



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานโดยใช้วิธีการออกแบบของผสม
กรณีศึกษา บริษัทยูนิลีเวอร์ ไทย เซอร์วิส จำกัด
(DEVELOPMENT OF DISHWASHING FORMULA USING MIXTURE
DESIGN:
A CASE STUDY OF UNILEVER THAI SERVICES CO., LTD.)

นางสาวเขาวรา พันธุ์หิรัญ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานโดยใช้วิธีการออกแบบของผสม

กรณีศึกษา บริษัทยูนิลีเวอร์ ไทย เซอร์วิส จำกัด

(DEVELOPMENT OF DISHWASHING FORMULA USING MIXTURE
DESIGN:
A CASE STUDY OF UNILEVER THAI SERVICES CO., LTD.)

นางสาวเยาวรา พันธุ์หิรัญ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานโดยใช้วิธีการออกแบบของผสม

กรณีศึกษา บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย เซอร์วิสส์ จำกัด

Development of Dishwashing Formula Using Mixture Design:
A Case Study of Unilever Thai Services Co., Ltd.

นักศึกษา นางสาวเยาวรา พันธุ์หิรัญ รหัสประจำตัว 58011035

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์

(รศ.ดร. กรรณชัย กัลยาศิริ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานโดยใช้การออกแบบของผสม กรณีศึกษา บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย เซอร์วิสส์ จำกัด	
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นางสาวเยาวรา พันธุ์หิรัญ	
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ	
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	นางพรรณฉวี ตั้งสกุล	
สถานประกอบการ	บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย เซอร์วิสส์ จำกัด	

บทคัดย่อ

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นส่วนประกอบหลักในผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจาน และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความผันผวนของราคาและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษาจึงต้องมีการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานเพื่อให้ต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานคงที่ ซึ่งการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานในปัจจุบันทำโดยการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ทำให้เกิดความล่าช้าและสิ้นเปลือง ดังนั้นปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสูตรน้ำยาล้างจานและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายต้นทุนและคุณสมบัติเบื้องต้นของสูตรน้ำยาล้างจานโดยใช้การออกแบบของผสม (Mixture Design) วิธี Extreme Vertices โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา 5 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) 4 ชนิด คือ Alkyl Benzene Sulfonic Acid (LAS Acid), Sodium Lauryl Sulfate (SLS), Sodium Lauryl Ether Sulfate (SLES) และ Cocamidopropyl Betaine (CAPB) และส่วนผสมอื่นในน้ำยาล้างจานซึ่งถูกรวมไว้ด้วยกัน (Other) และมีผลตอบ (Response) ที่ต้องการศึกษา 4 ผลตอบ ได้แก่ ต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน ค่าความหนืด ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด และค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด ซึ่งให้จำนวนการทดลองทั้งหมด 33 การทดลอง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานมากที่สุด คือ SLS และ LAS Acid และสมการทำนายที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการคาดการณ์ต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน โดยพบว่ามีความคลาดเคลื่อนในการทำนายน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ทั้ง 4 ผลตอบ

คำสำคัญ : น้ำยาล้างจาน, สารลดแรงตึงผิว, การออกแบบของผสม

Cooperative Title: Development of Dishwashing Formula Using Mixture Design: A Case Study of Unilever Thai Services Co., Ltd.

Student intern name: Ms. Yaowara Punhirun

Faculty: Engineering **Department:** Industrial Engineering

Advisor name: Asst. Prof. Dr. Kannachai Kanlayasiri

Mentor name: Ms. Tadsanee Tangsakul

Company: Unilever Thai Services Co., Ltd.

ABSTRACT

Surfactant is the main ingredient in dishwashing liquid products. That is the main cause of fluctuations in price and properties of the product. Therefore, the case study company has to develop dishwashing liquid formula to stabilize cost and properties of dishwashing liquid. Development of dishwashing liquid formula currently made by trial and error that cause delays and wastes. Therefore, this thesis is designed to define the factors that affect the dishwashing formula by create a mathematical model for predicting the cost and basic properties of dishwashing liquid formula by using extreme vertices mode in mixture design. There are 5 factors used in the study, which are 4 surfactant types, i.e., Alkyl Benzene Sulfonic Acid (LAS Acid), Sodium Lauryl Sulfate (SLS), Sodium Lauryl Ether Sulfate (SLES) and Cocamindopropyl Betaine (CAPB) and other ingredients in dishwashing (Other). There are 4 responses of interest in the study including; cost, viscosity, average number of total plates and average number of cleaned plates. Based on the selected mixture design, there are totally 33 experimental runs in this study. The mathematical model obtained from the experiment showed that the most influenced factors affecting to cost and properties of the dishwashing are SLS and LAS Acid. The developed equation can be used to predict the 4 responses of dishwashing liquid with prediction errors less than 10 percent.

Keywords: Dishwashing, Surfactant, Mixture Design

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่องการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานโดยใช้การออกแบบของผสม
กรณีศึกษา บริษัทยูนิลีเวอร์ ไทย เซอร์วิส จำกัด สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำงานวิจัย
ขอกราบขอบพระคุณบุคคลผู้มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งท่านคอยชี้แนะแนวทาง
ในการทำงานวิจัยและให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาจนปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณจตุรพร สรรพวัฒน์ Line manager และ คุณทัศนีย์ ตั้งสกุล ผู้ดูแล
ซึ่งดูแลและให้คำปรึกษาในการทำโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วงและขอบพระคุณพี่ ๆ พนักงานทุกท่าน
ที่ไม่ได้เอ่ยนามภายในทีมน้ำยาล้างจาน ซึ่งให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำรวมถึงให้กำลังใจ
ในการทำปริญญาานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ และครอบครัวซึ่งเป็นกำลังใจสำคัญ
ในการทำปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้
ที่ได้ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

เยาวรา พันธุ์หิรัญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.7 สถานที่ทำการวิจัย.....	3
1.8 นิยามศัพท์.....	4
1.9 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว (Surfactant).....	6
2.1.1 ความหมายของสารลดแรงตึงผิว.....	6
2.1.2 ลักษณะของสารลดแรงตึงผิว.....	6
2.1.3 การประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวในน้ำยาล้างจาน.....	8
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการของผสม (Mixture Design).....	8

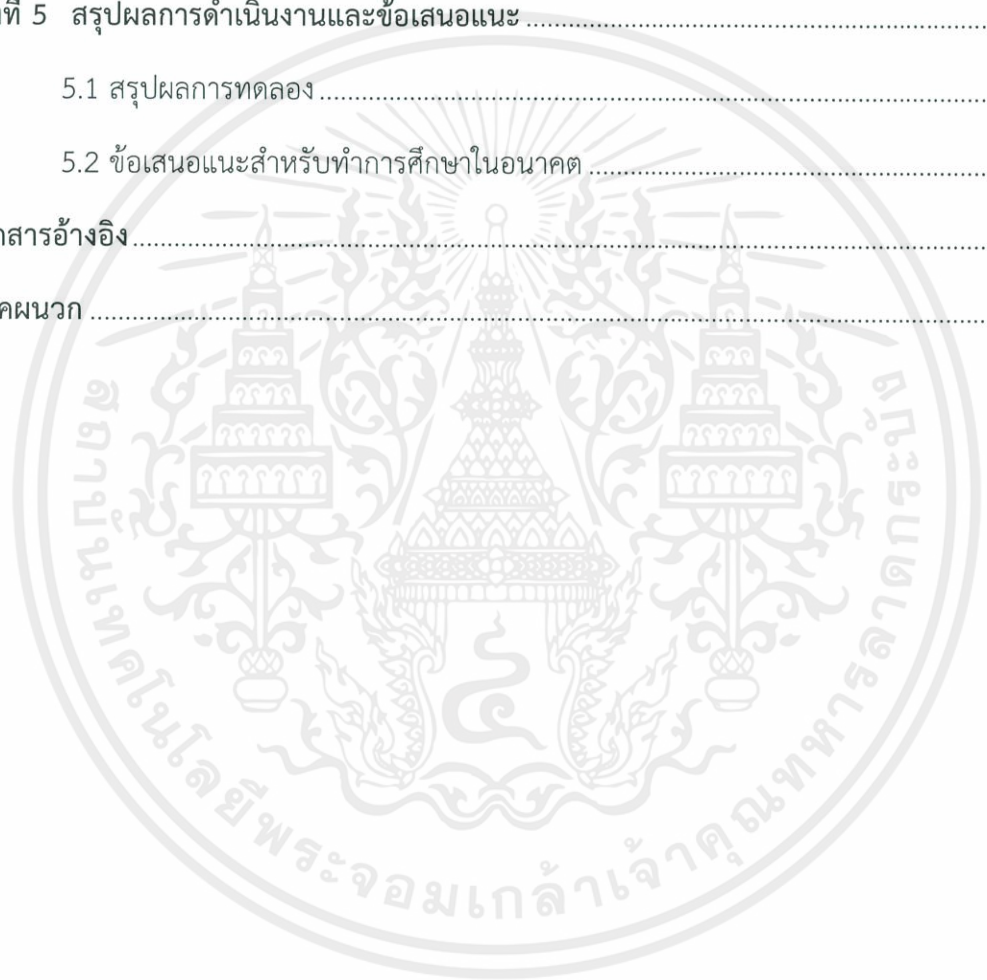
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลการทดลอง	12
2.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	12
2.3.2 เทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย.....	13
2.3.3 แบบจำลองการถดถอย	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....	16
3.1 การศึกษาปัญหาและสภาพปัจจุบัน	17
3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา.....	17
3.1.2 ข้อมูลทั่วไปของผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา.....	18
3.1.3 การศึกษาปัญหาในการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจาน.....	19
3.2 การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบของผสม	21
3.3 การรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติและต้นทุนของน้ำยาล้างจาน	27
3.3.1 การคำนวณต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน	27
3.3.2 การทดสอบค่าความหนืด	28
3.3.3 การทดสอบค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด.....	29
3.3.4 การทดสอบค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด	32
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	32
3.5 การหาความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่าจริง	35
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	37
4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายต้นทุน และคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน.....	37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การประเมินผลค่าความคลาดเคลื่อนของ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่าจริง	42
4.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากดำเนินงานวิจัย	44
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการทดลอง	45
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับทำการศึกษาในอนาคต	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	48



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงาน 3
ตารางที่ 3.1	ส่วนผสมของน้ำยาล้างจานและข้อจำกัดของส่วนผสม ที่นำมาใช้ในการออกแบบการทดลอง 21
ตารางที่ 3.2	อัตราส่วนผสมของน้ำยาล้างจานที่ได้จาก การออกแบบการทดลองในโปรแกรม Minitab17 24
ตารางที่ 4.1	ผลการทดลองจากสัดส่วนของส่วนผสมน้ำยาล้างจานในข้อ 3.5 42



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ Sodium Octadecanoate	6
รูปที่ 2.2 กระบวนการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวที่นิยมสำหรับสารลดแรงตึงผิวแต่ละประเภท.....	7
รูปที่ 2.3 สิ่งทดลองสำหรับแผนการออกแบบการทดลองแบบแบบซิมเพล็กซ์แล็คทิส.....	10
รูปที่ 2.4 จุดทดลองสำหรับการออกแบบการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แล็คทิส (3,3)	10
รูปที่ 2.5 การออกแบบ แบบซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (a) 3 ส่วนผสมและ (b) 4 ส่วนผสม.....	11
รูปที่ 2.6 การออกแบบ แบบซิมเพล็กซ์แอกเซียล	11
รูปที่ 3.1 สัญลักษณ์ของบริษัท	17
รูปที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทยูนิลีเวอร์ซึ่งจัดจำหน่ายในประเทศไทย.....	18
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนในการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานแบบดั้งเดิม	20
รูปที่ 3.4 การเลือก Analysis Mixture Design จากเมนูบาร์.....	22
รูปที่ 3.5 การเลือกชนิดของการทดลองและจำนวนปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	22
รูปที่ 3.6 การเลือก Degree of Design และจำนวนครั้งในการทดลองซ้ำ (Replication)	23
รูปที่ 3.7 การใส่ผลรวมทั้งหมดของส่วนผสม และกำหนดเงื่อนไขของแต่ละปัจจัย	23
รูปที่ 3.8 การเริ่มต้นการออกแบบการทดลอง คลิปปุ่ม OK เพื่อเริ่มต้นการออกแบบการทดลอง ...	24
รูปที่ 3.9 ลำดับขั้นตอนการเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และส่วนผสมอื่น ในการผสมน้ำยาล้างจาน.....	26
รูปที่ 3.10 Haake Viscometer VT550.....	28
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการล้างจาน	29
รูปที่ 3.12 ส่วนผสมของน้ำแกงมัสมั่นพร้อมปรุง รอยไทย	30
รูปที่ 3.13 ขนาดของฟองน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	31
รูปที่ 3.14 การเลือก Analysis Mixture Design จากเมนูบาร์.....	33
รูปที่ 3.15 การตั้งค่าในโหมด Analysis Mixture Design	33
รูปที่ 3.16 การตั้งค่าในโหมด Analysis Mixture Design	34

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.17 การเริ่มต้นวิเคราะห์ข้อมูล.....	34
---	----



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) คือ สารที่ทำหน้าที่ในการลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำและน้ำมัน หรือสิ่งสกปรก สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ ส่วนหัว (Hydrophilic) ซึ่งเป็นส่วนที่หันเข้าหาน้ำ และ ส่วนหาง (Hydrophobic) ซึ่งเป็นส่วนที่หันออกจากน้ำเข้าหาน้ำมัน ด้วยลักษณะเหล่านี้ ทำให้สารลดแรงตึงผิวนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทำความสะอาด เนื่องจาก ส่วนหาง (Hydrophobic) จะทำหน้าที่จับน้ำมันหรือคราบสกปรก โดยใช้หลักการลดแรงตึงผิว ระหว่างคราบสกปรกและพื้นผิวที่ต้องการทำความสะอาด จากนั้นส่วนหัว (Hydrophilic) ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำจะหันหน้าเข้าหาโมเลกุลของน้ำทำให้คราบสกปรกหลุดออกจากพื้นผิวที่ต้องการทำความสะอาดและลอยอยู่ในน้ำนั่นเอง ด้วยคุณสมบัตินี้จึงทำให้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นส่วนประกอบหลักซึ่งมีความสำคัญในอุตสาหกรรมทำความสะอาดอย่างแพร่หลาย ไม่เว้นแม้กระทั่งในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในครัวเรือน เช่น น้ำยาล้างจาน

ยูนิลีเวอร์ เป็น กลุ่มธุรกิจที่ทำธุรกิจผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าอุปโภคบริโภคที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีสินค้าทั้งอาหารและเครื่องใช้ในครัวเรือนรวมถึงเครื่องใช้ส่วนบุคคลภายในตลาด FMCG (Fast Moving Consumer Goods) หรือตลาดสินค้าอุปโภคบริโภคมีกลุ่มตลาดย่อยกลุ่มหนึ่งซึ่งมีมูลค่า 5,300 ล้านบาท คือ ตลาดน้ำยาล้างจาน ซึ่งน้ำยาล้างจานที่มีส่วนแบ่งทางการตลาดมากที่สุดในปัจจุบันคือ น้ำยาล้างจานซันไลต์

น้ำยาล้างจานซันไลต์นี้ได้วิวัฒนาการมาอย่างยาวนานตั้งแต่ปี ค.ศ.1890 โดยผู้ก่อตั้งคือ นายวิลเลียม เฮสเกธ ลีเวอร์ แต่ในปัจจุบันมีน้ำยาล้างจานหลายยี่ห้อที่เข้ามาแย่งส่วนแบ่งทางการตลาดของน้ำยาล้างจานซันไลต์ ทำให้น้ำยาล้างจานซันไลต์ต้องมีการพัฒนาสูตรตลอดเวลา เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่นอกจากต้องการผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานที่สามารถจัดคราบมันแล้ว ราคาของผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานก็มีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าเช่นกัน เนื่องจากสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นส่วนประกอบหลักในผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจาน ดังนั้นหาก ราคาของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่อราคาต้นทุนของน้ำยาล้างจานที่จำหน่าย เพื่อให้สามารถจำหน่ายสินค้าได้ในราคาเท่าเดิม จึงต้องมีการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจาน เพื่อให้ราคาต้นทุนโดยรวมและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานคงที่ ซึ่งการคิดค้นสูตรในการทำ น้ำยาล้างจานในปัจจุบันของ บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทยเซอร์วิส จำกัด เป็นไปได้อย่างล่าช้าเนื่องจาก ทุกครั้งที่ทำการปรับเปลี่ยนสูตรของน้ำยาล้างจานจะใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) ในการกำหนดสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่ผสมอยู่ในน้ำยาล้างจานโดยอาศัยเพียงข้อมูล ในอดีตมาวิเคราะห์ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวในสูตร เพราะไม่ทราบว่าสารลดแรงตึงจะส่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

อย่างไรต่อคุณสมบัติโดยรวมของน้ำยาล้างจาน ทำให้ไม่สามารถทำนายสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวที่จะส่งผลต่อคุณสมบัติและต้นทุนของน้ำยาล้างจานได้ จึงไม่สามารถกำหนดสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวในการทำน้ำยาล้างจานสูตรใหม่ได้ในทันที ทำให้เกิดความล่าช้าในการคิดค้นและพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานรวมถึงเกิดต้นทุนในการคิดค้นพัฒนาสูตรที่เพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติและต้นทุนของน้ำยาล้างจาน
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวที่มีผลต่อคุณสมบัติและต้นทุนของน้ำยาล้างจาน

1.3 ขอบเขตของปริศยานิพนธ์

1. ทำการศึกษาสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ในสูตรน้ำยาล้างจานต้นแบบซึ่งส่งผลต่อค่า Viscosity จำนวนงานที่ล้างได้ทั้งหมด จำนวนานที่ล้างได้สะอาด และต้นทุน โดยทำการทดลองปรับเปลี่ยนเฉพาะสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ในสูตรเท่านั้น โดยปริมาณสารอื่นในสูตรมีค่าคงที่
2. สารลดแรงตึงผิวที่ใช้สำหรับการศึกษามีเพียง 4 ชนิด ได้แก่ Alkyl Benzene Sulfonic Acid (LAS Acid), Sodium Lauryl Sulfate (SLS), Sodium Lauryl Ether Sulfate (SLES) และ Cocamidopropyl Betaine (CAPB)
3. ทำการทดลองล้างจานหาจำนวนงานที่ล้างได้จริงจนหมดฟองและจำนวนงานที่ล้างสะอาด โดยกำหนดคราบที่ใช้สำหรับการทดลองคือ รอยไทย น้ำแกงมัสมั่นพร้อมปรุง ซึ่งนำมาทดสอบกับน้ำยาล้างจานตัวอย่างที่ทำการผสมจากการออกแบบของผสม (Mixture Design)
4. ปริมาณของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) โดยรวมมีเปอร์เซ็นต์แอคทีฟ (%Active : AD) อยู่ระหว่าง 10% - 25%

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เมื่อทำตามวัตถุประสงค์ของโครงการเสร็จสิ้น ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังต่อไปนี้

1. ได้เรียนรู้การใช้โปรแกรมทางสถิติในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผล โดยนำหลักการที่เรียนมาประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง
2. บริษัทกรณีศึกษาได้ประโยชน์จากการใช้สมการทำนายในการกำหนดสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวเพื่อพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานในอนาคต
3. บริษัทกรณีศึกษาสามารถผลิตน้ำยาล้างจานซึ่งมีสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมซึ่งลดต้นทุนในการพัฒนาสูตรและให้คุณสมบัติที่เหมาะสมโดยไม่จำเป็นต้องลองผิดลองถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินการ

- วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 รวมทั้งสิ้น 17 สัปดาห์

1.6 แผนการดำเนินงาน

สำหรับแผนการดำเนินงานทั้งหมดในการศึกษาและจัดทำปฏิญานิพนธ์ เรื่อง การพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานโดยใช้การออกแบบของผสม (Mixture Design) มีขั้นตอนดังแสดงในตารางที่ 1.6.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการทำปฏิญานิพนธ์

รายการ	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาปัญหา กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์	■	■														
2. ศึกษาการออกแบบการทดลองของผสม (Mixture Design)		■	■													
3. ศึกษาสภาพปัจจุบัน และขั้นตอนในการทำการทดลอง				■												
4. ทำการทดลองผสมน้ำยาล้างจาน					■	■	■	■	■	■	■	■				
6. เก็บรวบรวมข้อมูลค่า Viscosity, จำนวนจานที่ล้างได้ และต้นทุน					■	■	■	■	■	■	■	■				
7. วิเคราะห์ข้อมูล													■	■	■	■
8. นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้ในการทำนายคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวและต้นทุน													■	■	■	■
9. สุ่มเลือกส่วนผสมในข้อจำกัดที่กำหนดเพื่อทดลองซ้ำ															■	■
10. หาค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายและค่าจริง																■
11. นำเสนอ																■

1.7 สถานที่ทำการวิจัย

- บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทยเซอร์วิส จำกัด นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ซอย G1/15 เลขที่ 38 ซอยฉลองกรุง 31 แขวงลำประเทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-170-5700 หรือ 02-170-520

1.8 นิยามศัพท์

เปอร์เซ็นต์แอกทีฟ (%Active : AD) หมายถึง ปริมาณเนื้อสารของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด โดยไม่มีการปนเปื้อนสารอื่น เนื่องจากในสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดจะมีการผสมสารอื่นมาตั้งแต่กระบวนการในการผลิต เช่น แอลกอฮอล์, น้ำ เป็นต้น ดังนั้นสำหรับสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิด จะมีปริมาณเนื้อสารจริงไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ เช่น Alkyl Benzene Sulfonic Acid (LAS Acid) มีเปอร์เซ็นต์แอกทีฟ 97 หมายถึง หากใส่ LAS Acid ลงในน้ำยาล้างจาน 100 กรัม จะเป็น LAS Acid 97 กรัม และส่วนประกอบอื่น 3 กรัม ซึ่งในปฏิญญาพนธ์เล่มนี้หมายถึง ปริมาณเนื้อสารของสารลดแรงตึงผิวโดยรวมทั้งหมดในสูตรของน้ำยาล้างจาน ซึ่งเปอร์เซ็นต์แอกทีฟนี้สามารถคำนวณย้อนกลับได้จากปริมาณร้อยละโดยมวล (%w/w) จากสมการที่ 1.1

$$\text{Total AD} = \sum \frac{x_i \times \text{AD}_i}{100} \quad (1.1)$$

โดยที่ Total AD คือ เปอร์เซ็นต์แอกทีฟโดยรวมของสูตรน้ำยาล้างจาน
 x_i คือ ร้อยละโดยมวล (%w/w) ของสารลดแรงตึงผิวที่ผสมอยู่ในน้ำยาล้างจาน โดย i ได้แก่ Alkyl Benzene Sulfonic Acid (LAS Acid), Sodium Lauryl Sulfate (SLS), Sodium Lauryl Ether Sulfate (SLES) และ Cocamindopropyl Betaine (CAPB)
 AD_i คือ เปอร์เซ็นต์แอกทีฟของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดภายในน้ำยาล้างจาน ซึ่ง i ได้แก่ Alkyl Benzene Sulfonic Acid (LAS Acid), Sodium Lauryl Sulfate (SLS, Sodium Lauryl Ether Sulfate (SLES) และ Cocamindopropyl Betaine (CAPB)

1.9 รายละเอียดของปฏิญญาพันธ

ภายในปฏิญญาพันธฉบับนี้ การจัดทำแบ่งออกเป็น 5 บท โดยแต่ละบทมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญญาพันธ วัตถุประสงค์ ขอบเขต การศึกษา ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ระยะเวลาในการดำเนินงาน แผนการดำเนินงาน และสถานที่ในการทำงานวิจัย นิยามศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัย และรายละเอียดของปฏิญญาพันธโดยรวม

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการออกแบบการทดลอง

ในบทนี้จะอธิบายถึงทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้องกับสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่เกี่ยวข้องกับสูตรน้ำยาล้างจาน รวมไปถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบของผสม (Mixture Design) และการวิเคราะห์การทดลองเพื่อนำไปสู่การสร้างสมการทำนายค่าคุณสมบัติและราคาต้นทุนของน้ำยาล้างจาน

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะอธิบายถึงการออกแบบการทดลองและวิธีการทดลอง พร้อมทั้งวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน ไปจนถึงวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจนได้สมการทำนายค่าคุณสมบัติและราคาต้นทุนของน้ำยาล้างจาน และวิธีในการหาค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งได้จากสมการทำนายเทียบกับการทำการทดลองจริง

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

ในบทนี้จะอธิบายถึงสมการทำนายผลของคุณสมบัติและราคาต้นทุนของน้ำยาล้างจานซึ่งได้จากการออกแบบการทดลองของผสม(Mixture Design) และการนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิว(Surfactant) ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานและต้นทุนและนำเสนอค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากสมการทำนายเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง นอกจากนี้ยังระบุปัจจัยซึ่งส่งผลต่อค่าคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานและราคาต้นทุน

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะอธิบายถึงบทสรุปของปฏิญญาพันธ และข้อเสนอแนะในปฏิญญาพันธนี้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง การดำเนินการทดลอง ตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูล โดยประยุกต์ใช้ความรู้จากหัวข้อที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว (Surfactant)
- 2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการออกแบบของผสม (Mixture Design)
- 2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลการทดลอง

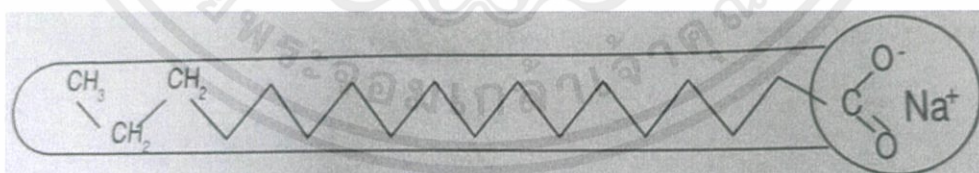
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

2.1.1 ความหมายของสารลดแรงตึงผิว [7]

สารทุกชนิดจะมีแรงตึงในพื้นผิว (Surface Tension) และเมื่อสาร 2 ชนิดอยู่ติดกันจะทำให้มีแรงตึงระหว่างพื้นผิวเกิดขึ้น (Interface Tension) ดังนั้นสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) จึงหมายถึงสารที่ทำหน้าที่ในการลดแรงตึงที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวและทำลายแรงตึงที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิว (Interface Tension) ทำให้สารสองชนิดสามารถละลายรวมกันได้

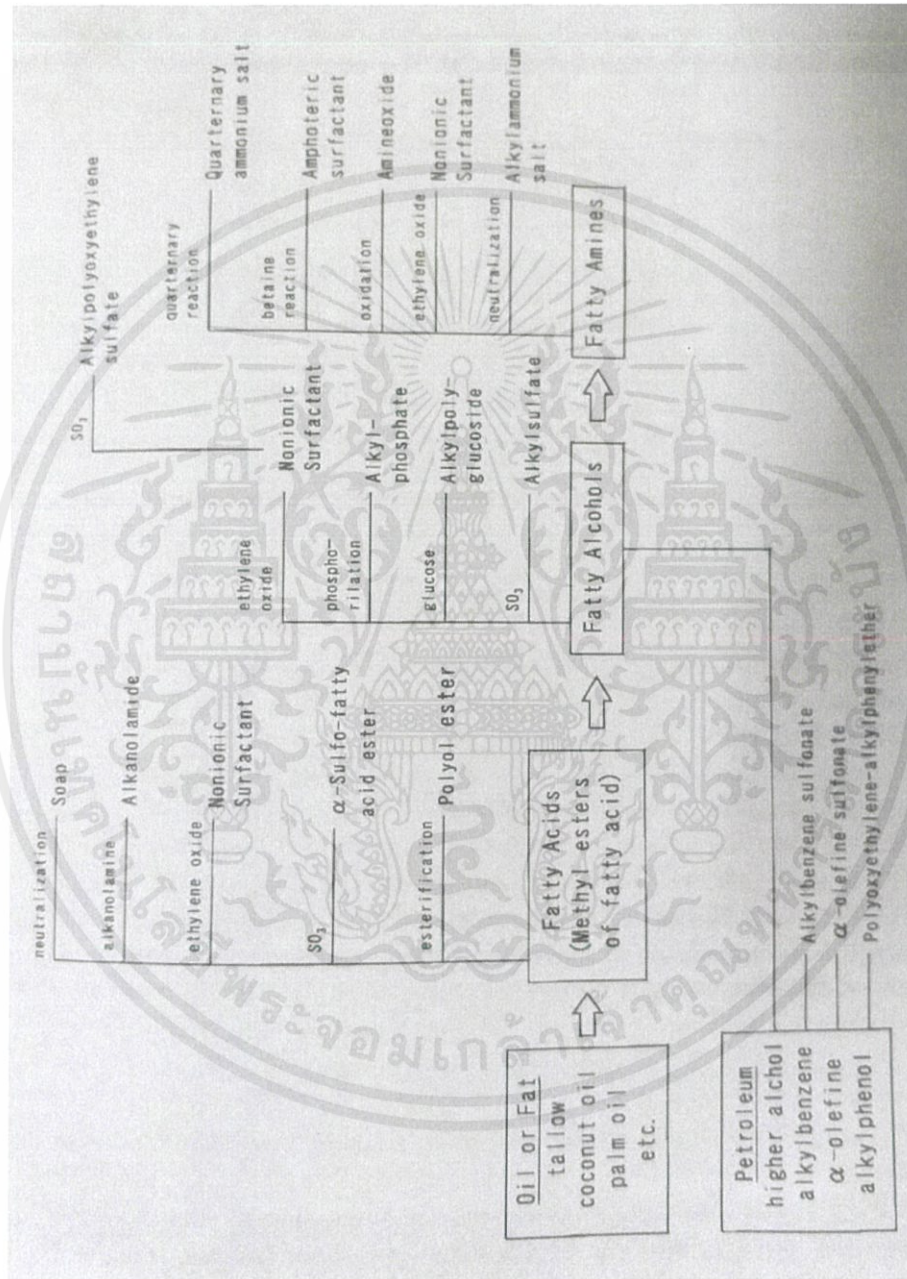
2.1.2 ลักษณะของสารลดแรงตึงผิว [7]

โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัว (Hydrophilic) และ ส่วนหาง (Hydrophobic) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของ Sodium Octadecanoate [7]

สารลดแรงตึงผิวโดยส่วนใหญ่มักพบในรูปของห่วงโซ่ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Chain) สารลดแรงตึงผิวทุกชนิดสามารถผลิตจากไขมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมัน เพราะมีอะตอมคาร์บอน (Carbon Atom) ประกอบกันจนเป็นห่วงโซ่ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Chain) ซึ่งในอุตสาหกรรมเคมีส่วนใหญ่นิยมสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวจากปิโตรเลียม ตัวอย่างกระบวนการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวที่เป็นที่นิยม แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวที่นิยมสำหรับสารลดแรงตึงผิวแต่ละประเภท [7]

ส่วนใหญ่ประเภทของสารลดแรงตึงผิวจะถูกแบ่งตามชนิดของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว ส่วนหัว (Hydrophilic) และ ส่วนหาง (Hydrophobic) แบ่งได้ 4 ประเภทดังนี้

1. Anionic Surfactant สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้เมื่อละลายในน้ำจะทำให้มีขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วลบ มีความสามารถละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิด สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้มีความสามารถในการทำความสะอาดสูงและทำให้เกิดฟองได้ดีซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมทำความสะอาด
2. Cationic Surfactant สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะมีขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วบวกทำให้สามารถทำงานได้ดีเมื่อละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วเป็นลบ จึงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในบางผลิตภัณฑ์ เช่น แชมพู เนื่องจากมีความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียที่อยู่ในร่างกาย
3. Amphoteric Surfactant สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Zwitter-ionic เนื่องจากจะสามารถเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าตามสภาพ pH มักถูกใช้เพื่อเป็นตัวกลางในการรวมสารลดแรงตึงผิวตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปให้สามารถละลายรวมกันได้ และมีความสามารถในการทำให้เกิดฟอง
4. Nonionic Surfactant สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ไม่มีขั้วไฟฟ้า มักถูกใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการเติมเกลือหรือการละลายในน้ำกระด้าง (Hard Water)

2.1.3 การประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวในน้ำยาล้างจาน [7]

สูตรสำหรับน้ำยาล้างจานจะใช้สารละลายสารลดแรงตึงผิวซึ่งให้ค่า pH เป็นกลาง สารลดแรงตึงผิวหลัก คือ สารลดแรงตึงผิวประเภท Anionic Surfactant ได้แก่ Alkylpolyoxyethylene Sulfates, Linear Alkylbenzene Sulfonates, Alkyl Sulfates, α -olefin Sulfonates, Nonionic Polyoxyethylene Alkylether และ Alkyl Polyglucoside บางครั้งมีการใช้สารลดแรงตึงผิวประเภท Amphoteric Surfactant ร่วมด้วยเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความสะอาดและการทำให้เกิดฟอง

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการออกแบบของผสม (Mixture Design)

การออกแบบของผสม (Mixture Design) เป็นการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Experiment) ประเภทพิเศษ ซึ่งปัจจัยในการศึกษาคือส่วนผสมหรือส่วนประกอบภายในของผสม และผลลัพธ์ (Response) ที่ต้องการศึกษาเป็นฟังก์ชันของสัดส่วนของแต่ละส่วนผสมในหน่วยเดียวกัน เช่น ร้อยละโดยมวล หรือ ร้อยละโดยปริมาตร เป็นต้น โดยปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมโดยรวมจะต้องมีค่าเป็น 1 (หรือ 100%) หมายถึงปัจจัยที่นำมาศึกษาจะต้องไม่เป็นอิสระ

ต่อกัน กล่าวคือเมื่อปัจจัยหนึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ปัจจัยอื่น ๆ มีปริมาณลดลง โดยเงื่อนไขของการออกแบบของผสม (Mixture Design) สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2 [8]

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, 3, \dots, q \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1 \quad (2.2)$$

โดยที่ q คือ ส่วนผสมหรือส่วนประกอบ

x_i คือ ปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมที่ i เมื่อ i คือส่วนประกอบภายในของผสม

จากเงื่อนไขของสมการที่ 2.2 ทำให้ระดับของปัจจัยไม่เป็นอิสระต่อกัน เป็นสาเหตุให้การทดลองแบบผสม (Mixture Design) แตกต่างจากการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Experiment) แบบอื่น ๆ [6]

สำหรับการออกแบบของผสม (Mixture Design) มีแผนการทดลองย่อย ซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 แบบ ซึ่งแต่ละแบบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [3]

1. การออกแบบ แบบซิมเพล็กซ์แลตทิซ (Simplex-Lattice Designs) พิกัด (Coordinate) ซึ่งเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของการทดลอง โดยแต่ละตัวแปรสามารถคำนวณระดับได้ดังสมการที่ 2.3

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad (2.3)$$

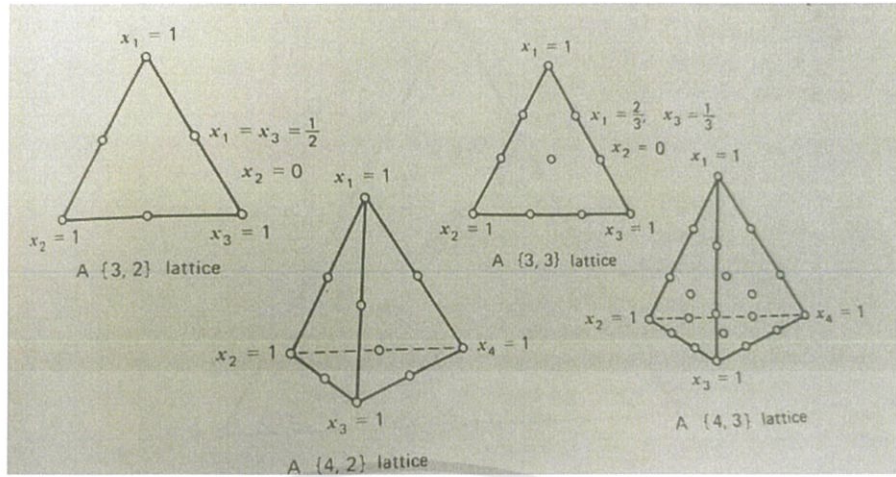
โดยที่ i คือ ส่วนผสมที่ 1, 2, 3, ..., q

m คือ จำนวนระดับของส่วนผสมที่ใช้ศึกษา

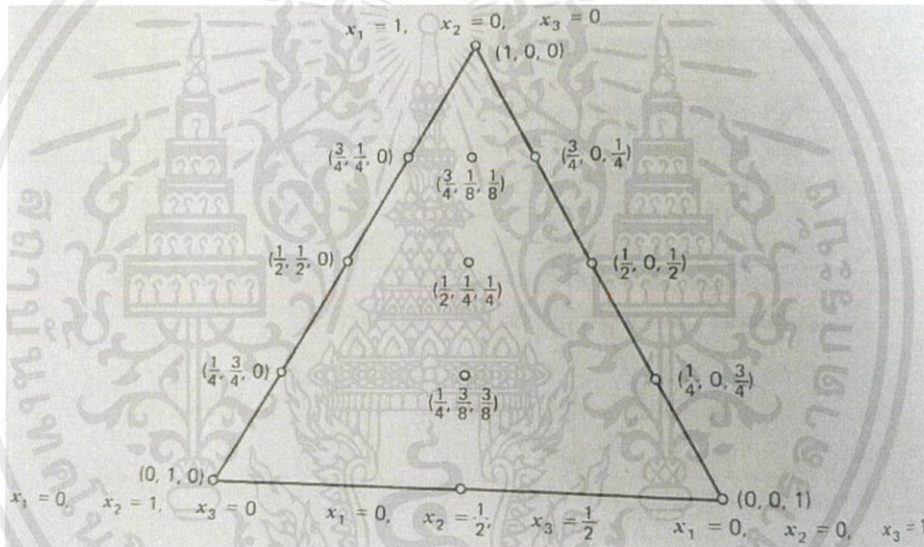
สำหรับในกรณีที่ส่วนผสม (q) มีจำนวนเท่ากับ 3 หรือมี 3 ปัจจัยเป็นตัวอย่างที่นิยมแสดงให้เห็นถึงการออกแบบการทดลองดังกล่าว เมื่อ $m = 3$ พิกัดที่ได้จากส่วนประกอบของ x_1, x_2 และ x_3 คือ $0, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, 1$ หากพิจารณาทุกส่วนผสมที่เป็นไปได้สำหรับส่วนประกอบทั้ง 3 ชนิด จะสามารถคำนวณจำนวนจุดในการทดลอง (Design Points) ทั้งหมดได้จากสมการที่ 2.4

$$N = \frac{(q+m-1)!}{m!(q-1)!} \quad (2.4)$$

โดยที่ N คือ จำนวนจุดในการทดลองทั้งหมด

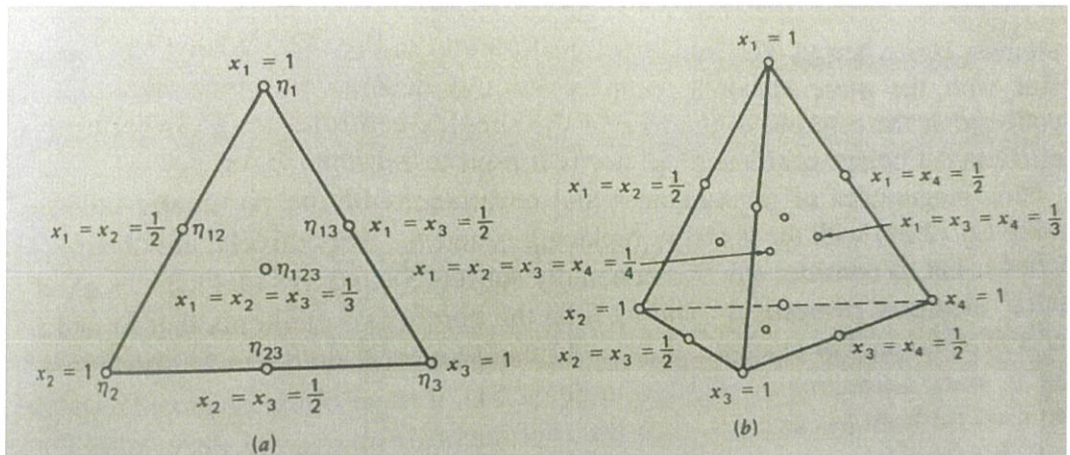


รูปที่ 2.3 สิ่งทดลองสำหรับการออกแบบการทดลองแบบแบบซิมเพล็กซ์แลตทิซ [6]



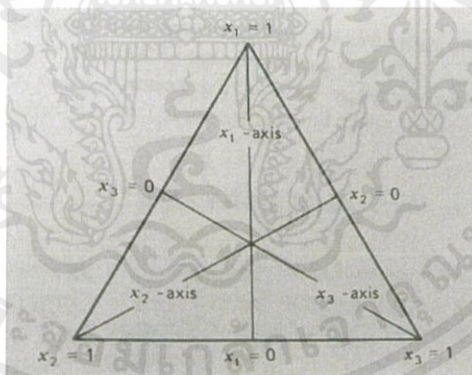
รูปที่ 2.4 จุดทดลองสำหรับการออกแบบการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แลตทิซ (3,3) [6]

2. การออกแบบ แบบเซนทรอยด์ (Simplex-Centroid Design) เป็นการออกแบบการทดลองที่มีจำนวนสิ่งทดลองเท่ากับ $2^q - 1$ โดยแต่ละปัจจัยมีสัดส่วนที่เท่ากันทุกปัจจัย โดยส่วนผสมในการทดลองประกอบด้วยส่วนผสมเดียว (Single-component) คือ ในการทดลองมีส่วนผสมนั้นเป็นปัจจัยในการทดลอง 100% หรือเท่ากับ 1.0, $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, \dots, 0)$ (สำหรับการทดลองที่มีส่วนผสมคู่ (Binary Mixture), $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, \dots, 0)$ สำหรับการทดลองที่มี 3 ส่วนผสม และ $(\frac{1}{q}, \frac{1}{q}, 0, \dots, 0)$ สำหรับส่วนผสมแบบควินารี (q-nary mixture) และมีจุดกึ่งกลาง $(\frac{1}{q}, \frac{1}{q}, \dots, \frac{1}{q})$



รูปที่ 2.5 การออกแบบ แบบซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (a) 3 ส่วนผสมและ (b) 4 ส่วนผสม [6]

3. การออกแบบ แบบซิมเพล็กซ์แอกเซียล (Simplex-Axial Design) สำหรับการทดลองแบบ Simplex-lattice และ Simplex-centroid จุดในการทดลองจะอยู่บริเวณขอบยกเว้นบริเวณจุดกึ่งกลางเท่านั้น การออกแบบการทดลองแบบแอกเซียล (Axial Design) จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบการทดลองโดยเน้นจุดที่เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของทุกปัจจัยซึ่งจะให้จุดในการทดลองที่มีจำนวนมากกว่า Simplex-lattice และ Simplex-centroid เนื่องจากจะให้จุดที่อยู่ภายในแกนเท่านั้นโดยจุดที่ได้นั้นจะมาจาก บริเวณกึ่งกลางระหว่างยอดมุมและจุดกึ่งกลาง $(\frac{1}{q}, \frac{1}{q}, \dots, \frac{1}{q})$



รูปที่ 2.6 การออกแบบ แบบซิมเพล็กซ์แอกเซียล [6]

4. การออกแบบ แบบเอ็กซ์ตรีมเวอร์ทิส (Extreme Vertices) เป็นการออกแบบการทดลองที่มีข้อจำกัด (Constraint) ของสัดส่วนของแต่ละปัจจัยของส่วนผสมในของผสม (Mixture) โดยที่ระดับของแต่ละปัจจัยไม่จำเป็นต้องเป็น 0 - 100% เนื่องจากในสถานการณ์จริงในการทดสอบบางอย่างมีสัดส่วนของส่วนผสมที่ไม่เท่ากัน เช่น ส่วนผสมในสูตรขนมปัง นอกจากนี้การออกแบบแบบเอ็กซ์ตรีมเวอร์ทิส ยังให้จุดในการทดลองทั้งบริเวณขอบและ บริเวณจุดกึ่งกลางของแกนอีกด้วย ซึ่งในการออกแบบการทดลองด้วย Extreme Vertices มีเงื่อนไขดังนี้

$$0 \leq L_i \leq x_i \leq U_i \leq 1 \quad \text{และ} \quad \sum_{i=1}^q x_i = 1$$

โดยที่ L_i คือ ปริมาณสัดส่วนที่ต่ำที่สุดของส่วนผสม i

U_i คือ ปริมาณสัดส่วนที่สูงที่สุดของส่วนผสม i

สำหรับการศึกษาของผสมที่มีส่วนประกอบหลายชนิด เช่น ของผสมชนิดหนึ่งมีส่วนประกอบ A – G แต่ปัจจัยที่ต้องการศึกษามีเพียง 3 ตัว คือ A, C และ D ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 ตัวรวมกันแล้วเป็น 20% ของของผสม ดังนั้นส่วนผสมที่เหลือ 80% สามารถกำหนดให้ใช้ในปริมาณคงที่ได้ (Fixed Variables) ในการทดลอง

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยประชากร ตั้งแต่สามประชากรขึ้นไปโดยทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว สมมติฐานในการทดสอบจะเป็น [1]

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \text{มี } \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อย 1 คู่; } i \neq j; i, j = 1, 2, 3$$

Montgomery [5] ได้กล่าวไว้ว่า ก่อนจะทำการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวควรมีการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งประกอบไปด้วย 3 หัวข้อหลัก ดังนี้

1. ความคลาดเคลื่อน (Error Term, ε_i) ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ
2. ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน (Error Term, ε_i) มีค่าเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (Error Term, ε_i) มีค่าคงที่ [$V(\varepsilon_i) = \sigma^2$]
3. ค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน [$COV(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$ เมื่อ $i \neq j$]

ข้อแรกหมายถึง การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของส่วนตกค้าง (Residual) โดยค่า Residual ต้องมีการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตรงจึงประมาณได้ว่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ

ข้อสองหมายถึง การทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน (σ^2) ภายใต้สมมติฐานของความคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นศูนย์ และมีความแปรปรวนเท่ากับค่าคงที่ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการกระจายตัวของ Residual เทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง (Fitted Value)

ข้อสุดท้ายหมายถึง การทดสอบสมมติฐานว่าค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน โดยไม่ขึ้นอยู่กับลำดับและเวลา สามารถตรวจสอบได้จากการพล็อตค่าความคลาดเคลื่อน

ซึ่งค่า Studentized Residual ที่ใช้แสดงความคลาดเคลื่อนมาตรฐานโดยคำนวณจากข้อมูลทุกตัว ลักษณะการกระจายตัวของกราฟต้องไม่เกิดแนวโน้มหรือมีรูปแบบ

2.3.2 เทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย [2]

เนื่องจากการพยากรณ์จะถูกต้องหรือไม่ขึ้นกับตัวแปรที่เลือก สมการความถดถอยที่ดี จะต้องเป็นสมการที่ประกอบด้วยตัวแปรอิสระที่จะทำให้ค่าพยากรณ์ของตัวแปรตาม Y ใกล้เคียงกับค่าจริงของ Y มากที่สุด ในที่นี้ จะกล่าวถึงการเลือกตัวแปรอิสระ 4 เทคนิค ดังนี้

1. Enter

เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอย โดยผู้วิจัยจะต้องทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม โดยใช้ F test จากตาราง ANOVA และ t-test ผู้วิจัยจะต้องสรุปผลการทดสอบเองว่าควรจะมีตัวแปรอิสระใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม โดยใช้ผลการทดสอบ F-test และ T-test ตามลำดับ

2. Forward Selection

เป็นวิธีการพิจารณาว่าตัวแปรอิสระใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามโดยจะเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยครั้งละ 1 ตัว ซึ่งจะมีการเลือกหลาย ๆ ครั้ง ในแต่ละครั้งจะเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการเพียง 1 ตัว โดยเลือกตัวแปรอิสระตัวที่ทำให้ความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y เพิ่มขึ้นมากที่สุด และจะหยุดนำตัวแปรอิสระเข้าสมการเมื่อนำเข้ามาเพิ่มแล้วไม่ได้ทำให้ความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นวิธี Forward Selection จึงเป็นการเลือกตัวแปรอิสระหลาย ๆ ขั้นตอน

ขั้นที่ 1 เลือกตัวแปรอิสระ 1 ตัว จากทั้งหมด k ตัว โดยการทำการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย k ครั้ง ดังสมการที่ 2.5

$$\hat{Y} = a + b_i X_i ; i = 1, 2, \dots, k \quad (2.5)$$

แล้วทดสอบว่า X_i มีความสัมพันธ์กับ Y หรือไม่โดยการทดสอบ

$$H_0 : \beta_i = 0 \text{ หรือ } H_0 : \text{ตัวแปรตามไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวที่ } X_i$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0 \text{ หรือ } H_1 : \text{ตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวที่ } X_i$$

โดยใช้ t-test กรณีที่มี $\beta_i \neq 0$ มากกว่า 1 ตัว หรือมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับ Y ในกรณีนี้จะเลือกตัวแปรอิสระ X_i ที่มีความสัมพันธ์กับ Y มากที่สุด โดยพิจารณาจากการเลือก X_i ที่มีค่า t ที่มากที่สุดหรือมี R^2 ที่สูงสุดหรือ MSE ต่ำที่สุด เช่น ถ้าได้ว่า X_5 มีค่า t สูงสุด สมการความถดถอยจะเป็น $\hat{Y} = a + b_5 X_5$ แล้วทำต่อไปในขั้นที่ 2

ขั้นที่ 2 เลือกตัวแปรอิสระ 1 ตัวจากที่เหลือ $k-1$ ตัวเข้าสมการ โดยทำการทดสอบความสัมพันธ์โดยพิจารณาจากค่า partial F

- ถ้าไม่มีตัวใดมีความสัมพันธ์กับ Y อีกก็จะหยุด และสรุปว่ามีตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวที่มีความสัมพันธ์กับ Y
- ถ้ามีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวที่ทดสอบแล้วพบว่ามีความสัมพันธ์กับ Y ให้เลือกตัวที่มีความสัมพันธ์สูงสุด เช่น ได้ X_7 จะได้สมการเป็น $\hat{Y} = a + b_1X_1X_5 + b_7X_7$ และให้ทำต่อขั้นที่ 3

จะทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนไม่มีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการอีกก็จะหยุด

3. Backward Elimination

เป็นวิธีการเลือกตัวอย่างที่ตรงข้ามกับวิธี Forward Selection โดยจะทำการตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y ออกจากสมการความถดถอยครั้งละ 1 ตัว โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 นำตัวแปรอิสระทั้ง k ตัว เข้าสมการ โดยสมการความถดถอยจะเป็น

$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$ แล้วทำการทดสอบสมมติฐานว่ามี X ตัวใดบ้าง ที่ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y และจะตัด X ที่ไม่มีความสัมพันธ์จากสมการ 1 ตัว จะเหลือตัวแปรอิสระในสมการ $k-1$ ตัว

ขั้นที่ 2 ตรวจสอบว่าควรตัดตัวแปรอิสระตัวใดออกจากสมการอีกหรือไม่ โดยอาจจะไม่มีการตัดออกก็ได้ ถ้าตัวแปรอิสระที่เหลือในสมการที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม หรืออาจจะตัดออก 1 ตัว ถ้าพบว่าตัวแปรนั้นไม่สัมพันธ์กับ Y

ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระตัวใดออกจากสมการแล้วก็จะหยุด ตัวแปรอิสระที่เหลือในสมการจึงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y ทุกตัว

4. Stepwise

เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการ โดยใช้หลักการทั้งวิธี Forward Selection และวิธี Backward Elimination ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ใช้หลักการของ Forward Selection โดยเลือกตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุด และทดสอบแล้วพบว่ามีความสัมพันธ์จริง (ยอมรับ H_1) ดังนั้นจึงมีตัวแปรอิสระในสมการ 1 ตัว เช่น จาก $k=10$ เลือกได้ X_5 สมการจะเป็น $\hat{Y} = a + b_5X_5$

ขั้นที่ 2 ใช้หลักการของวิธี Forward โดยเลือกตัวแปรอิสระตัวที่สองเข้าสมการ ซึ่งพิจารณาจากตัวแปรที่เหลือทั้งหมดว่าตัวใดมีความสัมพันธ์กับ Y มากที่สุด และทำการทดสอบความสัมพันธ์ ถ้าพบว่า X_7 มีความสัมพันธ์กับ Y มากที่สุดและทดสอบแล้วถ้ายอมรับ H_1 นั่นคือความสัมพันธ์กับ Y จึงทำ X_7 เข้าสมการ $\hat{Y} = a + b_5X_5 + b_7X_7$

ขั้นต่อไปจะทำซ้ำ ขั้นที่ 2 คือเลือกตัวแปรอิสระจากที่เหลือเข้าสมการในขณะเดียวกัน ก็จะใช้หลักการของวิธี Backward ในการตรวจสอบว่าควรตัดตัวแปรอิสระใดที่อยู่ในสมการออกจาก

สมการความถดถอยบ้าง สำหรับหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่าควรตัดตัวแปรตัวใดออก จะตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระด้วยกันเอง ที่อยู่ในสมการความถดถอย เช่น ถ้าในขั้นที่ 2 มีตัวแปรอิสระในสมการ 2 ตัว คือ X_5 และ X_7 จะมีการศึกษาว่าตัวแปร X_5 และ X_7 มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ถ้ามีความสัมพันธ์กันมากจะพิจารณาตัดตัวใดตัวหนึ่งออกจากสมการ ซึ่งถือว่าเป็นการใช้หลักการของเทคนิค Backward elimination จะกระทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ คือใช้ทั้งหลักการของ Forward ในการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการและใช้หลักการของ Backward ในการตัดตัวแปรอิสระได้ออกจากสมการได้อีก ก็หยุดและจะได้สมการความถดถอยที่เหมาะสม

2.3.3 แบบจำลองการถดถอย (Regression Models)

แบบจำลองการถดถอย (Regression Model) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยปกติแล้วสมมติว่ามีตัวแปรตาม (Dependent Variable) อยู่เพียงตัวเดียวหรือผลตอบ (Response) y ที่ขึ้นกับค่าของตัวแปรอิสระ (Independent Variable) จำนวน k ตัว เช่น x_1, x_2, \dots, x_k ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ถูกกำหนดโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เรียกว่า แบบจำลองการถดถอย (Regression Model) เพื่อนำไปสร้างสมการทำนายค่าของผลตอบสนอง [4] สำหรับการทดลองแบบผสม (Mixture Design) เนื่องจากตัวแปรทุกตัวรวมกันเท่ากับ 1 หรือ 100% ดังนั้นจึงไม่มีค่าคงที่ หรือเทอม β_0 และ $\beta_{ij}x_i^2$ โดยแบบจำลองซึ่งใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรต้นมีดังสมการที่ 2.6 ถึง 2.9 [8]

1. รูปแบบสมการเชิงเส้น (Linear Model)

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i \quad (2.6)$$

2. รูปแบบสมการกำลังสอง (Quadratic Model)

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j=2}^q \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j \quad (2.7)$$

3. รูปแบบสมการกำลังสามแบบพิเศษ (Special Cubic)

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j=2}^q \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < k=2}^q \sum_{j < k=2}^q \sum_{k=2}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad (2.8)$$

4. รูปแบบสมการกำลังสามทั้งหมด (Full Cubic)

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j=2}^q \sum_{j=2}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j=2}^q \sum_{j=2}^q \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i < j < k=3}^q \sum_{j < k=3}^q \sum_{k=3}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad (2.9)$$

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการจัดทำปฏิญญานិพนธ์ เรื่อง การพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานโดยใช้วิธีการออกแบบของผสมกรณีศึกษา บริษัทยูนิลีเวอร์ ไทย เซอร์วิส จำกัด เพื่อนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งใช้ในการทำนายผลต้นทุนการผลิตน้ำยาล้างจานและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินการดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดของเนื้อหา ดังนี้

- 3.1 การศึกษาปัญหาและสภาพปัจจุบัน
- 3.2 การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบของผสม (Mixture Design)
- 3.3 การรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานและต้นทุนในการผลิตน้ำยาล้างจาน
- 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 3.5 การหาค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่าจริง

การดำเนินงานวิจัยนี้จะมีขั้นตอนเริ่มต้นโดยทำการศึกษาข้อมูลทั่วไปภายใน บริษัทยูนิลีเวอร์ และกระบวนการในการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานทั้งหมด เพื่อเข้าใจสภาพปัจจุบันของการพัฒนาสูตรของน้ำยาล้างจานและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน นำไปสู่การพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานโดยใช้วิธีการออกแบบของผสม (Mixture Design) และนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าคุณสมบัติและต้นทุนของน้ำยาล้างจาน

3.1 การศึกษาปัญหาและสภาพปัจจุบัน

3.1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา [3]

ประชากร 2.5 พันล้านคนใช้ผลิตภัณฑ์ยูนิลีเวอร์ในทุกวันเพื่อให้ชนมอง รู้สึกดีและ แต่งเติมชีวิตให้มีความสุขมากขึ้น ด้วยแบรนด์มากกว่า 400 รายการที่นำเข้าสู่ 190 ประเทศ เรามี โอกาสเพียงหนึ่งเดียวที่จะทำงานกับผู้บริโภคเพื่อทำให้สิ่งธรรมดา ๆ ส่งเสริมวิถีชีวิตที่ยั่งยืน

ในช่วงทศวรรษที่ 1890 นายวิลเลียม เฮสเกธ ลีเวอร์ ผู้ก่อตั้ง ลีเวอร์ บราเธอร์ส ความคิด ของเขาเรื่องสบู่ชั้นโล่ท์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ปฏิวัติขึ้น ซึ่งช่วยทำให้การทำความสะดวกและ สุขอนามัยเป็นที่นิยมในประเทศอังกฤษยุควิกตอเรีย โดยเป็น "การทำให้การทำความสะดวกเป็นเรื่อง ธรรมดา ทำให้ผู้หญิงทำงานน้อยลง สนับสนุนสุขภาพและส่งเสริมความน่าดึงดูดทางร่างกาย ซึ่งทำให้ ชีวิตมีความสุขเปลือยมากขึ้นและเป็นรางวัลสำหรับผู้ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ของเรา" การตระหนักถึง วัตถุประสงค์และพันธกิจของเราเป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมยูนิลีเวอร์ตลอดมา ในศตวรรษที่ 21 เรายังคงช่วยให้ผู้คนชนมอง รู้สึกดีและแต่งเติมชีวิตให้มีความสุขมากขึ้น และวัตถุประสงค์ของเรา ในฐานะธุรกิจคือ "การทำให้สิ่งธรรมดา ๆ ส่งเสริมการใช้ชีวิตอย่างยั่งยืน"

วัตถุประสงค์ ค่านิยมและหลักการ

วัตถุประสงค์ขององค์กรระบุว่า การประสบความสำเร็จต้องมี "มาตรฐานสูงสุดของพฤติกรรม องค์กรต่อทุกคนที่เราทำงานด้วย ชุมชนที่เราติดต่อ และสิ่งแวดล้อมที่เรามีผลกระทบต่อ"

พันธกรรมที่ต่อเนื่อง

เรามีพันธกิจที่จะปรับปรุงวิธีการที่เราจัดการกับผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง และ กำลังดำเนินการเพื่อที่จะบรรลุเป้าหมายระยะยาวในการพัฒนาธุรกิจที่ยั่งยืน

สัญลักษณ์ของบริษัทยูนิลีเวอร์

ยูนิลีเวอร์มีพันธกิจที่จะทำให้สิ่งธรรมดา ๆ ส่งเสริมการใช้ชีวิตอย่างยั่งยืน และสัญลักษณ์ของ เรา (แสดงดังรูปที่ 3.1) สื่อออกทางภาพให้เห็นถึงพันธกรรมดังกล่าว รูปสัญลักษณ์แต่ละรูปมีความหมาย มากมายเป็นแกนหลัก และสื่อความพยายามของเราบางแง่มุมที่จะทำให้สิ่งธรรมดา ๆ ส่งเสริม การใช้ชีวิตอย่างยั่งยืน



Unilever

รูปที่ 3.1 สัญลักษณ์ของบริษัทยูนิลีเวอร์ [2]

3.1.2 ข้อมูลทั่วไปของผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา [3]

ยูนิลีเวอร์ผลิตและขายสินค้าภายใต้แบรนด์กว่า 400 แบรนด์ทั่วโลก ในแต่ละวัน ผู้คน 2 พันล้านคนใช้สินค้าของเรา ผลิตภัณฑ์ชั้นนำของยูนิลีเวอร์ ที่มีจำหน่ายในประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 3.2



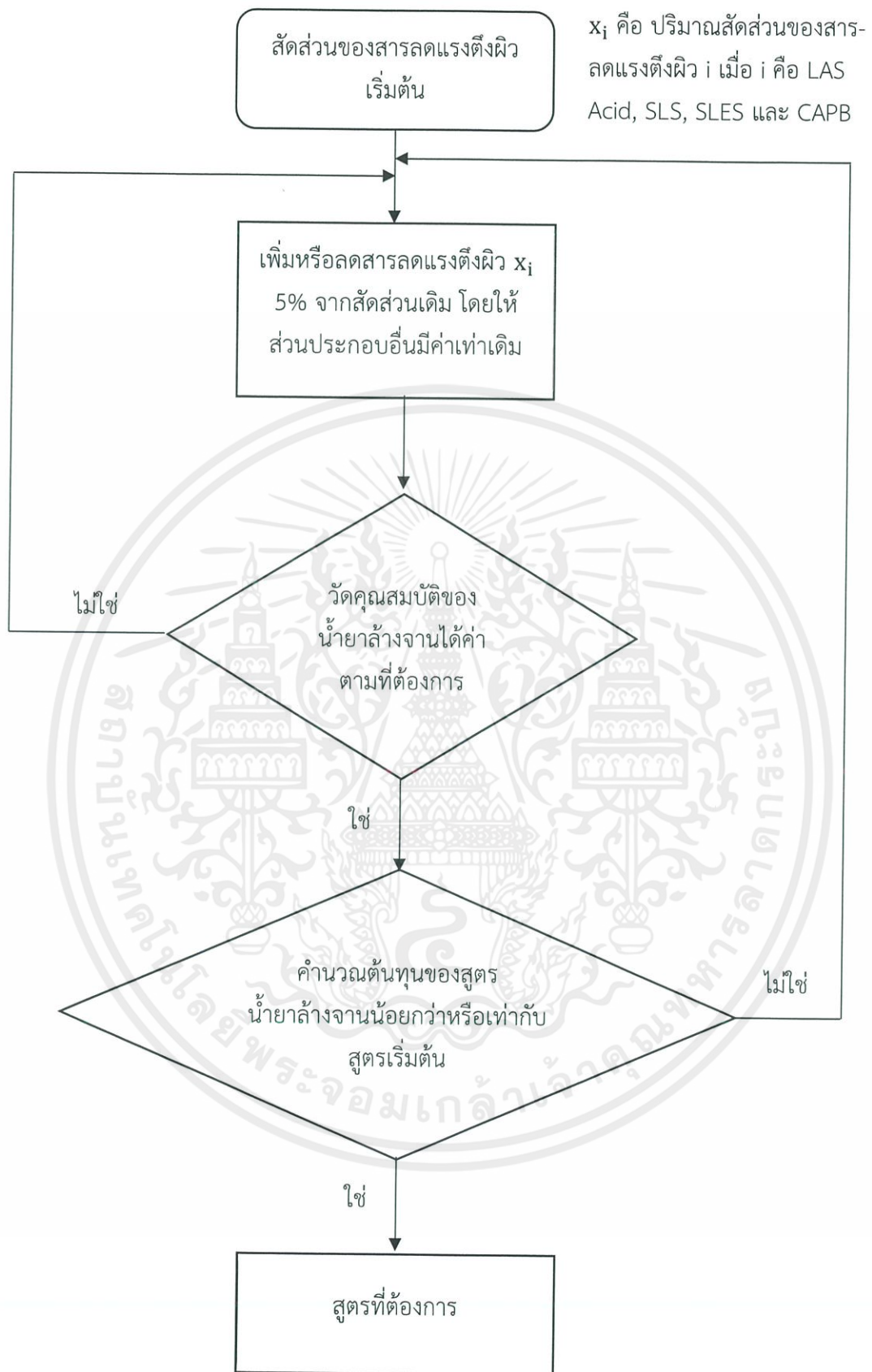
รูปที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทยูนิลีเวอร์ซึ่งจัดจำหน่ายในประเทศไทย [2]

3.1.3 การศึกษาปัญหาในการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจาน

ผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานของบริษัทยูนิลีเวอร์เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ภายใต้ชื่อ ซันไลต์ แต่เนื่องจากบริษัทยูนิลีเวอร์นั้นเป็นบริษัทชั้นนำซึ่งมีการจัดจำหน่ายสินค้ามากกว่า 190 ประเทศทั่วโลก ทำให้น้ำยาล้างจานในแต่ละประเทศ จะถูกจำหน่ายภายใต้ชื่อสินค้าที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ชื่อของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันแล้วนั้น ความต้องการของผู้บริโภคในแต่ละประเทศก็มีความแตกต่างกันด้วยเช่นกัน แต่มีสิ่งหนึ่งที่ผู้บริโภคในแต่ละพื้นที่มีความต้องการในผลิตภัณฑ์เหมือนกัน คือ การทำความสะอาดได้อย่างหมดจด และราคาที่ประหยัด ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานเป็นอย่างมาก จึงต้องมีการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานเพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคและมีราคาประหยัดเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคเพื่อเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาดจากผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานยี่ห้ออื่นด้วย

เนื่องจากภายในผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างจานมีสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นส่วนประกอบหลักในน้ำยาล้างจาน ซึ่งการปรับเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวในสูตรของน้ำยาล้างจานนี้จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานและราคาต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจานเป็นอย่างมาก เพราะสารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่ที่ใช้ในน้ำยาล้างจานเป็นสารลดแรงตึงผิวซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์โดยกระบวนการซึ่งใช้น้ำมันดิบเป็นสารตั้งต้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของราคาต้นทุนน้ำยาล้างจานจะมีความผันผวนตามราคาของน้ำมันดิบ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้การพัฒนาสูตรจึงต้องทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นหลักโดยมีจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อให้คุณสมบัติและราคาต้นทุนของน้ำยาล้างจานคงเดิม เนื่องจากบริษัทจะทำสัญญาในการซื้อขายสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็น ควอเตอร์ หมายถึงราคาของสารลดแรงตึงผิวจะถูกจำหน่ายให้บริษัทในราคาคงที่เป็นเวลา 3 เดือน ดังนั้นก่อนที่ราคาสารลดแรงตึงผิวจะเปลี่ยนแปลงไป บริษัทจึงควรมีสูตรน้ำยาล้างจานซึ่งมีคุณสมบัติคงเดิมและทำให้ราคาของสูตรน้ำยาล้างจานไม่สูงขึ้นตามราคาของสารลดแรงตึงผิว

ซึ่งวิธีการในการพัฒนาสูตรของน้ำยาล้างจานของบริษัทกรณีศึกษาคือการลองผิดลองถูก (Trial and Error) โดยการเพิ่มหรือลดสารลดแรงตึงผิวที่ละชนิดและกำหนดให้สารลดแรงตึงผิวชนิดอื่น ๆ ภายในสูตรของน้ำยาล้างจานมีค่าคงที่ ดังรายละเอียดซึ่งแสดงในรูปที่ 3.3 จนได้น้ำยาล้างจานตามที่ต้องการ เนื่องจากไม่ทราบว่าการปรับเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวใดจะส่งผลอย่างไรต่อคุณสมบัติและราคาของสูตรน้ำยาล้างจานจึงไม่สามารถคาดเดาผลลัพธ์ของคุณสมบัติและราคาต้นทุนของน้ำยาล้างจานได้ ซึ่งวิธีนี้ทำให้มีการทำการทดลองหลายครั้งจึงจะได้สูตรน้ำยาล้างจานที่เหมาะสม จึงเป็นสาเหตุให้ใช้เวลาล่าช้าในการพัฒนาสูตรทำให้และทำให้มีต้นทุนในการพัฒนาสูตรเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนในการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานแบบดั้งเดิม

3.2 การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบของผสม (Mixture Design)

ในงานวิจัยนี้สูตรตั้งต้นของน้ำยาล้างจานที่ทำการพัฒนาจะประกอบไปด้วยสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) 4 ชนิดซึ่งเป็นตัวแปรต้นที่ใช้ในการศึกษาสำหรับกรณีนี้ ได้แก่ Alkyl Benzene Sulfonic Acid (LAS Acid) แทนด้วยสัญลักษณ์ A, Sodium Lauryl Sulfate (SLS) แทนด้วยสัญลักษณ์ B, Sodium Lauryl Ether Sulfate (SLES) แทนด้วยสัญลักษณ์ C และ Cocamidopropyl Betaine (CAPB) แทนด้วยสัญลักษณ์ D นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวเหล่านี้ภายในสูตรของน้ำยาล้างจานยังประกอบด้วยสารเคมีอื่นนอกเหนือจากสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าสารลดแรงตึงผิว เช่น น้ำ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ด้วยสาเหตุนี้ผู้ทำการวิจัยจึงทำการรวมปัจจัยอื่นนอกเหนือจากสารลดแรงตึงผิวไว้ภายใต้ชื่อ ตัวแปรอื่น ๆ (Other) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ E

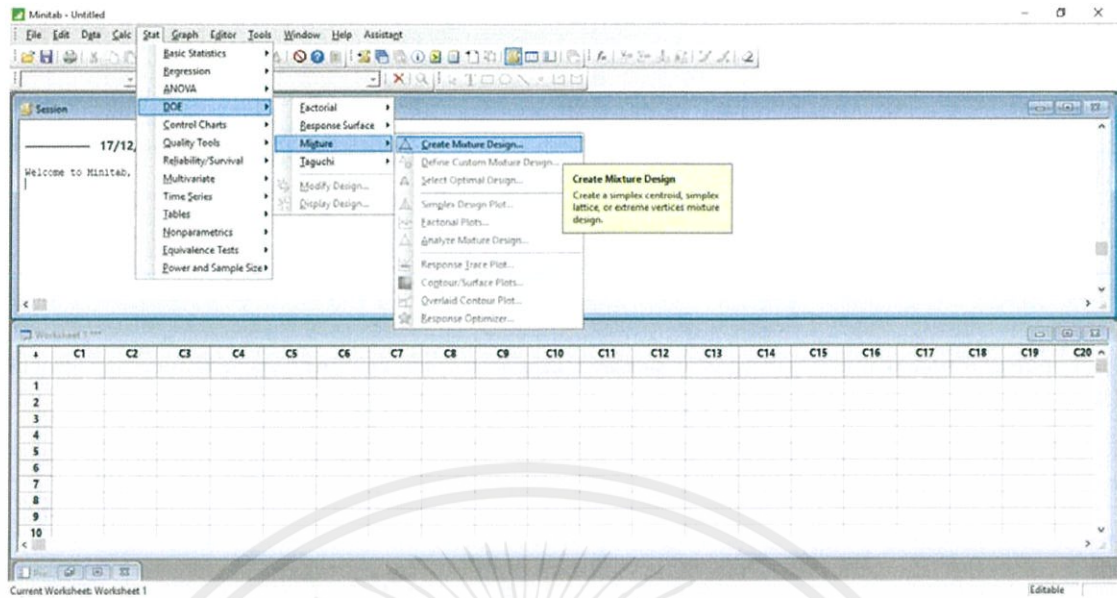
ในการออกแบบการทดลองผู้ทำการวิจัยได้ทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) โดยใช้การออกแบบการทดลอง Design of Experiments (DOE) ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้ในการออกแบบการทดลองนี้คือการออกแบบของผสม (Mixture Design) ในการทดลองนี้จะใช้โปรแกรม Minitab17 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติมาใช้ในการออกแบบการทดลอง

จากการใช้โปรแกรม Minitab17 ในโหมดการออกแบบการทดลองของผสม (Mixture Design) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารลดแรงตึงผิวไม่เป็นอิสระต่อกัน นอกจากนี้แต่ละปัจจัยมีช่วงของการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน ดังนั้นหลักการที่ใช้ในการออกแบบการทดลองของผสม (Mixture Design) คือ Extreme Vertices โดยมีข้อกำหนดข้อจำกัดของแต่ละปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 3.2.1

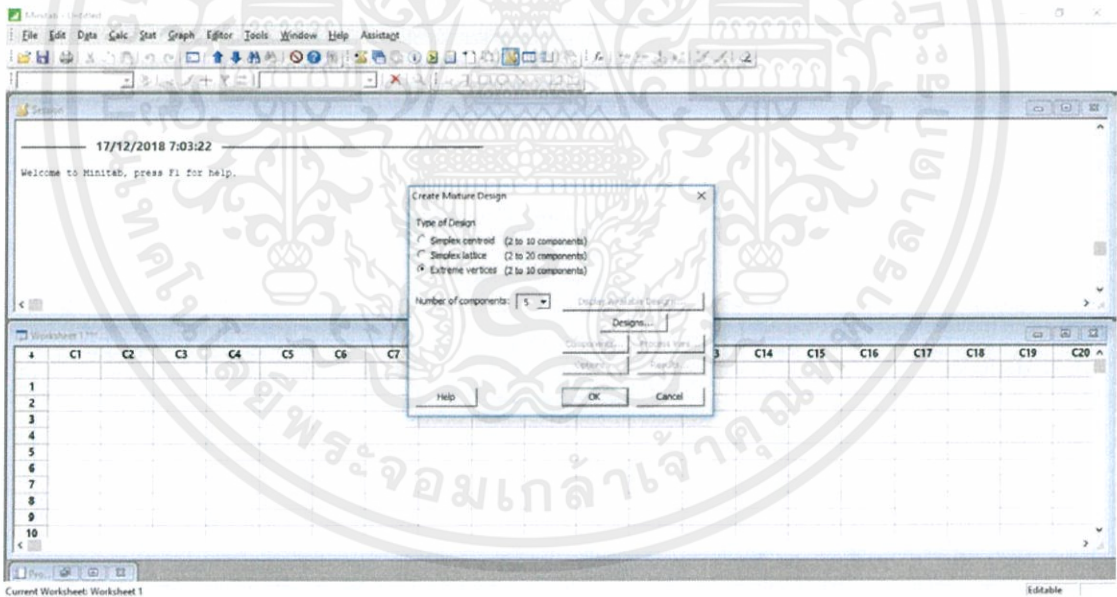
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของน้ำยาล้างจานและข้อจำกัดของส่วนผสมที่นำมาใช้ในการออกแบบการทดลอง

ส่วนผสมของน้ำยาล้างจาน	สัญลักษณ์	อัตราส่วนร้อยละโดยมวลของน้ำยาล้างจาน (%w/w)
LAS Acid	A	6.18 – 15.44
SLS	B	5.59 – 13.97
SLES	C	3.14 – 7.85
CAPB	D	1.03 – 2.59
Other	E	60.14 – 84.06

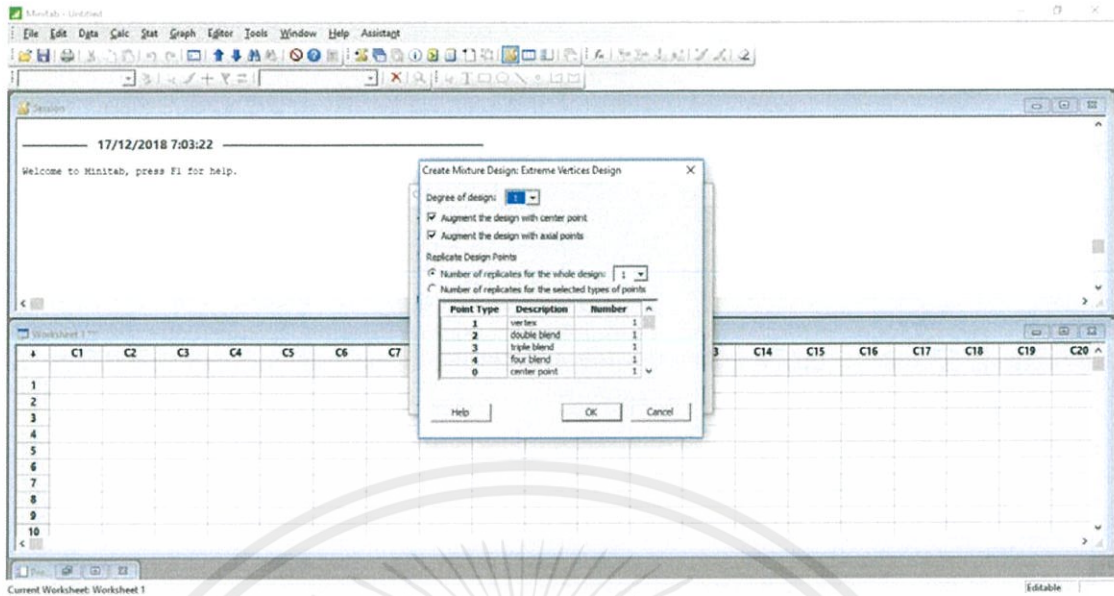
เมื่อทำการออกแบบการทดลองดังรูปที่ 3.4 และตั้งค่าเริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 3.5 ถึง รูปที่ 3.7 แล้วจึงเริ่มออกแบบการทดลองด้วยการคลิกปุ่ม OK ในรูปที่ 3.8 ซึ่งในการทดลองนี้มีปัจจัยทั้งสิ้น 5 ปัจจัยและให้ข้อจำกัดของแต่ละปัจจัยเป็นเงื่อนไขในการทดลองและไม่มีการทำซ้ำ (Replication) โดยโปรแกรม Minitab17 จะให้จำนวนการทดลองทั้งหมด 33 การทดลอง ดังตารางที่ 3.2.2



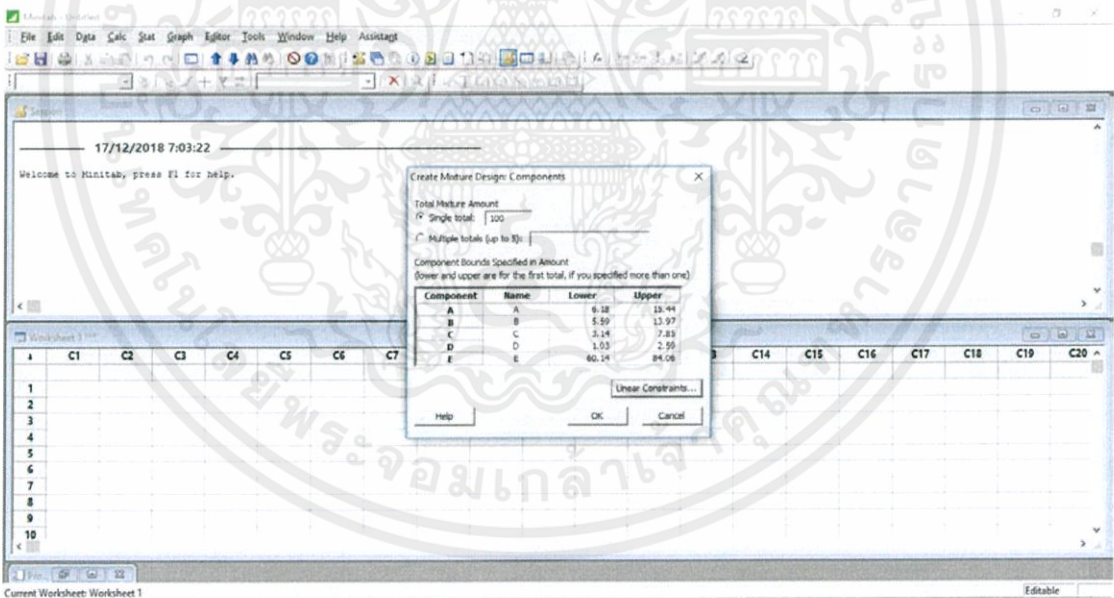
รูปที่ 3.4 การเลือก Analysis Mixture Design จากเมนูบาร์



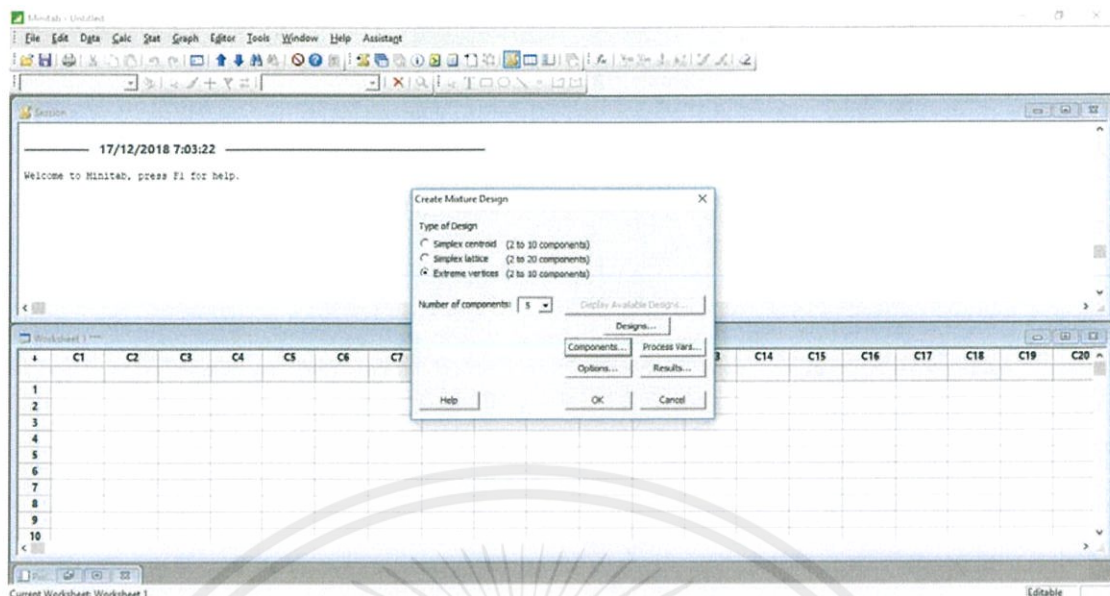
รูปที่ 3.5 การเลือกชนิดของการทดลองและจำนวนปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.6 การเลือก Degree of Design และจำนวนครั้งในการทดลองซ้ำ (Replication)



รูปที่ 3.7 การใส่ผลรวมทั้งหมดของส่วนผสม และกำหนดเงื่อนไขของแต่ละปัจจัย



รูปที่ 3.8 การเริ่มต้นการออกแบบการทดลอง

คลิกปุ่ม OK เพื่อเริ่มต้นการออกแบบการทดลอง

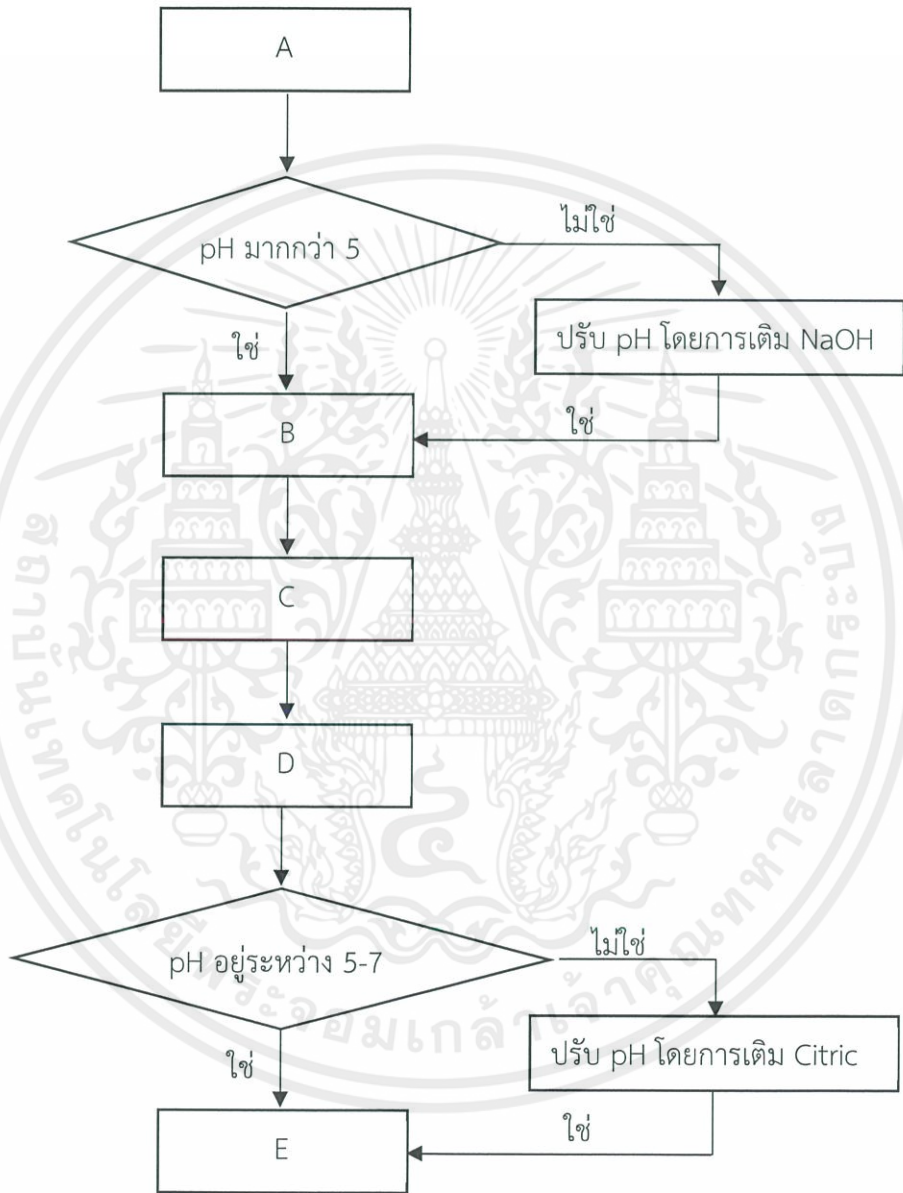
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของน้ำยาล้างจานที่ได้จากการออกแบบการทดลองในโปรแกรม Minitab17

RunOrder	(%w/w by mass)				
	A	B	C	D	E
1	13.12	7.68	6.67	2.20	70.31
2	13.12	7.68	4.32	2.20	72.67
3	8.49	11.88	4.32	2.20	73.11
4	15.44	13.97	3.14	2.59	64.85
5	6.17	5.59	7.85	1.03	79.36
6	6.17	13.97	7.85	2.59	69.41
7	13.12	11.88	6.67	2.20	66.12
8	15.44	13.97	3.14	1.03	66.41
9	15.44	5.59	7.85	1.03	70.09
10	8.49	7.68	6.67	1.42	75.73
11	8.49	11.88	6.67	2.20	70.76
12	15.44	5.59	3.14	1.03	74.79
13	13.12	11.88	6.67	1.42	66.90
14	6.17	5.59	3.14	2.59	82.51
15	10.81	9.78	5.50	1.81	72.10

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของน้ำยาล้างจานที่ได้จากการออกแบบการทดลองในโปรแกรม Minitab17 (ต่อ)

RunOrder	(%w/w by mass)				
	A	B	C	D	E
16	13.12	7.68	4.32	1.42	73.45
17	13.12	7.68	6.67	1.42	71.09
18	15.44	5.59	3.14	2.59	73.24
19	13.12	11.88	4.32	1.42	69.26
20	15.44	13.97	7.85	2.59	60.14
21	8.49	7.68	4.32	1.42	78.08
22	8.49	11.88	6.67	1.42	71.54
23	6.17	13.97	3.14	1.03	75.68
24	13.12	11.88	4.32	2.20	68.48
25	6.17	13.97	7.85	1.03	70.97
26	8.49	11.88	4.32	1.42	73.89
27	8.49	7.68	4.32	2.20	77.30
28	8.49	7.68	6.67	2.20	74.95
29	6.17	5.59	7.85	2.59	77.80
30	6.17	13.97	3.14	2.59	74.12
31	15.44	5.59	7.85	2.59	68.53
32	15.44	13.97	7.85	1.03	61.70
33	6.17	5.59	3.14	1.03	84.06

หลังจากทำการออกแบบการทดลองแล้ว จึงทำการผสมน้ำยาล้างจานแต่ละสูตรตามตารางที่ 3.2 โดยทุกสูตรจะทำการผสมด้วยปริมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งขั้นตอนในการผสมน้ำยาล้างจานสำหรับงานวิจัยนี้ เริ่มต้นจากการนำน้ำเปล่าและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ผสมกัน จากนั้นเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และส่วนผสมอื่นตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ลำดับขั้นตอนการเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และส่วนผสมอื่นในการผสมน้ำยาล้างจาน

3.3 การรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานและต้นทุนในการผลิตน้ำยาล้างจาน

หลังจากทำการผสมน้ำยาล้างจานในแต่ละสัดส่วนตามที่ได้ออกแบบการทดลองจากตารางที่ 3.2.2 นำน้ำยาล้างจานที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานและคำนวณต้นทุนของน้ำยาล้างจาน โดยคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานที่นำมาใช้วิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่า ได้แก่ ค่าความหนืด (Viscosity) ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด (Average Number of Total Plates ; AVG No. of Total Plates) และค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด (Average Number of Cleaned Plates; AVG No. of Cleaned Plates) ซึ่งการเก็บข้อมูลของคุณสมบัติและต้นทุนจะแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.1 การคำนวณต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน (Cost)

3.3.2 การทดสอบค่าความหนืด (Viscosity)

3.3.3 การทดสอบค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด (AVG No. of Total Plates)

3.3.4 การทดสอบค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด (AVG No. of Cleaned Plates)

3.3.1 การคำนวณต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน (Cost)

การคำนวณต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$Y = \sum(\%x_i \times P_i) \quad (3.1)$$

โดยที่ Y คือ ต้นทุนของน้ำยาล้างจาน (Cost) มีหน่วยเป็น ยูโร ต่อ ตัน (€/ton)

$\%x_i$ คือ ส่วนผสมของน้ำยาล้างจาน มีหน่วยเป็น เปอร์เซนต์ร้อยละโดยมวล (%w/w)

P_i คือ ราคาของแต่ละส่วนผสมในน้ำยาล้างจาน มีหน่วยเป็น ยูโร (€)

สำหรับน้ำยาล้างจานแต่ละสูตรที่ได้จากการออกแบบการทดลองในตารางที่ 3.2 จะมีราคาต้นทุนที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน

3.3.2 การทดสอบค่าความหนืด (Viscosity)

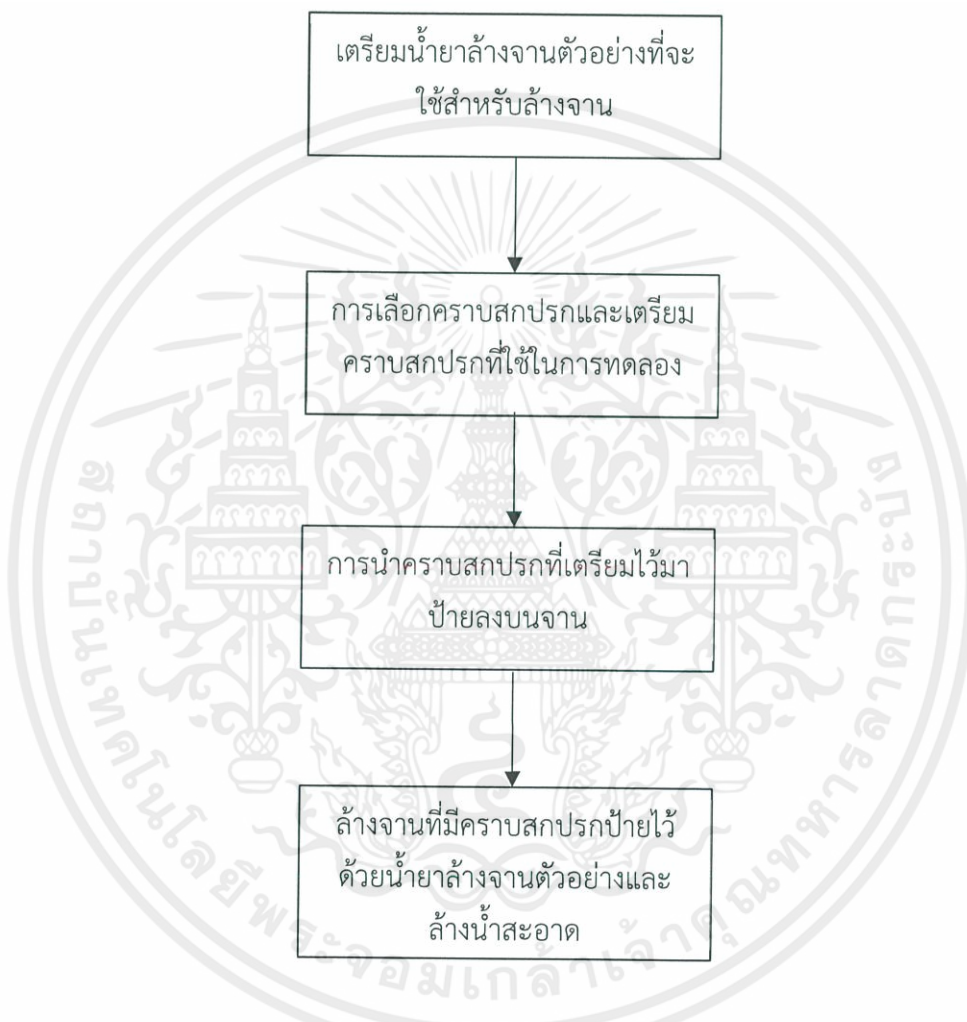
การทดสอบค่าความหนืด (Viscosity) สามารถทำได้โดยนำน้ำยาล้างจานตัวอย่างซึ่งได้จากการผสมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสไปวัดด้วยอุปกรณ์วัดค่าความหนืด Haake Viscometer VT550 ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ในการวัดค่าความหนืดนี้ มีการวัดค่าความหนืดทั้งสิ้น 2 ครั้งคือ หลังจากผสมเสร็จ (Fresh Viscosity) และ หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน (Overnight Viscosity) ซึ่งค่าที่จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การสร้างสมการในการทำนายค่าความหนืด (Viscosity) คือ ค่าความหนืดหลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน (Overnight Viscosity) โดยใส่ Rotator เข้ากับเครื่อง Haake Viscometer VT550 จากนั้นเทน้ำยาล้างจานตัวอย่างลงใน Cup แล้วจึงนำ Cup สวมใส่เข้าไปใน Rotator จากนั้นหมุนให้แน่นแล้วจึงเริ่มการวัดค่า ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าด้วย Haake Viscometer VT550 นี้จะให้ค่าเฉลี่ยของความหนืดที่สามารถวัดได้ใน 60 วินาทีในหน่วยเมกะกะพาสคัล-วินาที (MPa-s)



รูปที่ 3.10 Haake Viscometer VT550

3.3.3 การทดสอบค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด (AVG No. of Total Plates)

วิธีการทดสอบค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมดคือ การทดลองล้างจานซึ่งการล้างจานนี้จะสามารถแบ่งได้เป็นขั้นตอนย่อยทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ การเตรียมน้ำยาล้างจานตัวอย่าง, การเตรียมคราบสกปรก (Strain), การทำคราบสกปรกลงบนจาน และ การล้างจาน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการล้างจาน

การเตรียมน้ำยาล้างจานตัวอย่าง สำหรับน้ำยาล้างจานตัวอย่างที่จะใช้ในการวิจัยนี้ จะต้องมีการทำน้ำยาล้างจานนี้ให้เป็นสารละลายน้ำยาล้างจาน 5 เปอร์เซ็นต์ปริมาณ 50 กรัม โดยสารละลายน้ำยาล้างจานนี้ประกอบไปด้วย น้ำยาล้างจานตัวอย่าง 2.5 กรัมและน้ำกระด้าง (Hardness Water) 45 กรัม จากนั้นคนจนเป็นเนื้อเดียวกัน

การเตรียมคราบสกปรก (Strain) คราบสกปรกที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ น้ำแกงมัสมั่น พร้อมปรุง รอยไทย ซึ่งมีส่วนผสมดังแสดงในรูปที่ 3.12

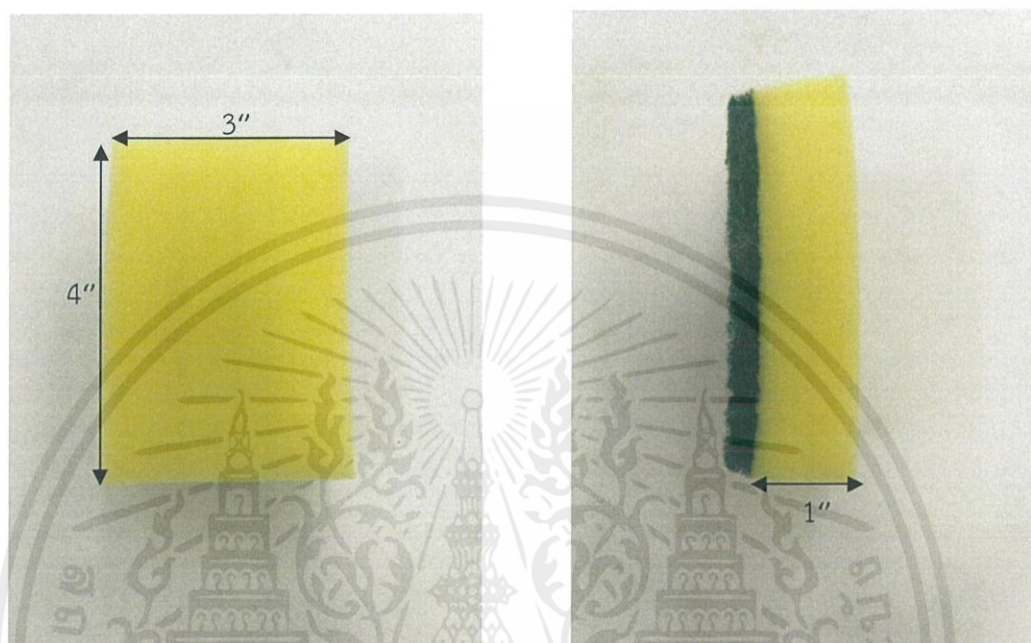
ส่วนประกอบ	
กะทิ	47%
น้ำ	29.95%
พริกแกงมัสมั่น	10%
น้ำตาลมะพร้าว	7.50%
น้ำมันปาล์ม	3%
น้ำปลา	2%
น้ำมะขามเข้มข้น	0.40%
เกลือ	0.10%
วัตถุดิบแต่งรสอาหาร (ไดโซเดียม 5' - ไรบิโนคลีโอไทด์)	
ข้อมูลสำหรับผู้แพ้อาหาร : มีปลา และกุ้ง	

รูปที่ 3.12 ส่วนผสมของน้ำแกงมัสมั่นพร้อมปรุง รอยไทย

ในการเตรียมคราบแกงนี้ทำได้โดย ทำการอุ่นเตาเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้อุณหภูมิที่ใช้ในการอุ่นมีความคงที่ หลังจากนั้นทำเทน้ำแกงมัสมั่น พร้อมปรุง รอยไทย 1 กล่อง ปริมาณ 250 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์สแตนเลสขนาด 1000 มิลลิลิตร และทำการคนน้ำแกงด้วยไม้พายไม้ตามเข็มนาฬิกา จำนวน 3 รอบ ทุก 2 นาทีจนครบ 10 นาที จึงยกลงจากเตาและปล่อยให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อนำไปทำคราบสกปรกลงบนจานในขั้นตอนต่อไป

การทำคราบสกปรกลงบนจาน จานที่สำหรับงานวิจัยนี้ คือ จานเมลามีนซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว การทำคราบสกปรกลงบนจานทำโดยนำคราบสกปรก (Strain) ที่เตรียมไว้มาหยดลงบนจานปริมาณ 1.5 มิลลิลิตรและใส่น้ำกระด้าง (Hardness Water) ลงบนจานปริมาณ 7 มิลลิลิตร เมื่อครบตามจำนวนจานที่ต้องการ ให้ทำการกลับจานโดยให้จานที่ทำคราบใบแรกกลับขึ้นมาอยู่ด้านบน และปล่อยให้คราบเกาะติดบนจานเป็นเวลา 5 นาทีก่อนที่จะนำไปล้างในขั้นตอนถัดไป

การล้างจาน สำหรับงานวิจัยนี้ ฟองน้ำที่ใช้สำหรับล้างจานเป็นฟองน้ำสี่เหลี่ยมมีขนาดและรูปร่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ขนาดของฟองน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนที่ใช้ในการล้างจานสำหรับงานวิจัยนี้ มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หลังจากครบ 5 นาทีที่ปล่อยให้คราบเกาะติดบนจาน เทสารละลายน้ำยาล้างจานที่เตรียมไว้ลงในชั้นพลาสติก และใช้ฟองน้ำสำหรับล้างจานโดยนำด้านที่เป็นฟองน้ำคว่ำลงในสารละลายน้ำยาล้างจานเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกดฟองน้ำ 6 ครั้งและบีบฟองน้ำ 3 ครั้ง จึงเทฟองทั้งหมดลงบนจานใบที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 จับจานใบที่ 1 ขึ้น เทฟองลงในจานใบที่ 2 จากนั้นจับจานใบที่ 1 ทำมุมประมาณ 45 องศา และใช้ฟองน้ำถูลงบนจานในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจำนวน 6 รอบ และถูในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 1 รอบ

ขั้นตอนที่ 3 พลิกจานใบที่ 1 กลับด้าน จากนั้นนำฟองน้ำจุ่มลงบนจานใบที่ 2 จำนวน 3 ครั้ง แล้วจึงถูลงบริเวณหลังจานใบที่ 1 ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจำนวน 3 รอบ หลังจากนั้นถูในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 1 รอบ ถือว่าเสร็จสิ้นการล้างจานใบที่ 1

ขั้นตอนที่ 4 จุ่มฟองน้ำลงบนจานใบที่ 2 จำนวน 3 ครั้งและบีบฟองน้ำ 1 ครั้ง จากนั้นจึงจับจานใบที่ 2 ขึ้นทำมุมประมาณ 45 องศาและเทฟองลงในจานใบถัดไป

ขั้นตอนที่ 5 ใช้ฟองน้ำถูลงบนจานในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจำนวน 6 รอบ และถูในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 1 รอบ

ขั้นตอนที่ 6 พลิกจานใบที่ 2 กลับด้าน จากนั้นนำฟองน้ำจุ่มลงบนจานใบถัดไปซึ่งมีฟองของน้ำยาล้างจานอยู่จำนวน 3 ครั้ง แล้วจึงถูลงบริเวณหลังจานใบที่ 2 ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจำนวน 3 รอบ และถูในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 1 รอบ ถือว่าเสร็จสิ้นการล้างจานใบที่ 2 โดยนำจานใบที่ 2 วางทับบนจานใบที่ 1

ขั้นตอนที่ 7 ทำการล้างจานตามขั้นตอนที่ 4 ถึง 6 จนฟองหมดจึงหยุดล้าง แล้วจึงทำการกลับจานโดยให้จานใบที่ 1 กลับขึ้นมาอยู่ด้านบนบนสุดของกองจานที่ล้างแล้ว

ขั้นตอนที่ 8 ล้างน้ำสะอาดซึ่งงานแต่ละใบจะใช้เวลา 15 วินาที ในการล้างน้ำเปล่าโดยใช้วิธีการล้างผ่านน้ำ

3.3.4 การทดสอบค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด (AVG No. of Cleaned Plates)

การทดสอบค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาดนี้เป็นขั้นตอนที่ต่อเนื่องจากการทดสอบค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด โดยนำจานที่ล้างได้ทั้งหมดมาทดสอบความสะอาด มีทั้งหมด 3 ขั้นตอนในการทดสอบ คือ การทดสอบด้วยสายตา, การทดสอบโดยการสัมผัส และการทดสอบโดยการดมกลิ่น ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทดสอบด้วยสายตา คือ การใช้ตาเปล่าสำรวจจานที่ล้างได้ทั้งหมดว่ามีคราบสกปรกติดค้างอยู่บนจานหรือไม่ หากจานใบนั้นมีคราบสกปรกติดอยู่ถือว่าเป็นจานที่ไม่สะอาด แต่หากไม่มีคราบสกปรกติดอยู่บนจานจะต้องทำการทดสอบต่อไป

การทดสอบโดยการสัมผัส คือ การใช้นิ้วมือในการสัมผัสลงบนจานที่ล้างได้ทั้งหมดว่ามีความมันอยู่บนจานหรือไม่ หากจานใบนั้นมีความมันติดค้างอยู่จะทำให้รู้สึกลื่นมือเมื่อสัมผัส ดังนั้นเมื่อสัมผัสลงบนจานและพบว่ามีความลื่นมืออยู่จะถือว่าเป็นจานที่ไม่สะอาด แต่หากสัมผัสแล้วไม่รู้สึกถึงความลื่นมือจะต้องทำการทดสอบต่อไป

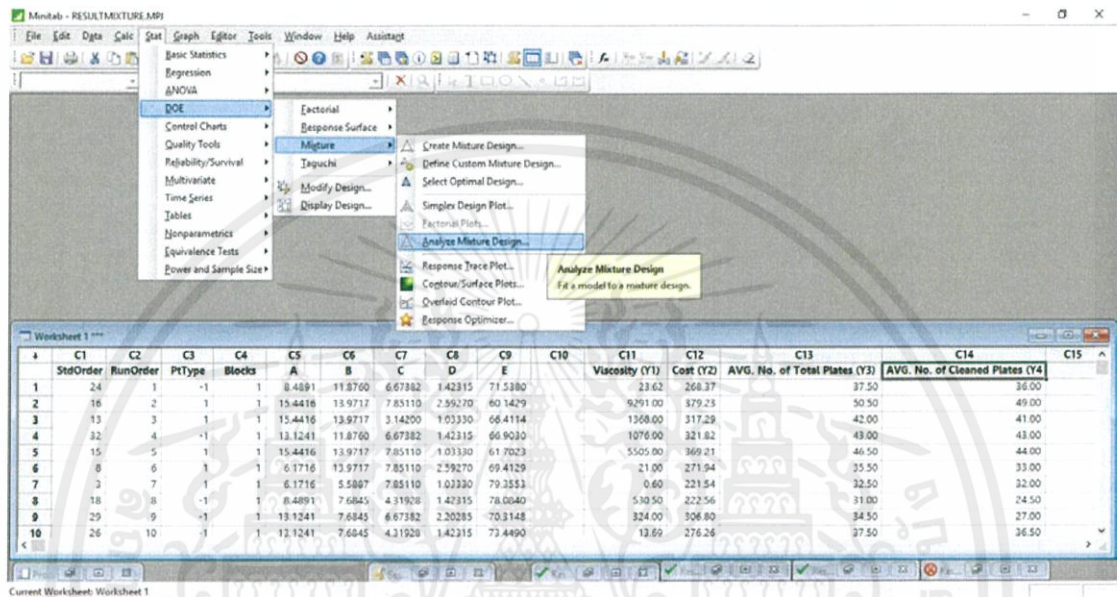
การทดสอบโดยการดมกลิ่น เนื่องจากคราบแฉงที่เลือกใช้นั้น เป็นแฉงที่มีกลิ่นของเครื่องเทศรุนแรง ดังนั้นหากดมกลิ่นแล้วพบว่าจานยังคงมีกลิ่นของแฉงอยู่จะถือว่าเป็นจานที่ไม่สะอาด แต่หากดมแล้วปราศจากกลิ่นของแฉง จะถือว่าเป็นจานที่สะอาด

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

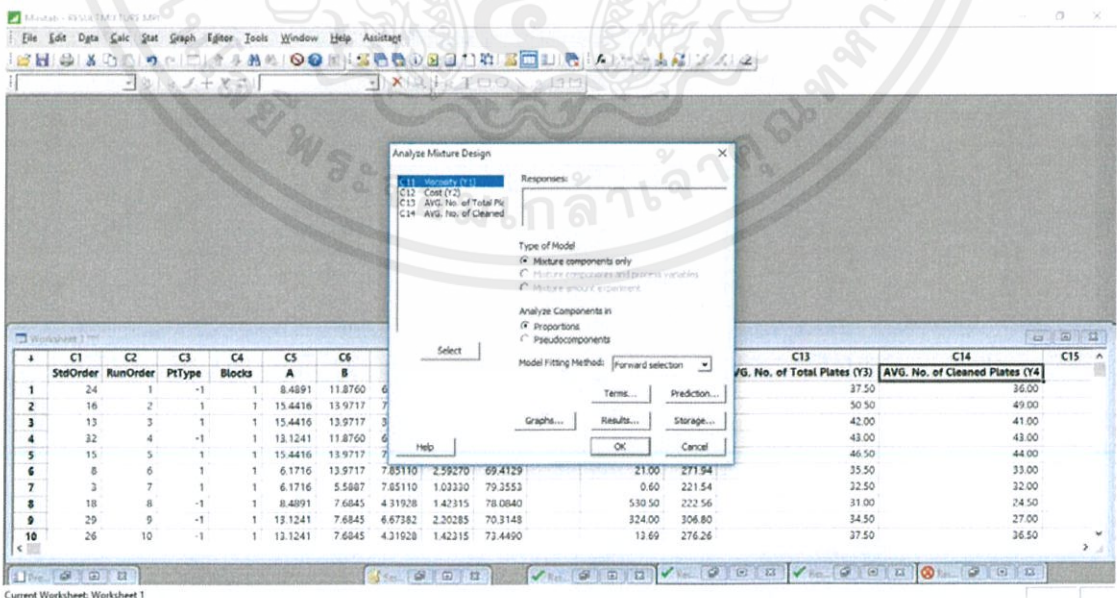
การนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้เป็นการนำผลลัพธ์จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในหัวข้อที่ 3.3 มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab17 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ และสร้างสมการในการทำนายค่าตัวแปรตาม ซึ่งได้แก่ ราคาต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน (Cost) แทนด้วยสัญลักษณ์ Y_1 , ค่าความหนืด (Viscosity) แทนด้วยสัญลักษณ์ Y_2 , ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

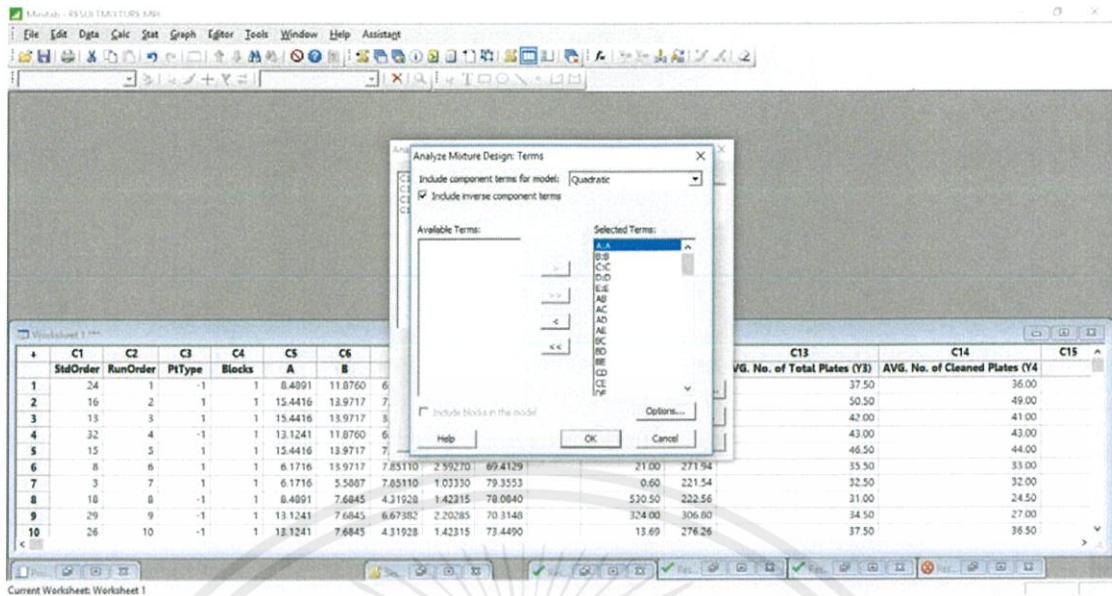
ล้างได้ทั้งหมด (AVG No. of Total Plates) แทนด้วยสัญลักษณ์ Y_3 , ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด (AVG No. of Cleaned Plates) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ Y_4 โดยนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวม นำมาวิเคราะห์โดยใช้โหมด Analysis of Mixture Design ซึ่งมีขั้นตอนดังรูปที่ 3.14 จากนั้นทำการตั้งค่าการวิเคราะห์ผลดังขั้นตอนที่แสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.15 ถึง รูปที่ 3.16 จากนั้นเริ่มการวิเคราะห์ข้อมูลโดยคลิกปุ่ม OK ดังรูปที่ 3.17



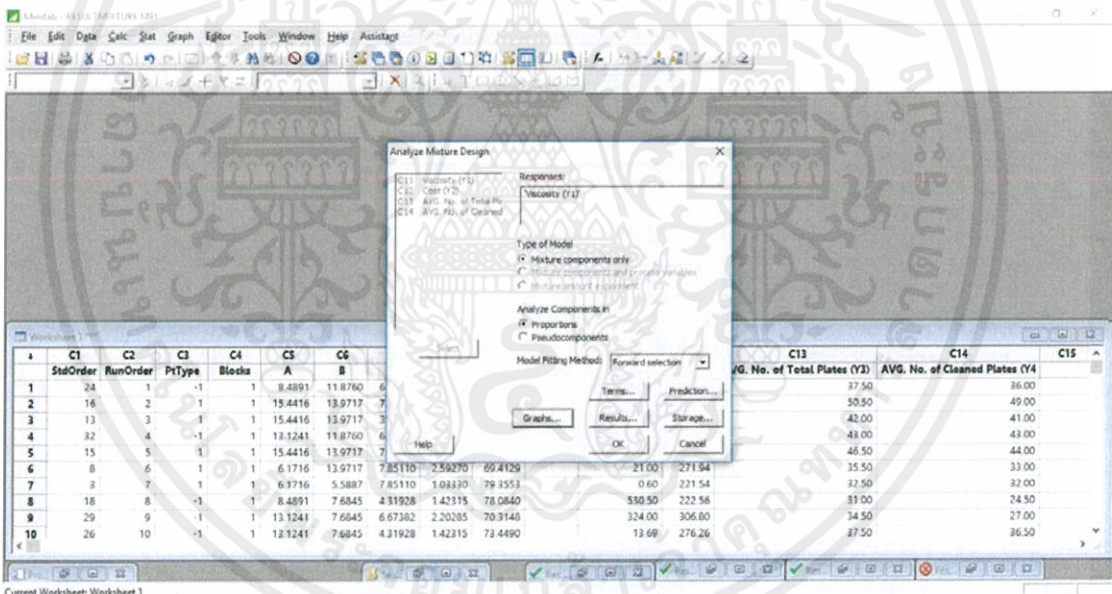
รูปที่ 3.14 การเลือก Analysis Mixture Design จากเมนูบาร์



รูปที่ 3.15 การตั้งค่าโหมด Analysis Mixture Design



รูปที่ 3.16 การตั้งค่าในโหมด Analysis Mixture Design



รูปที่ 3.17 การเริ่มต้นวิเคราะห์ข้อมูล

การตั้งค่าในการใช้การวิเคราะห์ข้อมูลในโหมด Analysis Mixture Design ทำได้โดยเลือกผลตอบ (Response) ที่ต้องการวิเคราะห์โดย ทำการคลิกที่ข้อมูลที่ต้องการทำการวิเคราะห์จากนั้นคลิกปุ่ม Select และทำการตั้งค่า Analysis Component โดยเลือกที่ Proportions เพื่อให้มีสัดส่วนโดยรวมไม่เกิน 1.0 (หรือ 100%) และเลือกวิธีในการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี Forward Selection แล้วจึงทำการเลือก Term ที่ต้องการนำมาวิเคราะห์เมื่อเลือก Term ที่ต้องการวิเคราะห์ได้ตามที่ต้องการแล้วให้คลิกเลือกปุ่ม OK จากนั้นจึงคลิกปุ่ม OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกครั้งจากรูปที่ 3.11 เพื่อเริ่มต้นการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ได้สมการทำนายค่าคุณสมบัติและราคาต้นทุนของน้ำยาล้างจาน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน

$$Y_1 = 11.98A + 5.56B + 10.23C + 5.44D + 0.35E - 7.01 \times 10^{-6}ABEE + 2.46 \times 10^{-5}CDEE - 0.001ABCD + 3.64 \times 10^{-5}ABCE + 0.0002ABDE + 25.22 \frac{1}{B} - 16.96 \frac{1}{C}$$

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าความหนืดของน้ำยาล้างจาน

$$\ln Y_2 = 0.22A + 0.11B + 0.6C - 2.23D - 0.01E - 0.004ACDD - 58.43 \frac{1}{A}$$

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด

$$Y_3 = 1.13A + 1.14B + 2.38C + 0.07D + 0.09E - 0.002BCE$$

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด

$$Y_4 = 0.93A + 1.69B + 1.15C - 0.76D - 0.12E + 101.26 \frac{1}{B}$$

3.5 การหาค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่าจริง

การหาค่าความคลาดเคลื่อน ทำโดยสุ่มเลือกอัตราส่วนผสมของน้ำยาล้างจานซึ่งอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของแต่ละตัวแปรและเป็นเงื่อนไขซึ่งอยู่นอกเหนือจากการออกแบบการทดลอง จากนั้นทำการทดลองผสมน้ำยาล้างจานตัวอย่างปริมาณ 1 กิโลกรัมตามสัดส่วนที่สุ่มเลือก แล้วนำน้ำยาล้างจานตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบค่าคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานและคำนวณหาต้นทุนที่ใช้จริงในการทำน้ำยาล้างจาน จากนั้นทำการคำนวณหาค่าคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานและต้นทุนที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ แล้วจึงนำค่าผลตอบ (Response) แต่ละข้อที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทำการทดลองจริง มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการที่ 3.2

$$\%Error = \frac{|Y_{actual} - Y_{theory}|}{Y_{theory}} \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่	%Error	คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
	Y_{theory}	คือ ค่าที่ได้จากสมการทำนายค่า โดยเป็นค่าความหนืด, ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด, ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด และต้นทุน
	Y_{actual}	คือ ค่าที่ได้จากการทดลองจริง โดยเป็นค่าความหนืด, ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด, ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด และต้นทุน

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการสุ่มเลือกเงื่อนไขในการทดลองโดยแต่ละส่วนผสมมีค่าดังต่อไปนี้

1. สารลดแรงตึงผิว A มีค่าร้อยละโดยมวลเท่ากับ 13.12
2. สารลดแรงตึงผิว B มีค่าร้อยละโดยมวลเท่ากับ 9.00
3. สารลดแรงตึงผิว C มีค่าร้อยละโดยมวลเท่ากับ 7.80
4. สารลดแรงตึงผิว D มีค่าร้อยละโดยมวลเท่ากับ 1.50
5. ส่วนผสมอื่นในสูตรน้ำยาล้างจาน มีค่าร้อยละโดยมวลเท่ากับ 70.08

เมื่อนำสัดส่วนที่ทำการสุ่มเลือกนี้ไปแทนค่าในสมการทำนายจะได้ค่าคุณสมบัติและต้นทุนของน้ำยาล้างจาน พบว่ามีค่าดังนี้

1. Y_1 เท่ากับ 319.85 ยูโร ต่อ ตัน
2. Y_2 เท่ากับ 1289 mPa-s
3. Y_3 เท่ากับ 43.74 ใบ
4. Y_4 เท่ากับ 38.08 ใบ



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ปริญญาโทฉบับนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการศึกษาและทดลองตามขั้นตอนที่วางแผนไว้ใน การดำเนินงาน และได้ผลลัพธ์จากการดำเนินงานวิจัยซึ่งสามารถจำแนกได้ 3 หัวข้อ โดยแต่ละหัวข้อมี รายละเอียดต่อไปนี้

- 4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้าง จาน
- 4.2 การประเมินผลค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่า จริง
- 4.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินงานวิจัย

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab17 ด้วย Analysis Mixture Design ซึ่งจะ แสดงตาราง ANOVA ทำให้สามารถระบุได้ว่าปัจจัยใดส่งผลต่อตัวแปรตาม และนอกจากนี้ยังให้ สมการในการทำนายตัวแปรตาม สามารถจำแนกผลการทดลองได้ตามตัวแปรตาม คือต้นทุนและ คุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน ดังนี้

1. ต้นทุน (Cost)
2. คุณสมบัติของน้ำยาล้างจานเรื่องความหนืด (Viscosity)
3. คุณสมบัติของน้ำยาล้างจานเรื่องค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด (AVG. No. of Total Plates)
4. คุณสมบัติของน้ำยาล้างจานเรื่องค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด (AVG. No. of Cleaned Plates)

1. ต้นทุน (Cost)

จากการคำนวณต้นทุนในสมการที่ 3.1 จากค่าจริงที่ได้จากการทดลองผสมน้ำยาล้างจานแต่ละสูตรที่ได้ทำการออกแบบการทดลอง เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลจะได้ผลการทดลองดังนี้

Analysis of Variance for Cost (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	11	79249.6	79249.62	7204.51	191412.20	<0.001
Linear	4	79247.6	5465.41	1366.35	36301.81	<0.001
Special Quartic	2	0.2	0.70	0.35	9.34	0.001
A*B*E*E	1	0.0	0.69	0.69	18.42	<0.001
C*D*E*E	1	0.2	0.30	0.30	7.99	0.010
Full Quartic2	3	1.5	1.57	0.52	13.87	<0.001
A*B*C*D	1	0.0	0.85	0.85	22.53	<0.001
A*B*C*E	1	0.2	0.43	0.43	11.31	0.003
A*B*D*E	1	1.3	1.37	1.37	36.45	<0.001
Inverse	2	0.3	0.34	0.17	4.53	0.023
1/B	1	0.0	0.24	0.24	6.26	0.021
1/C	1	0.3	0.33	0.33	8.76	0.007
Residual Error	21	0.8	0.79	0.04		
Total	32	79250.4				
R-Sq = 100.00%		R-Sq(pred) = 100.00%			R-Sq(adj) = 100.00%	

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าต้นทุนแสดงดังสมการที่ 4.1

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 11.98A + 5.56B + 10.23C + 5.44D + 0.35E - 7.01 \times 10^{-6}ABEE \\
 & + 2.46 \times 10^{-5}CDEE - 0.001ABCD + 3.64 \times 10^{-5}ABCE \\
 & + 0.0002ABDE + 25.22 \frac{1}{B} - 16.96 \frac{1}{C}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

จากตาราง ANOVA พบว่าปัจจัยที่เลือกใช้ในการทดลองมีความสัมพันธ์กับต้นทุนและมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R-Sq เป็น 100% หมายถึง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นมีความสามารถในการอธิบายต้นทุนได้เป็นอย่างดี

จากค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรในสมการที่ใช้ทำนายค่า Y_1 ทำให้สามารถระบุได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อราคาต้นทุนโดยรวม พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อราคาต้นทุนมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ B, C และ A ตามลำดับ

2. ความหนืด (Viscosity)

จากการวัดค่าความหนืดจากค่าจริงที่ได้จากการทดลองผสมน้ำยาล้างจานแต่ละสูตร ที่ได้ทำการออกแบบการทดลอง พบว่าตัวแปรต้นที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความหนืด ดังนั้นจึงมีการแปลงข้อมูลจากค่าความหนืดให้อยู่ในรูปของ \ln เพื่อให้ข้อมูลมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดและนำมาใช้ในการวิเคราะห์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลจะได้ผลการทดลองดังนี้

Analysis of Variance for \ln Vis (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	277.415	277.4151	46.23585	29.41	<0.001
Linear	4	263.397	28.0251	7.00628	4.46	0.007
Special Quartic	1	5.791	3.7970	3.79701	2.42	0.132
A*C*D*D	1	5.791	3.7970	3.79701	2.42	0.132
Inverse	1	8.227	8.2269	8.22691	5.23	0.031
1/A	1	8.227	8.2269	8.22691	5.23	0.031

Residual Error 26 40.874 40.8738 1.57207

Total 32 318.289

R-Sq = 87.16% R-Sq(pred) = 81.56% R-Sq(adj) = 84.19%

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าความหนืดแสดงดังสมการที่ 4.2

$$\ln Y_2 = 0.22A + 0.11B + 0.6C - 2.23D - 0.01E - 0.004ACDD - 58.43 \frac{1}{A} \quad (4.2)$$

จากตาราง ANOVA พบว่าปัจจัยที่เลือกใช้ในการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดและมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R-Sq เป็น 87.16% หมายถึง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นมีความสามารถในการอธิบายค่าความหนืดได้เป็นอย่างดี

จากค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรในสมการที่ใช้ทำนายค่า Y_2 ทำให้สามารถระบุได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อค่าความหนืดของน้ำยาล้างจาน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของน้ำยาล้างจานมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ A, D และ C ตามลำดับ

3. คุณสมบัติของน้ำยาล้างจานเรื่องค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด (AVG. No. of Total Plates)

จากการทดลองล้างจานด้วยน้ำยาล้างจานตัวอย่างที่ทำการผสมจากสัดส่วนที่ได้จากการออกแบบการทดลอง และนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลการล้างจานได้ดังนี้

Analysis of Variance for AVG No. of total plate (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	826.018	826.018	165.204	42.30	<0.001
Linear	4	811.163	683.100	170.775	43.73	<0.001
Special Cubic	1	14.856	14.856	14.856	3.80	0.062
B*C*E	1	14.856	14.856	14.856	3.80	0.062
Residual Error	27	105.452	105.452	3.906		
Total	32	931.470				

R-Sq = 88.68% R-Sq(pred) = 83.94% R-Sq(adj) = 86.58%

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด แสดงดังสมการที่ 4.3

$$Y_3 = 1.13A + 1.14B + 2.38C + 0.07D + 0.09E - 0.002BCE \quad (4.3)$$

จากตาราง ANOVA พบว่าปัจจัยที่เลือกใช้ในการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมดและมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R-Sq เป็น 88.68% หมายถึง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นมีความสามารถในการอธิบายค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมดได้เป็นอย่างดี

จากค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรในสมการที่ใช้ทำนายค่า Y_3 ทำให้สามารถระบุได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมดของน้ำยาล้างจาน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมดของน้ำยาล้างจานมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ C, B และ A ตามลำดับ

4. คุณสมบัติของน้ำยาล้างจานเรื่องค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด (AVG. No. of Cleaned Plates)

หลังจากทำการทดลองล้างจานแล้วเมื่อทำการตรวจสอบความสะอาดของจานตามขั้นตอนในบทที่ 3 จะทำให้สามารถนับจำนวนจานที่ล้างได้สะอาดสำหรับน้ำยาล้างจานแต่ละสูตร จึงนำไปสู่การวิเคราะห์ข้อมูล แสดงดังต่อไปนี้

Analysis of Variance for AVG No. of clean (component proportions)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	796.84	796.841	159.368	16.94	<0.001
Linear	4	766.11	720.347	180.087	19.14	<0.001
Inverse	1	30.73	30.729	30.729	3.27	0.082
1/B	1	30.73	30.729	30.729	3.27	0.082
Residual Error	27	254.07	254.068	9.410		
Total	32	1050.91				

R-Sq = 75.82% R-Sq(pred) = 65.28% R-Sq(adj) = 71.35%

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด แสดงดังสมการที่ 4.4

$$Y_4 = 0.93A + 1.69B + 1.15C - 0.76D - 0.12E + 101.26 \frac{1}{B} \quad (4.4)$$

จากตาราง ANOVA พบว่าปัจจัยที่เลือกใช้ในการทดลองมีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาดและมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R-Sq เป็น 75.82% หมายถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นมีความสามารถในการอธิบายค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมดได้พอใช้

จากค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรในสมการที่ใช้ทำนายค่า Y_4 ทำให้สามารถระบุได้ว่าปัจจัยใดมีผลต่อค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาดของน้ำยาล้างจาน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาดของน้ำยาล้างจานมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ B, C และ A ตามลำดับ

4.2 การประเมินผลค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่าจริง

จากการทำการทดลองโดยการเลือกสัดส่วนของส่วนผสมในน้ำยาล้างจานดั่งข้อ 3.5 และทำการทดลองจริง พบว่ามีผลการทดลองดั่งตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองจากสัดส่วนของส่วนผสมน้ำยาล้างจานในข้อ 3.5

ครั้งที่	ค่าความหนืด (mPa·s)	ต้นทุน (ยูโร/ตัน)	ค่าเฉลี่ยของจำนวน จานที่ล้างได้ทั้งหมด (ใบ)	ค่าเฉลี่ยของจำนวน จานที่ล้างได้สะอาด (ใบ)
1	1325	320.99	43	40
2	1333	320.99	44	41
3	1318	321.00	44	41

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดลองซึ่งเป็นค่าจริงของแต่ละคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน ซึ่งพบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากการใช้สมการทำนายโดยคำนวณจาก สมการที่ 3.1 ดังนี้

1. ราคาต้นทุน (Cost)

$$\text{ครั้งที่ 1 \%Error} = \frac{|320.99 - 319.85|}{319.85} \times 100 = 0.36 \%$$

$$\text{ครั้งที่ 2 \%Error} = \frac{|320.99 - 319.85|}{319.85} \times 100 = 0.36 \%$$

$$\text{ครั้งที่ 3 \%Error} = \frac{|321.00 - 319.85|}{319.85} \times 100 = 0.36 \%$$

ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของต้นทุนที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่าจริงจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.36% หมายถึง สมการนี้สามารถนำไปใช้ในการคาดการณ์ต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจานโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ $\pm 0.36\%$

2. ค่าความหนืด (Viscosity)

$$\text{ครั้งที่ 1 \%Error} = \frac{|1325 - 1289|}{1289} \times 100 = 3.29 \%$$

$$\text{ครั้งที่ 2 \%Error} = \frac{|1333 - 1289|}{1289} \times 100 = 3.41 \%$$

$$\text{ครั้งที่ 3 \%Error} = \frac{|1318 - 1289|}{1289} \times 100 = 2.25 \%$$

ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่าความหนืดที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่าจริงจากการทดลอง มีค่าเท่ากับ 2.28% หมายถึง สมการนี้สามารถนำไปใช้ในการคาดการณ์ค่าความหนืดโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ $\pm 2.28\%$

3. ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด (AVG. No. of Total Plates)

$$\text{ครั้งที่ 1 \%Error} = \frac{|43 - 43.74|}{43.74} \times 100 = 1.69 \%$$

$$\text{ครั้งที่ 2 \%Error} = \frac{|44 - 43.74|}{43.74} \times 100 = 0.59 \%$$

$$\text{ครั้งที่ 3 \%Error} = \frac{|44 - 43.74|}{43.74} \times 100 = 0.59 \%$$

ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมดที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่าจริงจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.96% หมายถึง สมการนี้สามารถนำไปใช้คาดการณ์จำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมดของสูตรน้ำยาล้างจานโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ $\pm 0.96\%$

4. ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด (AVG. No. of Cleaned Plates)

$$\text{ครั้งที่ 1 \%error} = \frac{|40 - 38.08|}{38.08} \times 100 = 5.04 \%$$

$$\text{ครั้งที่ 2 \%error} = \frac{|41 - 38.08|}{38.08} \times 100 = 7.67 \%$$

$$\text{ครั้งที่ 3 \%error} = \frac{|41 - 38.08|}{38.08} \times 100 = 7.67 \%$$

ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาดที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เทียบกับค่าจริงจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 6.79% หมายถึง สมการนี้สามารถนำไปใช้คาดการณ์จำนวนจานที่ล้างได้สะอาดของสูตรน้ำยาล้างจานโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ $\pm 6.79\%$

4.3 ประโยชน์ที่ได้จากการดำเนินงานวิจัย

1. ลดเวลาในการคิดค้นและพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจาน จากสมการในการทำนายคุณสมบัติ และต้นทุนของน้ำยาล้างจาน ทำให้สามารถเลือกสูตรน้ำยาล้างจานได้ทันทีโดยไม่ต้องทำการทดลอง แบบลองผิดลองถูก

2. ลดต้นทุนในการคิดค้นและพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจาน เนื่องจากมีสมการในการทำนาย ค่าคุณสมบัติที่ต้องการของน้ำยาล้างจาน ทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการทดลองผสมน้ำยาล้างจานทุกสูตร โดยสามารถเลือกผสมเฉพาะน้ำยาล้างจานสูตรที่ให้คุณสมบัติตรงตามความต้องการเท่านั้น ทำให้สามารถลดต้นทุนในการผสมน้ำยาล้างจาน

3. สามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ของน้ำยาล้างจานแต่ละสูตรได้ โดยไม่จำเป็นต้องทำการทดลองจริง จากเดิมหากมีการคิดค้นและพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานสูตรใหม่ จะต้องมีการทำการทดลองผสม น้ำยาล้างจานจริงเท่านั้น จึงจะทราบผลลัพธ์ของน้ำยาล้างจานแต่ละสูตร แต่สมการทำนายที่สร้างขึ้น ทำให้สามารถคาดการณ์คุณสมบัติรวมไปถึงต้นทุนได้ล่วงหน้าทำให้สามารถวางแผนในขั้นตอนต่อไป ได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

การจัดทำปฏิญานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจานโดยใช้วิธีการออกแบบของผสมกรณีศึกษา บริษัทยูนิลีเวอร์ ไทย เซอร์วิสเซส จำกัด เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานและระบุปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานในบทที่ 5 นี้สามารถแบ่งแยกได้ 2 หัวข้อ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำการศึกษาในอนาคต

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากปัญหาความล่าช้าในการพัฒนาสูตรน้ำยาล้างจาน ซึ่งทำโดยการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) นำมาซึ่งปัญหาในด้านต้นทุนการวิจัยคิดค้นสูตรที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงมีการทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายต้นทุนและคุณสมบัติของสูตรน้ำยาล้างจานเพื่อให้สามารถคาดการณ์ต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานเบื้องต้นจากส่วนผสมในสูตรของน้ำยาล้างจาน ซึ่งปัจจัยที่นำมาศึกษา 5 ปัจจัย ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว 4 ชนิด คือ LAS Acid แทนด้วยสัญลักษณ์ A, SLS แทนด้วยสัญลักษณ์ B, SLES แทนด้วยสัญลักษณ์ C และ CAPB แทนด้วยสัญลักษณ์ D และส่วนผสมอื่นภายในสูตรน้ำยาล้างจาน ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ E จากนั้นออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบของผสม (Mixture Design) วิธี Extreme Vertices เพื่อศึกษาผลลัพธ์ของต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน โดยต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน แทนด้วยสัญลักษณ์ Y_1 และคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน ได้แก่ ค่าความหนืด แทนด้วยสัญลักษณ์ Y_2 , ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด แทนด้วยสัญลักษณ์ Y_3 และค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด แทนด้วยสัญลักษณ์ Y_4 ซึ่งสามารถสรุปผลลัพธ์ได้ดังนี้

1. ต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน จากการศึกษาโดยการผสมน้ำยาล้างจานและคำนวณต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน นำไปสู่การสร้างสมการในการทำนายค่าต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจาน พบว่าสมการทำนายค่าต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจานสามารถนำไปใช้คาดการณ์ต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจานเบื้องต้นโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 0.36% นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนของสูตรน้ำยาล้างจานมากที่สุดคือ SLS, SLES และ LAS Acid ตามลำดับ

2. ค่าความหนืดของน้ำยาล้างจาน จากการศึกษาโดยการผสมน้ำยาล้างจานและวัดค่าความหนืดหลังจากวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คือ นำไปสู่การสร้างสมการในการทำนายค่าความหนืดของน้ำยาล้างจาน ซึ่งพบว่าสมการทำนายค่าความหนืดของน้ำยาล้างจานสามารถนำไปใช้คาดการณ์ความหนืดของน้ำยาล้างจานเบื้องต้นโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.28%

นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดของน้ำยาล้างจานมากที่สุดคือ LAS Acid, CAPB และ SLES ตามลำดับ

3. ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้ทั้งหมด จากการศึกษาดูโดยการทดลองล้างจานที่สารละลายน้ำยาล้างจานซึ่งมีความเข้มข้น 5% นำไปสู่การสร้างสมการในการทำนายค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่สามารถล้างได้ทั้งหมดของสูตรน้ำยาล้างจาน ซึ่งสมการในการคาดการณ์ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่สามารถล้างได้ทั้งหมดสามารถนำไปใช้ในการคาดเดาจำนวนจานที่สามารถล้างได้ทั้งหมดของน้ำยาล้างจานเบื้องต้นโดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 0.96% และพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนจานที่สามารถล้างได้ทั้งหมดนี้ คือ SLES, SLS และ LAS Acid ตามลำดับ

4. ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด จากการทดสอบความสะอาดของจานที่ทำการล้างแล้ว สามารถนำไปสู่การสร้างสมการในการทำนายจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด ซึ่งสมการทำนายนี้สามารถคาดการณ์ค่าเฉลี่ยของจำนวนจานที่ล้างได้สะอาดของน้ำยาล้างจานเบื้องต้นโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ย 6.79% และพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนจานที่ล้างได้สะอาดคือ SLS, SLES และ LAS Acid ตามลำดับ

จากข้อสรุปทั้ง 4 ข้อพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานมากที่สุดคือ SLES และ LAS Acid และสมการที่ใช้ในการทำนายต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานสามารถนำไปใช้ได้จริงเมื่อสามารถยอมรับความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการทำนายต้นทุนและคุณสมบัติของน้ำยาล้างจานซึ่งได้จากการทดลองนี้ พบว่าเป็นสมการที่ค่อนข้างมีความซับซ้อน อันเนื่องมาจากปัจจัย E ได้รวมส่วนผสมอื่นทั้งหมดของสูตรน้ำยาล้างจานเอาไว้ด้วยกัน ซึ่งส่วนผสมบางชนิดที่ถูกรวมไว้ในปัจจัย E อาจมีความสัมพันธ์กับค่าคุณสมบัติที่ต้องการศึกษามากกว่าปัจจัยที่นำมาศึกษา

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

1. เนื่องจากในสูตรของน้ำยาล้างจานประกอบด้วยวัตถุดิบหลายชนิดทำให้มีความซับซ้อนในสมการ ดังนั้นควรเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบโครงข่ายประสาทเทียม
2. เพื่อให้สมการทำนายค่า ที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น ในการออกแบบการทดลองควรมีการทำการทดลองซ้ำ
3. สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน ควรมีมาตรฐานในการทดสอบที่ชัดเจน ไม่ควรใช้การทดสอบที่ใช้ประสาทสัมผัสเข้ามาเกี่ยวข้องเพราะจะทำให้ผลลัพธ์ที่ทดสอบได้มีความน่าเชื่อถือน้อยลง และทำให้เกิดความแตกต่างสำหรับผู้ใช้ในแต่ละบุคคล
4. ควรแยกตัวแปร E ออกมาศึกษาสารแต่ละชนิด เนื่องจากอาจมีส่วนผสมอื่นนอกจากสารลดแรงตึงผิวซึ่งอาจมีผลกับคุณสมบัติของน้ำยาล้างจาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กัลยา วานิชย์บัญชา. 2549. การวิเคราะห์สถิติ: สถิติสำหรับการบริหารและงานวิจัย พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] กัลยา วานิชย์บัญชา. 2550. สถิติสำหรับงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] ข้อมูลทั่วไปบริษัทยูนิลีเวอร์ ไทยเทรตติ้ง จำกัด. 2561. ประวัติองค์กร. แหล่งที่มา. <http://www.unilever.co.th>
- [4] ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [5] Douglas C. Montgomery. 2001. **Design and Analysis of Experiments**. 5th edition, New York : Wiley
- [6] John A. Cornell. 2002. **Experiments with Mixtures**. Third edition, New York: John Wiley & Sons.
- [7] Kaoru Tsujii. 1998. **Surface Activity**. USA: Academic Press
- [8] Raymond H. Myers Douglas C. Montgomery. 2002. **Response Surface Methodology**. 2nd edition, New York: John Wiley & Sons.



ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่าความหนืด (Viscosity)

RunOrder	factors					Viscosity (MPa·s)
	A	B	C	D	E	
1	13.12	7.68	6.67	2.20	70.31	1300.00
2	13.12	7.68	4.32	2.20	72.67	555.00
3	8.49	11.88	4.32	2.20	73.11	22.00
4	15.44	13.97	3.14	2.59	64.85	3314.00
5	6.17	5.59	7.85	1.03	79.36	0.60
6	6.17	13.97	7.85	2.59	69.41	21.00
7	13.12	11.88	6.67	2.20	66.12	2037.00
8	15.44	13.97	3.14	1.03	66.41	1368.00
9	15.44	5.59	7.85	1.03	70.09	2868.00
10	8.49	7.68	6.67	1.42	75.73	13.69
11	8.49	11.88	6.67	2.20	70.76	55.00
12	15.44	5.59	3.14	1.03	74.79	662.00
13	13.12	11.88	6.67	1.42	66.90	1076.00
14	6.17	5.59	3.14	2.59	82.51	3.80
15	10.81	9.78	5.50	1.81	72.10	135.00
16	13.12	7.68	4.32	1.42	73.45	324.00
17	13.12	7.68	6.67	1.42	71.09	830.00
18	15.44	5.59	3.14	2.59	73.24	1904.00
19	13.12	11.88	4.32	1.42	69.26	530.50
20	15.44	13.97	7.85	2.59	60.14	9291.00
21	8.49	7.68	4.32	1.42	78.08	6.55
22	8.49	11.88	6.67	1.42	71.54	23.62
23	6.17	13.97	3.14	1.03	75.68	0.07
24	13.12	11.88	4.32	2.20	68.48	878.00
25	6.17	13.97	7.85	1.03	70.97	4.93
26	8.49	11.88	4.32	1.42	73.89	7.06
27	8.49	7.68	4.32	2.20	77.30	16.70
28	8.49	7.68	6.67	2.20	74.95	32.74
29	6.17	5.59	7.85	2.59	77.80	6.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่าความหนืด (Viscosity) (ต่อ)

RunOrder	factors					Viscosity (MPa·s)
	A	B	C	D	E	
30	6.17	13.97	3.14	2.59	74.12	6.99
31	15.44	5.59	7.85	2.59	68.53	5788.00
32	15.44	13.97	7.85	1.03	61.70	5505.00
33	6.17	5.59	3.14	1.03	84.06	0.07



ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าต้นทุนโดยรวม (Cost)

RunOrder	factors					Cost (Euro/ton)
	A	B	C	D	E	
1	13.12	7.68	6.67	2.20	70.31	306.80
2	13.12	7.68	4.32	2.20	72.67	281.32
3	8.49	11.88	4.32	2.20	73.11	248.49
4	15.44	13.97	3.14	2.59	64.85	329.22
5	6.17	5.59	7.85	1.03	79.36	221.54
6	6.17	13.97	7.85	2.59	69.41	271.94
7	13.12	11.88	6.67	2.20	66.12	326.86
8	15.44	13.97	3.14	1.03	66.41	317.29
9	15.44	5.59	7.85	1.03	70.09	328.71
10	8.49	7.68	6.67	1.42	75.73	248.23
11	8.49	11.88	6.67	2.20	70.76	273.32
12	15.44	5.59	3.14	1.03	74.79	277.97
13	13.12	11.88	6.67	1.42	66.90	321.82
14	6.17	5.59	3.14	2.59	82.51	180.40
15	10.81	9.78	5.50	1.81	72.10	274.87
16	13.12	7.68	4.32	1.42	73.45	276.26
17	13.12	7.68	6.67	1.42	71.09	301.75
18	15.44	5.59	3.14	2.59	73.24	287.78
19	13.12	11.88	4.32	1.42	69.26	296.63
20	15.44	13.97	7.85	2.59	60.14	379.23
21	8.49	7.68	4.32	1.42	78.08	222.56
22	8.49	11.88	6.67	1.42	71.54	268.37
23	6.17	13.97	3.14	1.03	75.68	210.92
24	13.12	11.88	4.32	2.20	68.48	302.44
25	6.17	13.97	7.85	1.03	70.97	261.99
26	8.49	11.88	4.32	1.42	73.89	242.90
27	8.49	7.68	4.32	2.20	77.30	227.63
28	8.49	7.68	6.67	2.20	74.95	253.26
29	6.17	5.59	7.85	2.59	77.80	231.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าต้นทุนโดยรวม (Cost) (ต่อ)

RunOrder	factors					Cost (Euro/ton)
	A	B	C	D	E	
30	6.17	13.97	3.14	2.59	74.12	220.90
31	15.44	5.59	7.85	2.59	68.53	338.79
32	15.44	13.97	7.85	1.03	61.70	369.21
33	6.17	5.59	3.14	1.03	84.06	170.50



ตารางที่ 3 ผลการทดสอบจำนวนงานที่ล้างได้ทั้งหมด (Average Number of Total Plates)

RunOrder	factors					AVG No. of Total plates (Plates)
	A	B	C	D	E	
1	13.12	7.68	6.67	2.20	70.31	34.50
2	13.12	7.68	4.32	2.20	72.67	35.50
3	8.49	11.88	4.32	2.20	73.11	33.50
4	15.44	13.97	3.14	2.59	64.85	42.00
5	6.17	5.59	7.85	1.03	79.36	32.50
6	6.17	13.97	7.85	2.59	69.41	35.50
7	13.12	11.88	6.67	2.20	66.12	41.00
8	15.44	13.97	3.14	1.03	66.41	42.00
9	15.44	5.59	7.85	1.03	70.09	47.00
10	8.49	7.68	6.67	1.42	75.73	36.00
11	8.49	11.88	6.67	2.20	70.76	36.50
12	15.44	5.59	3.14	1.03	74.79	39.00
13	13.12	11.88	6.67	1.42	66.90	43.00
14	6.17	5.59	3.14	2.59	82.51	27.00
15	10.81	9.78	5.50	1.81	72.10	37.50
16	13.12	7.68	4.32	1.42	73.45	37.50
17	13.12	7.68	6.67	1.42	71.09	39.50
18	15.44	5.59	3.14	2.59	73.24	36.00
19	13.12	11.88	4.32	1.42	69.26	38.00
20	15.44	13.97	7.85	2.59	60.14	50.50
21	8.49	7.68	4.32	1.42	78.08	31.00
22	8.49	11.88	6.67	1.42	71.54	37.50
23	6.17	13.97	3.14	1.03	75.68	33.50
24	13.12	11.88	4.32	2.20	68.48	40.50
25	6.17	13.97	7.85	1.03	70.97	36.50
26	8.49	11.88	4.32	1.42	73.89	35.00
27	8.49	7.68	4.32	2.20	77.30	35.50
28	8.49	7.68	6.67	2.20	74.95	38.50
29	6.17	5.59	7.85	2.59	77.80	34.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบจำนวนงานที่ล้างได้ทั้งหมด (Average Number of Total Plates) (ต่อ)

RunOrder	factors					AVG No. of Total plates (Plates)
	A	B	C	D	E	
30	6.17	13.97	3.14	2.59	74.12	33.50
31	15.44	5.59	7.85	2.59	68.53	45.50
32	15.44	13.97	7.85	1.03	61.70	46.50
33	6.17	5.59	3.14	1.03	84.06	25.00



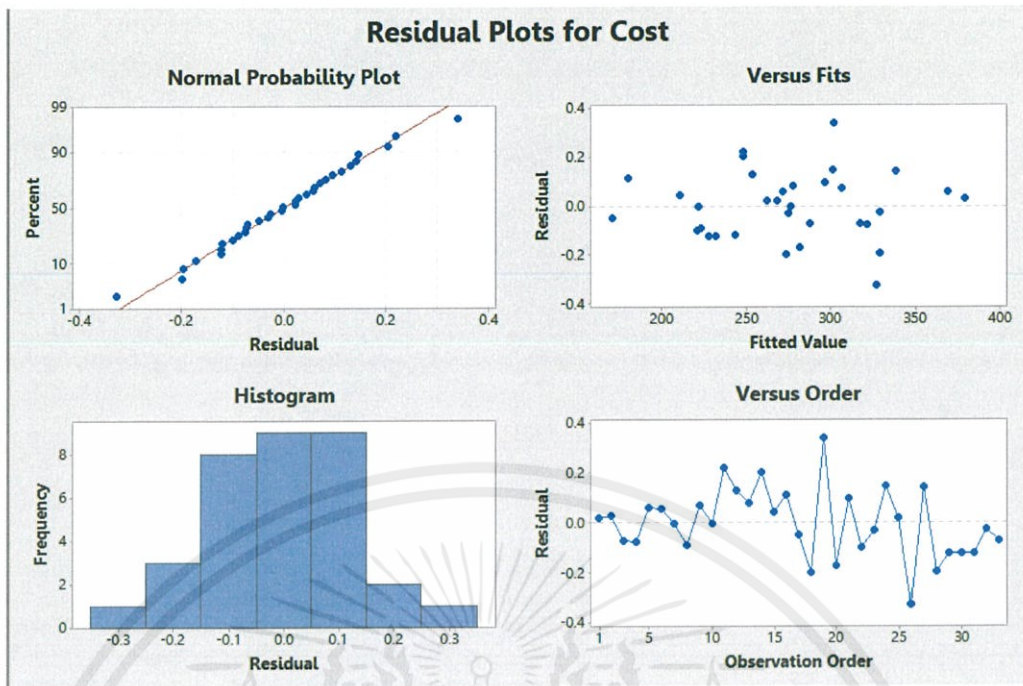
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด (Average Number of Cleaned Plates)

RunOrder	factors					AVG No. of Cleaned Plates (Plates)
	A	B	C	D	E	
1	13.12	7.68	6.67	2.20	70.31	27.00
2	13.12	7.68	4.32	2.20	72.67	32.00
3	8.49	11.88	4.32	2.20	73.11	29.50
4	15.44	13.97	3.14	2.59	64.85	34.00
5	6.17	5.59	7.85	1.03	79.36	32.00
6	6.17	13.97	7.85	2.59	69.41	33.00
7	13.12	11.88	6.67	2.20	66.12	37.00
8	15.44	13.97	3.14	1.03	66.41	41.00
9	15.44	5.59	7.85	1.03	70.09	42.50
10	8.49	7.68	6.67	1.42	75.73	29.50
11	8.49	11.88	6.67	2.20	70.76	36.00
12	15.44	5.59	3.14	1.03	74.79	37.50
13	13.12	11.88	6.67	1.42	66.90	43.00
14	6.17	5.59	3.14	2.59	82.51	25.50
15	10.81	9.78	5.50	1.81	72.10	35.50
16	13.12	7.68	4.32	1.42	73.45	36.50
17	13.12	7.68	6.67	1.42	71.09	36.50
18	15.44	5.59	3.14	2.59	73.24	35.00
19	13.12	11.88	4.32	1.42	69.26	37.00
20	15.44	13.97	7.85	2.59	60.14	49.00
21	8.49	7.68	4.32	1.42	78.08	24.50
22	8.49	11.88	6.67	1.42	71.54	36.00
23	6.17	13.97	3.14	1.03	75.68	30.00
24	13.12	11.88	4.32	2.20	68.48	36.50
25	6.17	13.97	7.85	1.03	70.97	36.00
26	8.49	11.88	4.32	1.42	73.89	31.00
27	8.49	7.68	4.32	2.20	77.30	32.00
28	8.49	7.68	6.67	2.20	74.95	36.00
29	6.17	5.59	7.85	2.59	77.80	30.00

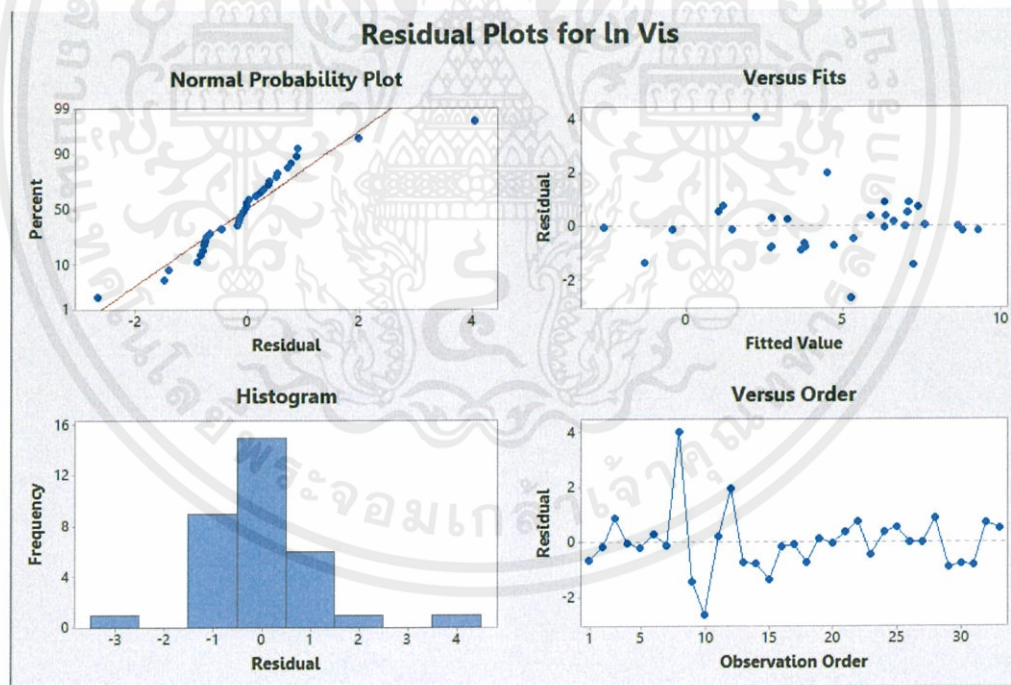
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบจำนวนจานที่ล้างได้สะอาด (Average Number of Cleaned Plates)
(ต่อ)

RunOrder	factors					AVG No. of Cleaned Plates (Plates)
	A	B	C	D	E	
30	6.17	13.97	3.14	2.59	74.12	32.50
31	15.44	5.59	7.85	2.59	68.53	42.50
32	15.44	13.97	7.85	1.03	61.70	44.00
33	6.17	5.59	3.14	1.03	84.06	24.50

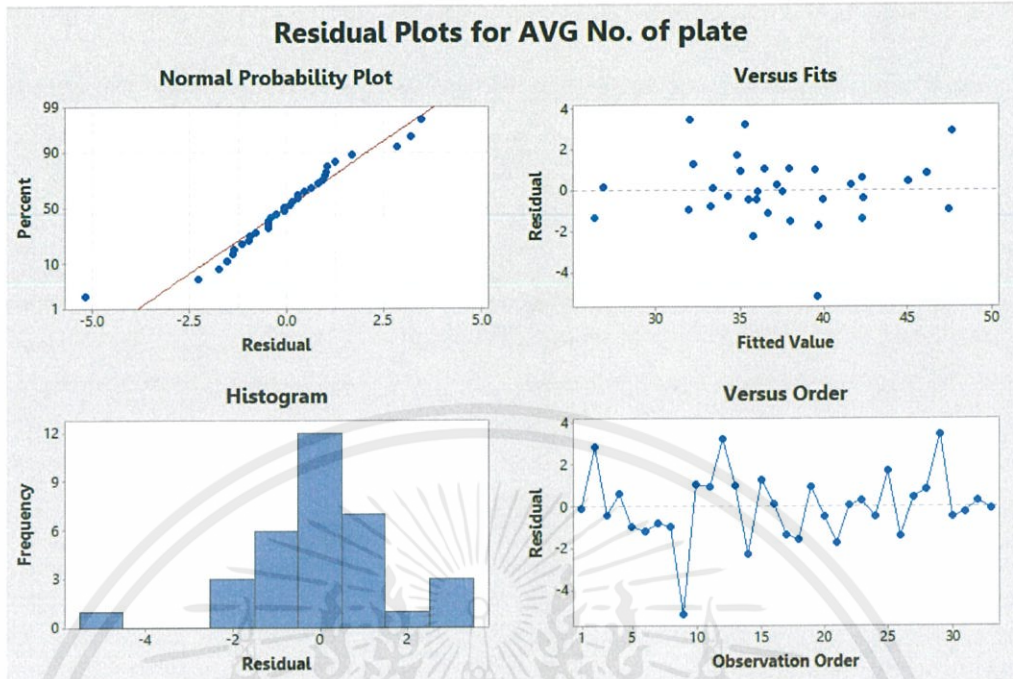




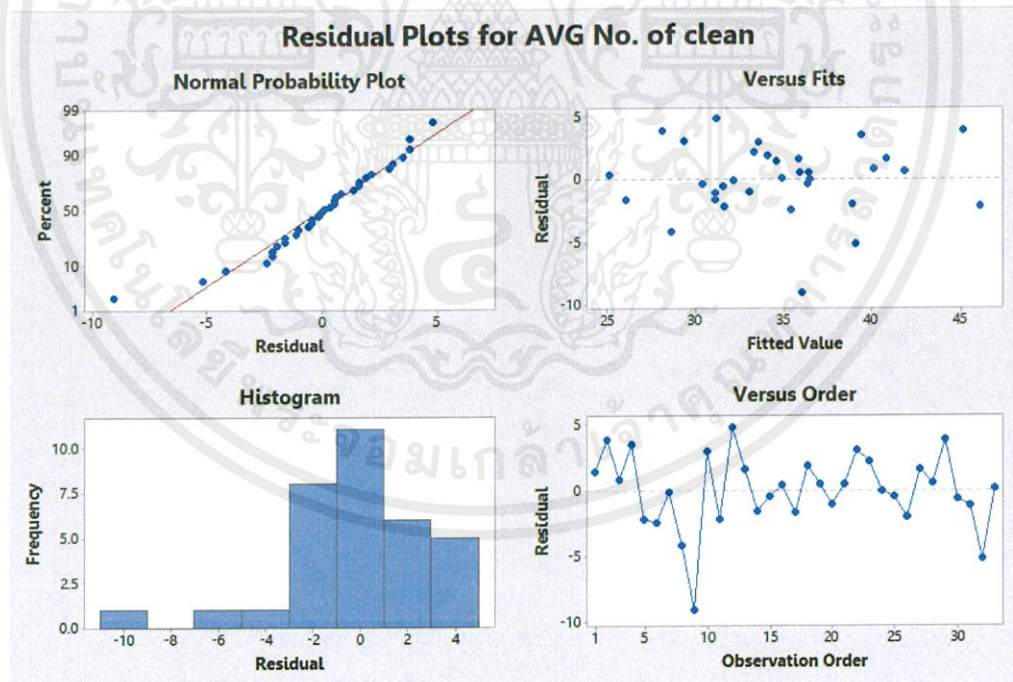
รูปที่ 1 กราฟแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุน



รูปที่ 2 กราฟแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความหนืด (Viscosity)



รูปที่ 3 กราฟแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนงานที่ล้างได้ทั้งหมด



รูปที่ 4 กราฟแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนงานที่ล้างได้สะอาด