

ผลกระทบของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่มีผลต่อคุณสมบัติและต้นทุน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

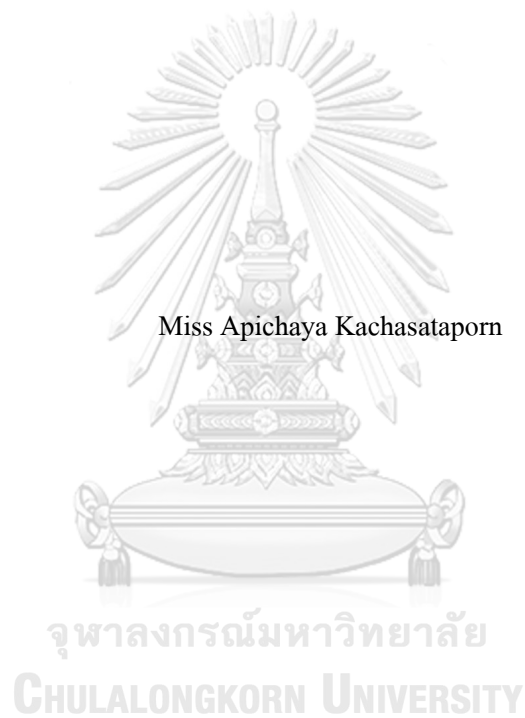
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF FUEL OIL MIXTURE ON PROPERTIES AND COST



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่มีผลต่อ คุณสมบัติและต้นทุน
โดย	น.ส.อภิษฐา คุชสาธภาพร
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสว่างศ์ ไอสถศิศิลป์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พีรพล ศิริพงษ์วุฒิกร)	

อภิญา ภาสกาพร : ผลกระทบของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่มีผลต่อคุณสมบัติ
และต้นทุน. (EFFECT OF FUEL OIL MIXTURE ON PROPERTIES AND COST)
อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่มีผลต่อคุณสมบัติและต้นทุน โดยการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยหุคูณ ผลิตรถยนต์ปิโตรเลียมที่ใช้ในการผสมเป็นน้ำมันเตามีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ กากของหน่วยแยกความหนืด น้ำมันดีเซล น้ำมันเครื่องบิน และกากบรรยากาศหน่วยแยกกากคอนเดนเสท คุณสมบัติน้ำมันเตาที่บริษัทกรมศึกษาให้ความสำคัญในการพิจารณาส่งมอบ มีทั้งหมด 4 คุณสมบัติ ได้แก่ จุดวาบไฟ ปริมาณกำมะถัน จุดไหลเท และค่าความหนืด โดยพบว่าคุณสมบัติน้ำมันเตาอยู่ในค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมแต่มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันเตาจึงไม่ใช่ต้นทุนที่ต่ำที่สุด

งานวิจัยนี้ใช้สมการถดถอยหลายรูปแบบในการวิเคราะห์พิจารณาหาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่เหมาะสม พบว่าการใช้สมการถดถอยแบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน มีค่าแม่นยำมากที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj) อยู่ระหว่าง 83-99% และค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์มีค่าต่ำที่สุดอยู่ระหว่าง 1-12% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรแบบพหุคูณและการเลือกตัวแปรโดยเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน

เมื่อนำข้อมูลจริงของการผสมน้ำมันเตาในปี 2017-2019 จำนวน 40 ชุดข้อมูล มาใช้กับสมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาแบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน เพื่อวิเคราะห์หาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรมการแก้ปัญหาเชิงเส้น โดยฟังก์ชัน Solver ของ Microsoft Excel พบว่าต้นทุนการผลิตน้ำมันเตาลดลงทั้งหมดรวม 2.4 ล้านบาท หรือ 6 หมื่นบาทต่อชุดข้อมูล คิดเป็นอัตราส่วนลดลงร้อยละ 23% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2562

5970977921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD:

Apichaya Kachasataporn :
 EFFECT OF FUEL OIL MIXTURE ON PROPERTIES AND COST. Advisor:
 Assoc. Prof. WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, Ph.D.

This research studies an effect of petroleum blending ratio to produce fuel oil using multiple regression analysis method. Currently there are four petroleum blending components which are vis-breaker residue, gasoil, kerosene and long residue condensate. Each petroleum component contains four properties which are flash point, sulfur content, pour point and viscosity. These four properties are controlled in a final product to be within their specifications. According to observation on actual fuel oil specifications, there are deviations between actual and target specifications of the four properties.

This research compared various regression models and found that Partial Least Square (PLS), representing relationship between final product properties and petroleum blending components with highest adjusted R² between 83-99% and MAPE between 1-12%. This model is better than multiple linear regression and stepwise regression models.

The historical laboratory data of fuel oil grade A blending ratio in 2017-2019 including 40 sets are used to implement four regression models to find the optimal blending ratio by using the Excel Solver that minimize cost with total blending cost saving 2.4 Million Baht or 0.06 Million Baht per blending set, 23% saving of total blending cost.

Field of Study: Industrial Engineering Student's Signature

Academic Year: 2019 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ผลกระทบของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่มีผลต่อคุณสมบัติและต้นทุนฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและ ข้อเสนอแนะ ตลอดจนแนวทางแก้ไขปรับปรุงงานวิจัยฉบับนี้เป็นอย่างดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวางค์ โอสถศิลป์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรอง ศาสตราจารย์ ดร.พีรพล ศิริพงษ์วุฒิกร กรรมการจากภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณารับเชิญเป็น กรรมการสอบตลอดจนให้คำแนะนำ รวมถึงข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์มีความ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ โรงงานกรณีศึกษาที่ให้โอกาสผู้วิจัยในการศึกษา ให้ความร่วมมือในการ ดำเนินงานวิจัยและให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำแนะนำ รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านที่อำนวยความสะดวกจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนและให้ กำลังใจ รวมทั้งขอบคุณความช่วยเหลือ กำลังใจจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยทุกท่านที่ไม่ได้ กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อภิชนา กษาศาพร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	๗
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทและหน่วยงานกรณีศึกษา.....	1
1.2 ที่มาและความสำคัญ	5
1.3 วัตถุประสงค์.....	19
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	20
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	20
1.6 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	22
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ	23
1.8 ผลที่ได้รับ	23
บทที่ 2	24
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	24
2.1 น้ำมันเตา.....	24
2.1.1 กระบวนการผลิตน้ำมันเตา.....	24
2.1.2 ประเภทของน้ำมันเตา.....	26

2.1.3 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม	27
2.2 ทฤษฎีและเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล	33
2.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple Linear Regression Analysis)	34
2.2.2 การวิเคราะห์การถดถอยไม่เชิงเส้น (Non-linear Regression Analysis)	34
2.2.3 การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares Regression Analysis: PLS Regression Analysis).....	37
2.2.4 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ	46
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมการถดถอย.....	47
บทที่ 3	49
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	49
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย	52
3.2 การกำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองสำหรับการวิเคราะห์การถดถอย	60
3.3 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตา.....	62
3.3.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาโดยวิธี Stepwise Regression.....	63
3.3.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาโดยวิธี Stepwise Regression.....	80
3.3.3 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาโดยวิธี Partial Least Squares regression	84
3.4 การวิเคราะห์เศษตกค้าง (Residual Analysis).....	91
3.5 การเลือกรูปแบบวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตา	94
บรรณานุกรม	101
ภาคผนวก ก.....	104
ภาคผนวก ข.....	160
ประวัติผู้เขียน	261



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่บริษัทผลิตได้และการนำไปใช้ประโยชน์.....	2
ตารางที่ 2	ชนิดของน้ำมันเตาของบริษัทการศึกษา.....	6
ตารางที่ 3	แสดงปริมาณเฉลี่ยการใช้วัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดของน้ำมันเตาชนิดต่างๆ ภายในปี 2560.....	13
ตารางที่ 4	ช่วงความต้องการของค่าคุณสมบัติต่างๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำมันเตาชนิดที่ 5	16
ตารางที่ 5	แผนการดำเนินงานของงานวิจัย.....	22
ตารางที่ 6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและความถ่วงเอพีไอ [2].....	29
ตารางที่ 7	ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยของงานวิจัยการศึกษาคุณภาพน้ำมันดีเซล [29].....	47
ตารางที่ 8	ตัวอย่างของการผสมน้ำมันเตาชนิดที่ 5	49
ตารางที่ 9	ค่าคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 โดยอ้างอิงสัดส่วนผสมจากตารางที่ 8.....	50
ตารางที่ 10	คุณสมบัติต่างๆของข้อมูลดิบการผสมน้ำมันเตาจำนวน 324 ชุด	52
ตารางที่ 11	ตัวแปรต้นที่พิจารณาในการหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง	53
ตารางที่ 12	ตัวแปรตอบสนองเพื่อหาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่เหมาะสมกับคุณสมบัติและต้นทุน	53
ตารางที่ 13	ตัวแปรต้นที่พิจารณาในการหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง	61
ตารางที่ 14	ตัวแปรตอบสนองที่พิจารณาหาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่เหมาะสมกับคุณสมบัติและต้นทุน.....	61
ตารางที่ 15	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Multiple Linear Regression	63
ตารางที่ 16	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Multiple Linear Regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_1	63
ตารางที่ 17	ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Multiple Linear Regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_2	68

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Multiple Linear Regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_3	71
ตารางที่ 19 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Multiple Linear Regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_4	75
ตารางที่ 20 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองต่างๆ โดยวิธี Stepwise regression	80
ตารางที่ 21 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Stepwise regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_1	81
ตารางที่ 22 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Stepwise regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_2	81
ตารางที่ 23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Stepwise regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_3	82
ตารางที่ 24 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Stepwise regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_4	83
ตารางที่ 25 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองต่างๆ โดยวิธี Partial Least Squares regression	85
ตารางที่ 26 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Partial Least Squares regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_1	85
ตารางที่ 27 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Partial Least Squares regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_2	85
ตารางที่ 28 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Partial Least Squares regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_3	85
ตารางที่ 29 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Partial Least Squares regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_4	86
ตารางที่ 30 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj) ของการวิเคราะห์การถดถอย 3 วิธีที่มีตัวแปรนำเข้าของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4	91

ตารางที่ 31 ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของการวิเคราะห์การถดถอย 3 วิธี
ของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 94

ตารางที่ 32 ตารางสรุปสมการถดถอยสำหรับใช้หาสัดส่วนผสมน้ำมันเตาเพื่อให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด .95

ตารางที่ 39 ข้อมูลตัวแปรต้นสำหรับพิจารณาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตา 105

ตารางที่ 40 ข้อมูลตัวแปรตอบสนองสำหรับพิจารณาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตา 140

ตารางที่ 41 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor:
VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่1)161

ตารางที่ 42 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor:
VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่2) 164

ตารางที่ 43 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor:
VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่3) 168

ตารางที่ 44 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor:
VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่4) 172

ตารางที่ 45 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor:
VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่1) 177

ตารางที่ 46 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor:
VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่2)..... 181

ตารางที่ 47 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor:
VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่3)..... 185

ตารางที่ 48 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor:
VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่4)..... 190

ตารางที่ 49 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor:
VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 5)..... 194

ตารางที่ 50 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor:
VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 6)..... 198

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1	ผลิตภัณฑ์อะโรเมติกส์ที่บริษัทผลิตได้และการนำไปใช้ประโยชน์	3
ภาพที่ 2	ผลิตภัณฑ์โอเลฟินส์ที่บริษัทผลิตได้และการนำไปใช้ประโยชน์	4
ภาพที่ 3	แผนภูมิแสดงร้อยละปริมาณการขายน้ำมันเตาแต่ละชนิดของบริษัทการศึกษา	7
ภาพที่ 4	กระบวนการผลิตของหน่วยกลั่นน้ำมันดิบ	7
ภาพที่ 5	กระบวนการผลิตของหน่วยกลั่นสุญญากาศ	8
ภาพที่ 6	กระบวนการผลิตของหน่วยแยกความหนืด	8
ภาพที่ 7	กระบวนการผลิตน้ำมันเตาของบริษัทการศึกษา	12
ภาพที่ 8	ร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนของคุณสมบัติต่างๆในน้ำมันเตาชนิดที่ 5	14
ภาพที่ 9	แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงจุดวาบไฟของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560	16
ภาพที่ 10	แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงปริมาณกำมะถันของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560	17
ภาพที่ 11	แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงจุดไหลเทของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560	18
ภาพที่ 12	แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงความหนืดของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560	18
ภาพที่ 13	กระบวนการกลั่นลำดับส่วน [1]	25
ภาพที่ 14	แผนภาพการจัดแบ่ง Regression Analysis ตามชนิดของข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ [9] ...	36
ภาพที่ 15	ขั้นตอนการทำวิจัย	51
ภาพที่ 16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{11} และตัวแปรตอบสนอง Y_1	54
ภาพที่ 17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{21} และตัวแปรตอบสนอง Y_1	54
ภาพที่ 18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{31} และตัวแปรตอบสนอง Y_1	54
ภาพที่ 19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{41} และตัวแปรตอบสนอง Y_1	55
ภาพที่ 20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{12} และตัวแปรตอบสนอง Y_1	55
ภาพที่ 21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{22} และตัวแปรตอบสนอง Y_1	55

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันทางบริษัทกรณีสึกษาซึ่งเป็นธุรกิจอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ได้แก่ ธุรกิจโรงกลั่น ธุรกิจโรงอะโรเมติกส์ และธุรกิจโรงโอเลฟินส์ โดยเมื่อพิจารณาเฉพาะผลิตภัณฑ์ของธุรกิจโรงกลั่นพบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันเตา (Fuel oil) ของบริษัทกรณีสึกษา จะต้องมีการใช้วัตถุดิบหลากหลายชนิดนำมาผสมกันเพื่อให้ได้น้ำมันเตาตามคุณสมบัติที่ต้องการ (Product Specification) ก่อนนำมาจำหน่ายให้กับลูกค้าต่อไป โดยจากการเก็บข้อมูลสัดส่วนการผสมของวัตถุดิบต่างๆ พบว่าน้ำมันเตาที่ผลิตได้ จะมีคุณสมบัติดีกว่าที่กำหนดไว้ เนื่องจากในการผสมวัตถุดิบของหน่วยผลิต จะกำหนดคุณสมบัติการผสมเพื่อ เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำมันเตาที่ส่งมอบให้กับลูกค้า จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าที่กำหนดไว้อย่างแน่นอน ทั้งนี้สัดส่วนของการผสมน้ำมันเตาเกิดจากการใช้ประสบการณ์จริงของพนักงานฝ่ายผลิตทั้งหมด ทำให้มีความไม่แม่นยำในการผสม ดังนั้นในปัจจุบันการผสมผลิตภัณฑ์น้ำมันเตาของบริษัทกรณีสึกษา เพื่อให้ได้คุณสมบัติตรงตามที่ต้องการ อาจจะไม่ใช้สัดส่วนที่ทำให้เกิดต้นทุนน้อยที่สุด

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้เห็นแนวทางการพัฒนาสัดส่วนของการผสมน้ำมันเตา เพื่อให้ได้น้ำมันเตาที่มีคุณภาพที่เหมาะสม ตรงกับความต้องการของลูกค้า และทำให้เกิดต้นทุนน้อยที่สุด เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันให้กับบริษัทกรณีสึกษาในอนาคตต่อไป

1.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทและหน่วยงานกรณีสึกษา

บริษัทกรณีสึกษา จัดเป็นบริษัทในธุรกิจอุตสาหกรรมปิโตรเคมีครบวงจร ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดเป็นเคมีภัณฑ์ที่หลากหลายและเป็นวัตถุดิบพื้นฐานของอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ ได้แก่ บรรจุก๊าซ เครื่องนึ่งห่ม อุปกรณ์สื่อสารและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ยานยนต์ ธุรกิจก่อสร้าง พลาสติกเชิงวิศวกรรม อุปกรณ์ทางการเกษตร และอื่นๆอีกมากมาย โดยโครงสร้างธุรกิจของบริษัทกรณีสึกษา สามารถแบ่งได้ดังนี้

- กลุ่มผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม
- กลุ่มผลิตภัณฑ์อะโรเมติกส์
- กลุ่มผลิตภัณฑ์โอเลฟินส์

ซึ่งแต่ละธุรกิจมีห่วงโซ่อุปทานที่เกี่ยวข้องกัน เป็นดังนี้

1) กลุ่มผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

กลุ่มผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (โรงกลั่น) ของบริษัทการศึกษา มีวัตถุประสงค์หลักที่ใช้คือน้ำมันดิบ (Crude oil) เพื่อนำไปเข้ากลั่นโดยหน่วยกลั่นน้ำมันดิบ (Crude Distillation Unit: CDU) เพื่อแยกออกเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ดังนี้

1.1) น้ำมันสำเร็จรูปชนิดเบา ได้แก่ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquid Petroleum Gas: LPG) แนฟทาชนิดเบา (Light Naphtha) และรีฟอร์มัท (Reformate)

1.2) น้ำมันสำเร็จรูปชนิดกึ่งหนักและกึ่งเบา ได้แก่ น้ำมันอากาศยาน (Jet) และน้ำมันดีเซล (Diesel)

1.3) น้ำมันสำเร็จรูปชนิดหนัก ได้แก่ น้ำมันเตา (Fuel oil)

โดยผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ สรุปดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่บริษัทผลิตได้และการนำไปใช้ประโยชน์

ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม		การนำไปใช้ประโยชน์ทั่วไป
น้ำมันสำเร็จรูปชนิดเบา	ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือแอลพีจี	- ใช้เป็นเชื้อเพลิง - ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (โอเลฟินส์)
	แนฟทาชนิดเบา	- ใช้เป็นสารองค์ประกอบในการผลิตน้ำมันเบนซิน - ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (โอเลฟินส์)
	รีฟอร์มัท	- ใช้เป็นสารองค์ประกอบในการผลิตน้ำมันเบนซิน - ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี (โอเลฟินส์)
น้ำมันสำเร็จรูปกึ่งหนักกึ่งเบา	น้ำมันอากาศยาน	- ใช้เป็นเชื้อเพลิงอากาศยาน
	น้ำมันดีเซล	- ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมและภาคการขนส่ง
น้ำมันสำเร็จรูปชนิดหนัก	น้ำมันเตา	- ใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมและการขนส่งทางทะเล

เนื่องด้วยบริษัทมีหลายธุรกิจ ดังนั้นจึงมีการแลกเปลี่ยนวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อให้ผลกำไรสูงสุด ทำให้โรงกลั่นรับวัตถุดิบอื่นๆ จากกลุ่มผลิตภัณฑ์อะโรเมติกส์และกลุ่มผลิตภัณฑ์โอเลฟินส์และส่งผลิตภัณฑ์บางส่วนกลับไปให้โรงผลิตอื่นๆ

2) กลุ่มผลิตภัณฑ์อะโรเมติกส์

กลุ่มผลิตภัณฑ์อะโรเมติกส์ (โรงอะโรเมติกส์) ของบริษัทกรณีสึกษา มีวัตถุดิบหลักที่ใช้คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวหรือคอนเดนเสท (Condensate) ป้อนให้กับหน่วยผลิต เพื่อแยกออกเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ดังนี้

2.1) เบนซีน (Benzene)

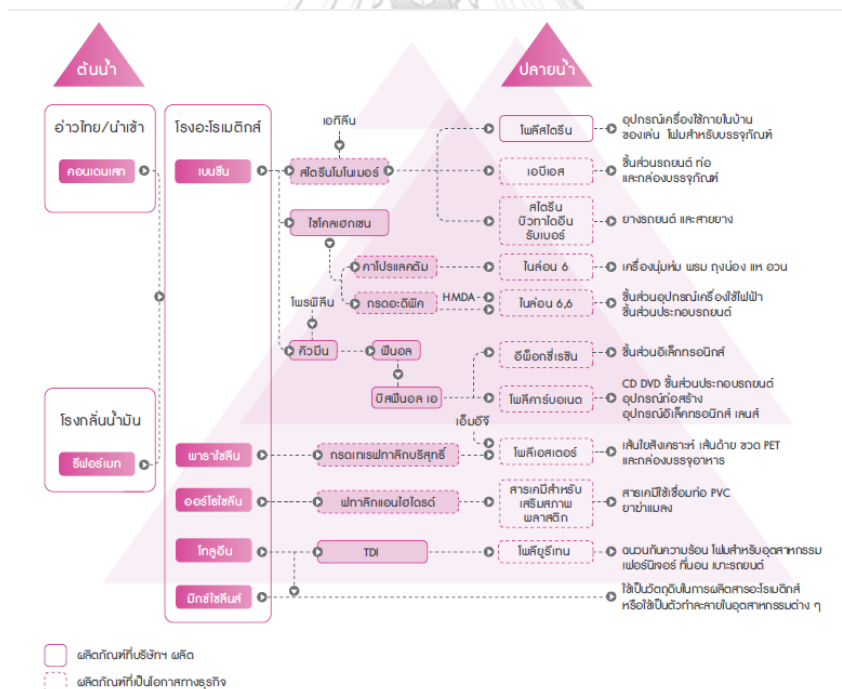
2.2) พาราไซลีน (Paraxylene)

2.3) ออร์โธไซลีน (Ortho-xylene)

2.4) โทลูอีน (Toluene)

2.5) มิกซ์ไซลีน (Mixed Xylene)

โดยผลิตภัณฑ์อะโรเมติกส์ที่ผลิตได้ จะใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ สรุปดังภาพที่ 1



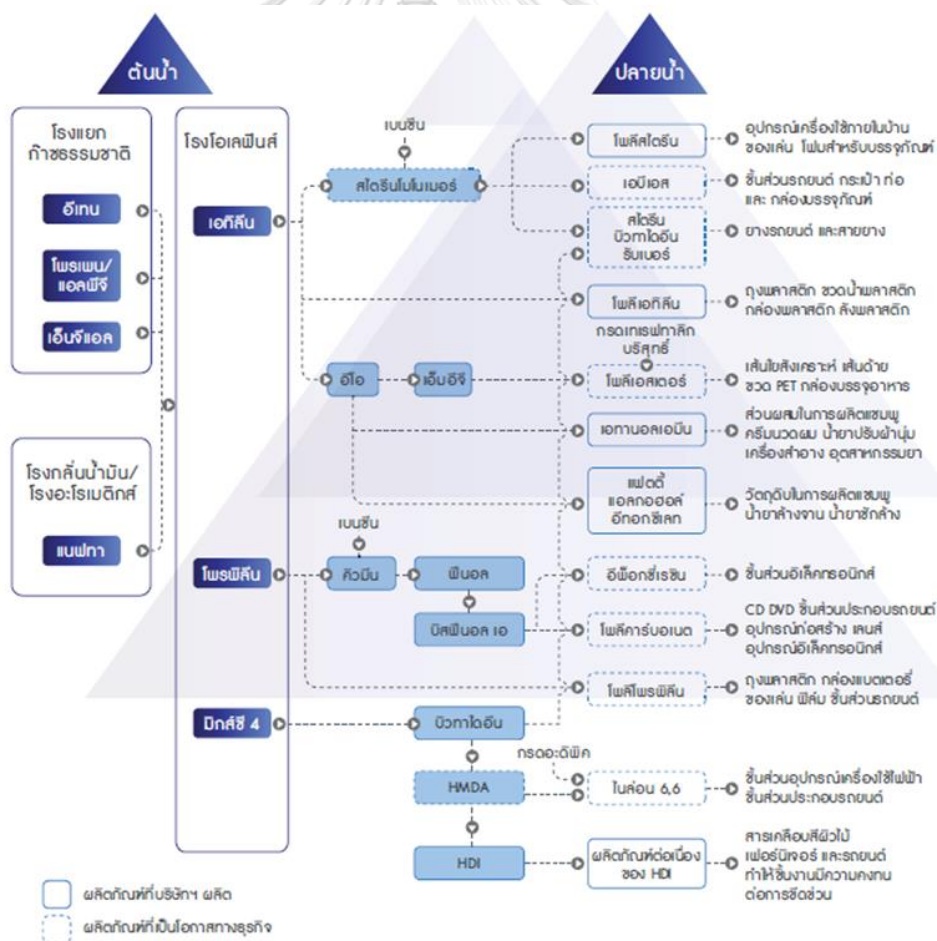
ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์อะโรเมติกส์ที่บริษัทผลิตได้และการนำไปใช้ประโยชน์

นอกจากผลิตภัณฑ์อะโรเมติกส์ข้างต้นแล้ว ยังสามารถผลิตผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวและเนฟทาซนิตเบา ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับโรงงานโอเลฟินส์ อีกทั้งก๊าซธรรมชาติเหลวส่วนหนัก (Condensate Residue) ไฮโดรเจน (Hydrogen) และ สารอะโรเมติกส์หนัก (Heavy Aromatics: HA) จะถูกส่งไปเป็นวัตถุดิบสำหรับกลั่นแยกเป็นน้ำมัน

อากาศยาน น้ำมันดีเซลและน้ำมันเตาที่โรงกลั่นน้ำมัน อีกทั้งยังสามารถรับวัตถุดิบอื่นๆ เข้ามาเพิ่มมูลค่าได้อีก เช่น การนำรีฟอร์มเมทจากโรงกลั่นและไพโรไลซิสแก๊สโซลีนมาเพิ่มมูลค่าเป็นผลิตภัณฑ์อะโรแมติกส์ เป็นต้น

3) กลุ่มผลิตภัณฑ์โอเลฟินส์

โรงงานโอเลฟินส์ มีวัตถุดิบหลักคืออีเทนและโพรเพน สามารถผลิตไปเป็นผลิตภัณฑ์หลักคือผลิตภัณฑ์เอทิลีนและโพรพิลีน รวมถึงผลิตภัณฑ์พลอยได้ ได้แก่ ไพโรไลซิส แก๊สโซลีน (Pyrolysis Gasoline) มิกซ์ซี 4 (Mixed C4) เทลแก๊ซ (Tail Gas) แครกเกอร์บอททอม (Cracker Bottom) และไฮโดรเจน (Hydrogen) ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะนำไปต่อยอดเป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมปลายน้ำ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ สรุปได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผลิตภัณฑ์โอเลฟินส์ที่บริษัทผลิตได้และการนำไปใช้ประโยชน์

โดยขอบเขตของการวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะการผสมเพื่อผลิตน้ำมันเตาของกลุ่มผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเท่านั้น โดยจะมีผลิตภัณฑ์จากกลุ่มธุรกิจอื่นๆ เข้ามาผสมในการผลิตน้ำมันเตาด้วย เพื่อให้ได้น้ำมันเตาที่มีคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการ

1.2 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน ทุกธุรกิจย่อมประสบปัญหาภาวะการแข่งขันในอัตราสูง แม้แต่การแข่งขันของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีก็เช่นกัน การบริหารบริษัทให้สามารถอยู่รอดได้จึงต้องมีการบริหารงานที่ดี ทั้งในส่วนของรายได้และต้นทุน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด กล่าวคือทำให้เกิดผลตอบแทนสูงสุด

บริษัทกรมศึกษาผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่ายหลากหลายชนิด โดยหนึ่งในผลิตภัณฑ์เหล่านั้นคือน้ำมันเตา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากธุรกิจปิโตรเลียม น้ำมันเตาถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่สำคัญในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากมีราคาถูก และให้พลังงานสูง โดยมากใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องใช้กระบวนการเผาไหม้ กระบวนการให้ความร้อน เช่น โรงงานถลุงเหล็ก โรงงานรีดเหล็ก เป็นต้น โดยกระทรวงพลังงานได้แบ่งชนิดของน้ำมันเตาออกเป็น 5 ชนิด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยชนิดที่มีจำหน่ายกันมาก ได้แก่

1. น้ำมันเตาชนิดที่ 1 หรือน้ำมันเตาชนิดเบา (Light Fuel Oil, LFO หรือ Stan Fuel)

น้ำมันเตาชนิดนี้จะมีลักษณะข้นใส ค่าความหนืดไม่เกิน 80 เซนติสโตก ที่ 50 องศาเซลเซียส มีกำมะถันน้อยมาก ไม่เกินร้อยละ 2 โดยการใช้ น้ำมันเตาชนิดนี้จะมีตะกอนและน้ำน้อย เผาไหม้เร็ว เหมาะสำหรับเผาไหม้ในหม้อน้ำขนาดเล็ก ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไอน้ำในอุตสาหกรรมต่างๆ

2. น้ำมันเตาชนิดที่ 2 หรือน้ำมันเตาชนิดกลาง (Medium Fuel Oil, MFO หรือ Bunker)

น้ำมันเตาชนิดนี้มีลักษณะข้นปานกลาง ความหนืดไม่เกิน 180 เซนติสโตกที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นชนิดที่มีกำมะถันไม่เกินในช่วงร้อยละ 2 การใช้ให้มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องใช้ระบบส่งและฉีดพ่นน้ำมันที่ดี มักใช้ในหม้อน้ำ เตเผาขนาดเล็ก ขนาดกลางที่มีระบบอุ่นน้ำมัน มักใช้ในโรงงานขนาดกลางถึงขนาดใหญ่

3. น้ำมันเตาชนิดที่ 5 หรือน้ำมันเตาชนิดหนัก (Heavy Fuel Oil, HFO)

น้ำมันเตาชนิดนี้มีความหนืดไม่เกิน 380 เซนติสโตก ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นชนิดที่มีกำมะถันไม่เกินในช่วงร้อยละ 3.5 ถึง 4 มักใช้ในเตาเผาขนาดใหญ่ ต้องมีระบบส่งและฉีดพ่นน้ำมันที่ดี รวมถึงระบบอุ่นน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ น้ำมันเตาชนิดนี้ราคาต่ำกว่าน้ำมันเตาเกรดอื่นๆ

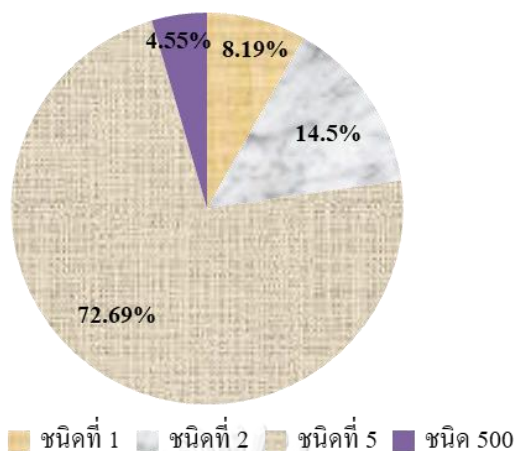
โดยชนิดน้ำมันเตาของบริษัทการศึกษา แบ่งออกเป็น 4 ชนิด โดยน้ำมันเตาเพื่อใช้จำหน่ายในประเทศคือน้ำมันเตาชนิดที่ 1, 2 และ 5 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และอีกชนิดหนึ่งเป็นชนิดที่ใช้จำหน่ายนอกประเทศ เรียกว่า น้ำมันเตาชนิด 500 โดยน้ำมันเตาชนิดนี้จะมีคุณสมบัติเหมือนกับน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ทั้งหมด ยกเว้นคุณสมบัติความหนืดต้องไม่เกิน 500 เซนติสโตก ที่ 50 องศาเซลเซียส

ปัจจุบันบริษัทการศึกษาสามารถผลิตน้ำมันเตาทุกชนิดรวมกันได้มากกว่า 1.3 ล้านตันต่อปี คิดเป็นมูลค่ากว่า 494 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งในอนาคต บริษัทการศึกษายังมีการวางแผนที่จะเพิ่มผลิตภัณฑ์ให้ครอบคลุมความต้องการอีกมากมายในตลาดน้ำมันเตา รวมไปถึงการพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยตารางที่ 2 เป็นตารางสรุปชนิดของน้ำมันเตาของบริษัทการศึกษา

ตารางที่ 2 ชนิดของน้ำมันเตาของบริษัทการศึกษา

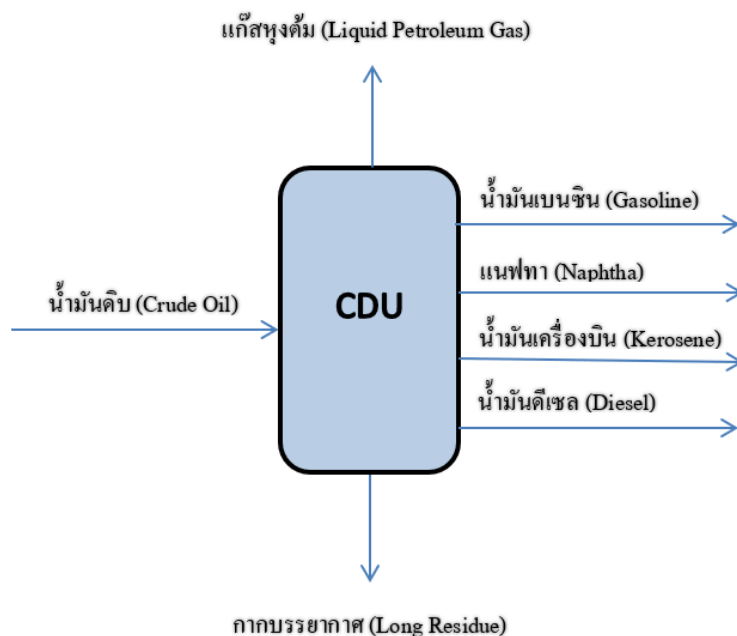
ชนิด	แหล่งขาย	ความหนืด (ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที หรือเซนติสโตก)	กำมะถัน (ร้อยละน้ำหนัก)
1	ขายภายในประเทศ	80	2
2		180	2
5		380	3.5
500	ขายนอกประเทศ	500	3.5

โดยปริมาณการจำหน่ายของน้ำมันเตาชนิดต่างๆ สามารถแบ่งตามสัดส่วนได้ ดังภาพที่ 3



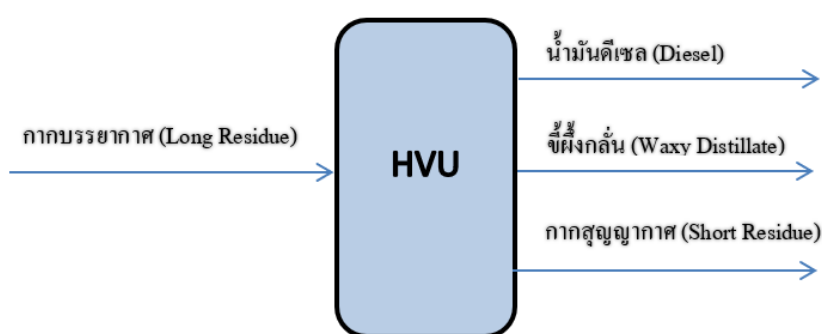
ภาพที่ 3 แผนภูมิแสดงร้อยละปริมาณการขายน้ำมันเตาแต่ละชนิดของบริษัทกรีนศึกษา

โดยกระบวนการผลิตน้ำมันเตา เริ่มจากธุรกิจปิโตรเลียมจะมีวัตถุดิบหลักคือน้ำมันดิบจะถูกป้อนเข้าหน่วยกลั่นน้ำมันดิบ (Crude Distillation Unit: CDU) โดยใช้หลักการกลั่นลำดับส่วนเพื่อกลั่นแยกประเภทน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีจุดเดือดต่ำ ออกเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น น้ำมันเบนซิน (Gasoline) แนฟธา (Naphtha) น้ำมันเครื่องบิน (Kerosene) น้ำมันดีเซล (Diesel) และกากบรยากาศ (Long Residue: LR) ดังภาพที่ 4



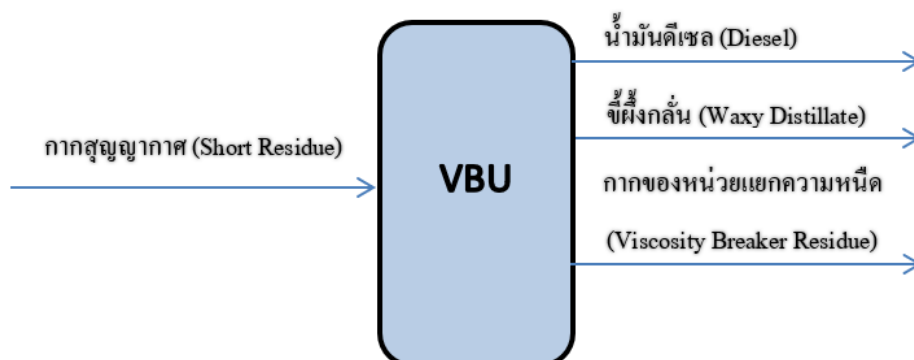
ภาพที่ 4 กระบวนการผลิตของหน่วยกลั่นน้ำมันดิบ

จากนั้นกากบรยากาศจะถูกนำมาเข้าหน่วยกลั่นสุญญากาศ (High Vacuum Unit: HVU) ซึ่งทำการกลั่นแยกประเภทน้ำมันที่มีจุดเดือดสูง โดยนำกากบรยากาศส่วนที่เหลือจากหอกลั่นน้ำมันดิบ นำมากลั่นในหอกลั่นสุญญากาศ เพื่อแยกน้ำมันออกเป็นส่วนๆ ตามค่าความหนืดของน้ำมันได้เป็น 3-4 เกรด ตั้งแต่ชนิดใสจนถึงชนิดข้น และส่วนที่เหลือจากการกลั่นภายใต้สุญญากาศ จะถูกเรียกว่า กากสุญญากาศ (Short Residue: SR) ซึ่งจะถูกส่งไปสกัดต่อไป โดยกระบวนการผลิตของหน่วยสุญญากาศสามารถสรุปได้ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กระบวนการผลิตของหน่วยกลั่นสุญญากาศ

ต่อมากากสุญญากาศนี้จะถูกนำมาเข้าหน่วยแยกความหนืด (Viscosity Breaker Unit: VBU) เพื่อแยกกากสุญญากาศออกเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยใช้ปฏิกิริยาความร้อน (Thermal Reaction) เพื่อแยกผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงที่อยู่ในกากสุญญากาศ เช่น น้ำมันดีเซล เพื่อกลับเข้าไปในกระบวนการผลิตอื่นๆต่อไป และส่วนที่เหลือจากหน่วยแยกความหนืด จะถูกเรียกว่า กากของหน่วยแยกความหนืด (Viscosity Breaker Residue: VBR) ซึ่งส่วนนี้ถูกนำไปเป็นวัตถุดิบหลักในการผสมเพื่อทำเป็นน้ำมันเตาและบางส่วนนำไปเป็นเชื้อเพลิง (Fuel System) ดังภาพที่ 6



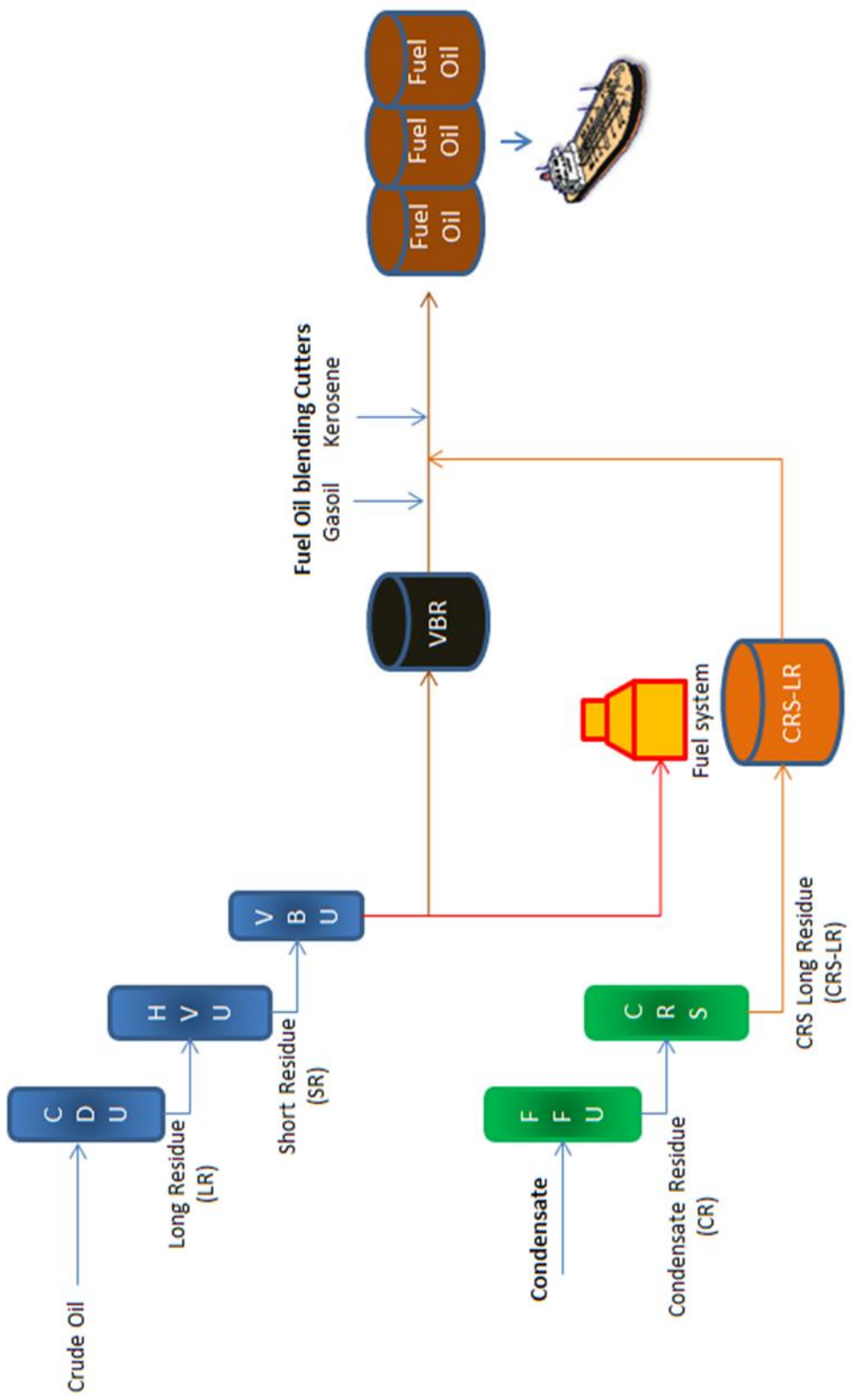
ภาพที่ 6 กระบวนการผลิตของหน่วยแยกความหนืด

กระบวนการผสมน้ำมันเตา

กระบวนการผสมน้ำมันเตา เริ่มจากนำกากของหน่วยแยกความหนืด ที่มีความหนืดสูงมาก มาทำการลดความหนืด โดยการนำมาผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ ซึ่งเรียกว่า คัตเตอร์ (Cutter) ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้น้ำมันเตาที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน และสามารถจำหน่ายให้กับลูกค้าได้ โดยคัตเตอร์ที่บริษัทกรณีสศึกษานำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ภายในบริษัทกรณีสศึกษาเอง ได้แก่ น้ำมันดีเซล (Gas oil) น้ำมันเครื่องบิน (Kerosene) และกากบรรยากาศหน่วยแยกกากคอนเดนเสท (Condensate Residue Splitter Long Residue: CRS LR)

โดยสามารถสรุปกระบวนการผลิตน้ำมันเตาได้ ดังภาพที่ 7





ภาพที่ 7 กระบวนการผลิตน้ำมันเตาของบริษัททรานส์ทีค

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์น้ำมันเตาทั้งหมดของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผสมคือกากของหน่วยแยกความหนืด (Viscosity Breaker Residue: VBR) ซึ่งคิดเป็นร้อยละกว่า 70-90 ของวัตถุดิบการผสมทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณเฉลี่ยการใช้วัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดของน้ำมันเตาชนิดต่างๆ ภายในปี 2560

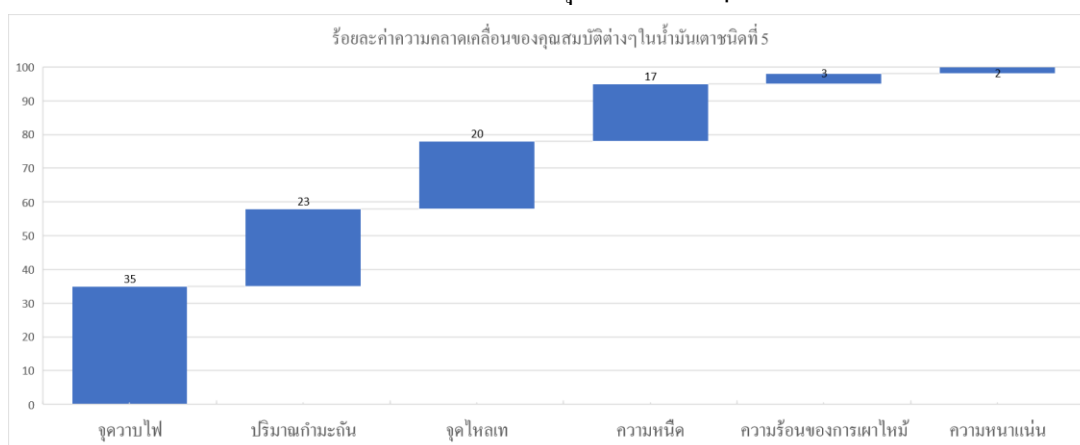
ชนิดคัตเตอร์	ร้อยละชนิดน้ำมันเตา			
	ชนิด 1	ชนิด 2	ชนิด 5	ชนิด 500
กากของหน่วยแยกความหนืด (VBR)	70	73	85	89
น้ำมันดีเซล (Gas Oil)	26	23	3	0
น้ำมันเครื่องบิน (Kerosene)	4	4	3	2
กากบรรยากาศหน่วยแยกกากคอนเดนเสท (CRS LR)	0	0	9	9

โดยกากของหน่วยแยกความหนืด (VBR) ซึ่งออกจากกระบวนการผลิตจะถูกถ่ายลงถังเก็บ (Batch) เพื่อรอการผสมของคัตเตอร์ต่างๆ โดยคัตเตอร์ต่างๆจะถูกเก็บอยู่ในถังเช่นเดียวกัน ซึ่งถังคัตเตอร์แต่ละตัวจะมีท่อส่งต่อมายังถังเก็บ VBR ทั้งนี้การผสมวัตถุดิบต่างๆ เพื่อให้ได้น้ำมันเตาจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ครั้ง เมื่อทำการผสมแต่ละครั้ง ไบควอนในถัง VBR จะถูกเปิดทำงานเพื่อให้การผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous mixture) โดยการผสมแต่ละครั้ง สารผสมจะถูกกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นสารผสมจะถูกเก็บเพื่อนำมาทดสอบค่าคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ (Laboratory)

ทั้งนี้สัดส่วนคัตเตอร์ที่ใช้ผสมเกิดจากการคาดคะเนจากพนักงานปฏิบัติการทั้งสิ้น โดยคัตเตอร์ถูกผสมลงไปในวัตถุดิบหลักคือกากของหน่วยแยกความหนืด (VBR) เพื่อให้ได้เป็นน้ำมันเตาที่มีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม กล่าวคือคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันเตาอยู่ภายใต้ค่าเป้าหมายนั่นเอง อย่างไรก็ตามจากข้อมูลคุณสมบัติน้ำมันเตาทุกชนิดของบริษัทกรณีศึกษาในปี 2560 พบว่าคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเตาทุกชนิดอยู่ในขอบเขตของค่าเป้าหมาย แต่ค่าคุณสมบัติบางอย่างไม่ได้เป็นกับค่าขอบล่างหรือค่าขอบบนตามมาตรฐาน ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าบริษัทกรณีศึกษาได้ผลิตน้ำมันเตาที่มีคุณสมบัติดีกว่าค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมนั่นเอง ซึ่งก่อให้เกิดค่าเสียเปล่า (Giveaway cost) ซึ่งเกิดจากการผสมวัตถุดิบต่างๆ ในสัดส่วนที่ไม่ถูกต้อง ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันเตาจึงไม่ใช่ต้นทุนที่ต่ำที่สุด

นำคุณสมบัติต่างๆในปี 2560 ของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 มาทำการความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าเป้าหมาย เพื่อทำการคัดเลือกคุณสมบัติของน้ำมันเตาที่มีความคลาดเคลื่อนไปจากคุณสมบัติที่ต้องการ โดยพบว่ามียุทธสมบัติ 4 ชนิดที่มีความคลาดเคลื่อนของยุทธสมบัติน้ำมันเตาไปจากค่าเป้าหมายอย่างมีนัยยะสำคัญ ได้แก่ จุดวาบไฟ ปริมาณกำมะถัน จุดไหลเท และความหนืด ดังภาพที่ 8

ภาพที่ 8 ร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนของยุทธสมบัติต่างๆในน้ำมันเตาชนิดที่ 5



โดยวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกศึกษาเฉพาะการผสมน้ำมันเตาชนิดที่ 5 เนื่องจากน้ำมันเตาชนิดนี้มีปริมาณการขายสูงสุด คิดเป็นร้อยละกว่า 73 ของปริมาณการขายน้ำมันเตาทั้งหมด โดยบริษัท ทรานส์ศึกษา น้ำมันเตาชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ให้ความสำคัญในการพิจารณาส่งมอบ ทั้งหมด 4 คุณสมบัติ ดังนี้

จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟ เป็นการทดสอบเพื่อชี้ถึงอันตรายที่จะเกิดจากการจุดติดไฟของน้ำมัน ในการเก็บขนส่ง สูบถ่ายและการนำไปใช้ ซึ่งหลักการในการทดสอบจุดวาบไฟจะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM Standard D 93

ปริมาณกำมะถัน (Sulphur Content)

ปริมาณกำมะถัน เป็นการทดสอบเพื่อดูปริมาณกำมะถันที่เจือปนในน้ำมันเตา เมื่อน้ำมันเตาถูกเผาไหม้ กำมะถันที่อยู่ในน้ำมันเตาจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ได้เป็นกำมะถันออกไซด์ (SOx) ไม่มีอันตรายใดๆ กับหม้อน้ำหรือเตาเผา แต่เมื่อถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจะเพิ่มมลพิษทางอากาศ (Air Pollution) ทำให้เกิดอันตรายกับระบบทางเดินหายใจ หรือเมื่อรวมตัวกับน้ำฝนในบรรยากาศ

จะทำให้เกิดเป็นฝนกรดได้ โดยเมื่อกำมะถันออกไซด์รวมตัวกับน้ำหรือความชื้น ได้เป็นไอของกรดกำมะถัน (H_2SO_4) สะสมบนผิวโลหะจะทำให้เกิดการผุกร่อนขึ้นได้ ซึ่งหลักการในการทดสอบค่าปริมาณกำมะถันจะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM Standard D 4294

จุดไหลเท (Pour Point)

จุดไหลเท เป็นการทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมของน้ำมันเตาเพื่อใช้ในการจัดเก็บและการไหลของน้ำมัน โดยจุดไหลเท เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันสามารถไหลได้ เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดไหลเทจะทำให้ น้ำมัน ไหลได้ยาก ดังนั้นในการใช้น้ำมันในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ ต้องใช้น้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติ อย่างไรก็ตามมาตรฐานของรัฐโดยกระทรวงพาณิชย์ก็ควบคุมไว้ไม่ให้สูงมาก และให้เหมาะสมกับการใช้งานทั่วประเทศ ซึ่งหลักการในการทดสอบจุดไหลเทจะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM Standard D 97 หรือ ASTM D 5950

ค่าความหนืด (Viscosity)

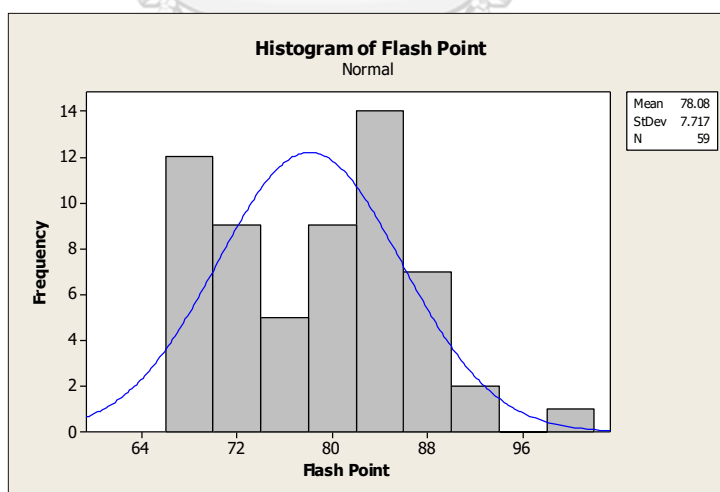
การทดสอบความหนืดของน้ำมันเตา เป็นการทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมการไหล การสูบจ่าย และการพ่นฝอย ในระบบการใช้น้ำมันเตาที่ใช้วิธีปล่อยให้น้ำมันไหลจากถังเก็บน้ำมันเองตามสภาพแรงโน้มถ่วง ดังนั้นการสูบจ่ายจะมีประสิทธิภาพดี น้ำมันจะต้องมีความหนืดต่ำ ซึ่งจะทำให้แตกตัวเป็นละอองได้ง่าย ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งหลักการในการทดสอบค่าความหนืดจะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM Standard D445 คือนำน้ำมันเตาที่ได้ มาเทใส่ถังเก็บน้ำมันในสภาพไหลตามแรงโน้มถ่วงผ่านเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ภายใต้อุณหภูมิควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นเครื่องวัดจะรายงานออกมาเป็นผล โดยใช้หลักการจับเวลา เพื่อวัดระยะทางที่น้ำมันเตาไหลในหน่วยตารางมิลลิเมตรต่อวินาที (เซนติสต็อก) ดังนั้นความหนืดของน้ำมันเตาจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดว่าควรจะอุ่นน้ำมันเตาจนมีอุณหภูมิเท่าไรจึงจะสูบน้ำมันได้สะดวก

โดยค่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้ำมันเตาที่กำหนดไว้ จะมีแนวโน้มความต้องการค่าคุณสมบัติอยู่ในระดับต่างๆ ซึ่งถือเป็นเป้าหมายสำคัญที่ทางบริษัทกรณิศศึกษาต้องการให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเตาออกมามีค่าตรงตามความต้องการของลูกค้าดังแสดงในตารางที่ 4 พร้อมเหตุผลประกอบถึงความต้องการค่าคุณสมบัติในช่วงนั้นๆ

ตารางที่ 4 ช่วงความต้องการของค่าคุณสมบัติต่างๆในผลิตภัณฑ์น้ำมันเตาชนิดที่ 5

คุณสมบัติ	หน่วย	ความต้องการ	ค่าเป้าหมาย	เหตุผล
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	สูง	≥ 60	เพื่อป้องกันการจุดติดไฟของน้ำมันเตา ระหว่างการจัดเก็บ ขนส่ง สูบลำและ การนำไปใช้
ปริมาณกำมะถัน	เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก	ต่ำ	≤ 4	เพื่อป้องกันการเกิดกำมะถันออกไซด์ ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศและฝนกรด
จุดไหลเท	องศาเซลเซียส	ต่ำ	≤ 30	เพื่อป้องกันการแข็งตัวของน้ำมันเตา จุดไหลเทที่ต่ำจะช่วยให้ น้ำมันเตายังสามารถไหลได้แม้อุณหภูมิต่ำ
ค่าความหนืด	เซนติสโตก	ต่ำ	≤ 380	เพื่อให้ น้ำมันเตาสูบจ่ายได้ดี แยกตัวเป็น ละอองได้ง่าย ป้องกันการเผาไหม้ไม่ สมบูรณ์

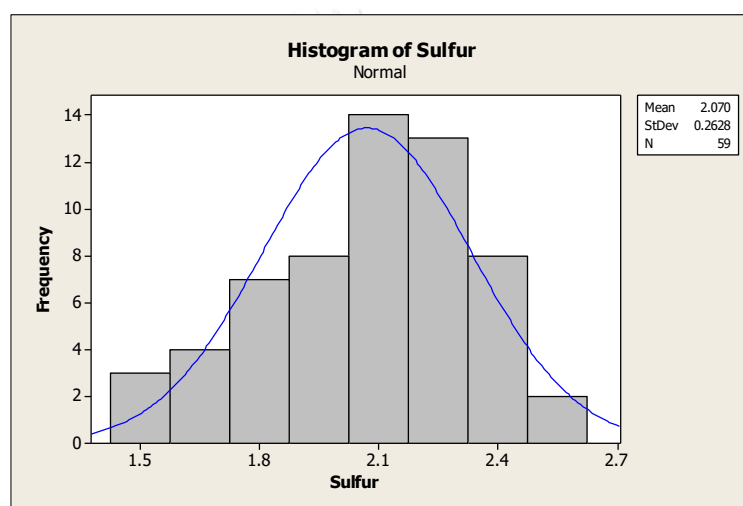
ต่อมา นำข้อมูลคุณสมบัติจริงของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 จำนวน 59 ชุด ในปี 2560 มาวิเคราะห์ ด้วยแผนภูมิฮิสโตแกรม เพื่อหาความเบี่ยงเบนจากลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล พบว่าค่าเฉลี่ย ของคุณสมบัติสำคัญทั้ง 4 ชนิด มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าเป้าหมายดังภาพที่ 9-12



ภาพที่ 9 แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงจุดวาบไฟของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560
จุดวาบไฟ (Flash point) หรือค่าอุณหภูมิที่ต่ำสุดของน้ำมันที่ทำให้เกิดไอน้ำมันในปริมาณ มากโดยเมื่อความหนาแน่นของน้ำมันเมื่อรวมตัวกับอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสม น้ำมันจะเกิด

เปลวไฟที่ลุกไหม้ทันที ดังนั้นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีจุดวาบไฟสูง จะทำให้เกิดเปลวไฟได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความปลอดภัยในการจัดเก็บหรือขนส่งสินค้ามากยิ่งขึ้น

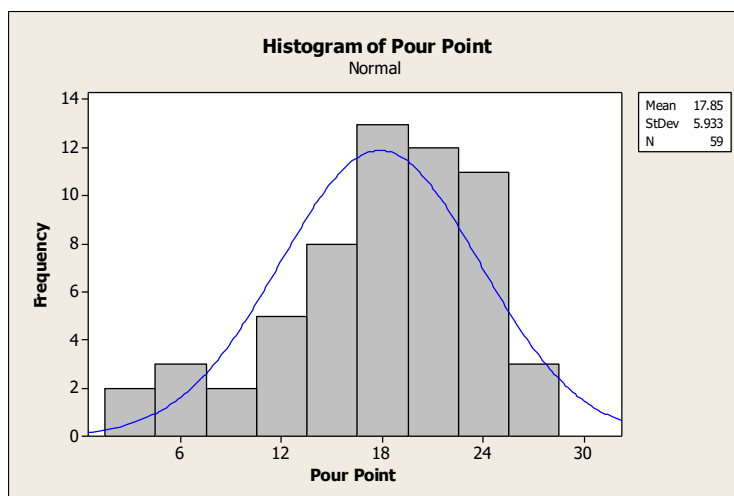
จากภาพที่ 9 พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลจุดวาบไฟของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 78.08 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าจุดวาบไฟตามค่าเป้าหมายหรือค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม ที่กำหนดค่าต่ำสุดคือ 60 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยจุดวาบไฟของน้ำมันเตามีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าค่าเป้าหมายอยู่ร้อยละ 30.13 ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์ของบริษัทมีค่าจุดวาบไฟที่ดีกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีแต่เกินความต้องการของลูกค้า



ภาพที่ 10 แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงปริมาณกำมะถันของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560

ปริมาณกำมะถัน (Sulfur content) ที่อยู่ในน้ำมันเตาควรจะถูกผลิตให้อยู่ในปริมาณที่น้อยที่สุด เนื่องจากกำมะถันจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ได้เป็นกำมะถันออกไซด์ (SOx) ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศที่ทำให้เกิดอันตรายกับระบบทางเดินหายใจ หรือเมื่อรวมตัวกับน้ำฝน จะเกิดเป็นฝนกรดได้

จากภาพที่ 10 พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลจุดวาบไฟของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 2.070 ของน้ำหนักน้ำมัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ากำมะถันตามค่าเป้าหมายที่กำหนดค่ามากที่สุดคือร้อยละ 4 ของน้ำหนักน้ำมัน พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณกำมะถัน มีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าเป้าหมายอยู่ร้อยละ 48.25 ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ มีปริมาณกำมะถันน้อยกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีแต่เกินความต้องการของลูกค้า

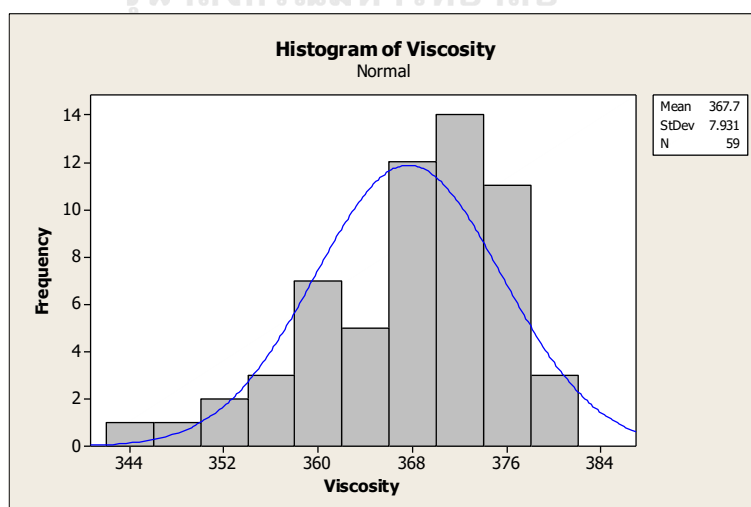


ภาพที่ 11 แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงจุดไหลเทของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560

จุดไหลเท (Pour Point) คืออุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันสามารถไหลได้ เป็นการทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมของน้ำมันเตาเพื่อใช้ในการจัดเก็บและการไหลของน้ำมัน ดังนั้นในการใช้น้ำมันในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ๆ ต้องใช้น้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติ

จากภาพที่ 11 พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลจุดไหลเทของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.85 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าจุดไหลเทตามค่าเป้าหมายที่กำหนดค่ามากที่สุดคือ 30 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเฉลี่ยจุดไหลเท มีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าเป้าหมายอยู่ร้อยละ 40.50 ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ มีจุดไหลเทน้อยกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีแต่เกินความต้องการของลูกค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 12 แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงความหนืดของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560

ความหนืด (Viscosity) ของน้ำมัน ใช้ทดสอบเพื่อคุณภาพการไหล การสูบจ่ายและการพ่นฝอย ในระบบการใช้น้ำมันเตาที่ใช้วิธีปล่อยให้น้ำมันไหลจากถังเก็บน้ำมันเองตามสภาพแรงโน้มถ่วง ดังนั้นการสูบจ่ายจะมีประสิทธิภาพดี น้ำมันจะต้องมีความหนืดต่ำ ซึ่งจะทำให้แตกตัวเป็นละอองได้ง่าย

จากภาพที่ 12 พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลความหนืดของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในปี 2560 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 367.7 เซนติสโตก เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหนืดตามค่าเป้าหมายที่กำหนดค่ามากที่สุดคือ 380 เซนติสโตก พบว่าค่าเฉลี่ยจุดไหลเท มีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าค่าเป้าหมายอยู่ร้อยละ 3.24 ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ มีความหนืดน้อยกว่าค่ามาตรฐานอยู่เล็กน้อย ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีแต่ยังเกินความต้องการของลูกค้า

โดยความคลาดเคลื่อนของคุณสมบัติดังกล่าว เกิดจากปัจจุบัน ประสบปัญหาในการผสมสูตรสำหรับการผลิตน้ำมันเตาชนิดต่างๆ เพื่อจำหน่ายให้กับลูกค้าได้ถูกผสมขึ้นจากประสบการณ์ของพนักงานผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ไม่มีมาตรฐานสำหรับการเลือกสัดส่วนการผลิตน้ำมันเตาของบริษัท รวมถึงยังมีการลองผิดลองถูกเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติบางประการของน้ำมันเตาเพื่อให้ได้น้ำมันเตาที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ อีกทั้งที่ผ่านมามีบริษัทกรณีศึกษาอย่างไม่เคยมีการบันทึกสูตรการผลิตในแต่ละครั้ง เนื่องจากวัตถุดิบต่างๆ มีคุณสมบัติไม่คงที่ กล่าวคือหากมีคำสั่งการผลิตครั้งต่อไปเข้ามา ทางโรงงานจะทำการผสมสารตามประสบการณ์ดังกล่าวที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าและสูญเสียค่าใช้จ่ายในการผลิต รวมทั้งพนักงานแต่ละคนยังมีการเลือกใช้วัตถุดิบต่างๆ ที่สัดส่วนที่ต่างกันออกไป แต่ให้ค่าคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันจึงส่งผลให้ต้นทุนในเรื่องวัตถุดิบที่ใช้มีความแตกต่างกัน อีกประเด็นสำคัญคือการผสมสูตรน้ำมันเตานั้นมีความซับซ้อนอย่างมากในเรื่องความสัมพันธ์ของชนิดและสัดส่วนของวัตถุดิบต่างๆ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ได้ส่งผลกับค่าคุณสมบัติของน้ำมันเตา (ค่าความหนืด ปริมาณกำมะถัน จุดวาบไฟและจุดไหลเท)

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการหาสัดส่วนการผสมที่เหมาะสมของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ที่ได้มีปริมาณการขายสูงสุดจากชนิดน้ำมันเตาทั้งหมด เพื่อต้องการให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมและเพิ่มศักยภาพการผลิตให้อยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อหาสัดส่วนการผสมของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ให้มีค่าคุณสมบัติอยู่ในช่วงความต้องการของลูกค้าและลดต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผสม

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อหาสูตรการผลิตที่เหมาะสมน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ที่ทำให้คุณสมบัติน้ำมันเตาอยู่ภายใต้ค่าเป้าหมายและทำให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด
2. วัตถุประสงค์ที่ใช้ผสมเป็นน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ได้แก่ กากของหน่วยแยกความหนืด น้ำมันดีเซล น้ำมันเครื่องบิน และกากบรรยากาศหน่วยแยกกากคอนเดนเสท
3. งานวิจัยนี้จะครอบคลุมคุณสมบัติทั้งหมด 4 ชนิดของน้ำมันเตาที่ต้องการอยู่ในค่าเป้าหมาย คือจุดวาบไฟ จุดไหลเท ปริมาณกำมะถัน และความหนืด
4. ข้อมูลในการวิเคราะห์ทั้งหมดเป็นข้อมูลสูตรการผลิตจริงของบริษัทฯ ในไตรมาสที่ 1-3 ของปี 2560-2562 ทั้งหมดจำนวน 240 ชุด
5. สัดส่วนการผสมที่พัฒนาขึ้นจะเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการผสมผลิตภัณฑ์น้ำมันเตา โดยมีข้อมูลสอดคล้องกับระบบผสมของบริษัทฯ เท่านั้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาสภาพปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อให้เข้าใจกระบวนการในการผลิตน้ำมันเตา สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น โดยทำการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญและจากการบันทึกข้อมูลของทางบริษัท กรณีศึกษา พร้อมทั้งศึกษาลำดับขั้นตอนในการทำงานด้านเทคนิคที่ใช้ในการพิจารณาเลือกสัดส่วนของวัตถุดิบมาใช้ในการผสมน้ำมันเตา
2. กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา ซึ่งทำโดยการปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญภายในบริษัทเพื่อสอบถามถึงปัญหาสำคัญที่ทางบริษัทสนใจที่จะศึกษา
3. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองที่สอดคล้องกับสภาพปัญหาที่จะศึกษาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหา
4. รวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัย เช่น ปริมาณการใช้ของวัตถุดิบต่างๆ สัดส่วนการเลือกใช้ของวัตถุดิบ คุณสมบัติของวัตถุดิบในช่วงเวลาต่างๆ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเลือกใช้วัตถุดิบในการผสมน้ำมันเตาชนิดที่ 5 เป็นต้น
5. สร้างสมการความสัมพันธ์การถดถอยจากข้อมูลการผสมในอดีตผ่าน โปรแกรม Minitab19 โดยมีตัวแปรตอบสนองที่สนใจศึกษาจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ จุดวาบไฟ จุดไหลเท ปริมาณ

กำมะถัน และความหนืด โดยต้องการให้ได้สัดส่วนการผสมที่ต้องการและต้นทุนต่ำที่สุด โดยมีปัจจัยนำเข้า 20 ปัจจัย ประกอบไปด้วย สัดส่วนที่ใช้ผสม จุดวาบไฟ- ปริมาณกำมะถัน จุดไหลเท ความหนืด ของกากของหน่วยแยกความหนืด น้ำมันดีเซล น้ำมันเครื่องบิน กากบรรยากาศหน่วยแยกกากคอนเดนเสท จากนั้นเมื่อได้สมการถดถอยมาหาค่าที่เหมาะสมของอัตราส่วนผสมน้ำมันเตา ด้วยวิธีการแก้ปัญหาเชิงเส้น (Linear programming) ด้วยฟังก์ชัน Solver โดยโปรแกรม Microsoft Excel Solver เพื่อให้ได้สัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่ทำให้น้ำมันเตามีคุณสมบัติที่ต้องการและต้นทุนต่ำที่สุด

6. ทดสอบสมการความสัมพันธ์ โดยผู้วิจัยจะนำข้อมูลส่วนผสมในอดีตมาใช้ โดยใช้สัดส่วนของวัตถุดิบต่างๆตามข้อมูลจริง เพื่อทดสอบสมการความสัมพันธ์ว่าสามารถวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติได้ตรงตามข้อมูลจริง วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้กับค่าเป้าหมายของคุณสมบัติต่างๆ รวมถึงวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของความแม่นยำของสมการความสัมพันธ์

1) การเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติทั้ง 4 ชนิด ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง เพื่อทำการยืนยันว่าค่าคุณสมบัติที่ได้อยู่ในช่วงการยอมรับของบริษัทการศึกษา

$$\frac{(\text{ค่าความคลาดเคลื่อนคุณสมบัติจากเป้าหมาย ก่อนการทดลอง} - \text{ค่าความคลาดเคลื่อนคุณสมบัติจากเป้าหมาย หลังการทดลอง}) * 100\%}{\text{ค่าความคลาดเคลื่อนคุณสมบัติจากเป้าหมาย ก่อนการทดลอง}}$$

2) การเปรียบเทียบในเรื่องของต้นทุนวัตถุดิบก่อนการทดลองและหลังการทดลองเพื่อดูว่าลดลงไปที่เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{(\text{ต้นทุนก่อนการทดลอง} - \text{ต้นทุนหลังการทดลอง}) * 100\%}{\text{ต้นทุนก่อนการทดลอง}}$$

7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง พร้อมเสนอข้อเสนอนะ

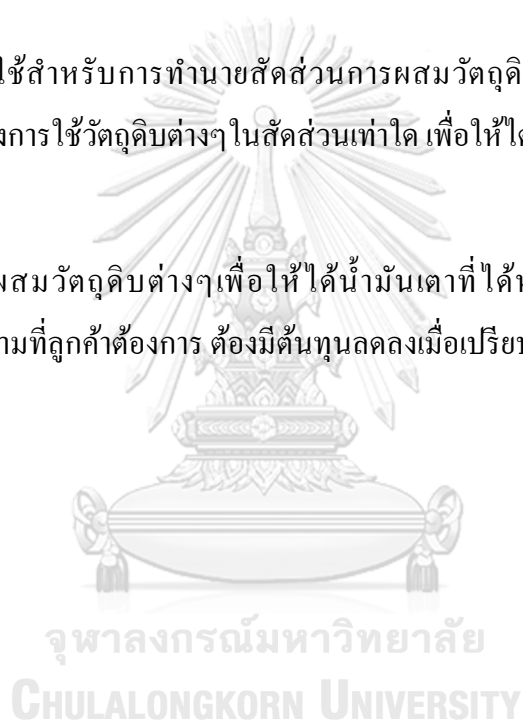
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผสมสูตรน้ำมันเตาได้
2. สามารถลดระยะเวลาในการหาสัดส่วนการผสมและใช้เป็นมาตรฐานให้กับพนักงานภายในบริษัทเพื่อให้ง่ายต่อการนำมาใช้งาน
3. สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาอัตราส่วนการผสมวัตถุดิบเพื่อใช้ผลิตน้ำมันเตาชนิดอื่นๆ

1.8 ผลที่ได้รับ

1. สมการที่ใช้สำหรับการทำนายสัดส่วนการผสมวัตถุดิบของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 โดยสามารถระบุได้ว่าต้องการใช้วัตถุดิบต่างๆ ในสัดส่วนเท่าใด เพื่อให้ได้ผลออกมาอยู่ภายใต้คุณสมบัติที่บริษัทต้องการ
2. สูตรการผสมวัตถุดิบต่างๆ เพื่อให้ได้น้ำมันเตาที่ได้หลังการปรับปรุง ที่ทำให้ค่าคุณสมบัติต่างๆ ตรงตามที่ถูกค่าต้องการ ต้องมีต้นทุนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรการผสมวัตถุดิบก่อนการปรับปรุง



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำมันเตา ซึ่งประกอบไปด้วย กระบวนการผลิตน้ำมันเตา ประเภทน้ำมันเตา คุณสมบัติผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ชนิดของน้ำมันเตา วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผสม น้ำมันเตา คุณสมบัติของน้ำมันเตาและการนำไปใช้ประโยชน์ โดยในส่วนของบททดลองนั้นผู้วิจัยได้อาศัยการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีการประยุกต์ใช้สถิติเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งลักษณะการเก็บข้อมูล จะเป็นการเก็บจากข้อมูลที่มีในอดีตและนำมาทำการวิเคราะห์หาสมการถดถอย เพื่อหาสัดส่วนสำหรับการผสมสูตรผลิตภัณฑ์น้ำมันเตาสำหรับบริษัทธนศึกษา ในส่วนสุดท้ายจะเป็นการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหาให้บริษัทธนศึกษา รวมถึงการศึกษาเพื่อหาข้อจำกัดในด้านต่างๆ สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อนำมาปรับใช้งานให้เกิดความสอดคล้องและเกิดประสิทธิภาพสูงสุดกับงานวิจัยฉบับนี้

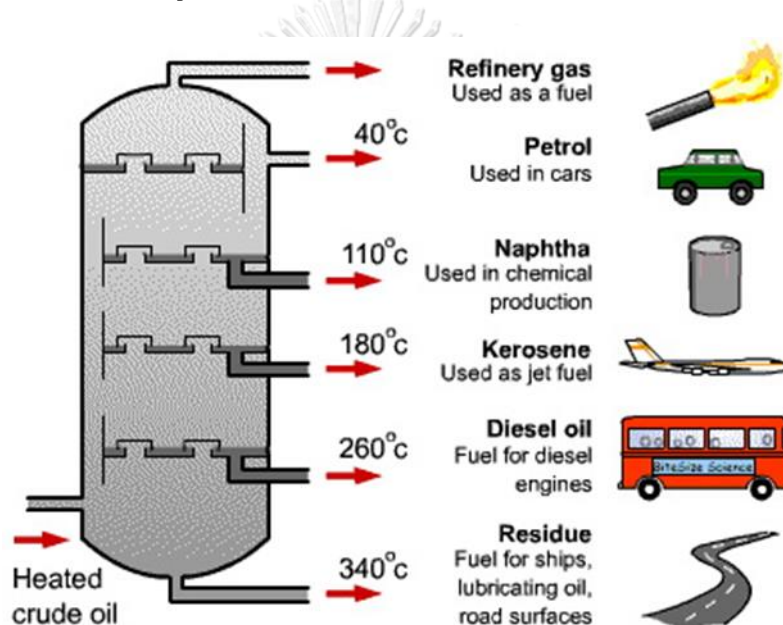
2.1 น้ำมันเตา

2.1.1 กระบวนการผลิตน้ำมันเตา

2.1.1.1 หอกลั่นน้ำมันดิบ (Crude Distillation Unit: CDU)

น้ำมันเตา (Fuel Oil, Heavy Fuel Oil and Residue Fuel) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากก้นหอกลั่นน้ำมันดิบโดยกระบวนการผลิตน้ำมันเตาเกิดจากการนำน้ำมันดิบ (Crude oil) จากถังสูบลูกผ่านเข้าไปในเตาเผา (Furnace) ที่มีอุณหภูมิสูงมากพอที่จะทำให้ทุกๆ ส่วนของน้ำมันดิบแปรสภาพจากของเหลวเป็นไอ แล้วไอน้ำมันดังกล่าวจะถูกส่งผ่านเข้าไปในหอกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก มีความสูงประมาณ 30 เมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5-8 เมตร ภายในหอกลั่นดังกล่าวมีการแบ่งเป็นห้องต่างๆ หลายห้องตามแนวราบ โดยมีแผ่นกั้นห้องที่มีลักษณะคล้ายถาดกลม โดยแผ่นกั้นห้องทุกแผ่นจะมีการเจาะรูเอาไว้ เพื่อให้ไอน้ำมันที่ร้อนสามารถผ่านทะลุขึ้นสู่ด้านบนของหอกลั่นได้ และมีท่อต่อเพื่อนำน้ำมันที่กลั่นตัวแล้วออกไปจากหอกลั่น เมื่อไอน้ำมันดิบที่ร้อนถูกส่งให้เข้าไปสู่หอกลั่น ทางท่อ ไอจะเคลื่อนตัวขึ้นไปสู่ด้านบนสุดของหอกลั่น และขณะที่เคลื่อนตัวขึ้นไปนั้น ไอน้ำมันจะเย็นตัวลงและควบแน่นไปเรื่อยๆ

แต่ละส่วนของไอน้ำมันจะกลั่นตัวเป็นของเหลวที่ระดับต่างๆ ในหอกกลั่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการควบแน่นที่แตกต่างกันออกไป น้ำมันส่วนที่เบากว่า (Lighter fractions) เช่น น้ำมันเบนซิน (Petrol) และพาราฟิน (Paraffin) ซึ่ง มีค่าอุณหภูมิของการควบแน่นต่ำ จะกลายเป็นของเหลวที่ห้องชั้นบนสุดของหอกกลั่น และค้างตัวอยู่บนแผ่นกั้นห้องชั้นบนสุด น้ำมันส่วนกลาง (Medium fractions) เช่น ดีเซล (Diesel) น้ำมันแก๊ส (Gas oils) และน้ำมันเตา (Fuel oils) บางส่วนจะควบแน่นและกลั่นตัวที่ระดับต่างๆ ตอนกลางของหอกกลั่น ส่วนน้ำมันหนัก (Heavy fractions) เช่น น้ำมันเตา และสารตกค้างพวกแอสฟัลต์ จะกลั่นตัวที่ส่วนล่างสุดของหอกกลั่น ซึ่งมีอุณหภูมิสูง และจะถูกระบายออกไปจากส่วนฐานของหอกกลั่น ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 กระบวนการกลั่นลำดับส่วน [1]

ด้วยเหตุนี้ น้ำมันเตาจึงมีอีกชื่อหนึ่งว่า กากกลั่น (Residue Fuel oil) หรือ น้ำมันเตาหนัก (Heavy Fuel Oil) เนื่องจากเป็นส่วนที่หนักและชั้นเหนียวมาก ทำให้น้ำมันเตามักมีจุดเดือดตั้งแต่ 340 องศาเซลเซียสถึง 482 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามก็อาจมีน้ำมันเตาบางชนิดที่มีจุดเดือดในช่วง 211 องศาเซลเซียสถึง 340 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำมันเตาในประเทศไทยมีหลายชนิด ตั้งแต่ไฮถึงชั้น โดยน้ำมันชนิดไฮ มักเกิดจากน้ำมันเตาชนิดหนักที่ถูกนำมาผสมกับน้ำมันเบาเพื่อให้ได้ความหนืดที่เหมาะสม

2.1.2 ประเภทของน้ำมันเตา

ถึงแม้ว่าน้ำมันเตาจะเป็นกากน้ำมันที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งมีคุณลักษณะเป็นสีดำ มีสิ่งเจือปนตกค้างอยู่ และมีราคาถูก แต่น้ำมันเตาก็ยังคงมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมต่างๆ โดยกระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ (มอก.) ของน้ำมันเตาไว้ 5 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันที่ความหนืดเป็นหลัก ลักษณะการใช้น้ำมันเตาจัดได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.1.2.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงหม้อน้ำเพื่อผลิตไอน้ำ

2.1.2.1.1 หม้อน้ำขนาดใหญ่ มักใช้ผลิตไอน้ำความดันสูง อุณหภูมิสูง ขับเครื่องกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าโรงงานน้ำตาล และในระบบ Co-Generation เป็นต้น

2.1.2.1.2 หม้อน้ำขนาดเล็ก มักผลิตไอน้ำความดันต่ำ (Process Steam) ใช้ถ่ายเทความร้อนในกระบวนการผลิตต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การอบผ้า การย้อมผ้า และการอบกระดาษ เป็นต้น

2.1.2.2 ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในงานอุตสาหกรรมต่างๆ

การถลุงแร่ (Ore Smelting) เผาเตาหรือเป่าหลอมโลหะ (Firing of Open hearth, Rotary or Crucible Pot Furnaces) เผาโลหะเพื่อการรีดเป็นเส้น (Hot Rolling Operation) เพื่อการตีขึ้นรูป (Metal Forging) เผาโลหะเพื่อการชุบแข็ง (Metal Heat Treatment) เผาในเตาเซรามิกและเตาเผาอิฐ การหลอมแก้ว เผาปูนซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น

2.1.2.3 ใช้เป็นเชื้อเพลิงเดินเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่หมุนช้ามาก (Slow Speed Diesel Engines)

ในเรือเดินสมุทร และเครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลาง (Medium Speed Diesel Engines) ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่กับที่ในโรงงานอุตสาหกรรม และในเรือเดินสมุทร เชื้อเพลิงพวกนี้เรียกว่า Bunker Fuels มีหลายชนิด โดยแยกตามความหนืด

การเลือกใช้งานชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะงานและอุปกรณ์ที่ใช้ กล่าวคือ ก่อนน้ำมันเตาจะเผาไหม้จะต้องมีการพ่นเป็นฝอยละเอียดเพื่อผสมอากาศที่หัวฉีด หัวฉีดมีหลายแบบซึ่งแต่ละแบบต้องการความหนืดที่แตกต่างกัน ซึ่งความหนืดจะลดลงหรือสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือ ถ้าน้ำมันเตามีอุณหภูมิที่เหมาะสม การสูบส่ง การฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยละเอียดก็จะง่ายขึ้น ซึ่งจะช่วย

ให้การเผาไหม้ได้ดีขึ้น ไม่เกิดควันและเขม่าในบริเวณเตา หรือปล่อง ไม่เกิดโค้กหรือคาร์บอนเกาะตามผนังเตา แต่ถ้าไม่มีอุปกรณ์ในการอุ่นน้ำมันก็ต้องใช้น้ำมันเตาใส

2.1.3 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ได้จากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียมมีอยู่มากมายหลายชนิด และมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจึงจำเป็นต้องมีสมบัติที่เหมาะสมเฉพาะสำหรับการใช้งานนั้นๆ สมบัติที่ต้องการดังกล่าว จะถูกกำหนดขึ้นเป็นค่าที่ทดสอบได้ตามมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งอาจจะใช้การทดสอบวิธีเดียว หรือหลายๆวิธีรวมก็ได้ เมื่อรวบรวมค่ากำหนดเหล่านี้เข้าด้วยกัน ก็จะได้ข้อกำหนดคุณภาพ (Specification) ของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งจะใช้เป็นมาตรฐานในการซื้อขายและผลิต หากทดสอบผลิตภัณฑ์แล้วได้ผลการทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพดังกล่าว ก็เป็นที่มั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นจะทำงานได้ดีตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

การทดสอบผลิตภัณฑ์ทั้งสำเร็จรูปและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นแยกก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน เนื่องจากผลการทดสอบ นอกจากจะใช้เป็นข้อมูลบ่งชี้เกี่ยวกับความสำเร็จของกระบวนการผลิตแล้ว ยังใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหรือออกแบบกระบวนการ รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการให้มีความสมบูรณ์ที่สุด ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตรงกับข้อกำหนดมากที่สุด นอกจากนี้ยังใช้ข้อมูลเหล่านั้นประมาณค่าคุณภาพน้ำมันที่ได้หลังการผสมอีกด้วย

การกำหนดค่าคุณภาพน้ำมันและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมีวิธีทดสอบอยู่สองชนิด [2] ชนิดแรกเป็นการทดสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น การหาปริมาณกำมะถัน การหาจุดวาบไฟ และจุดติดไฟ เป็นต้น อีกชนิดหนึ่งเป็นการทดสอบสมบัติในการทำงาน เช่น การหาค่าออกเทนของน้ำมันเบนซินรถยนต์ และการหาค่าความทนทานของน้ำมันเครื่องขณะใช้งานในเครื่องยนต์ เป็นต้น

สมบัติของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมมีทั้งที่ทดสอบตามวิธีทางวิทยาศาสตร์ เช่น ค่าปริมาณธาตุองค์ประกอบ ค่าความร้อนและค่าความหนืด เป็นต้น และสมบัติที่เป็นค่าที่กำหนดใช้กันในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เช่น ค่าจุดวาบไฟ ค่าจุดน้ำมันเป็นฝ้า และค่าการกลั่น เป็นต้น ซึ่งค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับวิธีทดสอบที่ต้องกำหนดขึ้นมาเอง โดยวิธีทดสอบที่กำหนดขึ้นต้องมีรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องมือและวิธีการให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้ค่าที่ได้มีความสำคัญเพียงพอไม่ว่าจะทดสอบที่ไหนและเมื่อไรก็ตาม การตั้งมาตรฐานที่ดีจะช่วยให้ค่าที่ได้จากการทดสอบมีความเชื่อถือและ

สามารถใช้กับการทดสอบตามปกติในห้องทดลองได้ และในการรายงานผลการทดสอบต้องระบุวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบด้วยทุกครั้ง

วิธีการทดสอบที่ใช้ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมยึดหลักมาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดย American Society for Testing and Materials (ASTM) หรือ Institute of Petroleum (IP) ทั้งนี้วิธีมาตรฐาน ASTM และ IP ส่วนมากจะคล้ายกัน แม้จะมีรายละเอียดต่างกันไปบ้าง วิธีมาตรฐานเหล่านี้ได้รับการปรับปรุงอยู่เสมอและจัดพิมพ์เล่มใหม่ทุกปี ซึ่งในการปรับปรุงอาจมีการเพิ่มวิธีใหม่และยกเลิกวิธีเก่าบางวิธี แต่ละวิธีทดสอบจะกำหนดเครื่องมือที่ใช้อย่างละเอียด กำหนดวิธีการทำการทดสอบอย่างละเอียดทุกขั้นตอน รวมทั้งวิธีการอ่านผลที่วัดได้ และวิธีรายงานผลการทดสอบ ดังนั้นทุกการทดสอบจึงต้องเริ่มต้นด้วยการใช้เครื่องมือที่ถูกต้องตามมาตรฐาน และทำการทดสอบตามข้อกำหนดอย่างเคร่งครัด มิฉะนั้นผลที่ได้จะเกิดความคลาดเคลื่อนและใช้ประโยชน์ไม่ได้เลย อย่างไรก็ตามแม้จะทำการทดสอบตามวิธีมาตรฐานเคร่งครัด โอกาสที่จะได้ผลการทดสอบต่างกันใน การทดสอบตัวอย่างน้ำมันเดียวกันก็มีอยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดสอบสมบัติที่เป็นค่าที่กำหนดใช้กันในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม และไม่ใช่ค่าที่ได้จากการทดสอบตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์โดยตรง สถิติจากการหาความเที่ยง และความแม่นยำของการทดสอบเหล่านี้ ทำให้สามารถกำหนดความแตกต่างระหว่างผลการทดสอบที่ยอมรับได้ขึ้นเป็นมาตรฐานสำหรับแต่ละวิธี กล่าวคือ ค่าความแตกต่างที่จะเกิดขึ้นเมื่อทำการทดลองซ้ำสองครั้ง โดยใช้ตัวอย่างเดียวกัน และเครื่องมือเดียวกัน โดยบุคคลเดียวกัน ค่ากำหนดนั้น เรียกว่าความสามารถในการทวนซ้ำ (Repeatability) แต่ถ้าการทดลองซ้ำสองครั้งนั้นทำโดยใช้ตัวอย่างเดียวกัน แต่เครื่องมือคนละเครื่อง และบุคคลคนละคน ค่าแตกต่างที่ได้ในกรณีนี้ เรียกว่าค่าความสามารถในการทวนซ้ำ (Reproducibility) ในวิธีทดสอบมาตรฐานทุกวิธีจะมีการระบุค่าความสามารถในการทวนซ้ำและค่าความสามารถในการทำซ้ำมาตรฐานเอาไว้ เป็นเครื่องมือบอกถึงความสามารถหรือความละเอียดของวิธีทดสอบนั้น

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะหมายถึงอัตราส่วนของน้ำหนักของสารต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของสารนั้น ดังนั้นสารที่เบากว่าน้ำทุกชนิดจึงมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าหนึ่งและสามารถลอยน้ำได้ คุณภาพและสัดส่วนของน้ำมันที่แยกได้ขึ้นกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันด้วย [2] และคุณภาพรวมทั้งความเหมาะสมในการใช้งานของน้ำมันจะเปลี่ยนไปอย่างมาก เมื่อค่า

ความถ่วงจำเพาะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ด้วยเหตุนี้จึงอาจกล่าวได้ว่าความถ่วงจำเพาะเป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งที่ใช้กำหนดคุณภาพน้ำมัน

ค่าความถ่วงจำเพาะใช้แสดงค่าความหนักเบาของน้ำมันเป็นตัวเลขจุดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ซึ่งสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา (American Petroleum Institute, API) ได้กำหนดค่าความหนักเบาของน้ำมันขึ้นใหม่เรียกว่า API โดยแสดงเป็นตัวเลขจำนวนเต็มและมีจุดทศนิยมเพียง 1 ตำแหน่ง ขึ้นมาใช้แทน โดยกำหนดความสัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะดังนี้ ดังสมการ 2.1 [2]

$$API \text{ Gravity } @ 60^{\circ}F = \frac{141.5}{Specific \text{ Gravity } @ 60/60^{\circ}F} - 131.5 \quad (2.1)$$

เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของของไหล เป็นค่าที่แปรผันตามอุณหภูมิและความดัน ดังนั้นในการวัดค่าความถ่วงจำเพาะและความถ่วงเอพิโอของปิโตรเลียม จึงต้องกำหนดความดันและอุณหภูมิขณะทำการวัด คือที่ 60 องศาเซลเซียสและความดัน 1 บรรยากาศ โดยทั่วไปในการวัดความถ่วงเอพิโอของปิโตรเลียมจะมีมาตรฐาน ASTM D287 และ D1298 [3] ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ทำให้รวดเร็วและใช้เครื่องมือที่มีราคาไม่แพง ค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความถ่วงเอพิโอของน้ำมันดิบ มีความสัมพันธ์กันดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งพบว่าค่าความถ่วงเอพิโอจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความถ่วงจำเพาะลดลง นั่นคือปิโตรเลียมที่ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย (มีจำนวนคาร์บอนน้อย) เป็นองค์ประกอบอยู่ในสัดส่วนที่มากกว่าจะมีค่าความถ่วงเอพิโอสูงกว่านั่นเอง และน้ำมันดิบที่มีการค้นพบตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันพบว่ามีค่าความถ่วงเอพิโออยู่ระหว่าง 10-50

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและความถ่วงเอพิโอ [2]

ความถ่วงจำเพาะ	ความถ่วงเอพิโอ
1.0000	10
0.9659	15
0.9340	20
0.9042	25
0.8762	30
0.8499	35

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและความถ่วงเอพิไอ [2] (ต่อ)

ความถ่วงจำเพาะ	ความถ่วงเอพิไอ
0.8251	40
0.8017	45
0.7796	50
0.7587	55
0.7389	60
0.7201	65
0.7022	70

ความหนืด

ความหนืดของน้ำมันบอกถึงความสามารถในการต้านการไหลของน้ำมัน และบอกถึงสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิว ซึ่งเป็นสะท้อนถึงสมบัติอื่นของผลิตภัณฑ์ เช่น การซึมผ่านของน้ำมันก๊าดในไส้ตะเกียง การพ่นเป็นละอองที่หัวฉีดของน้ำมันเตา การซึมผ่านกระดาษของจีฟี่งพาราฟิน การหมุนเวียนของน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์ และการไหลในท่อเมื่อน้ำมันถูกบีบ เป็นต้น ดังนั้นข้อกำหนดคุณภาพของน้ำมันเครื่องบิน ไอพ่น น้ำมันดีเซลรอบสูงและรอบต่ำ น้ำมันเตา และน้ำมันหล่อลื่น จึงต้องมีข้อกำหนดความหนืดที่เหมาะสมบันทึกไว้ โดยน้ำมันเตา ค่าความหนืดจะเป็นการแบ่งเกรดของน้ำมันด้วย

การทดสอบความหนืดของน้ำมันต่างชนิดกันจะใช้วิธีมาตรฐานแตกต่างกัน วิธีมาตรฐานที่นิยมใช้ได้แก่วิธีมาตรฐาน ASTM D88, ASTM D445, ASTM D2170, ASTM D7042, ASTM D7483 และ ASTM E102 [4] ซึ่งแต่ละวิธีใช้ชนิดและปริมาณตัวอย่าง การจัดการทดลอง เวลาในการทดสอบ สภาพ และเครื่องมือที่เหมาะสมกับช่วงของความหนืดที่ต้องการวิเคราะห์แตกต่างกัน โดยในทางปฏิบัติแล้วน้ำมันที่มีค่าความถ่วงเอพิไอต่ำกว่าจะใช้ปริมาณตัวอย่างและเวลาในการวิเคราะห์มากกว่าน้ำมันที่มีค่าความถ่วงเอพิไอสูงกว่า ดังนั้นสำหรับน้ำมันดิบที่มีค่าความถ่วงเอพิไอต่ำ จึงใช้วิธีทำนายค่าความหนืดจากสมบัติอื่น เช่น ความถ่วงเอพิไอ อุณหภูมิ ความกัน จุดไหลเท น้ำมันโมเลกุล และอัตราส่วนระหว่างแก๊สและน้ำมัน เป็นต้น ค่าความหนืดปิโตรเลียมขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบ นั่นคือถ้าองค์ประกอบหลักของ

ปิโตรเลียมคือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลสูง (จำนวนคาร์บอนมาก) ปิโตรเลียมชนิดนั้นจะมีความหนืดสูง ในทางตรงกันข้ามหากปิโตรเลียมมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลต่ำเป็นองค์ประกอบหลักก็จะมีค่าความหนืดต่ำตามไปด้วย

เครื่องมือที่ใช้วัดความหนืดเรียกว่าวิสโคมิเตอร์ (Viscometer) ซึ่งมีหลายแบบที่ยอมรับเป็นวิธีมาตรฐาน ได้แก่ แบบเรดวูด (Redwood) เซย์บอลท์ (Saybolt) และอิงเลอร์ (Engler) ซึ่งจะวัดเวลาการไหลของน้ำมันผ่านรูมาตรฐานและใช้เวลาเป็นหน่วยในการรายงาน เช่นแบบเรดวูดเป็นวินาที เรดวูด เซย์บอลท์วัดเป็นวินาทีเวย์บอลท์ แต่อิงเลอร์วัดเป็นดีกรีหรือองศา และเนื่องจากค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงได้ตามอุณหภูมิ จึงต้องควบคุมอุณหภูมิขณะทำการทดลองด้วย

ความหนืดที่นิยมวัดแบ่งเป็นสองประเภทคือ ความหนืดไดนามิกส์ (Dynamic or absolute viscosity) มีหน่วยเป็นพอยส์ (Poise or grans/cm/sec) และความหนืดไคเนมาติกส์ (Kinematic viscosity) ตามมาตรฐาน ASTM D445 มีหน่วยเป็นสโตกหรือเซนติสโตก (Centistokes, cSt) ค่าความหนืดไดนามิกส์ คำนวณได้จากสมการ 2.2 [5]

$$\text{Kinematic viscosity, cSt} = Ct - \frac{B}{t} \quad (2.2)$$

เมื่อ C = ค่าคงที่ของวิสโคมิเตอร์ (Viscometer constant = $\frac{1.0038}{t}$)

(ความหนืดไคเนมาติกส์ของน้ำกลั่นที่ 20 องศาเซลเซียส = 1.0038)

t = เวลาที่ใช้ในการไหลในหน่วยวินาที (Efflux time in second)

B = ค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืด (Viscosity coefficient) = $\frac{t_1 t_2 (V_2 t_1 - V_1 t_2)}{t_2^2 - t_1^2}$

เมื่อ t_1 = efflux time (200 sec.min) ของน้ำมันที่ทราบค่า Kinematic viscosity ปริมาตร V_1

t_2 = efflux time ของน้ำมันที่ทราบค่า Kinematic viscosity ปริมาตร V_2

ถ้าค่า B/t มีค่าน้อยมากคือน้อยกว่า 0.1 ค่า Ct อาจตัดทิ้งได้ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\text{Kinematic viscosity, cSt} = Ct$$

การวัดความหนืดไคเนมาติกส์คือการวัดเวลาที่ของเหลวที่มีปริมาตรแน่นอนไหลผ่านหลอดแก้วคอปูลาร์ (วิสโคมิเตอร์) ตามแรงโน้มถ่วง อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบจะถูกควบคุมให้คงที่

โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 50-100 องศาเซลเซียส เมื่อเริ่มการทดสอบจะต้องหาค่าคงที่ของวิสโคมิเตอร์ จากน้ำกลั่น และค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดจากน้ำมันที่ทราบค่าความหนืดสองชนิดก่อน โดยจับเวลาที่ของเหลวแต่ละชนิดไหลผ่านวิสโคมิเตอร์ จากนั้นจึงจับเวลาการไหลของน้ำมันตัวอย่างต่อไป เพื่อนำไปคำนวณค่าความหนืดไคนาเมติกส์ตามสมการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

จุดไหลเท

จุดไหลเท (Pour Point) คืออุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้ เมื่อลดอุณหภูมิลงไปเรื่อยๆ น้ำมันจะเริ่มแข็งตัว จับตัวเป็นก้อน และหยุดไหล

การทดสอบทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM D97 โดยน้ำมันตัวอย่างใส่หลอดแก้วแล้วแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ให้ความร้อนจนกระทั่งน้ำมันใส แล้วทำให้เย็นลงด้วยอัตราเร็วคงที่ ตรวจสอบการแข็งตัวของน้ำมันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปทุกๆ 3 องศาเซลเซียส จนถึงจุดที่ผิวหน้าของน้ำมันจะเริ่มแข็งตัว จึงเอียงหลอดในอยู่ในแนวราบ เมื่อน้ำมันไม่ไหลเมื่อเอียงหลอดในแนวราบเป็นเวลา 5 วินาที จุดไหลเทคืออุณหภูมิที่สูงกว่านี้จุดนี้ 3 องศาเซลเซียส จุดไหลเทมีประโยชน์คือทำให้ทราบค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่จะใช้งานน้ำมัน โดยไม่ทำให้ไขที่แยกตัวออกมายุ่งยากต่อเครื่องยนต์และหม้อกรองจนทำให้อุปกรณ์ทำงานไม่ได้ ทั้งนี้จุดไหลเทจะต่ำหรือสูงขึ้นกับปริมาณและชนิดของไขที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน

จุดวาบไฟและจุดติดไฟ

จุดวาบไฟเป็นการตรวจวัดการระเหยของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม แต่วิธีนี้ไม่นิยมตรวจกับเชื้อเพลิงที่ระเหยง่าย เช่น น้ำมันเบนซิน แนฟทา หรือปิโตรเลียมอีเทอร์ เป็นต้น เนื่องจากจุดวาบไฟของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต่ำกว่าอุณหภูมิปกติ จึงนิยมใช้กับเชื้อเพลิงที่ระเหยยาก และมีประโยชน์เพื่อความปลอดภัยในการเก็บรักษา ขนส่ง และเพื่อควบคุมกระบวนการผลิต

จุดวาบไฟ (Flash point) คืออุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่ทำให้เกิดไอน้ำมันในปริมาณมาก โดยเมื่อความหนาแน่นพอมือรวมกับอากาศในสัดส่วนที่เหมาะสมและสัมผัสเปลวไฟที่ลุกไหม้ทันที การหาจุดวาบไฟมักใช้วิธี ASTM D93 ซึ่งใช้เครื่องมือเรียกว่า Pensky Martens Closed Cup

(PMCC) ซึ่งใช้สำหรับน้ำมันดีเซลและน้ำมันเตา สำหรับน้ำมันที่เบา เช่น น้ำมันหล่อลื่น จะทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C11 และใช้เครื่องมือ Cleveland open cup (COC)

การตรวจสอบจุดวาบไฟโดยใช้ PMCC ใช้ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ที่มีจุดวาบไฟอยู่ระหว่าง 40-360 องศาเซลเซียส [4] ทำได้โดยนำตัวอย่างน้ำมันที่จะทำการทดสอบใส่ในถ้วยที่ตั้งอยู่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ จนกระทั่งถึงขีดบอกปริมาตร จึงปิดฝาถ้วย และจุดเปลวไฟพร้อมกับปรับเปลวไฟให้พอเหมาะ จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นด้วยอัตราเร็วคงที่ 2 องศาฟาเรนไฮต์ต่อนาที พร้อมหมุนใบพัดเครื่องกวนสาร เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทุก 1 องศาฟาเรนไฮต์ เลื่อนช่องเปิดที่ฝาถ้วยเพื่อให้เปลวไฟพุ่งลงในถ้วย สังเกตการฉีกไฟ ถ้ายังไม่มีเปลวไฟเกิดขึ้น ให้เลื่อนช่องปิดที่ฝาถ้วยเพื่อให้เปลวไฟงขึ้น และให้ความร้อนต่อไป แต่หากมีเปลวไฟเกิดขึ้น ให้บันทึกอุณหภูมิขณะนั้นเป็นจุดวาบไฟ (Flash point)

การตรวจสอบจุดวาบไฟโดยใช้ COC ใช้ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่มีจุดวาบไฟอยู่ระหว่าง 74-400 องศาเซลเซียส เช่น น้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น เมื่อจะทดสอบน้ำมันตัวอย่างที่ให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดวาบไฟประมาณ 56 องศาเซลเซียส จะถูกบรรจุในถ้วยตามปริมาตรที่กำหนด จากนั้นจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในน้ำมัน พร้อมจุดเปลวไฟ ค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันด้วยอัตราเร็วคงที่พร้อมหมุนเปลวไฟผ่านผิวหน้าของน้ำมัน เมื่อมีเปลวไฟเกิดขึ้น ให้บันทึกอุณหภูมิขณะนั้นเป็นจุดวาบไฟ และโดยปกติจุดวาบไฟที่ทดสอบด้วยวิธี COC (ถ้วยเปิด) จะมีค่าสูงกว่าวิธี PMCC (ถ้วยปิด) ประมาณ 30 องศาฟาเรนไฮต์หรือ 1.1 องศาเซลเซียส [4]

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2 ทฤษฎีและเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล

การถดถอย (Regression) หมายถึง การศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัวหนึ่ง ที่เรียกว่าตัวแปรตาม (Dependent Variable) และอีกตัวแปรหนึ่งหรือตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ที่เรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

เป้าหมายของการถดถอย คือขนาดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

ในการวิเคราะห์การถดถอย มักเรียกตัวแปรอิสระว่า ตัวแปรทำนาย (Predictor) หรือตัวแปรกระตุ้น (Stimulus variable) ส่วนตัวแปรตาม มักเรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (response variable) หรือตัวแปรเกณฑ์ (criterion variable) ซึ่งเครื่องมือในการวิเคราะห์การถดถอยมีหลายแบบดังรูปที่ 18 ควรเลือกให้เหมาะกับข้อมูล โดยรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอาจเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้นได้

2.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเชิงเส้น เป็นการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นตรง โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัว กับตัวแปรอิสระที่ทำหน้าที่พยากรณ์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีผลต่อตัวแปรตาม และสร้างรูปแบบพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยกลุ่มของตัวแปรอิสระที่ศึกษา ดังสมการ (2.3) [6]

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (2.3)$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตอบสนอง (response variable) ตัวแปรตาม

X_1, X_2, \dots, X_i คือ ตัวแปรทำนาย (Predictor) หรือตัวแปรอิสระ

β_1, \dots, β_n คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยอันดับที่ 1 ถึงอันดับที่ n

β_0 คือ ค่าคงที่

2.2.2 การวิเคราะห์การถดถอยไม่เชิงเส้น (Non-linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยที่ไม่ใช่เชิงเส้น ใช้ประโยชน์ใน 2 กรณีหลักคือ กรณีที่นักวิจัยทราบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่างกันแบบไม่เป็นเส้นตรงหรือในกรณีที่นักวิจัยไม่ทราบความสัมพันธ์ที่แน่นอน แต่ใช้ฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นในการสร้างสมการความสัมพันธ์ โดยในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงรูปแบบสมการถดถอยแบบโพลิโนเมียลเท่านั้น

2.2.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยโพลิโนเมียล (Polynomial Regression Analysis)

การวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง รวมถึงกรณีมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว โดยสมการมีหลายรูปแบบดังนี้

รูปแบบสมการถดถอยพหุนาม 1 ตัวแปร ยกกำลังอันดับที่ n (n^{th} Order Polynomial Regression Models in One Variable) หากสมการมีการยกกำลังสองเพียง 1 ค่า จะเรียก สมการกำลังสอง (Quadratic Model) ดังสมการ (2.4) [6]

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_n x^n \quad (2.4)$$

รูปแบบสมการถดถอยพหุนาม 2 ตัวแปรหรือมากกว่า (Polynomial Regression Models in two or more variable) [7, 8] โดยตัวอย่างรูปแบบสมการถดถอยพหุนาม 2 ตัวแปร แสดงดังสมการ (2.5) [9]

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \dots \quad (2.5)$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตอบสนอง (response variable) หรือตัวแปรตาม

X_1, X_2, \dots คือตัวแปรทำนาย (predictor) หรือตัวแปรอิสระ

$\beta_{1, \dots, n}$ คือสัมประสิทธิ์การถดถอยอันดับที่ 1 ถึงอันดับที่ n

$\beta_{12, \dots}$ คือสัมประสิทธิ์การถดถอยที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์

β_0 คือ ค่าคงที่

จากสมการพบว่ามีสัมประสิทธิ์ของส่วนที่เป็นสมการเชิงเส้นตรงคือ β_1 และ β_2 สัมประสิทธิ์ของส่วนที่เป็นสมการกำลังสองคือ β_{11} และ β_{22} จะมีลักษณะเป็นพาราโบลาและสัมประสิทธิ์ของส่วนที่เป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทั้งสอง (Interaction) คือ β_{12}

2.2.3 การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares Regression Analysis: PLS Regression Analysis)

วิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares Method: PLS) เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร ในการสร้างตัวแบบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variable) โดยอาศัยตัวแปรแฝง (Latent Variable) ซึ่งเริ่มแรกอัลกอริทึมที่ใช้ใน PLS ที่มีชื่อว่า NIPALS (Non-Linear Iterative Partial Least Squares) ได้รับการพัฒนาโดย Herman Wold ใน ค.ศ.1966 [11] และ ใน ค.ศ. 1975 เขาใช้อัลกอริทึมในการจัดการกับปัญหาการสร้างตัวแบบเส้นทาง (Path Modeling) ในทางเศรษฐศาสตร์ ในช่วงปี ค.ศ. 1980-1989 Svante Wold บุตรชายของเขาและเพื่อนได้พัฒนา PLS ให้สามารถจัดการกับปัญหาการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ในการสร้างตัวแบบเคโมเมตริกซ์ (Chemometrics) และสเปกโตรเมตริก (Spectrometric) [12] และเรียกวิธีการนี้ว่า PLS-Regression หรือ PLS-R

PLS เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับความนิยมจากนักสถิติและนักวิจัยเป็นอย่างมากใน 20 ปีที่ผ่านมา [12, 13] เนื่องจาก PLS สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีจำนวนมิติมากในขณะที่มีขนาดตัวอย่างน้อยได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังไม่มีข้อสมมุติเบื้องต้นเกี่ยวกับโครงสร้างของข้อมูลซึ่งทำให้ PLS ได้รับการเรียกว่าเป็น 23 Soft Modelling [14] คือเป็นวิธีที่ยืดหยุ่นและสามารถแก้ปัญหาได้หลายด้านในการวิเคราะห์ข้อมูล PLS จึงสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ในหลายลักษณะ

2.2.3.1 การลดมิติข้อมูลของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน

PLS สามารถนำไปใช้ในการลดมิติของข้อมูล (Dimension Reduction) และเรียกว่าการลดมิติข้อมูลของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares Dimension Reduction: PLS-DR) โดยมีหลักการสร้างตัวแปรแฝงซึ่งมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนตัวแปรเดิมจากผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรเดิม และสามารถนำตัวแปรแฝงที่สร้างขึ้นนี้ไปเป็นตัวแปรสำหรับจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีการจำแนกประเภทวิธีต่าง ๆ เช่น การจำแนกโลจิสติก (Logistic Discrimination: LD) การวิเคราะห์การจำแนกประเภทเชิงเส้น (Linear Discriminant Analysis: LDA) การวิเคราะห์การจำแนกประเภทกำลังสอง (Quadratic Discriminant Analysis: QDA) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด K ตัว (K-Nearest Neighbor: KNN) หรือตัวจำแนกต้นไม้การตัดสินใจแบบ C4.5 (C4.5 Decision Tree Classifier: C4.5) เป็นต้น [15]

PLS-DR มีลักษณะคล้ายกับวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) ในแง่ของการลดมิติของข้อมูล แต่ PLS ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่า PCA สำหรับการนำไปใช้ในงานการพยากรณ์หรือการจำแนกประเภท เนื่องจากการสร้างตัวแปรแฝงของ PCA ได้จากผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรเดิมที่ทำให้ความแปรปรวนสูงสุด แต่ PLS สร้างตัวแปรแฝงภายนอก (ตัวแปรแฝงที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรทำนาย) และตัวแปรแฝงภายใน (ตัวแปรแฝงที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปรตาม) จากผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรเดิมที่ทำให้ความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรแฝงทั้งสองนี้มีค่าสูงสุด นอกจากนี้แล้ว PCA ยังใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า PLS [16] ดังนั้นในระยะหลัง PLS จึงมักถูกนำมาเปรียบเทียบกับ PCA และพบว่าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากกว่า [17]

2.2.3.2 การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน

PLS-R (Partial Least Squares Regression) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงสถิติที่มีประสิทธิภาพสามารถรับมือกับข้อมูลที่มีจำนวนมิติมาก (มากกว่าจำนวนตัวอย่าง) ตัวแปรบวกรวมจำนวนมาก ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเอง (Collinearity) และมีค่าสูญหายในชุดข้อมูล นอกจากนี้ยังไม่มีข้อสมมติเบื้องต้นเกี่ยวกับการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ดังนั้น PLS-R จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลไมโครอาร์เรย์

Yeniay and Gökaş [18] ได้เปรียบเทียบ PLS-R และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยอื่นที่เป็นที่นิยมได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามัญ (Ordinary Least Square Method)

การถดถอยขององค์ประกอบหลัก (Principal Component Regression) และการถดถอยแบบริดจ์ (Ridge Regression) โดยในงานวิจัยได้เสนอในมุมมองของทฤษฎี และได้นำไปประยุกต์กับข้อมูลจริง ซึ่งพบว่า PLS-R ให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างดีกว่าในแง่ของความสามารถเชิงทำนายของตัวแบบ PLS-R มีความสามารถในการวิเคราะห์การถดถอยในกรณีที่มีตัวแปรตามมากกว่าหนึ่งตัว โดยสร้างเป็นตัวแบบเดียว ซึ่งทำให้เห็นภาพรวมได้ชัดเจนกว่าการแยกวิเคราะห์ทีละตัวแปรตาม แต่ถ้ากลุ่มตัวแปรตามนั้นวัดสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องกันซึ่งทำให้ตัวแปรตามไม่สัมพันธ์กัน การสร้างตัวแบบเดียวโดย PLS-R มีแนวโน้ม

ที่จะได้องค์ประกอบจำนวนมากซึ่งทำให้ยากในการตีความ การสร้างตัวแบบแยกกันในแต่ละตัวแปรตามจะเหมาะสมกว่าเนื่องจากง่ายต่อการตีความ [19]

PLS-R ใช้สำหรับการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ แต่สามารถประยุกต์กับงานการจำแนกประเภทข้อมูล ซึ่งตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพได้ โดยมีขั้นตอนที่เพิ่มขึ้น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของการแปลงค่าเมทริกซ์ของตัวแปรตาม ให้เป็นเมทริกซ์ของตัวแปรคัมมีและการทำนายกลุ่มจากผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งจะกล่าวถึงใน หัวข้อการวิเคราะห์การจำแนกประเภทของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Squares Discriminant Analysis: PLS-DA)

2.2.3.3 ขั้นตอนการสร้างตัวแบบสำหรับ PLS-R

PLS-R เป็นวิธีการวิเคราะห์หลายตัวแปร โดยสร้างตัวแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นในเชิงพยากรณ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรสองกลุ่ม (กลุ่มตัวแปรตาม และกลุ่มตัวแปรทำนาย โดยสร้างตัวแปรใหม่ซึ่งเป็นผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรเดิม และเรียกตัวแปรใหม่นี้ว่าตัวแปรแฝงภายนอก หรือ X-scores หรือองค์ประกอบสำหรับตัวแปรทำนาย และเรียกว่าตัวแปรแฝงภายใน หรือ Y-scores หรือองค์ประกอบสำหรับตัวแปรตาม โดยองค์ประกอบที่สร้างขึ้นใหม่นี้มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนตัวแปรเดิม และตั้งฉากกัน (Orthogonal) แนวทางของ PLS-R มีหลายแนวทางซึ่งแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับฟังก์ชันเป้าหมายสำหรับการหาค่าน้ำหนัก เป็นต้น

PLS-R สำหรับกรณีที่มีตัวแปรตามหนึ่งตัวเรียก PLS1 ส่วนกรณีที่มีตัวแปรตามหลายตัวที่เป็นที่นิยมได้แก่ PLS2 และอัลกอริทึมที่เป็นที่รู้จักคือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วนแบบทำซ้ำไม่เชิงเส้น (Nonlinear Iterative Partial Least Squares: NIPALS) และ วิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วนแบบเคอร์เนล (Kernel-Partial Least Squares: Kernel-PLS)

กำหนดให้ $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)'$ แทนเมทริกซ์ของข้อมูลขนาด $n \times p$ โดยที่ n แทนขนาดตัวอย่าง และ p แทนจำนวนตัวแปรทำนาย และ $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)'$ แทนเมทริกซ์ของข้อมูลขนาด $n \times q$ โดยที่ q แทนจำนวนตัวแปรตาม และเวกเตอร์ $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$ เป็นเวกเตอร์ที่แสดงค่าของตัวแปรทำนายของหน่วยตัวอย่างที่ i และเวกเตอร์ $y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{iq})$ แทนเวกเตอร์ของตัวแปรตามของหน่วยตัวอย่างที่ i ผลรวมเชิงเส้นของตัวแปรทำนาย และตัวแปรตามสำหรับองค์ประกอบที่ a ($a=1,2,\dots,h$) เขียนแทนด้วย t_a และ u_a ตามลำดับซึ่ง

$$T = XW^* \quad (2.8)$$

$$U = YC \quad (2.9)$$

โดยที่ $T = (t_1, t_2, \dots, t_h)$ และ $U = (u_1, u_2, \dots, u_h)$ เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times h$ ของเวกเตอร์องค์ประกอบจำนวน h องค์ประกอบที่ถูกสกัดจากตัวแปรทำนาย และตัวแปรตามตามลำดับ $W^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_h^*)$ และ $C = (c_1, c_2, \dots, c_h)$ เป็นเมทริกซ์ขนาด $p \times h$ และ $q \times h$ ตามลำดับ ซึ่งสมาชิกประกอบด้วยเวกเตอร์น้ำหนัก (Weight Vector) ขององค์ประกอบที่ถูกสกัดจากตัวแปรทำนาย และตัวแปรตาม ตามลำดับ

PLS ได้แยกองค์ประกอบของ X และ Y ให้อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$X = TP + E \quad (2.10)$$

$$Y = UQ + F \quad (2.11)$$

โดยที่ $P = (p_1, p_2, \dots, p_h)$ และ $Q = (q_1, q_2, \dots, q_h)$ เป็นเมทริกซ์ขนาด $p \times h$ แทน ค่าการให้น้ำหนัก (loading) สำหรับตัวแปรทำนาย และสำหรับตัวแปรตาม ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไป แล้ว P และ Q ถูกประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามัญ โดย E เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times p$ และ F เป็นเมทริกซ์ขนาด $n \times q$ ซึ่งทั้งสองเป็นเมทริกซ์แทนค่าตกค้าง (Residual) สำหรับตัวแปรทำนาย และตัวแปรตาม ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ทั้งสองถูกเชื่อมต่อด้วยความสัมพันธ์ภายใน (Inner Relationship) ดังนี้

$$U = TD + H \quad (2.12)$$

โดยที่ D แทน เมทริกซ์ทแยงมุมขนาด $h \times h$

H แทน เมทริกซ์ค่าตกค้างขนาด $n \times h$

PLS โดยอัลกอริทึม NIPALS จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบที่ละองค์ประกอบ ซึ่งในองค์ประกอบที่ a ค่า u_a, w_a, t_a และ c_a จะได้รับการคำนวณตามลำดับ โดยในองค์ประกอบที่ 1 จะเริ่มจากสุ่มเวกเตอร์ u_1 จากปฏิภูมิของ Y แต่ถ้าตัวแปรตามมีเพียงหนึ่งตัวแล้ว $u_1 = y$ จากนั้นจะทำ

การหาค่าน้ำหนัก w_1 ที่ทำให้ $\max[\text{cov}(Xw_1, Yc_1)]^2$ โดยที่ $w_1' w_1 = 1, c_1' c_1 = 1$ และ $\text{cov}(Xw_1, Yc_1)$ แทนความแปรปรวนร่วมของตัวอย่างระหว่างองค์ประกอบ Xw_1 และ Yc_1

องค์ประกอบของตัวแปรทำนายหาได้จากความสัมพันธ์ $t_1 = Xw_1$ และสุดท้ายเป็นการหาค่าน้ำหนัก c_1 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ t_1 ขั้นตอนเหล่านี้จะถูกทำซ้ำจนกระทั่ง t_1 ใกล้เคียง (Convergence) แต่หากตัวแปรตามมีเพียงหนึ่งตัวแล้วขั้นตอนเหล่านี้จะทำเพียงรอบเดียว

เมื่อค่า t_1 ในองค์ประกอบที่ 1 ใกล้เคียงแล้ว จะลดค่า (Deflate) X และ Y ลง โดยลบด้วยค่าประมาณของ X และ Y ตามลำดับ นั่นคือเมทริกซ์ X และ Y ลดค่าลงเป็นค่าตกค้าง E และ F ตามลำดับ รูปแบบการลดค่านี้มีหลายรูปแบบแต่ที่ใช้บ่อยจะเป็น PLS1 และ PLS2 [20] สำหรับตัวแปรตามหนึ่งตัว และตัวแปรตามสองตัว ตามลำดับ แนวทางการลดค่าลงนี้ทำให้เมทริกซ์องค์ประกอบ T เป็นเมทริกซ์ตั้งฉาก E และ F ซึ่งจะได้นำไปใช้ในการหา ค่าพารามิเตอร์ขององค์ประกอบที่ 2 โดยใช้แทน X และ Y และดำเนินการในลักษณะเดียวกับการหาพารามิเตอร์ขององค์ประกอบที่ 1 และทำซ้ำในลักษณะเดียวกันนี้สำหรับองค์ประกอบอื่น

ขั้นตอนการสร้างตัวแบบ PLS-R [21] แสดงรายละเอียดได้ดังสมการ 2.13 ซึ่งก่อนที่จะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนจะต้องเตรียมข้อมูล โดยการทำให้ผลรวมของแต่ละตัวแปรเป็นศูนย์ ซึ่งทำได้โดยการลบค่าของแต่ละตัวแปรด้วยค่าเฉลี่ยของตัวแปรนั้นๆ (Mean-Centering) หรือปรับขนาดของข้อมูล (Scaling) ในแต่ละตัวแปรให้มีความแปรปรวน 1 หน่วย ซึ่งการปรับขนาด X อาจ ไม่มีความจำเป็นแต่อย่างไรก็ตามองค์ประกอบที่หนึ่งของตัวแปรทำนายจะมีคุณสมบัติที่น่าสนใจต่อการคัดเลือกตัวแปร ถ้า X ถูกปรับขนาด การปรับขนาดให้แต่ละตัวแปรมีความแปรปรวน 1 หน่วย หาได้โดยการหารแต่ละตัวแปรด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรนั้น ๆ

ในกรณีเฉพาะที่จำนวนตัวแปรตามมีเพียงหนึ่งตัว อัลกอริทึม PLS2 มีลักษณะเดียวกับ PLS1 เนื่องจาก $c_{p \times 1}$ มีค่าเท่ากับเวกเตอร์ $1_{p \times 1}$ และ $u = y$

จากขั้นตอนการสร้างตัวแบบ PLS-R แต่ละองค์ประกอบ t_u หาได้จากผลคูณของค่าตกค้างกับค่าน้ำหนัก w_u ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนัก w_u และ w_u^* ซึ่งค่าหลังเป็นค่าน้ำหนักที่เกี่ยวข้องกับ X โดยตรง

$$W^* = W(P'W)^{-1} \quad (2.13)$$

1. กำหนดค่าเริ่มต้นของ u_1 ซึ่งโดยมากกำหนดให้เป็นคอลัมน์ใดคอลัมน์หนึ่งของ Y

2. สำหรับ $a=1, \dots, h$ ทำซ้ำ

$$2.1 \ w_a = X'u_a / u_a'u_a$$

$$2.2 \ w_a = w_a / \|w\| \text{ (ปรับให้ } w \text{ มีขนาดหนึ่งหน่วย)}$$

$$2.3 \ t_a = Xw_a$$

$$2.4 \ c_a = Y't_a / t_a't_a$$

$$2.5 \ c_a = c_a / \|c\| \text{ (ปรับให้ } c_a \text{ มีขนาดหนึ่งหน่วย)}$$

$$2.6 \ u_a = Yc_a / c_a'c_a$$

ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.1-2.6 จนกระทั่งเวกเตอร์ t_a คู่เข้า มิฉะนั้น ไปขั้นตอนที่ 2.7 ถ้ามีตัวแปรตามเพียงตัวเดียวไม่ต้องทำซ้ำให้ไปขั้นตอนที่ 2.7

$$2.7 \ p_a = X't_a / t_a't_a$$

$$2.8 \ q_a = Y'u_a / u_a'u_a$$

$$2.9 \ d_a = u_a't_a / t_a't_a$$

$$2.10 \ X = X - t_a p_a'$$

$$2.11 \ Y = Y - d_a t_a c_a'$$

2.2.3.4 การกำหนดจำนวนองค์ประกอบ

แม้ว่าอัลกอริทึมของ PLS จะสามารถสกัดองค์ประกอบได้เท่ากับจำนวนลำดับที่ (Rank) ของ X ก็ตาม แต่องค์ประกอบที่สำคัญที่สกัดสารสนเทศจาก X และ Y มีเพียงองค์ประกอบ

แรกๆ เท่านั้น ดังนั้นประเด็นที่สำคัญในการใช้ PLS คือการกำหนดจำนวนองค์ประกอบ ซึ่งมีวิธีการกำหนดแตกต่างกันไปในแต่ละงานวิจัย โดยสรุปที่พบมีดังนี้

2.2.3.4.1 การกำหนดจำนวนองค์ประกอบที่แน่นอนเป็น 3-5 องค์ประกอบ เช่น งานของ Nguyen and Rocke (2002a) [22] และ Nguyen and Rocke (2002b) [23] กำหนดจำนวนองค์ประกอบของยีนเป็น 3 องค์ประกอบ

2.2.3.4.2 การกำหนดจำนวนองค์ประกอบด้วยการเปรียบเทียบความสอดคล้องของตัวแบบเมื่อมีองค์ประกอบจำนวน a บนข้อมูลทดสอบ โดยการแบ่งส่วนข้อมูลสามารถทำได้ดังนี้

1. การใช้กระบวนการตรวจสอบไขว้ (Cross-Validation: CV) ในการประเมินองค์ประกอบที่สามารถเพิ่มความสามารถในการทำนายของตัวแบบได้หรือไม่ กระบวนการตรวจสอบไขว้เป็นการแบ่งส่วนข้อมูลเริ่มต้นเป็นส่วนๆ อย่างสุ่ม เช่น แบ่งข้อมูลออกเป็น K ส่วนที่เท่ากันอย่างสุ่มซึ่งแต่ละส่วนคือข้อมูลย่อย โดยที่ K เป็นค่าคงที่ใด ๆ ข้อมูล $K-1$ ส่วนจะถูกนำมาใช้ในการสร้างตัวแบบเรียกว่าเป็นข้อมูลฝึกฝน (Training Data) และข้อมูลย่อยส่วนที่เหลือซึ่งเรียกว่าข้อมูลทดสอบ (Test Data) จะถูกนำมาตรวจสอบความสอดคล้องของตัวแบบที่สามารถวัดความสอดคล้องด้วยค่าต่าง ๆ ขึ้นกับวัตถุประสงค์ การตรวจสอบไขว้ที่แบ่งข้อมูลออกเป็น K ส่วนเรียกว่า K -fold Cross-Validation ผลรวมของค่าวัดความสอดคล้องจากทุกข้อมูลย่อยจะถูกนำมาเป็นค่าที่ใช้ประเมินความสอดคล้องของตัวแบบค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองของการตรวจสอบไขว้ (Root Mean Squared Error of Cross-Validation: RMSECV) เป็นค่าที่ได้นำมาใช้ในการวัดความสอดคล้องของตัวแบบที่มีองค์ประกอบจำนวน a องค์ประกอบ โดยจำนวนองค์ประกอบที่ทำให้ค่า RMSECV ต่ำสุดจะถูกเลือกเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับการสร้างตัวแบบ โดย PLS งานวิจัยที่กำหนดจำนวนองค์ประกอบด้วยแนวทางนี้ เช่น งานของ TeÓfilo, Martins, and Ferreira [24] และ Gosselin, Rodrigue, and Duchesne [25] เป็นต้น การคำนวณค่า RMSECV เป็นดังนี้

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

(2.14)

โดยที่ y_i แทนค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรตาม

\hat{y}_i แทน ค่าพยากรณ์ที่ i ของตัวแปรตาม

n แทน จำนวนตัวอย่าง

การวัดความสอดคล้องของตัวแบบสำหรับงานการจำแนกประเภทข้อมูลวัดด้วยประสิทธิภาพของการจำแนกประเภท โดยเลือกจำนวนองค์ประกอบที่ทำให้ประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทสูงสุดคือมีความแม่นยำในการจำแนกประเภทสูงสุดหรือค่าคลาดเคลื่อนในการจำแนกประเภทต่ำสุด

2. วิธียกออก (Holdout) เป็นการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วนได้แก่ ข้อมูลฝึกฝน และข้อมูลทดสอบด้วยอัตราส่วนที่กำหนด เช่น 2:1 จากนั้นวัดความสอดคล้องของตัวแบบที่ใช้ องค์ประกอบจำนวน a องค์ประกอบ จากการทำนายค่าตัวแปรตามในส่วนทดสอบด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองของการพยากรณ์ (Root Mean Squared Error of Prediction: RMSEP) สำหรับงานการพยากรณ์ ซึ่งคำนวณได้ในลักษณะเดียวกับ RMSECV เพียงแต่ใช้เฉพาะข้อมูลในส่วนทดสอบ หรือวัดค่าความสอดคล้องด้วยประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทข้อมูลสำหรับงานการจำแนกประเภทการแบ่งข้อมูลด้วยวิธีนี้สามารถทำซ้ำได้หลายรอบ เพื่อปรับปรุงค่าประมาณของค่าวัดความสอดคล้องให้มีความเที่ยง

การใช้เกณฑ์ในการประเมินว่าองค์ประกอบที่เพิ่มเข้ามาในตัวแบบสามารถลดค่าคลาดเคลื่อนของตัวแบบ PLS ได้อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เช่น สถิติเอฟ เกณฑ์สารสนเทศของ Akaike (Akaike Information Criterion) เกณฑ์ค่า R ของ Wold (Wold's R Criterion) สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (Multiple Coefficient of Determination: R2) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) [26, 27]

อย่างไรก็ดี Boulesteix [15] กล่าวว่าไม่มีกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการกำหนดจำนวนองค์ประกอบของ PLS ได้อย่างถูกต้อง

2.2.3.5 ดัชนี VIP

ดัชนี VIP (Variable Influence on the Projection) เป็นดัชนีวัดความสำคัญของตัวแปรที่มีต่อการทำนายตัวแปรตาม โดยได้รวมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายด้วยกัน ซึ่งอาศัยพารามิเตอร์ของ PLS-R ในการคำนวณค่าเผยแพร่ครั้งแรกโดย Wold and Others ในปี ค.ศ. 1993 (Chong & Jun, 2005) โดยอาศัยค่าน้ำหนัก w_{aj} ซึ่งวัดการมีส่วนร่วมของตัวแปรทำนายในองค์ประกอบและถ่วงน้ำหนักด้วยความแปรผันของตัวแปรตามที่ถูกอธิบายได้ด้วยแต่ละองค์ประกอบ VIP สำหรับตัวแปรทำนายที่ j คำนวณได้ดังนี้

$$VIP_j = \sqrt{\frac{\sum_{a=1}^h Red(Y, t_a) \left(\frac{w_{aj}}{\|w_a\|}\right)^2}{\left(\frac{1}{p}\right) \sum_{a=1}^h Red(Y, t_a)}} \quad (2.15)$$

โดยที่ p แทน จำนวนตัวแปรทำนาย

q แทน จำนวนตัวแปรตาม

h แทน จำนวนองค์ประกอบ

w_{aj} แทน น้ำหนักของตัวแปรทำนายที่ j ในองค์ประกอบ a

$Red(Y, t_a)$ แทน ความแปรผันของตัวแปรตาม Y ที่ถูกอธิบายด้วยองค์ประกอบ t_a หรือสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และ

$$Red(Y, t_a) = \sum_{k=1}^q R^2(y_k, t_a) \quad (2.16)$$

ดัชนี VIP ให้น้ำหนักกับการมีส่วนร่วมของแต่ละตัวแปรสอดคล้องกับความแปรผันที่อธิบายได้ด้วยแต่ละองค์ประกอบ ค่า $w_{aj} / \|w_a\|$ แสดงถึงขนาดความสำคัญของตัวแปรทำนายที่ j ในองค์ประกอบที่ a และ $Red(Y, t_a)$ แสดงถึงขนาดความสำคัญขององค์ประกอบที่ a ต่อการทำนายตัวแปรตาม ตัวแปรที่มีค่า VIP สูงกว่าแสดงถึงความสำคัญที่มากกว่า และเนื่องจากค่าเฉลี่ยของกำลัง

สองของ VIP เท่ากับ 1.0 ดังนั้นมักใช้เกณฑ์มากกว่า 1.0 เป็นเกณฑ์จุดตัดสำหรับการคัดเลือกตัวแปร [28] และถ้าตัวแปรใดที่มีค่า VIP น้อยกว่า 0.8 ตัวแปรนั้นไม่มีความสำคัญหรือไม่มีความเกี่ยวข้องต่อการทำนายค่า [9] การใช้เกณฑ์มากกว่า 1 เป็น เกณฑ์จุดตัดมีความหมายสำหรับเฉพาะข้อมูลที่ถูกทำให้เป็นมาตรฐาน แต่อย่างไรก็ดีได้ใช้เกณฑ์ดังกล่าวกับข้อมูลที่ถูกทำให้ผลรวมเป็นศูนย์ซึ่งยังคงให้ผลที่ดี

2.2.4 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองฯ สมการถดถอยในซอฟต์แวร์ สามารถประเมินได้ โดยมีค่าตัวชี้วัดทางสถิติที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

1. Root Mean Square Error (RMSE) คือค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย เป็นวิธีการวัดความคลาดเคลื่อนจากค่าที่พยากรณ์จากแบบจำลองกับค่าจริงที่เกิดขึ้น หากค่า RMSE มีค่าน้อยกว่าแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง

2. Mean Absolute Error (MAE) หรือ Absolute Error (AE) คือค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย เป็นวิธีการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลอง โดยหากค่า MAE มีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง

3. Relative Error (RE) คือค่าคลาดเคลื่อนความสัมพันธ์เฉลี่ย หรือค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่เป็นค่าร้อยละของจำนวนประชากรจริง (Mean Absolute Percentage Error, MAPE)

4. Square Error (SE) คือค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย โดยโปรแกรมจะทำการรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ค่า MSE ยิ่งน้อยหมายถึงการพยากรณ์ของโปรแกรมมีความแม่นยำสูง

5. Correlation (R) คือค่าสหสัมพันธ์ เป็นสถิติที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ซึ่งค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้ เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

6. Squared Correlation (R^2) คือ ตัวสถิติที่ใช้วัดว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้นี้มีความเหมาะสมกับรูปแบบข้อมูลมากหรือน้อยอย่างไร หรือที่รู้จักกัน ในอีกความหมายหนึ่งคือ เป็นสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of determination)

7. Tolerance คือ วิธีพิจารณาจากค่าการยอมรับ เป็นค่าจากตัวแปรอิสระในแบบจำลอง ค่า Tolerance มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าค่า Tolerance เข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรเป็นอิสระจากกัน แต่ถ้าค่า Tolerance เข้าใกล้ 0 แสดงว่าเกิดปัญหา Multicollinearity

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสมการถดถอย

Gisele M. และคณะ[23] ทำการศึกษาของค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาได้ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบถดถอย (Partial Least Square Method: PLS) เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร ในการสร้างตัวแบบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของตัวแปรที่สังเกตได้ โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าที่พยากรณ์จากแบบจำลองกับค่าจริงที่เกิดขึ้นจากการวัดมาตรฐาน ASTM D2700 และ ASTM D2999 พบว่า ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เท่ากับ 0.078 นั้นแสดงว่าแบบจำลองดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนน้อย และสามารถนำมาใช้พยากรณ์ค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน ได้

Julio C. และคณะ [29] ทำการศึกษาหาคุณภาพของน้ำมันดีเซลจากระบบผสมน้ำมันภายในท่อ (In-line blending optimizer system) โดยคุณสมบัติที่ต้องการศึกษาคือค่าจุดวาบไฟ (Flash point) และค่าซีเทน (Cetane number) โดยการใช้หลักการ Support Vector Regression (SVP) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) และวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบถดถอย (Partial Least Square Method: PLS) ในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณภาพจริงที่ได้จากการเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared spectroscopy) โดยผลลัพธ์ที่ได้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยของงานวิจัยการศึกษาคุณภาพน้ำมันดีเซล [29]

	Flash point			Cetane number		
	RMSEC (°C)	RMSEP (°C)	R ²	RMSEC	RMSEP	R ²
PLS	4.21	3.77	0.698	0.745	0.556	0.894
SVR	1.99	1.98	0.936	0.765	0.453	0.895

โดยผลลัพธ์ที่ได้พบว่าเมื่อใช้วิธี SVR พบว่าจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ข้อมูลน้อยกว่าวิธี PLS เนื่องจากวิธี SVR สามารถสร้างแบบจำลองสมการถดถอยได้ทั้งเชิงตรงและแบบไม่เป็นเชิงเส้น

Helga และคณะ [30] ทำการศึกษาการพยากรณ์คุณภาพของน้ำมันดีเซล ได้แก่จุดวาบไฟ (Flash point) และเลขซีเทน (Cetane Index) โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบถดถอย (Partial Least Square Method: PLS) ในการวิเคราะห์สร้างแบบจำลองของข้อมูลแบบหลายตัวแปร เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลจริงจากกราฟอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันดีเซล (Distillation curves) ตามมาตรฐานการวัด ASTM D-86 ซึ่งสรุปได้ว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์จุดวาบไฟในช่วง 34.3 – 74.3 องศาเซลเซียสและค่าซีเทนในช่วง 41.2-50.8

Paulo R. และคณะ [31] ทำการศึกษาการพยากรณ์สัดส่วนการผสมไบโอมันสัตว์และถั่วเหลือง เพื่อนำใช้ผลิตเป็นน้ำมันดีเซล B20 ซึ่งเป็นน้ำมันดีเซลที่ผสมไบโอดีเซลในอัตรา 20% ลงในน้ำมันดีเซล โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบถดถอย (Partial Least Square Method: PLS) ในการวิเคราะห์สร้างแบบจำลองเชิงเส้นของข้อมูลแบบหลายตัวแปรและใช้วิธี Support Vector Regression (SVR) ในการวิเคราะห์สร้างแบบจำลองไม่เป็นเชิงเส้นของข้อมูลแบบหลายตัวแปร โดยจะค่าการพยากรณ์จากทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบกับข้อมูลคุณภาพจริงที่ได้จากการเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared spectroscopy) โดยพบว่าค่าพยากรณ์สัดส่วนที่ได้จากวิธี SVR จะทำนายได้แม่นยำกว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบถดถอย โดยเมื่อทำการวัดค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของวิธี SVR พบว่าอยู่ 0.18%

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ปัจจุบันทางบริษัทกรมศึกษาได้มีการใช้วัตถุดิบหลากหลายชนิดนำมาผสมกันเพื่อให้ได้น้ำมันเตาตามคุณสมบัติที่ต้องการ (Product Specification) จากการเก็บข้อมูลสัดส่วนการผสมของวัตถุดิบต่างๆ พบว่าน้ำมันเตาที่ผลิตได้ จะมีคุณสมบัติดีกว่าที่กำหนดไว้ เนื่องจากในการผสมวัตถุดิบของหน่วยผลิตจะกำหนดคุณสมบัติการผสมเพื่อไว้เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำมันเตาที่ส่งมอบให้กับลูกค้า จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่าที่กำหนดไว้อย่างแน่นอน โดยสัดส่วนของการผสมน้ำมันเตาเกิดจากการใช้ประสบการณ์จริงของพนักงานฝ่ายผลิตทั้งหมด ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเตาและอาจไม่ใช่สัดส่วนที่ทำให้เกิดต้นทุนน้อยที่สุด

โดยวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกศึกษาเฉพาะการผสมน้ำมันเตาชนิดที่ 5 เนื่องจากน้ำมันเตาชนิดนี้มีปริมาณการขายสูงสุด คิดเป็นร้อยละกว่า 73 ของปริมาณการขายน้ำมันเตาทั้งหมด โดยผู้วิจัยจึงนำข้อมูลคุณสมบัติต่างๆในปี 2559-2560 ของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 มาคัดเลือกด้วยแผนภูมิพาเรโต พบว่าค่าคุณสมบัติของน้ำมันเตาที่บริษัทกรมศึกษาควรให้ความสำคัญในการพิจารณาส่งมอบ จึงมีด้วยกัน 4 ประการ ได้แก่ จุดวาบไฟ (Flash Point) ปริมาณกำมะถัน (Sulphur Content) จุดไหลเท (Pour Point) และค่าความหนืด (Viscosity) โดยตัวอย่างลักษณะของข้อมูลเป็นตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตัวอย่างของการผสมน้ำมันเตาชนิดที่ 5

องค์ประกอบ	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)	ร้อยละ ส่วนผสม
กากของหน่วยแยก ความหนืด (VBR)	81.00	2.97	6	62.37	74.00
น้ำมันดีเซล (Gas Oil)	91.33	0.13	3	3.75	3.40
น้ำมันเครื่องบิน (Kerosene)	40.00	7.20	-54	2.72	2.60
กากบรรยากาศ หน่วยแยกกากคอน เดนเสท (CRS LR)	120.00	0.93	48	8.92	20.00

โดยขั้นตอนการผสมเกิดจากการใช้กากของหน่วยแยกความหนืด (VBR) เป็นส่วนผสมหลัก ซึ่งถูกเก็บอยู่ในถังเพื่อรอการผสม จากนั้น VBR ในถังดังกล่าวจะถูกเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ รวมถึงคัตเตอร์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล (Gas oil) น้ำมันเครื่องบิน (Kerosene) และกากบรรยากาศหน่วยแยกกากคอนเดนเสท (CRS LR) จะถูกเก็บใส่ในถังของแต่ละสารนั้นๆ และถูกเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติเช่นเดียวกัน หลังจากนั้นพนักงานปฏิบัติการจะนำผลการทดสอบของคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อกำหนดสัดส่วนการผสมในการผลิตน้ำมันเตาชนิดที่ 5 โดยอ้างอิงจากประสบการณ์ เพื่อให้ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 อยู่ภายใต้ค่าเป้าหมาย จากตัวอย่างของการผสมน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ในตารางที่ 8 พบว่าค่าคุณสมบัติที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 9 และวัดร้อยละความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายตามสมการที่ 3.1

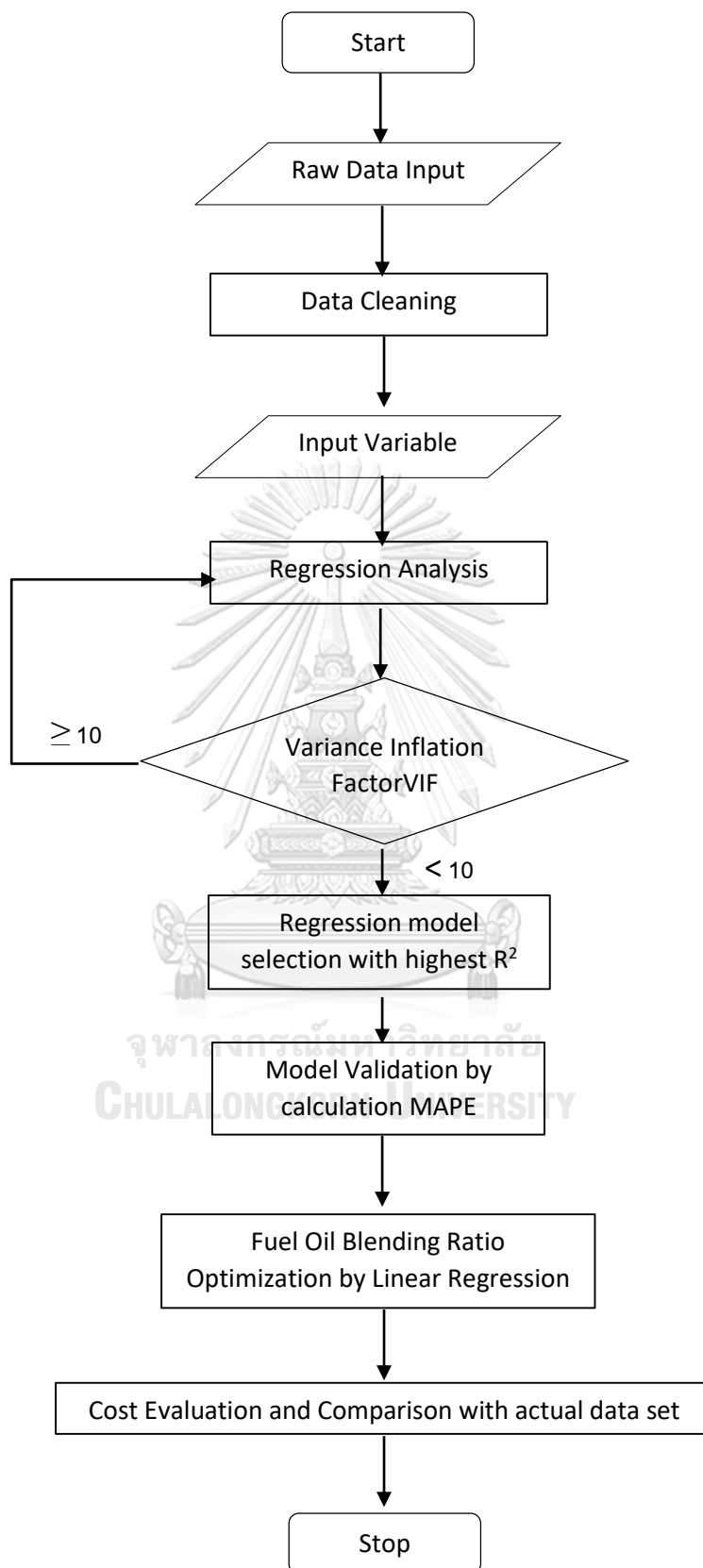
$$\frac{(\text{ค่าคุณสมบัติน้ำมันเตาที่ได้} - \text{ค่าคุณสมบัติเป้าหมายของน้ำมันเตา}) * 100\%}{\text{ค่าคุณสมบัติเป้าหมายของน้ำมันเตา}} \quad (3.1)$$

ตารางที่ 9 ค่าคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 โดยอ้างอิงสัดส่วนผสมจากตารางที่ 8

คุณสมบัติ	หน่วย	ค่าที่ได้	ค่าเป้าหมาย	ร้อยละความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมาย
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส, °C	80.00	≥ 60	25.0
ปริมาณกำมะถัน	เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก, wt%	2.51	≤ 4	-59.4
จุดไหลเท	องศาเซลเซียส, °C	9.00	≤ 30	-233.3
ความหนืด	เซนติสโตก, cSt	364.80	≤ 380	-4.2

ซึ่งจากตารางที่ 3.2 พบว่าทุกคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันเตาอยู่ภายใต้ค่าเป้าหมาย แต่อย่างไรก็ตามพบว่าทุกคุณสมบัติมีร้อยละความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าคุณสมบัติที่ได้กับค่าเป้าหมายยังอยู่ในระดับสูง กล่าวคือโรงงานบริษัทกรณีศึกษาผลิตสินค้าที่มีคุณภาพเกินกว่าค่าเป้าหมายนั่นเอง จากปัญหาดังกล่าวเกิดจากบริษัทกรณีศึกษาฯ ยังไม่มีหลักการผสมที่ชัดเจน โดยอ้างอิงจากประสบการณ์ของพนักงานปฏิบัติการเพียงอย่างเดียว

ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าว จึงเกิดแนวคิดงานวิจัยในการหาสัดส่วนผสมน้ำมันเตาชนิดที่ 5 เพื่อให้ได้สัดส่วนที่ทำให้น้ำมันเตามีคุณสมบัติอยู่ในค่าเป้าหมายและต้นทุนต่ำที่สุด โดยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยและการแก้ไขปัญหาลูกหมู โดยเริ่มขั้นตอนการทำวิจัยดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ขั้นตอนการทำวิจัย

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ช่วงของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นข้อมูลการผสมทุกเบตซ์ของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ซึ่งอ้างอิงข้อมูลในอดีตของปี 2560-2562 ทั้งหมด 324 ชุด โดยข้อมูลการผสมน้ำมันเตาประกอบด้วยข้อมูลดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 คุณสมบัติต่างๆของข้อมูลดิบการผสมน้ำมันเตาจำนวน 324 ชุด

คุณสมบัติ	ส่วนผสมผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม				ผลิตภัณฑ์เป้าหมาย
	กากของหน่วยแยกความหนืด	น้ำมันดีเซล	น้ำมันเครื่องบิน	กากบรรยากาศหน่วยแยกกากคอนเดนเสท	น้ำมันเตาชนิดที่ 5
สัดส่วนที่ใช้ผสม	/				
จุดวาบไฟ	/				
ปริมาณกำมะถัน	/				
จุดไหลเท	/				
ความหนืด	/				
โลหะวานาเนียม	/				
โลหะนิกเกิล	/				

จากข้อมูลทั้งหมดพบว่าคุณสมบัติบางอย่างเป็นคุณสมบัติที่ไม่มีค่าเป้าหมาย กล่าวคือวัดคุณสมบัติเพื่อแสดงผลเท่านั้น ได้แก่ โลหะวานาเนียมและโลหะนิกเกิล ดังนั้นในการวิจัยจึงพิจารณาตัดข้อมูลคุณสมบัติโลหะวานาเนียมและโลหะนิกเกิลออก

ต่อมานำข้อมูลคุณสมบัติที่เหลืออยู่ได้แก่ สัดส่วนการผสม จุดวาบไฟ ปริมาณกำมะถัน จุดไหลเท ค่าความหนืด มาทำการค่าหาค่าผิดปกติ (outlier) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อตัดค่าข้อมูลที่มีความผิดปกติออกด้วยโปรแกรม minitab19 โดยหลังจากตัดข้อมูลผิดปกติออกเรียบร้อยแล้ว พบว่าข้อมูลเหลืออยู่ทั้งหมด 240 ชุด จากนั้นนำคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมต่างๆ มากำหนดค่าตัวแปรต้นเข้าดังตารางที่ 11 และคุณสมบัติของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 มากำหนดค่าตัวแปรตอบสนอง

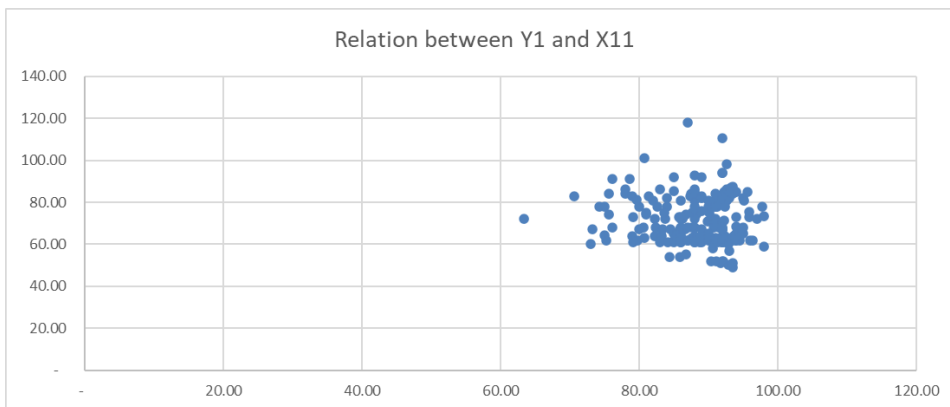
ตารางที่ 11 ตัวแปรต้นที่พิจารณาในการหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรต้น	หน่วย	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
สัดส่วนที่ใช้ผสม	เปอร์เซ็นต์, %	X ₁₁	X ₂₁	X ₃₁	X ₄₁
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส, °C	X ₁₂	X ₂₂	X ₃₂	X ₄₂
ปริมาณกำมะถัน	เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก, wt%	X ₁₃	X ₂₃	X ₃₃	X ₄₃
จุดไหลเท	องศาเซลเซียส, °C	X ₁₄	X ₂₄	X ₃₄	X ₄₄
ความหนืด	เซนติสโตก, cSt	X ₁₅	X ₂₅	X ₃₅	X ₄₅

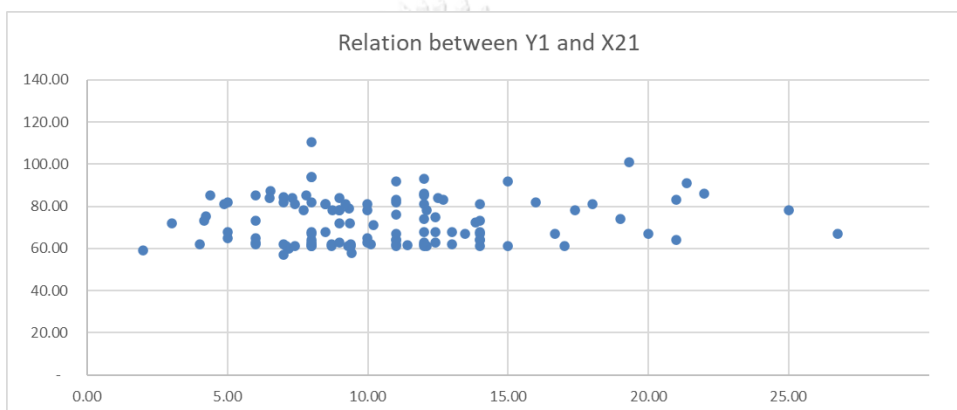
ตารางที่ 12 ตัวแปรตอบสนองเพื่อหาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่เหมาะสมกับคุณสมบัติและต้นทุน

ตัวแปรตอบสนอง	หน่วย	น้ำมันเตา
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส, °C	Y ₁
ปริมาณกำมะถัน	เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก, %	Y ₂
จุดไหลเท	องศาเซลเซียส, °C	Y ₃
ความหนืด	เซนติสโตก, cSt	Y ₄

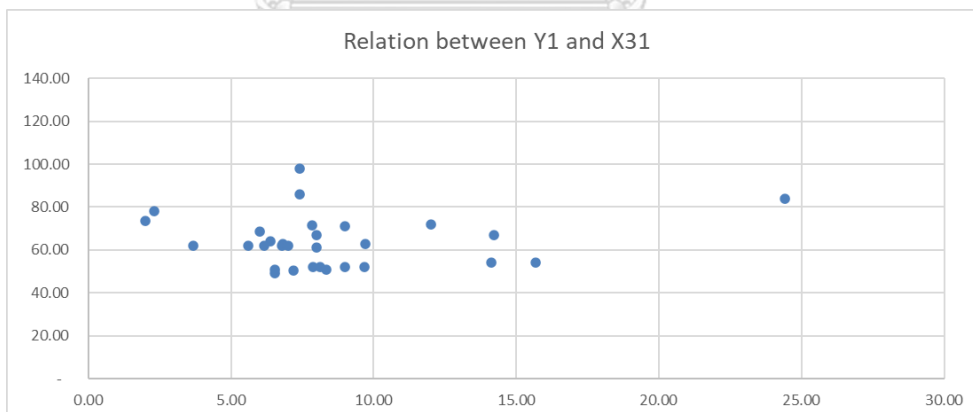
จากนั้นจึงพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง โดยยกตัวอย่างพิจารณาตัวแปรตอบสนอง Y₁ กับค่าตัวแปรต้นต่างๆ ดังภาพที่ 16-35



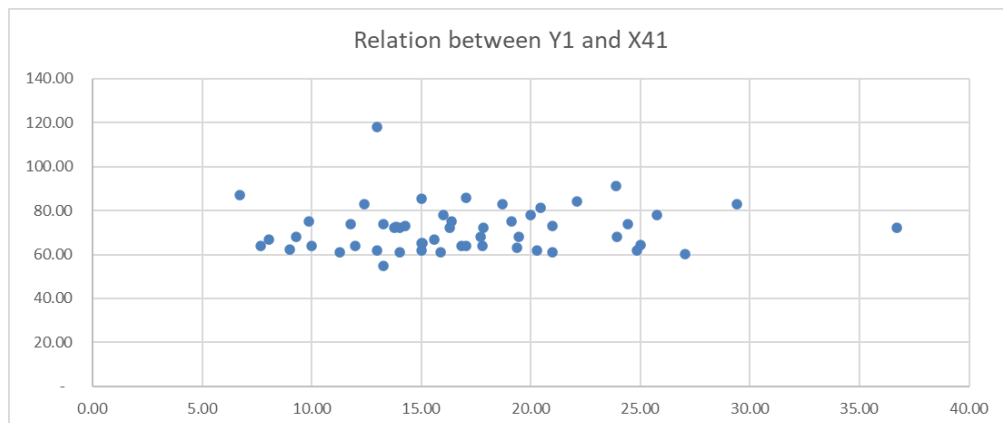
ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{11} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



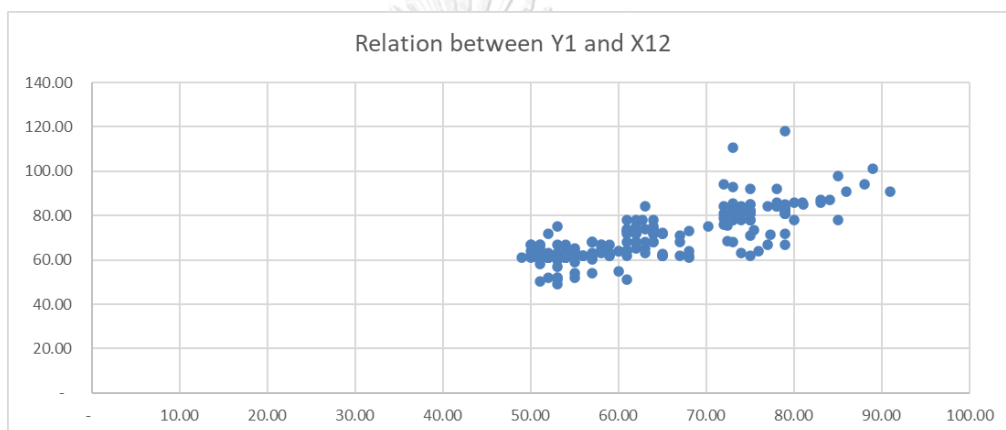
ภาพที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{21} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



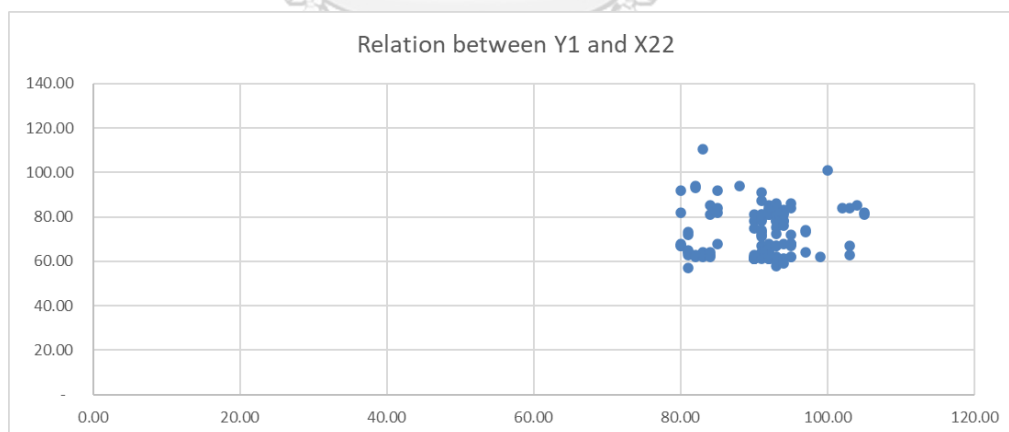
ภาพที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{31} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



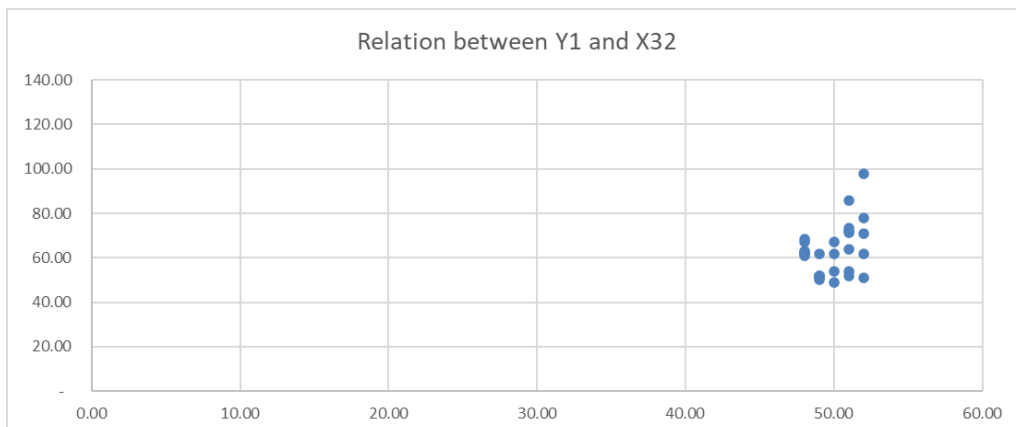
ภาพที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{41} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



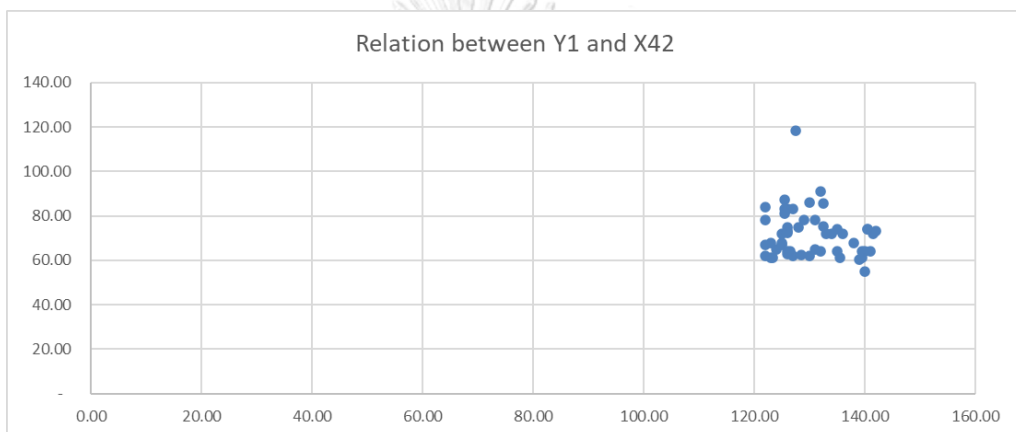
ภาพที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{12} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



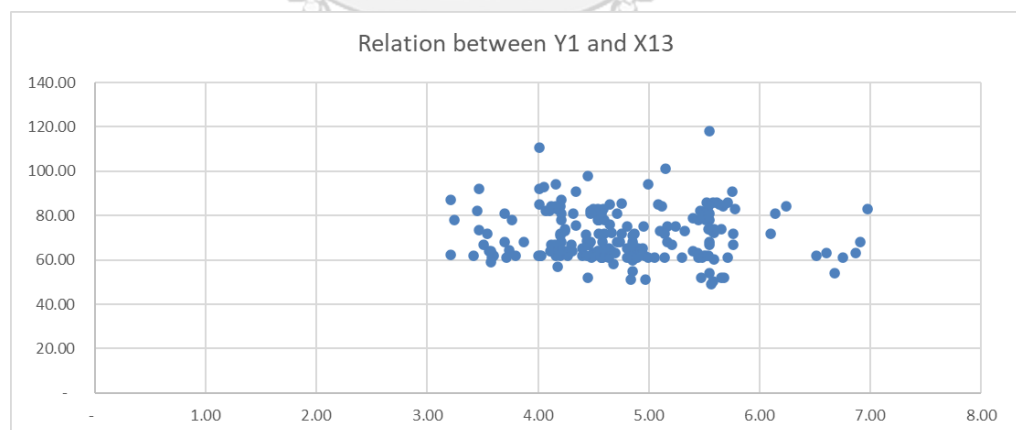
ภาพที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{22} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



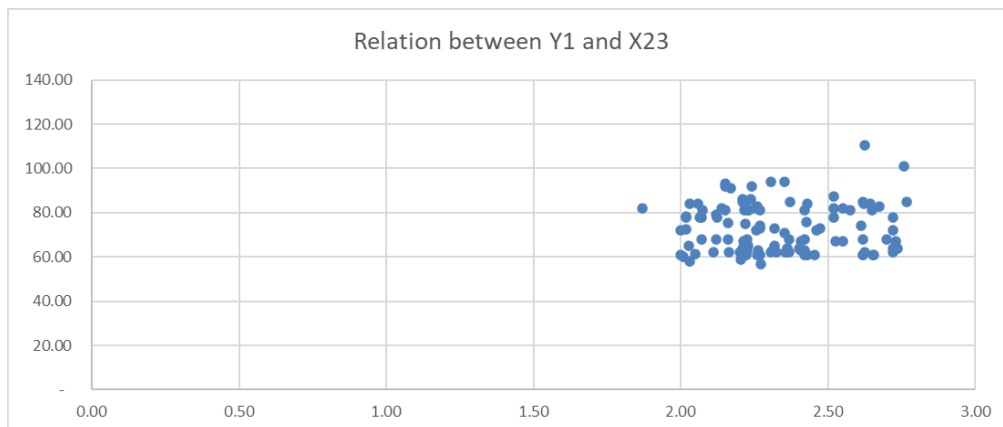
ภาพที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{32} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



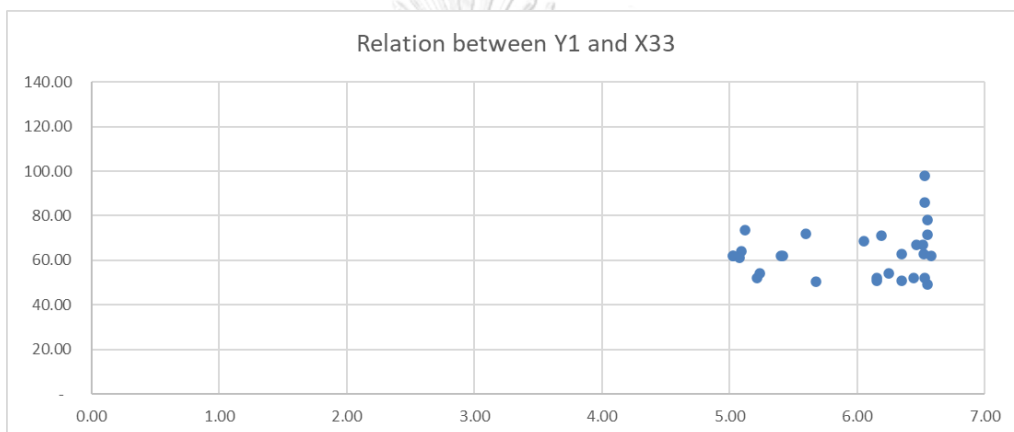
ภาพที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{42} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



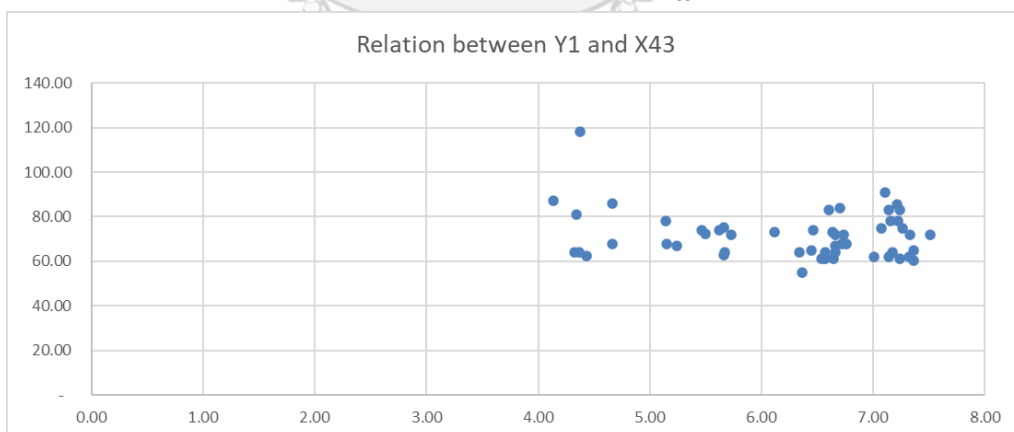
ภาพที่ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{13} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



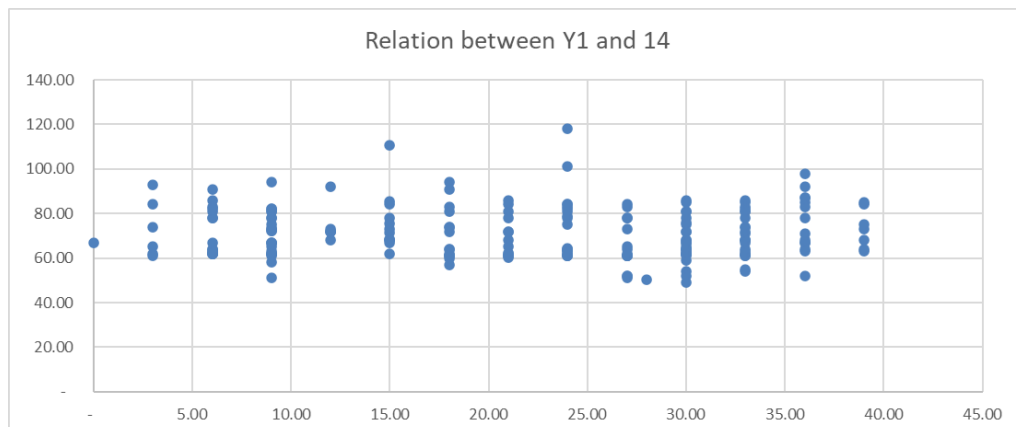
ภาพที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{23} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



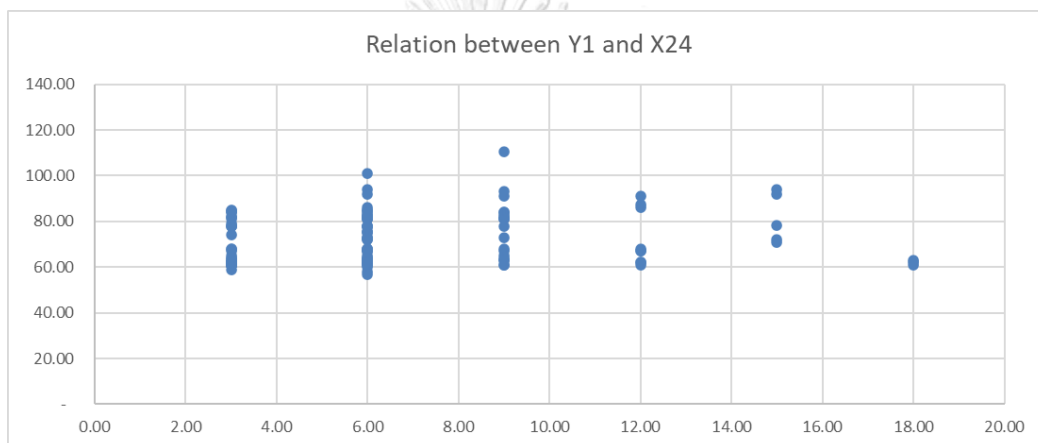
ภาพที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{33} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



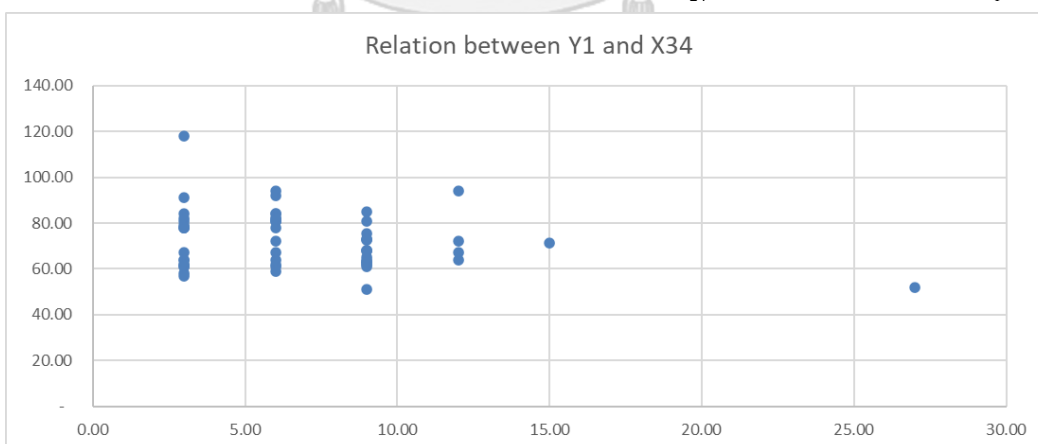
ภาพที่ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{43} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



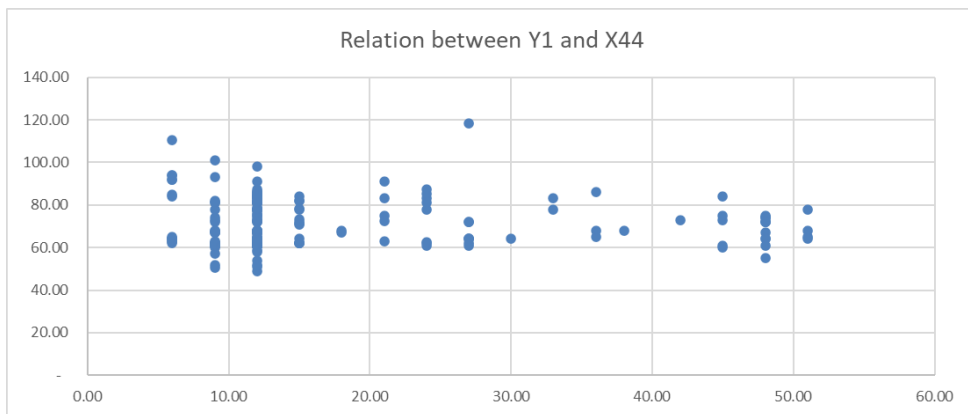
ภาพที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{14} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



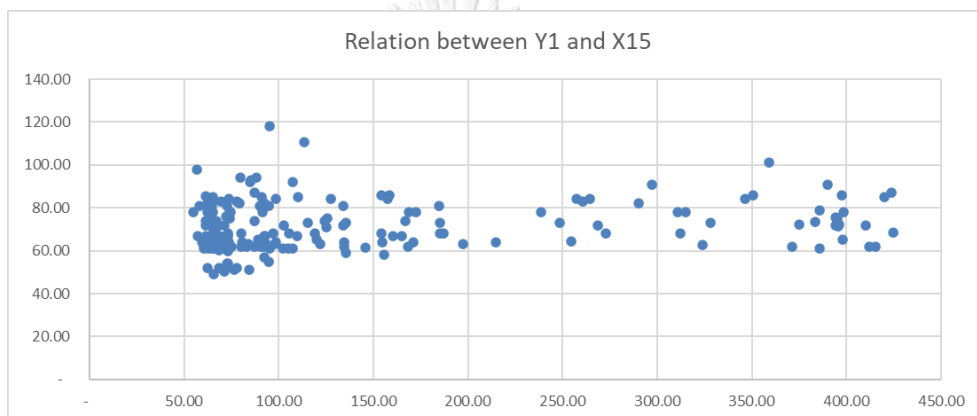
ภาพที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{24} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



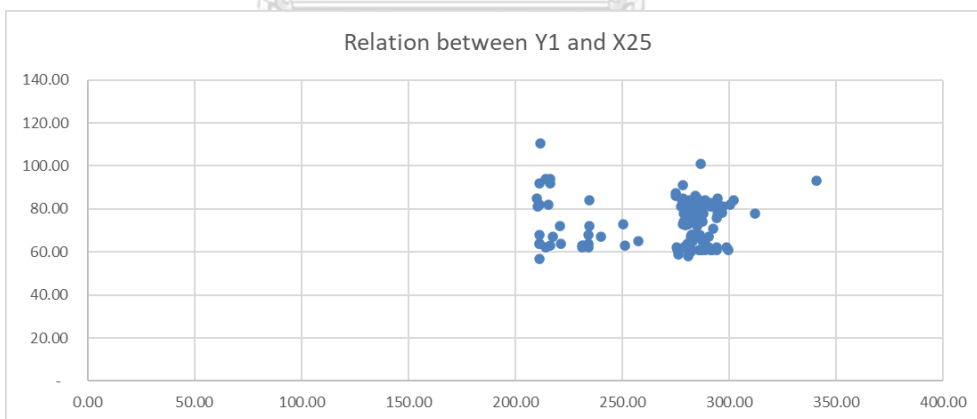
ภาพที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{34} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



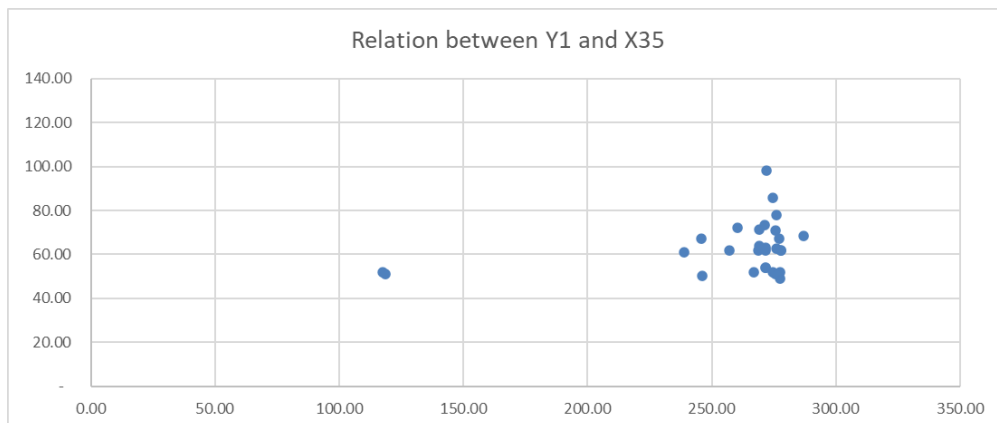
ภาพที่ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{44} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



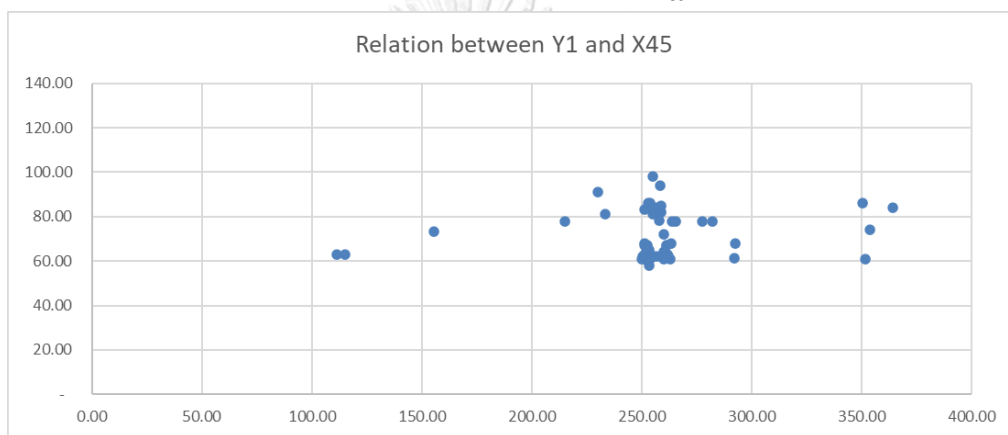
ภาพที่ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{15} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



ภาพที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{25} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



ภาพที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{35} และตัวแปรตอบสนอง Y_1



ภาพที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น X_{45} และตัวแปรตอบสนอง Y_1

จากภาพที่ 16-35 พบว่าตัวแปรตอบสนอง Y_1 มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต้นต่างๆ ในลักษณะหลากหลายรูปแบบ ดังนั้นจึงมีการพิจารณานำวิธีการวิเคราะห์การถดถอยมาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตอบแปรสนอง

3.2 การกำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองสำหรับการวิเคราะห์การถดถอย

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์สมการถดถอย มีการนำข้อมูลดิบการผสมทุกแบบตซ์ของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ซึ่งอ้างอิงข้อมูลในอดีตของปี 2560-2562 ทั้งหมด 240 ชุดข้อมูล โดยแบ่งเป็นชุดข้อมูล 160 ชุดเพื่อใช้หาสมการความสัมพันธ์ 40 ชุดข้อมูลในการทดสอบความแม่นยำของสมการความสัมพันธ์และอีก 40 ชุดข้อมูลในการหาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่เหมาะสมที่สุด โดยนำข้อมูลดิบทั้งหมด 240 ชุดมาทำการมาตรฐานของข้อมูล (Data standardization) เนื่องจากข้อมูลต่างๆมีหน่วยที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลมาทำให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันดังนี้

$$\text{Data standardization} = \frac{\text{raw data} - \text{mean}}{\text{standard deviation}} \quad (3.2)$$

จากนั้นนำข้อมูลที่ผ่านมาการทำ standardization มาทำการวิเคราะห์สมการถดถอย โดยกำหนดตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนองดังตารางที่ 13 และ 14 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ตัวแปรต้นที่พิจารณาในการหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรต้น	หน่วย	ภาคของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	ภาค บรรยากาศ หน่วยแยก ภาคคอน เดนเสท
สัดส่วนที่ใช้ผสม	เปอร์เซ็นต์, %	X ₁₁	X ₂₁	X ₃₁	X ₄₁
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส, °C	X ₁₂	X ₂₂	X ₃₂	X ₄₂
ปริมาณกำมะถัน	เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก, wt%	X ₁₃	X ₂₃	X ₃₃	X ₄₃
จุดไหลเท	องศาเซลเซียส, °C	X ₁₄	X ₂₄	X ₃₄	X ₄₄
ความหนืด	เซนติสโตก, cSt	X ₁₅	X ₂₅	X ₃₅	X ₄₅

ตารางที่ 14 ตัวแปรตอบสนองที่พิจารณาหาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่เหมาะสมกับคุณสมบัติและต้นทุน

ตัวแปรตอบสนอง	หน่วย	น้ำมันเตา
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส, °C	Y ₁
ปริมาณกำมะถัน	เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก, %wt	Y ₂
จุดไหลเท	องศาเซลเซียส, °C	Y ₃
ความหนืด	เซนติสโตก, cSt	Y ₄

รูปแบบของตัวแปรต้นที่จะใช้วิเคราะห์สมการถดถอยแต่ละชนิดจะนำเข้าทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ ตัวแปรต้นอันดับหนึ่ง (First order independent variables) ตัวแปรต้นอันดับสอง (Second orders independent variables) และปฏิสัมพันธ์ตัวแปรต้นอันดับหนึ่ง (First order with interaction variables)

3.3 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตา

การวิเคราะห์สมการถดถอย (regression analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง โดยผู้วิจัยจะพิจารณาสมการถดถอยที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับ (R^2 -adj) ที่มากที่สุดและค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ที่ต่ำที่สุด โดยจากการเก็บข้อมูลจำนวน 240 ข้อมูลของการผสมทุกแบบค้ชของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ดังภาคผนวก ก เพื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj) ของตัวแบบสมการถดถอย ด้วยโปรแกรม Minitab19

โดยการวิเคราะห์การถดถอยมีทั้งหมด 3 รูปแบบดังนี้

1. Multiple Linear Regression (การวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรแบบพหุคูณ)

โดยเลือกวิธี Multiple Linear Regression ในการวิเคราะห์เพราะต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหลายตัวกับตัวแปรตาม 1 ตัว เพื่อศึกษาว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่ร่วมกันอธิบายการผันแปรของตัวแปรตามได้

2. Stepwise Regression (การวิเคราะห์การถดถอยจากการเลือกตัวแปรโดยเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน)

โดยเลือกวิธี stepwise regression ในการวิเคราะห์เพราะต้องการเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญ โดยเป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่มีวิธีการผสมระหว่างการเลือกแบบก้าวหน้าและการตัดทิ้งแบบถอยหลัง

3. Partial Least Squares Regression (การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน)

โดยเลือกวิธี Partial Least Squares Regression ในการวิเคราะห์ เพราะการวิเคราะห์การถดถอยดังกล่าวมีการลดความเป็นสหสัมพันธ์ (Multicollinearity) ของตัวแปรต่างๆ

โดยทุกๆการวิเคราะห์การถดถอยจะมีการพิจารณาการคัดเลือกตัวแปรอีกครั้ง โดยมีตัวชี้วัดในการคัดเลือกตัวแปรต้นคือดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) ควรมีค่าน้อยกว่า 10

โดยหากการวิเคราะห์การถดถอย แสดงตัวแปรต้นที่มีค่า VIF มากกว่า 10 นั้นหมายถึงตัวแปรต้นตัวนั้นๆมีความเป็นสหสัมพันธ์ (Multicollinearity) คือมีสหสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปร

อิสระมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป กล่าวคือตัวแปรตามที่พยากรณ์จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยขึ้นอยู่กับสถานะของตัวแปรอิสระที่มีสหสัมพันธ์กันด้วย เพราะนอกจากตัวแปรตามจะเปลี่ยนแปลงตามตัวแปรต้นที่เปลี่ยนไปแล้ว ตัวแปรต้นบางตัวยังเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับตัวแปรต้นตัวอื่นๆ อีกชั้นเลยเกิดความไม่มีเสถียรภาพของการพยากรณ์ในเวลาต่างๆ

ดังนั้นในการวิเคราะห์วิธีการคัดเลือกตัวแปรต้น จะเริ่มจากวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาค่า VIF ของตัวแปรต้น หากค่า VIF ของตัวแปรต้น แสดงค่ามากกว่า 10 จะดำเนินการคัดตัวแปรต้นนั้นๆออก จากนั้นทำซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าจะตัวแปรต้นทุกตัวของสมการถดถอยจะแสดงค่า VIF น้อยกว่า 10

3.3.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาโดยวิธี Stepwise Regression

โดยภาคผนวก ข ได้สรุปข้อมูลตัวแปรต้นที่มีค่า VIF น้อยกว่า 10 ของแต่ละตัวแปรตอบสนอง โดยสมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนองเป็นตามตารางที่ 15 โดยมีผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 16-19

ตารางที่ 15 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Multiple Linear Regression

ตัวแปรตอบสนอง (Y)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj)
จุดวาบไฟ (Y_1)	75.17%
ปริมาณกำมะถัน (Y_2)	76.12%
จุดไหลเท (Y_3)	90.27%
ความหนืด (Y_4)	99.86%

ตารางที่ 16 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Multiple Linear Regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_1

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	112	15852.7	141.542	15.99	0.000
x12	1	112.9	112.930	12.76	0.001
x22	1	12.0	11.971	1.35	0.251
x42	1	10.5	10.549	1.19	0.281

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x13	1	43.5	43.459	4.91	0.032
x23	1	5.5	5.454	0.62	0.436
x14	1	67.6	67.569	7.63	0.008
x24	1	0.1	0.113	0.01	0.911
x34	1	36.6	36.629	4.14	0.048
x44	1	19.5	19.548	2.21	0.144
x15	1	7.1	7.130	0.81	0.374
x25	1	2.2	2.228	0.25	0.618
x21x21	1	37.4	37.399	4.22	0.045
x31x31	1	28.6	28.614	3.23	0.079
x41x41	1	5.4	5.431	0.61	0.437
x12x12	1	0.9	0.900	0.10	0.751
x22x22	1	0.8	0.760	0.09	0.771
x13x13	1	63.9	63.871	7.21	0.010
x23x23	1	0.6	0.587	0.07	0.798
x33x33	1	30.0	30.006	3.39	0.072
x43x43	1	41.0	41.040	4.64	0.036
x14x14	1	5.1	5.053	0.57	0.454
x24x24	1	25.2	25.208	2.85	0.098
x34x34	1	37.9	37.899	4.28	0.044
x44x44	1	4.6	4.574	0.52	0.476
x15x15	1	3.6	3.578	0.40	0.528
x25x25	1	0.9	0.896	0.10	0.752
x45x45	1	24.7	24.674	2.79	0.102
x21x31	1	25.9	25.902	2.93	0.094
x21x12	1	14.9	14.915	1.68	0.201
x21x22	1	2.5	2.472	0.28	0.600
x21x42	1	10.6	10.579	1.20	0.280

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x21x13	1	0.1	0.139	0.02	0.901
x21x23	1	1.3	1.283	0.14	0.705
x21x43	1	26.3	26.332	2.97	0.091
x21x14	1	8.9	8.862	1.00	0.322
x21x24	1	0.8	0.755	0.09	0.772
x21x44	1	29.6	29.636	3.35	0.074
x21x15	1	4.9	4.892	0.55	0.461
x21x25	1	18.4	18.429	2.08	0.156
x21x35	1	31.4	31.439	3.55	0.066
x31x41	1	28.2	28.185	3.18	0.081
x31x12	1	39.3	39.321	4.44	0.040
x31x22	1	46.3	46.271	5.23	0.027
x31x32	1	0.4	0.378	0.04	0.837
x31x13	1	43.4	43.423	4.91	0.032
x31x33	1	37.9	37.927	4.28	0.044
x31x14	1	24.5	24.537	2.77	0.103
x31x34	1	36.8	36.817	4.16	0.047
x31x15	1	35.6	35.639	4.03	0.051
x41x12	1	0.1	0.079	0.01	0.925
x41x32	1	24.0	23.970	2.71	0.107
x41x13	1	0.8	0.823	0.09	0.762
x41x33	1	31.2	31.164	3.52	0.067
x41x14	1	33.1	33.096	3.74	0.059
x41x44	1	6.8	6.812	0.77	0.385
x41x15	1	8.7	8.710	0.98	0.326
x41x45	1	0.5	0.479	0.05	0.817
x12x22	1	15.4	15.401	1.74	0.194
x12x32	1	46.1	46.147	5.21	0.027

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x12x42	1	0.1	0.127	0.01	0.905
x12x13	1	0.1	0.111	0.01	0.911
x12x23	1	0.3	0.292	0.03	0.857
x12x33	1	0.7	0.735	0.08	0.775
x12x43	1	1.3	1.342	0.15	0.699
x12x14	1	2.8	2.790	0.32	0.577
x12x24	1	0.0	0.000	0.00	0.995
x12x34	1	34.6	34.560	3.90	0.054
x12x44	1	1.7	1.710	0.19	0.662
x12x15	1	0.2	0.153	0.02	0.896
x12x25	1	7.1	7.135	0.81	0.374
x12x35	1	42.5	42.544	4.81	0.033
x12x45	1	27.8	27.765	3.14	0.083
x22x13	1	21.7	21.690	2.45	0.124
x22x23	1	4.7	4.650	0.53	0.472
x22x14	1	101.7	101.682	11.49	0.001
x22x24	1	0.5	0.499	0.06	0.813
x22x15	1	20.3	20.329	2.30	0.136
x22x25	1	6.3	6.337	0.72	0.402
x22x45	1	3.4	3.442	0.39	0.536
x32x13	1	23.2	23.225	2.62	0.112
x32x33	1	34.2	34.171	3.86	0.055
x32x14	1	59.1	59.116	6.68	0.013
x32x15	1	26.3	26.255	2.97	0.092
x42x13	1	3.7	3.746	0.42	0.519
x42x14	1	0.0	0.001	0.00	0.994
x42x15	1	47.5	47.481	5.36	0.025
x13x23	1	11.2	11.178	1.26	0.267

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x13x33	1	35.0	35.022	3.96	0.053
x13x43	1	8.0	7.956	0.90	0.348
x13x14	1	2.7	2.666	0.30	0.586
x13x24	1	4.8	4.773	0.54	0.466
x13x34	1	34.1	34.062	3.85	0.056
x13x44	1	24.0	24.022	2.71	0.106
x13x15	1	1.7	1.717	0.19	0.662
x13x25	1	2.5	2.492	0.28	0.598
x13x35	1	6.5	6.457	0.73	0.397
x23x14	1	9.1	9.102	1.03	0.316
x23x24	1	15.0	14.969	1.69	0.200
x33x14	1	50.1	50.132	5.66	0.021
x43x14	1	101.6	101.568	11.47	0.001
x43x15	1	26.7	26.738	3.02	0.089
x14x24	1	3.1	3.069	0.35	0.559
x14x44	1	6.8	6.784	0.77	0.386
x14x15	1	26.3	26.348	2.98	0.091
x14x25	1	48.0	48.045	5.43	0.024
x14x45	1	53.3	53.308	6.02	0.018
x24x15	1	1.5	1.526	0.17	0.680
x24x25	1	4.7	4.660	0.53	0.472
x44x15	1	5.1	5.127	0.58	0.450
x44x45	1	12.9	12.874	1.45	0.234
x15x25	1	4.1	4.119	0.47	0.498
x15x45	1	30.6	30.615	3.46	0.069
Error	47	416.1	8.853		
Total	159	16268.8			

ตารางที่ 17 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Multiple Linear Regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_2

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	82	304.324	3.7113	23.47	0.000
x13	1	28.039	28.0385	177.29	0.000
x14	1	0.178	0.1781	1.13	0.292
x15	1	0.082	0.0816	0.52	0.475
x21x21	1	0.102	0.1021	0.65	0.424
x41x41	1	0.497	0.4974	3.15	0.080
x12x12	1	0.057	0.0571	0.36	0.550
x13x13	1	2.279	2.2795	14.41	0.000
x23x23	1	0.001	0.0007	0.00	0.947
x14x14	1	0.019	0.0195	0.12	0.727
x24x24	1	0.000	0.0000	0.00	0.995
x34x34	1	0.683	0.6826	4.32	0.041
x44x44	1	2.844	2.8443	17.98	0.000
x15x15	1	0.033	0.0329	0.21	0.650
x25x25	1	1.353	1.3535	8.56	0.005
x21x12	1	0.016	0.0159	0.10	0.752
x21x22	1	0.064	0.0644	0.41	0.525
x21x13	1	0.037	0.0375	0.24	0.628
x21x23	1	0.023	0.0228	0.14	0.705
x21x14	1	0.141	0.1409	0.89	0.348
x21x24	1	0.100	0.1005	0.64	0.428
x21x15	1	0.023	0.0234	0.15	0.701
x21x25	1	0.083	0.0831	0.53	0.471
x31x12	1	0.016	0.0164	0.10	0.749
x31x13	1	0.194	0.1936	1.22	0.272
x31x33	1	0.909	0.9090	5.75	0.019

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x31x14	1	0.047	0.0475	0.30	0.585
x31x15	1	0.057	0.0574	0.36	0.549
x31x25	1	0.576	0.5758	3.64	0.060
x41x12	1	2.968	2.9682	18.77	0.000
x41x13	1	0.246	0.2459	1.55	0.216
x41x14	1	0.684	0.6843	4.33	0.041
x41x44	1	0.163	0.1634	1.03	0.313
x41x15	1	0.967	0.9671	6.11	0.016
x41x45	1	0.646	0.6459	4.08	0.047
x12x22	1	0.012	0.0120	0.08	0.783
x12x13	1	0.002	0.0016	0.01	0.920
x12x23	1	0.525	0.5252	3.32	0.072
x12x33	1	0.036	0.0356	0.22	0.637
x12x14	1	0.078	0.0785	0.50	0.483
x12x24	1	0.107	0.1071	0.68	0.413
x12x34	1	0.298	0.2982	1.89	0.174
x12x44	1	0.466	0.4664	2.95	0.090
x12x15	1	0.593	0.5930	3.75	0.056
x12x25	1	0.052	0.0517	0.33	0.569
x12x45	1	0.122	0.1218	0.77	0.383
x22x13	1	0.002	0.0025	0.02	0.901
x22x23	1	0.001	0.0012	0.01	0.932
x22x14	1	0.010	0.0099	0.06	0.803
x22x24	1	0.110	0.1101	0.70	0.407
x22x15	1	0.001	0.0005	0.00	0.955
x32x15	1	0.002	0.0016	0.01	0.921
x32x25	1	1.222	1.2219	7.73	0.007
x42x14	1	0.259	0.2592	1.64	0.204

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x42x15	1	4.088	4.0881	25.85	0.000
x42x25	1	1.853	1.8526	11.71	0.001
x13x23	1	0.001	0.0007	0.00	0.947
x13x43	1	1.528	1.5278	9.66	0.003
x13x14	1	0.040	0.0405	0.26	0.614
x13x24	1	0.002	0.0021	0.01	0.908
x13x34	1	0.232	0.2323	1.47	0.229
x13x44	1	7.262	7.2624	45.92	0.000
x13x15	1	0.080	0.0797	0.50	0.480
x13x25	1	0.002	0.0019	0.01	0.913
x13x45	1	0.106	0.1055	0.67	0.417
x23x14	1	0.015	0.0150	0.09	0.759
x23x24	1	0.031	0.0306	0.19	0.661
x33x15	1	0.164	0.1643	1.04	0.311
x43x14	1	2.237	2.2372	14.15	0.000
x43x15	1	0.726	0.7263	4.59	0.035
x14x24	1	0.006	0.0061	0.04	0.844
x14x44	1	0.041	0.0411	0.26	0.612
x14x15	1	0.032	0.0322	0.20	0.653
x14x25	1	0.109	0.1089	0.69	0.409
x14x45	1	4.170	4.1699	26.37	0.000
x24x15	1	0.001	0.0010	0.01	0.937
x24x25	1	0.240	0.2397	1.52	0.222
x34x15	1	0.160	0.1601	1.01	0.318
x34x25	1	0.001	0.0014	0.01	0.926
x44x15	1	0.610	0.6097	3.85	0.053
x15x25	1	0.186	0.1860	1.18	0.282
x15x45	1	1.493	1.4929	9.44	0.003

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x35x45	1	0.032	0.0324	0.20	0.652
Error	77	12.178	0.1582		
Total	159	316.502			

ตารางที่ 18 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Multiple Linear Regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_3

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	102	16025.6	157.11	39.28	0.000
x12	1	12.6	12.64	3.16	0.081
x13	1	3.2	3.19	0.80	0.376
x14	1	1139.6	1139.63	284.92	0.000
x15	1	6.5	6.46	1.61	0.209
x21x21	1	6.2	6.23	1.56	0.217
x41x41	1	11.9	11.89	2.97	0.090
x12x12	1	0.2	0.24	0.06	0.808
x13x13	1	8.6	8.57	2.14	0.149
x23x23	1	0.0	0.01	0.00	0.968
x14x14	1	0.0	0.02	0.00	0.948
x24x24	1	2.7	2.70	0.67	0.415
x15x15	1	17.2	17.20	4.30	0.043
x25x25	1	0.8	0.81	0.20	0.653
x21x12	1	7.0	7.04	1.76	0.190
x21x22	1	0.0	0.02	0.01	0.941
x21x13	1	4.6	4.63	1.16	0.286
x21x23	1	0.0	0.00	0.00	0.984
x21x14	1	20.9	20.91	5.23	0.026
x21x24	1	5.8	5.84	1.46	0.232
x21x15	1	16.3	16.28	4.07	0.048

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x21x25	1	0.1	0.08	0.02	0.890
x31x12	1	1.5	1.51	0.38	0.541
x31x13	1	0.9	0.89	0.22	0.639
x31x33	1	3.1	3.12	0.78	0.381
x31x14	1	3.0	2.97	0.74	0.393
x31x44	1	0.1	0.05	0.01	0.910
x31x15	1	0.0	0.01	0.00	0.954
x31x45	1	0.0	0.03	0.01	0.937
x41x12	1	5.5	5.53	1.38	0.245
x41x42	1	14.1	14.15	3.54	0.065
x41x13	1	4.9	4.86	1.21	0.275
x41x23	1	15.0	14.97	3.74	0.058
x41x14	1	4.2	4.24	1.06	0.307
x41x44	1	0.8	0.79	0.20	0.658
x41x15	1	26.8	26.81	6.70	0.012
x41x45	1	4.9	4.91	1.23	0.273
x12x22	1	1.5	1.50	0.38	0.542
x12x32	1	13.8	13.83	3.46	0.068
x12x42	1	16.1	16.08	4.02	0.050
x12x13	1	2.0	2.02	0.51	0.480
x12x23	1	0.1	0.08	0.02	0.891
x12x33	1	6.2	6.19	1.55	0.218
x12x43	1	0.4	0.37	0.09	0.761
x12x14	1	0.3	0.26	0.06	0.801
x12x24	1	0.2	0.16	0.04	0.842
x12x44	1	21.3	21.31	5.33	0.025
x12x15	1	1.5	1.47	0.37	0.547
x12x25	1	0.4	0.37	0.09	0.761

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x12x35	1	3.4	3.35	0.84	0.364
x12x45	1	5.4	5.37	1.34	0.251
x22x13	1	7.2	7.19	1.80	0.185
x22x23	1	0.2	0.21	0.05	0.822
x22x14	1	0.9	0.86	0.21	0.645
x22x24	1	2.2	2.15	0.54	0.466
x22x15	1	0.1	0.10	0.03	0.872
x22x25	1	0.6	0.63	0.16	0.693
x22x45	1	0.1	0.07	0.02	0.898
x32x43	1	0.3	0.33	0.08	0.776
x32x14	1	13.5	13.53	3.38	0.071
x32x44	1	0.0	0.05	0.01	0.914
x32x15	1	2.3	2.26	0.57	0.455
x32x25	1	0.1	0.14	0.04	0.850
x42x13	1	9.2	9.22	2.31	0.134
x42x23	1	0.6	0.63	0.16	0.693
x42x14	1	0.9	0.90	0.22	0.638
x42x24	1	4.0	4.03	1.01	0.320
x42x15	1	20.0	20.04	5.01	0.029
x42x25	1	4.8	4.81	1.20	0.277
x13x23	1	0.0	0.02	0.01	0.943
x13x33	1	0.9	0.91	0.23	0.636
x13x43	1	3.2	3.19	0.80	0.375
x13x14	1	15.9	15.88	3.97	0.051
x13x24	1	0.1	0.10	0.03	0.873
x13x34	1	0.2	0.20	0.05	0.826
x13x44	1	3.7	3.67	0.92	0.342
x13x15	1	0.7	0.72	0.18	0.673

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x13x25	1	8.6	8.61	2.15	0.148
x13x45	1	17.3	17.32	4.33	0.042
x23x33	1	2.8	2.80	0.70	0.407
x23x43	1	0.9	0.90	0.22	0.638
x23x14	1	0.3	0.28	0.07	0.793
x23x24	1	5.3	5.31	1.33	0.254
x23x34	1	0.0	0.01	0.00	0.963
x23x44	1	1.9	1.93	0.48	0.490
x33x14	1	13.7	13.72	3.43	0.069
x33x15	1	22.0	21.97	5.49	0.023
x43x14	1	1.5	1.48	0.37	0.546
x43x15	1	5.3	5.29	1.32	0.255
x14x24	1	0.3	0.34	0.09	0.771
x14x34	1	1.0	1.04	0.26	0.613
x14x44	1	23.9	23.88	5.97	0.018
x14x15	1	0.2	0.23	0.06	0.810
x14x25	1	2.1	2.14	0.53	0.468
x14x45	1	26.1	26.09	6.52	0.013
x24x15	1	0.5	0.54	0.14	0.714
x24x25	1	0.7	0.67	0.17	0.684
x34x15	1	0.5	0.50	0.13	0.724
x44x15	1	0.0	0.00	0.00	0.979
x15x25	1	0.0	0.00	0.00	0.979
x15x35	1	0.4	0.37	0.09	0.762
x15x45	1	0.7	0.70	0.18	0.677
x25x35	1	4.1	4.05	1.01	0.318
Error	57	228.0	4.00		
Total	159	16253.6			

ตารางที่ 19 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Multiple Linear Regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_4

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	87	2244898	25803	1350.53	0.000
x12	1	8	8	0.41	0.523
x13	1	30	30	1.54	0.218
x14	1	1	1	0.07	0.793
x15	1	106483	106483	5573.25	0.000
x21x21	1	136	136	7.14	0.009
x41x41	1	26	26	1.34	0.250
x12x12	1	1	1	0.03	0.854
x13x13	1	3	3	0.18	0.677
x23x23	1	55	55	2.89	0.093
x14x14	1	65	65	3.39	0.070
x24x24	1	1	1	0.06	0.812
x15x15	1	1	1	0.07	0.794
x21x12	1	33	33	1.74	0.192
x21x13	1	20	20	1.04	0.310
x21x23	1	31	31	1.63	0.206
x21x14	1	0	0	0.01	0.927
x21x24	1	2	2	0.10	0.747
x21x15	1	43	43	2.27	0.136
x21x25	1	132	132	6.91	0.010
x31x13	1	63	63	3.28	0.074
x31x33	1	6	6	0.33	0.568
x31x14	1	110	110	5.75	0.019
x31x24	1	13	13	0.66	0.418
x31x15	1	42	42	2.19	0.143
x31x45	1	4	4	0.20	0.659

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x41x12	1	1	1	0.06	0.807
x41x32	1	3	3	0.17	0.686
x41x13	1	2	2	0.09	0.761
x41x14	1	59	59	3.09	0.083
x41x44	1	9	9	0.48	0.492
x41x15	1	10	10	0.50	0.483
x12x22	1	14	14	0.74	0.393
x12x42	1	1	1	0.03	0.866
x12x13	1	7	7	0.39	0.534
x12x23	1	55	55	2.88	0.094
x12x33	1	35	35	1.86	0.177
x12x14	1	10	10	0.52	0.475
x12x24	1	9	9	0.48	0.490
x12x34	1	0	0	0.01	0.930
x12x44	1	24	24	1.27	0.264
x12x15	1	12	12	0.65	0.423
x12x25	1	14	14	0.72	0.398
x12x45	1	8	8	0.43	0.516
x22x13	1	11	11	0.57	0.453
x22x23	1	52	52	2.73	0.103
x22x14	1	0	0	0.00	0.955
x22x24	1	7	7	0.37	0.545
x22x34	1	77	77	4.01	0.049
x22x15	1	17	17	0.87	0.354
x22x25	1	4	4	0.20	0.653
x22x35	1	2	2	0.13	0.723
x32x43	1	26	26	1.37	0.246
x32x14	1	15	15	0.77	0.384

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x32x24	1	22	22	1.13	0.290
x32x45	1	5	5	0.25	0.617
x42x13	1	13	13	0.69	0.408
x42x23	1	2	2	0.11	0.740
x42x33	1	11	11	0.59	0.443
x42x14	1	38	38	1.99	0.162
x42x24	1	25	25	1.29	0.260
x42x34	1	79	79	4.15	0.045
x42x15	1	11	11	0.58	0.449
x13x23	1	36	36	1.88	0.174
x13x14	1	12	12	0.61	0.436
x13x24	1	69	69	3.62	0.061
x13x34	1	30	30	1.56	0.216
x13x15	1	112	112	5.85	0.018
x13x25	1	1	1	0.04	0.839
x13x45	1	1	1	0.04	0.847
x23x43	1	32	32	1.69	0.198
x23x14	1	15	15	0.78	0.381
x23x24	1	1	1	0.07	0.794
x33x25	1	14	14	0.71	0.403
x14x24	1	86	86	4.51	0.037
x14x34	1	26	26	1.35	0.249
x14x44	1	32	32	1.66	0.202
x14x15	1	1	1	0.05	0.818
x14x25	1	5	5	0.24	0.628
x14x45	1	83	83	4.35	0.041
x24x44	1	0	0	0.00	0.978
x24x15	1	0	0	0.00	0.993

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x34x15	1	59	59	3.11	0.082
x44x15	1	8	8	0.43	0.516
x44x25	1	6	6	0.33	0.567
x15x25	1	12	12	0.64	0.427
x15x35	1	6	6	0.31	0.577
x15x45	1	33	33	1.72	0.194
Error	72	1376	19		
Total	159	2246274			

เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y1 = & -204 + 24.67 x_{12} - 125 x_{22} - 719 x_{42} + 2.31 x_{13} + 26.7 x_{23} \\
 & - 4.51 x_{14} - 1.3 x_{24} - 484 x_{34} - 43.2 x_{44} - 3.19 x_{15} + 24.5 x_{25} \\
 & - 1.455 x_{21x21} - 14.67 x_{31x31} + 1.77 x_{41x41} + 0.198 x_{12x12} \\
 & + 13.1 x_{22x22} + 1.679 x_{13x13} - 3.6 x_{23x23} + 152.0 x_{33x33} \\
 & - 94.4 x_{43x43} - 0.359 x_{14x14} + 0.794 x_{24x24} - 44.9 x_{34x34} \\
 & + 11.4 x_{44x44} + 0.466 x_{15x15} + 4.8 x_{25x25} - 38.7 x_{45x45} \\
 & + 1511 x_{21x31} - 0.889 x_{21x12} - 7.1 x_{21x22} - 682 x_{21x42} \\
 & + 0.16 x_{21x13} + 1.59 x_{21x23} - 288 x_{21x43} - 0.913 x_{21x14} \\
 & + 0.34 x_{21x24} + 72.2 x_{21x44} - 0.566 x_{21x15} + 16.7 x_{21x25} \\
 & - 324 x_{21x35} - 4980 x_{31x41} + 40.9 x_{31x12} - 416 x_{31x22} \\
 & + 6.9 x_{31x32} + 38.5 x_{31x13} - 146.0 x_{31x33} - 8.45 x_{31x14} \\
 & + 203.3 x_{31x34} - 67.2 x_{31x15} + 0.31 x_{41x12} + 1397 x_{41x32} \\
 & + 0.67 x_{41x13} + 3131 x_{41x33} + 4.76 x_{41x14} + 6.66 x_{41x44} \\
 & - 5.71 x_{41x15} - 2.4 x_{41x45} + 9.84 x_{12x22} + 266 x_{12x32} \\
 & - 1.9 x_{12x42} - 0.070 x_{12x13} - 0.48 x_{12x23} - 3.3 x_{12x33} \\
 & - 7.4 x_{12x43} + 0.254 x_{12x14} + 0.003 x_{12x24} + 151.8 x_{12x34} \\
 & - 2.73 x_{12x44} - 0.092 x_{12x15} + 6.74 x_{12x25} - 127.2 x_{12x35} \\
 & + 28.2 x_{12x45} + 21.5 x_{22x13} - 29.8 x_{22x23} + 19.81 x_{22x14} \\
 & - 3.8 x_{22x24} - 12.12 x_{22x15} - 60.2 x_{22x25} - 50.6 x_{22x45} \\
 & - 65.4 x_{32x13} + 368 x_{32x33} + 49.0 x_{32x14} + 43.1 x_{32x15} \\
 & - 5.83 x_{42x13} - 0.1 x_{42x14} + 40.3 x_{42x15} + 4.55 x_{13x23} \\
 & + 94.4 x_{13x33} + 11.7 x_{13x43} - 0.454 x_{13x14} - 0.492 x_{13x24} \\
 & + 32.4 x_{13x34} + 12.11 x_{13x44} + 0.49 x_{13x15} - 2.99 x_{13x25} \\
 & - 14.5 x_{13x35} - 2.58 x_{23x14} - 3.91 x_{23x24} - 44.8 x_{33x14} \\
 & + 31.33 x_{43x14} - 64.0 x_{43x15} - 0.419 x_{14x24} - 5.28 x_{14x44} \\
 & - 0.967 x_{14x15} - 15.02 x_{14x25} - 31.8 x_{14x45} - 0.263 x_{24x15} \\
 & + 7.10 x_{24x25} - 9.7 x_{44x15} + 42.4 x_{44x45} + 7.3 x_{15x25} \\
 & + 38.6 x_{15x45}
 \end{aligned}$$

(3.3)

$$\begin{aligned}
Y_2 = & 4.355 + 0.8425 x^{13} - 0.0593 x^{14} - 0.090 x^{15} - 0.0682 x^{21}x^{21} \\
& + 0.210 x^{41}x^{41} + 0.0346 x^{12}x^{12} - 0.1985 x^{13}x^{13} - 0.034 x^{23}x^{23} \\
& - 0.0186 x^{14}x^{14} + 0.0003 x^{24}x^{24} + 0.1808 x^{34}x^{34} \\
& + 0.616 x^{44}x^{44} + 0.0386 x^{15}x^{15} + 1.062 x^{25}x^{25} + 0.0257 x^{21}x^{12} \\
& + 0.296 x^{21}x^{22} - 0.065 x^{21}x^{13} + 0.176 x^{21}x^{23} - 0.0853 x^{21}x^{14} \\
& - 0.094 x^{21}x^{24} - 0.0360 x^{21}x^{15} - 0.320 x^{21}x^{25} + 0.096 x^{31}x^{12} \\
& + 0.243 x^{31}x^{13} + 0.345 x^{31}x^{33} - 0.099 x^{31}x^{14} - 0.126 x^{31}x^{15} \\
& + 0.471 x^{31}x^{25} + 1.014 x^{41}x^{12} - 0.1228 x^{41}x^{13} + 0.338 x^{41}x^{14} \\
& + 0.469 x^{41}x^{44} - 0.830 x^{41}x^{15} - 0.625 x^{41}x^{45} + 0.167 x^{12}x^{22} \\
& - 0.0058 x^{12}x^{13} - 0.578 x^{12}x^{23} + 0.194 x^{12}x^{33} - 0.0364 x^{12}x^{14} \\
& - 0.0544 x^{12}x^{24} + 0.291 x^{12}x^{34} - 0.510 x^{12}x^{44} - 0.1321 x^{12}x^{15} \\
& + 0.339 x^{12}x^{25} - 0.323 x^{12}x^{45} - 0.095 x^{22}x^{13} + 0.066 x^{22}x^{23} \\
& + 0.113 x^{22}x^{14} - 0.732 x^{22}x^{24} - 0.039 x^{22}x^{15} - 0.062 x^{32}x^{15} \\
& + 1.667 x^{32}x^{25} - 0.940 x^{42}x^{14} - 3.841 x^{42}x^{15} + 2.226 x^{42}x^{25} \\
& - 0.031 x^{13}x^{23} + 1.619 x^{13}x^{43} - 0.0301 x^{13}x^{14} + 0.0090 x^{13}x^{24} \\
& + 0.1156 x^{13}x^{34} - 1.601 x^{13}x^{44} + 0.072 x^{13}x^{15} + 0.052 x^{13}x^{25} \\
& + 0.381 x^{13}x^{45} + 0.092 x^{23}x^{14} - 0.166 x^{23}x^{24} - 0.285 x^{33}x^{15} \\
& + 2.583 x^{43}x^{14} + 1.935 x^{43}x^{15} + 0.0148 x^{14}x^{24} - 0.110 x^{14}x^{44} \\
& - 0.0273 x^{14}x^{15} - 0.288 x^{14}x^{25} - 2.003 x^{14}x^{45} + 0.0062 x^{24}x^{15} \\
& + 0.973 x^{24}x^{25} + 0.175 x^{34}x^{15} + 0.027 x^{34}x^{25} + 0.461 x^{44}x^{15} \\
& - 0.740 x^{15}x^{25} + 1.491 x^{15}x^{45} - 0.230 x^{35}x^{45}
\end{aligned}$$

(3.4)

$$\begin{aligned}
Y_3 = & 18.91 - 0.769 x^{12} - 0.365 x^{13} + 8.546 x^{14} - 1.27 x^{15} \\
& - 0.566 x^{21}x^{21} + 1.681 x^{41}x^{41} + 0.088 x^{12}x^{12} - 0.463 x^{13}x^{13} \\
& + 0.36 x^{23}x^{23} - 0.019 x^{14}x^{14} - 0.247 x^{24}x^{24} + 0.981 x^{15}x^{15} \\
& + 3.74 x^{25}x^{25} + 0.581 x^{21}x^{12} - 0.41 x^{21}x^{22} - 0.841 x^{21}x^{13} \\
& + 0.05 x^{21}x^{23} - 1.179 x^{21}x^{14} - 0.809 x^{21}x^{24} + 1.012 x^{21}x^{15} \\
& + 0.93 x^{21}x^{25} - 1.57 x^{31}x^{12} - 0.82 x^{31}x^{13} - 0.643 x^{31}x^{33} \\
& - 1.72 x^{31}x^{14} - 10.8 x^{31}x^{44} - 0.09 x^{31}x^{15} + 7.6 x^{31}x^{45} \\
& + 2.29 x^{41}x^{12} + 16.28 x^{41}x^{42} + 1.34 x^{41}x^{13} + 34.1 x^{41}x^{23} \\
& + 1.27 x^{41}x^{14} - 1.93 x^{41}x^{44} - 6.86 x^{41}x^{15} + 4.75 x^{41}x^{45} \\
& - 2.51 x^{12}x^{22} - 12.84 x^{12}x^{32} - 22.0 x^{12}x^{42} + 0.264 x^{12}x^{13} \\
& - 0.23 x^{12}x^{23} + 4.51 x^{12}x^{33} + 3.8 x^{12}x^{43} + 0.076 x^{12}x^{14} \\
& + 0.071 x^{12}x^{24} + 7.56 x^{12}x^{44} - 0.259 x^{12}x^{15} - 1.40 x^{12}x^{25} \\
& + 6.55 x^{12}x^{35} + 5.56 x^{12}x^{45} - 6.84 x^{22}x^{13} + 2.7 x^{22}x^{23} \\
& + 1.67 x^{22}x^{14} + 5.93 x^{22}x^{24} + 0.68 x^{22}x^{15} + 9.3 x^{22}x^{25} \\
& + 4.4 x^{22}x^{45} + 23.3 x^{32}x^{43} - 12.05 x^{32}x^{14} - 9.0 x^{32}x^{44} \\
& - 7.43 x^{32}x^{15} + 1.9 x^{32}x^{25} - 9.19 x^{42}x^{13} - 7.1 x^{42}x^{23} \\
& - 2.76 x^{42}x^{14} + 12.8 x^{42}x^{24} + 13.69 x^{42}x^{15} + 17.3 x^{42}x^{25} \\
& + 0.19 x^{13}x^{23} - 1.31 x^{13}x^{33} - 5.34 x^{13}x^{43} - 0.808 x^{13}x^{14} \\
& + 0.070 x^{13}x^{24} - 0.23 x^{13}x^{34} + 3.19 x^{13}x^{44} - 0.294 x^{13}x^{15} \\
& + 4.77 x^{13}x^{25} + 9.03 x^{13}x^{45} + 2.37 x^{23}x^{33} - 14.3 x^{23}x^{43} \\
& - 0.44 x^{23}x^{14} + 2.26 x^{23}x^{24} - 0.08 x^{23}x^{34} + 2.93 x^{23}x^{44} \\
& + 8.82 x^{33}x^{14} + 5.11 x^{33}x^{15} + 3.16 x^{43}x^{14} - 8.17 x^{43}x^{15} \\
& - 0.125 x^{14}x^{24} - 1.57 x^{14}x^{34} + 4.33 x^{14}x^{44} + 0.087 x^{14}x^{15} \\
& - 2.90 x^{14}x^{25} - 8.03 x^{14}x^{45} + 0.155 x^{24}x^{15} + 2.53 x^{24}x^{25} \\
& - 0.62 x^{34}x^{15} + 0.07 x^{44}x^{15} - 0.17 x^{15}x^{25} + 2.47 x^{15}x^{35} \\
& + 1.71 x^{15}x^{45} + 11.7 x^{25}x^{35}
\end{aligned}$$

(3.5)

$$\begin{aligned}
Y_4 = & 193.0 + 0.499 x_{12} - 0.889 x_{13} - 0.204 x_{14} + 119.63 x_{15} \\
& + 2.574 x_{21x21} - 2.19 x_{41x41} + 0.126 x_{12x12} - 0.244 x_{13x13} \\
& - 32.9 x_{23x23} + 1.092 x_{14x14} + 0.148 x_{24x24} + 0.248 x_{15x15} \\
& - 1.187 x_{21x12} - 1.59 x_{21x13} + 6.41 x_{21x23} - 0.10 x_{21x14} \\
& + 0.44 x_{21x24} + 1.58 x_{21x15} - 16.49 x_{21x25} - 2.26 x_{31x13} \\
& - 2.99 x_{31x33} - 6.43 x_{31x14} - 16.2 x_{31x24} - 3.77 x_{31x15} \\
& + 4.11 x_{31x45} - 0.73 x_{41x12} + 9.0 x_{41x32} - 0.31 x_{41x13} \\
& - 3.73 x_{41x14} + 5.20 x_{41x44} + 3.32 x_{41x15} + 5.43 x_{12x22} \\
& - 1.66 x_{12x42} - 0.422 x_{12x13} - 5.88 x_{12x23} - 4.87 x_{12x33} \\
& + 0.439 x_{12x14} - 0.504 x_{12x24} + 0.23 x_{12x34} - 6.90 x_{12x44} \\
& + 0.689 x_{12x15} - 5.03 x_{12x25} + 3.62 x_{12x45} + 6.26 x_{22x13} \\
& + 33.5 x_{22x23} - 0.38 x_{22x14} - 8.8 x_{22x24} - 106.1 x_{22x34} \\
& - 7.50 x_{22x15} + 8.0 x_{22x25} + 4.8 x_{22x35} + 162 x_{32x43} \\
& + 6.41 x_{32x14} - 98.1 x_{32x24} - 9.5 x_{32x45} - 4.43 x_{42x13} \\
& + 7.4 x_{42x23} + 60.1 x_{42x33} + 12.83 x_{42x14} + 85.5 x_{42x24} \\
& + 271 x_{42x34} - 6.91 x_{42x15} - 6.97 x_{13x23} - 0.574 x_{13x14} \\
& - 1.749 x_{13x24} + 1.28 x_{13x34} - 2.67 x_{13x15} - 1.16 x_{13x25} \\
& + 1.13 x_{13x45} - 59.7 x_{23x43} - 3.03 x_{23x14} - 1.11 x_{23x24} \\
& - 27.6 x_{33x25} - 1.835 x_{14x24} + 4.20 x_{14x34} - 4.52 x_{14x44} \\
& + 0.165 x_{14x15} + 2.21 x_{14x25} - 9.15 x_{14x45} - 0.3 x_{24x44} \\
& + 0.008 x_{24x15} + 3.82 x_{34x15} + 3.51 x_{44x15} + 3.56 x_{44x2} \\
& - 5.84 x_{15x25} - 3.65 x_{15x35} - 7.40 x_{15x45}
\end{aligned}$$

(3.6)

จากตารางที่ 15 พบว่าการหาสมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันด้วยวิธี Multiple Linear Regression มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าสูงที่สุดอยู่ระหว่าง 75-99%

3.3.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาโดยวิธี Stepwise Regression

ภาคผนวก ข ได้สรุปข้อมูลตัวแปรต้นที่มีค่า VIF น้อยกว่า 10 ของแต่ละตัวแปรตอบสนอง โดยพบว่าสมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนองเป็นตามตารางที่ 20 โดยมีผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 21-24

ตารางที่ 20 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองต่างๆ โดยวิธี Stepwise regression

ตัวแปรตอบสนอง (Y)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj)
จุดวาบไฟ (Y_1)	81.07%
ปริมาณกำมะถัน (Y_2)	82.58%
จุดไหลเท (Y_3)	93.42%
ความหนืด (Y_4)	99.86%

ตารางที่ 21 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Stepwise regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_1

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	16	14592.9	912.1	77.83	0.000
x21	1	0.1	0.1	0.00	0.944
x31	1	56.0	56.0	4.78	0.030
x12	1	10403.7	10403.7	887.75	0.000
x35	1	216.1	216.1	18.44	0.000
x41x41	1	21.5	21.5	1.83	0.178
x14x14	1	49.2	49.2	4.20	0.042
x44x44	1	168.5	168.5	14.37	0.000
x21x41	1	41.4	41.4	3.53	0.062
x21x12	1	54.8	54.8	4.67	0.032
x31x13	1	90.5	90.5	7.72	0.006
x31x33	1	120.2	120.2	10.25	0.002
x32x23	1	63.2	63.2	5.39	0.022
x13x33	1	170.7	170.7	14.57	0.000
x33x14	1	66.9	66.9	5.71	0.018
x14x15	1	58.7	58.7	5.01	0.027
x15x25	1	32.0	32.0	2.73	0.101
Error	143	1675.8	11.7		
Total	159	16268.8			

ตารางที่ 22 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Stepwise regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_2

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	21	288.099	13.7190	66.66	0.000
x21	1	0.036	0.0358	0.17	0.677
x12	1	1.218	1.2178	5.92	0.016

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x13	1	73.775	73.7750	358.44	0.000
x31x31	1	0.218	0.2176	1.06	0.306
x13x13	1	2.019	2.0193	9.81	0.002
x44x44	1	1.430	1.4301	6.95	0.009
x21x15	1	0.433	0.4327	2.10	0.149
x41x12	1	10.010	10.0105	48.64	0.000
x41x32	1	0.581	0.5811	2.82	0.095
x41x33	1	3.612	3.6118	17.55	0.000
x41x15	1	5.311	5.3106	25.80	0.000
x12x24	1	1.039	1.0392	5.05	0.026
x12x15	1	1.187	1.1873	5.77	0.018
x12x45	1	10.709	10.7092	52.03	0.000
x42x44	1	2.041	2.0405	9.91	0.002
x13x44	1	5.067	5.0672	24.62	0.000
x13x25	1	7.680	7.6800	37.31	0.000
x13x45	1	5.531	5.5312	26.87	0.000
x43x44	1	2.885	2.8855	14.02	0.000
x44x45	1	2.327	2.3274	11.31	0.001
x15x45	1	4.130	4.1299	20.07	0.000
Error	138	28.403	0.2058		
Total	159	316.502			

ตารางที่ 23 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Stepwise regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_3

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	14	15519.3	1108.5	218.88	0.000
x31	1	3.2	3.2	0.63	0.427

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
x12	1	30.4	30.4	6.00	0.015
x13	1	15.3	15.3	3.02	0.084
x14	1	10665.2	10665.2	2105.90	0.000
x15	1	12.2	12.2	2.40	0.123
x45	1	427.6	427.6	84.44	0.000
x21x21	1	0.3	0.3	0.06	0.807
x41x41	1	96.8	96.8	19.11	0.000
x14x14	1	14.7	14.7	2.91	0.090
x21x44	1	42.5	42.5	8.39	0.004
x12x13	1	35.8	35.8	7.07	0.009
x12x34	1	13.2	13.2	2.61	0.108
x12x45	1	43.2	43.2	8.54	0.004
x13x15	1	21.6	21.6	4.26	0.041
Error	145	734.3	5.1		
Total	159	16253.6			

ตารางที่ 24 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Stepwise regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_4

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	2243445	320492	17223.03	0.000
x21	1	66	66	3.55	0.061
x31	1	65	65	3.51	0.063
x41	1	29	29	1.58	0.211
x13	1	104	104	5.61	0.019
x15	1	2159519	2159519	116051.03	0.000
x41x12	1	92	92	4.93	0.028
x13x15	1	44	44	2.38	0.125
Error	152	2828	19		

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Total	159	2246274			

เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 66.38 + 0.038 x_{21} + 1.070 x_{31} + 9.249 x_{12} - 7.42 x_{35} - 0.241 x_{41}x_{41} \\
 & + 0.653 x_{14}x_{14} + 1.333 x_{44}x_{44} - 1.809 x_{21}x_{41} - 0.643 x_{21}x_{12} \\
 & + 1.927 x_{31}x_{13} - 1.144 x_{31}x_{33} - 4.00 x_{32}x_{23} - 2.318 x_{13}x_{33} \\
 & + 0.755 x_{33}x_{14} - 0.675 x_{14}x_{15} + 0.523 x_{15}x_{25}
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 3.8361 + 0.0259 x_{21} - 0.1072 x_{12} + 0.8413 x_{13} + 0.0115 x_{31}x_{31} \\
 & - 0.0891 x_{13}x_{13} + 0.479 x_{44}x_{44} - 0.0627 x_{21}x_{15} + 0.813 x_{41}x_{12} \\
 & + 0.874 x_{41}x_{32} - 2.173 x_{41}x_{33} - 0.4554 x_{41}x_{15} - 0.0783 x_{12}x_{24} \\
 & - 0.1019 x_{12}x_{15} - 0.785 x_{12}x_{45} - 0.917 x_{42}x_{44} - 0.557 x_{13}x_{44} \\
 & - 0.2646 x_{13}x_{25} + 0.622 x_{13}x_{45} + 1.048 x_{43}x_{44} - 0.493 x_{44}x_{45} \\
 & + 0.3980 x_{15}x_{45}
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

$$\begin{aligned}
 Y3 = & 20.990 - 0.191 x_{31} - 0.519 x_{12} - 0.328 x_{13} + 9.330 x_{14} - 0.317 x \\
 & + 3.427 x_{45} + 0.045 x_{21}x_{21} + 0.2126 x_{41}x_{41} + 0.359 x_{14}x_{14} \\
 & + 1.432 x_{21}x_{44} + 0.547 x_{12}x_{13} + 0.271 x_{12}x_{34} - 0.753 x_{12}x_{45} \\
 & - 0.422 x_{13}x_{15}
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

$$\begin{aligned}
 Y4 = & 189.499 - 0.844 x_{21} - 0.773 x_{31} - 0.539 x_{41} - 0.841 x_{13} + 118.841 x_{15} \\
 & - 1.173 x_{41}x_{12} - 0.542 x_{13}x_{15}
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

จากตารางที่ 20 พบว่าการหาสมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันด้วยวิธี Multiple Linear Regression มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าสูงที่สุดอยู่ระหว่าง 81-99%

3.3.3 การวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาโดยวิธี Partial Least Squares regression

เมื่อพิจารณาหาสมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาโดยวิธี Partial Least Squares regression พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj) ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตอบสนองเป็นตามตารางที่ 25 โดยมีผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 26-29

ตารางที่ 25 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่าของตัวแปรตอบสนองต่างๆ โดยวิธี Partial Least Squares regression

ตัวแปรตอบสนอง (Y)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj)
จุดวาบไฟ (Y_1)	83.04%
ปริมาณกำมะถัน (Y_2)	84.63%
จุดไหลเท (Y_3)	94.22%
ความหนืด (Y_4)	99.86%

ตารางที่ 26 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Partial Least Squares regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_1

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	10	14758.9	1475.89	145.65	0.000
Residual Error	149	1509.8	10.13		
Total	159	16268.8			

ตารางที่ 27 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Partial Least Squares regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_2

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	8	276.694	34.5868	131.20	0.000
Residual Error	151	39.808	0.2636		
Total	159	316.502			

ตารางที่ 28 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Partial Least Squares regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_3

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	10	15580.7	1558.07	345.02	0.000
Residual Error	149	672.9	4.52		
Total	159	16253.6			

ตารางที่ 29 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดยวิธี Partial Least Squares regression ของตัวแปรตอบสนอง Y_4

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	10	2186235	218624	542.57	0.000
Residual Error	149	60038	403		
Total	159	2246274			

เมื่อนำมาวิเคราะห์สมการถดถอยสามารถสร้างสมการได้ดังนี้



$$\begin{aligned}
Y1 = & 67.1028 + 0.112x11 + 0.2400x21 + 0.0801x31 + 0.0458x41 + 8.1977X12 + 0.3467x22 \\
& - 0.0018x32 - 0.2492x42 + 0.1125x13 + 0.2635x23 - 0.1543x33 - 0.0687x43 \\
& - 0.0266x14 + 0.1510x24 + 0.0680x34 + 0.1279x44 + 0.4632x15 + 0.2785x25 \\
& - 0.1720x35 + 0.0363x45 + 0.0661x21x21 + 0.0955x31x31 - 0.0901x41x41 \\
& + 1.1626x12x12 + 0.1855x22x22 + 0.1095x32x32 - 0.3378x42x42 \\
& + 0.2862x13x13 - 0.3108x23x23 - 0.0426x33x33 - 0.0085x43x43 \\
& + 0.6426x14x14 + 0.1057x24x24 + 0.1946x34x34 + 0.2724x44x44 \\
& + 0.1071x15x15 + 0.5122x25x25 - 0.1358x35x35 + 0.0826x45x45 \\
& - 0.1981x21x31 - 0.1528x21x41 - 0.5636x21x12 + 0.3313x21x22 \\
& - 0.1231x21x32 + 0.1775x21x42 + 0.2449x21x13 + 0.3836x21x23 \\
& + 0.0648x21x33 - 0.0629x21x43 + 0.1705x21x14 + 0.2546x21x24 \\
& + 0.0216x21x34 - 0.5003x21x44 - 0.1810x21x15 - 0.4433x21x25 \\
& + 0.0851x21x35 - 0.1973x21x45 - 0.1886x31x41 - 0.9806x31x12 \\
& + 0.2835x31x22 - \mathbf{11224x31x32} + 0.1767x31x42 + 0.5142x31x13 \\
& + 0.3200x31x23 - 0.2837x31x33 - 0.0394x31x43 + 0.1554x31x14 \\
& + 0.1150x31x24 + 0.0458x31x34 - 0.2773x31x44 + 0.4166x31x15 \\
& + 0.2714x31x25 - 0.2135x31x35 - 0.1657x31x45 - 0.6025x41x12 \\
& - 0.1509x41x22 - 0.0684x41x32 + \mathbf{319x41x42} + 0.4380x41x13 - 0.1273x41x23 \\
& + 0.1378x41x33 + 0.0404x41x43 + 0.2201x41x14 - 0.1668x41x24 \\
& - 0.0351x41x34 - 0.0460x41x45 - 0.3713x41x15 - 0.1297x41x25 \\
& + 0.1582x41x35 + 0.0594x41x45 + 0.1837x12x22 - 0.0163x12x32 \\
& + 0.1807x12x42 - 0.9533x12x13 + 0.1446x12x23 + 0.1087x12x33 \\
& + 0.1493x12x43 + 0.1736x12x14 - 0.1516x12x24 - 0.3544x21x34 \\
& - 0.0642x12x44 - 1.1752x12x15 - 0.1029x12x25 - 0.1338x12x35 \\
& + 0.2116x12x45 - 0.1324x22x32 + 0.1357x22x42 + 0.2464x22x13 \\
& - 0.1045x22x32 - 0.1045x22x32 + 0.0362x22x33 - 0.0863x22x43 \\
& - 0.0215x22x14 + 0.1137x22x24 + 0.0359x22x34 - 0.4604x22x44 \\
& - 0.0764x22x15 + 0.3974x22x25 + 0.0540x22x35 - 0.2085x22x45 \\
& + 0.3181x32x42 - 0.2603x32x13 - 0.1017x32x23 + 0.0002x32x33 \\
& + 0.0894x32x43 - \mathbf{126x32x14} - 0.1204x32x24 - 0.0348x32x34 - 0.1618x32x44 \\
& - 0.0829x32x15 - 0.1055x32x25 - 0.0157x32x35 - 0.0440x32x45 \\
& - 0.0268x42x13 + 0.1762x42x23 + 0.5360x42x33 - 0.1747x42x43 \\
& - 0.2096x42x14 + 0.2118x42x24 - 0.3957x42x34 + 0.0670x42x44 \\
& + 0.1353x42x15 + 0.1694x42x25 + 0.5618x42x35 - 0.0791x42x45 \\
& + 0.2366x13x23 - 0.2358x13x33 - 0.1143x13x43 + 0.3389x13x14 \\
& - 0.4771x13x24 - 0.0898x13x34 - 0.0740x13x44 + 0.5592x13x15 \\
& + 0.2352x13x25 - 0.2074x13x35 + 0.3945x13x45 + 0.0671x23x33 \\
& - 0.0467x23x43 + 0.1860x23x14 - 0.0949x23x24 + 0.0120x23x34 \\
& - 0.4148x23x44 + 0.3089x33x43 + 0.1188x33x14 + 0.0934x33x24 \\
& + 0.1212x33x34 + 0.0589x33x44 + 0.0116x33x15 + 0.0621x33x25 \\
& - 0.1251x33x35 + 0.1759x33x45 + 0.1079x43x14 - 0.0444x43x24 \\
& - 0.1852x43x34 + 0.2740x43x44 + 0.0771x43x15 - 0.0522x43x25 \\
& + 0.330x43x35 + 0.0829x43x45 - 0.0467x14x24 - 0.0536x14x34 \\
& - 0.6452x14x44 - 0.7349x14x15 - 0.4774x14x25 + 0.0560x14x35 \\
& + 0.2706x14x45 + 0.0097x24x34 - 0.3196x24x44 + 0.0507x24x15 \\
& - 0.3196x24x44 + 0.0507x24x15 - 0.3081x24x25 + 0.1163x24x35 \\
& - 0.1903x24x45 + 0.0464x34x44 - 0.0514x34x15 + 0.01504x34x25 \\
& + 0.0467x34x35 - 0.0625x34x45 - 0.3338x44x15 - 0.4291x44x25 \\
& + 0.0811x44x35 + 0.3213x44x45 + 0.2235x15x25 - 0.0168x15x35 \\
& + 0.0869x15x45 + 0.0806x25x35 - 0.1755x25x45 + 0.1989x35x45
\end{aligned}$$

(3.11)

$$\begin{aligned}
Y_2 = & 4.05992 - 0.0114x_{11} - 0.01746x_{21} + 0.00854x_{31} + 0.02509x_{41} - 0.01520x_{12} \\
& - 0.04892x_{22} - 0.00555x_{32} + 0.03005x_{42} + 0.74018x_{13} - 0.05057x_{23} \\
& + 0.03204x_{33} + 0.04607x_{43} + 0.0125x_{14} - 0.02393x_{24} + 0.00877x_{34} \\
& + 0.01461x_{44} - 0.02446x_{15} - 0.04479x_{25} - 0.00178x_{35} - 0.01137x_{45} \\
& - 0.03575x_{21x21} + 0.00021x_{31x31} - 0.00793x_{41x41} - 0.01752x_{12x12} \\
& + 0.00317x_{22x22} - 0.01184x_{32x32} + 0.0051x_{42x42} + \mathbf{2.10017x_{11x13}} \\
& - 0.01644x_{23x23} + 0.02847x_{33x33} + 0.03595x_{43x43} - 0.04903x_{14x14} \\
& - 0.00807x_{24x24} + 0.00541x_{34x34} + 0.00307x_{44x44} + 0.01962x_{15x15} \\
& + 0.01263x_{25x25} - 0.00588x_{35x35} - 0.06036x_{45x45} - 0.00219x_{21x31} \\
& - 0.02128x_{21x41} - 0.01362x_{21x12} + 0.03472x_{21x22} + 0.0159x_{21x32} \\
& - 0.02877x_{21x42} - 0.14591x_{21x13} - \mathbf{1.02532x_{21x23}} - 0.02997x_{21x33} \\
& - 0.0501x_{21x43} + 0.00297x_{21x14} - 0.02389x_{21x24} - 0.01712x_{21x34} \\
& - 0.01217x_{21x44} - 0.04958x_{21x15} + 0.0502x_{21x25} + 0.01131x_{21x35} \\
& + 0.02583x_{21x45} - 0.05104x_{31x41} + 0.01135x_{31x12} + 0.01462x_{31x22} \\
& - 0.00107x_{31x32} - 0.0489x_{31x42} - 0.01271x_{31x13} + 0.01516x_{31x23} \\
& - 0.03463x_{31x33} - 0.068x_{31x43} + 0.00894x_{31x14} + 0.01269x_{31x24} \\
& + 0.00844x_{31x34} - 0.03075x_{31x44} + 0.00523x_{31x15} + 0.01365x_{31x25} \\
& - 0.00057x_{31x35} + 0.00088x_{31x45} + 0.15605x_{41x12} - 0.01013x_{41x22} \\
& - 0.0314x_{41x32} + 0.00319x_{41x42} + 0.06306x_{41x13} - 0.00955x_{41x23} \\
& - 0.08207x_{41x33} + 0.01622x_{41x43} + 0.0541x_{41x14} - 0.01782x_{41x24} \\
& + 0.02461x_{41x34} - 0.01365x_{41x44} - 0.03981x_{41x15} - 0.0114x_{41x25} \\
& - 0.03642x_{41x35} - 0.01057x_{41x45} + 0.00503x_{12x22} + 0.0046x_{12x32} \\
& - 0.00947x_{12x42} + 0.04223x_{12x13} - 0.03098x_{12x23} - 0.00244x_{12x33} \\
& - 0.02759x_{12x43} - 0.09761x_{12x14} - 0.0471x_{12x24} - 0.00136x_{12x34} \\
& - 0.06364x_{12x44} - 0.07924x_{12x15} + 0.03065x_{12x25} - 0.00473x_{12x35} \\
& - 0.02787x_{12x45} + 0.02503x_{22x32} - 0.01286x_{22x42} - 0.05833x_{22x13} \\
& - 0.00395x_{22x23} - 0.01622x_{22x33} - 0.03255x_{22x43} - 0.01126x_{22x14} \\
& + 0.00521x_{22x24} - 0.02323x_{22x34} + 0.00238x_{22x44} - 0.01895x_{22x15} \\
& + 0.01588x_{22x25} + 0.02094x_{22x35} + 0.03697x_{22x45} - 0.0301x_{32x42} \\
& + 0.02512x_{32x13} + 0.02601x_{32x23} + 0.01702x_{32x33} - 0.05033x_{32x43} \\
& + 0.00027x_{32x14} + 0.02719x_{32x24} + 0.01085x_{32x34} - 0.01085x_{32x44} \\
& + 0.00852x_{32x15} + 0.02334x_{32x25} - 0.00842x_{32x35} + 0.02252x_{32x45} \\
& + 0.02383x_{42x13} - 0.01188x_{42x23} - 0.08402x_{42x33} + 0.02191x_{42x43} \\
& - 0.00945x_{42x14} - 0.02017x_{42x24} + 0.02143x_{42x34} - 0.00649x_{42x44} \\
& - 0.01281x_{42x15} - 0.01494x_{42x25} - 0.03552x_{42x35} - 0.03255x_{42x45} \\
& - 0.04987x_{13x23} + 0.02252x_{13x33} + 0.04756x_{13x43} + 0.07786x_{13x14} \\
& + 0.07257x_{13x24} + 0.09609x_{13x34} - 0.00727x_{13x44} - 0.00264x_{13x15} \\
& - 0.05905x_{13x25} + 0.02812x_{13x35} + 0.01603x_{13x45} - 0.01552x_{23x33} \\
& - 0.03165x_{23x43} - 0.02459x_{23x14} + 0.00886x_{23x24} - 0.02403x_{23x34} \\
& + 0.0036x_{23x44} - 0.10411x_{33x43} + 0.01546x_{33x14} - 0.02534x_{33x24} \\
& - 0.02545x_{33x34} - 0.06479x_{33x44} - 0.02107x_{33x15} - 0.0178x_{33x25} \\
& + 0.01829x_{33x35} - 0.03164x_{33x45} + 0.00101x_{43x14} - 0.04286x_{43x24} \\
& + 0.04003x_{43x34} + 0.00941x_{43x44} + 0.02542x_{43x15} - 0.0346x_{43x25} \\
& - 0.05575x_{43x35} - 0.01511x_{43x45} - 0.02746x_{14x24} - 0.03695x_{14x34} \\
& + 0.02318x_{14x44} + 0.05524x_{14x15} + 0.00787x_{14x25} + 0.01064x_{14x35} \\
& - 0.0042x_{14x45} - 0.02824x_{24x34} + 0.00134x_{24x44} - 0.01618x_{24x15} \\
& + 0.05544x_{24x25} + 0.02197x_{24x35} + 0.0381x_{24x45} + 0.00374x_{34x44} \\
& + 0.01436x_{34x15} - 0.02191x_{34x25} + 0.00817x_{34x35} - 0.02709x_{34x45} \\
& + 0.04286x_{44x15} + 0.00035x_{44x25} - 0.01624x_{44x35} - 0.03576x_{44x45} \\
& - 0.00284x_{15x25} + 0.00182x_{15x35} + 0.01984x_{15x45} + 0.01925x_{25x35} \\
& + 0.03489x_{25x45} + 0.01714x_{35x45}
\end{aligned}$$

(3.12)

$$\begin{aligned}
Y_3 = & 18.8409 - 0.3511x_{11} - 0.0214x_{31} + 0.0545x_{41} - 0.1867x_{12} + 0.0034x_{22} + 0.0685x_{32} \\
& - 0.3367x_{13} - 0.0278x_{23} - 0.0739x_{33} + 0.0103x_{43} + 8.6331x_{14} - 0.0415x_{24} \\
& - 0.0294x_{34} + 0.1203x_{44} - 0.3065x_{15} + 0.0726x_{25} - 0.0169x_{35} + 0.1823x_{45} \\
& + 0.035x_{11x_{11}} - 0.3042x_{21x_{21}} + 0.026x_{31x_{31}} + 0.0415x_{41x_{41}} - 0.0248x_{12x_{12}} \\
& + 0.3438x_{22x_{22}} + 0.0975x_{32x_{32}} - 0.0716x_{42x_{42}} + 0.1006x_{13x_{13}} - 0.0148x_{23x_{23}} \\
& - 0.0878x_{33x_{33}} - 0.0253x_{43x_{43}} + 0.0647x_{14x_{14}} + 0.092x_{24x_{24}} + 0.0661x_{34x_{34}} \\
& - 0.0831x_{44x_{44}} - 0.0694x_{15x_{15}} + 0.5151x_{25x_{25}} - 0.0228x_{35x_{35}} + 0.1902x_{11x_{14}} \\
& + 0.0674x_{21x_{31}} - 0.0215x_{21x_{41}} - 0.0055x_{21x_{12}} + 0.0399x_{21x_{22}} - 0.0332x_{21x_{32}} \\
& + 0.0859x_{21x_{42}} - 0.0674x_{21x_{13}} - 0.2624x_{21x_{23}} + 0.1391x_{21x_{33}} + 0.0486x_{21x_{43}} \\
& - 0.4787x_{21x_{14}} - \mathbf{2.1231x_{21x_{24}}} - 0.0066x_{21x_{34}} + 0.1207x_{21x_{44}} - 0.0841x_{21x_{15}} \\
& + 0.0489x_{21x_{25}} + 0.0714x_{21x_{35}} - 0.179x_{21x_{45}} - 0.0518x_{31x_{41}} - 0.0036x_{31x_{12}} \\
& + 0.1007x_{31x_{22}} - 0.0026x_{31x_{32}} + 0.0537x_{31x_{42}} + 0.0107x_{31x_{13}} + 0.1111x_{31x_{23}} \\
& - 0.0888x_{31x_{33}} + 0.0201x_{31x_{43}} - 0.9064x_{31x_{14}} + 0.1389x_{31x_{24}} + 0.0011x_{31x_{34}} \\
& - 0.1141x_{31x_{44}} - 0.5068x_{31x_{15}} + 0.0746x_{31x_{25}} - 0.0768x_{31x_{35}} - 0.1893x_{31x_{45}} \\
& + 0.3028x_{41x_{12}} - 0.0554x_{41x_{22}} - 0.1756x_{41x_{32}} + 0.0595x_{41x_{42}} - 0.7886x_{41x_{13}} \\
& - 0.0461x_{41x_{23}} + 0.0156x_{41x_{33}} + 0.0151x_{41x_{43}} + 0.0279x_{41x_{14}} - 0.046x_{41x_{24}} \\
& + 0.128x_{41x_{34}} + \mathbf{1.19x_{41x_{44}}} - 0.6155x_{41x_{15}} - 0.0762x_{41x_{25}} - 0.0618x_{41x_{35}} \\
& + 0.0091x_{41x_{45}} - 0.0162x_{12x_{22}} + 0.0665x_{12x_{32}} - 0.0242x_{12x_{42}} + 0.7776x_{12x_{13}} \\
& + 0.1824x_{12x_{23}} + 0.1742x_{12x_{33}} - 0.1056x_{12x_{43}} + 0.3277x_{12x_{14}} + 0.1643x_{12x_{24}} \\
& + 0.1482x_{12x_{34}} + 0.0691x_{12x_{44}} + 0.1154x_{12x_{15}} + 0.0735x_{12x_{25}} + 0.0135x_{12x_{35}} \\
& - 0.2726x_{12x_{45}} - 0.0764x_{22x_{32}} + 0.0201x_{22x_{42}} - 0.0205x_{22x_{13}} + 0.2889x_{22x_{23}} \\
& + 0.0787x_{22x_{33}} - 0.0144x_{22x_{43}} + 0.3168x_{22x_{14}} - 0.0915x_{22x_{24}} + 0.0301x_{22x_{34}} \\
& + 0.0246x_{22x_{44}} + 0.0412x_{22x_{15}} + 0.4172x_{22x_{25}} + 0.0172x_{22x_{35}} - 0.2216x_{22x_{45}} \\
& - 0.0756x_{32x_{42}} - 0.0861x_{32x_{13}} - 0.0646x_{32x_{23}} - 0.0076x_{32x_{33}} - 0.1112x_{32x_{43}} \\
& - 0.1086x_{32x_{14}} - 0.0616x_{32x_{24}} - 0.0543x_{32x_{34}} - 0.2525x_{32x_{44}} - 0.0249x_{32x_{15}} \\
& - 0.1029x_{32x_{25}} + 0.0385x_{32x_{35}} - 0.3319x_{32x_{45}} + 0.0877x_{42x_{13}} + 0.0358x_{42x_{23}} \\
& + 0.129x_{42x_{33}} - 0.0501x_{42x_{43}} - 0.1062x_{42x_{14}} + 0.0641x_{42x_{24}} + 0.0248x_{42x_{34}} \\
& - 0.0587x_{42x_{44}} + 0.1552x_{42x_{15}} - 0.0138x_{42x_{25}} + 0.0467x_{42x_{35}} + 0.1034x_{42x_{45}} \\
& + 0.0377x_{13x_{23}} - 0.0635x_{13x_{33}} + 0.0646x_{13x_{43}} + 0.1477x_{13x_{14}} - 0.0704x_{13x_{24}} \\
& - 0.3954x_{13x_{34}} + 0.5207x_{13x_{44}} - 0.4195x_{13x_{15}} + 0.1575x_{13x_{25}} - 0.0466x_{13x_{35}} \\
& - 0.1052x_{13x_{45}} + 0.0912x_{23x_{33}} + 0.0011x_{23x_{43}} + 0.1871x_{23x_{14}} + 0.1683x_{23x_{24}} \\
& + 0.0208x_{23x_{34}} + 0.0276x_{23x_{44}} + 0.0937x_{33x_{43}} + 0.0602x_{33x_{14}} + 0.1358x_{33x_{24}} \\
& + 0.0912x_{33x_{34}} - 0.0472x_{33x_{44}} + 0.2113x_{33x_{15}} + 0.0526x_{33x_{25}} - 0.0646x_{33x_{35}} \\
& - 0.1261x_{33x_{45}} - 0.1059x_{43x_{14}} + 0.0243x_{43x_{24}} + 0.0575x_{43x_{34}} - 0.0271x_{43x_{44}} \\
& + 0.0402x_{43x_{15}} - 0.0483x_{43x_{25}} + 0.0111x_{43x_{35}} + 0.1339x_{43x_{45}} - 0.4636x_{14x_{24}} \\
& - 0.6501x_{14x_{34}} + 0.3967x_{14x_{44}} - 0.3493x_{14x_{15}} + 0.0791x_{14x_{25}} - 0.0468x_{14x_{35}} \\
& - 0.4718x_{14x_{45}} + 0.0119x_{24x_{34}} - 0.132x_{24x_{44}} + 0.0392x_{24x_{15}} + 0.1092x_{24x_{25}} \\
& + 0.0573x_{24x_{35}} - 0.2196x_{24x_{45}} + 0.1885x_{34x_{44}} + 0.0329x_{34x_{15}} + 0.0505x_{34x_{25}} \\
& - 0.0077x_{34x_{35}} + 0.2618x_{34x_{45}} + 0.9645x_{44x_{15}} - 0.0058x_{44x_{25}} - 0.1306x_{44x_{35}} \\
& + 0.1619x_{44x_{45}} + 0.0639x_{15x_{25}} + 0.0033x_{15x_{35}} - 0.179x_{15x_{45}} - 0.0096x_{25x_{35}} \\
& - 0.2541x_{25x_{45}} - 0.21x_{35x_{45}}
\end{aligned}$$

(3.13)

$$\begin{aligned}
Y_4 = & 169.892 + 0.348x_{11} + 0.848x_{21} + 0.513x_{31} - 0.910x_{41} + 2.521x_{12} + 0.830x_{22} \\
& - 0.131x_{32} - 1.851x_{42} - 0.941x_{13} - 0.616x_{23} + 0.780x_{33} - 0.620x_{43} \\
& - 1.909x_{14} + 1.203x_{24} + 1.203x_{34} + 1.108x_{44} + 0.519x_{15} + 73.246x_{15} \\
& + 1.765x_{25} + 0.383x_{35} + 0.383x_{45} + 2.398x_{16} + 4.333x_{21x21} + 0.344x_{31x31} \\
& + 1.141x_{41x41} - 5.118x_{12x12} + 1.280x_{22x22} - 0.600x_{32x32} - 1.895x_{42x42} \\
& - 4.115x_{13x13} - 7.065x_{23x23} + 0.525x_{33x33} + 0.350x_{43x43} - 3.407x_{14x14} \\
& + 0.454x_{24x24} + 0.121x_{34x34} - 0.187x_{44x44} + 26.745x_{15x15} + 6.894x_{25x25} \\
& + 0.126x_{35x35} + 5.283x_{45x45} - 0.966x_{21x31} + 0.682x_{21x41} - 0.129x_{21x12} \\
& - 0.522x_{21x22} - 0.283x_{21x32} + 1.918x_{21x42} - 1.051x_{21x13} - 1.709x_{21x23} \\
& - 1.379x_{21x33} - 1.379x_{21x43} + 0.256x_{21x43} - 3.607x_{21x14} - 4.248x_{21x24} \\
& - 0.908x_{21x34} + 2.347x_{21x44} - 0.833x_{21x15} - \mathbf{23.198x_{21x25}} - 0.913x_{21x35} \\
& - 3.678x_{21x45} + 0.634x_{31x41} + 0.926x_{31x12} - 0.126x_{31x22} - 0.409x_{31x32} \\
& + 1.437x_{31x42} + 0.937x_{31x13} + 0.384x_{31x23} - 0.626x_{31x33} - 0.059x_{31x43} \\
& - 2.040x_{31x14} - 1.427x_{31x24} + 0.724x_{31x34} - 1.410x_{31x44} - 6.817x_{31x15} \\
& - 0.597x_{31x25} - 0.035x_{31x35} - 3.694x_{31x45} - 2.765x_{41x12} + 0.654x_{41x22} \\
& + 1.581x_{41x32} - 0.753x_{41x42} - 2.168x_{41x13} + 1.102x_{41x23} + 0.351x_{41x33} \\
& - 0.068x_{41x43} - 5.580x_{41x14} + 0.415x_{41x24} - 3.087x_{41x34} - 0.837x_{41x44} \\
& - 2.256x_{41x15} + 0.371x_{41x25} + 0.896x_{41x35} + 1.060x_{41x45} - 0.470x_{12x22} \\
& + 0.646x_{12x32} - 0.821x_{12x42} + 4.826x_{12x13} + 0.474x_{12x23} + 0.258x_{12x33} \\
& - 1.109x_{12x43} + 1.395x_{12x14} - 3.405x_{12x24} + 0.092x_{12x34} - 1.454x_{12x44} \\
& + 5.246x_{12x15} - 0.620x_{12x25} + 0.858x_{12x35} - 1.521x_{12x45} - 0.178x_{22x32} \\
& + 1.865x_{22x42} - 0.480x_{22x13} - 2.848x_{22x23} - 1.158x_{22x32} + 0.331x_{22x43} \\
& + 0.170x_{22x14} - 0.149x_{22x24} - 0.849x_{22x34} + 1.754x_{22x44} + 3.211x_{22x15} \\
& + 2.211x_{22x25} - 0.774x_{22x35} - 3.288x_{22x45} + 2.531x_{32x42} - 0.138x_{32x13} \\
& + 0.386x_{32x23} + 0.230x_{32x33} + 0.948x_{32x43} - 0.478x_{32x14} - 0.797x_{32x24} \\
& + 1.198x_{32x34} - 0.480x_{32x44} - 0.921x_{32x15} - 0.538x_{32x25} - 0.242x_{32x35} \\
& - 2.891x_{32x45} + 0.525x_{42x13} + 2.590x_{42x23} + 1.202x_{42x33} - 0.803x_{42x43} \\
& + 1.126x_{42x14} + 1.496x_{42x24} - 3.873x_{42x34} - 1.318x_{42x44} - 2.652x_{42x15} \\
& + 1.406x_{42x25} + 1.796x_{42x35} + 2.024x_{42x45} - 0.683x_{13x23} - 0.028x_{13x33} \\
& + 1.248x_{13x43} - 0.240x_{13x14} + 0.444x_{13x24} - 1.884x_{13x34} + 1.714x_{13x44} \\
& + 2.235x_{13x15} + 0.873x_{13x25} - 0.196x_{13x35} + 1.939x_{13x45} - 0.614x_{23x33} \\
& + 1.050x_{23x43} + 0.878x_{23x14} - 3.503x_{23x24} - 1.290x_{23x34} + 2.252x_{23x44} \\
& - 0.370x_{33x43} - 0.945x_{33x14} - 2.046x_{33x24} + 0.529x_{33x34} - 1.785x_{33x44} \\
& - 1.394x_{33x15} - 1.506x_{33x25} + 0.407x_{33x35} - 4.181x_{33x45} + 0.873x_{43x14} \\
& - 0.277x_{43x24} - 2.416x_{43x34} - 0.220x_{43x44} - 2.822x_{43x15} - 0.217x_{43x25} \\
& + 0.213x_{43x35} + 2.978x_{43x45} + 2.438x_{14x24} + 0.620x_{14x34} - 1.775x_{14x44} \\
& - 4.018x_{14x15} - 0.753x_{14x25} - 0.533x_{14x35} + 4.181x_{14x45} - 0.696x_{24x34} \\
& - 1.839x_{24x44} - 4.227x_{24x15} + 1.425x_{24x25} - 1.514x_{24x35} + \mathbf{40.342x_{15x11}} \\
& - 1.104x_{34x44} - 3.030x_{34x15} - 0.571x_{34x25} + 0.857x_{34x35} + 1.124x_{34x45} \\
& + 1.915x_{44x15} + 1.349x_{44x25} - 1.214x_{44x35} + 2.467x_{44x45} + 2.601x_{15x25} \\
& + 0.141x_{15x35} + 0.709x_{15x45} - 1.101x_{25x35} - 3.724x_{25x45} - 3.626x_{35x45}
\end{aligned}$$

(3.14)

โดยสรุปค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj) ของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4 โดย
วิธีการวิเคราะห์การถดถอย 3 วิธี ดังตารางที่ 30

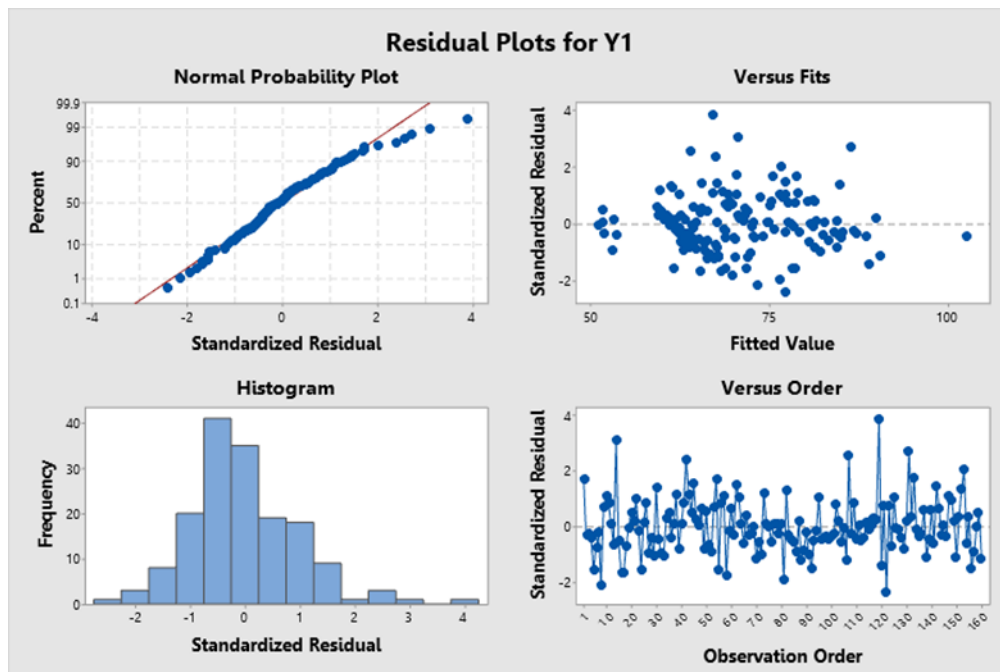
ตารางที่ 30 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj) ของการวิเคราะห์การถดถอย 3 วิธี ที่มีตัวแปรนำเข้าของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4

ตัวแปรตอบสนอง (Y)	Multiple Linear regression	Stepwise regression	PLS regression
จุดวาบไฟ (Y_1)	75.17%	81.07%	83.04%
ปริมาณกำมะถัน (Y_2)	76.12%	82.58%	84.63%
จุดไหลเท (Y_3)	90.27%	93.42%	94.22%
ความหนืด (Y_4)	99.85%	99.86%	99.86%

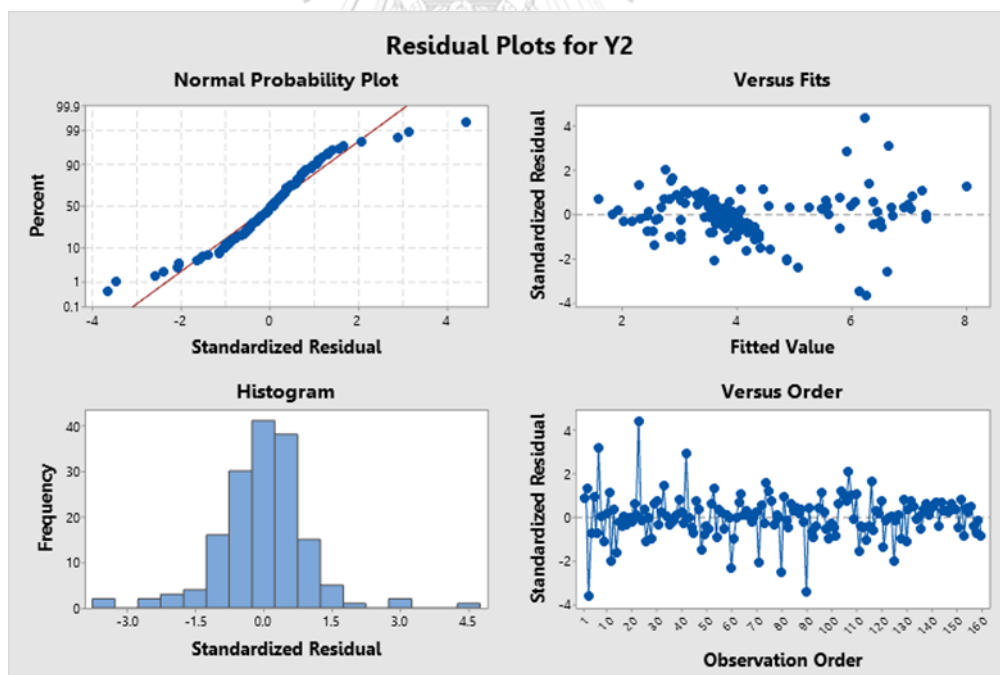
3.4 การวิเคราะห์เศษตกค้าง (Residual Analysis)

การวิเคราะห์เศษตกค้างหลังการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาค่าความผิดพลาดจากการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อนำไปปรับปรุงขบวนการคำนวณเพื่อปรับให้ค่าดังกล่าวให้น้อยลง โดยรูปแบบสมการถดถอยที่นำมาวิเคราะห์เศษตกค้างคือการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบ Partial Least Squares regression เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจปรับค่า (R^2 -adj) สูงสุดของทุกตัวแปรตอบสนอง

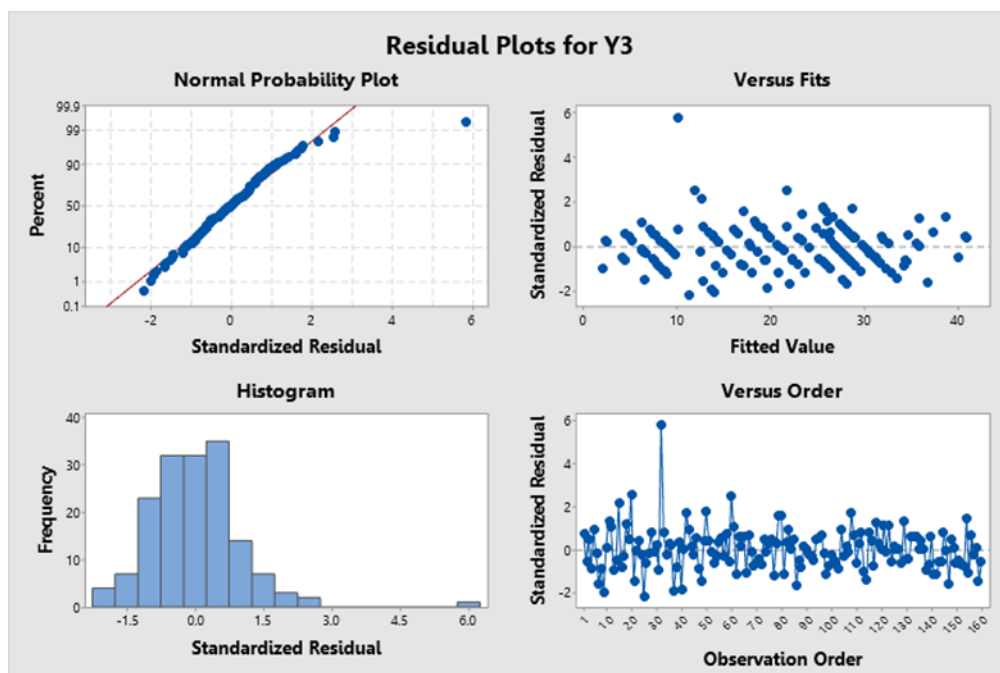
การวิเคราะห์เศษตกค้าง (Residual Analysis) ของทุกตัวแปรตอบสนองพบว่าค่า Residual มีการกระจายตัวอย่างปกติและเป็นอิสระต่อกัน ดังภาพที่ 36-39



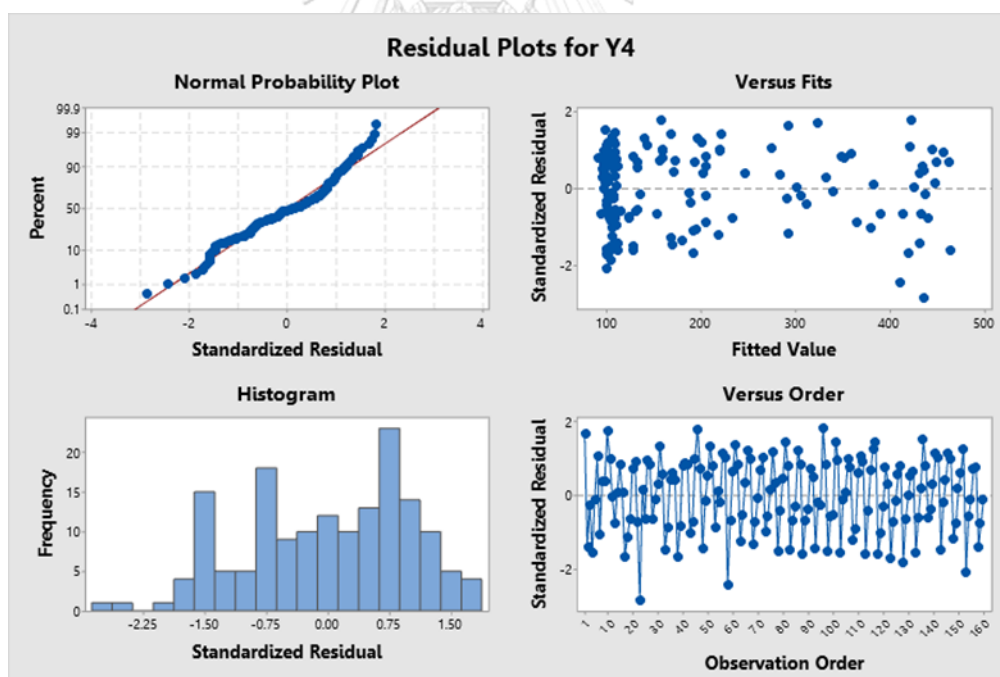
ภาพที่ 36 กราฟแสดงเสถียรค่าของตอนแปรตอบสนอง Y_1 ของสมการถดถอยแบบ PLS



ภาพที่ 37 กราฟแสดงเสถียรค่าของตอนแปรตอบสนอง Y_2 ของสมการถดถอยแบบ PLS



ภาพที่ 38 กราฟแสดงเสถียรภาพของตอนแปรตอบสนอง Y_3 ของสมการถดถอยแบบ PLS



ภาพที่ 39 กราฟแสดงเสถียรภาพของตอนแปรตอบสนอง Y_4 ของสมการถดถอยแบบ PLS

3.5 การเลือกรูปแบบวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตา

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตอบสนอง ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย 3 วิธีคือ Multiple Linear Regression (การวิเคราะห์การถดถอยตัวแปรแบบพหุคูณ), stepwise regression (การวิเคราะห์การถดถอยจากการเลือกตัวแปรโดยเพิ่มตัวแปรแบบขั้นตอน) และ Partial Least Squares regression (การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน) เปรียบเทียบในการพิจารณาเลือกวิธีวิเคราะห์การถดถอยที่เหมาะสมที่สุด ได้พิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ คือค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ที่ต่ำที่สุด

โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เป็นข้อมูล 40 ชุดของข้อมูลการผสมทุกแบบตลับของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ซึ่งอ้างอิงข้อมูลในอดีตของปี 2560-2562 โดยค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของการวิเคราะห์การถดถอยทั้ง 3 แบบแสดงค่าตามตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ของการวิเคราะห์การถดถอย 3 วิธีของตัวแปรตอบสนอง Y_1 - Y_4

ตัวแปรตอบสนอง (Y)	ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE)		
	Multiple Linear regression	Stepwise regression	PLS regression
จุดวาบไฟ (Y_1)	10.73%	12.35%	4.65%
ปริมาณกำมะถัน (Y_2)	9.12%	10.72%	1.05%
จุดไหลเท (Y_3)	29.08%	27.67%	5.39%
ความหนืด (Y_4)	31.00%	31.22%	12.30%

จากตารางที่ 31 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์จากการวิเคราะห์การถดถอยด้วย Partial Least Squares regression (การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน) มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ที่ต่ำที่สุด จึงกล่าวได้ว่าการวิเคราะห์สมการถดถอยของสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาด้วยวิธี Partial Least Squares regression (การวิเคราะห์การ

ถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน) จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการใช้พยากรณ์สัดส่วนน้ำมันเตา

ดังนั้นสรุปสมการการถดถอยที่ใช้ในการวิเคราะห์สัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่มีผลต่อคุณสมบัติและต้นทุนได้ดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ตารางสรุปสมการการถดถอยสำหรับใช้หาสัดส่วนผสมน้ำมันเตาเพื่อให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด

Y_1	$ \begin{aligned} & 67.1028 + 0.112x_{11} + 0.2400x_{21} + 0.0801x_{31} + 0.0458x_{41} + 8.1977x_{12} + 0.3467x_{22} \\ & - 0.0018x_{32} - 0.2492x_{42} + 0.1125x_{13} + 0.2635x_{23} - 0.1543x_{33} \\ & - 0.0687x_{43} - 0.0266x_{14} + 0.1510x_{24} + 0.0680x_{34} + 0.1279x_{44} \\ & + 0.4632x_{15} + 0.2785x_{25} - 0.1720x_{35} + 0.0363x_{45} + 0.0661x_{21x21} \\ & + 0.0955x_{31x31} - 0.0901x_{41x41} + 1.1626x_{12x12} + 0.1855x_{22x22} \\ & + 0.1095x_{32x32} - 0.3378x_{42x42} + 0.2862x_{13x13} - 0.3108x_{23x23} \\ & - 0.0426x_{33x33} - 0.0085x_{43x43} + 0.6426x_{14x14} + 0.1057x_{24x24} \\ & + 0.1946x_{34x34} + 0.2724x_{44x44} + 0.1071x_{15x15} + 0.5122x_{25x25} \\ & - 0.1358x_{35x35} + 0.0826x_{45x45} - 0.1981x_{21x31} - 0.1528x_{21x41} \\ & - 0.5636x_{21x12} + 0.3313x_{21x22} - 0.1231x_{21x32} + 0.1775x_{21x42} \\ & + 0.2449x_{21x13} + 0.3836x_{21x23} + 0.0648x_{21x33} - 0.0629x_{21x43} \\ & + 0.1705x_{21x14} + 0.2546x_{21x24} + 0.0216x_{21x34} - 0.5003x_{21x44} \\ & - 0.1810x_{21x15} - 0.4433x_{21x25} + 0.0851x_{21x35} - 0.1973x_{21x45} \\ & - 0.1886x_{31x41} - 0.9806x_{31x12} + 0.2835x_{31x22} - 11224x_{31x32} \\ & + 0.1767x_{31x42} + 0.5142x_{31x13} + 0.3200x_{31x23} - 0.2837x_{31x33} \\ & - 0.0394x_{31x43} + 0.1554x_{31x14} + 0.1150x_{31x24} + 0.0458x_{31x34} \\ & - 0.2773x_{31x44} + 0.4166x_{31x15} + 0.2714x_{31x25} - 0.2135x_{31x35} \\ & - 0.1657x_{31x45} - 0.6025x_{41x12} - 0.1509x_{41x22} - 0.0684x_{41x32} \\ & + 319x_{41x42} + 0.4380x_{41x13} - 0.1273x_{41x23} + 0.1378x_{41x33} \\ & + 0.0404x_{41x43} + 0.2201x_{41x14} - 0.1668x_{41x24} - 0.0351x_{41x34} \\ & - 0.0460x_{41x55} - 0.3713x_{41x15} - 0.1297x_{41x25} + 0.1582x_{41x35} \\ & + 0.0594x_{41x45} + 0.1837x_{12x22} - 0.0163x_{12x32} + 0.1807x_{12x42} \\ & - 0.9533x_{12x13} + 0.1446x_{12x23} + 0.1087x_{12x33} + 0.1493x_{12x43} \\ & + 0.1736x_{12x14} - 0.1516x_{12x24} - 0.3544x_{12x34} - 0.0642x_{12x44} \\ & - 1.1752x_{12x15} - 0.1029x_{12x25} - 0.1338x_{12x35} + 0.2116x_{12x45} \\ & - 0.1324x_{22x32} + 0.1357x_{22x42} + 0.2464x_{22x13} - 0.1045x_{22x32} \\ & - 0.1045x_{22x32} + 0.0362x_{22x33} - 0.0863x_{22x43} - 0.0215x_{22x14} \\ & + 0.1137x_{22x24} + 0.0359x_{22x34} - 0.4604x_{22x44} - 0.0764x_{22x15} \\ & + 0.3974x_{22x25} + 0.0540x_{22x35} - 0.2085x_{22x45} + 0.3181x_{32x42} \\ & - 0.2603x_{32x13} - 0.1017x_{32x23} + 0.0002x_{32x33} + 0.0894x_{32x43} \\ & - 126x_{32x14} - 0.1204x_{32x24} - 0.0348x_{32x34} - 0.1618x_{32x44} \\ & - 0.0829x_{32x15} - 0.1055x_{32x25} - 0.0157x_{32x35} - 0.0440x_{32x45} \\ & - 0.0268x_{42x13} + 0.1762x_{42x23} + 0.5360x_{42x33} - 0.1747x_{42x43} \\ & - 0.2096x_{42x14} + 0.2118x_{42x24} - 0.3957x_{42x34} + 0.0670x_{42x44} \\ & + 0.1353x_{42x15} + 0.1694x_{42x25} + 0.5618x_{42x35} - 0.0791x_{42x45} \\ & + 0.2366x_{13x23} - 0.2358x_{13x33} - 0.1143x_{13x43} + 0.3389x_{13x14} \\ & - 0.4771x_{13x24} - 0.0898x_{13x34} - 0.0740x_{13x44} + 0.5592x_{13x15} \\ & + 0.2352x_{13x25} - 0.2074x_{13x35} + 0.3945x_{13x45} + 0.0671x_{23x33} \\ & - 0.0467x_{23x43} + 0.1860x_{23x14} - 0.0949x_{23x24} + 0.0120x_{23x34} \\ & - 0.4148x_{23x44} + 0.3089x_{33x43} + 0.1188x_{33x14} + 0.0934x_{33x24} \\ & + 0.1212x_{33x34} + 0.0589x_{33x44} + 0.0116x_{33x15} + 0.0621x_{33x25} \\ & - 0.1251x_{33x35} + 0.1759x_{33x45} + 0.1079x_{43x14} - 0.0444x_{43x24} \\ & - 0.1852x_{43x34} + 0.2740x_{43x44} + 0.0771x_{43x15} - 0.0522x_{43x25} \\ & + 0.330x_{43x35} + 0.0829x_{43x45} - 0.0467x_{14x24} - 0.0536x_{14x34} \\ & - 0.6452x_{14x44} - 0.7349x_{14x15} - 0.4774x_{14x25} + 0.0560x_{14x35} \\ & + 0.2706x_{14x45} + 0.0097x_{24x34} - 0.3196x_{24x44} + 0.0507x_{24x15} \\ & - 0.3196x_{24x44} + 0.0507x_{24x15} - 0.3081x_{24x25} + 0.1163x_{24x35} \\ & - 0.1903x_{24x45} + 0.0464x_{34x44} - 0.0514x_{34x15} + 0.0150x_{34x25} \\ & + 0.0467x_{34x35} - 0.0625x_{34x45} - 0.3338x_{44x15} - 0.4291x_{44x25} \\ & + 0.0811x_{44x35} + 0.3213x_{44x45} + 0.2235x_{15x25} - 0.0168x_{15x35} \\ & + 0.0869x_{15x45} + 0.0806x_{25x35} - 0.1755x_{25x45} + 0.1989x_{35x45} \end{aligned} $
-------	--

Y ₂	<p> 4.05992 - 0.0114x11 - 0.01746x21 + 0.00854x31 + 0.02509x41 - 0.01520x12 - 0.04892x22 - 0.00555x32 + 0.03005x42 + 0.74018x13 - 0.05057x23 + 0.03204x33 + 0.04607x43 + 0.0125x14 - 0.02393x24 + 0.00877x34 + 0.01461x44 - 0.02446x15 - 0.04479x25 - 0.00178x35 - 0.01137x45 - 0.03575x21x21 + 0.00021x31x31 - 0.00793x41x41 - 0.01752x12x12 + 0.00317x22x22 - 0.01184x32x32 + 0.0051x42x42 + 2.10017x11x13 - 0.01644x23x23 + 0.02847x33x33 + 0.03595x43x43 - 0.04903x14x14 - 0.00807x24x24 + 0.00541x34x34 + 0.00307x44x44 + 0.01962x15x15 + 0.01263x25x25 - 0.00588x35x35 - 0.06036x45x45 - 0.00219x21x31 - 0.02128x21x41 - 0.01362x21x12 + 0.03472x21x22 + 0.0159x21x32 - 0.02877x21x42 - 0.14591x21x13 - 1.02532x21x23 - 0.02997x21x33 - 0.0501x21x43 + 0.00297x21x14 - 0.02389x21x24 - 0.01712x21x34 - 0.01217x21x44 - 0.04958x21x15 + 0.0502x21x25 + 0.01131x21x35 + 0.02583x21x45 - 0.05104x31x41 + 0.01135x31x12 + 0.01462x31x22 - 0.00107x31x32 - 0.0489x31x42 - 0.01271x31x13 + 0.01516x31x23 - 0.03463x31x33 - 0.068x31x43 + 0.00894x31x14 + 0.01269x31x24 + 0.00844x31x34 - 0.03075x31x44 + 0.00523x31x15 + 0.01365x31x25 - 0.00057x31x35 + 0.00088x31x45 + 0.15605x41x12 - 0.01013x41x22 - 0.0314x41x32 + 0.00319x41x42 + 0.06306x41x13 - 0.00955x41x23 - 0.08207x41x33 + 0.01622x41x43 + 0.0541x41x14 - 0.01782x41x24 + 0.02461x41x34 - 0.01365x41x44 - 0.03981x41x15 - 0.0114x41x25 - 0.03642x41x35 - 0.01057x41x45 + 0.00503x12x22 + 0.0046x12x32 - 0.00947x12x42 + 0.04223x12x13 - 0.03098x12x23 - 0.00244x12x33 - 0.02759x12x43 - 0.09761x12x14 - 0.0471x12x24 - 0.00136x12x34 - 0.06364x12x44 - 0.07924x12x15 + 0.03065x12x25 - 0.00473x12x35 - 0.02787x12x45 + 0.02503x22x32 - 0.01286x22x42 - 0.05833x22x13 - 0.00395x22x23 - 0.01622x22x33 - 0.03255x22x43 - 0.01126x22x14 + 0.00521x22x24 - 0.02323x22x34 + 0.00238x22x44 - 0.01895x22x15 + 0.01588x22x25 + 0.02094x22x35 + 0.03697x22x45 - 0.0301x32x42 + 0.02512x32x13 + 0.02601x32x23 + 0.01702x32x33 - 0.05033x32x43 + 0.00027x32x14 + 0.02719x32x24 + 0.01085x32x34 - 0.01085x32x44 + 0.00852x32x15 + 0.02334x32x25 - 0.00842x32x35 + 0.02252x32x45 + 0.02383x42x13 - 0.01188x42x23 - 0.08402x42x33 + 0.02191x42x43 - 0.00945x42x14 - 0.02017x42x24 + 0.02143x42x34 - 0.00649x42x44 - 0.01281x42x15 - 0.01494x42x25 - 0.03552x42x35 - 0.03255x42x45 - 0.04987x13x23 + 0.02252x13x33 + 0.04756x13x43 + 0.07786x13x14 + 0.07257x13x24 + 0.09609x13x34 - 0.00727x13x44 - 0.00264x13x15 - 0.05905x13x25 + 0.02812x13x35 + 0.01603x13x45 - 0.01552x23x33 - 0.03165x23x43 - 0.02459x23x14 + 0.00886x23x24 - 0.02403x23x34 + 0.0036x23x44 - 0.10411x33x43 + 0.01546x33x14 - 0.02534x33x24 - 0.02545x33x34 - 0.06479x33x44 - 0.02107x33x15 - 0.0178x33x25 + 0.01829x33x35 - 0.03164x33x45 + 0.00101x43x14 - 0.04286x43x24 + 0.04003x43x34 + 0.00941x43x44 + 0.02542x43x15 - 0.0346x43x25 - 0.05575x43x35 - 0.01511x43x45 - 0.02746x14x24 - 0.03695x14x34 + 0.02318x14x44 + 0.05524x14x15 + 0.00787x14x25 + 0.01064x14x35 - 0.0042x14x45 - 0.02824x24x34 + 0.00134x24x44 - 0.01618x24x15 + 0.05544x24x25 + 0.02197x24x35 + 0.0381x24x45 + 0.00374x34x44 + 0.01436x34x15 - 0.02191x34x25 + 0.00817x34x35 - 0.02709x34x45 + 0.04286x44x15 + 0.00035x44x25 - 0.01624x44x35 - 0.03576x44x45 - 0.00284x15x25 + 0.00182x15x35 + 0.01984x15x45 + 0.01925x25x35 + 0.03489x25x45 + 0.01714x35x45 </p>
----------------	--

Y ₃	$ \begin{aligned} & 18.8409 - 0.3511x_{11} - 0.0214x_{31} + 0.0545x_{41} - 0.1867x_{12} + 0.0034x_{22} + 0.0685x_{32} \\ & - 0.3367x_{13} - 0.0278x_{23} - 0.0739x_{33} + 0.0103x_{43} + 8.6331x_{14} \\ & - 0.0415x_{24} - 0.0294x_{34} + 0.1203x_{44} - 0.3065x_{15} + 0.0726x_{25} \\ & - 0.0169x_{35} + 0.1823x_{45} + 0.035x_{11x_{11}} - 0.3042x_{21x_{21}} \\ & + 0.026x_{31x_{31}} + 0.0415x_{41x_{41}} - 0.0248x_{12x_{12}} + 0.3438x_{22x_{22}} \\ & + 0.0975x_{32x_{32}} - 0.0716x_{42x_{42}} + 0.1006x_{13x_{13}} - 0.0148x_{23x_{23}} \\ & - 0.0878x_{33x_{33}} - 0.0253x_{43x_{43}} + 0.0647x_{14x_{14}} + 0.092x_{24x_{24}} \\ & + 0.0661x_{34x_{34}} - 0.0831x_{44x_{44}} - 0.0694x_{15x_{15}} + 0.5151x_{25x_{25}} \\ & - 0.0228x_{35x_{35}} + 0.1902x_{11x_{14}} + 0.0674x_{21x_{31}} - 0.0215x_{21x_{41}} \\ & - 0.0055x_{21x_{12}} + 0.0399x_{21x_{22}} - 0.0332x_{21x_{32}} + 0.0859x_{21x_{42}} \\ & - 0.0674x_{21x_{13}} - 0.2624x_{21x_{23}} + 0.1391x_{21x_{33}} + 0.0486x_{21x_{43}} \\ & - 0.4787x_{21x_{14}} - \mathbf{2.1231x_{21x_{24}}} - 0.0066x_{21x_{34}} + 0.1207x_{21x_{44}} \\ & - 0.0841x_{21x_{15}} + 0.0489x_{21x_{25}} + 0.0714x_{21x_{35}} - 0.179x_{21x_{45}} \\ & - 0.0518x_{31x_{41}} - 0.0036x_{31x_{12}} + 0.1007x_{31x_{22}} - 0.0026x_{31x_{32}} \\ & + 0.0537x_{31x_{42}} + 0.0107x_{31x_{13}} + 0.1111x_{31x_{23}} - 0.0888x_{31x_{33}} \\ & + 0.0201x_{31x_{43}} - 0.9064x_{31x_{14}} + 0.1389x_{31x_{24}} + 0.0011x_{31x_{34}} \\ & - 0.1141x_{31x_{44}} - 0.5068x_{31x_{15}} + 0.0746x_{31x_{25}} - 0.0768x_{31x_{35}} \\ & - 0.1893x_{31x_{45}} + 0.3028x_{41x_{12}} - 0.0554x_{41x_{22}} - 0.1756x_{41x_{32}} \\ & + 0.0595x_{41x_{42}} - 0.7886x_{41x_{13}} - 0.0461x_{41x_{23}} + 0.0156x_{41x_{33}} \\ & + 0.0151x_{41x_{43}} + 0.0279x_{41x_{14}} - 0.046x_{41x_{24}} + 0.128x_{41x_{34}} \\ & + \mathbf{1.19x_{41x_{44}}} - 0.6155x_{41x_{15}} - 0.0762x_{41x_{25}} - 0.0618x_{41x_{35}} \\ & + 0.0091x_{41x_{45}} - 0.0162x_{12x_{22}} + 0.0665x_{12x_{32}} - 0.0242x_{12x_{42}} \\ & + 0.7776x_{12x_{13}} + 0.1824x_{12x_{23}} + 0.1742x_{12x_{33}} - 0.1056x_{12x_{43}} \\ & + 0.3277x_{12x_{14}} + 0.1643x_{12x_{24}} + 0.1482x_{12x_{34}} + 0.0691x_{12x_{44}} \\ & + 0.1154x_{12x_{15}} + 0.0735x_{12x_{25}} + 0.0135x_{12x_{35}} - 0.2726x_{12x_{45}} \\ & - 0.0764x_{22x_{32}} + 0.0201x_{22x_{42}} - 0.0205x_{22x_{13}} + 0.2889x_{22x_{23}} \\ & + 0.0787x_{22x_{33}} - 0.0144x_{22x_{43}} + 0.3168x_{22x_{14}} - 0.0915x_{22x_{24}} \\ & + 0.0301x_{22x_{34}} + 0.0246x_{22x_{44}} + 0.0412x_{22x_{15}} + 0.4172x_{22x_{25}} \\ & + 0.0172x_{22x_{35}} - 0.2216x_{22x_{45}} - 0.0756x_{32x_{42}} - 0.0861x_{32x_{13}} \\ & - 0.0646x_{32x_{23}} - 0.0076x_{32x_{33}} - 0.1112x_{32x_{43}} - 0.1086x_{32x_{14}} \\ & - 0.0616x_{32x_{24}} - 0.0543x_{32x_{34}} - 0.2525x_{32x_{44}} - 0.0249x_{32x_{15}} \\ & - 0.1029x_{32x_{25}} + 0.0385x_{32x_{35}} - 0.3319x_{32x_{45}} + 0.0877x_{42x_{13}} \\ & + 0.0358x_{42x_{23}} + 0.129x_{42x_{33}} - 0.0501x_{42x_{43}} - 0.1062x_{42x_{14}} \\ & + 0.0641x_{42x_{24}} + 0.0248x_{42x_{34}} - 0.0587x_{42x_{44}} - 0.1552x_{42x_{15}} \\ & - 0.0138x_{42x_{25}} + 0.0467x_{42x_{35}} + 0.1034x_{42x_{45}} + 0.0377x_{13x_{23}} \\ & - 0.0635x_{13x_{33}} + 0.0646x_{13x_{43}} + 0.1477x_{13x_{14}} - 0.0704x_{13x_{24}} \\ & - 0.3954x_{13x_{34}} + 0.5207x_{13x_{44}} - 0.4195x_{13x_{15}} + 0.1575x_{13x_{25}} \\ & - 0.0466x_{13x_{35}} - 0.1052x_{13x_{45}} + 0.0912x_{23x_{33}} + 0.0011x_{23x_{43}} \\ & + 0.1871x_{23x_{14}} + 0.1683x_{23x_{24}} + 0.0208x_{23x_{34}} + 0.0276x_{23x_{44}} \\ & + 0.0937x_{33x_{43}} + 0.0602x_{33x_{14}} + 0.1358x_{33x_{24}} + 0.0912x_{33x_{34}} \\ & - 0.0472x_{33x_{44}} + 0.2113x_{33x_{15}} + 0.0526x_{33x_{25}} - 0.0646x_{33x_{35}} \\ & - 0.1261x_{33x_{45}} - 0.1059x_{43x_{14}} + 0.0243x_{43x_{24}} + 0.0575x_{43x_{34}} \\ & - 0.0271x_{43x_{44}} + 0.0402x_{43x_{15}} - 0.0483x_{43x_{25}} + 0.0111x_{43x_{35}} \\ & + 0.1339x_{43x_{45}} - 0.4636x_{14x_{24}} - 0.6501x_{14x_{34}} + 0.3967x_{14x_{44}} \\ & - 0.3493x_{14x_{15}} + 0.0791x_{14x_{25}} - 0.0468x_{14x_{35}} - 0.4718x_{14x_{45}} \\ & + 0.0119x_{24x_{34}} - 0.132x_{24x_{44}} + 0.0392x_{24x_{15}} + 0.1092x_{24x_{25}} \\ & + 0.0573x_{24x_{35}} - 0.2196x_{24x_{45}} + 0.1885x_{34x_{44}} + 0.0329x_{34x_{15}} \\ & + 0.0505x_{34x_{25}} - 0.0077x_{34x_{35}} + 0.2618x_{34x_{45}} + 0.9645x_{44x_{15}} \\ & - 0.0058x_{44x_{25}} - 0.1306x_{44x_{35}} + 0.1619x_{44x_{45}} + 0.0639x_{15x_{25}} \\ & + 0.0033x_{15x_{35}} - 0.179x_{15x_{45}} - 0.0096x_{25x_{35}} - 0.2541x_{25x_{45}} \\ & - 0.21x_{35x_{45}} \end{aligned} $
----------------	---

Y_4	$ \begin{aligned} &169.892 + 0.348x_{11} + 0.848x_{21} + 0.513x_{31} - 0.910x_{41} + 2.521x_{12} + 0.830x_{22} \\ &- 0.131x_{32} - 1.851x_{42} - 0.941x_{13} - 0.616x_{23} + 0.780x_{33} \\ &- 0.620x_{43} - 1.909x_{14} + 1.203x_{24} + 1.203x_{34} + 1.108x_{44} \\ &+ 0.519x_{15} + 73.246x_{25} + 1.765x_{35} + 0.383x_{45} + 0.383x_{55} \\ &+ 2.398x_{16} + 4.333x_{26} + 0.344x_{36} + 1.141x_{46} + 1.141x_{56} \\ &- 5.118x_{17} + 1.280x_{27} - 0.600x_{37} - 1.895x_{47} + 1.895x_{57} \\ &- 4.115x_{18} - 7.065x_{28} + 0.525x_{38} + 0.350x_{48} + 0.350x_{58} \\ &- 3.407x_{19} + 0.454x_{29} + 0.121x_{39} - 0.187x_{49} + 0.187x_{59} \\ &+ 26.745x_{20} + 6.894x_{30} + 0.126x_{40} + 5.283x_{50} + 5.283x_{60} \\ &- 0.966x_{21} + 0.682x_{31} - 0.129x_{41} - 0.522x_{51} + 0.522x_{61} \\ &- 0.283x_{22} + 1.918x_{32} - 1.051x_{42} - 1.709x_{52} + 1.709x_{62} \\ &- 1.379x_{23} - 1.379x_{33} + 0.256x_{43} - 3.607x_{53} + 3.607x_{63} \\ &- 4.248x_{24} - 0.908x_{34} + 2.347x_{44} - 0.833x_{54} + 0.833x_{64} \\ &- \mathbf{23.198x_{25}} - 0.913x_{35} - 3.678x_{45} + 0.634x_{55} + 0.634x_{65} \\ &+ 0.926x_{26} - 0.126x_{36} - 0.409x_{46} + 1.437x_{56} + 1.437x_{66} \\ &+ 0.937x_{27} + 0.384x_{37} - 0.626x_{47} - 0.059x_{57} + 0.059x_{67} \\ &- 2.040x_{28} - 1.427x_{38} + 0.724x_{48} - 1.410x_{58} + 1.410x_{68} \\ &- 6.817x_{29} - 0.597x_{39} - 0.035x_{49} - 3.694x_{59} + 3.694x_{69} \\ &- 2.765x_{30} + 0.654x_{40} + 1.581x_{50} - 0.753x_{60} + 0.753x_{70} \\ &- 2.168x_{31} + 1.102x_{41} + 0.351x_{51} - 0.068x_{61} + 0.068x_{71} \\ &- 5.580x_{32} + 0.415x_{42} - 3.087x_{52} - 0.837x_{62} + 0.837x_{72} \\ &- 2.256x_{33} + 0.371x_{43} + 0.896x_{53} + 1.060x_{63} + 1.060x_{73} \\ &- 0.470x_{34} + 0.646x_{44} - 0.821x_{54} + 4.826x_{64} + 4.826x_{74} \\ &+ 0.474x_{35} + 0.258x_{45} - 1.109x_{55} + 1.395x_{65} + 1.395x_{75} \\ &- 3.405x_{36} + 0.092x_{46} - 1.454x_{56} + 5.246x_{66} + 5.246x_{76} \\ &- 0.620x_{37} + 0.858x_{47} - 1.521x_{57} - 0.178x_{67} + 0.178x_{77} \\ &+ 1.865x_{38} - 0.480x_{48} - 2.848x_{58} - 1.158x_{68} + 1.158x_{78} \\ &+ 0.331x_{39} + 0.170x_{49} - 0.149x_{59} - 0.849x_{69} + 0.849x_{79} \\ &+ 1.754x_{40} + 3.211x_{50} + 2.211x_{60} - 0.774x_{70} + 0.774x_{80} \\ &- 3.288x_{41} + 2.531x_{51} - 0.138x_{61} + 0.386x_{71} + 0.386x_{81} \\ &+ 0.230x_{42} + 0.948x_{52} - 0.478x_{62} - 0.797x_{72} + 0.797x_{82} \\ &+ 1.198x_{43} - 0.480x_{53} - 0.921x_{63} - 0.538x_{73} + 0.538x_{83} \\ &- 0.242x_{44} - 2.891x_{54} + 0.525x_{64} + 2.590x_{74} + 2.590x_{84} \\ &+ 1.202x_{45} - 0.803x_{55} + 1.126x_{65} + 1.496x_{75} + 1.496x_{85} \\ &- 3.873x_{46} - 1.318x_{56} - 2.652x_{66} + 1.406x_{76} + 1.406x_{86} \\ &+ 1.796x_{47} + 2.024x_{57} - 0.683x_{67} - 0.028x_{77} + 0.028x_{87} \\ &+ 1.248x_{48} - 0.240x_{58} + 0.444x_{68} - 1.884x_{78} + 1.884x_{88} \\ &+ 1.714x_{49} + 2.235x_{59} + 0.873x_{69} - 0.196x_{79} + 0.196x_{89} \\ &+ 1.939x_{50} - 0.614x_{60} + 1.050x_{70} + 0.878x_{80} + 0.878x_{90} \\ &- 3.503x_{51} - 1.290x_{61} + 2.252x_{71} - 0.370x_{81} + 0.370x_{91} \\ &- 0.945x_{52} - 2.046x_{62} + 0.529x_{72} - 1.785x_{82} + 1.785x_{92} \\ &- 1.394x_{53} - 1.506x_{63} + 0.407x_{73} - 4.181x_{83} + 4.181x_{93} \\ &+ 0.873x_{54} - 0.277x_{64} - 2.416x_{74} - 0.220x_{84} + 0.220x_{94} \\ &- 2.822x_{55} - 0.217x_{65} + 0.213x_{75} + 2.978x_{85} + 2.978x_{95} \\ &+ 2.438x_{56} + 0.620x_{66} - 1.775x_{76} - 4.018x_{86} + 4.018x_{96} \\ &- 0.753x_{57} - 0.533x_{67} + 4.181x_{77} - 0.696x_{87} + 0.696x_{97} \\ &- 1.839x_{58} - 4.227x_{68} + 1.425x_{78} - 1.514x_{88} + 1.514x_{98} \\ &+ \mathbf{40.342x_{59}} - 1.104x_{69} - 3.030x_{79} - 0.571x_{89} + 0.571x_{99} \\ &+ 0.857x_{60} + 1.124x_{70} + 1.915x_{80} + 1.349x_{90} + 1.349x_{100} \\ &- 1.214x_{61} + 2.467x_{71} + 2.601x_{81} + 0.141x_{91} + 0.141x_{101} \\ &+ 0.709x_{62} - 1.101x_{72} - 3.724x_{82} - 3.626x_{92} - 3.626x_{102} \end{aligned} $
-------	---

ตัวแปรตอบสนอง Y_1 คือจุดความไผของน้ำมันเตา มีค่าเป้าหมายคือต้องไม่น้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส จากสมการการถดถอยตัวแปรตอบสนอง Y_1 พบว่าพจน์ของตัวแปรตามมีความสอดคล้องกับค่าคุณสมบัติในทฤษฎี กล่าวคือพจน์ที่ลดจุดความไผอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ $-1224x_{31}x_{32}$ โดยหากต้องการลดค่าจุดความไผให้เลือกผสมน้ำมันเครื่องบิน (x_{31}) เข้าไปมากยิ่งขึ้น เพราะคุณสมบัติ

ของน้ำมันเครื่องบินคือมีจุดวาบไฟต่ำ (x_{32}) ทำให้ติดไฟได้ง่าย ในขณะที่เดียวกันหากต้องการเพิ่มจุดวาบไฟของน้ำมันเตา พจน์ตัวแปรตามที่เพิ่มจุดวาบไฟอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ $3.19x_{41}x_{42}$ โดยหากต้องการเพิ่มจุดวาบไฟให้พิจารณาเลือกใช้กากของหน่วยแยกความหนืด (x_{41}) เพราะ กากของหน่วยแยกความหนืดมีค่าจุดวาบไฟที่สูง (x_{42}) เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นส่วนเหลือจากกระบวนการผลิต ในการเผาไหม้จึงต้องใช้ความร้อนในอุณหภูมิสูงในการจุดติดไฟ

ตัวแปรตอบสนอง Y_2 คือปริมาณกำมะถันของน้ำมันเตา มีค่าเป้าหมายคือต้องไม่เกินร้อยละ 4 ของน้ำหนัก จากสมการการถดถอยตัวแปรตอบสนอง Y_2 พบว่าพจน์ของตัวแปรตามมีความสอดคล้องกับค่าคุณสมบัติในทฤษฎี กล่าวคือพจน์ที่ลดปริมาณกำมะถันอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ $-1.02532x_{21}x_{23}$ โดยหากต้องการลดปริมาณกำมะถันสามารถทำได้โดยการลดปริมาณน้ำมันดีเซล (x_{21}) ที่ใช้ผสมในน้ำมันเตา เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลมีกำมะถันที่ต่ำ (x_{23}) ในขณะเดียวกันหากต้องการเพิ่มปริมาณกำมะถันในน้ำมันเตา พจน์ตัวแปรตามที่เพิ่มปริมาณกำมะถันอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ $2.10017x_{11}x_{13}$ โดยปัจจัยหลักคือการเพิ่มปริมาณการใช้กากของหน่วยแยกความหนืด (x_{11}) เนื่องจากกากของหน่วยแยกความหนืด เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิตแยกความหนืดเท่านั้น ทำให้ปริมาณกำมะถันไม่ได้ถูกกำจัดออกไปด้วย ทำให้มีกากของหน่วยแยกความหนืดคุณสมบัติปริมาณกำมะถันสูง (x_{13})

ตัวแปรตอบสนอง Y_3 คือจุดไหลเทของน้ำมันเตา มีค่าเป้าหมายคือต้องไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส จากสมการการถดถอยตัวแปรตอบสนอง Y_3 พบว่าพจน์ของตัวแปรตามมีความสอดคล้องกับค่าคุณสมบัติในทฤษฎี กล่าวคือพจน์ที่ลดจุดไหลเทอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ $-2.1231x_{21}x_{24}$ โดยหากต้องการลดค่าจุดไหลเทให้เลือกผสมน้ำมันดีเซลเข้าไปมากยิ่งขึ้น (x_{21}) เพราะคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลคือมีจุดไหลเทที่ต่ำ (x_{24}) กล่าวคือของเหลวจะเกิดการเริ่มเกิดการแข็งตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะเดียวกันหากต้องการเพิ่มจุดไหลเทของน้ำมันเตา พจน์ตัวแปรตามที่เพิ่มจุดไหลเทอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ $1.19x_{41}x_{44}$ โดยปัจจัยหลักคือการเพิ่มปริมาณกากบรรยากาศของหน่วยแยกคอนเดนเสท (x_{41}) เพราะ กากบรรยากาศของหน่วยแยกคอนเดนเสท มีค่าคุณสมบัติจุดไหลเทที่สูง (x_{44}) ทำให้ผลิตภัณฑ์กลายเป็นของแข็งได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิต่ำขึ้น

ตัวแปรตอบสนอง Y_4 คือความหนืดของน้ำมันเตา มีค่าเป้าหมายคือต้องไม่เกิน 380 เซนติสโตก จากสมการการถดถอยตัวแปรตอบสนอง Y_4 พบว่าพจน์ของตัวแปรตามมีความสอดคล้องกับค่าคุณสมบัติในทฤษฎี กล่าวคือพจน์ที่ลดความหนืดอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ $-23.198x_{21}x_{25}$ โดยหาก

ต้องการลดค่าความหนืดของน้ำมันเตาให้เลือกผสมน้ำมันดีเซลเข้าไปมากยิ่งขึ้น (x_{21}) เพราะคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลคือมีความหนืดต่ำ (x_{25}) ในขณะเดียวกันหากต้องการเพิ่มความหนืดของน้ำมันเตา พจน์ตัวแปรตามที่เพิ่มค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ $40.342x_{15}x_{11}$ โดยปัจจัยหลักคือการเพิ่มปริมาณใช้กากของหน่วยแยกความหนืด (x_{11}) เพราะ กากของหน่วยแยกความหนืดมีค่าคุณสมบัติความหนืดที่สูง (x_{15})

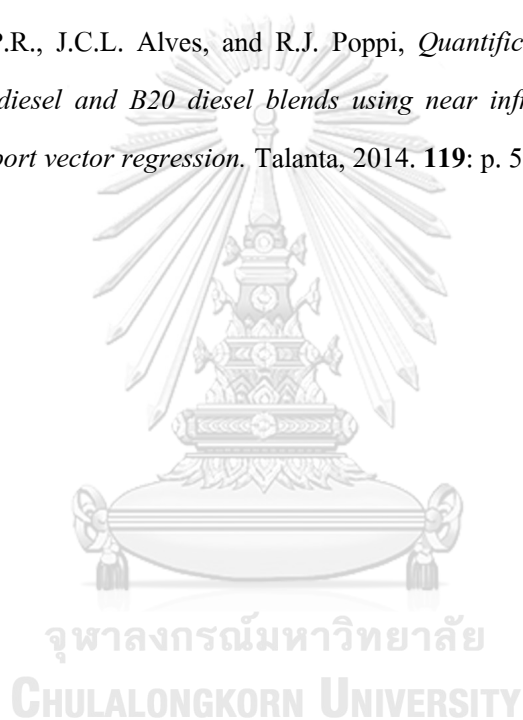


บรรณานุกรม

1. พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล. [cited 2018 21 March]; Available from: <http://energyandenvironmentmanagement.blogspot.com/p/fossil-fuell.html>.
2. Petroleum, B. *BP Statistical Review of World Energy*. 2014 [cited 2015 15 July]; Available from: <http://www.bp.com>.
3. McCarthy, S.M., et al. *Synthesis and partial characterization of biodiesel via base-catalyzed transesterification*. in *Bioenergy*. 2020. Elsevier.
4. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 8 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล. 15 ก.ค. 2558]; Available from: <http://www.able.co.th/Upload/File/24.pdf>
5. ตุงโศชานนท์, ว.ก.แ.ค., คู่มือพลังงานแสงอาทิตย์แบบปรับแสงรับแสงได้. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย. **22**: p. 378-383.
6. Larsen, P.V., *Module 8: Selecting regression models*. Retrieved March, 2008. **27**: p. 2010.
7. โฉมทิ, บ., การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (*Multiple Regression*). 2554: ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
8. Thomas, P.R., *Modern Regression Methods*. 2009: John Wiley & Sons Inc. New Jersey.
9. Chen, J., et al., *The spatiotemporal structure of twentieth-century climate variations in observations and reanalyses. Part I: Long-term trend*. *Journal of Climate*, 2008. **21**(11): p. 2611-2633.
10. สุภวาลย์, พ., การวิเคราะห์การถดถอย (*Regression Analysis*): การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุ. 2556, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
11. Russolillo, G., *Non-metric partial least squares*. *Electronic Journal of Statistics*, 2012. **6**: p. 1641-1669.
12. Boulesteix, A.-L. and K. Strimmer, *Predicting transcription factor activities from combined analysis of microarray and ChIP data: a partial least squares approach*. *Theoretical Biology and Medical Modelling*, 2005. **2**(1): p. 23.
13. Mehmood, T., et al., *A review of variable selection methods in partial least squares regression*. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2012. **118**: p. 62-69.
14. Manne, R., *Analysis of two partial-least-squares algorithms for multivariate calibration*. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 1987. **2**(1-3): p. 187-197.

15. Boulesteix, A.-L., *PLS dimension reduction for classification with microarray data*. Statistical applications in genetics and molecular biology, 2004. **3**(1).
16. Hilario, M. and A. Kalousis, *Approaches to dimensionality reduction in proteomic biomarker studies*. Briefings in bioinformatics, 2008. **9**(2): p. 102-118.
17. Dai, J.J., L. Lieu, and D. Rocke, *Dimension reduction for classification with gene expression microarray data*. Statistical applications in genetics and molecular biology, 2006. **5**(1).
18. Yeniay, Ö. and A. GÖKTAŞ, *A comparison of partial least squares regression with other prediction methods*. Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 2002. **31**: p. 99-111.
19. Wold, S., M. Sjöström, and L. Eriksson, *PLS-regression: a basic tool of chemometrics*. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 2001. **58**(2): p. 109-130.
20. Rosipal, R. and N. Krämer. *Overview and recent advances in partial least squares*. in *International Statistical and Optimization Perspectives Workshop" Subspace, Latent Structure and Feature Selection"*. 2005. Springer.
21. Höskuldsson, A., *PLS regression methods*. Journal of chemometrics, 1988. **2**(3): p. 211-228.
22. Nguyen, D.V. and D.M. Rocke, *Multi-class cancer classification via partial least squares with gene expression profiles*. Bioinformatics, 2002. **18**(9): p. 1216-1226.
23. Nguyen, D.V. and D.M. Rocke, *Tumor classification by partial least squares using microarray gene expression data*. Bioinformatics, 2002. **18**(1): p. 39-50.
24. Teofilo, R.F., J.P.A. Martins, and M.M. Ferreira, *Sorting variables by using informative vectors as a strategy for feature selection in multivariate regression*. Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society, 2009. **23**(1): p. 32-48.
25. R Gosselin, D.R., C Duchesne, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. Vol. 100 2010. 140.
26. Martin, E., A. Morris, and C. Kiparissides, *Manufacturing performance enhancement through multivariate statistical process control*. Annual Reviews in Control, 1999. **23**: p. 35-44.
27. Gutkin, M., *Feature selection methods for classification of gene expression profiles*. 2008: University of Tel-Aviv.

28. Chong, I.-G. and C.-H. Jun, *Performance of some variable selection methods when multicollinearity is present*. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 2005. **78**(1-2): p. 103-112.
29. Alves, J.C.L., C.B. Henriques, and R.J. Poppi, *Determination of diesel quality parameters using support vector regression and near infrared spectroscopy for an in-line blending optimizer system*. Fuel, 2012. **97**: p. 710-717.
30. Aleme, H.G. and P.J. Barbeira, *Determination of flash point and cetane index in diesel using distillation curves and multivariate calibration*. Fuel, 2012. **102**: p. 129-134.
31. Filgueiras, P.R., J.C.L. Alves, and R.J. Poppi, *Quantification of animal fat biodiesel in soybean biodiesel and B20 diesel blends using near infrared spectroscopy and synergy interval support vector regression*. Talanta, 2014. **119**: p. 582-589.





ช่วงของข้อมูลที่น่าวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นข้อมูลการผสมทุกแบบซ้ำของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ซึ่งอ้างอิงข้อมูลในอดีตของปี 2560-2562 ทั้งหมด 240 ชุดข้อมูล

ข้อมูลที่ 1-160 ใช้วิเคราะห์หาสมการการถดถอย

ข้อมูลที่ 161-200 ใช้ทดสอบความแม่นยำของสมการการถดถอย

ข้อมูลที่ 201-240 ในการหาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่เหมาะสมโดยการแก้ปัญหาเชิงเส้น

ตารางที่ 33 ข้อมูลตัวแปรต้นสำหรับพิจารณาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตา

ข้อมูลที่	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กากของหน่วยแยกความหนืด	น้ำมันดีเซล	น้ำมันเครื่องบีน	กากบรรายาศหน่วยแยกกากคอนเดนเสท	กากของหน่วยแยกความหนืด	น้ำมันดีเซล	น้ำมันเครื่องบีน	กากบรรายาศหน่วยแยกกากคอนเดนเสท
	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{42}
1	71	-	-	29	73.0	-	-	126.0
2	88	12	-	-	83.0	93.0	-	-
3	78	-	-	22	79.0	-	-	122.0
4	93	7	-	-	84.1	91.0	-	-
5	92	-	8	-	77.3	-	51.0	-
6	75	25	-	-	80.0	-	-	-
7	83	-	-	17	80.0	-	-	130.0
8	94	-	6	-	76.0	-	51.0	-
9	94	6	-	-	64.0	97.0	-	-
10	93	7	-	-	75.0	93.0	-	-

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรรรยา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดน เสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบี น	กาก บรรรยา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดน เสท
	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{42}
11	86	-	-	14	61.0	-	-	126.0
12	91	9	-	-	73.0	93.0	-	-
13	81	-	-	19	55.0	-	-	126.0
14	93	7	-	-	63.0	93.0	-	-
15	76	-	-	24	62.0	-	-	123.0
16	92	-	8	-	68.0	-	48.0	-
17	91	9	-	-	51.0	93.0	-	-
18	75	-	-	25	61.0	-	-	126.0
19	86	14	-	-	62.0	93.0	-	-
20	94	-	6	-	72.4	-	48.0	-
21	93	-	7	-	65.0	-	48.0	-
22	92	8	-	-	62.7	93.0	-	-
23	81	-	-	19	64.0	-	-	126.0
24	94	-	6	-	75.0	-	48.0	-
25	82	-	-	18	62.0	-	-	78.0
26	92	8	-	-	75.0	104.0	-	-
27	98	-	2	-	85.0	-	52.0	-
28	81	19	-	-	103.0	100.0	-	-
29	93	-	7	-	102.0	-	51.0	-

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กากของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรรจุ ยาศ หน่วย แยก คอน เดน เสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรรจุ ยาศ หน่วย แยก คอน เดน เสท
	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{42}
30	76	-	-	24	66	-	-	132
31	74	16	-	-	58	98		
32	85	-	-	15	54.0	-	-	127.0
33	75	-	-	25	59.0	-	-	130.0
34	96	4	-	-	62.0	91.0	-	-
35	88	12	-	-	64.0	97.0	-	-
36	86	-	-	14	65.0	-	-	126.0
37	96	4	-	-	72.4	93.0	-	-
38	98	-	2	-	75.4	-	51.0	-
39	73	-	-	27	57.0	-	-	139.0
40	88	12	-	-	70.2	90.0	-	-
41	96	4	-	-	75.0	92.0	-	-
42	84	-	-	16	61.0	-	-	129.0
43	88	13	-	-	78.0	92.0	-	-
44	88	-	-	12	64.0	-	-	135.0
45	94	7	-	-	74.0	95.0	-	-
46	79	21	-	-	91.0	91.0	-	-
47	85	-	-	15	55.0	-	-	131.0
48	97	3	-	-	65.0	91.0	-	-
49	79	21	-	-	60.0	97.0	-	-

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กากของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรρυาก าศหน่วย แยกกาก คอนเดน เสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรρυาก าศ หน่วย แยกกาก คอนเดน เสท
	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{42}
50	86	-	-	14	55.0	-	55	-
51	85	15	-	-	54.0	90.5		
52	90	10	-	-	55.0	99.0	-	-
53	74	-	-	26	64.0	-	-	131.0
54	78	22	-	-	78.0	95.0	-	-
55	63	-	-	37	61.0	-	-	136.0
56	91	9	-	-	72.0	91.0	-	-
57	88	-	12	-	79.0	-	45.0	-
58	87	-	-	13	56.0	-	-	112.0
59	92	8	-	-	52.0	94.0	-	-
60	93	-	7	-	65.0	-	56.0	-
61	93	7	-	-	52.0	92.0	-	-
62	84	-	-	16	52.0	-	-	134.0
63	82	18	-	-	72.0	92.0	-	-
64	81	-	-	19	61.0	95.0	-	-
65	93	7	-	-	53.0	93.0	-	-
66	80	20	-	-	50.0	93.0	-	-
67	93	-	7	-	51.0	-	49.0	-
68	89	11	-	-	50.4	90.0	-	-
69	84	-	-	16	52.0	-	-	113.0

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน น เครื่อง บีน	กาก บรรรยา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดนเสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน น ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิ น	กาก บรรรยา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดน เสท
	x ₁₁	x ₂₁	x ₃₁	x ₄₁	x ₁₂	x ₂₂	x ₃₂	x ₄₂
70	94	6	-	-	63.0	92.0	-	-
71	83	-	-	17	50.0	-	-	140.0
72	88	12	-	-	64.0	95.0	-	-
73	85	-	-	15	51.0	-	-	114.0
74	93	-	7	-	65.0	-	50.0	-
75	91	9	-	-	75.0	94.0	-	-
76	80	-	-	20	75.0	-	-	92.0
77	95	5	-	-	79.0	105.0	-	-
78	79	21	-	-	79.0	94.0	-	-
79	90	10	-	-	74.0	90.0	-	-
80	79	-	-	21	61.0	-	-	142.0
81	92	9	-	-	73.0	94.0	-	-
82	87	13	-	-	50.0	103.0	-	-
83	94	-	6	-	67.0	-	49.0	-
84	91	9	-	-	56.0	91.0	-	-
85	88	12	-	-	79.0	91.0	-	-
86	93	-	7	-	53.0	-	47.0	-
87	92	8	-	-	49.0	93.0	-	-
88	89	-	-	11	57.0	-	-	113.2

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กากของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรรจุภา ศหน่วย แยกกาก คอนเดน เสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรจุภา ศหน่วย แยกกาก คอน เดนเสท
	X ₁₁	X ₂₁	X ₃₁	X ₄₁	X ₁₂	X ₂₂	X ₃₂	X ₄₂
89	91	9	-	-	54.0	90.7		
90	82	-	-	18	57.0	-	-	148.0
91	96	-	4	-	68.0	-	48.0	-
92	95	5	-	-	62.0	92.0	-	-
93	86	14	-	-	53.0	92.0	-	-
94	92	9	-	-	62.0	95.0	-	-
95	84	-	-	16	53.0	-	-	122.0
96	90	10	-	-	67.0	91.0	-	-
97	91	9	-	-	54.0	93.0	-	-
98	90	-	10	-	55.0	-	49.0	-
99	88	12	-	-	52.0	90.0	-	-
100	81	-	-	19	79.0	-	-	91.0
101	88	12	-	-	73.0	91.0	-	-
102	91	9	-	-	75.0	93.0	-	-
103	84	-	16	-	57.0	-	50.0	-
104	91	9	-	-	54.0	90.0	-	-
105	89	11	-	-	50.0	91.0	-	-
106	92	8	-	-	59.0	95.0	-	-
107	84	-	-	16	53.0	-	-	142.5
108	89	11	-	-	72.0	94.0	-	-

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กากของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรρυาก าสหน่วย แยกกาก คอนเดน เสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรρυาก าส หน่วย แยกกาก คอน เดนเสท
	X ₁₁	X ₂₁	X ₃₁	X ₄₁	X ₁₂	X ₂₂	X ₃₂	X ₄₂
109	93	7	-	-	73.2	90.3	-	-
110	88	-	-	12	60.2	-	-	133.5
111	93	7	-	-	79.0	92.0	-	-
112	88	12	-	-	52.0	92.0	-	-
113	80	-	-	20	50.0	95.0	-	-
114	94	6	-	-	79.0	93.0	-	-
115	87	13	-	-	51.0	93.0	-	-
116	92	-	8	-	53.0	-	49.0	-
117	91	9	-	-	52.0	90.0	-	-
118	86	-	-	14	62.0	-	-	141.5
119	76	-	24	-	72.0	102.0	-	-
120	87	13	-	-	79.0	92.0	-	-
121	91	9	-	-	64.0	95.0	-	-
122	86	-	14	-	79.0	-	50.0	-
123	84	16	-	-	75.0	94.0	-	-
124	93	7	-	-	57.0	92.0	-	-
125	90	-	-	10	62.0	-	-	128.0
126	95	5	-	-	75.0	105.0	-	-
127	91	9	-	-	75.0	94.0	-	-
128	91	-	9	-	75.0	-	52.0	-
129	92	9	-	-	79.0	94.0	-	-

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน น เครื่อง บีน	กาก บรรรยา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดนเสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน น ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิ น	กาก บรรรยา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดน เสท
	x ₁₁	x ₂₁	x ₃₁	x ₄₁	x ₁₂	x ₂₂	x ₃₂	x ₄₂
130	82	-	-	18	54.0	-	-	135.0
131	93	-	7	-	85.0	-	53.2	-99
132	86	-	-	14	50.0	-	-	148.5
133	83	17	-	-	62.0	93.0	-	-
134	88	-	-	12	51.0	-	-	141.0
135	92	9	-	-	79.0	90.0	-	-
136	89	11	-	-	79.0	92.0	-	-
137	87	-	-	13	63.0	-	-	140.5
138	90	-	10	-	74.0	-	48.0	-
139	88	12	-	-	63.0	92.0	-	-
140	86	14	-	-	57.0	95.0	-	-
141	79	-	-	21	53.0	-	-	139.5
142	81	19	-	-	61.0	91.0	-	-
143	86	14	-	-	51.0	93.0	-	-
144	83	17	-	-	53.0	90.0	-	-
145	92	-	8	-	53.0	-	49.0	-
146	89	11	-	-	52.0	91.0	-	-
147	76	-	-	24	62.0	-	-	140.5

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมี น เครื่อง งบิน	กาก บรรรยา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดนเสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรรรยา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดน เสท
	x ₁₁	x ₂₁	x ₃₁	x ₄₁	x ₁₂	x ₂₂	x ₃₂	x ₄₂
148	86	14	-	-	74.0	91.0	-	-
149	89	11	-	-	50.0	93.0	-	-
150	88	12	-	-	59.0	90.0	-	-
151	86	-	-	14	65.0	-	-	133.0
152	83	17	-	-	51.0	95.0	-	-
153	85	-	-	15	73.0	-	-	132.5
154	88	12	-	-	55.0	94.0	-	-
155	90	-	-	10	55.0	-	-	139.5
156	87	-	-	13	50.0	-	-	140.0
157	98	2	-	-	55.0	94.0	-	-
158	92	-	8	-	51.0	-	52.0	-
159	96	4	-	-	51.0	92.0	-	-
160	92	-	8	-	77.0	-	48.0	-
161	83	-	-	17	53.0	-	-	136.5
162	95	5	-	-	64.0	95.0	-	-
163	94	6	-	-	55.0	93.0	-	-
164	92	8	-	-	51.0	93.0	-	-
165	89	11	-	-	75.0	90.0	-	-
166	90	10	-	-	75.0	94.0	-	-

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กากของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรยากาศ าศหน่วย แยกกาก คอนเดน เสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิ น	กาก บรยากาศ าศ หน่วย แยกกาก คอน เดนเสท
	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{42}
167	88	12	-	-	56.0	82.5	-	-
168	92	8	-	-	70.0	85.0	-	-
169	93	7	-	-	50.0	94.0	-	-
170	80	-	-	20	73.0	-	-	136.5
171	88	12	-	-	81.1	94.0	-	-
172	92	8	-	-	94.0	92.0	-	-
173	93	-	-	7	79.0	-	-	141.5
174	89	11	-	-	87.2	95.0	-	-
175	90	10	-	-	52.0	94.0	-	-
176	92	-	-	8	55.0	-	-	135.0
177	87	13	-	-	67.0	90.0	-	-
178	91	-	9	-	52.0	-	51.0	-
179	89	11	-	-	52.0	94.0	-	-
180	86	14	-	-	52.0	91.0	-	-
181	86	14	-	-	52.0	91.0	-	-
182	91	9	-	-	53.0	91.0	-	-
183	91	-	-	9	55.0	-	-	140.0
184	86	14	-	-	68.0	91.0	-	-
185	91	9	-	-	94.0	93.0	-	-
186	87	-	-	13	94.0	-	-	147.5
187	92	8	-	-	118.2	93.0	-	-

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรρυาก าศ หน่วย แยกกาก คอน เดนเสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิ น	กาก บรρυา าศ หน่วย แยก กาก คอน เดนเสท
	X ₁₁	X ₂₁	X ₃₁	X ₄₁	X ₁₂	X ₂₂	X ₃₂	X ₄₂
188	85	15	-	-	79.0	89.0	-	-
189	88	12	-	-	93.0	92.0	-	-
190	94	6	-	-	57.0	92.0	-	-
191	91	-	-	9	55.0	-	-	148.5
192	90	10	-	-	54.0	91.0	-	-
193	92	8	-	-	92.0	99.0	-	-
194	93	-	7	-	53.0	-	49.0	-
195	92	8	-	-	51.0	90.0	-	-
196	92	-	-	8	54.0	-	-	147.0
197	91	9	-	-	64.0	91.0	-	-
198	93	7	-	-	53.0	91.0	-	-
199	92	8	-	-	53.0	103.0	-	-
200	89	11	-	-	53.0	90.0	-	-
201	90	10	-	-	54.0	91.0	-	-
202	91	-	-	9	55.0	-	-	140.0
203	98	2	-	-	55.0	94.0	-	-
204	88	12	-	-	53.0	92.0	-	-
205	80	-	-	20	73.0	-	-	136.5
206	88	12	-	-	64.0	95.0	-	-
207	89	11	-	-	52.0	91.0	-	-

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำม น เครื่อง งบิน	กาก บรธา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดนเสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรธา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดน เสท
	x ₁₁	x ₂₁	x ₃₁	x ₄₁	x ₁₂	x ₂₂	x ₃₂	x ₄₂
208	89	11	-	-	59.0	86.5	-	-
209	91	9	-	-	64.0	81.5	-	-
210	93	7	-	-	57.0	92.0	-	-
211	92	-	8	-	53.0	-	49.0	-
212	89	11	-	-	87.2	95.0	-	-
213	73	27	-	-	58.0	91.0	-	-
214	96	4	-	-	72.4	93.0	-	-
215	98	-	2	-	75.4	-	51.0	-
216	92	8	-	-	51.0	90.0	-	-
217	83	17	-	-	62.0	93.0	-	-
218	87	-	-	13	94.0	-	-	147.5
219	76	-	-	24	62.0	-	-	123.0
220	93	-	7	-	65.0	-	50.0	-
221	88	-	-	12	79.0	-	-	121.4
222	79	-	-	21	53.0	-	-	139.5
223	89	11	-	-	53.0	90.0	-	-
224	87	13	-	-	79.0	92.0	-	-

ข้อมูลที	สัดส่วนที่ใช้ผสม				จุดวาบไฟ			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมี น เครื่อง งบิน	กาก บรธา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดนเสท	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนัก	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่อง บิน	กาก บรธา กาศ หน่วย แยก กาก คอน เดน เสท
	x ₁₁	x ₂₁	x ₃₁	x ₄₁	x ₁₂	x ₂₂	x ₃₂	x ₄₂
225	94	-	6	-	53.0	-	49.0	-
226	83	-	-	17	80.0	-	-	130.0
227	86	-	-	14	61.0	-	-	126.0
228	63	-	-	37	61.0	-	-	136.0
229	81	-	-	19	79.0	-	-	91.0
230	96	4	-	-	62.0	91.0	-	-
231	92	-	8	-	53.0	-	49.0	-
232	92	9	-	-	79.0	90.0	-	-
233	93	7	-	-	84.1	91.0	-	-
234	81	-	-	19	64.0	-	-	126.0
235	88	12	-	-	70.2	90.0	-	-
236	93	7	-	-	75.0	93.0	-	-
237	92	8	-	-	53.0	103.0	-	-
238	98	2	-	-	55.0	94.0	-	-
239	88	12	-	-	83.0	93.0	-	-
240	88	12	-	-	93.0	92.0	-	-

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท	กากของหน่วย แยกความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
1	7.0	-	-	9.8	27.0	-	-	33.0
2	5.5	2.2	-	-	30.0	21.0	-	-
3	5.7	-	-	9.7	39.0	-	-	45.0
4	4.2	2.5	-	-	36.0	30.0	-	-
5	2.1	-	6.9	-	15.0	-	15.0	-
6	3.8	-	-	-	9.0	6.0	-	-
7	5.6	-	-	10.0	33.0	-	-	36.0
8	8.4	-	5.1	-	18.0	-	12.0	-
9	5.3	2.3	-	-	15.0	3.0	-	-
10	5.5	2.6	-	-	24.0	6.0	-	-
11	7.6	-	-	9.8	39.0	-	-	45.0
12	7.8	2.0	-	-	33.0	6.0	-	-
13	6.6	-	-	9.9	24.0	-	-	21.0
14	5.1	2.0	-	-	3.0	-	-	-
15	4.7	2.2	-	9.7	15.0	-	-	18.0
16	3.7	-	5.1	-	18.0	-	(3.0)	-
17	4.7	2.0	-	-	9.0	6.0	-	-
18	3.7	-	-	10.2	24.0	-	-	27.0
19	2.7	2.0	-	-	9.0	6.0	-	-
20	2.4	-	6.6	-	15.0	-	(30.0)	-
21	3.6	-	6.8	-	6.0	-	(30.0)	-
22	4.2	2.0	-	-	9.0	15.0	-	-
23	5.2	-	-	10.1	39.0	-	-	51.0

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอนเดน เสท	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
24	5.5	-	5.0	-	15.0	-	(3.0)	-
25	3.5	-	-	6.5	12.0	-	-	6.0
26	5.0	2.6	-	-	39.0	3.0	-	-
27	3.2	-	7.0	-	24.0	-	(6.0)	-
28	5.2	2.8	-	-	24.0	6.0	-	-
29	5.6	-	6.9	-	6.0	-	(30.0)	-
30	4.3	-	-	7.1	6.0	3.0	-	21.0
31	4.2	2.2	-	-	-	3.0	-	-
32	3.4	-	-	10.3	3.0	-	-	27.0
33	6.5	-	-	10.0	6.0	-	-	15.0
34	5.1	2.3	-	-	12.0	6.0	-	-
35	5.6	2.3	-	-	3.0	3.0	-	-
36	5.6	-	-	10.5	9.0	-	-	21.0
37	4.3	2.2	-	-	15.0	6.0	-	-
38	3.5	-	5.1	-	9.0	-	(27.0)	-
39	5.6	-	-	10.4	21.0	-	-	45.0
40	5.2	2.2	-	-	24.0	6.0	-	-
41	1.7	2.2	-	-	33.0	6.0	-	-
42	5.5	-	-	10.2	27.0	-	-	51.0
43	5.5	2.1	-	-	24.0	3.0	-	-
44	5.5	-	-	10.6	33.0	-	-	48.0
45	6.2	2.2	-	-	21.0	9.0	-	-
46	5.8	2.2	-	-	18.0	12.0	-	-

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอนเดน เสท	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
47	4.6	-	-	10.4	9.0	-	-	51.0
48	5.1	2.0	-	-	12.0	3.0	-	-
49	4.2	2.2	-	-	24.0	6.0	-	-
50	6.7	-	5.2	-	30.0	-	(30.0)	-
51	5.1	2.4	-	-	27.0	3.0	-	-
52	4.5	2.3	-	-	6.0	12.0	-	-
53	7.6	-	-	10.2	15.0	-	-	45.0
54	5.7	2.2	-	-	21.0	6.0	-	-
55	4.6	-	-	10.3	12.0	-	-	48.0
56	5.4	2.1	-	-	24.0	3.0	-	-
57	4.2	-	3.6	-	21.0	-	(30.0)	-
58	4.6	-	-	7.1	18.0	-	-	39.0
59	4.6	2.6	-	-	21.0	3.0	-	-
60	5.0	-	3.4	-	24.0	-	(30.0)	-
61	5.7	2.4	-	-	21.0	6.0	-	-
62	5.8	-	-	9.7	18.0	-	-	48.0
63	3.7	2.4	-	-	21.0	6.0	-	-
64	2.9	-	-	8.2	15.0	-	-	36.0
65	4.9	2.0	-	-	18.0	6.0	-	-
66	4.3	2.2	-	-	9.0	6.0	-	-
67	5.6	-	5.7	-	28.0	-	(27.0)	-
68	4.6	2.1	-	-	24.0	6.0	-	-
69	4.5	-	-	8.5	18.0	-	-	24.0

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอนเดน เสท	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
70	4.4	2.3	-	-	3.0	3.0	-	-
71	2.9	-	-	10.0	33.0	-	-	48.0
72	3.7	2.6	-	-	36.0	3.0	-	-
73	1.9	-	-	8.5	27.0	-	-	36.0
74	2.0	-	6.6	-	30.0	-	(30.0)	-
75	5.5	2.1	-	-	6.0	3.0	-	-
76	2.6	-	-	7.1	27.0	3.0	-	33.0
77	4.1	2.1	-	-	9.0	3.0	-	-
78	4.5	2.2	-	-	18.0	6.0	-	-
79	4.6	2.5	-	-	30.0	6.0	-	-
80	5.6	-	-	9.1	9.0	-	-	42.0
81	4.2	2.4	-	-	21.0	6.0	-	-
82	4.5	2.4	-	-	36.0	3.0	-	-
83	3.6	-	5.0	-	30.0	-	(27.0)	-
84	4.2	2.2	-	-	30.0	3.0	-	-
85	4.6	2.3	-	-	6.0	6.0	-	-
86	5.6	-	6.9	-	30.0	-	(27.0)	-
87	4.8	2.3	-	-	24.0	3.0	-	-
88	3.6	-	-	7.2	3.0	-	-	27.0
89	5.1	2.0	-	-	9.0	3.0	-	-
90	5.2	-	-	9.8	33.0	-	-	51.0
91	4.2	-	5.4	-	33.0	-	(30.0)	-
92	4.8	2.2	-	-	30.0	9.0	-	-

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอนเดน เสท	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
93	5.5	2.3	-	-	33.0	3.0	-	-
94	5.6	2.7	-	-	33.0	6.0	-	-
95	5.6	-	-	9.7	33.0	-	-	48.0
96	4.2	2.4	-	-	33.0	15.0	-	-
97	2.0	2.2	-	-	33.0	3.0	-	-
98	5.7	-	5.2	-	36.0	-	(30.0)	-
99	5.5	2.2	-	-	30.0	3.0	-	-
100	2.6	-	-	7.2	6.0	-	-	30.0
101	5.5	2.1	-	-	36.0	3.0	-	-
102	5.5	2.2	-	-	9.0	3.0	-	-
103	5.6	-	6.5	-	33.0	-	(27.0)	-
104	5.3	2.5	-	-	27.0	18.0	-	-
105	4.1	2.7	-	-	6.0	6.0	-	-
106	4.5	2.7	-	-	9.0	6.0	-	-
107	1.8	-	-	9.7	9.0	-	-	48.0
108	4.7	2.4	-	-	30.0	6.0	-	-
109	4.2	2.6	-	-	15.0	6.0	-	-
110	4.2	-	-	10.1	24.0	-	-	33.0
111	5.6	2.2	-	-	9.0	3.0	-	-
112	5.4	2.3	-	-	9.0	9.0	-	-
113	5.5	2.2	-	-	9.0	3.0	-	-
114	5.6	2.8	-	-	36.0	3.0	-	-
115	5.5	2.6	-	-	21.0	12.0	-	-

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอนเดน เสท	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
116	2.2	-	6.5	-	30.0	-	(30.0)	-
117	3.8	2.2	-	-	30.0	18.0	-	-
118	6.1	-	-	9.7	33.0	-	-	48.0
119	4.2	2.6	-	-	27.0	3.0	-	-
120	1.5	2.7	-	-	36.0	3.0	-	-
121	1.6	2.5	-	-	21.0	15.0	-	-
122	1.5	-	6.5	-	36.0	-	(27.0)	-
123	4.5	2.5	-	-	9.0	3.0	-	-
124	1.8	2.6	-	-	24.0	3.0	-	-
125	2.0	-	-	10.3	30.0	-	-	45.0
126	2.5	2.7	-	-	33.0	-	-	-
127	4.5	2.7	-	-	21.0	3.0	-	-
128	1.9	-	6.6	-	36.0	-	(30.0)	-
129	4.3	2.2	-	-	30.0	6.0	-	-
130	1.7	-	-	9.7	24.0	-	-	48.0
131	1.5	-	6.5	-	36.0	-	(30.0)	-
132	1.9	-	-	9.6	21.0	-	-	48.0
133	4.6	2.1	-	-	6.0	6.0	-	-
134	3.6	-	-	8.6	6.0	-	-	30.0
135	4.7	2.1	-	-	24.0	3.0	-	-
136	5.8	2.3	-	-	33.0	3.0	-	-
137	5.7	-	-	9.5	33.0	-	-	48.0
138	6.9	-	6.6	-	36.0	-	(27.0)	-

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอนเดน เสท	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
139	4.7	2.1	-	-	30.0	3.0	-	-
140	4.6	2.2	-	-	33.0	3.0	-	-
141	6.8	-	-	9.8	18.0	-	-	45.0
142	4.2	2.6	-	-	18.0	-	-	-
143	5.8	2.5	-	-	9.0	3.0	-	-
144	4.6	2.7	-	-	24.0	9.0	-	-
145	5.5	-	7.0	-	27.0	-	(30.0)	-
146	4.6	2.4	-	-	27.0	3.0	-	-
147	5.6	-	-	9.5	18.0	-	-	48.0
148	4.6	2.6	-	-	18.0	3.0	-	-
149	4.4	2.3	-	-	33.0	3.0	-	-
150	4.5	2.2	-	-	39.0	3.0	-	-
151	2.8	-	-	9.7	30.0	-	-	48.0
152	4.2	2.6	-	-	30.0	6.0	-	-
153	2.8	-	-	10.2	15.0	-	-	54.0
154	4.6	2.7	-	-	27.0	3.0	-	-
155	4.54	-	-	6.3	27.0	-	-	51.0
156	1.9	-	-	9.4	33.0	-	-	48.0
157	3.6	2.2	-	-	30.0	3.0	-	-
158	1.8	-	6.2	-	27.0	-	(27.0)	-
159	2.1	2.4	-	-	27.0	3.0	-	-
160	1.9	-	6.5	-	6.0	-	(27.0)	-
161	1.5	-	-	9.3	35.0	-	-	48.0

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอนเดน เสท	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
162	3.9	2.4	-	-	33.0	12.0	-	-
163	5.6	2.1	-	-	6.0	3.0	-	-
164	1.6	2.4	-	-	33.0	3.0	-	-
165	5.7	1.9	-	-	6.0	3.0	-	-
166	4.5	2.2	-	-	33.0	3.0	-	-
167	4.8	2.2	-	-	9.0	6.0	-	-
168	4.1	2.3	-	-	36.0	6.0	-	-
169	5.7	2.3	-	-	6.0	3.0	-	-
170	5.7	-	-	10.0	33.0	-	-	48.0
171	5.3	2.4	-	-	30.0	6.0	-	-
172	4.9	2.3	-	-	9.0	6.0	-	-
173	2.8	-	-	9.4	36.0	-	-	48.0
174	3.5	2.2	-	-	39.0	6.0	-	-
175	5.1	2.3	-	-	30.0	3.0	-	-
176	6.9	-	-	9.5	6.0	-	-	54.0
177	5.5	2.1	-	-	12.0	3.0	-	-
178	5.0	-	6.5	-	28.0	-	(30.0)	-
179	5.9	2.7	-	-	18.0	3.0	-	-
180	5.7	2.4	-	-	30.0	3.0	-	-
181	4.2	2.4	-	-	30.0	3.0	-	-
182	4.2	2.4	-	-	33.0	6.0	-	-
183	6.1	-	-	9.9	39.0	-	-	48.0
184	4.2	2.5	-	-	27.0	3.0	-	-

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอนเดน เสท	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
185	5.9	2.4	-	-	24.0	3.0	-	-
186	6.5	-	-	9.4	24.0	-	-	48.0
187	4.9	2.6	-	-	18.0	9.0	-	-
188	5.6	2.2	-	-	9.0	15.0	-	-
189	5.1	2.2	-	-	(3.0)	3.0	-	-
190	1.7	2.4	-	-	6.0	18.0	-	-
191	1.8	-	-	9.4	21.0	-	-	51.0
192	1.9	2.0	-	-	21.0	3.0	-	-
193	2.0	2.4	-	-	21.0	-	-	-
194	2.0	-	6.9	-	12.0	-	(27.0)	-
195	2.4	7.7	-	-	9.0	3.0	-	-
196	2.0	-	-	9.4	36.0	-	-	48.0
197	2.9	2.3	-	-	33.0	6.0	-	-
198	5.6	2.3	-	-	21.0	6.0	-	-
199	5.6	2.2	-	-	24.0	3.0	-	-
200	5.8	2.2	-	-	33.0	6.0	-	-
201	1.9	2.0	-	-	21.0	3.0	-	-
202	6.1	-	-	9.9	39.0	-	-	48.0
203	3.6	2.2	-	-	30.0	3.0	-	-
204	4.8	2.2	-	-	9.0	6.0	-	-
205	5.7	-	-	10.0	33.0	-	-	48.0
206	3.7	2.6	-	-	36.0	3.0	-	-
207	4.6	2.4	-	-	27.0	3.0	-	-

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอนเดน เสท	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
208	3.5	2.2	-	-	36.0	6.0	-	-
209	4.2	2.3	-	-	30.0	9.0	-	-
210	1.8	2.6	-	-	24.0	3.0	-	-
211	2.2	-	6.5	-	30.0	-	(30.0)	-
212	3.5	2.2	-	-	39.0	6.0	-	-
213	4.2	2.2	-	-	-	3.0	-	-
214	4.3	2.2	-	-	15.0	6.0	-	-
215	3.5	-	5.1	-	9.0	-	(27.0)	-
216	2.4	7.7	-	-	9.0	3.0	-	-
217	4.6	2.1	-	-	6.0	6.0	-	-
218	6.5	-	-	9.4	24.0	-	-	48.0
219	4.7	2.2	-	9.7	15.0	-	-	18.0
220	2.0	-	6.6	-	30.0	-	(30.0)	-
221	4.2	-	-	10.1	24.0	-	-	33.0
222	6.8	-	-	9.8	18.0	-	-	45.0
223	5.8	2.2	-	-	33.0	6.0	-	-
224	1.5	2.7	-	-	36.0	3.0	-	-
225	2.4	7.7	-	-	9.0	3.0	-	-
226	5.6	-	-	10.0	33.0	-	-	36.0
227	7.6	-	-	9.8	39.0	-	-	45.0
228	4.6	-	-	10.3	12.0	-	-	48.0
229	2.6	-	-	7.2	6.0	-	-	30.0
230	5.1	2.3	-	-	12.0	6.0	-	-

ข้อมูล ที่	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก)				จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)			
	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอนเดน เสท	กากของ หน่วยแยก ความหนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{14}	x_{24}	x_{34}	x_{44}
231	2.2	-	6.5	-	30.0	-	(30.0)	-
232	4.7	2.1	-	-	24.0	3.0	-	-
233	4.2	2.5	-	-	36.0	30.0	-	-
234	5.2	-	-	10.1	39.0	-	-	51.0
235	4.2	2.2	-	-	24.0	6.0	-	-
236	4.1	2.2	-	-	30.0	6.0	-	-
237	5.6	2.2	-	-	24.0	3.0	-	-
238	3.6	2.2	-	-	30.0	3.0	-	-
239	5.5	2.2	-	-	30.0	21.0	-	-
240	5.1	2.2	-	-	(3.0)	3.0	-	-

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	X ₁₅	X ₂₅	X ₃₅	X ₄₅
1	260.7	-	-	350.7
2	397.7	275.0	-	-
3	257.3	-	-	350.7
4	423.7	275.0	-	-
5	395.7	-	269.0	-
6	238.7	294.5	-	-
7	158.6	-	-	282.3
8	214.7	-	269.0	-
9	248.6	280.9	-	-
10	290.4	400.4	-	-
11	185.0	-	-	258.8
12	310.9	412.1	-	-
13	197.4	-	-	263.9
14	264.3	402.2	-	-
15	312.1	-	-	364.1
16	385.6	-	288.9	-
17	155.6	280.8	-	-
18	254.5	-	-	363.3
19	374.9	279.8	-	-
20	424.6	-	287.0	-
21	324.0	-	276.2	-
22	398.4	296.6	-	-

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	X ₁₅	X ₂₅	X ₃₅	X ₄₅
23	394.4	-	-	258.1
24	415.4	-	271.5	-
25	394.1	-	-	318.1
26	419.9	294.7	-	-
27	315.1	-	276.1	-
28	359.3	286.6	-	-
29	154.1	-	274.6	-
30	297.2	-	-	368.1
31	160.3	284.8	-	-
32	168.5	-	-	351.5
33	92.4	-	-	252.0
34	328.3	278.5	-	-
35	166.7	287.4	-	-
36	396.3	-	-	353.8
37	394.1	282.2	-	-
38	383.5	-	271.3	-
39	68.3	-	-	155.6
40	125.5	285.5	-	-
41	90.8	285.2	-	-
42	168.9	-	-	258.8
43	346.4	288.9	-	-
44	87.3	-	-	258.2

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	X ₁₅	X ₂₅	X ₃₅	X ₄₅
45	127.4	281.2	-	-
46	390.1	278.2	-	-
47	120.0	-	-	230.0
48	134.0	221.0	-	-
49	170.9	280.9	-	-
50	72.9	-	271.6	-
51	105.2	406.8	-	-
52	71.4	298.6	-	-
53	172.7	-	-	250.3
54	350.5	284.2	-	-
55	268.6	-	-	333.9
56	385.7	281.6	-	-
57	410.4	-	280.5	-
58	371.3	-	-	410.2
59	73.1	276.9	-	-
60	69.8	-	278.0	-
61	70.7	286.0	-	-
62	71.1	-	-	250.8
63	134.1	295.2	-	-
64	96.9	-	-	233.2
65	73.3	282.1	-	-
66	165.1	284.9	-	-

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	X ₁₅	X ₂₅	X ₃₅	X ₄₅
67	71.2	-	286.3	-
68	145.7	282.1	-	-
69	66.8	-	-	292.2
70	68.7	282.9	-	-
71	154.8	-	-	253.2
72	185.0	308.7	-	-
73	72.3	-	-	292.6
74	80.1	-	278.0	-
75	62.6	282.5	-	-
76	74.0	-	-	215.2
77	62.2	288.2	-	-
78	64.7	279.4	-	-
79	65.4	286.2	-	-
80	135.6	-	-	265.6
81	187.0	282.5	-	-
82	61.5	290.5	-	-
83	71.2	-	287.1	-
84	67.4	281.2	-	-
85	62.1	296.4	-	-
86	65.7	-	277.3	-
87	72.3	282.3	-	-
88	68.9	-	-	280.1

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	x_{15}	x_{25}	x_{35}	x_{45}
89	66.4	294.2	-	-
90	272.7	-	-	351.5
91	412.3	-	268.9	-
92	398.1	287.5	-	-
93	71.5	287.2	-	-
94	73.1	284.3	-	-
95	268.9	-	-	251.5
96	125.4	292.4	-	-
97	63.1	299.5	-	-
98	72.2	-	274.5	-
99	95.1	280.9	-	-
100	69.5	-	-	282.8
101	74.3	280.2	-	-
102	72.7	291.5	-	-
103	73.3	-	271.5	-
104	102.1	282.3	-	-
105	73.7	280.4	-	-
106	60.7	290.5	-	-
107	74.2	-	-	252.6
108	72.2	294.3	-	-
109	73.5	286.0	-	-
110	78.0	-	-	276.9

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	x_{15}	x_{25}	x_{35}	x_{45}
111	64.4	284.4	-	-
112	63.5	280.8	-	-
113	75.2	288.6	-	-
114	65.2	278.2	-	-
115	64.8	294.3	-	-
116	68.6	-	277.4	-
117	134.7	280.1	-	-
118	64.1	-	-	262.1
119	154.7	277.9	-	-
120	262.7	291.2	-	-
121	68.0	285.2	-	-
122	57.0	-	277.1	-
123	63.7	282.6	-	-
124	66.2	291.2	-	-
125	63.7	-	-	252.7
126	94.7	297.2	-	-
127	55.0	278.7	-	-
128	67.3	-	275.6	-
129	58.3	278.2	-	-
130	59.6	-	-	255.2
131	57.0	-	271.9	-
132	60.3	-	-	255.1

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	x_{15}	x_{25}	x_{35}	x_{45}
133	91.5	288.1	-	-
134	62.9	-	-	277.5
135	64.8	291.9	-	-
136	64.7	282.2	-	-
137	61.7	-	-	251.2
138	121.7	-	271.7	-
139	154.1	286.2	-	-
140	65.0	282.6	-	-
141	64.7	-	-	263.3
142	124.5	278.8	-	-
143	268.3	286.2	-	-
144	270.6	275.8	-	-
145	62.4	-	267.0	-
146	107.5	291.9	-	-
147	67.2	-	-	250.2
148	184.7	277.7	-	-
149	72.3	275.5	-	-
150	65.1	289.2	-	-
151	61.3	-	-	251.3
152	73.2	282.3	-	-
153	61.4	-	-	252.6
154	69.6	288.8	-	-

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	x_{15}	x_{25}	x_{35}	x_{45}
155	64.4	-	-	253.8
156	94.5	-	-	259.9
157	135.6	276.4	-	-
158	76.3	-	275.6	-
159	87.2	278.9	-	-
160	67.1	-	285.7	-
161	70.7	-	-	251.2
162	157.5	287.4	-	-
163	69.4	277.3	-	-
164	69.6	282.7	-	-
165	75.3	285.4	-	-
166	71.9	280.5	-	-
167	294.5	234.2	-	-
168	279.2	211.4	-	-
169	70.1	284.1	-	-
170	72.9	-	-	256.5
171	121.4	280.1	-	-
172	70.1	276.3	-	-
173	80.1	-	-	258.2
174	114.5	282.7	-	-
175	74.1	281.1	-	-
176	71.5	-	-	250.3

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	x_{15}	x_{25}	x_{35}	x_{45}
177	151.2	289.3	-	-
178	71.1	-	267.3	-
179	121.5	279.2	-	-
180	77.3	277.2	-	-
181	77.3	277.2	-	-
182	73.1	286.5	-	-
183	71.4	-	-	251.3
184	135.2	280.6	-	-
185	123.6	279.6	-	-
186	176.0	-	-	258.6
187	215.7	277.7	-	-
188	75.9	286.5	-	-
189	74.5	292.0	-	-
190	83.0	282.4	-	-
191	293.9	-	-	-
192	289.0	257.4	-	-
193	72.6	284.3	-	-
194	71.5	-	268.7	-
195	134.6	278.9	-	-
196	70.7	-	-	251.3
197	121.7	279.5	-	-
198	70.5	282.2	-	-

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	x_{15}	x_{25}	x_{35}	x_{45}
199	71.0	278.6	-	-
200	77.8	287.6	-	-
201	71.1	282.4	-	-
202	71.4	-	-	251.3
203	135.6	276.4	-	-
204	74.5	289.8	-	-
205	72.9	-	-	256.5
206	185.0	282.7	-	-
207	107.5	291.9	-	-
208	70.7	286.0	-	-
209	87.3	-	-	258.2
210	66.2	291.2	-	-
211	68.6	-	277.4	-
212	114.5	282.7	-	-

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	X ₁₅	X ₂₅	X ₃₅	X ₄₅
213	160.3	284.8	-	-
214	394.1	282.2	-	-
215	383.5	-	271.3	-
216	134.6	278.9	-	-
217	91.5	288.1	-	-
218	176.0	-	-	258.6
219	312.1	-	-	364.1
220	80.1	-	278.0	-
221	78.0	-	-	276.9
222	64.7	-	-	263.3
223	77.8	287.6	-	-
224	62.8	291.9	-	-
225	134.6	278.9	-	-
226	158.6	-	-	282.3
227	185.0	-	-	258.8
228	268.6	-	-	333.9
229	69.5	-	-	282.8
230	328.3	278.5	-	-
231	68.6	-	277.4	-
232	64.8	291.9	-	-
233	423.7	275.0	-	-
234	395.0	-	-	358.1

ข้อมูลที	ความหนืด (เซนติสโตก)			
	กาก ของ หน่วย แยก ความ หนืด	น้ำมัน ดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยก กากคอน เดนเสท
	x_{15}	x_{25}	x_{35}	x_{45}
235	125.5	285.5	-	-
236	290.4	400.4	-	-
237	71.0	278.6	-	-
238	135.6	276.4	-	-
239	397.7	275.0	-	-
240	74.5	292.0	-	-

ตารางที่ 34 ข้อมูลตัวแปรตอบสนองสำหรับพิจารณาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตา

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	83.0	7.5	30.0	300.7
2	86.0	3.0	24.0	426.7
3	84.1	4.2	42.0	290.3
4	87.3	2.1	33.0	460.7

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
5	71.4	3.5	15.0	436.7
6	78.0	3.1	6.0	278.7
7	86.0	8.4	33.0	187.6
8	64.0	7.3	15.0	247.7
9	73.0	3.7	9.0	285.6
10	82.0	3.9	21.0	331.4
11	73.0	7.8	42.0	225.0
12	78.0	3.8	30.0	339.9
13	63.0	7.1	24.0	230.4
14	84.2	3.2	3.0	301.3
15	68.0	3.7	18.0	353.1
16	61.0	4.0	15.0	425.6
17	58.0	3.7	9.0	184.6
18	64.2	4.0	29.0	287.5
19	72.4	2.4	9.0	411.9
20	68.4	2.9	18.0	465.6
21	62.7	4.2	3.0	364.0

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
22	78.1	3.8	9.0	438.4
23	75.0	8.7	42.0	424.0
24	62.0	7.2	12.0	448.4
25	72.0	4.0	15.0	331.1
26	85.0	3.2	33.0	460.9
27	78.0	3.5	21.0	355.1
28	101.0	2.3	21.0	388.3
29	86.0	6.3	6.0	187.1
30	91.0	5.7	9.0	334.2
31	67.0	3.7	-	201.3
32	62.0	3.8	24.0	208.5
33	62.0	7.1	12.0	121.4
34	73.0	3.9	9.0	361.3
35	74.0	4.0	3.0	203.7

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
36	72.4	6.3	15.0	437.3
37	75.4	3.5	9.0	434.1
38	73.4	3.7	6.0	412.5
39	60.2	6.2	24.0	101.3
40	75.0	3.9	15.0	162.5
41	85.0	1.9	30.0	131.8
42	78.0	7.5	33.0	208.9
43	84.0	3.9	21.0	375.4
44	74.0	6.2	36.0	120.3
45	84.0	3.8	18.0	164.4
46	91.0	3.2	15.0	431.1
47	65.0	5.1	12.0	160.0
48	72.0	3.6	9.0	163.0
49	64.0	3.1	21.0	203.9

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
50	54.0	6.1	30.0	109.9
51	61.0	3.7	24.0	146.2
52	62.0	3.8	6.0	111.4
53	78.0	8.7	21.0	201.7
54	86.0	3.5	15.0	383.5
55	72.0	5.4	27.0	305.6
56	79.0	4.2	21.0	426.7
57	72.0	4.0	15.0	450.4
58	62.0	6.0	21.0	400.3
59	61.0	3.7	18.0	106.1
60	62.0	3.7	28.0	106.8
61	61.0	3.8	21.0	111.7
62	72.0	6.7	21.0	111.1
63	81.0	3.4	18.0	163.1

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
64	68.0	3.7	18.0	199.9
65	60.0	3.9	18.0	110.3
66	67.0	3.7	6.0	206.1
67	50.4	5.6	28.0	111.2
68	61.5	3.6	21.0	174.7
69	61.0	7.8	21.0	99.8
70	65.0	3.8	3.0	105.7
71	64.0	3.7	39.0	195.8
72	68.0	3.4	30.0	225.0
73	65.0	7.5	33.0	101.3
74	62.0	3.7	27.0	113.1
75	78.0	5.1	6.0	99.6
76	78.0	4.0	30.0	115.0
77	82.0	3.7	6.0	102.2

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
78	83.0	3.8	15.0	93.7
79	78.0	3.4	30.0	98.4
80	73.0	5.2	21.0	172.6
81	68.0	3.8	15.0	228.0
82	67.0	3.6	33.0	101.5
83	62.0	3.8	30.0	100.2
84	62.0	3.8	27.0	100.4
85	81.0	3.9	6.0	99.1
86	49.0	5.8	24.0	106.7
87	61.0	4.0	21.0	112.3
88	61.0	4.7	6.0	97.9
89	61.0	3.7	9.0	99.4
90	68.0	4.2	36.0	309.7
91	62.0	4.8	30.0	453.3

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
92	65.0	3.7	27.0	438.1
93	61.0	3.8	27.0	100.5
94	68.0	3.9	30.0	106.1
95	67.0	6.2	36.0	106.0
96	71.0	3.7	30.0	166.4
97	61.0	2.0	30.0	103.1
98	52.0	5.5	30.0	101.2
99	61.0	3.8	24.0	128.1
100	83.0	3.9	15.0	106.5
101	78.0	3.8	30.0	115.3
102	81.0	3.9	6.0	112.7
103	54.0	5.9	27.0	102.3
104	61.0	4.7	24.0	135.1
105	64.0	3.7	6.0	110.7

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
106	62.0	4.0	9.0	101.7
107	75.1	3.9	15.0	114.2
108	76.0	4.0	30.0	101.2
109	84.0	3.5	15.0	106.5
110	83.0	4.7	27.0	115.0
111	81.0	3.7	9.0	105.4
112	63.0	3.7	9.0	103.5
113	62.0	3.8	6.0	104.2
114	85.0	3.8	30.0	98.2
115	62.0	3.8	18.0	101.8
116	52.0	3.8	30.0	109.6
117	62.0	3.5	24.0	174.7
118	72.0	7.2	39.0	93.1
119	84.0	3.9	24.0	190.4

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
120	83.0	2.0	30.0	99.8
121	72.0	1.8	21.0	109.0
122	67.0	2.5	30.0	97.0
123	82.0	3.7	9.0	92.7
124	61.0	1.8	21.0	99.2
125	75.0	2.5	33.0	100.7
126	81.0	2.5	30.0	135.7
127	78.0	3.8	18.0	95.0
128	71.0	2.3	30.0	96.3
129	81.0	3.8	30.0	91.3
130	64.0	2.4	27.0	96.6
131	98.0	2.9	30.0	98.0
132	61.0	3.1	27.0	100.3
133	78.0	3.8	6.0	120.5

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
134	64.0	6.0	9.0	95.9
135	81.0	3.9	21.0	101.8
136	83.0	4.0	30.0	105.7
137	74.0	6.9	36.0	101.7
138	63.0	6.7	30.0	150.7
139	68.0	3.8	24.0	187.1
140	68.0	3.9	30.0	102.0
141	61.0	7.2	18.0	105.7
142	74.0	4.0	12.0	164.5
143	67.0	4.0	6.0	97.3
144	61.0	4.0	18.0	103.6
145	52.0	5.6	27.0	99.4
146	61.0	3.9	24.0	148.5
147	74.0	6.6	18.0	107.2

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
148	81.0	3.9	15.0	213.7
149	62.0	3.9	30.0	105.3
150	63.0	3.9	33.0	102.1
151	72.0	3.5	30.0	102.3
152	67.0	3.9	24.0	113.2
153	85.5	3.5	15.0	90.4
154	61.0	3.9	27.0	102.6
155	64.0	2.6	27.0	101.4
156	55.0	3.6	39.0	135.5
157	59.0	3.4	30.0	175.6
158	51.0	2.1	27.0	105.3
159	62.0	2.2	24.0	120.2
160	67.0	2.5	3.0	104.1
161	64.0	3.9	42.0	111.7

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
162	68.0	3.6	30.0	197.5
163	62.0	3.9	6.0	98.4
164	64.0	1.9	30.0	102.6
165	82.0	3.2	6.0	112.3
166	81.0	3.9	27.0	112.9
167	62.0	3.7	6.0	114.5
168	82.0	3.9	30.0	91.2
169	62.0	3.7	6.0	103.1
170	81.1	6.3	36.0	109.9
171	85.0	3.8	27.0	162.4
172	94.0	3.9	6.0	110.1
173	87.2	3.5	39.0	109.1
174	92.0	3.1	30.0	147.5
175	63.0	3.8	27.0	111.1

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
176	67.0	7.5	18.0	112.5
177	68.0	4.2	12.0	191.2
178	52.0	5.9	24.0	100.1
179	64.0	3.8	18.0	154.5
180	64.0	3.9	30.0	114.3
181	64.0	3.9	30.0	118.3
182	63.0	3.9	30.0	113.1
183	68.0	7.2	42.0	100.4
184	73.0	3.9	27.0	168.2
185	94.0	3.9	24.0	160.6
186	118.2	7.9	27.0	217.0
187	110.6	3.9	15.0	255.7
188	92.0	3.6	12.0	104.9
189	93.0	3.8	3.0	107.5

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
190	63.0	2.0	9.0	120.0
191	62.5	3.5	24.0	114.0
192	65.0	2.0	24.0	111.1
193	94.0	2.3	18.0	101.6
194	51.0	2.4	9.0	104.5
195	67.0	3.9	6.0	171.6
196	64.0	2.9	39.0	111.7
197	72.0	2.7	30.0	161.7
198	57.0	3.9	18.0	99.5
199	63.0	3.9	21.0	104.0
200	67.0	3.9	30.0	114.8
201	65.0	2.0	24.0	111.1
202	68.0	7.2	42.0	100.4
203	59.0	3.4	30.0	175.6

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
204	62.0	3.7	6.0	114.5
205	81.1	6.3	36.0	109.9
206	68.0	3.4	30.0	225.0
207	61.0	3.9	24.0	148.5
208	61.0	3.8	21.0	111.7
209	74.0	6.2	36.0	120.3
210	61.0	1.8	21.0	99.2
211	52.0	3.8	30.0	109.6
212	92.0	3.1	30.0	147.5
213	67.0	3.7	-	201.3
214	75.4	3.5	9.0	434.1
215	73.4	3.7	6.0	412.5
216	67.0	3.9	6.0	171.6
217	78.0	3.8	6.0	120.5

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
218	118.2	7.9	27.0	217.0
219	68.0	3.7	18.0	353.1
220	62.0	3.7	27.0	113.1
221	83.0	4.7	27.0	115.0
222	61.0	7.2	18.0	105.7
223	67.0	3.9	30.0	114.8
224	83.0	2.0	30.0	99.8
225	67.0	3.9	6.0	171.6
226	86.0	8.4	33.0	187.6
227	73.0	7.8	42.0	225.0
228	72.0	5.4	27.0	305.6
229	83.0	3.9	15.0	106.5
230	73.0	3.9	9.0	361.3
231	52.0	3.8	30.0	109.6

ข้อมูลที	น้ำมันเตาชนิดที่ 5			
	จุดวาบไฟ (องศา เซลเซียส)	ปริมาณกำมะถัน (เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก)	จุดไหลเท (องศา เซลเซียส)	ความหนืด (เซนติสโตก)
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
232	81.0	3.9	21.0	101.8
233	87.3	2.1	33.0	460.7
234	75.0	8.7	42.0	424.0
235	75.0	3.9	15.0	162.5
236	82.0	3.9	21.0	331.4
237	63.0	3.9	21.0	104.0
238	59.0	3.4	30.0	175.6
239	86.0	3.0	24.0	426.7
240	93.0	3.8	3.0	107.5

ราคาของผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ใช้ผสมน้ำมันเตาของข้อมูลการผสมทุกเบตซ์ของน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ซึ่งอ้างอิงข้อมูลในอดีตของปี 2560-2562 ทั้งหมด 40 ชุดข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลที่ 201-240 สำหรับหาสัดส่วนการผสมน้ำมันเตาที่เหมาะสมโดยการแก้ปัญหาเชิงเส้น

ข้อมูลที่	ราคา (เหรียญดอลลาร์สหรัฐต่อตัน)			
	กากของหน่วย แยกความหนืด	น้ำมันดีเซล	น้ำมันเครื่องบิน	กากบรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
201	259	360	384	307
202	250	342	365	289
203	264	331	352	275
204	245	319	337	269
205	239	304	321	255
206	288	343	364	291
207	279	350	376	304
208	269	334	357	278
209	266	347	366	293
210	254	327	348	283
211	273	347	373	295
212	276	327	345	277
213	293	358	380	311
214	278	334	359	284
215	272	354	377	307
216	262	334	357	284
217	257	319	338	265
218	260	346	368	292
219	248	327	346	276
220	241	327	351	283
221	280	357	378	298
222	283	343	366	291

ข้อมูลที	ราคา (เหรียญดอลลาร์สหรัฐต่อตัน)			
	กากของหน่วย แยกความ หนัก	น้ำมันดีเซล	น้ำมัน เครื่องบิน	กาก บรรยากาศ หน่วยแยกกาก คอนเดนเสท
223	272	327	350	277
224	266	336	356	291
225	281	342	362	285
226	286	354	375	300
227	300	357	379	310
228	265	343	363	297
229	272	357	380	310
230	258	342	362	291
231	273	334	359	281
232	278	349	370	297
233	258	357	380	304
234	253	327	350	283
235	262	338	361	281
236	266	350	369	297
237	272	357	378	304
238	261	319	343	268
239	250	311	332	263
240	273	342	361	291



ตารางที่ 35 ค่าดัชนีชี้วัดความเพือของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่ 1)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	2527	2136	1.18	0.243	
x12	5.92	5.43	1.09	0.281	527.53
x13	4.50	5.29	0.85	0.400	501.94
x23	33.1	34.5	0.96	0.342	21338.74
x14	-2.84	3.83	-0.74	0.462	262.18
x24	-4.8	11.9	-0.40	0.689	2555.77
x15	0.5	16.8	0.03	0.979	5060.74
x25	-5.1	55.3	-0.09	0.926	54679.47
x21x21	-1.422	0.710	-2.00	0.051	13.51
x31x31	-7.91	6.44	-1.23	0.226	9316.13
x41x41	-3.1	11.3	-0.28	0.784	38994.05
x12x12	0.285	0.625	0.46	0.651	12.95
x13x13	1.311	0.698	1.88	0.067	19.60
x23x23	-4.5	13.9	-0.32	0.747	933.18
x33x33	66.3	87.3	0.76	0.452	499105.64
x14x14	-0.394	0.479	-0.82	0.416	3.45
x24x24	0.867	0.476	1.82	0.075	44.93
x34x34	12.4	19.6	0.64	0.529	29619.34
x15x15	0.504	0.735	0.69	0.496	17.61
x25x25	3.1	15.2	0.21	0.837	1431.91
x35x35	150	236	0.63	0.529	3120420.92
x45x45	73.1	89.1	0.82	0.416	387971.17
x21x12	-0.862	0.687	-1.25	0.216	10.50
x21x22	-8.7	13.5	-0.64	0.522	1574.72
x21x13	0.27	1.24	0.22	0.828	25.84

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x21x23	0.53	4.26	0.13	0.901	155.18
x21x14	-0.887	0.914	-0.97	0.337	15.89
x21x24	0.42	1.16	0.36	0.719	10.44
x21x15	-0.457	0.769	-0.59	0.555	10.19
x21x25	16.9	11.6	1.46	0.152	865.63
x31x12	51.1	42.9	1.19	0.240	31290.38
x31x32	-123.3	95.7	-1.29	0.204	420662.56
x31x13	22.7	18.0	1.26	0.215	8207.77
x31x33	-26.3	13.5	-1.95	0.057	8363.74
x31x14	-19.5	12.9	-1.51	0.138	2392.98
x31x34	-47.2	59.7	-0.79	0.433	195647.81
x31x15	-56.8	46.8	-1.22	0.231	34280.16
x41x12	50.4	43.5	1.16	0.253	15944.37
x41x42	99.2	59.6	1.66	0.103	184087.92
x41x13	15.7	21.6	0.72	0.472	9354.76
x41x14	-19.9	25.0	-0.80	0.429	10513.32
x41x44	38	119	0.31	0.755	772814.65
x41x15	-21.93	9.35	-2.35	0.023	1085.91
x12x22	10.23	7.51	1.36	0.180	987.33
x12x32	41.7	31.0	1.34	0.186	21339.09
x12x42	-162	104	-1.56	0.127	128521.35
x12x13	-0.068	0.626	-0.11	0.914	6.71
x12x23	-0.63	2.66	-0.24	0.815	127.20
x12x33	8.8	22.0	0.40	0.691	12084.31

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x14	0.301	0.455	0.66	0.511	3.69
x12x24	-0.063	0.560	-0.11	0.910	8.64
x12x34	-44.0	45.0	-0.98	0.334	46377.35
x12x44	65.9	35.8	1.84	0.073	15147.11
x12x15	-0.125	0.699	-0.18	0.858	8.90
x12x25	4.86	7.70	0.63	0.531	979.45
x12x45	192	190	1.01	0.318	414212.56
x22x13	24.3	14.1	1.72	0.092	4597.03
x22x23	-35.3	41.4	-0.85	0.398	7632.26
x22x14	20.26	5.87	3.45	0.001	604.85
x22x24	1.3	16.4	0.08	0.939	2224.02
x22x15	-13.28	8.09	-1.64	0.108	1207.18
x22x25	-17.2	80.5	-0.21	0.832	32858.51
x32x13	-3.0	19.9	-0.15	0.880	13106.71
x32x14	10.32	7.82	1.32	0.194	1017.30
x32x15	33.1	29.9	1.11	0.274	22499.38
x42x13	0.3	84.8	0.00	0.998	186857.72
x42x14	24.4	61.9	0.40	0.695	65562.69
x13x23	4.12	4.07	1.01	0.317	378.22
x13x14	-0.930	0.920	-1.01	0.317	13.76
x13x24	-0.533	0.673	-0.79	0.432	6.42
x13x15	0.15	1.15	0.13	0.896	22.66
x13x25	-1.01	5.90	-0.17	0.864	839.96
x13x45	81.1	46.7	1.74	0.089	49610.75

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x23x14	-2.42	2.55	-0.95	0.348	111.47
x23x24	-3.93	3.01	-1.31	0.198	85.81
x43x14	-1.4	41.0	-0.03	0.973	29989.44
x14x24	-0.489	0.718	-0.68	0.499	9.19
x14x15	-0.933	0.562	-1.66	0.104	5.26
x14x25	-13.92	6.52	-2.14	0.038	737.64
x24x15	-0.350	0.639	-0.55	0.587	16.45
x24x25	6.48	9.81	0.66	0.512	736.65
x15x25	8.5	10.8	0.78	0.437	2144.48

ตารางที่ 36 ค่าดัชนีชี้วัดความเพือของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่ 2)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-167	543	-0.31	0.760	
x21	-343	433	-0.79	0.433	263.92
x31	-37.5	83.8	-0.45	0.657	713.48
x12	9.16	7.93	1.16	0.254	1124.97
x22	-6.6	92.4	-0.07	0.943	978.41
x13	0.67	1.73	0.39	0.701	53.53
x23	33.1	34.5	0.96	0.342	38.74
x14	-0.90	3.49	-0.26	0.799	217.98
x24	-4.8	11.9	-0.40	0.689	2555.77
x15	18.9	14.4	1.32	0.194	3695.63
x25	-5.1	55.3	-0.09	0.926	54679.47

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x21x21	-1.422	0.710	-2.00	0.051	13.51
x31x31	17.64	9.43	1.87	0.068	19934.26
x41x41	-2.38	5.19	-0.46	0.648	8235.12
x12x12	0.285	0.625	0.46	0.651	12.95
x22x22	16.8	44.7	0.38	0.708	8714.14
x32x32	605	378	1.60	0.117	3052.25
x42x42	1187	1389	0.85	0.397	520.01
x13x13	1.311	0.698	1.88	0.067	19.60
x23x23	-4.5	13.9	-0.32	0.747	933.18
x33x33	-286	136	-2.11	0.041	7551.10
x43x43	-650	700	-0.93	0.358	1188.17
x14x14	-0.394	0.479	-0.82	0.416	3.45
x24x24	0.867	0.476	1.82	0.075	44.93
x34x34	21.6	16.9	1.28	0.207	60.95
x44x44	-185	230	-0.81	0.425	680.09
x15x15	0.504	0.735	0.69	0.496	17.61
x25x25	3.1	15.2	0.21	0.837	1431.91
x35x35	-25	219	-0.11	0.911	8027.34
x45x45	-136	164	-0.83	0.409	6342.45
x21x12	-0.862	0.687	-1.25	0.216	10.50
x21x22	-8.7	13.5	-0.64	0.522	1574.72
x21x13	0.27	1.24	0.22	0.828	25.84
x21x23	0.53	4.26	0.13	0.901	155.18
x21x14	-0.887	0.914	-0.97	0.337	15.89
x21x24	0.42	1.16	0.36	0.719	10.44
x21x44	-224	288	-0.78	0.439	6509.35
x21x15	-0.457	0.769	-0.59	0.555	10.19

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x21x25	16.9	11.6	1.46	0.152	865.63
x21x45	-460	583	-0.79	0.434	64978.50
x31x12	-35.8	20.4	-1.75	0.087	7063.43
x31x22	-95.8	82.4	-1.16	0.251	798.13
x31x32	-240	110	-2.18	0.034	4383.56
x31x13	-33.4	19.8	-1.69	0.098	9835.91
x31x33	67.5	56.9	1.19	0.242	8817.00
x31x14	-0.80	5.91	-0.14	0.893	500.21
x31x34	-90.8	74.3	-1.22	0.228	3085.23
x31x15	59.1	33.0	1.79	0.080	17105.29
x41x12	-7.94	7.61	-1.04	0.303	488.96
x41x42	-211	221	-0.95	0.346	9296.89
x41x13	0.51	2.52	0.20	0.841	126.63
x41x43	-271	306	-0.89	0.380	988.07
x41x14	10.52	6.08	1.73	0.091	624.70
x41x44	113	129	0.87	0.386	742.46
x41x15	-1.56	8.79	-0.18	0.860	960.55
x41x45	44.8	43.5	1.03	0.309	238.87
x12x22	10.23	7.51	1.36	0.180	987.33
x12x32	-88.9	98.2	-0.91	0.370	682.79
x12x42	186	200	0.93	0.359	5092.34
x12x13	-0.068	0.626	-0.11	0.914	6.71
x12x23	-0.63	2.66	-0.24	0.815	127.20
x12x33	-57.1	27.9	-2.05	0.046	19344.78
x12x43	-74	101	-0.73	0.467	8324.30
x12x14	0.301	0.455	0.66	0.511	3.69
x12x24	-0.063	0.560	-0.11	0.910	8.64

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x34	-77.9	64.8	-1.20	0.235	6158.70
x12x44	-62.0	76.4	-0.81	0.421	8831.64
x12x15	-0.125	0.699	-0.18	0.858	8.90
x12x25	4.86	7.70	0.63	0.531	979.45
x12x35	109.9	75.9	1.45	0.155	3913.47
x12x45	-23.2	16.0	-1.45	0.153	2921.31
x22x13	24.3	14.1	1.72	0.092	4597.03
x22x23	-35.3	41.4	-0.85	0.398	7632.26
x22x14	20.26	5.87	3.45	0.001	604.85
x22x24	1.3	16.4	0.08	0.939	2224.02
x22x15	-13.28	8.09	-1.64	0.108	1207.18
x22x25	-17.2	80.5	-0.21	0.832	32858.51
x32x13	94.5	56.8	1.66	0.103	6825.57
x32x33	-359	175	-2.05	0.046	5520.37
x32x14	9.25	7.19	1.29	0.205	858.77
x32x15	-43.7	25.3	-1.73	0.090	6069.10
x42x13	104	138	0.75	0.456	4207.93
x42x14	-58.3	36.3	-1.61	0.115	2563.07
x42x15	34.5	19.1	1.81	0.078	4721.05
x13x23	4.12	4.07	1.01	0.317	378.22
x13x33	-65.6	49.5	-1.33	0.191	1226.10
x13x43	158	177	0.89	0.378	81428.31
x13x14	-0.930	0.920	-1.01	0.317	13.76
x13x24	-0.533	0.673	-0.79	0.432	6.42
x13x34	-25.7	16.5	-1.55	0.128	7900.06
x13x44	-129	166	-0.78	0.441	719576.64
x13x15	0.15	1.15	0.13	0.896	22.66
x13x25	-1.01	5.90	-0.17	0.864	839.96

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13x45	-116	157	-0.74	0.464	4593.15
x23x14	-2.42	2.55	-0.95	0.348	111.47
x23x24	-3.93	3.01	-1.31	0.198	85.81
x43x14	17.1	12.8	1.33	0.189	2949.87
x43x15	46.9	70.7	0.66	0.511	67770.63
x14x24	-0.489	0.718	-0.68	0.499	9.19
x14x44	43.2	48.2	0.90	0.374	38497.28
x14x15	-0.933	0.562	-1.66	0.104	5.26
x14x25	-13.92	6.52	-2.14	0.038	737.64
x14x45	-11.7	15.5	-0.75	0.456	4772.90
x24x15	-0.350	0.639	-0.55	0.587	16.45
x24x25	6.48	9.81	0.66	0.512	736.65
x44x15	-60.5	61.6	-0.98	0.331	48247.55
x15x25	8.5	10.8	0.78	0.437	2144.48

ตารางที่ 37 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่ 3)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-26	146	-0.18	0.858	
x41	-775	596	-1.30	0.200	79.94
x12	5.34	4.52	1.18	0.244	367.72
x13	1.557	0.828	1.88	0.066	12.33
x23	26.7	34.1	0.78	0.436	834.57
x14	-0.02	1.94	-0.01	0.990	67.54
x24	-1.3	11.6	-0.11	0.911	420.56
x44	-43.2	29.1	-1.49	0.144	211.68
x15	8.65	3.13	2.77	0.008	175.62
x21x21	-1.455	0.708	-2.06	0.045	13.48

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x31	18.16	8.47	2.14	0.037	151.43
x41x41	1.77	2.25	0.78	0.437	60.77
x12x12	0.198	0.620	0.32	0.751	12.81
x22x22	13.1	44.6	0.29	0.771	76.73
x13x13	1.679	0.625	2.69	0.010	15.78
x23x23	-3.6	13.9	-0.26	0.798	927.20
x14x14	-0.359	0.476	-0.76	0.454	3.41
x24x24	0.794	0.471	1.69	0.098	44.00
x34x34	22.6	14.8	1.53	0.132	875.82
x44x44	11.4	15.9	0.72	0.476	69.84
x15x15	0.466	0.733	0.64	0.528	17.58
x25x25	4.8	15.0	0.32	0.752	16.26
x21x31	42.5	71.5	0.59	0.556	621.79
x21x12	-0.889	0.685	-1.30	0.201	10.49
x21x22	-7.1	13.5	-0.53	0.600	61.47
x21x13	0.16	1.24	0.13	0.901	25.72
x21x23	1.59	4.17	0.38	0.705	148.69
x21x14	-0.913	0.913	-1.00	0.322	15.88
x21x24	0.34	1.16	0.29	0.772	10.33
x21x15	-0.566	0.761	-0.74	0.461	10.03
x21x25	16.7	11.6	1.44	0.156	65.06
x31x12	-36.1	16.9	-2.14	0.038	57.27
x31x13	-34.1	16.8	-2.03	0.048	7.88
x31x14	-1.12	4.62	-0.24	0.809	306.42
x31x15	60.1	28.4	2.11	0.040	96.45
x41x12	0.31	3.29	0.09	0.925	91.76
x41x13	0.67	2.20	0.30	0.762	97.29

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x41x14	4.76	2.46	1.93	0.059	102.47
x41x44	6.66	7.59	0.88	0.385	35.86
x41x15	-5.71	5.76	-0.99	0.326	13.31
x41x45	-2.4	10.4	-0.23	0.817	75.05
x12x22	9.84	7.46	1.32	0.194	8.81
x12x32	-87.0	81.4	-1.07	0.291	94.12
x12x42	-1.9	16.1	-0.12	0.905	6.48
x12x13	-0.070	0.625	-0.11	0.911	6.70
x12x23	-0.48	2.65	-0.18	0.857	26.91
x12x33	-57.8	25.9	-2.23	0.030	59.44
x12x43	-7.4	19.1	-0.39	0.699	90.29
x12x14	0.254	0.452	0.56	0.577	3.66
x12x24	0.003	0.557	0.01	0.995	8.57
x12x34	-81.4	56.4	-1.44	0.156	214.34
x12x44	-2.73	6.21	-0.44	0.662	457.00
x12x15	-0.092	0.697	-0.13	0.896	8.88
x12x25	6.74	7.50	0.90	0.374	32.71
x12x35	106.4	61.6	1.73	0.091	58.75
x12x45	28.2	15.9	1.77	0.083	29.44
x22x13	21.5	13.7	1.57	0.124	51.67
x22x23	-29.8	41.1	-0.72	0.472	54.83
x22x14	19.81	5.85	3.39	0.001	11.71
x22x24	-3.8	15.9	-0.24	0.813	97.94
x22x15	-12.12	8.00	-1.52	0.136	82.84
x22x25	-60.2	71.2	-0.85	0.402	41.64
x22x45	-50.6	81.1	-0.62	0.536	52.13
x32x13	95.1	46.3	2.05	0.046	40.55
x32x33	-368	166	-2.22	0.032	141.74

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x32x14	8.41	7.17	1.17	0.247	57.58
x32x15	-44.1	20.6	-2.13	0.038	77.64
x42x13	-5.83	8.96	-0.65	0.519	96.14
x42x14	-0.1	13.6	-0.01	0.994	79.73
x42x15	40.3	17.4	2.32	0.025	26.41
x13x23	4.55	4.05	1.12	0.267	374.81
x13x33	-65.9	42.0	-1.57	0.123	70.99
x13x43	11.7	12.4	0.95	0.348	24.34
x13x14	-0.454	0.828	-0.55	0.586	11.18
x13x24	-0.492	0.670	-0.73	0.466	6.39
x13x34	-26.4	14.3	-1.84	0.072	36.31
x13x44	12.11	7.35	1.65	0.106	11.51
x13x15	0.49	1.11	0.44	0.662	21.09
x13x25	-2.99	5.63	-0.53	0.598	766.14
x13x35	-4.0	15.2	-0.26	0.795	83.39
x23x14	-2.58	2.55	-1.01	0.316	111.23
x23x24	-3.91	3.00	-1.30	0.200	85.80
x43x14	31.33	9.25	3.39	0.001	34.33
x43x15	-64.0	36.8	-1.74	0.089	56.84
x14x24	-0.419	0.712	-0.59	0.559	9.08
x14x44	-5.28	6.04	-0.88	0.386	5.78
x14x15	-0.967	0.561	-1.73	0.091	5.25
x14x25	-15.02	6.45	-2.33	0.024	23.91
x14x45	-31.8	13.0	-2.45	0.018	341.71
x24x15	-0.263	0.634	-0.42	0.680	16.24
x24x25	7.10	9.78	0.73	0.472	34.92
x44x15	-9.7	12.8	-0.76	0.450	78.81
x15x25	7.3	10.7	0.68	0.498	24.61

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x15x45	38.6	20.8	1.86	0.069	94.70

ตารางที่ 38 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่ 4)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-204	261	-0.78	0.438	
x12	24.67	6.91	3.57	0.001	6.73
x22	-125	108	-1.16	0.251	1.81
x42	-719	658	-1.09	0.281	8.25
x13	2.31	1.04	2.22	0.032	9.52
x23	26.7	34.1	0.78	0.436	4.57
x14	-4.51	1.63	-2.76	0.008	7.94
x24	-1.3	11.6	-0.11	0.911	9.56
x34	-484	238	-2.03	0.048	6.91
x44	-43.2	29.1	-1.49	0.144	8.68
x15	-3.19	3.55	-0.90	0.374	6.61
x25	24.5	48.9	0.50	0.618	8.33
x21x21	-1.455	0.708	-2.06	0.045	13.48
x31x31	-14.67	8.16	-1.80	0.079	5.99
x41x41	1.77	2.25	0.78	0.437	8.77
x12x12	0.198	0.620	0.32	0.751	2.81
x22x22	13.1	44.6	0.29	0.771	6.73
x13x13	1.679	0.625	2.69	0.010	5.78
x23x23	-3.6	13.9	-0.26	0.798	7.20
x33x33	152.0	82.5	1.84	0.072	8.56
x43x43	-94.4	43.8	-2.15	0.036	3.55
x14x14	-0.359	0.476	-0.76	0.454	3.41

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x24x24	0.794	0.471	1.69	0.098	4.00
x34x34	-44.9	21.7	-2.07	0.044	5.15
x44x44	11.4	15.9	0.72	0.476	9.84
x15x15	0.466	0.733	0.64	0.528	7.58
x25x25	4.8	15.0	0.32	0.752	6.26
x45x45	-38.7	23.2	-1.67	0.102	6.75
x21x31	1511	883	1.71	0.094	8.69
x21x12	-0.889	0.685	-1.30	0.201	8.49
x21x22	-7.1	13.5	-0.53	0.600	1.47
x21x42	-682	623	-1.09	0.280	9.49
x21x13	0.16	1.24	0.13	0.901	5.72
x21x23	1.59	4.17	0.38	0.705	8.69
x21x43	-288	167	-1.72	0.091	7.50
x21x14	-0.913	0.913	-1.00	0.322	5.88
x21x24	0.34	1.16	0.29	0.772	8.33
x21x44	72.2	39.5	1.83	0.074	7.71
x21x15	-0.566	0.761	-0.74	0.461	9.03
x21x25	16.7	11.6	1.44	0.156	5.06
x21x35	-324	172	-1.88	0.066	7.37
x31x41	-4980	2791	-1.78	0.081	9.67
x31x12	40.9	19.4	2.11	0.040	9.10
x31x22	-416	182	-2.29	0.027	8.11
x31x32	6.9	33.6	0.21	0.837	3.19
x31x13	38.5	17.4	2.21	0.032	4.75
x31x33	-146.0	70.6	-2.07	0.044	6.67

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x14	-8.45	5.07	-1.66	0.103	9.25
x31x34	203.3	99.7	2.04	0.047	3.75
x31x15	-67.2	33.5	-2.01	0.051	3.61
x41x12	0.31	3.29	0.09	0.925	9.76
x41x32	1397	849	1.65	0.107	8.93
x41x13	0.67	2.20	0.30	0.762	7.29
x41x33	3131	1669	1.88	0.067	2.77
x41x14	4.76	2.46	1.93	0.059	2.47
x41x44	6.66	7.59	0.88	0.385	5.86
x41x15	-5.71	5.76	-0.99	0.326	3.31
x41x45	-2.4	10.4	-0.23	0.817	5.05
x12x22	9.84	7.46	1.32	0.194	8.81
x12x32	266	116	2.28	0.027	1.17
x12x42	-1.9	16.1	-0.12	0.905	6.48
x12x13	-0.070	0.625	-0.11	0.911	6.70
x12x23	-0.48	2.65	-0.18	0.857	6.91
x12x33	-3.3	11.6	-0.29	0.775	4.01
x12x43	-7.4	19.1	-0.39	0.699	9.29
x12x14	0.254	0.452	0.56	0.577	3.66
x12x24	0.003	0.557	0.01	0.995	8.57
x12x34	151.8	76.8	1.98	0.054	6.30
x12x44	-2.73	6.21	-0.44	0.662	7.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x15	-0.092	0.697	-0.13	0.896	8.88
x12x25	6.74	7.50	0.90	0.374	2.71
x12x35	-127.2	58.0	-2.19	0.033	1.19
x12x45	28.2	15.9	1.77	0.083	9.44
x22x13	21.5	13.7	1.57	0.124	1.67
x22x23	-29.8	41.1	-0.72	0.472	4.83
x22x14	19.81	5.85	3.39	0.001	1.71
x22x24	-3.8	15.9	-0.24	0.813	7.94
x22x15	-12.12	8.00	-1.52	0.136	2.84
x22x25	-60.2	71.2	-0.85	0.402	1.64
x22x45	-50.6	81.1	-0.62	0.536	2.13
x32x13	-65.4	40.4	-1.62	0.112	9.30
x32x33	368	187	1.96	0.055	2.79
x32x14	49.0	19.0	2.58	0.013	3.70
x32x15	43.1	25.0	1.72	0.092	4.74
x42x13	-5.83	8.96	-0.65	0.519	6.14
x42x14	-0.1	13.6	-0.01	0.994	9.73
x42x15	40.3	17.4	2.32	0.025	6.41
x13x23	4.55	4.05	1.12	0.267	4.81
x13x33	94.4	47.5	1.99	0.053	8.05
x13x43	11.7	12.4	0.95	0.348	4.34
x13x14	-0.454	0.828	-0.55	0.586	1.18

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13x24	-0.492	0.670	-0.73	0.466	6.39
x13x34	32.4	16.5	1.96	0.056	2.91
x13x44	12.11	7.35	1.65	0.106	1.51
x13x15	0.49	1.11	0.44	0.662	2.09
x13x25	-2.99	5.63	-0.53	0.598	6.14
x13x35	-14.5	17.0	-0.85	0.397	8.19
x23x14	-2.58	2.55	-1.01	0.316	1.23
x23x24	-3.91	3.00	-1.30	0.200	5.80
x33x14	-44.8	18.8	-2.38	0.021	7.74
x43x14	31.33	9.25	3.39	0.001	4.33
x43x15	-64.0	36.8	-1.74	0.089	6.84
x14x24	-0.419	0.712	-0.59	0.559	9.08
x14x44	-5.28	6.04	-0.88	0.386	5.78
x14x15	-0.967	0.561	-1.73	0.091	5.25
x14x25	-15.02	6.45	-2.33	0.024	3.91
x14x45	-31.8	13.0	-2.45	0.018	1.71
x24x15	-0.263	0.634	-0.42	0.680	6.24
x24x25	7.10	9.78	0.73	0.472	4.92
x44x15	-9.7	12.8	-0.76	0.450	8.81
x44x45	42.4	35.2	1.21	0.234	3.41
x15x25	7.3	10.7	0.68	0.498	4.61
x15x45	38.6	20.8	1.86	0.069	4.70

ตารางที่ 39 ค่าดัชนีชี้วัดความเพือของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 1)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	32	230	0.14	0.889	
x21	16	182	0.09	0.929	1149.87
x31	-99.0	35.5	-2.79	0.008	3427160.91
x41	3	359	0.01	0.993	3.49006E+08
x12	0.481	0.513	0.94	0.353	714.77
x22	59.3	25.0	2.37	0.022	1701217.38
x32	-70	117	-0.60	0.555	37145396.51
x42	254	1701	0.15	0.882	7.84925E+09
x13	1.225	0.920	1.33	0.189	2294.93
x23	-2.33	2.80	-0.83	0.410	21338.75
x33	238.4	57.1	4.18	0.000	8836317.74
x43	-222	508	-0.44	0.664	7.01259E+08
x14	1.061	0.547	1.94	0.058	811.00
x24	-0.845	0.970	-0.87	0.389	2555.77
x34	-87.7	44.2	-1.98	0.053	5311371.22
x44	-28	238	-0.12	0.908	1.53331E+08
x15	0.96	4.31	0.22	0.825	50301.92
x25	-2.81	4.49	-0.63	0.534	54679.51
x35	-87	124	-0.70	0.485	41617678.42
x45	14	262	0.05	0.958	1.86924E+08
x21x21	-0.0319	0.0576	-0.55	0.582	13.51
x31x31	2.791	0.523	5.33	0.000	9316.13
x41x41	0.70	2.42	0.29	0.774	271907.60
x12x12	0.0028	0.0507	0.06	0.956	12.95
x22x22	-3.71	3.63	-1.02	0.313	8714.15
x32x32	54.6	21.0	2.60	0.013	3795903.85

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x42x42	-155	163	-0.95	0.349	1.56260E+08
x13x13	-0.3738	0.0567	-6.60	0.000	19.60
x23x23	0.34	1.13	0.30	0.767	933.18
x33x33	-32.64	7.09	-4.60	0.000	499105.66
x43x43	-39.1	91.7	-0.43	0.672	48427587.34
x14x14	0.0264	0.0389	0.68	0.501	3.45
x24x24	0.0596	0.0387	1.54	0.130	44.93
x34x34	-3.37	1.59	-2.12	0.040	29619.34
x44x44	14.9	47.1	0.32	0.754	16228140.45
x15x15	0.0390	0.0597	0.65	0.517	17.61
x25x25	-0.96	1.23	-0.78	0.438	1431.91
x35x35	-20.6	19.2	-1.08	0.288	3120421.89
x45x45	6.8	57.8	0.12	0.907	24774626.39
x21x12	0.0323	0.0558	0.58	0.566	10.50
x21x22	-0.79	1.10	-0.72	0.478	1574.72
x21x13	-0.012	0.101	-0.12	0.904	25.84
x21x23	0.308	0.346	0.89	0.378	155.18
x21x14	-0.0453	0.0743	-0.61	0.545	15.89
x21x24	-0.0155	0.0946	-0.16	0.871	10.44
x21x44	32	366	0.09	0.931	2.96185E+08
x21x15	0.0288	0.0624	0.46	0.646	10.19
x21x25	-0.219	0.940	-0.23	0.817	865.63
x31x12	-10.55	3.49	-3.03	0.004	31290.38
x31x22	150.5	60.5	2.49	0.017	11645470.97
x31x32	1.23	7.77	0.16	0.875	420662.75
x31x13	-5.05	1.47	-3.44	0.001	8207.77
x31x33	0.86	1.10	0.78	0.438	8363.74
x31x14	2.71	1.05	2.57	0.013	2392.98

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x34	14.88	4.85	3.07	0.004	195647.81
x31x15	13.01	3.80	3.43	0.001	34280.16
x31x35	140.2	48.0	2.92	0.005	15789810.56
x41x12	5.20	3.77	1.38	0.175	18224.13
x41x42	4.8	47.4	0.10	0.920	17637163.08
x41x13	-0.30	3.01	-0.10	0.920	27530.13
x41x43	1	188	0.01	0.995	2.80340E+08
x41x14	-1.19	1.68	-0.71	0.481	7196.66
x41x44	-3.4	47.9	-0.07	0.943	18860812.38
x41x15	-1.0	15.8	-0.07	0.948	470486.60
x41x45	-4.16	8.34	-0.50	0.620	608708.56
x12x22	-0.019	0.610	-0.03	0.976	987.33
x12x32	1.05	2.52	0.42	0.680	21339.10
x12x42	-17.6	25.4	-0.69	0.492	1153099.37
x12x13	-0.0372	0.0509	-0.73	0.468	6.71
x12x23	-0.487	0.216	-2.25	0.029	127.20
x12x33	-4.44	1.79	-2.48	0.017	12084.31
x12x43	11.9	13.7	0.87	0.391	328311.36
x12x14	-0.0268	0.0369	-0.73	0.471	3.69
x12x24	-0.0475	0.0455	-1.04	0.303	8.64
x12x34	12.45	3.65	3.41	0.001	46377.35
x12x44	4.5	20.8	0.21	0.831	773650.80
x12x15	-0.1079	0.0568	-1.90	0.064	8.90
x12x25	-0.286	0.625	-0.46	0.650	979.45
x12x35	25.29	7.09	3.57	0.001	163898.28
x12x45	-4.7	20.6	-0.23	0.822	735219.06
x22x13	0.87	1.15	0.76	0.454	4597.03
x22x23	2.11	3.36	0.63	0.534	7632.26

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x22x14	-0.272	0.477	-0.57	0.572	604.85
x22x24	0.62	1.33	0.46	0.647	2224.02
x22x15	-0.890	0.657	-1.35	0.182	1207.18
x22x25	6.71	6.54	1.03	0.311	32858.54
x32x13	6.00	1.62	3.71	0.001	13106.71
x32x33	-42.2	12.4	-3.40	0.001	1320971.74
x32x14	-0.161	0.636	-0.25	0.801	1017.31
x32x34	20.7	13.8	1.50	0.142	1886284.53
x32x15	-8.96	2.43	-3.69	0.001	22499.38
x42x13	-6.3	20.9	-0.30	0.764	1718272.29
x42x43	191	484	0.40	0.694	1.32716E+09
x42x14	-0.68	4.10	-0.17	0.869	43571.71
x42x44	8	123	0.06	0.951	93102642.77
x42x15	-0.48	3.62	-0.13	0.894	25612.54
x42x45	-22.5	33.2	-0.68	0.502	6300680.26
x13x23	-0.170	0.331	-0.52	0.609	378.22
x13x43	-16.6	20.7	-0.80	0.426	1609813.49
x13x14	-0.0149	0.0747	-0.20	0.843	13.76
x13x24	0.0189	0.0546	0.35	0.731	6.42
x13x44	8.3	35.1	0.23	0.815	4868800.50
x13x15	0.0769	0.0934	0.82	0.415	22.66
x13x25	-0.066	0.479	-0.14	0.890	839.96
x13x45	16.53	7.98	2.07	0.044	219824.28
x23x14	0.198	0.207	0.96	0.344	111.47
x23x24	-0.106	0.244	-0.44	0.666	85.81
x43x14	2.45	6.39	0.38	0.703	110597.62
x43x44	-0	367	-0.00	1.000	7.92537E+08
x14x24	-0.0120	0.0583	-0.21	0.837	9.19

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x14x15	-0.0276	0.0457	-0.60	0.549	5.26
x14x25	0.665	0.529	1.26	0.215	737.64
x24x15	-0.0874	0.0519	-1.68	0.099	16.45
x24x25	0.460	0.797	0.58	0.567	736.65
x15x25	0.295	0.878	0.34	0.738	2144.48

ตารางที่ 40 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 2)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	84.2	30.7	2.75	0.009	
x21	-83.0	24.2	-3.43	0.001	1591362.64
x31	-100.9	36.1	-2.80	0.008	3529319.92
x12	-0.975	0.303	-3.22	0.002	249.67
x22	71.0	24.0	2.96	0.005	1563802.90
x32	111	157	0.71	0.481	66517921.21
x13	0.005	0.148	0.04	0.972	59.58
x23	-2.33	2.80	-0.83	0.410	21338.74
x33	14.3	17.6	0.81	0.422	844972.38
x43	4.2	29.1	0.15	0.885	2298512.65
x14	0.349	0.244	1.43	0.160	161.55
x24	-0.845	0.970	-0.87	0.389	2555.77
x34	132.7	29.2	4.54	0.000	2315931.98
x44	-20.3	10.2	-1.99	0.052	281295.92
x15	-0.567	0.419	-1.35	0.183	475.67
x25	-2.81	4.49	-0.63	0.534	54679.48
x35	223.5	71.7	3.12	0.003	13942372.38
x21x21	-0.0319	0.0576	-0.55	0.582	13.51

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x31	5.70	1.26	4.53	0.000	53820.71
x41x41	0.236	0.199	1.19	0.242	1844.40
x12x12	0.0028	0.0507	0.06	0.956	12.95
x22x22	-3.71	3.63	-1.02	0.313	8714.14
x32x32	189.2	41.0	4.62	0.000	14414988.47
x13x13	-0.3738	0.0567	-6.60	0.000	19.60
x23x23	0.34	1.13	0.30	0.767	933.18
x33x33	-8.09	3.28	-2.47	0.018	106838.20
x43x43	293.1	59.3	4.94	0.000	20267703.90
x14x14	0.0264	0.0389	0.68	0.501	3.45
x24x24	0.0596	0.0387	1.54	0.130	44.93
x34x34	4.90	1.11	4.40	0.000	14527.65
x44x44	-5.07	1.54	-3.30	0.002	17250.63
x15x15	0.0390	0.0597	0.65	0.517	17.61
x25x25	-0.96	1.23	-0.78	0.438	1431.91
x35x35	157.0	64.0	2.45	0.018	34731598.12
x45x45	2.40	1.70	1.41	0.167	21521.48
x21x41	-16.68	4.84	-3.45	0.001	58541.65
x21x12	0.0323	0.0558	0.58	0.566	10.50
x21x22	-0.79	1.10	-0.72	0.478	1574.72
x21x42	604	124	4.87	0.000	32944292.80
x21x13	-0.012	0.101	-0.12	0.904	25.84
x21x23	0.308	0.346	0.89	0.378	155.18
x21x14	-0.0453	0.0743	-0.61	0.545	15.89
x21x24	-0.0155	0.0946	-0.16	0.871	10.44
x21x15	0.0288	0.0624	0.46	0.646	10.19
x21x25	-0.219	0.940	-0.23	0.817	865.63
x21x45	-768	164	-4.69	0.000	58200765.37

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x12	-3.24	1.57	-2.06	0.045	6366.30
x31x22	114.9	50.7	2.26	0.028	8197954.63
x31x32	-8.07	5.95	-1.36	0.182	246591.74
x31x13	-2.264	0.751	-3.01	0.004	2153.70
x31x33	17.58	5.45	3.23	0.002	206671.31
x31x14	3.96	1.39	2.85	0.007	4164.57
x31x34	-10.12	3.26	-3.11	0.003	88277.33
x31x15	10.55	3.10	3.40	0.001	22889.33
x31x35	78.5	31.0	2.53	0.015	6602627.84
x41x12	-7.51	1.56	-4.80	0.000	3132.89
x41x42	-6.98	2.10	-3.33	0.002	34433.34
x41x13	-1.842	0.457	-4.03	0.000	631.71
x41x14	6.18	1.16	5.31	0.000	3462.31
x41x44	4.263	0.953	4.47	0.000	7460.49
x41x15	8.71	1.82	4.80	0.000	6211.86
x41x45	-6.51	1.56	-4.17	0.000	21298.95
x12x22	-0.019	0.610	-0.03	0.976	987.33
x12x32	-30.49	7.92	-3.85	0.000	210549.73
x12x13	-0.0372	0.0509	-0.73	0.468	6.71
x12x23	-0.487	0.216	-2.25	0.029	127.20
x12x33	16.64	4.66	3.57	0.001	82079.45
x12x43	53.3	10.3	5.20	0.000	183295.03
x12x14	-0.0268	0.0369	-0.73	0.471	3.69
x12x24	-0.0475	0.0455	-1.04	0.303	8.64
x12x34	-0.35	1.16	-0.30	0.763	4665.51
x12x44	-11.79	2.28	-5.18	0.000	9265.94
x12x15	-0.1079	0.0568	-1.90	0.064	8.90
x12x25	-0.286	0.625	-0.46	0.650	979.45

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x35	14.04	4.15	3.38	0.001	56147.12
x12x45	-37.32	7.25	-5.15	0.000	91474.77
x22x13	0.87	1.15	0.76	0.454	4597.03
x22x23	2.11	3.36	0.63	0.534	7632.26
x22x14	-0.272	0.477	-0.57	0.572	604.85
x22x24	0.62	1.33	0.46	0.647	2224.02
x22x44	52.1	25.6	2.04	0.048	1896241.31
x22x15	-0.890	0.657	-1.35	0.182	1207.18
x22x25	6.71	6.54	1.03	0.311	32858.51
x32x13	2.40	1.19	2.02	0.050	7064.06
x32x14	-1.554	0.843	-1.84	0.072	1790.71
x32x34	-49.3	10.1	-4.87	0.000	1006118.22
x32x15	-8.34	2.26	-3.69	0.001	19556.54
x32x35	-490	144	-3.40	0.001	1.75780E+08
x42x13	-4.29	1.24	-3.46	0.001	6079.59
x42x14	-18.85	3.80	-4.96	0.000	508.69
x42x44	46.9	22.1	2.12	0.040	1173.09
x42x15	-143.6	27.1	-5.29	0.000	1662.57
x42x45	240.2	46.8	5.13	0.000	2730.58
x13x23	-0.170	0.331	-0.52	0.609	378.22
x13x43	7.04	1.77	3.98	0.000	11844.47
x13x14	-0.0149	0.0747	-0.20	0.843	13.76
x13x24	0.0189	0.0546	0.35	0.731	6.42
x13x44	6.66	1.92	3.47	0.001	14558.35
x13x15	0.0769	0.0934	0.82	0.415	22.66
x13x25	-0.066	0.479	-0.14	0.890	839.96
x13x45	-8.19	1.79	-4.58	0.000	11026.91
x23x14	0.198	0.207	0.96	0.344	111.47

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x23x24	-0.106	0.244	-0.44	0.666	85.81
x43x14	18.84	3.42	5.51	0.000	650.86
x43x15	132.5	25.2	5.26	0.000	2080.86
x43x45	-645	128	-5.02	0.000	9852.56
x14x24	-0.0120	0.0583	-0.21	0.837	9.19
x14x44	0.410	0.588	0.70	0.490	869.67
x14x15	-0.0276	0.0457	-0.60	0.549	5.26
x14x25	0.665	0.529	1.26	0.215	737.64
x14x45	-5.51	1.30	-4.24	0.000	5066.79
x24x15	-0.0874	0.0519	-1.68	0.099	16.45
x24x25	0.460	0.797	0.58	0.567	736.65
x44x15	1.506	0.982	1.53	0.132	1861.02
x15x25	0.295	0.878	0.34	0.738	2144.48

ตารางที่ 41 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 3)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	27.2	25.2	1.08	0.285	
x21	-38.4	16.0	-2.40	0.020	690900.85
x31	80.4	34.2	2.35	0.023	3175376.52
x12	-1.552	0.502	-3.09	0.003	683.40
x22	-5.91	7.53	-0.78	0.437	154017.58
x32	-343	119	-2.88	0.006	38634612.87
x13	0.400	0.160	2.49	0.016	69.86
x23	-19.01	5.87	-3.24	0.002	93647.71
x33	65.4	18.2	3.58	0.001	903178.15
x43	-50.5	36.7	-1.38	0.175	3650945.64

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x14	0.115	0.157	0.73	0.468	66.57
x24	-0.845	0.970	-0.87	0.389	2555.77
x34	335.1	99.0	3.39	0.001	26594390.26
x44	16.94	5.69	2.98	0.005	87826.62
x15	0.256	0.181	1.41	0.165	89.37
x25	-2.81	4.49	-0.63	0.534	54679.48
x35	669	183	3.65	0.001	91320589.54
x21x21	-0.0319	0.0576	-0.55	0.582	13.51
x31x31	8.92	2.41	3.70	0.001	198097.30
x41x41	0.084	0.237	0.36	0.724	2618.04
x12x12	0.0028	0.0507	0.06	0.956	12.95
x22x22	-3.71	3.63	-1.02	0.313	8714.14
x32x32	308.6	83.0	3.72	0.001	59121477.87
x13x13	-0.3738	0.0567	-6.60	0.000	19.60
x23x23	0.34	1.13	0.30	0.767	933.18
x33x33	-20.56	5.27	-3.90	0.000	275325.99
x43x43	16.57	9.64	1.72	0.093	535209.82
x14x14	0.0264	0.0389	0.68	0.501	3.45
x24x24	0.0596	0.0387	1.54	0.130	44.93
x34x34	12.31	3.71	3.32	0.002	161080.60
x44x44	-2.92	1.44	-2.03	0.048	15149.46
x15x15	0.0390	0.0597	0.65	0.517	17.61
x25x25	-0.96	1.23	-0.78	0.438	1431.91
x35x35	125.9	54.2	2.32	0.025	24932999.60
x45x45	17.37	3.48	4.99	0.000	89756.94
x21x41	4.59	3.50	1.31	0.196	30591.83
x21x12	0.0323	0.0558	0.58	0.566	10.50
x21x22	-0.79	1.10	-0.72	0.478	1574.72

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x21x42	-80.2	31.8	-2.52	0.015	2175754.05
x21x13	-0.012	0.101	-0.12	0.904	25.84
x21x23	0.308	0.346	0.89	0.378	155.18
x21x14	-0.0453	0.0743	-0.61	0.545	15.89
x21x24	-0.0155	0.0946	-0.16	0.871	10.44
x21x15	0.0288	0.0624	0.46	0.646	10.19
x21x25	-0.219	0.940	-0.23	0.817	865.63
x31x12	2.286	0.940	2.43	0.019	2270.37
x31x22	-12.50	6.37	-1.96	0.056	129409.35
x31x32	-48.9	12.5	-3.91	0.000	1086748.54
x31x13	-1.686	0.573	-2.94	0.005	1254.11
x31x33	18.42	5.76	3.20	0.003	231057.50
x31x14	0.761	0.365	2.08	0.043	289.44
x31x34	-23.96	7.91	-3.03	0.004	520638.85
x31x15	7.10	1.82	3.90	0.000	7861.61
x31x45	253.9	59.9	4.24	0.000	3198962.44
x41x12	0.246	0.330	0.75	0.459	139.40
x41x42	-1.65	1.68	-0.98	0.332	22142.44
x41x13	0.068	0.209	0.33	0.746	132.52
x41x14	0.818	0.258	3.17	0.003	170.29
x41x44	3.62	1.14	3.17	0.003	10681.30
x41x15	-0.927	0.592	-1.57	0.124	659.30
x41x45	0.23	1.54	0.15	0.880	20903.91
x12x22	-0.019	0.610	-0.03	0.976	987.33
x12x32	-40.8	11.6	-3.51	0.001	452300.24
x12x13	-0.0372	0.0509	-0.73	0.468	6.71
x12x23	-0.487	0.216	-2.25	0.029	127.20
x12x33	22.60	6.80	3.32	0.002	174514.79

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x43	12.84	2.20	5.83	0.000	8457.13
x12x14	-0.0268	0.0369	-0.73	0.471	3.69
x12x24	-0.0475	0.0455	-1.04	0.303	8.64
x12x34	-3.86	1.75	-2.21	0.032	10585.39
x12x44	-4.00	1.12	-3.58	0.001	2230.26
x12x15	-0.1079	0.0568	-1.90	0.064	8.90
x12x25	-0.286	0.625	-0.46	0.650	979.45
x12x35	9.40	2.62	3.58	0.001	22419.84
x12x45	-10.05	2.96	-3.40	0.001	15231.93
x22x13	0.87	1.15	0.76	0.454	4597.03
x22x23	2.11	3.36	0.63	0.534	7632.26
x22x14	-0.272	0.477	-0.57	0.572	604.85
x22x24	0.62	1.33	0.46	0.647	2224.02
x22x15	-0.890	0.657	-1.35	0.182	1207.18
x22x25	6.71	6.54	1.03	0.311	32858.51
x32x13	-3.96	2.50	-1.58	0.120	31358.17
x32x14	0.079	0.628	0.13	0.900	993.98
x32x34	-123.8	35.9	-3.45	0.001	12686438.83
x32x15	-6.30	1.53	-4.12	0.000	8941.21
x32x35	-581	177	-3.28	0.002	2.64436E+08
x42x13	-0.443	0.819	-0.54	0.591	2642.40
x42x14	-2.10	2.54	-0.83	0.413	16812.93
x42x44	-45.2	16.6	-2.72	0.009	1694099.66
x42x15	-10.37	1.61	-6.44	0.000	5079.87
x13x23	-0.170	0.331	-0.52	0.609	378.22
x13x33	5.36	2.12	2.53	0.015	22583.79
x13x43	-2.00	1.09	-1.83	0.074	4512.11
x13x14	-0.0149	0.0747	-0.20	0.843	13.76

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13x24	0.0189	0.0546	0.35	0.731	6.42
x13x44	-1.578	0.634	-2.49	0.017	1585.75
x13x15	0.0769	0.0934	0.82	0.415	22.66
x13x25	-0.066	0.479	-0.14	0.890	839.96
x13x45	5.14	1.24	4.14	0.000	5317.48
x23x14	0.198	0.207	0.96	0.344	111.47
x23x24	-0.106	0.244	-0.44	0.666	85.81
x23x44	-33.5	10.4	-3.22	0.002	307959.00
x43x14	-0.447	0.860	-0.52	0.606	2004.56
x43x15	30.31	5.60	5.42	0.000	64309.90
x14x24	-0.0120	0.0583	-0.21	0.837	9.19
x14x44	0.981	0.710	1.38	0.174	1266.02
x14x15	-0.0276	0.0457	-0.60	0.549	5.26
x14x25	0.665	0.529	1.26	0.215	737.64
x14x45	1.30	2.51	0.52	0.606	18873.56
x24x15	-0.0874	0.0519	-1.68	0.099	16.45
x24x25	0.460	0.797	0.58	0.567	736.65
x44x15	-7.25	3.15	-2.30	0.026	19111.39
x44x45	17.09	9.45	1.81	0.077	502698.91
x15x25	0.295	0.878	0.34	0.738	2144.48
x15x45	-12.69	2.57	-4.93	0.000	16489.25
x14x25	0.665	0.529	1.26	0.215	737.64
x14x45	-5.51	1.30	-4.24	0.000	5066.79

ตารางที่ 42 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 4)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5.6	19.9	0.28	0.779	
x21	-16.96	6.17	-2.75	0.009	90767.66
x12	-0.506	0.459	-1.10	0.276	501.67
x22	-0.22	8.21	-0.03	0.979	160630.34
x32	5.5	49.3	0.11	0.911	5796355.37
x13	0.8264	0.0609	13.58	0.000	8.83
x23	-7.18	4.22	-1.70	0.095	42383.90
x33	14.23	6.97	2.04	0.047	115597.29
x43	34.6	20.5	1.69	0.098	997381.35
x14	0.293	0.195	1.51	0.139	90.35
x24	-0.67	1.03	-0.64	0.522	2544.11
x34	-6.01	6.81	-0.88	0.382	110454.15
x44	2.84	2.51	1.13	0.264	15010.70
x15	0.032	0.208	0.16	0.877	102.72
x25	-2.15	4.78	-0.45	0.655	54519.35
x35	-17.0	14.1	-1.21	0.232	471437.00
x21x21	-0.0316	0.0615	-0.51	0.610	13.51
x31x31	0.293	0.403	0.73	0.470	4841.10
x41x41	-0.331	0.194	-1.70	0.096	1538.14
x12x12	-0.0053	0.0541	-0.10	0.922	12.90
x22x22	-3.87	3.88	-1.00	0.323	8711.64
x32x32	-1.6	11.7	-0.14	0.892	1038151.66
x13x13	-0.3612	0.0603	-5.99	0.000	19.46
x23x23	0.29	1.21	0.24	0.813	932.93
x33x33	-2.30	1.35	-1.70	0.096	15926.34
x43x43	-6.43	4.95	-1.30	0.200	123748.44

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x14x14	0.0226	0.0415	0.55	0.588	3.45
x24x24	0.0592	0.0413	1.44	0.158	44.93
x34x34	-0.516	0.504	-1.02	0.312	2614.63
x44x44	-1.52	1.44	-1.06	0.294	13218.12
x15x15	0.0371	0.0637	0.58	0.563	17.61
x25x25	-0.96	1.31	-0.73	0.469	1431.91
x45x45	12.54	3.20	3.92	0.000	66447.85
x21x31	-53.6	17.4	-3.09	0.003	653550.36
x21x41	2.45	3.63	0.67	0.505	29040.29
x21x12	0.0272	0.0595	0.46	0.649	10.49
x21x22	-0.68	1.17	-0.58	0.567	1572.62
x21x42	6.17	2.48	2.49	0.017	11578.63
x21x13	-0.022	0.108	-0.21	0.837	25.81
x21x23	0.342	0.369	0.92	0.360	154.98
x21x14	-0.0470	0.0793	-0.59	0.556	15.89
x21x24	-0.008	0.101	-0.08	0.936	10.43
x21x15	0.0259	0.0666	0.39	0.699	10.19
x21x25	-0.19	1.00	-0.19	0.852	865.51
x31x12	-0.352	0.450	-0.78	0.438	457.21
x31x22	-0.03	9.77	-0.00	0.998	266753.52
x31x13	-0.284	0.381	-0.75	0.460	487.37
x31x33	0.56	3.31	0.17	0.867	66886.29
x31x14	0.457	0.779	0.59	0.560	1154.51
x31x34	0.65	4.36	0.15	0.883	138801.44
x31x15	1.673	0.956	1.75	0.087	1907.49
x31x45	116.4	34.2	3.40	0.001	917934.71
x41x12	-0.345	0.265	-1.30	0.201	79.05
x41x42	-1.96	1.79	-1.10	0.278	22035.97

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x41x13	0.333	0.198	1.69	0.098	103.76
x41x14	0.417	0.226	1.84	0.072	114.71
x41x44	1.056	0.685	1.54	0.130	3389.15
x41x15	0.006	0.515	0.01	0.991	438.33
x41x45	3.32	1.12	2.97	0.005	9616.88
x12x22	0.054	0.650	0.08	0.935	985.45
x12x32	-0.34	3.90	-0.09	0.930	44871.22
x12x13	-0.0397	0.0543	-0.73	0.468	6.70
x12x23	-0.485	0.230	-2.11	0.041	127.20
x12x33	1.92	1.07	1.79	0.080	3811.46
x12x43	14.11	2.30	6.14	0.000	8076.81
x12x14	-0.0265	0.0394	-0.67	0.504	3.69
x12x24	-0.0433	0.0485	-0.89	0.377	8.63
x12x34	-0.55	4.90	-0.11	0.911	73151.24
x12x44	-1.862	0.849	-2.19	0.033	1131.05
x12x15	-0.1007	0.0605	-1.66	0.103	8.88
x12x25	-0.244	0.667	-0.37	0.716	978.85
x12x35	-2.48	2.13	-1.17	0.250	12952.82
x12x45	-13.48	2.86	-4.72	0.000	12471.84
x22x13	0.98	1.22	0.80	0.426	4590.67
x22x23	2.44	3.58	0.68	0.499	7622.20
x22x14	-0.277	0.509	-0.54	0.589	604.84
x22x24	0.34	1.42	0.24	0.814	2210.88
x22x15	-0.898	0.701	-1.28	0.207	1207.16
x22x25	5.80	6.97	0.83	0.410	32773.15
x32x13	6.20	5.85	1.06	0.294	150425.40
x32x14	-1.650	0.749	-2.20	0.033	1239.00
x32x15	-1.659	0.937	-1.77	0.083	2947.04

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x42x13	-0.278	0.871	-0.32	0.751	2627.93
x42x14	-6.81	1.99	-3.42	0.001	9032.87
x42x15	-10.66	1.72	-6.22	0.000	5057.25
x13x23	-0.166	0.353	-0.47	0.641	378.21
x13x33	-1.12	2.34	-0.48	0.635	24280.92
x13x43	-1.94	1.17	-1.67	0.103	4510.53
x13x14	-0.0001	0.0795	-0.00	0.999	13.69
x13x24	0.0170	0.0583	0.29	0.772	6.42
x13x34	0.332	0.393	0.85	0.402	592.64
x13x44	-1.061	0.645	-1.64	0.107	1443.25
x13x15	0.0804	0.0997	0.81	0.424	22.66
x13x25	-0.094	0.512	-0.18	0.856	839.60
x13x35	-3.81	3.89	-0.98	0.332	64980.03
x13x45	4.34	1.29	3.37	0.002	5019.99
x23x14	0.182	0.221	0.82	0.416	111.37
x23x24	-0.109	0.261	-0.42	0.679	85.80
x23x44	-9.34	5.78	-1.62	0.113	83601.64
x33x14	1.736	0.814	2.13	0.038	1608.19
x33x34	2.16	2.62	0.82	0.414	60785.06
x43x14	0.062	0.896	0.07	0.945	1909.49
x43x15	20.33	4.51	4.51	0.000	36682.75
x14x24	-0.0151	0.0622	-0.24	0.809	9.19
x14x44	1.554	0.724	2.15	0.037	1154.70
x14x15	-0.0329	0.0487	-0.67	0.503	5.25
x14x25	0.609	0.565	1.08	0.287	736.49
x14x45	5.82	2.01	2.90	0.006	10605.75
x24x15	-0.0847	0.0554	-1.53	0.133	16.45
x24x25	0.499	0.850	0.59	0.560	736.40

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x44x15	0.63	1.31	0.48	0.632	2913.12
x44x45	-5.69	4.69	-1.21	0.232	108684.02
x15x25	0.269	0.937	0.29	0.775	2144.22
x15x45	-11.14	2.68	-4.16	0.000	15685.99

ตารางที่ 43 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 5)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-21.2	22.5	-0.94	0.350	
x21	-26.36	8.70	-3.03	0.004	178382.07
x12	0.376	0.362	1.04	0.304	309.15
x22	-1.64	7.17	-0.23	0.820	121195.34
x13	0.8297	0.0576	14.40	0.000	7.83
x23	-9.33	4.18	-2.23	0.030	41189.50
x33	-31.1	26.6	-1.17	0.249	1667643.44
x43	47.9	17.4	2.76	0.008	710503.56
x14	0.096	0.142	0.68	0.501	47.52
x24	-0.83	1.03	-0.81	0.422	2499.03
x34	-20.7	12.1	-1.71	0.094	345392.26
x44	3.08	2.51	1.23	0.227	14917.24
x15	0.086	0.234	0.37	0.716	129.52
x25	-2.96	4.76	-0.62	0.538	53466.83
x35	-41.9	22.9	-1.83	0.074	1237817.28
x21x21	-0.0344	0.0618	-0.56	0.580	13.49
x31x31	0.482	0.307	1.57	0.123	2789.75
x41x41	-0.236	0.179	-1.32	0.194	1287.87
x12x12	-0.0014	0.0542	-0.03	0.980	12.86
x22x22	-3.28	3.86	-0.85	0.401	8571.99

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13x13	-0.3710	0.0600	-6.18	0.000	19.12
x23x23	0.33	1.21	0.27	0.785	931.98
x33x33	-2.35	1.57	-1.50	0.141	21215.87
x43x43	-9.42	4.31	-2.18	0.034	93041.17
x14x14	0.0273	0.0416	0.66	0.515	3.42
x24x24	0.0593	0.0415	1.43	0.160	44.93
x34x34	-1.86	1.16	-1.61	0.114	13591.21
x44x44	-2.32	1.28	-1.81	0.076	10431.75
x15x15	0.0368	0.0640	0.57	0.568	17.61
x25x25	-0.97	1.32	-0.73	0.467	1431.86
x45x45	11.93	3.17	3.76	0.000	64775.13
x21x31	-69.8	16.0	-4.36	0.000	551365.10
x21x41	4.75	3.11	1.53	0.134	21098.51
x21x12	0.0304	0.0598	0.51	0.614	10.47
x21x22	-0.65	1.18	-0.55	0.585	1571.93
x21x32	-10.8	10.5	-1.03	0.309	222494.83
x21x42	8.26	1.79	4.62	0.000	5969.28
x21x13	-0.012	0.108	-0.11	0.910	25.65
x21x23	0.305	0.370	0.82	0.414	153.95
x21x14	-0.0533	0.0795	-0.67	0.506	15.82
x21x24	-0.009	0.101	-0.09	0.926	10.43
x21x15	0.0228	0.0669	0.34	0.735	10.17
x21x25	-0.13	1.01	-0.13	0.896	863.61
x31x12	0.357	0.682	0.52	0.604	1040.83
x31x13	0.322	0.527	0.61	0.544	923.18
x31x23	-14.61	6.96	-2.10	0.041	136730.61
x31x33	-3.66	1.69	-2.17	0.035	17193.91
x31x14	-0.242	0.513	-0.47	0.639	495.15

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x34	8.14	4.15	1.96	0.056	124506.88
x31x15	1.143	0.510	2.24	0.030	537.45
x31x45	131.7	32.0	4.12	0.000	792717.52
x41x12	-0.218	0.245	-0.89	0.378	66.82
x41x42	-0.35	1.20	-0.29	0.772	9804.35
x41x13	0.289	0.195	1.48	0.145	100.25
x41x14	0.398	0.227	1.76	0.086	114.16
x41x44	1.308	0.656	1.99	0.052	3078.17
x41x15	-0.174	0.496	-0.35	0.727	402.14
x41x45	2.328	0.764	3.05	0.004	4445.17
x12x22	0.087	0.653	0.13	0.895	983.73
x12x32	8.27	6.22	1.33	0.190	112694.46
x12x13	-0.0319	0.0542	-0.59	0.559	6.61
x12x23	-0.489	0.232	-2.11	0.040	127.17
x12x33	2.082	0.881	2.36	0.022	2544.97
x12x43	12.90	2.08	6.20	0.000	6558.94
x12x14	-0.0289	0.0396	-0.73	0.469	3.68
x12x24	-0.0436	0.0488	-0.89	0.376	8.63
x12x34	7.82	4.06	1.93	0.060	49686.12
x12x44	-2.600	0.595	-4.37	0.000	549.43
x12x15	-0.1029	0.0608	-1.69	0.097	8.88
x12x25	-0.162	0.667	-0.24	0.810	968.66
x12x35	-2.96	2.64	-1.12	0.266	19669.75
x12x45	-11.28	2.22	-5.08	0.000	7467.51
x22x13	0.86	1.23	0.70	0.487	4558.86
x22x23	1.92	3.58	0.54	0.593	7514.40
x22x14	-0.294	0.511	-0.58	0.568	604.37
x22x24	0.64	1.41	0.45	0.653	2144.21

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x22x15	-0.892	0.705	-1.26	0.212	1207.10
x22x25	6.86	6.95	0.99	0.328	32254.69
x32x14	0.11	2.64	0.04	0.968	15252.51
x32x15	0.02	1.90	0.01	0.990	12024.90
x42x13	-0.033	0.852	-0.04	0.969	2486.60
x42x14	-5.35	1.59	-3.36	0.002	5705.21
x42x15	-10.72	1.72	-6.22	0.000	5054.02
x13x23	-0.205	0.353	-0.58	0.565	375.07
x13x33	3.16	2.48	1.27	0.210	26960.91
x13x43	-1.38	1.07	-1.28	0.206	3788.92
x13x14	-0.0181	0.0785	-0.23	0.818	13.21
x13x24	0.0167	0.0586	0.29	0.776	6.42
x13x34	1.045	0.656	1.59	0.118	1638.01
x13x44	-1.324	0.611	-2.17	0.035	1279.75
x13x15	0.0647	0.0993	0.65	0.518	22.28
x13x25	-0.031	0.512	-0.06	0.951	831.12
x13x35	-1.77	2.25	-0.79	0.436	21525.33
x13x45	3.67	1.17	3.14	0.003	4102.86
x23x14	0.189	0.222	0.85	0.399	111.29
x23x24	-0.125	0.262	-0.48	0.634	85.57
x23x44	-2.65	1.73	-1.54	0.131	7411.28
x33x14	0.37	2.65	0.14	0.890	16913.54
x33x34	-0.427	0.707	-0.60	0.548	4363.35
x33x15	-1.18	1.76	-0.67	0.503	9696.27
x33x35	20.9	13.8	1.51	0.138	1425976.12
x43x14	0.077	0.900	0.09	0.932	1909.14
x43x15	20.77	4.52	4.60	0.000	36445.21
x14x24	-0.0127	0.0625	-0.20	0.840	9.18

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x14x44	1.451	0.722	2.01	0.050	1139.04
x14x15	-0.0335	0.0489	-0.68	0.498	5.25
x14x25	0.613	0.567	1.08	0.286	736.47
x14x45	4.20	1.50	2.79	0.008	5900.22
x24x15	-0.0879	0.0556	-1.58	0.120	16.41
x24x25	0.441	0.853	0.52	0.608	734.07
x44x15	-0.603	0.829	-0.73	0.471	1152.48
x15x25	0.220	0.941	0.23	0.816	2140.22
x15x45	-10.18	2.57	-3.96	0.000	14303.31

ตารางที่ 44 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 6)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	18.71	9.99	1.87	0.067	
x22	-1.64	7.17	-0.23	0.820	121195.34
x13	0.707	0.194	3.65	0.001	88.70
x23	-3.49	2.93	-1.19	0.240	20220.46
x43	74.0	30.2	2.45	0.018	2148709.93
x14	-0.857	0.976	-0.88	0.384	2245.09
x24	-4.82	9.12	-0.53	0.600	196043.12
x34	-1.0	10.8	-0.09	0.927	276539.56
x44	3.08	2.51	1.23	0.227	14917.24
x15	-0.066	0.426	-0.15	0.878	427.43
x25	-2.96	4.76	-0.62	0.538	53466.83
x21x21	-0.0344	0.0618	-0.56	0.580	13.49
x31x31	1.33	3.09	0.43	0.669	282516.98
x41x41	-0.236	0.179	-1.32	0.194	1287.87

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x12	-0.0014	0.0542	-0.03	0.980	12.86
x22x22	-3.28	3.86	-0.85	0.401	8571.99
x13x13	-0.3710	0.0600	-6.18	0.000	19.12
x23x23	0.33	1.21	0.27	0.785	931.98
x33x33	-0.85	7.40	-0.11	0.909	471994.74
x43x43	-9.42	4.31	-2.18	0.034	93041.17
x14x14	0.0273	0.0416	0.66	0.515	3.42
x24x24	0.0593	0.0415	1.43	0.160	44.93
x34x34	-2.30	2.41	-0.96	0.344	58959.21
x44x44	-2.32	1.28	-1.81	0.076	10431.75
x15x15	0.0368	0.0640	0.57	0.568	17.61
x25x25	-0.97	1.32	-0.73	0.467	1431.86
x45x45	11.93	3.17	3.76	0.000	64775.13
x21x31	-53.3	32.7	-1.63	0.110	2297893.04
x21x41	4.75	3.11	1.53	0.134	21098.51
x21x12	0.0304	0.0598	0.51	0.614	10.47
x21x22	-0.65	1.18	-0.55	0.585	1571.93
x21x32	-4.6	11.9	-0.38	0.703	287988.42
x21x42	8.26	1.79	4.62	0.000	5969.28
x21x13	-0.012	0.108	-0.11	0.910	25.65
x21x23	0.305	0.370	0.82	0.414	153.95
x21x33	0.5	22.1	0.02	0.982	1002305.17
x21x43	24.9	29.7	0.84	0.407	1645053.77
x21x14	-0.0533	0.0795	-0.67	0.506	15.82
x21x24	-0.009	0.101	-0.09	0.926	10.43
x21x15	0.0228	0.0669	0.34	0.735	10.17
x21x25	-0.13	1.01	-0.13	0.896	863.61
x21x35	9.10	6.01	1.52	0.136	73104.33

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x12	1.85	4.83	0.38	0.704	52171.60
x31x13	0.98	1.92	0.51	0.610	12180.45
x31x33	-0.89	2.91	-0.30	0.762	51236.18
x31x14	-0.46	1.85	-0.25	0.803	6436.63
x31x24	-10.0	23.4	-0.43	0.672	564802.37
x31x15	1.69	2.41	0.70	0.486	11941.24
x31x45	131.7	32.0	4.12	0.000	792717.51
x41x12	-0.218	0.245	-0.89	0.378	66.82
x41x42	-0.35	1.20	-0.29	0.772	9804.35
x41x13	0.289	0.195	1.48	0.145	100.25
x41x14	0.398	0.227	1.76	0.086	114.16
x41x44	1.308	0.656	1.99	0.052	3078.17
x41x15	-0.174	0.496	-0.35	0.727	402.14
x41x45	2.328	0.764	3.05	0.004	4445.17
x12x22	0.087	0.653	0.13	0.895	983.73
x12x32	6.01	9.82	0.61	0.544	281168.93
x12x13	-0.0319	0.0542	-0.59	0.559	6.61
x12x23	-0.489	0.232	-2.11	0.040	127.17
x12x33	2.9	10.1	0.28	0.779	334942.68
x12x43	12.90	2.08	6.20	0.000	6558.94
x12x14	-0.0289	0.0396	-0.73	0.469	3.68
x12x24	-0.0436	0.0488	-0.89	0.376	8.63
x12x34	3.66	5.06	0.72	0.473	77136.35
x12x44	-2.600	0.595	-4.37	0.000	549.43
x12x15	-0.1029	0.0608	-1.69	0.097	8.88
x12x25	-0.162	0.667	-0.24	0.810	968.66
x12x35	-7.2	19.6	-0.37	0.716	1089059.15
x12x45	-11.28	2.22	-5.08	0.000	7467.51

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x22x13	0.86	1.23	0.70	0.487	4558.86
x22x23	1.92	3.58	0.54	0.593	7514.40
x22x14	-0.294	0.511	-0.58	0.568	604.37
x22x24	0.64	1.41	0.45	0.653	2144.21
x22x15	-0.892	0.705	-1.26	0.212	1207.10
x22x25	6.86	6.95	0.99	0.328	32254.69
x32x14	-11.22	6.95	-1.61	0.113	105865.61
x32x15	-5.34	2.05	-2.60	0.012	13979.90
x42x13	-0.033	0.852	-0.04	0.969	2486.60
x42x14	-5.35	1.59	-3.36	0.002	5705.21
x42x15	-10.72	1.72	-6.22	0.000	5054.02
x13x23	-0.205	0.353	-0.58	0.565	375.07
x13x33	1.7	12.2	0.14	0.891	653604.16
x13x43	-1.38	1.07	-1.28	0.206	3788.92
x13x14	-0.0181	0.0785	-0.23	0.818	13.21
x13x24	0.0167	0.0586	0.29	0.776	6.42
x13x34	0.03	2.40	0.01	0.992	21844.33
x13x44	-1.324	0.611	-2.17	0.035	1279.75
x13x15	0.0647	0.0993	0.65	0.518	22.28
x13x25	-0.031	0.512	-0.06	0.951	831.12
x13x35	-2.0	12.3	-0.17	0.868	640423.84
x13x45	3.67	1.17	3.14	0.003	4102.86
x23x14	0.189	0.222	0.85	0.399	111.29
x23x24	-0.125	0.262	-0.48	0.634	85.57
x23x44	-2.65	1.73	-1.54	0.131	7411.28
x33x14	1.33	4.71	0.28	0.779	53344.98
x33x34	-2.92	1.24	-2.36	0.023	13465.67
x33x15	1.75	1.49	1.17	0.246	6988.90

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x43x14	0.077	0.900	0.09	0.932	1909.14
x43x15	20.77	4.52	4.60	0.000	36445.21
x14x24	-0.0127	0.0625	-0.20	0.840	9.18
x14x34	-8.7	12.4	-0.70	0.486	369714.55
x14x44	1.451	0.722	2.01	0.050	1139.04
x14x15	-0.0335	0.0489	-0.68	0.498	5.25
x14x25	0.613	0.567	1.08	0.286	736.47
x14x35	1.1	15.9	0.07	0.947	555831.30
x14x45	4.20	1.50	2.79	0.008	5900.22
x24x15	-0.0879	0.0556	-1.58	0.120	16.41
x24x25	0.441	0.853	0.52	0.608	734.07
x34x15	-1.94	1.07	-1.81	0.076	3574.76
x44x15	-0.603	0.829	-0.73	0.471	1152.48
x15x25	0.220	0.941	0.23	0.816	2140.22
x15x45	-10.18	2.57	-3.96	0.000	14303.31

ตารางที่ 45 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 7)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	3.47	5.19	0.67	0.507	
x13	0.7761	0.0727	10.67	0.000	9.37
x23	-2.48	3.27	-0.76	0.451	18906.83
x14	-0.200	0.139	-1.44	0.156	34.21
x24	-0.86	1.11	-0.78	0.440	2181.91
x44	-1.6	10.3	-0.15	0.878	186590.94
x15	0.215	0.198	1.09	0.282	69.13
x21x21	-0.0466	0.0703	-0.66	0.510	13.11

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x41x41	-0.273	0.194	-1.41	0.165	1143.39
x12x12	0.0179	0.0605	0.30	0.769	12.03
x22x22	-1.98	3.95	-0.50	0.618	6737.88
x13x13	-0.3305	0.0656	-5.03	0.000	17.17
x23x23	0.59	1.36	0.43	0.666	882.97
x43x43	-7.18	4.80	-1.50	0.140	86463.48
x14x14	-0.0035	0.0450	-0.08	0.938	3.01
x24x24	0.0457	0.0457	1.00	0.322	40.85
x34x34	-0.292	0.445	-0.66	0.514	1510.14
x44x44	-2.30	1.42	-1.62	0.111	9629.68
x15x15	0.0612	0.0735	0.83	0.409	17.43
x25x25	-0.41	1.51	-0.27	0.789	1409.12
x45x45	6.31	2.72	2.32	0.024	35757.43
x21x41	-14.0	15.7	-0.89	0.376	402568.51
x21x12	0.0171	0.0664	0.26	0.798	9.71
x21x22	-0.86	1.33	-0.65	0.519	1500.46
x21x42	5.77	1.79	3.22	0.002	4505.45
x21x13	-0.031	0.123	-0.25	0.803	24.91
x21x23	0.063	0.414	0.15	0.880	145.12
x21x14	-0.0624	0.0888	-0.70	0.486	14.83
x21x24	-0.074	0.110	-0.67	0.508	9.29
x21x34	-2.94	7.75	-0.38	0.706	98784.83
x21x15	-0.0158	0.0757	-0.21	0.835	9.78
x21x25	0.40	1.15	0.35	0.728	840.66
x21x35	2.13	7.25	0.29	0.770	79979.17
x31x41	20.1	70.1	0.29	0.775	2272255.24
x31x12	-0.016	0.501	-0.03	0.974	421.79
x31x13	0.103	0.347	0.30	0.768	299.23

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x33	-0.917	0.746	-1.23	0.225	2530.41
x31x43	-84.2	48.3	-1.74	0.087	1380783.87
x31x14	-0.637	0.415	-1.53	0.131	243.98
x31x44	-9.9	27.1	-0.37	0.716	428579.93
x31x15	0.322	0.427	0.75	0.454	282.23
x31x25	-1.72	1.09	-1.58	0.120	2221.61
x31x45	77.6	27.6	2.82	0.007	442485.00
x41x12	-0.088	0.273	-0.32	0.749	62.02
x41x22	-0.3	19.6	-0.02	0.988	864813.08
x41x32	-1.18	6.39	-0.18	0.854	20978.04
x41x42	-0.67	1.36	-0.50	0.621	9440.09
x41x13	0.319	0.212	1.50	0.140	89.21
x41x33	7.64	7.69	0.99	0.325	29994.47
x41x14	0.424	0.248	1.71	0.094	103.10
x41x44	2.100	0.677	3.10	0.003	2458.97
x41x15	-0.071	0.543	-0.13	0.896	361.63
x41x25	7.7	12.7	0.61	0.548	364632.22
x41x45	2.047	0.805	2.54	0.014	3701.52
x12x22	-0.231	0.674	-0.34	0.734	787.97
x12x13	-0.0277	0.0561	-0.49	0.623	5.33
x12x23	-0.481	0.263	-1.83	0.073	123.22
x12x33	0.682	0.577	1.18	0.243	821.24
x12x43	10.45	1.97	5.30	0.000	4422.69
x12x14	-0.0297	0.0452	-0.66	0.515	3.62
x12x24	-0.0515	0.0549	-0.94	0.353	8.22
x12x34	0.737	0.562	1.31	0.195	714.66
x12x44	-2.503	0.640	-3.91	0.000	477.61
x12x15	-0.0700	0.0658	-1.06	0.292	7.80

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x25	0.551	0.719	0.77	0.447	845.14
x12x45	-8.36	2.02	-4.13	0.000	4655.93
x22x13	-0.166	0.670	-0.25	0.805	1022.68
x22x23	0.28	3.73	0.07	0.941	6135.40
x22x14	-0.466	0.563	-0.83	0.411	549.74
x22x24	0.73	1.43	0.51	0.612	1677.14
x22x15	-0.242	0.716	-0.34	0.737	934.13
x22x25	3.92	7.28	0.54	0.592	26589.87
x32x14	-3.88	1.93	-2.01	0.050	6134.47
x32x15	3.31	2.18	1.51	0.136	11872.01
x42x13	-0.209	0.960	-0.22	0.828	2369.18
x42x14	-3.88	1.51	-2.58	0.013	3843.53
x42x15	-7.48	1.59	-4.71	0.000	3216.72
x13x23	-0.105	0.401	-0.26	0.794	363.60
x13x43	-0.557	0.958	-0.58	0.563	2259.07
x13x14	-0.0560	0.0830	-0.67	0.503	11.09
x13x24	0.0378	0.0658	0.57	0.568	6.08
x13x34	-0.029	0.234	-0.12	0.902	155.97
x13x44	-1.118	0.660	-1.69	0.096	1122.31
x13x15	0.064	0.112	0.57	0.570	21.36
x13x25	0.260	0.539	0.48	0.632	693.61
x13x45	2.18	1.07	2.03	0.047	2589.34
x23x14	0.118	0.252	0.47	0.642	107.64
x23x24	-0.268	0.298	-0.90	0.373	83.04
x23x44	-2.61	1.94	-1.35	0.184	7002.59
x33x14	2.27	1.20	1.89	0.065	2602.35
x33x34	-2.01	1.29	-1.56	0.126	10993.16
x33x15	1.209	0.902	1.34	0.186	1919.15

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x43x14	0.526	0.973	0.54	0.591	1673.80
x43x15	13.32	4.00	3.33	0.002	21455.62
x14x24	0.0089	0.0658	0.14	0.893	7.64
x14x34	-1.63	1.36	-1.19	0.238	3369.31
x14x44	0.829	0.730	1.14	0.261	873.51
x14x15	-0.0429	0.0562	-0.76	0.448	5.19
x14x25	-0.028	0.627	-0.04	0.964	675.48
x14x45	1.95	1.34	1.46	0.151	3510.53
x24x15	-0.0812	0.0639	-1.27	0.210	16.29
x24x25	0.613	0.965	0.63	0.528	704.69
x34x15	-0.304	0.502	-0.61	0.548	589.78
x34x35	-0.18	3.01	-0.06	0.953	57902.03
x44x15	-0.099	0.863	-0.11	0.909	936.89
x15x25	-0.31	1.07	-0.29	0.775	2083.46
x15x35	-5.22	2.68	-1.95	0.057	18689.83
x15x45	-5.87	2.26	-2.60	0.012	8283.03

ตารางที่ 46 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 8)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5.08	1.69	3.01	0.004	
x13	0.8608	0.0583	14.77	0.000	5.82
x14	-0.081	0.127	-0.64	0.527	27.42
x15	0.068	0.186	0.36	0.717	59.06
x21x21	-0.0690	0.0702	-0.98	0.330	12.66
x41x41	-0.281	0.197	-1.43	0.159	1133.95
x12x12	0.0176	0.0615	0.29	0.777	12.02
x22x22	-2.13	3.93	-0.54	0.589	6447.26

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13x13	-0.3187	0.0641	-4.97	0.000	15.84
x23x23	0.57	1.38	0.42	0.679	876.04
x43x43	-9.02	3.22	-2.80	0.007	37733.81
x14x14	0.0031	0.0454	0.07	0.945	2.96
x24x24	0.0415	0.0460	0.90	0.371	40.08
x34x34	0.028	0.396	0.07	0.943	1160.30
x44x44	-1.99	1.43	-1.39	0.170	9446.34
x15x15	0.0469	0.0732	0.64	0.524	16.73
x25x25	0.02	1.47	0.02	0.987	1293.79
x45x45	5.94	2.65	2.24	0.029	32750.65
x21x12	0.0224	0.0674	0.33	0.741	9.69
x21x22	-0.74	1.33	-0.55	0.582	1454.69
x21x42	3.0	11.2	0.27	0.790	171217.95
x21x13	-0.038	0.124	-0.30	0.763	24.71
x21x23	0.069	0.419	0.16	0.871	143.86
x21x14	-0.0628	0.0903	-0.70	0.490	14.83
x21x24	-0.099	0.110	-0.90	0.370	8.90
x21x34	-0.10	1.04	-0.09	0.927	1711.34
x21x15	-0.0397	0.0759	-0.52	0.603	9.52
x21x25	0.47	1.17	0.40	0.688	839.30
x21x35	-4.2	11.1	-0.38	0.707	181652.08
x31x12	0.592	0.399	1.49	0.143	258.10
x31x42	-67.9	24.4	-2.78	0.007	340856.41
x31x13	0.528	0.274	1.93	0.059	180.59
x31x33	-0.034	0.603	-0.06	0.956	1598.41
x31x14	-0.096	0.304	-0.31	0.754	126.85
x31x44	-4.60	6.86	-0.67	0.505	26471.18
x31x15	-0.206	0.335	-0.61	0.541	167.94

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x25	-0.239	0.793	-0.30	0.765	1138.21
x31x45	73.5	26.7	2.75	0.008	402434.45
x41x12	-0.124	0.275	-0.45	0.654	60.92
x41x42	-0.45	1.34	-0.34	0.737	8879.81
x41x13	0.334	0.214	1.56	0.124	87.35
x41x33	-0.18	4.53	-0.04	0.969	10079.78
x41x14	0.431	0.251	1.71	0.092	102.04
x41x44	2.019	0.686	2.94	0.005	2444.65
x41x15	0.003	0.550	0.01	0.996	359.73
x41x25	1.56	8.05	0.19	0.847	141954.21
x41x35	8.5	25.3	0.34	0.738	318205.12
x41x45	1.997	0.817	2.44	0.018	3694.53
x12x22	0.063	0.665	0.10	0.924	742.08
x12x13	0.0166	0.0513	0.32	0.747	4.30
x12x23	-0.519	0.266	-1.95	0.057	122.25
x12x33	0.717	0.587	1.22	0.227	820.42
x12x43	10.83	1.94	5.58	0.000	4156.04
x12x14	-0.0200	0.0457	-0.44	0.663	3.56
x12x24	-0.0425	0.0556	-0.76	0.448	8.16
x12x34	0.687	0.542	1.27	0.210	643.94
x12x44	-2.534	0.649	-3.90	0.000	475.93
x12x15	-0.0974	0.0653	-1.49	0.142	7.44
x12x25	1.090	0.614	1.78	0.081	595.19
x12x45	-8.03	1.93	-4.16	0.000	4099.06
x22x32	-37.7	14.1	-2.66	0.010	396514.45
x22x42	27.77	9.38	2.96	0.005	155604.37
x22x13	-0.220	0.675	-0.33	0.746	1003.30
x22x23	0.76	3.76	0.20	0.842	6037.76

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x22x14	-0.465	0.568	-0.82	0.416	542.04
x22x24	0.39	1.37	0.28	0.780	1486.20
x22x15	-0.131	0.714	-0.18	0.855	898.92
x22x25	0.35	4.16	0.08	0.934	8407.46
x32x42	-11.3	18.7	-0.61	0.547	211647.28
x32x23	42.4	14.5	2.92	0.005	413142.49
x32x14	-1.73	1.61	-1.07	0.288	4141.59
x32x24	1.43	2.43	0.59	0.559	5559.07
x32x15	-0.41	1.08	-0.39	0.701	2788.67
x42x13	0.016	0.951	0.02	0.986	2250.64
x42x14	-3.82	1.51	-2.53	0.014	3735.82
x42x15	-7.46	1.55	-4.82	0.000	2964.90
x13x23	0.018	0.403	0.04	0.964	354.57
x13x43	-0.572	0.971	-0.59	0.558	2246.40
x13x14	-0.0584	0.0839	-0.70	0.489	10.96
x13x24	0.0403	0.0669	0.60	0.550	6.07
x13x34	0.141	0.168	0.84	0.407	78.24
x13x44	-0.987	0.665	-1.48	0.144	1103.23
x13x15	0.130	0.107	1.21	0.230	18.92
x13x25	0.360	0.538	0.67	0.506	667.91
x13x45	1.96	1.01	1.95	0.056	2208.56
x23x43	-32.3	11.0	-2.93	0.005	212027.16
x23x14	0.146	0.254	0.57	0.569	105.73
x23x24	-0.222	0.301	-0.74	0.465	82.38
x23x44	-2.21	1.96	-1.13	0.263	6918.46
x33x14	0.532	0.819	0.65	0.519	1171.50
x33x34	-0.312	0.553	-0.56	0.575	1938.85
x33x15	-0.216	0.536	-0.40	0.688	655.62

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x43x14	0.622	0.976	0.64	0.526	1630.29
x43x15	12.36	3.87	3.20	0.002	19379.73
x14x24	-0.0004	0.0663	-0.01	0.995	7.50
x14x34	-0.70	1.29	-0.54	0.591	2934.65
x14x44	0.680	0.730	0.93	0.355	844.88
x14x15	-0.0600	0.0562	-1.07	0.291	5.04
x14x25	-0.281	0.603	-0.47	0.643	604.10
x14x45	1.75	1.30	1.35	0.182	3185.29
x24x15	-0.0670	0.0643	-1.04	0.302	15.96
x24x25	0.645	0.974	0.66	0.511	694.84
x34x15	0.010	0.482	0.02	0.984	526.05
x44x15	0.044	0.864	0.05	0.960	908.78
x15x25	-0.84	1.03	-0.81	0.419	1873.70
x15x45	-5.48	2.21	-2.48	0.016	7678.51

ตารางที่ 47 ค่าดัชนีชี้วัดความเพือของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 9)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5.08	1.69	3.01	0.004	
x13	0.8608	0.0583	14.77	0.000	5.82
x14	-0.081	0.127	-0.64	0.527	27.42
x15	0.068	0.186	0.36	0.717	59.06
x21x21	-0.0690	0.0702	-0.98	0.330	12.66
x41x41	-0.281	0.197	-1.43	0.159	1133.95
x12x12	0.0176	0.0615	0.29	0.777	12.02
x22x22	-2.13	3.93	-0.54	0.589	6447.26
x13x13	-0.3187	0.0641	-4.97	0.000	15.84

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x23x23	0.57	1.38	0.42	0.679	876.04
x43x43	-9.02	3.22	-2.80	0.007	37733.81
x14x14	0.0031	0.0454	0.07	0.945	2.96
x24x24	0.0415	0.0460	0.90	0.371	40.08
x34x34	0.028	0.396	0.07	0.943	1160.30
x44x44	-1.99	1.43	-1.39	0.170	9446.34
x15x15	0.0469	0.0732	0.64	0.524	16.73
x25x25	0.02	1.47	0.02	0.987	1293.79
x45x45	5.94	2.65	2.24	0.029	2750.65
x21x12	0.0224	0.0674	0.33	0.741	9.69
x21x22	-0.74	1.33	-0.55	0.582	1454.69
x21x42	-34.4	14.1	-2.43	0.018	605.24
x21x13	-0.038	0.124	-0.30	0.763	24.71
x21x23	0.069	0.419	0.16	0.871	143.86
x21x14	-0.0628	0.0903	-0.70	0.490	14.83
x21x24	-0.099	0.110	-0.90	0.370	8.90
x21x34	-0.10	1.04	-0.09	0.927	1711.34
x21x15	-0.0397	0.0759	-0.52	0.603	9.52
x21x25	0.47	1.17	0.40	0.688	839.30
x21x35	38.1	15.8	2.40	0.020	558.73
x31x12	0.592	0.399	1.49	0.143	258.10
x31x42	0.2	18.8	0.01	0.992	742.45
x31x13	0.528	0.274	1.93	0.059	180.59
x31x33	-0.034	0.603	-0.06	0.956	1598.41
x31x14	-0.096	0.304	-0.31	0.754	126.85
x31x44	-0.2	19.1	-0.01	0.990	6017.56
x31x15	-0.206	0.335	-0.61	0.541	167.94
x31x25	-0.239	0.793	-0.30	0.765	1138.21

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x41x12	-0.124	0.275	-0.45	0.654	60.92
x41x42	-0.45	1.34	-0.34	0.737	8879.81
x41x13	0.334	0.214	1.56	0.124	87.35
x41x33	121.1	49.5	2.44	0.018	3490.77
x41x14	0.431	0.251	1.71	0.092	102.04
x41x44	2.019	0.686	2.94	0.005	2444.65
x41x15	0.003	0.550	0.01	0.996	359.73
x41x35	-106.4	47.1	-2.26	0.028	6003.11
x41x45	1.997	0.817	2.44	0.018	3694.53
x12x22	0.063	0.665	0.10	0.924	742.08
x12x13	0.0166	0.0513	0.32	0.747	4.30
x12x23	-0.519	0.266	-1.95	0.057	122.25
x12x33	0.717	0.587	1.22	0.227	820.42
x12x43	10.83	1.94	5.58	0.000	4156.04
x12x14	-0.0200	0.0457	-0.44	0.663	3.56
x12x24	-0.0425	0.0556	-0.76	0.448	8.16
x12x34	0.687	0.542	1.27	0.210	643.94
x12x44	-2.534	0.649	-3.90	0.000	475.93
x12x15	-0.0974	0.0653	-1.49	0.142	7.44
x12x25	1.090	0.614	1.78	0.081	595.19
x12x45	-8.03	1.93	-4.16	0.000	4099.06
x22x13	-0.220	0.675	-0.33	0.746	1003.30
x22x23	0.76	3.76	0.20	0.842	37.76
x22x33	-32.6	13.8	-2.36	0.022	787.59
x22x14	-0.465	0.568	-0.82	0.416	542.04
x22x24	0.39	1.37	0.28	0.780	86.20
x22x15	-0.131	0.714	-0.18	0.855	898.92
x22x25	0.35	4.16	0.08	0.934	8407.46

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x22x45	23.21	8.43	2.75	0.008	995.38
x32x14	-1.73	1.61	-1.07	0.288	4141.59
x32x24	1.43	2.43	0.59	0.559	5559.07
x32x44	-3.9	17.6	-0.22	0.825	4784.34
x32x15	-0.41	1.08	-0.39	0.701	2788.67
x32x25	1.35	6.93	0.19	0.847	5850.88
x42x13	0.016	0.951	0.02	0.986	2250.64
x42x23	37.5	12.9	2.92	0.005	8670.62
x42x33	-11.0	18.8	-0.59	0.560	212465.96
x42x14	-3.82	1.51	-2.53	0.014	3735.82
x42x15	-7.46	1.55	-4.82	0.000	2964.90
x13x23	0.018	0.403	0.04	0.964	354.57
x13x43	-0.572	0.971	-0.59	0.558	2246.40
x13x14	-0.0584	0.0839	-0.70	0.489	10.96
x13x24	0.0403	0.0669	0.60	0.550	6.07
x13x34	0.141	0.168	-0.84	0.407	78.24
x13x44	-0.987	0.665	-1.48	0.144	1103.23
x13x15	0.130	0.107	1.21	0.230	18.92
x13x25	0.360	0.538	0.67	0.506	667.91
x13x45	1.96	1.01	1.95	0.056	2208.56
x23x43	-32.3	11.0	-2.93	0.005	2027.16
x23x14	0.146	0.254	0.57	0.569	105.73
x23x24	-0.222	0.301	-0.74	0.465	82.38
x23x44	-2.21	1.96	-1.13	0.263	6918.46
x33x14	0.532	0.819	0.65	0.519	1171.50
x33x34	-0.312	0.553	-0.56	0.575	1938.85
x33x15	-0.216	0.536	-0.40	0.688	655.62
x43x14	0.622	0.976	0.64	0.526	1630.29

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x43x15	12.36	3.87	3.20	0.002	19379.73
x14x24	-0.0004	0.0663	-0.01	0.995	7.50
x14x34	-0.70	1.29	-0.54	0.591	2934.65
x14x44	0.680	0.730	0.93	0.355	844.88
x14x15	-0.0600	0.0562	-1.07	0.291	5.04
x14x25	-0.281	0.603	-0.47	0.643	604.10
x14x45	1.75	1.30	1.35	0.182	3185.29
x24x15	-0.0670	0.0643	-1.04	0.302	15.96
x24x25	0.645	0.974	0.66	0.511	694.84
x34x15	0.010	0.482	0.02	0.984	526.05
x44x15	0.044	0.864	0.05	0.960	908.78
x15x25	-0.84	1.03	-0.81	0.419	1873.70
x15x45	-5.48	2.21	-2.48	0.016	7678.51

ตารางที่ 48 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 10)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	7.09	1.31	5.42	0.000	
x13	0.8403	0.0579	14.52	0.000	5.29
x14	-0.059	0.112	-0.52	0.603	19.91
x15	0.088	0.138	0.64	0.526	30.05
x21x21	-0.0805	0.0707	-1.14	0.259	11.83
x41x41	0.034	0.151	0.22	0.823	618.09
x12x12	0.0077	0.0543	0.14	0.887	8.63
x13x13	-0.2957	0.0551	-5.37	0.000	10.78
x23x23	0.30	1.42	0.21	0.832	854.49
x14x14	-0.0135	0.0444	-0.30	0.762	2.61

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x24x24	0.0421	0.0473	0.89	0.377	39.09
x34x34	0.115	0.337	0.34	0.735	772.89
x44x44	-2.61	1.15	-2.26	0.027	5672.62
x15x15	0.0565	0.0736	0.77	0.446	15.59
x25x25	0.09	1.30	0.07	0.946	928.81
x21x12	0.0194	0.0677	0.29	0.776	9.00
x21x22	-0.264	0.863	-0.31	0.760	565.13
x21x13	-0.047	0.124	-0.38	0.708	22.62
x21x23	0.081	0.393	0.21	0.837	116.18
x21x14	-0.0938	0.0820	-1.14	0.257	11.28
x21x24	-0.070	0.102	-0.69	0.491	7.02
x21x15	-0.0341	0.0782	-0.44	0.664	9.30
x21x25	0.40	1.05	0.38	0.703	626.93
x31x12	0.555	0.312	1.78	0.080	145.42
x31x13	0.517	0.216	2.40	0.020	103.46
x31x33	-0.170	0.323	-0.53	0.601	421.68
x31x14	0.042	0.236	0.18	0.859	70.45
x31x15	-0.261	0.287	-0.91	0.367	113.68
x31x25	-0.336	0.457	-0.73	0.466	347.90
x41x12	-0.012	0.271	-0.04	0.965	54.82
x41x42	-2.503	0.816	-3.07	0.003	3039.93
x41x13	0.106	0.122	0.87	0.390	26.38
x41x14	0.602	0.229	2.63	0.011	78.14
x41x44	1.423	0.594	2.40	0.020	1687.54
x41x15	-0.408	0.476	-0.86	0.394	247.78
x41x45	0.989	0.524	1.89	0.064	1396.95
x12x22	0.437	0.584	0.75	0.457	527.11
x12x13	0.0278	0.0493	0.56	0.574	3.66

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x23	-0.467	0.265	-1.76	0.083	111.51
x12x33	0.519	0.424	1.23	0.225	394.00
x12x43	6.79	1.12	6.03	0.000	1284.56
x12x14	-0.0301	0.0464	-0.65	0.519	3.39
x12x24	-0.0341	0.0556	-0.61	0.541	7.50
x12x34	0.210	0.367	0.57	0.569	272.74
x12x44	-1.590	0.537	-2.96	0.004	300.09
x12x15	-0.1041	0.0583	-1.79	0.079	5.46
x12x25	0.987	0.628	1.57	0.121	573.91
x12x45	-4.539	0.976	-4.65	0.000	964.49
x22x13	-0.101	0.662	-0.15	0.879	889.39
x22x23	-0.40	1.85	-0.22	0.830	1342.46
x22x14	-0.458	0.555	-0.83	0.412	477.47
x22x24	0.33	1.25	0.27	0.790	1128.77
x22x15	-0.240	0.632	-0.38	0.705	650.06
x22x25	1.41	3.09	0.46	0.650	4262.34
x22x45	1.67	4.47	0.37	0.709	33088.94
x32x14	-0.69	1.42	-0.49	0.628	2958.91
x32x15	-0.24	1.02	-0.24	0.812	2321.47
x32x25	1.75	1.23	1.43	0.158	2765.11
x42x13	0.368	0.937	0.39	0.696	2014.31
x42x14	-2.28	1.05	-2.17	0.034	1670.38
x42x24	-3.74	5.94	-0.63	0.532	30144.97
x42x15	-4.795	0.985	-4.87	0.000	1104.67
x42x25	2.49	3.27	0.76	0.448	17465.54
x42x35	3.29	3.83	0.86	0.393	8189.19
x13x23	-0.136	0.401	-0.34	0.736	322.75
x13x43	0.770	0.908	0.85	0.400	1810.51

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13x14	-0.0549	0.0699	-0.79	0.435	7.02
x13x24	0.0314	0.0687	0.46	0.649	5.90
x13x34	0.237	0.161	1.47	0.148	66.21
x13x44	-1.259	0.597	-2.11	0.039	818.04
x13x15	0.086	0.102	0.85	0.400	15.63
x13x25	0.311	0.501	0.62	0.538	534.37
x13x45	0.550	0.659	0.84	0.407	871.37
x23x14	0.122	0.257	0.47	0.638	99.90
x23x24	-0.218	0.308	-0.71	0.482	79.14
x23x44	0.34	3.42	0.10	0.920	19430.36
x33x34	0.065	0.499	0.13	0.897	1454.63
x33x44	-16.4	12.0	-1.37	0.177	78578.65
x33x15	-0.220	0.328	-0.67	0.504	226.44
x33x25	3.46	2.11	1.64	0.106	8260.98
x33x45	5.6	12.8	0.44	0.664	88995.20
x43x14	0.746	0.889	0.84	0.405	1245.05
x43x24	-0.33	2.18	-0.15	0.881	4076.08
x43x34	0.27	2.04	0.13	0.895	2160.16
x43x15	4.89	1.26	3.87	0.000	1902.72
x14x24	-0.0058	0.0673	-0.09	0.931	7.12
x14x34	-0.06	1.19	-0.05	0.957	2277.90
x14x44	0.387	0.517	0.75	0.457	390.77
x14x15	-0.0495	0.0544	-0.91	0.366	4.34
x14x25	-0.349	0.609	-0.57	0.569	568.22
x14x45	0.008	0.717	0.01	0.991	896.36
x24x44	5.56	5.86	0.95	0.346	29364.54
x24x15	-0.0627	0.0661	-0.95	0.346	15.53
x24x25	0.760	0.981	0.78	0.441	649.42

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x34x15	0.241	0.460	0.52	0.603	440.81
x44x15	0.270	0.674	0.40	0.690	509.06
x44x25	-4.05	3.39	-1.20	0.237	19443.53
x15x25	-0.801	0.981	-0.82	0.417	1558.44
x15x45	-0.491	0.598	-0.82	0.414	516.79

ตารางที่ 49 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 11)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	4.298	0.496	8.66	0.000	
x13	0.8107	0.0653	12.42	0.000	4.46
x14	-0.060	0.113	-0.53	0.595	13.34
x15	-0.003	0.140	-0.02	0.982	20.43
x21x21	-0.0515	0.0844	-0.61	0.544	11.18
x41x41	0.066	0.147	0.45	0.656	6.08
x12x12	0.0400	0.0589	0.68	0.499	6.73
x13x13	-0.1876	0.0539	-3.48	0.001	6.83
x23x23	-0.029	0.509	-0.06	0.955	72.94
x14x14	-0.0137	0.0523	-0.26	0.794	2.40
x24x24	0.0156	0.0480	0.32	0.747	26.68
x34x34	0.189	0.299	0.63	0.530	44.82
x44x44	0.790	0.269	2.93	0.005	20.63
x15x15	0.0456	0.0847	0.54	0.592	13.69
x25x25	1.079	0.408	2.64	0.010	60.76
x21x12	-0.0013	0.0805	-0.02	0.987	8.44
x21x22	0.167	0.492	0.34	0.736	121.51
x21x13	-0.129	0.138	-0.94	0.350	18.53

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x21x23	0.163	0.454	0.36	0.721	102.86
x21x14	-0.0794	0.0892	-0.89	0.376	8.84
x21x24	-0.081	0.116	-0.69	0.490	6.09
x21x15	-0.0291	0.0929	-0.31	0.755	8.70
x21x25	-0.210	0.483	-0.43	0.666	88.25
x31x12	0.062	0.347	0.18	0.860	119.62
x31x13	0.198	0.243	0.82	0.418	86.79
x31x33	0.025	0.356	0.07	0.943	340.60
x31x14	0.176	0.276	0.64	0.526	63.62
x31x15	0.043	0.329	0.13	0.896	99.04
x31x25	0.060	0.485	0.12	0.901	260.33
x41x12	0.961	0.251	3.84	0.000	31.00
x41x13	-0.045	0.105	-0.43	0.672	12.96
x41x14	0.218	0.185	1.18	0.242	33.82
x41x44	0.810	0.522	1.55	0.125	85.66
x41x15	-0.474	0.409	-1.16	0.251	12.70
x41x45	-0.733	0.353	-2.08	0.041	42.94
x12x22	-0.171	0.608	-0.28	0.780	379.37
x12x13	-0.0354	0.0586	-0.60	0.548	3.43
x12x23	-0.444	0.318	-1.40	0.167	10.68
x12x33	0.066	0.488	0.13	0.893	34.99
x12x14	-0.0438	0.0530	-0.83	0.411	2.93
x12x24	-0.0518	0.0652	-0.79	0.430	6.85
x12x34	0.461	0.419	1.10	0.275	25.48
x12x44	-1.302	0.505	-2.58	0.012	175.78
x12x15	-0.1209	0.0690	-1.75	0.084	5.07
x12x25	0.131	0.641	0.20	0.838	396.79
x12x45	0.137	0.618	0.22	0.825	26.25

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x22x13	-0.234	0.753	-0.31	0.757	76.61
x22x23	0.054	0.785	0.07	0.945	16.64
x22x14	-0.666	0.588	-1.13	0.261	35.02
x22x24	-1.460	0.923	-1.58	0.118	40.13
x22x15	0.050	0.699	0.07	0.943	56.42
x32x14	-1.45	1.44	-1.01	0.316	20.68
x32x15	-0.56	1.02	-0.54	0.589	15.70
x32x25	0.71	1.05	0.67	0.504	13.25
x42x13	1.648	0.990	1.66	0.100	10.55
x42x14	-1.021	0.819	-1.25	0.217	2.64
x42x15	-4.536	0.890	-5.10	0.000	597.98
x42x25	2.403	0.668	3.60	0.001	485.08
x13x23	0.111	0.474	0.23	0.816	299.57
x13x43	1.264	0.782	1.62	0.110	89.21
x13x14	0.0355	0.0719	0.49	0.623	4.93
x13x24	0.0261	0.0770	0.34	0.736	4.92
x13x34	-0.029	0.185	-0.16	0.877	57.89
x13x44	-2.044	0.365	-5.60	0.000	203.18
x13x15	0.174	0.115	1.51	0.136	13.31
x13x25	0.237	0.494	0.48	0.633	43.99
x13x45	-0.450	0.695	-0.65	0.519	43.14
x23x14	0.011	0.305	0.04	0.970	92.99
x23x24	-0.177	0.372	-0.48	0.635	76.69
x33x34	-0.754	0.550	-1.37	0.174	73.24
x33x15	-0.082	0.341	-0.24	0.812	62.73
x33x25	0.768	0.933	0.82	0.413	72.48
x43x14	2.317	0.845	2.74	0.008	45.78
x43x15	2.33	1.03	2.26	0.027	46.72

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x14x24	-0.0294	0.0774	-0.38	0.705	6.25
x14x34	-0.13	1.19	-0.11	0.915	26.80
x14x44	-0.388	0.317	-1.22	0.225	97.23
x14x15	0.0151	0.0635	0.24	0.813	3.92
x14x25	-0.892	0.446	-2.00	0.049	20.66
x14x45	-2.539	0.569	-4.46	0.000	34.79
x24x15	-0.0069	0.0773	-0.09	0.930	14.07
x24x25	1.668	0.842	1.98	0.051	17.12
x34x15	0.083	0.499	0.17	0.869	45.15
x34x25	-1.183	0.749	-1.58	0.119	6.80
x44x15	0.910	0.419	2.17	0.033	30.89
x44x35	1.95	1.72	1.13	0.261	84.49
x15x25	-0.974	0.690	-1.41	0.162	9.81
x15x45	1.086	0.552	1.97	0.053	2.19
x35x45	-1.55	1.37	-1.13	0.261	6.97

ตารางที่ 50 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 12)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	4.355	0.436	9.98	0.000	
x13	0.8425	0.0633	13.31	0.000	4.03
x14	-0.0593	0.0559	-1.06	0.292	3.14
x15	-0.090	0.125	-0.72	0.475	5.62
x21x21	-0.0682	0.0849	-0.80	0.424	1.87
x41x41	0.210	0.118	1.77	0.080	4.45
x12x12	0.0346	0.0576	0.60	0.550	6.17
x13x13	-0.1985	0.0523	-3.80	0.000	6.18

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x23x23	-0.034	0.509	-0.07	0.947	9.89
x14x14	-0.0186	0.0530	-0.35	0.727	2.37
x24x24	0.0003	0.0484	0.01	0.995	6.05
x34x34	0.1808	0.0870	2.08	0.041	2.85
x44x44	0.616	0.145	4.24	0.000	7.13
x15x15	0.0386	0.0845	0.46	0.650	3.09
x25x25	1.062	0.363	2.93	0.005	6.19
x21x12	0.0257	0.0811	0.32	0.752	8.22
x21x22	0.296	0.464	0.64	0.525	4.08
x21x13	-0.065	0.134	-0.49	0.628	6.78
x21x23	0.176	0.462	0.38	0.705	2.51
x21x14	-0.0853	0.0903	-0.94	0.348	8.71
x21x24	-0.094	0.118	-0.80	0.428	6.02
x21x15	-0.0360	0.0935	-0.38	0.701	8.46
x21x25	-0.320	0.442	-0.72	0.471	7.75
x31x12	0.096	0.299	0.32	0.749	8.06
x31x13	0.243	0.219	1.11	0.272	6.02
x31x33	0.345	0.144	2.40	0.019	5.49
x31x14	-0.099	0.181	-0.55	0.585	6.25
x31x15	-0.126	0.209	-0.60	0.549	8.46
x31x25	0.471	0.247	1.91	0.060	4.64
x41x12	1.014	0.234	4.33	0.000	5.98
x41x13	-0.1228	0.0985	-1.25	0.216	1.89
x41x14	0.338	0.163	2.08	0.041	5.05
x41x44	0.469	0.461	1.02	0.313	6.90
x41x15	-0.830	0.336	-2.47	0.016	8.65
x41x45	-0.625	0.309	-2.02	0.047	9.89
x12x22	0.167	0.605	0.28	0.783	6.44

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x13	-0.0058	0.0574	-0.10	0.920	3.16
x12x23	-0.578	0.317	-1.82	0.072	1.82
x12x33	0.194	0.409	0.47	0.637	3.41
x12x14	-0.0364	0.0516	-0.70	0.483	2.67
x12x24	-0.0544	0.0661	-0.82	0.413	6.75
x12x34	0.291	0.212	1.37	0.174	7.89
x12x44	-0.510	0.297	-1.72	0.090	8.37
x12x15	-0.1321	0.0682	-1.94	0.056	4.76
x12x25	0.339	0.594	0.57	0.569	7.15
x12x45	-0.323	0.368	-0.88	0.383	7.47
x22x13	-0.095	0.757	-0.12	0.901	7.06
x22x23	0.066	0.777	0.09	0.932	1.06
x22x14	0.113	0.451	0.25	0.803	2.16
x22x24	-0.732	0.877	-0.83	0.407	5.91
x22x15	-0.039	0.689	-0.06	0.955	4.62
x32x15	-0.062	0.620	-0.10	0.921	4.52
x32x25	1.667	0.600	2.78	0.007	4.56
x42x14	-0.940	0.734	-1.28	0.204	8.91
x42x15	-3.841	0.756	-5.08	0.000	4.79
x42x25	2.226	0.650	3.42	0.001	4.03
x13x23	-0.031	0.472	-0.07	0.947	5.67
x13x43	1.619	0.521	3.11	0.003	9.10
x13x14	-0.0301	0.0595	-0.51	0.614	3.24
x13x24	0.0090	0.0779	0.12	0.908	4.84
x13x34	0.1156	0.0954	1.21	0.229	1.75
x13x44	-1.601	0.236	-6.78	0.000	1.60
x13x15	0.072	0.101	0.71	0.480	9.83
x13x25	0.052	0.475	0.11	0.913	5.60

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13x45	0.381	0.467	0.82	0.417	8.34
x23x14	0.092	0.299	0.31	0.759	5.57
x23x24	-0.166	0.377	-0.44	0.661	7.69
x33x15	-0.285	0.280	-1.02	0.311	5.00
x43x14	2.583	0.687	3.76	0.000	7.36
x43x15	1.935	0.903	2.14	0.035	6.44
x14x24	0.0148	0.0752	0.20	0.844	5.67
x14x44	-0.110	0.216	-0.51	0.612	4.46
x14x15	-0.0273	0.0604	-0.45	0.653	3.42
x14x25	-0.288	0.347	-0.83	0.409	7.36
x14x45	-2.003	0.390	-5.13	0.000	9.15
x24x15	0.0062	0.0777	0.08	0.937	1.68
x24x25	0.973	0.791	1.23	0.222	8.56
x34x15	0.175	0.174	1.01	0.318	4.05
x34x25	0.027	0.285	0.09	0.926	5.28
x44x15	0.461	0.235	1.96	0.053	9.40
x15x25	-0.740	0.682	-1.08	0.282	9.40
x15x45	1.491	0.485	3.07	0.003	7.01
x35x45	-0.230	0.509	-0.45	0.652	9.20

ตารางที่ 51 ค่าดัชนีชี้วัดความเพือของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_3 (ครั้งที่ 1)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	145	210	0.69	0.493	
x31	-3375	1070	-3.15	0.003	57511043.47
x12	12.59	7.84	1.61	0.115	3084.29
x22	451	179	2.52	0.015	1610886.20
x32	1779	1047	1.70	0.096	54996816.56

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13	1.778	0.955	1.86	0.069	45.82
x23	-2.3	20.6	-0.11	0.913	21338.74
x33	1222	499	2.45	0.018	12513163.00
x14	6.65	8.34	0.80	0.429	3490.51
x24	-3.12	7.14	-0.44	0.664	2555.77
x34	-821	359	-2.29	0.027	6472046.81
x15	14.80	6.56	2.26	0.029	2157.95
x25	27.7	33.0	0.84	0.405	54679.47
x21x21	-0.691	0.424	-1.63	0.110	13.51
x31x31	9.41	4.28	2.20	0.033	11550.50
x41x41	7.38	7.93	0.93	0.357	53989.14
x12x12	-0.337	0.373	-0.90	0.372	12.95
x22x22	22.2	26.7	0.83	0.410	8714.14
x13x13	-0.604	0.417	-1.45	0.154	19.60
x23x23	1.83	8.32	0.22	0.827	933.18
x33x33	-145.7	64.9	-2.25	0.030	771798.20
x14x14	0.107	0.286	0.37	0.710	3.45
x24x24	-0.282	0.284	-0.99	0.327	44.93
x34x34	-29.5	13.4	-2.19	0.033	39103.84
x15x15	0.833	0.439	1.90	0.064	17.61
x25x25	-5.66	9.05	-0.63	0.535	1431.91
x35x35	404	330	1.22	0.228	17111506.03
x21x31	-2670	787	-3.39	0.001	28275622.55
x21x41	488	365	1.34	0.188	6170718.58
x21x12	0.656	0.410	1.60	0.117	10.50
x21x22	12.54	8.08	1.55	0.128	1574.72
x21x42	-2458	2605	-0.94	0.350	2.69450E+08
x21x13	-1.100	0.742	-1.48	0.145	25.84

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x21x23	2.37	2.55	0.93	0.357	155.18
x21x43	1263	1396	0.90	0.370	77277497.03
x21x14	-1.678	0.546	-3.07	0.004	15.89
x21x24	-0.481	0.695	-0.69	0.492	10.44
x21x44	466	551	0.85	0.402	12397465.77
x21x15	1.062	0.459	2.31	0.025	10.19
x21x25	6.08	6.91	0.88	0.384	865.63
x21x35	2323	685	3.39	0.001	20202848.17
x21x45	452	535	0.84	0.403	11512780.79
x31x12	-71.0	26.1	-2.72	0.009	32368.82
x31x22	1168	435	2.68	0.010	11172459.51
x31x32	103.1	51.9	1.99	0.053	347168.90
x31x13	-31.2	11.3	-2.76	0.008	8978.58
x31x33	10.9	21.3	0.51	0.611	58217.67
x31x14	18.78	8.13	2.31	0.025	2648.97
x31x34	98.0	44.2	2.22	0.032	300863.59
x31x44	277	393	0.70	0.486	2552706.80
x31x15	80.0	27.8	2.88	0.006	33958.12
x31x35	966	346	2.79	0.008	15184271.79
x41x12	16.4	16.1	1.02	0.314	6132.31
x41x42	180	147	1.22	0.228	3149485.90
x41x13	6.05	2.50	2.42	0.020	349.45
x41x43	80.9	64.5	1.25	0.217	609196.58
x41x14	-7.42	9.56	-0.78	0.442	4322.81
x41x44	14.2	15.1	0.94	0.351	34494.65
x41x15	-31.4	26.3	-1.19	0.239	24054.04
x41x45	-44.8	61.1	-0.73	0.467	604519.73
x12x22	-0.23	4.48	-0.05	0.959	987.33

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x32	18.5	34.8	0.53	0.597	75113.23
x12x42	-56.2	21.8	-2.57	0.013	15817.63
x12x13	0.184	0.374	0.49	0.625	6.71
x12x23	-0.83	1.59	-0.52	0.602	127.20
x12x33	-29.9	25.9	-1.15	0.255	46918.08
x12x43	31.7	21.8	1.45	0.154	15375.55
x12x14	0.084	0.272	0.31	0.759	3.69
x12x24	0.241	0.335	0.72	0.474	8.64
x12x34	78.2	30.1	2.60	0.013	58142.27
x12x44	-78.8	89.0	-0.89	0.380	261752.71
x12x15	-0.081	0.417	-0.20	0.846	8.90
x12x25	0.02	4.60	0.00	0.997	979.45
x12x35	155.9	53.8	2.90	0.006	174547.54
x12x45	102	105	0.97	0.338	356784.53
x22x13	-13.85	8.44	-1.64	0.108	4597.03
x22x23	-4.9	24.7	-0.20	0.843	7632.26
x22x14	1.37	3.51	0.39	0.697	604.85
x22x24	5.73	9.81	0.58	0.562	2224.02
x22x15	-0.96	4.83	-0.20	0.843	1207.18
x22x25	-23.2	48.1	-0.48	0.632	32858.51
x32x13	22.7	13.6	1.66	0.103	17233.56
x32x33	-263.2	94.4	-2.79	0.008	1412275.15
x32x14	-5.39	5.46	-0.99	0.328	1387.64
x32x34	241	108	2.24	0.030	2120532.29
x32x15	-46.7	17.8	-2.62	0.012	22419.88
x32x35	-261	563	-0.46	0.645	49487593.42
x42x13	-9.00	6.50	-1.38	0.173	3084.32
x42x14	176	185	0.95	0.346	1640983.40

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x42x44	-312	295	-1.06	0.297	9915550.92
x42x15	364	369	0.99	0.329	4936746.82
x42x45	-1093	1169	-0.94	0.355	1.44466E+08
x13x23	0.17	2.43	0.07	0.944	378.22
x13x43	-79.6	65.6	-1.21	0.231	300552.15
x13x14	-0.496	0.549	-0.90	0.372	13.76
x13x24	0.016	0.402	0.04	0.968	6.42
x13x44	34.8	31.4	1.11	0.273	71961.97
x13x15	0.074	0.687	0.11	0.915	22.66
x13x25	1.13	3.52	0.32	0.749	839.96
x13x45	39.8	35.6	1.12	0.268	80734.58
x23x14	-0.04	1.53	-0.03	0.979	111.47
x23x24	2.04	1.80	1.13	0.263	85.81
x43x14	-81.0	88.7	-0.91	0.366	394158.14
x43x15	-173	180	-0.96	0.341	1227419.77
x43x45	766	859	0.89	0.377	80618232.87
x14x24	-0.101	0.429	-0.24	0.814	9.19
x14x44	-12.5	16.3	-0.77	0.445	12316.76
x14x15	-0.007	0.336	-0.02	0.983	5.26
x14x25	-0.40	3.89	-0.10	0.918	737.64
x14x45	-94.3	90.1	-1.05	0.301	450750.24
x24x15	0.179	0.382	0.47	0.641	16.45
x24x25	-1.82	5.86	-0.31	0.757	736.65
x44x15	-152	162	-0.94	0.353	935934.31
x44x45	604	640	0.94	0.350	42581916.91
x15x25	5.35	6.46	0.83	0.412	2144.48

ตารางที่ 52 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y3 (ครั้งที่ 2)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-439	343	-1.28	0.206	
x12	9.69	3.29	2.94	0.005	544.61
x22	-119.1	58.3	-2.04	0.047	170777.58
x32	-1216	1380	-0.88	0.383	95603837.95
x13	-0.786	0.586	-1.34	0.187	17.24
x23	-2.3	20.6	-0.11	0.913	21338.74
x14	3.98	2.19	1.82	0.076	241.26
x24	-3.12	7.14	-0.44	0.664	2555.77
x34	140	169	0.83	0.412	1436077.21
x15	-0.48	1.73	-0.28	0.781	150.88
x25	27.7	33.0	0.84	0.405	54679.47
x21x21	-0.691	0.424	-1.63	0.110	13.51
x31x31	3.07	4.47	0.69	0.495	12543.66
x41x41	1.77	2.08	0.85	0.401	3731.79
x12x12	-0.337	0.373	-0.90	0.372	12.95
x22x22	22.2	26.7	0.83	0.410	8714.14
x13x13	-0.604	0.417	-1.45	0.154	19.60
x23x23	1.83	8.32	0.22	0.827	933.18
x33x33	22.2	36.2	0.61	0.542	240646.59
x14x14	0.107	0.286	0.37	0.710	3.45
x24x24	-0.282	0.284	-0.99	0.327	44.93
x34x34	-7.28	7.52	-0.97	0.338	12246.80
x15x15	0.833	0.439	1.90	0.064	17.61
x25x25	-5.66	9.05	-0.63	0.535	1431.91
x35x35	80.8	80.4	1.00	0.320	1012985.47
x21x31	373	563	0.66	0.511	14478039.87

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x21x41	178	442	0.40	0.689	9047877.12
x21x12	0.656	0.410	1.60	0.117	10.50
x21x22	12.54	8.08	1.55	0.128	1574.72
x21x32	-812	1210	-0.67	0.505	63145072.70
x21x13	-1.100	0.742	-1.48	0.145	25.84
x21x23	2.37	2.55	0.93	0.357	155.18
x21x33	105	271	0.39	0.701	3186369.24
x21x43	131	256	0.51	0.611	2605078.97
x21x14	-1.678	0.546	-3.07	0.004	15.89
x21x24	-0.481	0.695	-0.69	0.492	10.44
x21x44	-131	147	-0.89	0.377	886401.14
x21x15	1.062	0.459	2.31	0.025	10.19
x21x25	6.08	6.91	0.88	0.384	865.63
x21x45	229	318	0.72	0.475	4063863.16
x31x12	17.75	8.01	2.22	0.032	3052.62
x31x22	-257.1	77.2	-3.33	0.002	351210.61
x31x32	-24.5	33.9	-0.72	0.474	148304.35
x31x42	-835	946	-0.88	0.382	15028296.49
x31x13	12.06	6.41	1.88	0.066	2899.69
x31x33	-84.9	27.6	-3.07	0.004	98357.29
x31x14	-16.33	5.67	-2.88	0.006	1291.18
x31x34	92.7	33.7	2.75	0.009	175099.69
x31x44	-233	230	-1.01	0.316	868717.18
x31x15	-27.4	12.0	-2.28	0.028	6373.39
x41x12	6.00	5.25	1.14	0.259	653.45
x41x42	78.0	42.3	1.84	0.072	259102.08
x41x13	4.04	1.35	3.00	0.004	101.73
x41x43	58.3	42.6	1.37	0.177	264800.52

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x41x14	1.80	1.29	1.39	0.172	79.38
x41x44	5.07	8.54	0.59	0.555	11079.98
x41x15	-16.6	11.1	-1.49	0.142	4321.05
x41x35	228	997	0.23	0.820	14506228.18
x41x45	0.4	14.4	0.02	0.980	33790.79
x12x22	-0.23	4.48	-0.05	0.959	987.33
x12x32	112.6	42.7	2.64	0.011	113343.45
x12x42	-66.4	31.0	-2.14	0.038	31945.79
x12x13	0.184	0.374	0.49	0.625	6.71
x12x23	-0.83	1.59	-0.52	0.602	127.20
x12x33	22.9	12.6	1.82	0.075	11016.06
x12x43	19.0	25.5	0.74	0.460	20960.94
x12x14	0.084	0.272	0.31	0.759	3.69
x12x24	0.241	0.335	0.72	0.474	8.64
x12x34	105.2	34.5	3.05	0.004	76368.99
x12x44	3.7	11.0	0.33	0.740	4024.11
x12x15	-0.081	0.417	-0.20	0.846	8.90
x12x25	0.02	4.60	0.00	0.997	979.45
x12x35	-42.7	24.3	-1.75	0.086	35726.48
x12x45	42.0	42.3	0.99	0.326	57462.69
x22x13	-13.85	8.44	-1.64	0.108	4597.03
x22x23	-4.9	24.7	-0.20	0.843	7632.26
x22x14	1.37	3.51	0.39	0.697	604.85
x22x24	5.73	9.81	0.58	0.562	2224.02
x22x15	-0.96	4.83	-0.20	0.843	1207.18
x22x25	-23.2	48.1	-0.48	0.632	32858.51
x32x13	-85.1	30.3	-2.80	0.007	85301.56
x32x33	65.8	69.6	0.95	0.349	767612.00

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x32x14	7.05	5.06	1.39	0.171	1193.15
x32x34	-167.5	79.7	-2.10	0.041	1154698.92
x32x15	24.72	9.92	2.49	0.016	6950.45
x42x13	-7.47	6.46	-1.16	0.253	3038.42
x42x14	34.6	35.0	0.99	0.328	58705.07
x42x44	-214	197	-1.09	0.282	4393531.91
x42x15	42.8	32.4	1.32	0.193	37953.00
x13x23	0.17	2.43	0.07	0.944	378.22
x13x33	82.6	29.2	2.83	0.007	79156.71
x13x43	-19.27	7.44	-2.59	0.013	3868.36
x13x14	-0.496	0.549	-0.90	0.372	13.76
x13x24	0.016	0.402	0.04	0.968	6.42
x13x34	20.28	7.45	2.72	0.009	4493.12
x13x44	5.57	4.51	1.24	0.223	1487.53
x13x15	0.074	0.687	0.11	0.915	22.66
x13x25	1.13	3.52	0.32	0.749	839.96
x13x45	7.04	5.74	1.23	0.227	2107.31
x23x14	-0.04	1.53	-0.03	0.979	111.47
x23x24	2.04	1.80	1.13	0.263	85.81
x43x14	2.19	5.19	0.42	0.675	1350.63
x43x15	-15.8	22.5	-0.70	0.485	19210.90
x43x45	38	125	0.31	0.761	1701117.63
x14x24	-0.101	0.429	-0.24	0.814	9.19
x14x44	-3.55	7.00	-0.51	0.615	2280.33
x14x15	-0.007	0.336	-0.02	0.983	5.26
x14x25	-0.40	3.89	-0.10	0.918	737.64
x14x45	-39.7	32.9	-1.21	0.234	60219.52
x24x15	0.179	0.382	0.47	0.641	16.45

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x24x25	-1.82	5.86	-0.31	0.757	736.65
x44x15	-21.9	24.3	-0.90	0.371	21003.28
x44x45	87.8	94.5	0.93	0.357	928419.57
x15x25	5.35	6.46	0.83	0.412	2144.48
x15x45	16.8	18.0	0.94	0.355	14906.13
x14x24	-0.101	0.429	-0.24	0.814	9.19
x14x44	-12.5	16.3	-0.77	0.445	12316.76
x14x15	-0.007	0.336	-0.02	0.983	5.26
x14x25	-0.40	3.89	-0.10	0.918	737.64
x14x45	-94.3	90.1	-1.05	0.301	450750.24
x24x15	0.179	0.382	0.47	0.641	16.45
x24x25	-1.82	5.86	-0.31	0.757	736.65

ตารางที่ 53 ค่าดัชนีชี้วัดความเอนกของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_3 (ครั้งที่ 3)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-58	114	-0.51	0.614	
x12	7.88	2.80	2.81	0.007	382.92
x22	-102	151	-0.68	0.501	11687.69
x13	-0.426	0.477	-0.89	0.376	11.09
x23	-4.1	20.6	-0.20	0.844	804.64
x14	6.08	1.19	5.10	0.000	69.25
x24	-2.21	7.06	-0.31	0.755	2433.87
x34	-382	144	-2.65	0.011	799.81
x15	-1.28	1.45	-0.88	0.381	102.93
x25	11.1	29.3	0.38	0.708	27.79

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x21x21	-0.605	0.427	-1.42	0.163	13.33
x31x31	4.12	4.45	0.93	0.359	126.64
x41x41	-0.14	1.20	-0.12	0.905	1205.05
x12x12	-0.338	0.377	-0.90	0.374	12.84
x22x22	22.0	26.7	0.82	0.414	865.56
x13x13	-0.291	0.384	-0.76	0.452	16.19
x23x23	-0.02	8.37	-0.00	0.998	919.39
x33x33	20.5	36.4	0.56	0.575	858.48
x14x14	0.198	0.279	0.71	0.482	3.20
x24x24	-0.247	0.287	-0.86	0.393	44.47
x34x34	-5.73	7.50	-0.76	0.448	144.99
x15x15	0.681	0.438	1.55	0.127	17.10
x25x25	-6.61	9.11	-0.73	0.472	142.00
x35x35	88.4	81.2	1.09	0.281	4244.79
x21x31	-201.3	60.6	-3.32	0.002	182.80
x21x41	-359	262	-1.37	0.177	3344.27
x21x12	0.582	0.414	1.41	0.166	10.41
x21x22	16.01	8.01	2.00	0.051	153.33
x21x13	-1.165	0.749	-1.55	0.127	25.60
x21x23	2.92	2.55	1.14	0.258	151.40
x21x33	92	272	0.34	0.737	9637.37
x21x43	-16.9	30.5	-0.56	0.581	350.10
x21x14	-1.608	0.551	-2.92	0.005	15.73
x21x24	-0.292	0.698	-0.42	0.678	10.23
x21x34	-533	260	-2.05	0.046	396.32
x21x44	5.64	5.52	1.02	0.312	1212.31
x21x15	0.955	0.462	2.07	0.044	10.06
x21x25	5.38	6.99	0.77	0.445	859.56

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x12	17.31	8.12	2.13	0.038	3048.18
x31x22	-256.6	78.2	-3.28	0.002	3417.20
x31x32	-27.3	34.0	-0.80	0.426	1768.36
x31x42	100.4	61.0	1.65	0.106	617.41
x31x13	11.29	6.47	1.74	0.087	75.92
x31x33	-84.1	28.0	-3.00	0.004	905.47
x31x14	-16.36	5.73	-2.86	0.006	1279.33
x31x34	89.8	34.1	2.64	0.011	1875.61
x31x44	-2.6	11.0	-0.23	0.816	1927.67
x31x15	-26.3	12.2	-2.16	0.036	6349.74
x31x45	42.4	24.9	1.70	0.095	9990.74
x41x12	1.29	1.81	0.71	0.480	75.44
x41x32	993	607	1.63	0.109	76.06
x41x42	25.0	16.3	1.53	0.133	679.98
x41x13	3.30	1.31	2.52	0.015	93.76
x41x43	-3.1	20.8	-0.15	0.882	667.50
x41x14	0.77	1.19	0.65	0.518	65.06
x41x44	4.11	6.85	0.60	0.552	6948.19
x41x15	-2.84	4.73	-0.60	0.551	757.02
x41x45	8.70	4.34	2.00	0.051	2973.64
x12x22	0.95	4.50	0.21	0.833	969.31
x12x32	111.5	43.3	2.57	0.013	111.86
x12x42	-29.1	14.4	-2.02	0.049	679.30
x12x13	0.071	0.375	0.19	0.850	6.57
x12x23	-0.90	1.61	-0.56	0.577	126.89
x12x33	24.0	12.7	1.89	0.065	1991.67
x12x43	23.0	13.3	1.73	0.089	552.29
x12x14	0.037	0.274	0.14	0.892	3.65

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x24	0.300	0.338	0.89	0.378	8.56
x12x34	104.7	34.9	3.00	0.004	725.83
x12x44	1.03	5.57	0.19	0.853	997.45
x12x15	-0.108	0.421	-0.26	0.799	8.83
x12x25	-1.62	4.53	-0.36	0.721	922.54
x12x35	-43.5	24.7	-1.76	0.084	370.30
x12x45	2.61	5.92	0.44	0.662	198.74
x22x13	-12.48	8.48	-1.47	0.148	415.29
x22x23	1.4	24.6	0.06	0.956	752.15
x22x14	0.34	3.51	0.10	0.923	590.23
x22x24	3.44	9.58	0.36	0.721	2062.35
x22x15	-2.32	4.82	-0.48	0.632	1169.54
x22x25	1.4	42.5	0.03	0.974	252.84
x22x35	94	307	0.31	0.760	5690.22
x32x13	-85.4	30.7	-2.78	0.008	850.76
x32x33	62.5	70.0	0.89	0.376	7581.09
x32x14	6.26	5.11	1.22	0.227	1185.42
x32x34	-181.6	80.0	-2.27	0.028	1193.06
x32x15	23.0	10.0	2.30	0.026	674.65
x42x13	-6.39	5.89	-1.08	0.284	262.25
x42x14	0.39	5.73	0.07	0.947	135.29
x42x15	13.07	6.51	2.01	0.050	149.98
x13x23	0.75	2.45	0.31	0.760	372.56
x13x33	84.5	29.5	2.86	0.006	719.19
x13x43	-14.35	6.99	-2.05	0.046	19.42
x13x14	-0.116	0.514	-0.22	0.823	11.73
x13x24	-0.002	0.407	-0.00	0.996	6.42
x13x34	20.17	7.55	2.67	0.010	488.37

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13x44	3.48	3.59	0.97	0.338	914.52
x13x15	0.163	0.689	0.24	0.814	22.20
x13x25	0.68	3.53	0.19	0.847	821.07
x13x45	5.50	5.10	1.08	0.286	115.86
x23x14	0.01	1.54	0.01	0.994	110.53
x23x24	1.96	1.82	1.07	0.288	85.63
x43x14	2.97	4.90	0.61	0.547	170.23
x43x15	-5.13	8.27	-0.62	0.537	2524.51
x14x24	-0.203	0.431	-0.47	0.639	9.04
x14x44	2.76	1.68	1.64	0.107	127.54
x14x15	0.071	0.338	0.21	0.835	5.18
x14x25	-0.61	3.91	-0.16	0.876	724.84
x14x45	-8.11	3.01	-2.69	0.010	488.81
x24x15	0.184	0.385	0.48	0.636	16.32
x24x25	-0.95	5.91	-0.16	0.872	727.91
x44x15	2.10	2.87	0.73	0.467	285.17
x15x25	5.37	6.52	0.82	0.415	227.67
x15x45	-1.94	5.15	-0.38	0.707	186.49

ตารางที่ 54 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_3 (ครั้งที่ 4)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	18.91	9.33	2.03	0.047	
x12	-0.769	0.432	-1.78	0.081	7.43
x13	-0.365	0.409	-0.89	0.376	6.64
x14	8.546	0.506	16.88	0.000	1.19
x15	-1.27	1.00	-1.27	0.209	9.91

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x21x21	-0.566	0.453	-1.25	0.217	2.24
x41x41	1.681	0.975	1.72	0.090	6.38
x12x12	0.088	0.361	0.24	0.808	9.60
x13x13	-0.463	0.316	-1.46	0.149	8.93
x23x23	0.36	8.97	0.04	0.968	9.74
x14x14	-0.019	0.291	-0.07	0.948	2.82
x24x24	-0.247	0.300	-0.82	0.415	9.66
x15x15	0.981	0.473	2.07	0.043	6.22
x25x25	3.74	8.29	0.45	0.653	1.40
x21x12	0.581	0.438	1.33	0.190	9.49
x21x22	-0.41	5.48	-0.07	0.941	3.32
x21x13	-0.841	0.781	-1.08	0.286	2.67
x21x23	0.05	2.53	0.02	0.984	8.97
x21x14	-1.179	0.515	-2.29	0.026	1.21
x21x24	-0.809	0.670	-1.21	0.232	7.66
x21x15	1.012	0.502	2.02	0.048	9.65
x21x25	0.93	6.69	0.14	0.890	1.38
x31x12	-1.57	2.55	-0.61	0.541	5.68
x31x13	-0.82	1.75	-0.47	0.639	7.48
x31x33	-0.643	0.728	-0.88	0.381	4.09
x31x14	-1.72	2.00	-0.86	0.393	6.90
x31x44	-10.8	95.2	-0.11	0.910	4.35
x31x15	-0.09	1.52	-0.06	0.954	8.25
x31x45	7.6	95.5	0.08	0.937	3.20
x41x12	2.29	1.95	1.18	0.245	7.21
x41x42	16.28	8.66	1.88	0.065	7.89
x41x13	1.34	1.21	1.10	0.275	5.35
x41x23	34.1	17.6	1.93	0.058	1.81

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x41x14	1.27	1.23	1.03	0.307	6.83
x41x44	-1.93	4.34	-0.44	0.658	2.72
x41x15	-6.86	2.65	-2.59	0.012	3.64
x41x45	4.75	4.29	1.11	0.273	5.86
x12x22	-2.51	4.10	-0.61	0.542	2.68
x12x32	-12.84	6.90	-1.86	0.068	2.20
x12x42	-22.0	11.0	-2.01	0.050	7.91
x12x13	0.264	0.371	0.71	0.480	5.22
x12x23	-0.23	1.70	-0.14	0.891	1.47
x12x33	4.51	3.62	1.24	0.218	5.92
x12x43	3.8	12.3	0.30	0.761	8.81
x12x14	0.076	0.298	0.25	0.801	3.52
x12x24	0.071	0.356	0.20	0.842	7.75
x12x44	7.56	3.27	2.31	0.025	2.72
x12x15	-0.259	0.428	-0.61	0.547	7.42
x12x25	-1.40	4.58	-0.31	0.761	7.27
x12x35	6.55	7.16	0.92	0.364	2.51
x12x45	5.56	4.80	1.16	0.251	7.44
x22x13	-6.84	5.10	-1.34	0.185	9.19
x22x23	2.7	11.8	0.23	0.822	8.03
x22x14	1.67	3.62	0.46	0.645	9.42
x22x24	5.93	8.09	0.73	0.466	6.72
x22x15	0.68	4.19	0.16	0.872	9.36
x22x25	9.3	23.4	0.40	0.693	3.66
x22x45	4.4	33.9	0.13	0.898	3.06
x32x43	23.3	81.4	0.29	0.776	2.70
x32x14	-12.05	6.55	-1.84	0.071	4.34
x32x44	-9.0	83.6	-0.11	0.914	1.06

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x32x15	-7.43	9.88	-0.75	0.455	8.45
x32x25	1.9	10.1	0.19	0.850	1.92
x42x13	-9.19	6.05	-1.52	0.134	6.75
x42x23	-7.1	17.9	-0.40	0.693	7.92
x42x14	-2.76	5.84	-0.47	0.638	1.60
x42x24	12.8	12.8	1.00	0.320	2.49
x42x15	13.69	6.12	2.24	0.029	2.17
x42x25	17.3	15.8	1.10	0.277	4.66
x13x23	0.19	2.59	0.07	0.943	8.94
x13x33	-1.31	2.75	-0.48	0.636	5.73
x13x43	-5.34	5.97	-0.89	0.375	2.89
x13x14	-0.808	0.405	-1.99	0.051	5.94
x13x24	0.070	0.437	0.16	0.873	6.02
x13x34	-0.23	1.03	-0.22	0.826	7.80
x13x44	3.19	3.33	0.96	0.342	8.29
x13x15	-0.294	0.694	-0.42	0.673	8.30
x13x25	4.77	3.25	1.47	0.148	5.08
x13x45	9.03	4.34	2.08	0.042	1.42
x23x33	2.37	2.83	0.84	0.407	7.25
x23x43	-14.3	30.3	-0.47	0.638	6.41
x23x14	-0.44	1.66	-0.26	0.793	3.99
x23x24	2.26	1.96	1.15	0.254	81.17
x23x34	-0.08	1.66	-0.05	0.963	8.88
x23x44	2.93	4.22	0.69	0.490	3.54
x33x14	8.82	4.76	1.85	0.069	8.40
x33x15	5.11	2.18	2.34	0.023	2.18
x43x14	3.16	5.21	0.61	0.546	6.90
x43x15	-8.17	7.11	-1.15	0.255	8.87

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x14x24	-0.125	0.427	-0.29	0.771	7.21
x14x34	-1.57	3.09	-0.51	0.613	8.50
x14x44	4.33	1.77	2.44	0.018	5.74
x14x15	0.087	0.362	0.24	0.810	4.83
x14x25	-2.90	3.97	-0.73	0.468	7.62
x14x45	-8.03	3.14	-2.55	0.013	4.58
x24x15	0.155	0.422	0.37	0.714	5.92
x24x25	2.53	6.19	0.41	0.684	2.06
x34x15	-0.62	1.74	-0.35	0.724	9.54
x44x15	0.07	2.71	0.03	0.979	7.13
x15x25	-0.17	6.42	-0.03	0.979	1.89
x15x35	2.47	8.11	0.30	0.762	9.43
x15x45	1.71	4.08	0.42	0.677	5.88
x25x35	11.7	11.6	1.01	0.318	3.06

ตารางที่ 55 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_4 (ครั้งที่ 1)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	198.2	13.0	15.26	0.000	
x12	0.367	0.782	0.47	0.640	5.09
x13	-1.029	0.741	-1.39	0.169	4.57
x14	-0.237	0.778	-0.30	0.762	5.04
x15	119.52	1.65	72.56	0.000	22.59
x21x21	2.523	0.966	2.61	0.011	11.64
x41x41	-2.39	1.90	-1.26	0.214	515.72
x12x12	0.367	0.695	0.53	0.599	7.45

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13x13	-0.337	0.594	-0.57	0.573	6.62
x23x23	-32.4	19.3	-1.68	0.098	836.04
x14x14	1.035	0.594	1.74	0.086	2.46
x24x24	0.331	0.645	0.51	0.609	38.31
x15x15	0.111	0.952	0.12	0.907	13.75
x21x12	-1.407	0.911	-1.54	0.127	8.59
x21x13	-1.76	1.56	-1.13	0.263	18.98
x21x23	5.80	5.04	1.15	0.254	101.00
x21x14	-0.12	1.05	-0.11	0.911	9.80
x21x24	0.62	1.38	0.45	0.654	6.85
x21x15	1.57	1.05	1.49	0.140	8.88
x21x25	-15.88	6.28	-2.53	0.014	118.50
x31x13	-2.27	1.26	-1.80	0.076	18.49
x31x33	-11.97	8.27	-1.45	0.152	1460.67
x31x14	-5.93	2.74	-2.17	0.034	49.77
x31x24	-51.7	32.0	-1.61	0.111	3725.40
x31x15	-6.23	3.03	-2.05	0.044	67.02
x31x45	19.5	14.4	1.36	0.178	564.74
x41x12	-0.70	3.00	-0.23	0.816	35.32
x41x32	11.9	23.6	0.51	0.615	1345.98
x41x13	-0.36	1.10	-0.33	0.745	11.18
x41x14	-3.96	2.26	-1.76	0.083	39.94
x41x44	6.31	7.77	0.81	0.420	1522.72
x41x15	3.63	4.88	0.74	0.459	137.40
x12x22	4.84	7.01	0.69	0.493	400.43
x12x42	-3.03	9.92	-0.31	0.761	540.62
x12x13	-0.328	0.681	-0.48	0.632	3.68
x12x23	-6.05	3.48	-1.74	0.087	101.56

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x33	-13.82	6.92	-2.00	0.050	554.01
x12x14	0.483	0.616	0.78	0.436	3.15
x12x24	-0.456	0.758	-0.60	0.550	7.35
x12x34	-5.14	4.71	-1.09	0.280	236.88
x12x44	-7.64	6.18	-1.24	0.220	209.37
x12x15	0.703	0.866	0.81	0.420	6.35
x12x25	-9.64	6.80	-1.42	0.161	355.26
x12x45	1.24	5.74	0.22	0.830	175.68
x22x32	83.0	44.2	1.88	0.064	18812.20
x22x42	15.4	23.3	0.66	0.510	4660.33
x22x13	5.97	8.49	0.70	0.484	772.01
x22x23	31.5	20.3	1.55	0.126	857.04
x22x33	-15.4	11.2	-1.37	0.175	1227.11
x22x14	-0.58	7.38	-0.08	0.937	443.95
x22x24	-10.5	14.6	-0.72	0.475	820.26
x22x34	-0.42	3.94	-0.11	0.915	165.69
x22x15	-8.06	8.09	-1.00	0.322	560.84
x22x25	7.7	18.8	0.41	0.683	836.18
x22x35	12.6	14.7	0.86	0.395	2090.51
x22x45	-6.92	7.24	-0.95	0.343	458.92
x32x42	-44.9	58.4	-0.77	0.445	10076.30
x32x23	-60.6	43.7	-1.38	0.171	18148.15
x32x43	-3.7	35.6	-0.10	0.918	3738.01
x32x14	1.81	8.06	0.22	0.823	502.48
x32x24	47.7	42.9	1.11	0.270	8432.55
x32x25	-24.2	33.5	-0.72	0.472	10854.58
x42x13	-4.35	5.35	-0.81	0.419	346.15
x42x14	11.8	10.5	1.12	0.265	874.77

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x42x15	-7.49	9.26	-0.81	0.422	514.68
x13x23	-7.64	5.23	-1.46	0.149	289.63
x13x14	-0.580	0.750	-0.77	0.442	4.26
x13x24	-1.593	0.923	-1.73	0.089	5.62
x13x34	1.44	1.04	1.39	0.170	14.57
x13x15	-2.49	1.13	-2.20	0.031	10.20
x13x25	-0.26	5.76	-0.05	0.964	372.07
x13x45	1.11	5.82	0.19	0.849	358.81
x23x14	-3.07	3.46	-0.89	0.377	95.12
x23x24	-0.98	4.24	-0.23	0.819	79.28
x33x15	7.89	5.52	1.43	0.157	338.58
x43x14	-3.11	9.06	-0.34	0.733	682.18
x14x24	-1.828	0.881	-2.08	0.042	6.44
x14x34	3.65	3.68	0.99	0.324	115.11
x14x44	-4.43	3.51	-1.26	0.211	94.69
x14x15	0.414	0.738	0.56	0.577	4.22
x14x25	-2.55	5.94	-0.43	0.669	285.28
x14x45	-9.02	4.71	-1.92	0.059	203.76
x24x44	-0.1	10.7	-0.01	0.989	517.72
x24x15	-0.143	0.897	-0.16	0.874	15.09
x24x25	11.7	10.9	1.08	0.283	419.03
x34x15	4.70	2.24	2.10	0.040	55.32
x44x15	3.03	5.42	0.56	0.577	173.53
x44x25	4.48	6.30	0.71	0.480	354.77
x15x25	-5.94	7.36	-0.81	0.422	462.30
x15x35	-9.82	7.66	-1.28	0.204	719.94
x15x45	-7.22	5.67	-1.27	0.208	245.76

ตารางที่ 56 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_4 (ครั้งที่ 2)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	192.9	11.4	16.94	0.000	
x12	0.499	0.782	0.64	0.526	5.02
x13	-0.909	0.741	-1.23	0.224	4.50
x14	-0.200	0.780	-0.26	0.798	5.00
x15	119.58	1.65	72.29	0.000	22.46
x21x21	2.580	0.971	2.66	0.010	11.60
x41x41	-2.18	1.91	-1.14	0.259	513.50
x12x12	0.124	0.685	0.18	0.857	7.14
x13x13	-0.245	0.587	-0.42	0.678	6.37
x23x23	-32.9	19.5	-1.69	0.095	835.23
x14x14	1.093	0.597	1.83	0.071	2.45
x24x24	0.147	0.624	0.24	0.814	35.39
x15x15	0.243	0.955	0.25	0.800	13.63
x21x12	-1.193	0.909	-1.31	0.194	8.42
x21x13	-1.60	1.57	-1.02	0.311	18.88
x21x23	6.40	5.07	1.26	0.210	100.51
x21x14	-0.10	1.06	-0.09	0.928	9.79
x21x24	0.44	1.35	0.32	0.746	6.47
x21x15	1.58	1.06	1.49	0.140	8.86
x21x25	-16.50	6.32	-2.61	0.011	118.11
x31x13	-2.27	1.26	-1.80	0.076	18.38
x31x33	-3.02	5.26	-0.57	0.568	582.06
x31x14	-6.43	2.70	-2.38	0.020	47.85
x31x24	-16.3	20.0	-0.82	0.418	1439.27
x31x15	-3.77	2.56	-1.47	0.146	47.20

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x45	4.17	9.35	0.45	0.657	235.81
x41x12	-0.72	3.02	-0.24	0.814	35.29
x41x32	8.2	23.6	0.35	0.730	1332.20
x41x13	-0.36	1.10	-0.32	0.747	11.18
x41x14	-3.82	2.27	-1.68	0.097	39.88
x41x44	5.01	7.78	0.64	0.522	1506.17
x41x15	3.18	4.90	0.65	0.519	136.95
x12x22	5.35	6.39	0.84	0.405	328.33
x12x42	-1.79	9.94	-0.18	0.858	536.07
x12x13	-0.422	0.680	-0.62	0.537	3.62
x12x23	-5.86	3.50	-1.67	0.099	101.15
x12x33	-4.89	3.61	-1.36	0.179	148.36
x12x14	0.441	0.616	0.72	0.477	3.11
x12x24	-0.504	0.732	-0.69	0.494	6.77
x12x34	0.22	2.69	0.08	0.935	75.75
x12x44	-6.82	6.20	-1.10	0.275	208.15
x12x15	0.701	0.867	0.81	0.422	6.28
x12x25	-4.98	5.97	-0.83	0.407	270.23
x12x45	3.65	5.59	0.65	0.516	164.61
x22x42	84.0	38.4	2.19	0.032	12482.73
x22x13	6.21	8.37	0.74	0.460	738.48
x22x23	33.6	20.4	1.64	0.105	853.39
x22x33	-3.73	7.50	-0.50	0.621	540.60
x22x14	-0.64	7.22	-0.09	0.930	419.29
x22x24	-9.0	14.6	-0.61	0.542	807.42
x22x34	2.57	3.19	0.81	0.423	107.00
x22x15	-7.50	8.11	-0.93	0.358	555.83
x22x25	7.7	18.2	0.42	0.674	770.23

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x22x35	4.7	13.5	0.35	0.731	1726.20
x22x45	0.7	22.2	0.03	0.974	4252.26
x32x23	10.2	21.4	0.48	0.633	4268.28
x32x43	-6.6	35.6	-0.18	0.854	3691.13
x32x14	6.15	7.72	0.80	0.428	454.20
x32x24	-1.6	32.3	-0.05	0.960	4725.01
x32x45	-11.9	52.7	-0.23	0.822	7965.25
x42x13	-4.48	5.39	-0.83	0.408	346.03
x42x23	-61.4	44.8	-1.37	0.175	16804.96
x42x14	13.4	10.5	1.28	0.205	866.09
x42x15	-7.11	9.31	-0.76	0.447	513.05
x42x25	-24.5	29.0	-0.84	0.402	7172.10
x13x23	-7.00	5.12	-1.37	0.176	274.37
x13x14	-0.556	0.755	-0.74	0.464	4.25
x13x24	-1.749	0.925	-1.89	0.063	5.57
x13x34	1.30	1.05	1.24	0.219	14.47
x13x15	-2.68	1.11	-2.40	0.019	9.76
x13x25	-1.11	5.76	-0.19	0.848	366.15
x13x45	1.16	5.86	0.20	0.843	358.79
x23x14	-3.05	3.46	-0.88	0.381	93.80
x23x24	-1.13	4.26	-0.27	0.791	78.99
x43x14	-1.04	9.03	-0.12	0.908	667.55
x14x24	-1.846	0.876	-2.11	0.039	6.28
x14x34	4.22	3.65	1.16	0.251	111.44
x14x44	-4.51	3.53	-1.28	0.206	94.68
x14x15	0.175	0.725	0.24	0.810	4.01
x14x25	2.12	4.65	0.46	0.650	172.29
x14x45	-8.95	4.74	-1.89	0.063	203.65

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x24x44	-0.3	10.8	-0.02	0.981	515.71
x24x15	0.004	0.887	0.00	0.996	14.54
x34x15	3.86	2.20	1.75	0.084	52.72
x44x15	3.57	5.44	0.66	0.514	172.80
x44x25	3.45	6.29	0.55	0.585	348.92
x15x25	-5.94	7.41	-0.80	0.425	462.25
x15x35	-3.69	6.56	-0.56	0.576	520.53
x15x45	-7.33	5.71	-1.28	0.203	245.01

ตารางที่ 57 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Multiple Linear Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_4 (ครั้งที่ 3)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	193.0	11.3	17.11	0.000	
x12	0.499	0.777	0.64	0.523	5.02
x13	-0.889	0.715	-1.24	0.218	4.26
x14	-0.204	0.774	-0.26	0.793	4.99
x15	119.63	1.60	74.65	0.000	1.37
x21x21	2.574	0.963	2.67	0.009	1.57
x41x41	-2.19	1.89	-1.16	0.250	5.07
x12x12	0.126	0.680	0.18	0.854	7.14
x13x13	-0.244	0.583	-0.42	0.677	6.37
x23x23	-32.9	19.3	-1.70	0.093	5.18
x14x14	1.092	0.593	1.84	0.070	2.45
x24x24	0.148	0.620	0.24	0.812	5.39
x15x15	0.248	0.947	0.26	0.794	3.60
x21x12	-1.187	0.901	-1.32	0.192	8.40

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x21x13	-1.59	1.56	-1.02	0.310	8.82
x21x23	6.41	5.03	1.27	0.206	1.48
x21x14	-0.10	1.05	-0.09	0.927	9.79
x21x24	0.44	1.34	0.32	0.747	6.46
x21x15	1.58	1.05	1.51	0.136	8.85
x21x25	-16.49	6.27	-2.63	0.010	8.10
x31x13	-2.26	1.25	-1.81	0.074	1.30
x31x33	-2.99	5.21	-0.57	0.568	5.72
x31x14	-6.43	2.68	-2.40	0.019	7.85
x31x24	-16.2	19.8	-0.81	0.418	3.46
x31x15	-3.77	2.55	-1.48	0.143	7.20
x31x45	4.11	9.26	0.44	0.659	4.86
x41x12	-0.73	3.00	-0.24	0.807	5.19
x41x32	9.0	22.3	0.41	0.686	7.80
x41x13	-0.31	1.03	-0.31	0.761	9.83
x41x14	-3.73	2.12	-1.76	0.083	5.26
x41x44	5.20	7.54	0.69	0.492	2.60
x41x15	3.32	4.71	0.71	0.483	7.82
x12x22	5.43	6.32	0.86	0.393	5.04
x12x42	-1.66	9.81	-0.17	0.866	9.18
x12x13	-0.422	0.675	-0.63	0.534	3.62
x12x23	-5.88	3.47	-1.70	0.094	1.69
x12x33	-4.87	3.58	-1.36	0.177	8.11
x12x14	0.439	0.612	0.72	0.475	3.10
x12x24	-0.504	0.727	-0.69	0.490	6.77
x12x34	0.23	2.66	0.09	0.930	5.54
x12x44	-6.90	6.13	-1.13	0.264	5.88
x12x15	0.689	0.855	0.81	0.423	6.20

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x25	-5.03	5.92	-0.85	0.398	8.77
x12x45	3.62	5.55	0.65	0.516	4.21
x22x13	6.26	8.30	0.75	0.453	6.82
x22x23	33.5	20.3	1.65	0.103	1.98
x22x14	-0.38	6.83	-0.06	0.955	5.66
x22x24	-8.8	14.4	-0.61	0.545	8.94
x22x34	-106.1	53.0	-2.00	0.049	1.56
x22x15	-7.50	8.05	-0.93	0.354	5.83
x22x25	8.0	17.8	0.45	0.653	8.95
x22x35	4.8	13.4	0.36	0.723	8.91
x32x43	162	138	1.17	0.246	5.73
x32x14	6.41	7.32	0.88	0.384	4.17
x32x24	-98.1	92.1	-1.07	0.290	3.91
x32x45	-9.5	18.9	-0.50	0.617	1.86
x42x13	-4.43	5.33	-0.83	0.408	3.85
x42x23	7.4	22.1	0.33	0.740	2.86
x42x33	60.1	78.0	0.77	0.443	5.70
x42x14	12.83	9.08	1.41	0.162	7.88
x42x24	85.5	75.3	1.14	0.260	7.90
x42x34	271	133	2.04	0.045	1.41
x42x15	-6.91	9.09	-0.76	0.449	4.46
x13x23	-6.97	5.08	-1.37	0.174	2.41
x13x14	-0.574	0.733	-0.78	0.436	4.07
x13x24	-1.749	0.919	-1.90	0.061	5.57
x13x34	1.28	1.02	1.25	0.216	4.02
x13x15	-2.67	1.11	-2.42	0.018	9.73
x13x25	-1.16	5.70	-0.20	0.839	3.71
x13x45	1.13	5.81	0.19	0.847	3.75

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x23x43	-59.7	46.0	-1.30	0.198	1.55
x23x14	-3.03	3.43	-0.88	0.381	9.49
x23x24	-1.11	4.23	-0.26	0.794	7.77
x33x25	-27.6	32.8	-0.84	0.403	6.77
x14x24	-1.835	0.865	-2.12	0.037	6.20
x14x34	4.20	3.62	1.16	0.249	1.28
x14x44	-4.52	3.50	-1.29	0.202	9.64
x14x15	0.165	0.715	0.23	0.818	3.96
x14x25	2.21	4.55	0.49	0.628	7.26
x14x45	-9.15	4.39	-2.08	0.041	7.01
x24x44	-0.3	10.7	-0.03	0.978	5.34
x24x15	0.008	0.880	0.01	0.993	8.52
x34x15	3.82	2.17	1.76	0.082	5.71
x44x15	3.51	5.38	0.65	0.516	1.05
x44x25	3.56	6.19	0.58	0.567	1.64
x15x25	-5.84	7.31	-0.80	0.427	6.00
x15x35	-3.65	6.51	-0.56	0.577	9.00
x15x45	-7.40	5.64	-1.31	0.194	2.60

ตารางที่ 58 ค่าดัชนีชี้วัดความเพือของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่ 1)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	68.35	1.29	53.11	0.000	
x21	0.873	0.470	1.86	0.065	3.27
x31	1.244	0.477	2.61	0.010	3.37
x41	9.45	2.67	3.55	0.001	105.20
x12	8.858	0.285	31.04	0.000	1.21
x14	-0.726	0.285	-2.55	0.012	1.20

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x42x42	-2.232	0.981	-2.28	0.024	30.79
x34x34	0.761	0.335	2.27	0.024	7.15
x31x13	2.121	0.698	3.04	0.003	10.17
x31x33	-0.816	0.332	-2.46	0.015	4.18
x41x15	-1.038	0.421	-2.47	0.015	1.82
x41x35	18.71	5.80	3.23	0.002	144.64
x12x13	-0.677	0.328	-2.06	0.041	1.53
x12x14	0.492	0.289	1.70	0.091	1.24
x22x32	-5.05	2.41	-2.10	0.038	99.31
x22x44	-4.421	0.927	-4.77	0.000	13.61
x32x13	-8.68	3.87	-2.25	0.026	408.94
x13x15	0.837	0.334	2.51	0.013	1.58
x13x35	6.46	3.88	1.67	0.098	401.57
x14x15	-0.705	0.293	-2.41	0.017	1.18
x25x45	-2.62	1.05	-2.51	0.013	17.07

ตารางที่ 59 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่ 2)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	66.863	0.800	83.62	0.000	
x21	1.081	0.478	2.26	0.025	3.25
x31	0.969	0.465	2.08	0.039	3.09
x12	9.221	0.301	30.62	0.000	1.29
x22	4.53	1.32	3.44	0.001	24.72
x41x41	-0.285	0.173	-1.64	0.102	7.33
x14x14	0.611	0.305	2.00	0.047	1.11
x21x12	-0.465	0.290	-1.61	0.111	1.49

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x31x13	1.866	0.670	2.78	0.006	9.01
x31x33	-1.260	0.332	-3.79	0.000	4.03
x41x22	-1.608	0.787	-2.04	0.043	11.24
x12x13	-0.465	0.319	-1.46	0.147	1.38
x32x45	-4.20	2.39	-1.76	0.081	28.37
x13x33	-2.105	0.606	-3.47	0.001	9.71
x33x14	0.732	0.315	2.33	0.021	1.44
x14x15	-0.742	0.296	-2.51	0.013	1.16
x44x25	-3.734	0.597	-6.26	0.000	5.44
x15x25	0.626	0.317	1.97	0.051	1.47

ตารางที่ 60 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_1 (ครั้งที่ 3)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	66.38	1.42	46.81	0.000	
x21	0.038	0.542	0.07	0.944	3.99
x31	1.070	0.489	2.19	0.030	3.25
x12	9.249	0.310	29.80	0.000	1.31
x35	-7.42	1.73	-4.29	0.000	4.51
x41x41	-0.241	0.178	-1.35	0.178	7.34
x14x14	0.653	0.319	2.05	0.042	1.16
x44x44	1.333	0.352	3.79	0.000	4.52
x21x41	-1.809	0.963	-1.88	0.062	1.60
x21x12	-0.643	0.298	-2.16	0.032	1.49
x31x13	1.927	0.693	2.78	0.006	9.18
x31x33	-1.144	0.357	-3.20	0.002	4.45
x32x23	-4.00	1.72	-2.32	0.022	6.00
x13x33	-2.318	0.607	-3.82	0.000	9.28

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x33x14	0.755	0.316	2.39	0.018	1.38
x14x15	-0.675	0.301	-2.24	0.027	1.15
x15x25	0.523	0.317	1.65	0.101	1.40

ตารางที่ 61 ค่าดัชนีชี้วัดความเพือของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 1)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	3.582	0.245	14.61	0.000	
x21	-0.289	0.119	-2.42	0.017	15.65
x31	0.0707	0.0510	1.39	0.168	2.85
x41	-1.732	0.412	-4.20	0.000	186.22
x13	0.8128	0.0419	19.39	0.000	1.93
x14	-0.1021	0.0365	-2.80	0.006	1.46
x42x42	-0.727	0.165	-4.41	0.000	64.25
x13x13	-0.1715	0.0317	-5.41	0.000	2.48
x15x15	0.1178	0.0321	3.67	0.000	2.06
x21x44	-0.623	0.221	-2.82	0.006	43.74
x41x12	1.010	0.136	7.41	0.000	9.61
x41x14	0.2676	0.0797	3.36	0.001	6.56
x41x44	1.154	0.216	5.33	0.000	155.56
x41x15	-0.791	0.136	-5.80	0.000	14.14
x12x14	-0.0660	0.0363	-1.82	0.071	1.44
x12x24	-0.0939	0.0310	-3.03	0.003	1.62
x12x44	-0.751	0.109	-6.87	0.000	8.65
x12x15	-0.1197	0.0395	-3.03	0.003	1.74
x32x13	0.2673	0.0414	6.45	0.000	3.48
x32x14	-0.337	0.124	-2.71	0.008	15.77
x32x24	1.173	0.247	4.76	0.000	36.79

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x32x44	-2.582	0.544	-4.75	0.000	113.15
x32x35	-0.492	0.163	-3.02	0.003	90.27
x42x14	-1.528	0.459	-3.33	0.001	220.77
x13x43	3.117	0.343	9.08	0.000	179.84
x13x34	0.0848	0.0385	2.20	0.029	2.62
x13x44	-2.128	0.239	-8.89	0.000	91.36
x13x45	-0.675	0.255	-2.65	0.009	90.41
x33x24	-1.176	0.228	-5.17	0.000	31.35
x43x14	3.332	0.566	5.89	0.000	350.78
x14x34	-0.370	0.119	-3.10	0.002	15.88
x14x45	-2.188	0.309	-7.08	0.000	115.66
x15x45	0.932	0.122	7.64	0.000	14.95
x21x12	-0.643	0.298	-2.16	0.032	1.49
x31x13	1.927	0.693	2.78	0.006	9.18
x31x33	-1.144	0.357	-3.20	0.002	4.45

ตารางที่ 62 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 2)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	4.418	0.105	42.10	0.000	
x21	0.0342	0.0678	0.50	0.615	3.35
x31	0.0625	0.0575	1.09	0.279	2.41
x41	1.139	0.206	5.54	0.000	30.84
x13	0.7926	0.0487	16.29	0.000	1.73
x13x13	-0.1604	0.0377	-4.25	0.000	2.34
x21x15	-0.0909	0.0476	-1.91	0.058	1.59
x41x12	0.527	0.109	4.83	0.000	4.09
x41x45	-0.439	0.104	-4.22	0.000	25.40

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x14	-0.0886	0.0420	-2.11	0.037	1.28
x12x24	-0.0714	0.0363	-1.97	0.051	1.48
x12x44	-0.4518	0.0999	-4.52	0.000	4.80
x12x15	-0.1139	0.0439	-2.59	0.011	1.43
x22x13	-0.3512	0.0649	-5.41	0.000	3.95
x32x42	1.732	0.578	3.00	0.003	86.19
x32x14	-0.246	0.153	-1.60	0.111	15.89
x32x44	-0.646	0.387	-1.67	0.097	38.10
x13x34	0.0826	0.0465	1.78	0.078	2.54
x13x44	-0.314	0.117	-2.68	0.008	14.52
x13x45	0.333	0.124	2.69	0.008	14.19
x33x43	-1.941	0.387	-5.01	0.000	38.50
x14x34	-0.324	0.145	-2.24	0.027	15.59

ตารางที่ 63 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 3)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	4.626	0.166	27.89	0.000	
x21	-0.0993	0.0790	-1.26	0.211	4.33
x13	0.8313	0.0462	17.99	0.000	1.48
x43	1.423	0.255	5.59	0.000	45.00
x31x31	0.0157	0.0119	1.32	0.188	1.23
x13x13	-0.0843	0.0297	-2.84	0.005	1.37
x15x15	0.0946	0.0363	2.60	0.010	1.67
x21x23	0.1598	0.0861	1.86	0.065	2.45
x41x13	0.1819	0.0605	3.01	0.003	2.83
x41x14	0.1031	0.0425	2.43	0.017	1.18
x12x24	-0.0942	0.0345	-2.73	0.007	1.27

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x15	-0.1193	0.0475	-2.51	0.013	1.60
x22x45	0.915	0.211	4.33	0.000	32.60
x32x44	1.576	0.466	3.38	0.001	52.75
x13x44	-0.0938	0.0566	-1.66	0.100	3.24
x13x25	-0.2745	0.0455	-6.04	0.000	1.94
x33x44	-1.601	0.425	-3.76	0.000	43.50
x44x15	0.2551	0.0680	3.75	0.000	2.28

ตารางที่ 64 ค่าดัชนีชี้วัดความเพี้ยนของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_2 (ครั้งที่ 4)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	3.8361	0.0606	63.35	0.000	
x21	0.0259	0.0621	0.42	0.677	2.98
x12	-0.1072	0.0441	-2.43	0.016	1.50
x13	0.8413	0.0444	18.93	0.000	1.53
x31x31	0.0115	0.0112	1.03	0.306	1.21
x13x13	-0.0891	0.0284	-3.13	0.002	1.41
x44x44	0.479	0.182	2.64	0.009	8.71
x21x15	-0.0627	0.0433	-1.45	0.149	1.39
x41x12	0.813	0.117	6.97	0.000	4.94
x41x32	0.874	0.520	1.68	0.095	6.64
x41x33	-2.173	0.519	-4.19	0.000	9.47
x41x15	-0.4554	0.0897	-5.08	0.000	4.31
x12x24	-0.0783	0.0349	-2.25	0.026	1.44
x12x15	-0.1019	0.0424	-2.40	0.018	1.41
x12x45	-0.785	0.109	-7.21	0.000	5.87
x42x44	-0.917	0.291	-3.15	0.002	8.33
x13x44	-0.557	0.112	-4.96	0.000	4.15

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x13x25	-0.2646	0.0433	-6.11	0.000	1.95
x13x45	0.622	0.120	5.18	0.000	4.13
x43x44	1.048	0.280	3.74	0.000	1.57
x44x45	-0.493	0.147	-3.36	0.001	4.38
x15x45	0.3980	0.0889	4.48	0.000	5.59
x22x45	0.915	0.211	4.33	0.000	3.60

ตารางที่ 65 ค่าดัชนีชี้วัดความเพือของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_3 (ครั้งที่ 1)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	14.31	2.41	5.95	0.000	
x31	0.045	0.273	0.17	0.869	3.98
x41	24.96	4.17	5.98	0.000	926.51
x12	-0.372	0.158	-2.36	0.020	1.32
x14	9.178	0.171	53.53	0.000	1.56
x21x21	-0.492	0.146	-3.38	0.001	1.69
x41x41	0.700	0.152	4.61	0.000	20.96
x22x22	2.66	1.17	2.27	0.025	17.75
x34x34	0.665	0.230	2.89	0.004	12.13
x44x44	-5.55	1.12	-4.97	0.000	178.96
x35x35	11.64	2.17	5.36	0.000	782.52
x21x14	-0.831	0.261	-3.18	0.002	3.85
x31x14	-0.434	0.295	-1.47	0.143	3.69
x41x43	-14.10	2.26	-6.24	0.000	791.36
x41x14	0.699	0.350	2.00	0.048	6.15
x12x13	0.613	0.163	3.76	0.000	1.35
x12x23	0.375	0.163	2.29	0.023	1.43
x32x44	-22.22	3.33	-6.68	0.000	205.68

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x23x24	0.469	0.221	2.12	0.036	1.37
x33x15	0.907	0.256	3.54	0.001	4.65
x43x25	-2.21	1.38	-1.61	0.110	104.30
x43x45	11.70	2.35	4.98	0.000	638.24
x14x44	2.859	0.488	5.86	0.000	11.72
x14x45	-3.909	0.523	-7.47	0.000	16.09
x34x15	0.422	0.223	1.90	0.060	3.49
x44x15	0.759	0.262	2.89	0.004	2.60
x44x45	4.51	1.34	3.36	0.001	198.94
x35x45	65.59	9.35	7.01	0.000	1627.73
x41x15	-0.4554	0.0897	-5.08	0.000	4.31

ตารางที่ 66 ค่าดัชนีชี้วัดความเพ้อของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_3 (ครั้งที่ 2)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	20.990	0.353	59.47	0.000	
x31	-0.191	0.240	-0.80	0.427	1.80
x12	-0.519	0.212	-2.45	0.015	1.41
x13	-0.328	0.189	-1.74	0.084	1.12
x14	9.330	0.203	45.89	0.000	1.30
x15	-0.317	0.205	-1.55	0.123	1.31
x45	3.427	0.373	9.19	0.000	4.37
x21x21	0.045	0.185	0.25	0.807	1.60
x41x41	0.2126	0.0486	4.37	0.000	1.27
x14x14	0.359	0.211	1.71	0.090	1.17
x21x44	1.432	0.494	2.90	0.004	6.25
x12x13	0.547	0.206	2.66	0.009	1.27
x12x34	0.271	0.168	1.62	0.108	1.13

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
x12x45	-0.753	0.258	-2.92	0.004	1.34
x13x15	-0.422	0.204	-2.06	0.041	1.26

ตารางที่ 67 ค่าดัชนีชี้วัดความเพือของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_4 (ครั้งที่ 1)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	190.084	0.533	356.77	0.000	
x21	-0.744	0.453	-1.64	0.103	1.80
x31	-0.558	0.422	-1.32	0.188	1.56
x41	-0.271	0.435	-0.62	0.534	1.65
x13	-0.796	0.353	-2.26	0.025	1.09
x15	118.883	0.344	345.34	0.000	1.04
x21x22	-0.831	0.537	-1.55	0.124	1.21
x12x42	3.65	2.35	1.55	0.123	31.97
x12x44	-4.68	2.35	-1.99	0.048	31.88
x13x15	-0.568	0.348	-1.63	0.105	1.02

ตารางที่ 68 ค่าดัชนีชี้วัดความเพือของแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ (Variance Inflation Factor: VIF) โดยวิธี Stepwise Regression ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y_4 (ครั้งที่ 2)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	189.499	0.350	542.04	0.000	
x21	-0.844	0.448	-1.88	0.061	1.71
x31	-0.773	0.412	-1.87	0.063	1.45
x41	-0.539	0.429	-1.26	0.211	1.57
x13	-0.841	0.355	-2.37	0.019	1.08
x15	118.841	0.349	340.66	0.000	1.04
x41x12	-1.173	0.528	-2.22	0.028	1.12
x13x15	-0.542	0.351	-1.54	0.125	1.01

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาว อภิชญา วิชาสถาพร
วัน เดือน ปี เกิด	18 พฤศจิกายน 2533
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	คณะ วิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมีวิศวกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY