{abn}\sum_{k=1}^{c} y^2_{..k.} - \frac{y^2_{....}}{abcn} \qquad (2.4)$$

เพื่อที่จะคำนวณค่าผลรวมของกำลังสองแบบ 2 ปัจจัยของอิทธิพลร่วม เราจะต้องสร้างตารางผลรวมประกอบด้วยจำนวน AB และ BC เซลล์ ซึ่งเกิดจากการยุบตารางข้อมูลเบื้องต้นให้อยู่ในรูปของตารางแบบ 2 ทาง จำนวน 3 ตาราง เพื่อคำนวณค่าเหล่านี้ ค่าผลรวมของกำลังสองหาได้ดังสมการที่ 2.5, 2.6 และ 2.7

$$SS_{AB} = \left[\frac{1}{cn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij..}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}\right] - SS_A - SS_B \qquad (2.5)$$

$$= SS_{Subtotal(AB)} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \left[\frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{c} y_{i.k.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}\right] - SS_A - SS_C \qquad (2.6)$$

$$= SS_{Subtotal(AC)} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{BC} = \left[\frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{.jk.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}\right] - SS_B - SS_C \qquad (2.7)$$

$$= SS_{Subtotal(BC)} - SS_B - SS_C$$

ค่าผลรวมกำลังสองของปัจจัยร่วมแบบ 3 ทาง หาได้ดังสมการที่ 2.8

$$SS_{ABC} = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{ijk.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn}\right] - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \qquad (2.8)$$

$$= SS_{Subtotal(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

ค่าผลรวมกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.9

$$SS_E - SS_T - SS_{Subtotal(ABC)} \qquad (2.9)$$

การคำนวณค่า Mean Square

ค่าผลรวมยกกำลังสองของปัจจัยหลัก

$$MS_A = \frac{SS_A}{a-1} \qquad (2.10)$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{b-1} \qquad (2.11)$$

$$MS_C = \frac{SS_C}{c-1} \qquad (2.12)$$

College of Innovative Technology and Engineering

ค่าผลรวมยกกำลังสองของปัจจัยร่วม

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)} \tag{2.13}$$

$$MS_{AC} = \frac{SS_{AC}}{(a-1)(c-1)} \tag{2.14}$$

$$MS_{BC} = \frac{SS_{BC}}{(b-1)(c-1)} \tag{2.15}$$

ค่าผลรวมยกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

$$MS_{E} = \frac{SS_{E}}{abc(n-1)} \tag{2.16}$$

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานคือค่าสถิติ F

$$\text{Factor A} : F_0 = \frac{MS_A}{MS_E} \tag{2.17}$$

$$\text{B} : F_0 = \frac{MS_B}{MS_E} \tag{2.18}$$

$$\text{C} : F_0 = \frac{MS_C}{MS_E} \tag{2.19}$$

$$\text{Interaction AB}: F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E} \tag{2.20}$$

$$\text{AC}: F_0 = \frac{MS_{AC}}{MS_E} \tag{2.21}$$

$$\text{BC}: F_0 = \frac{MS_{BC}}{MS_E} \tag{2.22}$$

เราสามารถใช้ค่าคอนแทรสต์เพื่อคำนวณหาค่า Effect และ SS ของการทดลองได้จากตาราง 2.2

College of Innovative Technology and Engineering

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงเครื่องหมายคอนแทรสต์ของการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล 2^3

Treatment Combination	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
(1)	-	-	+	-	+	+	-
A	+	-	-	-	-	+	+
B	-	+	-	-	+	-	+
Ab	+	+	+	-	-	-	-
C	-	-	+	+	-	-	+
Ac	+	-	-	+	+	-	-
Bc	-	+	-	+	-	+	-
Abc	+	+	+	+	+	+	+

ที่มา : กฤษดา (2559)

คอนแทรสต์ (Contrast)

กฤษดา (2559) ได้กล่าวว่าอิทธิพลของปัจจัยนั้นซึ่งถ้าคอนแทรสต์ของปัจจัยหลักมีค่าเป็นบวกแสดงว่าเป็นอิทธิพลเชิงบวกหมายถึงการเปลี่ยนแปลงค่าจากระดับต่ำไปสูงจะทำให้ค่าของตัวแปรตอบสนองเพิ่มขึ้นแต่ถ้าคอนแทรสต์ของปัจจัยหลักมีค่าเป็นลบแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูงจะทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองลดลง เราสามารถคำนวณหาค่าคอนแทรสต์ของเทอมต่าง ๆ ได้ ตัวอย่างเช่น

Contrast A = [a + ab + ac + abc – (1) – b – c – bc]

Contrast B = [(1) + ab + c + abc – a – b – ac – bc]

การคำนวณหาค่าผลกระทบ (Effect) จากคอนแทรสต์ได้ดังสมการ 2.23

$$Effect = \frac{\text{Contrast}}{n2^k} \tag{2.23}$$

การคำนวณหาค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of square) ได้ดังสมการ 2.24

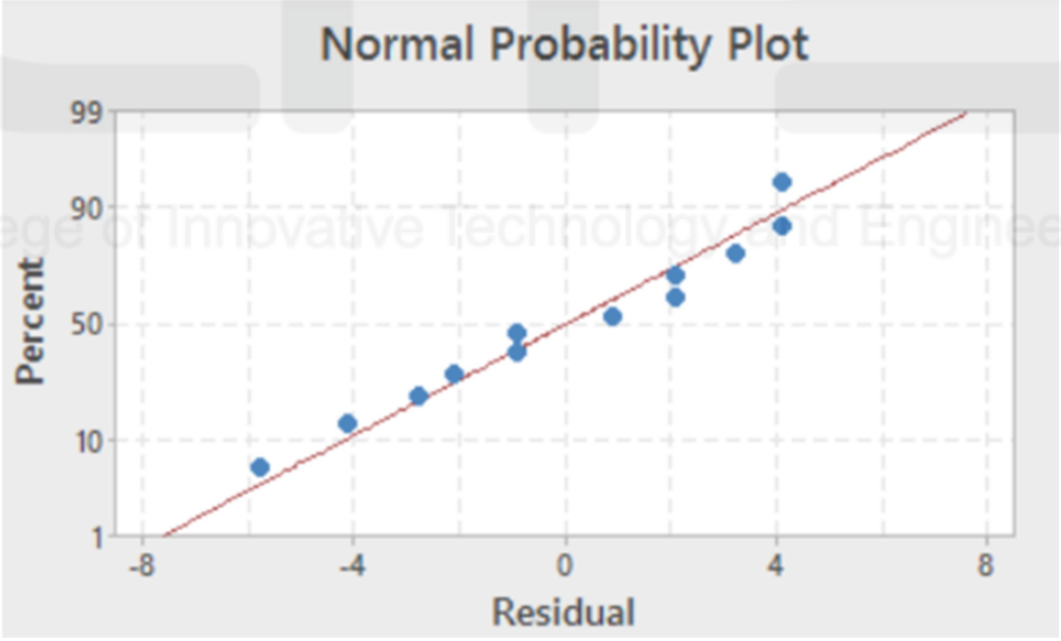
$$SS = \frac{[\text{Contrast}]^2}{n2^k} \tag{2.24}$$

College of Innovative Technology and Engineering

2.10 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking)

ประไพศรี (2551) ได้กล่าวไว้ว่าข้อสมมติสำหรับการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองสำหรับกรณีหลายปัจจัยความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Residual) มีการกระจายตัวแบบปกติข้อมูลที่เก็บมาจะต้องมีความเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และค่าของความแปรปรวนต้องคงที่มีความถูกต้องตรงตามข้อสมมติ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจึงจะสามารถนำไปใช้ได้แต่ในความเป็นจริงข้อสมมติสำหรับการทดลองอาจมีความคลาดเคลื่อนได้มีการตรวจสอบ ดังนี้

2.10.1 การตรวจสอบการแจกแจงปกติ (Normal Probability plot) การตรวจสอบข้อสมมติทางด้านการกระจายแบบปกติของข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถกระทำได้โดยใช้การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าความผิดพลาด (Residuals) โดยถ้าสมมติมีความถูกต้องการนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟดังกล่าวควรมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 2.11

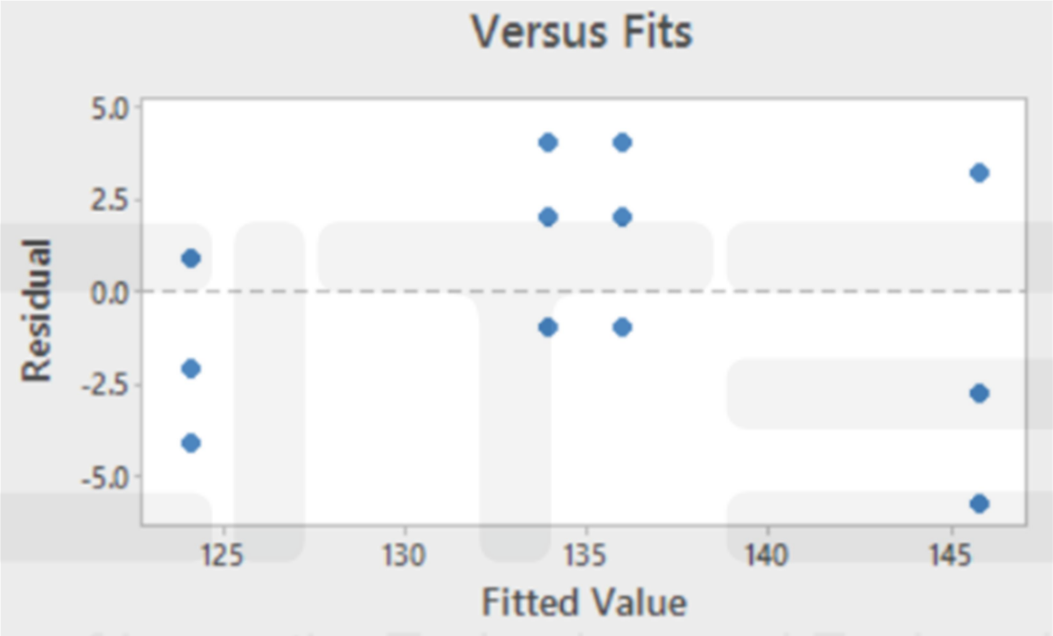


ภาพที่ 2.11 กราฟแสดงการพล็อตความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดมีการกระจายแบบปกติ

ที่มา : กฤษดา (2559)

College of Innovative Technology and Engineering

2.10.2 การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ (Constant variance, σ^2) สำหรับการตรวจสอบความแปรปรวนคงที่นั้นจะเป็นการพล๊อตระหว่างค่าความผิดพลาดกับค่าประมาณของการทดลองที่ระดับ I ใด ๆ โดยที่ค่าความผิดพลาดดังกล่าวควรจะมีแนวโน้มที่มีการกระจายแบบสุ่มหรือไม่มีรูปแบบที่แน่นอนเมื่อทำการพิจารณาค่าประมาณของการทดลองที่ระดับต่าง ๆ ดังภาพที่ 2.12

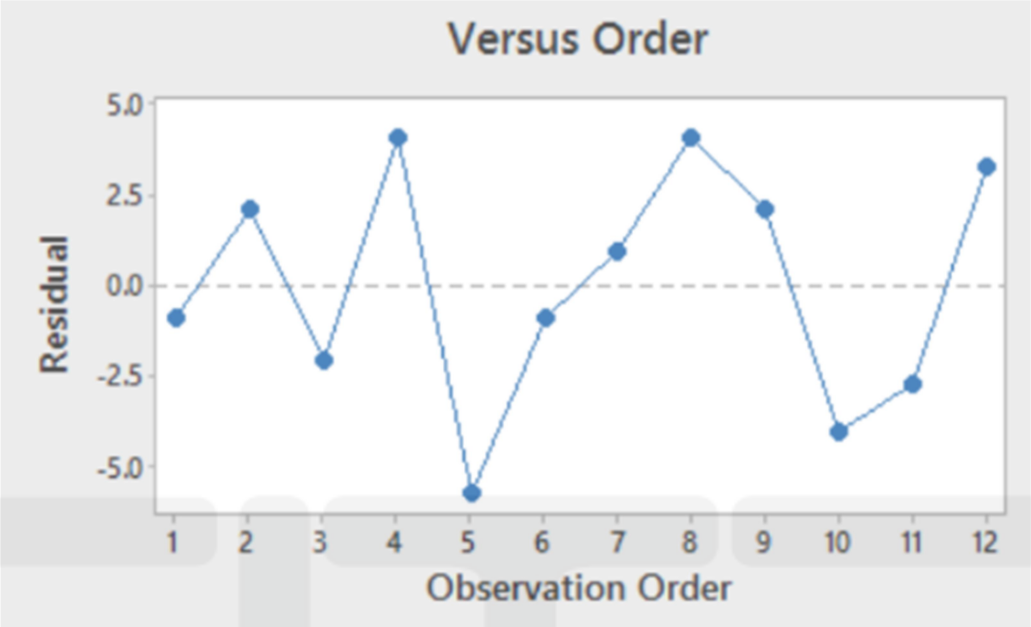


College of Innovative Technology and Engineering

ภาพที่ 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายเป็นแบบสุ่ม

ที่มา : กฤษดา (2559)

2.10.3 ตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independently distributed) โดยการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลที่ได้จากการทดลองทำได้โดยการพล๊อตการกระจายตัวของ Residual เทียบกับ Observation จะต้องมีรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายไม่เป็นแบบสุ่ม

ที่มา : กฤษดา (2559)

College of Innovative Technology and Engineering

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องคั่วกาแฟและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองโดยมีรายละเอียดดังนี้

ณภัทร ปรุงเจริญ (2560) ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนโดยมีสวิตช์ปิด/เปิดมอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลต์ หมุน 50 รอบต่อนาที ในการขับเคลื่อนหม้อดินบริเวณก้นหม้อดินได้ออกแบบเป็นสแตนเลสสตีลเกรด 430 หนา 1.5 มิลลิเมตร ในการดูดซับความร้อนจากเตาแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 2,400 วัตต์ ซึ่งสามารถตั้งอุณหภูมิได้สูงถึง 300 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่าต้นแบบเครื่องคั่วกาแฟนี้สามารถคั่วได้แม่นยำและเที่ยงตรงเหมาะสมกับเกษตรกรที่เพาะปลูกเมล็ดกาแฟและมีความต้องการเพิ่มคุณค่าให้เก็บเมล็ดกาแฟ

พิทักษ์ชน วิเศษ (2556) ได้ทำการศึกษาการลดของเสียในการผลิตชิ้นไม้สับโดยการออกแบบการทดลองพบว่าปัจจัยเบื้องต้นมี 4 ปัจจัยและเมื่อทำการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อขนาดชิ้นไม้สับออกจึงเหลือเพียง 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ 7.5 รอบต่อนาที องศาใบมีดชุดไม้ที่ 34 องศา

และระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ที่ 3 มิลลิเมตรและได้ทำการทดลองอีกครั้งโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design พบว่าค่าเบี่ยงเบนก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีค่าเป็น มิลลิเมตรหลังการปรับปรุงกระบวนการทีค่าเป็นมิลลิเมตรสามารถลดของเสียจาก 5.74% เหลือเพียง 2.79% และทำให้ดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 0.16 เป็น 0.87

ชลภูมิ เตชะทวีกุล (2557) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบรรจุถุงเม็ดมาสเตอร์แบทสีขาวขนาด 25 กิโลกรัมด้วยเครื่องบรรจุถุงอัตโนมัติโดยการออกแบบการทดลองพบว่าปริมาณสูญเสียจากกระบวนการผลิตในกระบวนการผลิตมาสเตอร์แบทในโรงงานกรณีศึกษามีค่าสูงขึ้นทุกปีจาก 0.90% เป็น 0.95% และ 1.20% ตามลำดับ การศึกษาใช้วิธีการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบเต็มรูปแบบผลการทดลองทำให้ทราบว่าค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียดและค่าน้ำหนักเผื่อมีผลต่อน้ำหนักค่าเผื่อระดับปัจจัยที่เหมาะสมของทั้ง 2 ค่านี้ คือ ค่าน้ำหนักในการเติมแบบละเอียดที่ 7 กิโลกรัมและค่าน้ำหนักค่าเผื่อ 0.30 กิโลกรัม ซึ่งทำให้ได้น้ำหนักค่าเผื่อตามเป้าหมายที่ 36-42 กรัม และกำหนดความดันลมที่ 5.0 บาร์ มาทำการทดลองซ้ำได้น้ำหนักค่าเผื่อเฉลี่ยที่ 34.13 กรัม สามารถลดความสูญเสียต่อปีได้โดยประมาณ 680,888 บาท มีระยะเวลาคุ้มทุนที่ 1.89 เดือน

กัญจนพร ทองกลม (2557) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนฝากระโปรงรถยนต์โดยวิธีการออกแบบการทดลองโรงงานกรณีศึกษาเกิดชิ้นงานเสียรูปเฉลี่ย 604 ชิ้น (6.46%) ซึ่งคิดเป็นความเสียหายเดือนละ 181,200 บาท จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปและเวลาที่ใช้ในการกดชิ้นงานเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดของเสีย ผู้วิจัยได้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับทำการทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้งและใช้วิเคราะห์เชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยเพื่อลดปัญหาชิ้นงานที่เสียรูปผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการปรับตั้งค่าอุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียสและใช้เวลาในการกดชิ้นงานเท่ากับ 90 วินาทีจะทำให้ลดปัญหาชิ้นงานเสียรูปลงเหลือเดือนละ 1.2% หรือสามารถลดความเสียหายลงเหลือเพียงเดือนละ 8,400 บาท

ปุณยวีร์ พิพัฒธนานันต์ (2559) ได้ทำการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการชุบแผงวงจรแบบยืดหยุ่นด้วยไฟฟ้าโดยได้ออกแบบการทดลองเพื่อหาการปรับตั้งค่าปัจจัยที่ในกระบวนการชุบที่เหมาะสมจากการศึกษาในกระบวนการชุบพบว่าหลังจากผ่านกระบวนการชุบได้เกิดของเสียชนิดคราบขาวเกิดขึ้นบนชิ้นงานโดยเฉลี่ย 2.77% โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดคราบขาวอยู่ 3 ปัจจัย คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำยานิกเกิล ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและความถี่ในการเปลี่ยนน้ำโดยได้ใช้การออกแบบการทดลองแฟกเทอเรียลในการทำทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง หลังจากการทดลองพบว่าการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมใน

กระบวนการชุบ ได้แก่ การใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำยานิกเกิลเท่ากับ 3.0 ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 3.0 แอมป์ต่อตารางเดซิเมตรและต้องเปลี่ยนน้ำทุกวันโดยสามารถลดการเกิดของเสียแบบคราบขาวเหลือเพียง 0.41% หรือค่าใช่จ่ายลดลงโดยเฉลี่ย 98,000 บาทต่อเดือน

ภัทรมน บุญรักษา (2557) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการเคลือบแผ่นเหล็กด้วยดีบุกของโรงงานกรณีศึกษาพบปัญหาความหนาของชั้นเคลือบดีบุกในปัจจุบันอยู่ที่ 2.88 กรัมต่อตารางเมตรซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 2.50-2.80 กรัมต่อตารางเมตรทำให้สูญเสียต้นทุนของดีบุกคิดเป็นเงิน 2,279,998 บาทต่อปีและพบว่าการปฏิบัติงานมีการควบคุม 3 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้าในการเคลือบที่ 13-15 กิโลแอมแปร์ ความเข้มข้นของดีบุกที่ 19-21 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของสารละลายกรดอยู่ที่ 43-47 กรัมต่อลิตรโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบมีการทำซ้ำ 3 ครั้ง พบว่าระดับกระแสในการเคลือบที่ 16 กิโลแอมแปร์ ความเข้มข้นของดีบุกที่ 17 กรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ 49 กรัมต่อลิตรทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาของชั้นดีบุกเหมาะสมที่สุดและได้ทำการทดลองเพิ่มโดยกำหนดระดับปัจจัยของกระแสในการเคลือบเป็น 16, 17 และ 18 กิโลแอมแปร์ ลดความเข้มข้นของดีบุกลง 16, 17 และ 18 กรัมต่อลิตร และเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดเป็น 47, 49 และ 50 กรัมต่อลิตร ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองแรกจึงทดลองทำซ้ำที่ระดับปัจจัยดังกล่าวพบว่าค่าเฉลี่ยความหนาของดีบุกลดลงเหลือ 2.60 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งอยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนดและสามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 2,318,228 บาทต่อปี

อธิวัฒน์ ลีนะธรรม, เปรมพร เขมาวุฒฒ์ (2562) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตสายสวนหลอดเลือดหัวใจ (PTCA Guide Wire) ที่เกิดจากกระบวนการขัดโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียลแบบ 2^k ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องขัดที่ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางหลังการขัดมีค่าตามที่แผนกควบคุมคุณภาพกำหนดไว้คือ $0.061^{+0.004}_{-0.003}$ มิลลิเมตร ซึ่งมีตัวแปรต้นเป็นปัจจัยควบคุมได้ทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ความดัน มุมและกระดาษทรายแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยทั้ง 3 และปัจจัยร่วมทั้งหมดมีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางระดับปัจจัยที่เหมาะสมต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ ความดัน 6.50 บาร์ มุมในการขัด 10.0667 องศา และกระดาษทราย Extra-fine เมื่อนำค่าระดับปัจจัยที่ได้มากำหนดเป็นค่ามาตรฐานและใช้ในการผลิตจริง พบว่าของเสียก่อนวิจัย 108 ชิ้น ของเสียหลังวิจัย 13 ชิ้น คิดเป็นของเสียลดลงร้อยละ 87.96

Wayne Lawson, R.D.Pilkington, A.E.Hill, (2007) ทำการจำลองการออกแบบแฟคเทอเรียลเต็มรูปแบบหลายระดับเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแรงดันไฟฟ้าและช่องว่างอิเล็กโทรดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตขอเดนไดรต์ภายใต้สภาวะอิ่มตัวคือการปนเปื้อนของหยดน้ำ การ

College of Innovative Technology and Engineering

ออกแบบการทดลองเตรียมตัวเก็บประจุแบบ interdigitated ที่ประกอบด้วย DC และ biased combed ที่อยู่ใน cuvettes ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ 40 องศา น้ำทำให้สามารถตรวจสอบกิจกรรมเดนไดรต์ได้ การตรวจสอบใช้การตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งมาพร้อมกับการลัดวงจรของเดนไดรต์ ผลงานวิจัยมีการสร้างแบบจำลองพหุนาม R2 สูงและสังเกตแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นลดผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของเดนไดรต์

Daniele Tonilo Dias, Ossamu Nakamura, Bruno Filardi Fagundes, (2015) ทำการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการย้อมสีในเส้นใยธรรมชาติโดยวิธีการออกแบบทางสถิติประยุกต์ของการทดลอง (DOE) การออกแบบขั้นตอนแรกทำการวิเคราะห์สเปกโทรสโกปีของสีย้อมโดยใช้การออกแบบแฟคเทอเรียล 2^3 รูปแบบ จากนั้นใช้ DOE เพื่อค้นหาค่าว่าตัวแปรกระบวนการใดมีความสำคัญที่สุดในความเข้มของแถบสีการดูดซับ ผลงานวิจัยพบว่ากระบวนการย้อมสีมีประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับตัวอย่างที่มีระดับความเข้มข้นของสีย้อมและเวลาในการย้อมต่ำกว่า การศึกษาทางสถิติของผลกระทบของปัจจัยการเตรียมการแต่ละครั้งชี้ให้เห็นองค์ประกอบของสีมีอิทธิพลอย่างเด่นชัดในการย้อมเส้นใย

College of Innovative Technology and Engineering

ตารางที่ 2.3 ตารางสรุปการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี/หลักการ / ผู้วิจัย	การคั่วเมล็ดกาแฟ	การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล	การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับ	การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับ 2^3
ณภัทร, 2560	●			
พิทักษ์ชน, 2556		●	●	
ชลภูมิ, 2557			●	●
กัญจนพร, 2557		●	●	●
ภัทรมน, 2557			●	●
ปุณยรีย์, 2559			●	
อธิวัฒน์, เปรมพร, 2562			●	
WayneLawson, R.D.Pilkington, A.E.Hill, 2007		●		
Daniele Tonilo Dias, Ossamu Nakamura, Bruno Filardi Fagundes, 2015		●		

College of Innovative Technology and Engineering

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินโครงงานโดยนำทฤษฎีมาประยุกต์ใช้โดยมีขั้นตอนการดำเนินโครงงานดังนี้

3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น

3.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและกำหนดวิธีการแก้ไข

3.3 กำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนอง

3.4 วิเคราะห์ตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

3.5 ออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล

3.6 เก็บข้อมูลผลการทดลอง

3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.8 ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล

College of Innovative Technology and Engineering

3.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น

3.1.1 การคั่วเมล็ดกาแฟ คือการเพิ่มความร้อนให้กับเมล็ดกาแฟไปเรื่อย ๆ จนเมล็ดกาแฟสุก การคั่วเมล็ดกาแฟเป็นการไล่น้ำค้างที่อยู่ในเมล็ดกาแฟออกไปเมื่อความชื้นถูกขจัดออกหมดแล้ว เมล็ดกาแฟก็จะเหมือนเนื้อไม้และแก๊สจะเริ่มก่อตัวขึ้นภายในเมล็ดซึ่งจะดีดตัวออกเหมือนเมล็ดข้าวโพดโดยจะขยายขนาดออกเป็น 2 เท่า ซึ่งระดับการคั่วนี้เรียกว่าการปะทุหรือการแตกตัว (Crack) โดยน้ำมันที่อยู่ในเมล็ดกาแฟจะระเหยออกมาเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้วจะมีสีคล้ำส่วนคาร์โบไฮเดรตและไขมันจะกลายเป็นกลิ่นหอมระเหยซึ่งโปรตีนที่มีอยู่มากและกรดออแกนิกจะแปรสภาพเป็นรสชาติของกาแฟในปัจจุบันการคั่วเมล็ดกาแฟจะมี 3 ระดับ ได้แก่

3.1.1.1 การคั่วอ่อน (Light Roast) หรือ (American Roast)

เป็นการคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้อุณหภูมิต่ำที่สุดประมาณ 176.67 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปจะใช้เวลาในคั่วประมาณ 10-15 นาที การคั่วระดับนี้จะเป็นการคงรสชาติดั้งเดิมของเมล็ดกาแฟไว้มากที่สุด ดังภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 เมล็ดกาแฟคั่วอ่อน

ที่มา : Coffee Education

3.1.1.2 การคั่วกลาง (Medium Roast)

การคั่วกลาง (Medium Roast) เป็นการคั่วกาแฟที่ใช้อุณหภูมิปานกลางประมาณ 204.44-221.11 องศาเซลเซียสโดยทั่วไปจะใช้เวลาในการคั่วประมาณ 15-20 นาที การคั่วระดับนี้จะรสชาติที่เข้มขึ้นและความเปรี้ยวจะลดลงจากการคั่วอ่อน ดังภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 เมล็ดกาแฟคั่วกลาง

ที่มา : Coffee Education

3.1.1.3 การคั่วเข้ม (Dark Roast หรือ Vienna Roast, French Roast, Italian Roast)

เป็นการคั่วเมล็ดกาแฟที่ใช้อุณหภูมิสูงที่สุดประมาณ 232.22 องศาเซลเซียสโดยทั่วไปจะใช้เวลาในการคั่วประมาณ 15-20 นาที กาแฟที่ได้จากการคั่วเข้มจะได้กาแฟที่มีกลิ่นหนักแน่นรสชาติที่ขมและไม่มีความเปรี้ยว ดังภาพที่ 3.3

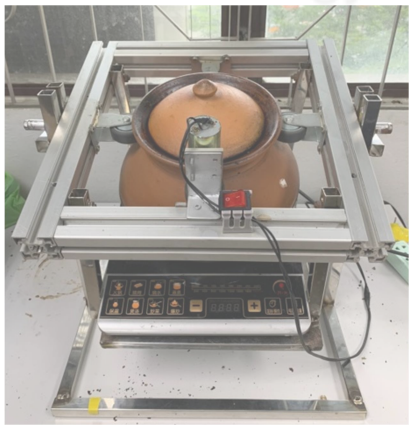
ภาพที่ 3.3 เมล็ดกาแฟคั่วเข้ม

ที่มา : Coffee Education

ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพเมล็ดกาแฟคั่ว คือ ชนิดของสายพันธุ์เมล็ดกาแฟ แหล่งที่มาของเมล็ดกาแฟ แหล่งการให้พลังงานเครื่องคั่วกาแฟ ระยะเวลาในการคั่ว อุณหภูมิที่ใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟ องศาในการหมุนของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ การคั่วกาแฟจึงเป็นอีกหนึ่งกระบวนการสำคัญที่จะสามารถดึงคุณสมบัติต่าง ๆ ในเมล็ดกาแฟออกมาที่จะส่งผลต่อรสชาติและกลิ่นของกาแฟ ดังนั้นขั้นตอนการคั่วกาแฟต้องใช้ความรู้และความเข้าใจวิธีการคั่วของเมล็ดกาแฟพันธุ์ต่าง ๆ

3.1.2 คั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อน ดังภาพที่ 3.4

College of Innovative Technology and Engineering



ภาพที่ 3.4 เครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้า

3.1.2.1 อุปกรณ์ส่วนให้ความร้อน

1) เตาแม่เหล็กไฟฟ้า

หลักการทางานของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า คือ ใช้การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่อยู่ภายในเตาทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนตามหลักการของการเหนี่ยวนำหรือ Eddy Current กระแสไฟฟ้าไหลวนนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่พื้นผิวของภาชนะได้โดยภาชนะจะต้องมีฐานหรือส่วนที่สัมผัสกับเตาไฟฟ้าที่เป็น Ferromagnetic Material หรือวัสดุที่กำหนดในส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสกับเตาไฟฟ้าเตาแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผู้วิจัยเลือกใช้มีแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์ กระแสสลับมีความกว้าง 28 เซนติเมตร ความสูง 35 เซนติเมตร ความถี่ 50 เฮิรสท์และมีแรงดันไฟส่วนจ่ายเข้า 2000 วัตถ์ สามารถตั้งอุณหภูมิได้ 80, 100, 120, 160, 180, 200, 260 และ 300 องศาเซลเซียส (ณภัทร, 2560)

ภาพที่ 3.5 เตาแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา : ณภัทร(2560)

2) อุปกรณ์บรรจุเมล็ดกาแฟ

ใช้หม้อดินเผาที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร สูง 14 เซนติเมตร จากนั้นใช้สว่านเจาะฐานของหม้อดินโดยใช้ดอกเจาะกระจก ดังภาพที่ 3.6 ทุบออกด้วยค้อนและแต่งขอบให้เรียบเนียนด้วยเครื่องเจียรครอบหม้อดินเผาโดยใช้ฐานที่ทำจากเสตนเลสเกรด 430 เพื่อทำให้ได้รับกระแสไฟฟ้าไหลวนจากขดลวดของเตาแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผลให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อน (ณภัทร, 2560)

College of Innovation, Technology and Engineering

ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์บรรจุเมล็ดกาแฟ

ที่มา : ณภัทร(2560)

3.1.2.2 อุปกรณ์การหมุนภาชนะบรรจุเมล็ดกาแฟ

อุปกรณ์ที่ใช้จัดทำการหมุนภาชนะบรรจุเมล็ดกาแฟของต้นแบบเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ เพื่อให้เมล็ดกาแฟมีการคั่วคลุกเคล้าในระหว่างที่ได้รับความร้อนจากเตาแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอทุกเมล็ดโดยมีอุปกรณ์ ดังนี้

1) มอเตอร์กระแสตรง

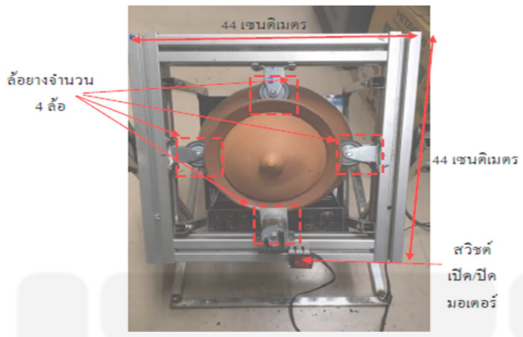
มอเตอร์กระแสตรงที่ผู้วิจัยเลือกใช้มีขนาด 12 โวลท์ มีความเร็วคงที่ 50 รอบต่อนาที (ณภัทร, 2560)

ภาพที่ 3.7 มอเตอร์กระแสตรง

ที่มา : ณภัทร(2560)

2) ลูกล้อยาง (Rubber Wheel)

ในการออกแบบการหมุนของภาชนะบรรจุเมล็ดกาแฟ ผู้วิจัยเลือกมีล้อยางจำนวน 4 ชิ้น รองรับหม้อดิน และทำการหมุน (ณภัทร, 2560)



ภาพที่ 3.8 ลูกล้อยาง (Rubber Wheel)

ที่มา : ณภัทร(2560)

3.1.2.3 วิธีการใช้งานของเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อน

1) เตรียมเมล็ดกาแฟดิบสำหรับการคั่ว

2) ปรับความเอียงของหม้อดินให้ทำมุมตามองศาที่กำหนด ดังภาพที่ 3.9

ภาพที่ 3.9 ปรับความเอียงของหม้อดินให้ทำมุมตามองศาที่กำหนด

ที่มา : ณภัทร(2560)

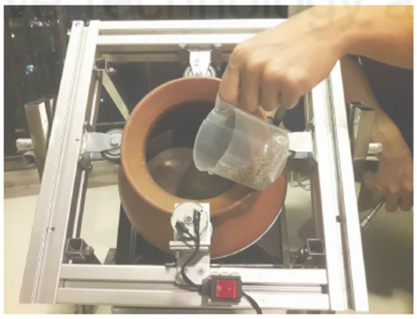
College of Innovative Technology and Engineering

3) กดสวิตช์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้าและเลือกย่านอุณหภูมิที่ต้องการเพื่อทำให้เครื่องคั่วกาแฟทำงานจนกระทั่งครบ 3 นาที ดังภาพที่ 3.10

ภาพที่ 3.10 การเลือกย่านอุณหภูมิที่ต้องการ

ที่มา : ณภัทร(2560)

4) ใส่เมล็ดกาแฟดิบที่เตรียมไว้ลงในหม้อดินและปิดฝา ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 เมล็ดกาแฟดิบที่เตรียมไว้ลงในหม้อดินและปิดฝา

ที่มา : ณภัทร(2560)

College of Innovative Technology and Engineering

5) กดสวิตช์มอเตอร์แล้วเริ่มทำการจับเวลาการคั่วกาแฟ ดังภาพที่ 3.12

ภาพที่ 3.12 การกดสวิตช์มอเตอร์

ที่มา : ณภัทร(2560)

6) เมื่อคั่วกาแฟถึงเวลาที่ต้องการแล้วทำการปิดสวิตช์มอเตอร์และเตาแม่เหล็กไฟฟ้า

7) เทเมล็ดกาแฟที่อยู่ในหม้อดินลงบนภาชนะที่เตรียมไว้ ดังภาพที่ 3.13

ภาพที่ 3.13 การเทเมล็ดกาแฟลงบนภาชนะ

ที่มา : ณภัทร(2560)

ผู้จัดทำโครงงานพบว่าเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนสามารถคั่วเมล็ดกาแฟได้ มีขนาดกะทัดรัด ต้นทุนต่ำซึ่งตรงต่อความต้องการของธุรกิจร้านกาแฟขนาดเล็กที่มีขีดจำกัดในการลงทุน แต่ ณ ปัจจุบันเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนยังไม่มีข้อมูลด้านตัวเลขที่แน่นอน เช่น ค่าวัตต์ที่ต้องใช้ใน

การคั่วเมล็ดกาแฟ เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ การปรับองศาการหมุนของเครื่องคั่วกาแฟในการคั่วเมล็ดกาแฟแต่ละครั้ง

จากปัญหานี้ผู้จัดทำโครงงานเห็นว่าถ้าหากสามารถกำหนดค่าตัวเลขที่แน่นอนได้แล้ว เครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนก็จะมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเครื่องคั่วกาแฟในท้องตลาดและยังสามารถเป็นอีกทางเลือกให้กับผู้ประกอบการธุรกิจร้านกาแฟขนาดเล็กได้

3.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและกำหนดวิธีการแก้ไข

3.2.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

เมื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่าเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนเมื่อทำการตรวจสอบการชั่งน้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนและหลังทำการคั่ว พบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำ ผลการตรวจสอบการอ่านค่าสีดำ (K) ของเมล็ดกาแฟหลังทำการคั่วพบว่ามีค่า K เพิ่มขึ้นแปรผันตามเวลาที่ใช้คั่วเมล็ดกาแฟแต่เมื่อเทียบกับเครื่องคั่วกาแฟตามท้องตลาดพบว่าเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนยังขาดประสิทธิภาพต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1.1 ความแม่นยำในการปรับตั้งค่าในการให้ความร้อนเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่คงที่

3.2.1.2 องศาในการหมุนที่ยังไม่มีค่าที่แน่นอน

3.2.1.3 ผลลัพธ์ของเมล็ดกาแฟที่ได้ในทุกรอบยังไม่มีเหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน

3.2.2 กำหนดวิธีการการแก้ไข

ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการคั่วเมล็ดกาแฟ คือ การหาค่าวัตต์ที่ใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟ เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ การปรับมุมองศาของเครื่องคั่วกาแฟเพื่อให้ได้ค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ที่เหมาะสมตามที่กำหนดไว้โดยระดับปัจจัยจะส่งผลต่อจำนวนครั้งในการทดลอง

3.3 กำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนอง

ในขั้นตอนนี้ผู้จัดทำโครงงานจะอธิบายถึงวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) ผู้จัดทำโครงงานได้แบ่งตัวแปรการทดลองออกเป็น 2 ตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

College of Industrial Technology and Engineering

3.3.1 ตัวแปรอิสระ

ในการออกแบบการทดลองครั้งนี้ผู้จัดทำโครงงานได้ศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ได้แก่ 1.ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า 2.เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ 3.มุมของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ โดยผู้จัดทำโครงงานได้อ้างอิงมาจากข้อมูลงานวิจัยการออกแบบเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อน

3.3.2 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองในโครงงานนี้คือ 1.50 %TDS (Total Dissolved Solid) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการหาค่า %TDS ในกาแฟที่ผ่านการคั่วจากผู้เชี่ยวชาญ (ร้าน BLUEKOFF) ในแต่ละการทดลองการจัดลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่มเพื่อลดอิทธิพลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้และทำการทดลอง 3 ครั้ง

3.4 วิเคราะห์ตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) โดยขั้นตอนแรกผู้จัดทำโครงงานได้ปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญด้านการคั่วเมล็ดและชงกาแฟได้ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ดังนี้

3.4.1 ชนิดของสายพันธุ์เมล็ดกาแฟ

ผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดใช้เมล็ดกาแฟพันธุ์ PAPUA NEW GUINEA PNG SIGRI ESTATE PB ในทุก ๆ การทดลอง

3.4.2 ระยะเวลาในการคั่ว

3.4.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟ

3.4.4 องศาในการหมุนของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

ในการออกแบบการทดลองนั้นปัจจัยที่กำหนดจะต้องเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ จากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าปัจจัยที่เครื่องคั่วกาแฟสามารถควบคุมได้ คือ 1.ระยะเวลาในการคั่ว 2.อุณหภูมิที่ใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟ 3.องศาในการหมุนของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ

3.5 ออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล

การทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) คือการออกแบบที่ประกอบด้วย k ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับปัจจัยแบ่งออกเป็น “ต่ำ” และ “สูง” ซึ่งต้องทำการทดลองทั้งหมด $2\times2\times2\times\ldots\times2=2^k$ การทดลอง

3.5.1 ปัจจัยและกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ตารางแสดงการจำแนกปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีผลต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ซึ่งในการกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ที่จะใช้ในการทดลองผู้จัดทำโครงงานได้อ้างอิงจากงานวิจัยการออกแบบเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อน ดังตารางที่ 3.1 (ณภัทร ปรุงเจริญ, 2560)

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงปัจจัยและระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย (Factor)	ระดับปัจจัย (Level)	
	ต่ำ (-)	สูง (+)
ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า (วัตต์) (A)	800	1000
เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ (นาที) (B)	10	15
มุมของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ (องศา) (C)	40	45

College of Innovative Technology and Engineering

หมายเหตุ. ระดับของแต่ละปัจจัย ทั้งหมด 3 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ โดยระดับ ”ต่ำ” แทนตัวสัญลักษณ์ (-) และระดับ “สูง” แทนด้วยสัญลักษณ์ (+)

การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) จำนวน 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ การทดลอง 3 ซ้ำ $3x2^3$ รวมจำนวนการทดลองทั้งหมด 24 การทดลอง โดยทำการสุ่มลำดับการทดลองโดยโปรแกรม Minitab 17 แสดงดังตารางที่ 3.2

ทำการสุ่มตัวอย่างและการออกแบบการทดลองเบื้องต้นโดยโปรแกรม Minitab 17 แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการสุ่มตัวอย่างและการออกแบบการทดลองที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้นโดยโปรแกรม Minitab 17

Standard Order	Run Order	ปัจจัย		
		A (วัตต์)	B (นาที)	C (องศา)
18	1	1000	10	40
23	2	800	15	45
22	3	1000	10	45
3	4	800	15	40
19	5	800	15	40
20	6	1000	15	40
1	7	800	10	40
5	8	800	10	45
15	9	800	15	45
2	10	1000	10	40
14	11	1000	10	45
21	12	800	10	45
7	13	800	15	45
12	14	1000	15	40
24	15	1000	14	45
10	16	1000	10	40
9	17	800	10	40
16	18	1000	15	45
17	19	800	10	40
4	20	1000	15	40
6	21	1000	10	45
8	22	1000	15	45
13	23	800	10	45
11	24	800	15	40

College of Innovative Technology and Engineering

3.6 เก็บข้อมูลผลการทดลอง

หลังจากการคั่วเมล็ดกาแฟเสร็จจะต้องนำเมล็ดกาแฟมาผ่านกระบวนการบดเมล็ดกาแฟที่คั่วแล้วและการชงกาแฟจากนั้นนำกาแฟที่ได้มาหยดลงบนเครื่อง Refractometer เพื่อหาค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ที่ยอมรับได้คือ 1.50 %TDS (Total Dissolved Solid) ดังภาพที่ 3.14

ภาพที่ 3.14 เครื่อง Coffee Refractometer

ที่มา : thai.alibaba.com

College of Innovative Technology and Engineering

3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นได้ใช้วิธีทางสถิติวิศวกรรมเพื่อให้ได้ข้อสรุปและผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ของตัวแปรตอบสนองที่กำหนดจากผลการดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) และใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งใช้โปรแกรม Minitab 17 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.8 ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล

เมื่อได้สภาพปัจจัยที่เหมาะสมแล้วจึงนำค่าสภาพปัจจัยนั้นมาทำการทดลองเพื่อยืนยันผลอีกครั้งแล้วจึงนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้วิธีสถิติวิศวกรรมเพื่อให้ได้ข้อสรุปจากผลการทดลองเพื่อพิจารณาว่าเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนสามารถคั่วเมล็ดกาแฟได้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าเครื่องคั่วกาแฟตามท้องตลาด

บทที่ 4
ผลการศึกษา

จากการกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในบทที่ 3 ทางผู้จัดทำโครงงานได้ดำเนินการทดลองตามข้อกำหนดที่ได้ออกแบบการทดลองแล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

4.2 การเลือกโมเดลการทดลองที่เหมาะสม

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยที่ทำการทดลอง

4.5 การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

4.6 การทดสอบเพื่อยืนยันผล

4.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

College of Innovative Technology and Engineering

จากการออกแบบการทดลองดังที่ได้กล่าวในบทที่ 3 ผู้จัดทำโครงงานเลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล 2 ระดับ 3 ปัจจัย โดยผู้จัดทำโครงงานได้ทำการทดลองและตรวจสอบสภาวะของการปฏิบัติงานให้ตรงตามลำดับของการทดลอง (Run order) ซึ่งประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 8 การทดลองและทำการทดลองซ้ำ 3 รอบ รวมเป็น 24 การทดลองโดยกำหนดค่านัยสำคัญไว้ที่ 0.05 ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการบันทึกความค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ในแต่ละการทดลองในตารางการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล 2 ระดับ 3 ปัจจัย

ลำดับการทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่า %TDS (Total Dissolved Solid)
		ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า (วัตต์) (A)	เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ (นาที) (B)	มุมของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ (องศา) (C)	
5	1	800	10	45	1.54
22	2	1000	10	45	1.53
21	3	800	10	45	1.58
3	4	800	15	40	1.40
7	5	800	15	45	1.46
12	6	1000	15	40	0.30
19	7	800	15	40	1.53
14	8	1000	10	45	1.64
11	9	800	15	40	1.51
10	10	1000	10	40	1.74
8	11	1000	15	45	0.48
1	12	800	10	40	1.62
9	13	800	10	40	1.64
16	14	1000	15	45	0.37
23	15	800	15	45	1.43
17	16	800	10	40	1.66
18	17	1000	10	40	1.49
4	18	1000	15	40	0.10
24	19	1000	15	45	0.20
15	20	1000	15	45	1.48
2	21	1000	10	40	1.58

College of Innovative Technology and Engineering

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองเชิงแฟกเทอเรียล 2 ระดับ 3 ปัจจัย (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่า %TDS (Total Dissolved Solid)
		ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า (วัตต์) (A)	เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ (นาที) (B)	มุมของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ (องศา) (C)	
13	22	800	10	45	1.52
20	23	1000	15	40	0.23
6	24	1000	10	45	1.51

4.2 การเลือกโมเดลการทดลองที่เหมาะสม

การเลือกโมเดลที่เหมาะสมสำหรับการทดลองจะเลือกเทอมที่มีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ภาพที่ 4.1 พบว่า ปัจจัยหลักได้แก่ ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้าและเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟมีผลกระทบต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) เนื่องจากพิจารณาค่า P-Value เทียบกับค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง (%TDS) อย่างมีนัยสำคัญ ผู้จัดทำโครงงานจึงทำการลดรูปปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ได้แก่ มุมของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย ได้แก่ ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้ากับมุมของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟและปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟและมุมของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ แสดงดังภาพที่ 4.2 จากนั้นทำการพิจารณาภาพที่ 4.2 พบว่าค่า R-sq เท่ากับ 97.82% ซึ่งค่าเข้าใกล้ 100 แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบจำลองการถดถอยที่ได้มานั้นสามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี และ R-sq (Adj) เท่ากับ 97.50% มีค่าใกล้เคียงกับค่า R-sq แสดงว่าตัวแปรอิสระหรือแหล่งของความผันแปรถูกใส่เข้าไปในตัวแบบจำลองการถดถอยเหมาะสมแล้ว หรือไม่มีลักษณะของการใส่ตัวแปรมากเกินไป (Overfit) และได้พิจารณาค่า Lack of Fit พบว่ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.225 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสมการถดถอย มีความเหมาะสม (อธิวัฒน์, เปรมพร, 2562)

College of Innovative Technology and Engineering

Factorial Regression: Reults versus Watt, Time, Angle

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	7.33598	1.04800	144.55	0.000
Linear	3	5.21322	1.73774	239.69	0.000
Watt	1	2.16000	2.16000	297.93	0.000
Time	1	3.05307	3.05307	421.11	0.000
Angle	1	0.00015	0.00015	0.02	0.887
2-Way Interactions	3	2.11795	0.70598	97.38	0.000
Watt*Time	1	2.07682	2.07682	286.46	0.000
Watt*Angle	1	0.01707	0.01707	2.35	0.144
Time*Angle	1	0.02407	0.02407	3.32	0.087
3-Way Interactions	1	0.00482	0.00482	0.66	0.427
Watt*Time*Angle	1	0.00482	0.00482	0.66	0.427
Error	16	0.11600	0.00725		
Total	23	7.45198			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0851469	98.44%	97.76%	96.50%

ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจาก Minitab ก่อนลดรูปปัจจัย

Factorial Regression: Reults versus Watt, Time

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	7.28988	2.42996	299.81	0.000
Linear	2	5.21307	2.60653	321.60	0.000
Watt	1	2.16000	2.16000	266.50	0.000
Time	1	3.05307	3.05307	376.69	0.000
2-Way Interactions	1	2.07682	2.07682	256.24	0.000
Watt*Time	1	2.07682	2.07682	256.24	0.000
Error	20	0.16210	0.00810		
Lack-of-Fit	4	0.04610	0.01152	1.59	0.225
Pure Error	16	0.11600	0.00725		
Total	23	7.45198			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0900278	97.82%	97.50%	96.87%

ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจาก Minitab หลังจากลดรูปปัจจัย

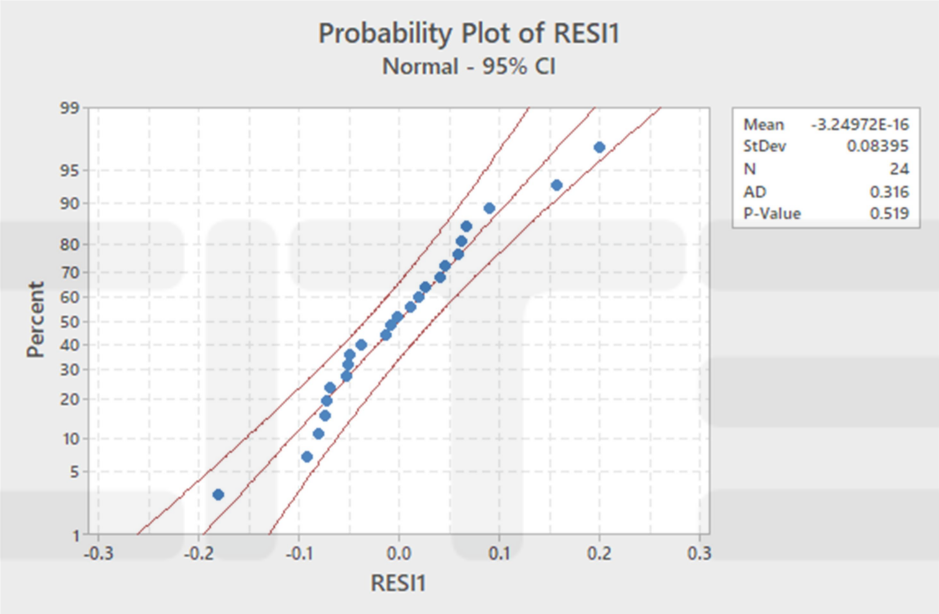
College of Innovative Technology and Engineering

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

4.3.1 การตรวจสอบการกระจายตัวของส่วนตกค้าง ตั้งสมมติฐานการทดสอบดังนี้

H_0 : ค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวที่ไม่ใช่แบบปกติ



College of Innovative Technology and Engineering

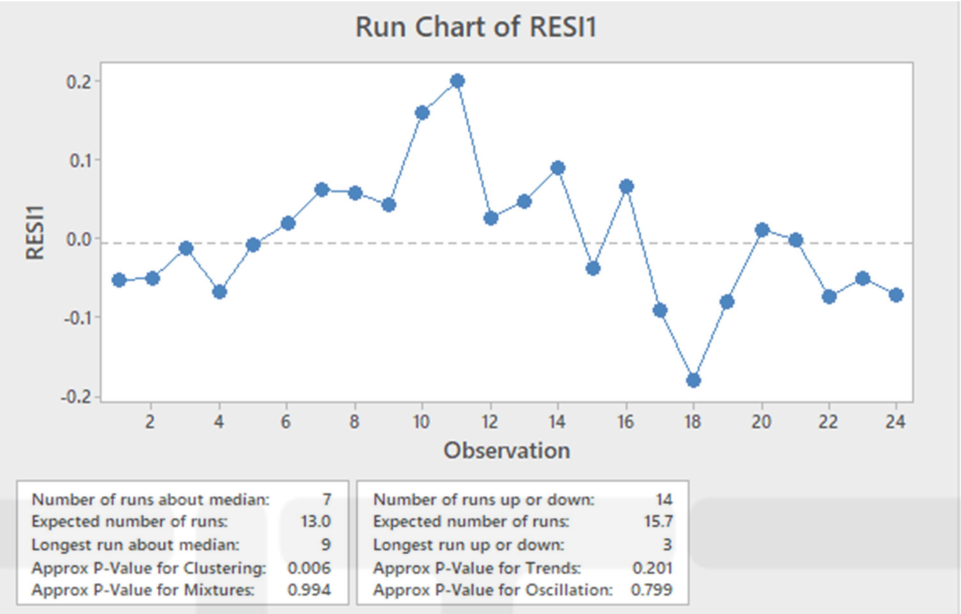
ภาพที่ 4.3 แสดงการแจกแจงแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง

จากภาพที่ 4.3 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติหรือสามารถตรวจสอบได้จากค่า P-Value ของการตรวจสอบมีค่าเท่ากับ 0.519 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Do not Reject H_0) แสดงว่าการแจกแจงของค่าส่วนตกค้างเป็นแบบปกติ (ปุณยรีย์, 2559)

4.3.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง มีสมมติฐานการทดสอบดังนี้

H_0 : ค่าส่วนตกค้างเป็นแบบสุ่ม

H_1 : ค่าส่วนตกค้างไม่เป็นแบบสุ่ม



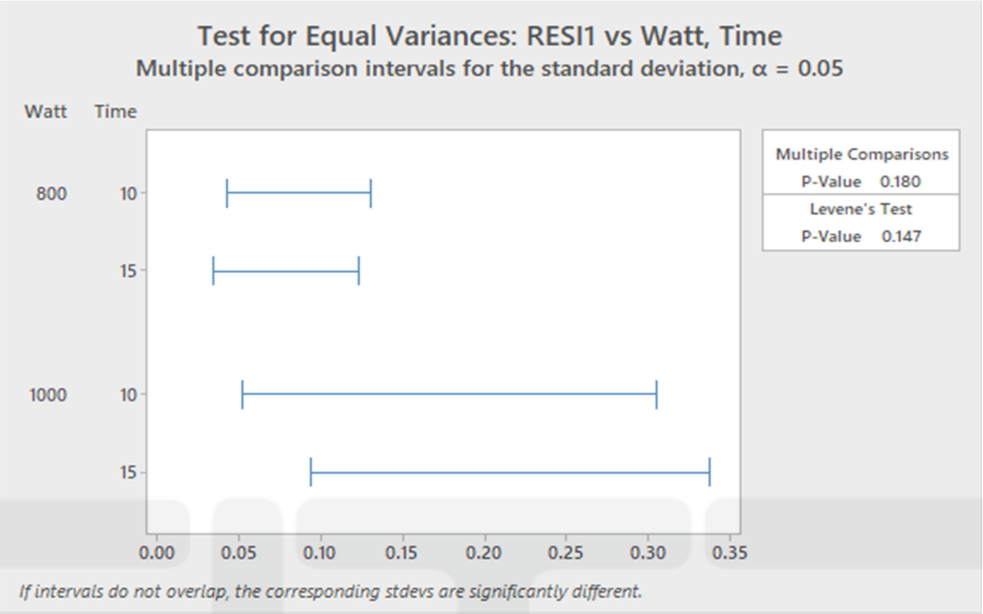
ภาพที่ 4.4 การทดสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง

จากภาพที่ 4.4 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่เป็นแนวโน้มสามารถตรวจสอบได้จากค่า P-Value ของการตรวจสอบมีค่าเท่ากับ 0.201 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Do not Reject H_0) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างเป็นแบบสุ่มหรือเป็นอิสระจากปัจจัยในการทดลอง (ปุณยรีย์, 2559)

4.3.3 ตรวจสอบความเสถียรของค่าแปรปรวน มีการตั้งสมมติฐานการทดสอบดังนี้

H_0 : ค่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีเสถียรภาพ

H_1 : ค่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างไม่มีเสถียรภาพ



ภาพที่ 4.5 การตรวจสอบความเสถียรภาพของค่าแปรปรวน

จากภาพที่ 4.5 พบว่าค่าส่วนตกค้างมีความเสถียรภาพไม่มีความแปรปรวนสามารถตรวจสอบได้จากค่า P-Value ของการตรวจสอบมีค่าเท่ากับ 0.180 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Do not Reject H_0) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (ปุณยรีย์, 2559)

จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าคุณสมบัติของค่าส่วนตกค้างเป็นไปตามข้อกำหนดคือ รูปแบบของค่าส่วนตกค้างเป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมด 3 ข้อ ได้แก่ ค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ ค่าส่วนตกค้างเป็นแบบสุ่มและค่าความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีเสถียรภาพ ผู้จัดทำโครงงานจึงสามารถบ่งบอกได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับนำไปวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยโดยจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยที่ทำการทดลอง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 17 จากภาพ 4.6 พบว่าปัจจัยหลักคือค่าวัตต์ของแม่เหล็กไฟฟ้า (วัตต์) และเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ (นาที) ส่งผลกระทบต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมตั้งแต่ 2 ปัจจัย พบว่าค่าวัตต์

ของแม่เหล็กไฟฟ้า (วัตต์) และเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ (นาที) ก็มีผลต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) อย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	7.28988	2.42996	299.81	0.000
Linear	2	5.21307	2.60653	321.60	0.000
Watt	1	2.16000	2.16000	266.50	0.000
Time	1	3.05307	3.05307	376.69	0.000
2-Way Interactions	1	2.07682	2.07682	256.24	0.000
Watt*Time	1	2.07682	2.07682	256.24	0.000
Error	20	0.16210	0.00810		
Lack-of-Fit	4	0.04610	0.01152	1.59	0.225
Pure Error	16	0.11600	0.00725		
Total	23	7.45198			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0900278	97.82%	97.50%	96.87%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		1.2308	0.0184	66.98	0.000	
Watt	-0.6000	-0.3000	0.0184	-16.32	0.000	1.00
Time	-0.7133	-0.3567	0.0184	-19.41	0.000	1.00
Watt*Time	-0.5883	-0.2942	0.0184	-16.01	0.000	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

Reults = 3.0142 + 1.1708 Watt - 0.14267 Time - 0.11767 Watt*Time

ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง

4.5 การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถเขียนสมการถดถอยเพื่อทำนายค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ในรูปของปัจจัยที่มีนัยสำคัญเพื่อนำไปหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยได้ดังนี้

$$y = 3.0142 + 1.1708Watt - 0.14267Time - 0.11767Watt * Time \qquad (4.1)$$

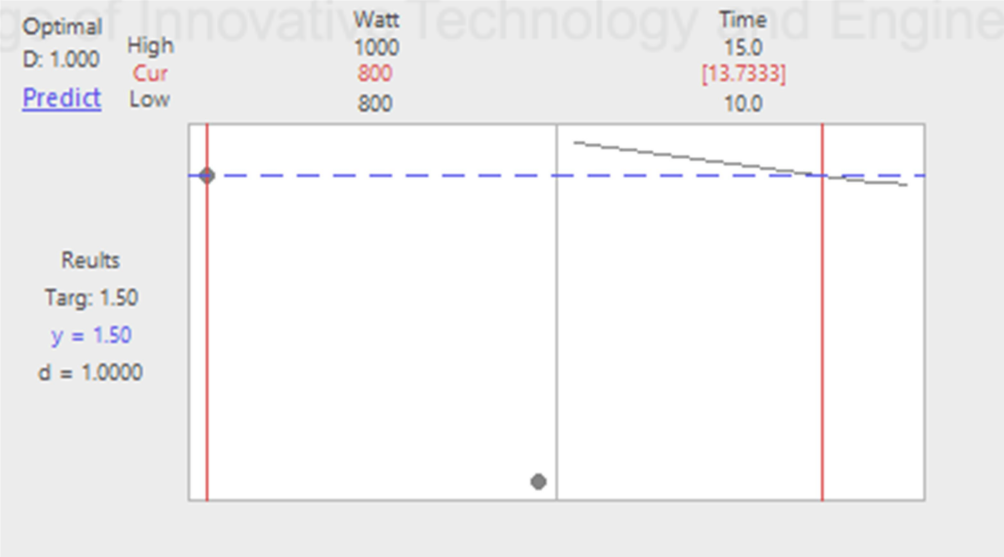
จากสมการ 4.1 สามารถหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab 17 โดยผู้จัดทำโครงงานได้วิเคราะห์แบบเข้าสู่เป้าหมาย (Goal) โดยกำหนดค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ตั้งค่า %TDS น้อยที่สุด (Lower) เท่ากับ 0.10 ตั้งค่า %TDS (Target) เท่ากับ 1.50 และตั้งค่า %TDS มากที่สุด (Upper) เท่ากับ 1.74 ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์สภาวะการทำงานที่เหมาะสม แสดงดังภาพที่ 4.7 และกราฟช่วง 95% CI ของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่สัดส่วนของเสีย แสดงดังภาพที่ 4.8 ตามลำดับ

```
Multiple Response Prediction

Variable  Setting
Watt      800
Time      13.7333


Response     Fit  SE Fit       95% CI            95% PI
Reults    1.5000  0.0290  (1.4396, 1.5604)  (1.3027, 1.6973)
```

ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์สภาวะการทำงานที่เหมาะสม



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมแต่ละคู่ของปัจจัย

จากภาพ 4.8 แสดงปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการคั่วเมล็ดกาแฟ ได้แก่ ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้าเท่ากับ 800 วัตต์และเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟเท่ากับ 13.73 นาทีจะได้ค่า %TDS เท่ากับ 1.50 และค่าวัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบสนอง (composite desirability: D) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ (อธิวัฒน์, เปรมพร, 2562)

4.6 การทดสอบเพื่อยืนยันผล

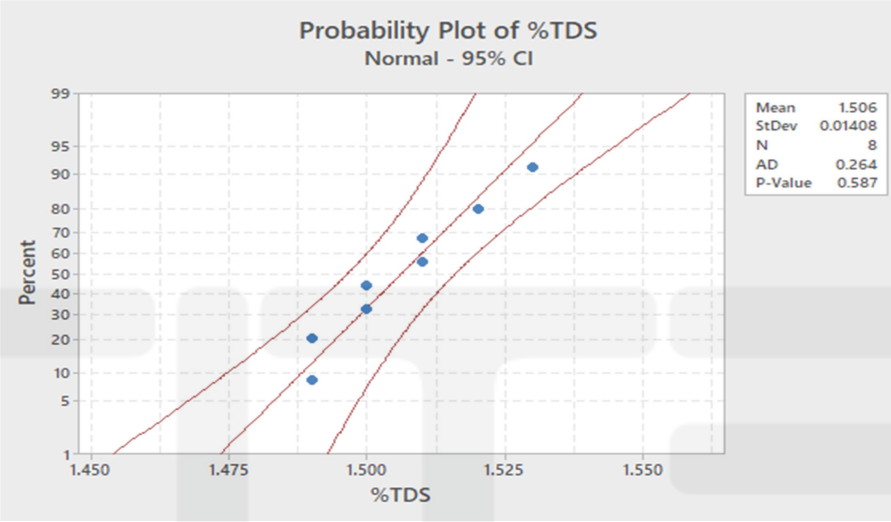
การทดสอบเพื่อยืนยันผล ผู้จัดทำโครงงานทำการทดลองเพื่อยืนยันว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมจากหัวข้อ 4.5 นั้นจะส่งผลให้ค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ได้ตามที่ต้องการหรือไม่ ด้วยค่าปรับค่าต่าง ๆ ตามผลที่ได้จากหัวข้อ 4.5 ซึ่งค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้าเท่ากับ 800 วัตต์ และเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟเท่ากับ 13.73 นาที ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางทดสอบเพื่อยืนยันผล

การทดลอง	ปัจจัย		ค่า %TDS (Total Dissolved Solid)
	ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า (วัตต์) (A)	เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ (นาที) (B)	
1	800	13.73	1.50
2	800	13.73	1.51
3	800	13.73	1.49
4	800	13.73	1.52
5	800	13.73	1.50
6	800	13.73	1.49
7	800	13.73	1.53
8	800	13.73	1.51

College of Innovative Technology and Engineering

การทดสอบตามหลักการสถิติด้วยวิธี 1-Sample T Test เนื่องจากไม่สามารถทราบค่าความแปรปรวนของประชากรและข้อมูลที่นำมาทดสอบผ่านการตรวจสอบว่ามีการกระจายตัวแบบปกติแสดงดังภาพ 4.9



ภาพที่ 4.9 กราฟการกระจายตัวแบบปกติของค่า %TDS ในการทดสอบเพื่อยืนยันผล

College of Innovative Technology and Engineering

One-Sample T: %TDS

Test of μ = 1.5 vs ≠ 1.5

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P
%TDS	8	1.50625	0.01408	0.00498	(1.49448, 1.51802)	1.26	0.250

ภาพที่ 4.10 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

จากภาพที่ 4.10 ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการทดสอบว่าค่า %TDS ของกลุ่มตัวอย่าง 8 การทดลองมีค่าเท่ากับ 1.50 หรือไม่ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.250 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าการทดลองเพื่อยืนยันผลทั้ง 8 การทดลองไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานได้ คือ ค่า %TDS ทั้ง 8 การทดลองเท่ากับ 1.50 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.50625 และช่วงความเชื่อมั่นเท่ากับ 1.49448-1.51802 ดังนั้นจึงสามารถนำค่าระดับของแต่ละปัจจัยไปใช้ในการคั่วเมล็ดกาแฟได้จริง (อธิวัฒน์, เปรมพร, 2562)

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อผู้จัดทำโครงงานได้วิเคราะห์ผลการทดลองในบทที่ผ่านมาเป็นที่เรียบร้อยแล้วในบทนี้ผู้จัดทำโครงงานได้สรุปผลการดำเนินโครงงานรวมไปถึงข้อเสนอแนะโดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อการคั่วเมล็ดกาแฟพร้อมทั้งหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าต่าง ๆ ของเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนเพื่อที่จะได้ค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ตามที่กำหนดโดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า เวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ และมุมของเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟ ผู้จัดทำโครงงานได้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกเทอเรียลแบบ 2 ระดับ (2^k Factorial Design) และได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการคั่วเมล็ดกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อน

จากโครงงานนี้ทำให้ทราบว่าค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้าและเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟ ส่งผลต่อค่า %TDS (Total Dissolved Solid) อย่างมีนัยสำคัญโดยพบว่าที่ค่าวัตต์ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้าที่ 800 วัตต์และเวลาในการคั่วเมล็ดกาแฟที่ 13.73 นาที ทำให้ได้ค่า %TDS (Total Dissolved Solid) ที่ 1.50 ตามที่ต้องการ

5.2 ข้อจำกัดของโครงงาน

ในการทดลองนี้จะใช้เฉพาะเมล็ดกาแฟพันธุ์ PAPUA NEW GUINEA PNG SIGRI ESTATE PB ขนาดเกรด A ความชื้นไม่เกิน 13% เนื่องจากเป็นพันธุ์เมล็ดกาแฟที่ได้รับความนิยมและราคาอยู่ในระดับปานกลางซึ่งร้านกาแฟขนาดเล็กสามารถนำมาสร้างสรรค์เป็นเมนูกาแฟเพื่อสร้างเอกลักษณ์ให้กับร้านของตัวเองได้

College of Innovative Technology and Engineering

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในโครงงาน

เกิดข้อจำกัดในการทำการทดลองในแต่ละครั้งเนื่องจากปัญหาด้านเวลาและตารางเรียนของผู้จัดทำโครงงาน

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ผลการศึกษานี้เป็นเพียงการทดลองเฉพาะเมล็ดกาแฟพันธุ์ PAPUA NEW GUINEA PNG SIGRI ESTATE PB เท่านั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเมล็ดพันธุ์อาจจะส่งผลให้ได้ผลลัพธ์หรือสภาวะเหมาะสมที่แตกต่างไปจากผลการทดลองในครั้งนี้ ดังนั้นก่อนนำข้อมูลการศึกษานี้ไปใช้งานจริงควรตรวจสอบเงื่อนไขในการควบคุมก่อน

5.4.2 สิ่งสำคัญที่ต้องระมัดระวังในการคั่วเมล็ดกาแฟคือหลังจากที่คั่วเมล็ดกาแฟเสร็จแล้วควรจะทำให้อุณหภูมิของเมล็ดกาแฟเย็นลงเร็วที่สุดเนื่องจากหากปล่อยไว้อุณหภูมิที่ยังอยู่ในเมล็ดกาแฟหลังจากการคั่วจะส่งผลต่อการ %TDS (Total Dissolved Solid) ได้

5.4.3 หม้อดินเผาแต่ละชนิดมีขนาดและรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นก่อนทำการทดลองหรือเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ควรศึกษาโครงสร้างและวิธีการใช้งานของเครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนโดยละเอียด

College of Innovative Technology and Engineering

บรรณานุกรม

College of Innovative Technology and Engineering

บรรณานุกรม

วิทยานิพนธ์และสารนิพนธ์ ภาษาไทย

กัญจนพร ทองกลม. (2557). การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปฉนวนกับความร้อนฝากระโปรงรถยนต์ โดยวิธีการออกแบบการทดลอง, สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ชลภูมิ เตชะทวีกุล. (2557). การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบรรจุถุงเม็ดมาสเตอร์แบทสีขาวขนาด 25 กิโลกรัมด้วยเครื่องบรรจุถุงอัตโนมัติ โดยการออกแบบการทดลอง, สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ณภัทร ปรุงเจริญ. (2560). เครื่องคั่วกาแฟแบบดินเผาโดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อน, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปุณยวีร์ พิพัฒธนานันต์. (2559). การลดของเสียในกระบวนการชุบแผงวงจรแบบยืดหยุ่น โดยใช้การออกแบบการทดลอง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พิทักษ์ชน วิเศษ. (2556). การลดของเสียในการผลิตชิ้นไม้สับโดยการออกแบบการทดลอง, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภัทรมน บุญรักษา. (2557). การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการเคลือบแผ่นเหล็กดีบุก โดยการออกแบบการทดลอง, สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

หนังสือ

กฤษดา อัศวรุ่งแสงกุล. (2559). สถิติประยุกต์สำหรับวิศวกร:การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ยงพลเทรดดิ้ง

College of Innovative Technology and Engineering

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูรณ์. (2008). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท้อป.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Montgomery D.C. (2013). Design and Analysis of Experiments. 8th edition, New York: John Wiley & Sons.

วารสาร ภาษาไทย

อธิวัฒน์ ลีนะธรรม, เปรมพร เขมาวุฒฒ์, การปรับปรุงกระบวนการผลิตลวดแกนกลางของผลิตภัณฑ์สายสวนหลอดเลือดหัวใจด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 เดือน พฤษภาคม-สิงหาคม 2562 : 12-24

สารสนเทศจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์

เส้นทางเศรษฐีออนไลน์. เผยคนไทยดื่มกาแฟ 300 แก้ว/คน/ปี มูลค่าธุรกิจพุ่งถึง 1.7 หมื่นล้านบาท เร่งเฟ้นหา “บาริสต้า” สู่เวทีโลก.[สื่อออนไลน์]. สืบค้นวันที่ 26 มีนาคม 2562. จาก: https://www.sentangsedtee.com/exclusive/article_85954

Coffee Education. รู้จัก – กาแฟที่สกัดสมบูรณ์ – (1). [สื่อออนไลน์]. สืบค้นวันที่ 29 มีนาคม 2562. จาก: http://coffee-education.com/ideal-yield-1/

Coffee Education. รู้จัก – กาแฟที่สกัดสมบูรณ์ – (2). [สื่อออนไลน์]. สืบค้นวันที่ 29 มีนาคม 2562. จาก: http://coffee-education.com/ideal-yield-2/

วารสาร ภาษาอังกฤษ

Daniele Tonilo Dias, Ossamu Nakamura, Bruno Filardi Fagundes. (2015) “Dyeing process optimization in natural fiber through the Photoacoustic Spectroscopy”, Multidiscipline Modeling in Materials and Stuctures, Vol.11 Issue:2, pp.273-283

Wayne Lawson, R.D.Pilkington, A.E.Hill. (2007) “Modeling and analysis of the growth of copper dendrites in saturated conditions using a multilevel factorial design analysis”, Microelectronics international, Vol.24 Issue: 2, pp.28-34

College of Innovative Technology and Engineering

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ : นางสาวฐิติรัตน์ ลิ่มรัชชพงศ์
ชื่อโครงงาน : การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการคั่วเมล็ดกาแฟ
สาขาวิชา : วิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2539 ปัจจุบันอยู่บ้านเลขที่ 96/22 ถนนปาดังเบซาร์ อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จากโรงเรียนกิตติวิทย์ บ้านพรุ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ จากโรงเรียนหาดใหญ่อำนวยวิทย์ จังหวัดสงขลา

ชื่อ : นายณัฐวัตร ห้วยลึก
ชื่อโครงงาน : การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการคั่วเมล็ดกาแฟ
สาขาวิชา : วิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดเมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน 2537 ปัจจุบันอยู่บ้านเลขที่ 127 หมู่ 4 ตำบลบ้านต๋อม อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จากโรงเรียนเคนเน็ตแม็คเคนซี จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ จากโรงเรียนลำปางพาณิชยการและเทคโนโลยี จังหวัดลำปาง

College of Innovation Technology and Engineering