

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อนโดยใช้วิธีการ
วิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104373
วัน,เดือน,ปี - 2 พ.ย. 2552

b. 12 10041x
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PREDICTION OF EXTRUSION FORCE IN HOT
EXTRUSION USING MULTIPLE LINEAR REGRESSION**



MR. PONGSAKORN CHAROONSRIAWAD

MR. SUPOLCHAI KWANKAEW

MR. ASSADACH AMORNRUANGWANICH

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2008**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

การทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

PREDICTION OF EXTRUSION FORCE IN HOT EXTRUSION USING
MULTIPLE LINEAR REGRESSION

นักศึกษา

นายพงศกร จรูญศรีสวัสดิ์	รหัสประจำตัว	48010556
นายสุพลชัย ขวัญแก้ว	รหัสประจำตัว	48011002
นายอัศม์เดช อมรเรืองวานิชย์	รหัสประจำตัว	48011109

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

(ดร.อนิรุท ไชยจารุณิษ)

(ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ
นักศึกษา	นายพงศกร จรูญศรีสวัสดิ์ นายสุพลชัย ขวัญแก้ว นายอัศม์เดช อมรเรืองวามิษฐ์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.อนิรุท ไชยจารุวัฒน์ ผศ.ดร.ภรณ์ชัย กัลยาศิริ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อน (Hot Extrusion) โลหะ CK45 ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปร 4 ตัวคือ มุมคาย สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของคาย ความเร็วในการอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิชิ้นงาน โดยทำการศึกษาข้อมูลที่ได้จากการทดลองในกระบวนการอัดรีดร้อนที่ต้องการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานสุดท้ายให้เหลือเท่ากับครึ่งหนึ่งของชิ้นงานเริ่มต้น และอาศัยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression) ในการสร้างสมการถดถอย ผลจากการทดสอบสมการถดถอยที่สร้างขึ้นมาด้วยวิธี Hold-out และวิธี k-fold cross-validation ก็คือ ได้สมการถดถอยที่ดีที่สุดจากสมการถดถอยทั้งหมดที่สร้างขึ้นมาซึ่งก็คือ สมการที่มีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้ $\hat{Y} = 694.44 + 381.99X_2 - 154.39\ln X_3 - 414.46\ln X_4$ ไปใช้ทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อนเมื่อทราบค่าใช้งานของตัวแปรต่างๆ ด้วยความถูกต้องในการทำนาย 89.8 เปอร์เซ็นต์

Thesis Title Prediction of extrusion force in hot extrusion using multiple linear regression

Student Mr. Pongsakorn Charoonsrisawad
Mr. Supolchai Kwankaew
Mr. Assadach Amornruangwanich

Degree Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2008

Thesis Advisor Dr. Anirut Chaijaruwanich
Asst.Prof.Dr. Kannachai Kanlayasiri

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study and formulate a mathematical model for the prediction of extrusion force in hot extrusion process. In this study, four related parameters of extrusion process, which are die angle, friction coefficient, extrusion speed and billet temperature, are considered as the process parameters. The work piece is extruded and reduced its diameter by 50%. The mathematical model is formulated by using the multiple linear regression method. In order to verify this regression model, the Hold-out method and the k-fold cross-validation method are applied to test for an appropriate regression model. Thus, the best equation, in form of $\hat{Y} = 694.44 + 381.99X_2 - 154.39\ln X_3 - 414.46\ln X_4$, is selected to predict the extrusion force in such extrusion process. The calculation result of this study shows that the accuracy of this prediction model is 89.8 %.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดรีนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ช่วยให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ดร.อนิรุท ไชยจารุวิช กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับ ความรู้ คำแนะนำ การรับฟังปัญหา กำลังใจในการทำงาน ความเอาใจใส่ และความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี

ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ้มบรรณรัตน์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือชี้แนวทางให้คำปรึกษารวม ไปถึงข้อเสนอแนะที่ดีมากมาย

อาจารย์กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือตลอดเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้ในทุกคำพูด ทุกคำถามที่เต็มเปี่ยมไปด้วยความจริงใจ และยื่นเคียงข้างด้วยกันเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้กับสมาชิกในกลุ่มผู้วิจัยทุกคนและคณะอาจารย์ทุกท่านที่มีส่วนในการให้ความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ต่างๆ จนทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นายพงศกร จรูญศรีสวัสดิ์

นายสุพลชัย ขวัญแก้ว

นายอัครเดช อมรเรืองวณิชย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การอัดรีด (Extrusion).....	3
2.1.1 การอัดรีด โดยตรง (Direct Extrusion)	3
2.1.2 การอัดรีด โดยอ้อม (Indirect Extrusion).....	3
2.1.3 การอัดรีดแบบกระแทก (Impact Extrusion)	4
2.1.4 ทฤษฎีการอัดรีดขึ้นรูปโดยตรง	5
2.1.5 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	7
2.2 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis)	8
2.2.1 วิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย.....	8
2.2.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	9
2.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance).....	13
2.2.4 การประมาณค่าความคลาดเคลื่อน.....	14
2.2.5 การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย	15
2.2.6 สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน.....	15
2.2.7 สัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐาน	17
2.2.8 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (Multiple Coefficient of Determination).....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.9 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงพหุ (Multiple Coefficient of Correlation).....	18
2.2.10 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน (Coefficient of Partial Correlation)	18
2.2.11 การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ	19
2.2.12 การตรวจสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความถดถอย	20
2.2.13 การตรวจสอบรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงปริมาณ 2 ตัว.....	23
2.2.14 การเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลเมื่อความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามเงื่อนไข	24
2.2.15 ปัญหาสหสัมพันธ์ของตัวรบกวน (Autocorrelation)	25
2.2.16 เกณฑ์การตัดสินใจเลือกสมการถดถอย	26
2.2.17 ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมการถดถอย.....	28
2.2.18 การทดสอบสมการถดถอย.....	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 การดำเนินงานของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ.....	32
3.1.1 ข้อมูลจริงทั้งหมด	32
3.1.2 การจัดเตรียมข้อมูล.....	32
3.1.3 การทำนายแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ.....	33
3.1.4 การดำเนินงานของการทดสอบสมการถดถอย.....	36
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล.....	38
4.1.1 การตรวจสอบโดยใช้กราฟ.....	38
4.1.2 การทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบ.....	40
4.2 การทำนายแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอนในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ	40
4.2.1 สมการถดถอยที่ 1.....	40
4.2.2 สมการถดถอยที่ 2.....	45
4.2.3 สมการถดถอยที่ 3.....	51
4.2.4 สมการถดถอยที่ 4.....	57
4.2.5 สมการถดถอยที่ 5.....	62
4.2.6 สรุปผลการสร้างสมการถดถอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ	67
4.3 การทำนายแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้ชุดข้อมูลการแปลงในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 สมการถดถอยที่ 6.....	68
4.3.2 สมการถดถอยที่ 7.....	73
4.3.3 สมการถดถอยที่ 8.....	78
4.3.4 สมการถดถอยที่ 9.....	83
4.3.5 สรุปผลการสร้างสมการถดถอย โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ.....	88
4.4 การทดสอบสมการถดถอย.....	89
4.4.1 วิธี Hold-out.....	89
4.4.2 วิธี k-fold cross-validation.....	92
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	94
5.1.1 การสร้างสมการถดถอยและการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย.....	94
5.1.2 การทดสอบสมการถดถอยเพื่อหาสมการถดถอยที่ดีที่สุด.....	94
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
บรรณานุกรม.....	96
ภาคผนวก ก. ชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ.....	97
ภาคผนวก ข. ตารางทดสอบทางสถิติ.....	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของ Carbon Steel CK45.....	7
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของ Carbon Steel CK45	7
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกลของ Carbon Steel CK45	8
ตารางที่ 2.4 ข้อเสนอแนะในการขึ้นรูปร้อนของ Carbon Steel CK45	8
ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์เชิงพหุ	14
ตารางที่ 2.6 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การถดถอย β_1 ในขั้นที่ 2	16
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลฝึกสอน	40
ตารางที่ 4.2 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 1 ด้วยวิธี Enter.....	41
ตารางที่ 4.3 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 1.....	41
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 1	42
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 1.....	43
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 1	44
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 1	44
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 1	45
ตารางที่ 4.9 การเกิดรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในสมการถดถอยที่ 2.....	46
ตารางที่ 4.10 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 2 ด้วยวิธี Enter.....	46
ตารางที่ 4.11 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 2.....	47
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 2	47
ตารางที่ 4.13 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 2.....	48
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 2.....	50
ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 2	50
ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 2.....	51
ตารางที่ 4.17 การเกิดรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในสมการถดถอยที่ 3	52
ตารางที่ 4.18 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 3 ด้วยวิธี Enter.....	52
ตารางที่ 4.19 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 3.....	53
ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 3	53
ตารางที่ 4.21 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 3.....	54
ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 3	56
ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 3	56
ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 3	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.25 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 4 ด้วยวิธี Enter.....	57
ตารางที่ 4.26 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 4.....	58
ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 4.....	58
ตารางที่ 4.28 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 4.....	59
ตารางที่ 4.29 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 4.....	60
ตารางที่ 4.30 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 4.....	61
ตารางที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 4.....	62
ตารางที่ 4.32 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 5 ด้วยวิธี Enter.....	62
ตารางที่ 4.33 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 5.....	63
ตารางที่ 4.34 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 5.....	63
ตารางที่ 4.35 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 5.....	64
ตารางที่ 4.36 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 5.....	65
ตารางที่ 4.37 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 5.....	66
ตารางที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 5.....	67
ตารางที่ 4.39 สรุปรูปแบบความสัมพันธ์ของสมการถดถอยที่ 1-5.....	67
ตารางที่ 4.40 ผลการตรวจสอบเงื่อนไขและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการถดถอยที่ 1-5.....	68
ตารางที่ 4.41 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 6 ด้วยวิธี Enter.....	68
ตารางที่ 4.42 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 6.....	69
ตารางที่ 4.43 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 6.....	69
ตารางที่ 4.44 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 6.....	70
ตารางที่ 4.45 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 6.....	71
ตารางที่ 4.46 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 6.....	72
ตารางที่ 4.47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 6.....	73
ตารางที่ 4.48 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 7 ด้วยวิธี Enter.....	73
ตารางที่ 4.49 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 7.....	74
ตารางที่ 4.50 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 7.....	74
ตารางที่ 4.51 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 7.....	75
ตารางที่ 4.52 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 7.....	76
ตารางที่ 4.53 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 7.....	77
ตารางที่ 4.54 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 7.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.55 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 8 ด้วยวิธี Enter.....	78
ตารางที่ 4.56 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 8.....	79
ตารางที่ 4.57 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 8.....	79
ตารางที่ 4.58 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 8.....	80
ตารางที่ 4.59 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 8.....	81
ตารางที่ 4.60 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 8.....	82
ตารางที่ 4.61 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 8.....	83
ตารางที่ 4.62 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 9 ด้วยวิธี Enter.....	83
ตารางที่ 4.63 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 9.....	84
ตารางที่ 4.64 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 9.....	84
ตารางที่ 4.65 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 9.....	85
ตารางที่ 4.66 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 9.....	86
ตารางที่ 4.67 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 9.....	87
ตารางที่ 4.68 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 9.....	88
ตารางที่ 4.69 สรุปรูปแบบความสัมพันธ์ของสมการถดถอยที่ 6-9.....	88
ตารางที่ 4.70 ผลการตรวจสอบเงื่อนไขและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการถดถอยที่ 6-9.....	89
ตารางที่ 4.71 ค่าสถิติทดสอบสมการถดถอยโดยวิธี Hold-out (1).....	90
ตารางที่ 4.72 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบสมการถดถอยโดยวิธี k-fold cross-validation.....	92
ตารางที่ 5.1 ค่าสถิติทดสอบสมการถดถอยโดยวิธี Hold-out (2).....	95

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การอัดรีดขึ้นรูป (a) Direct (b) Indirect (c) Impact extrusion	4
รูปที่ 2.2 การอัดรีดขึ้นรูปแบบกระแทกในลักษณะต่างๆ	4
รูปที่ 2.3 ระบบที่ใช้แรงดันของเหลวแทนตัวกระทำ	5
รูปที่ 2.4 การอัดรีดขึ้นรูปแบบ Hydrostatic ใช้ของเหลวร่วมกับตัวกระทำ	5
รูปที่ 2.5 อุปกรณ์พื้นฐานในการดันขึ้นรูปแบบโดยตรง	6
รูปที่ 2.6 ตัวแปรพื้นฐานในกระบวนการดันขึ้นรูปแบบโดยตรง	6
รูปที่ 2.7 ระบายถดถอยเชิงพหุที่มีตัวแปรตาม Y และตัวแปรอิสระ X_1 และ X_2	10
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า e กับ \dot{Y}	21
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e_1 กับ t	22
รูปที่ 2.10 การแจกแจงของ Durbin-Watson	23
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y	24
รูปที่ 2.12 การแบ่งชุดข้อมูลของการทดสอบสมการ โดยวิธี k-fold cross-validation	31
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการพยากรณ์แรงอัดขึ้นรูปโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ	35
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี Hold-out	36
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี k-fold cross-validation	37
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของแรงอัดขึ้นรูปในแต่ละมุมคาน	38
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของแรงอัดขึ้นรูปในแต่ละสัมพันธ์กับความเสียดทาน	39
รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของแรงอัดขึ้นรูปในแต่ละความเร็วอัดขึ้นรูป	39
รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของแรงอัดขึ้นรูปในแต่ละอุณหภูมิขึ้นงาน	40
รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของแรงอัดขึ้นรูปในแต่ละอุณหภูมิขึ้นงาน	43
รูปที่ 4.6 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 2	49
รูปที่ 4.7 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 3	55
รูปที่ 4.8 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 4	60
รูปที่ 4.9 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 5	65
รูปที่ 4.10 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 6	71
รูปที่ 4.11 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 7	76
รูปที่ 4.12 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 8	81
รูปที่ 4.13 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 9	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
X_1	มูมคาย	องศา
X_2	สัมประสิทธิ์ความเสียหายของคาย	-
X_3	ความเร็วอัดขึ้นรูป	mm/s
X_4	อุณหภูมิชิ้นงาน	$^{\circ}\text{C}$
Y	แรงอัดขึ้นรูป	Ton
β	สัมประสิทธิ์ความถดถอย	-
$a, b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$	สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน	-
Beta	ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐาน	-
Std b	Regression Coefficient Standard Error	-
e	ค่าความคลาดเคลื่อน	Ton
MSR	Mean Square Regression	-
MSE	Mean Square Error	Ton^2
MSPR	Mean Square Prediction Error	Ton^2
SST	Sum Square of Total	Ton^2
SSR	Sum Square of Regression	-
SSE	Sum Square of Error	Ton^2
S^2	ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง	-
σ^2	ค่าความแปรปรวนของกลุ่มประชากร	-
R^2	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ	-
Adj R^2	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุปรับค่าแล้ว	-
r	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	-
VIF	Variance Inflation Factor	-
DW	Durbin-Watson	-
PRESS	Prediction Sum of Square	Ton^2
C_p	Mallows C_p Statistic	-
AIC _p	Akaike's Information Criterion	-
SBC _p	Schwarz' Bayesian Criterion	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กระบวนการอัดรีด (Extrusion) เป็นวิธีการหนึ่งในการขึ้นรูปโลหะ ไม่ว่าจะเป็นโลหะกลุ่มเหล็กหรือนอกกลุ่มเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย กระบวนการอัดรีดแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือกระบวนการอัดรีดร้อน (Hot Extrusion) และกระบวนการอัดรีดเย็น (Cold Extrusion) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องใช้เวลาในระดับสูงในการควบคุมปัจจัยต่างๆในการใช้งาน เช่น มุมคาย อุณหภูมิ และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของคาย เป็นต้น โดยปริยฐานิพนธ์นี้ได้พิจารณาเลือกศึกษา การอัดรีดร้อน และปัจจัยที่แตกต่างกัน 4 ตัว คือ มุมคาย สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของคาย ความเร็วในการอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิชิ้นงาน ที่มีผลต่อแรงในการอัดขึ้นรูป กระบวนการอัดรีดโดยทั่วไปจะทำการทดลองปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานหลายๆ ครั้ง ให้ได้มาซึ่งค่าแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมเพื่อลดขนาดชิ้นงานเริ่มต้นให้ได้ตามต้องการ ซึ่งในการทดลองอัดขึ้นรูปชิ้นงานแต่ละครั้งก่อให้เกิดการสูญเสียปัจจัยที่ใช้ในการผลิตเป็นจำนวนมากก่อนทำการผลิตจริง

ดังนั้น ปริยฐานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษาข้อมูลจากการทดลองมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ เพื่อทำนายแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งผลที่ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เข้ากับกระบวนการอัดรีดร้อนต่อไปในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างมุมคาย สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของคาย ความเร็วในการอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิชิ้นงาน ที่มีผลต่อแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อน
2. เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลจากการทดลองในกระบวนการอัดรีดร้อนโลหะ CK45
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานสุดท้ายเท่ากับครึ่งหนึ่งของชิ้นงานเริ่มต้น
3. ศึกษาตัวแปรในกระบวนการอัดรีดร้อน โดยพิจารณาปัจจัยที่แตกต่างกัน 4 ปัจจัย คือ มุมคาย สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของคาย ความเร็วในการอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิชิ้นงาน โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่นๆ นอกเหนือจากการศึกษาที่อาจมีผลต่อแรงในการอัดขึ้นรูปมีค่าคงที่
4. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยในกระบวนการอัดรีดรีออนที่มีผลต่อแรงในการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน
2. สามารถทำนายแรงในการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน จากการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการอัดรีดรีออน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักด้วยกัน คือ ทฤษฎีกรรมวิธีการอัดรีด และทฤษฎีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การอัดรีด

การอัดรีด (Extrusion) เป็นกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะในสภาวะร้อนหรือเย็นอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งใช้แรงอัดลงบนชิ้นงานให้ไหลออกมาจากแม่พิมพ์เป็นรูปร่างต่างๆ อาจจะเป็นแท่งตันหรือกลวงก็ได้ กรรมวิธีนี้จะกระทำได้โดยนำชิ้นงานเข้าไปในแม่แบบหรือเบ้าแบบปิด ซึ่งในเบ้าปิดนี้จะมีรูสำหรับให้วัสดุไหลหรือลอดออกตามปริมาตรที่ลดลงของเบ้าเนื่องจากแรงดันของตัวกระทำ วัสดุที่ถูกอัดหรือลอดออกจากเบ้านี้ เนื่องจากแรงอัดจะทำให้ชิ้นงานอาจติดอยู่กับแม่แบบ หรือติดออกมากับแกนบีบก็ได้ และชิ้นงานจะมีหน้าตัดที่สม่ำเสมอตามลักษณะของทางออกซึ่งเรียกกันว่า คายหรือแม่พิมพ์ ในการอัดรีดขึ้นรูปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ดังต่อไปนี้ (สมชัย ตัณฑวิรุฬห์, 2550.)

2.1.1 การอัดรีดโดยตรง

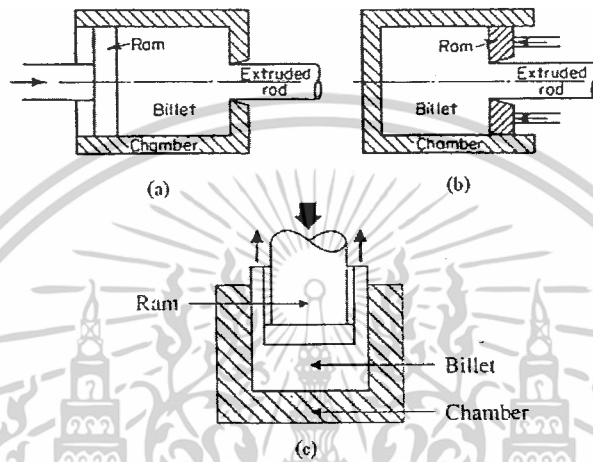
การอัดรีดโดยตรง (Direct Extrusion) อาจเรียกอีกอย่างว่า การอัดรีดขึ้นรูปไปด้านหน้า (Forward Extrusion) ในรูปที่ 2.1(a) แสดงการอัดรีดโดยตรง โดยตัวกระทำ (Punch) จะอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของชิ้นงาน (Billet) และจะดันให้ชิ้นงานไหลออกมาจากเบ้าแม่พิมพ์ (Container) ผ่านแม่พิมพ์ที่อยู่อีกด้านหนึ่งของชิ้นงาน เป็นรูปร่างและขนาดตามที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นหน้าตัดกลมตัน หน้าตัดกลมกลวง หรือหน้าตัดรูปหลายเหลี่ยมขึ้นอยู่กับรูปร่างของแม่พิมพ์นั่นเอง

2.1.2 การอัดรีดโดยอ้อม

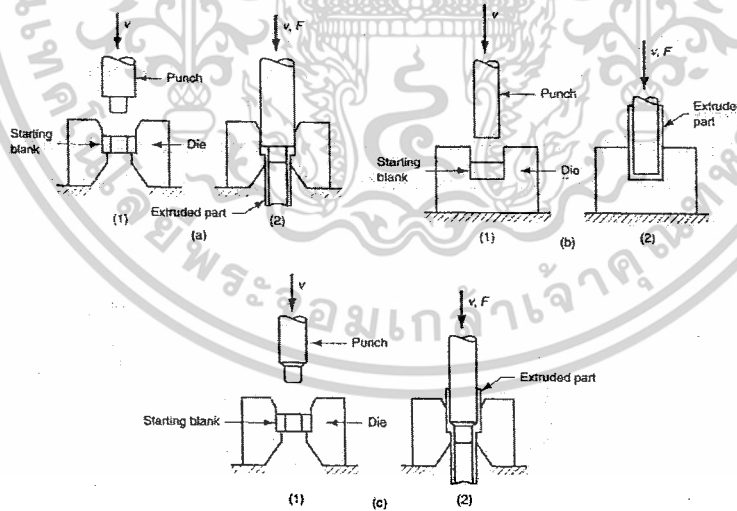
การอัดรีดโดยอ้อม (Indirect Extrusion) อาจเรียกตามลักษณะทิศทางการไหลออกของวัสดุจากแม่พิมพ์ได้อีกคือ การอัดรีดขึ้นรูปแบบสวนทาง (Backward Extrusion) ซึ่งในการดันแม่พิมพ์หรือคายน และตัวกระทำจะอยู่ที่ปลายของชิ้นงานด้านเดียวกัน จึงดูเหมือนว่าใช้แม่พิมพ์เป็นตัวดันงานเอง ทิศทางการไหลของโลหะหรือวัสดุที่ออกจากแม่พิมพ์จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับวิธีแรก หรือตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของการดัน จึงเรียกว่าการอัดรีดขึ้นรูปแบบสวนทางได้ แสดงในรูปที่ 2.1(b) ในการอัดรีดด้วยวิธีนี้ใช้กับงานที่มีขนาดจำกัด และมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ที่สำคัญใช้แรงในการดันน้อยกว่าวิธีแรก เนื่องจากผิวของชิ้นงานที่สัมผัสกับเบ้าแม่พิมพ์จะไม่มีการเคลื่อนที่เหมือนการอัดรีดโดยตรง

2.1.3 การอัดรีดแบบกระแทก

การอัดรีดแบบกระแทก (Impact Extrusion) เป็นการอัดรีดโดยอาศัยแรงกระแทกแสดงดังรูปที่ 2.1(c) สามารถผลิตชิ้นงานที่ต้องการผิวบางมากๆ ได้ โดยทั่วไปวัสดุที่จะนำมาทำการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จะต้องมีความอ่อน เช่น ตะกั่ว อลูมิเนียม ดีบุก และสังกะสี เป็นต้น ลักษณะของการอัดรีดขึ้นรูปแบบกระแทกมี 3 แบบ คือ ดันไปด้านหน้า (Forward) ดันสวนทาง (Backward) และดันแบบผสม (Combination) แสดงดังรูปที่ 2.2



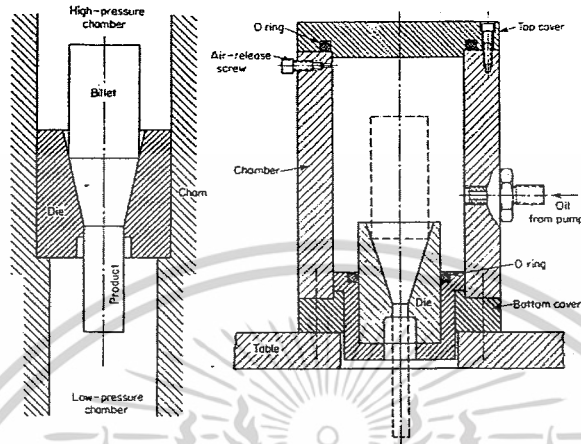
รูปที่ 2.1 การอัดรีดขึ้นรูป (a) Direct (b) Indirect (c) Impact extrusion



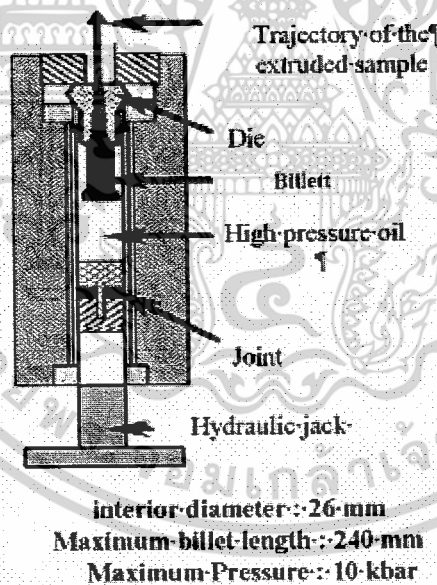
รูปที่ 2.2 การอัดรีดขึ้นรูปแบบกระแทกในลักษณะต่างๆ

ในกระบวนการอัดรีดโดยตรง (Direct Extrusion) นั้นมักจะพบปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เลยคือ ปัญหาเนื่องจากความเสียด (Friction) ระหว่างผิวสัมผัสของแท่งขึ้นงานกับเบ้าแม่พิมพ์ จึงได้มีการนำเอาระบบที่มีของเหลวมาร่วมกับตัวกระทุ้ง หรือใช้แรงดันของของเหลวดันให้ชิ้นงานไหลผ่านแม่พิมพ์แทนตัวกระทุ้ง เรียกว่าการเอกสารถึงเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

อครีดขึ้นรูปแบบ Hydrostatic Extrusion มาใช้แทน ซึ่งสามารถลดปัญหาดังกล่าวไปได้ รูปที่ 2.3 แสดงการอครีดขึ้นรูปโดยใช้ของเหลวแทนตัวกระทง ส่วนรูปที่ 2.4 ใช้ของเหลวร่วมกับตัวกระทง ซึ่งจะเห็นได้ว่าผิวของชิ้นงาน หรือวัสดุที่นำมาทำการขึ้นรูปนั้นจะไม่สัมผัสกับเบ้าแม่พิมพ์เลย



รูปที่ 2.3 ระบบที่ใช้แรงดันของเหลวแทนตัวกระทง



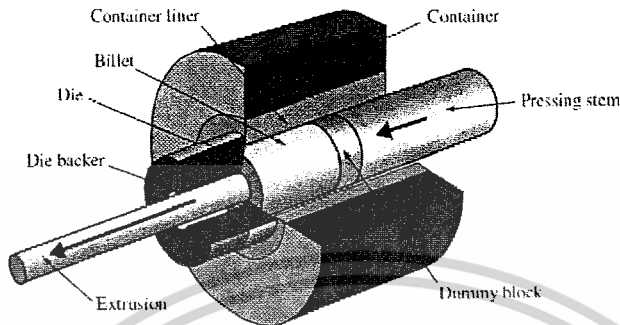
รูปที่ 2.4 การอครีดขึ้นรูปแบบ Hydrostatic ใช้ของเหลวร่วมกับตัวกระทง

2.1.4 ทฤษฎีการอครีดขึ้นรูปโดยตรง

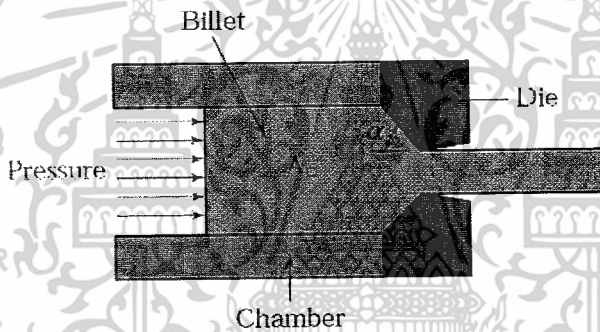
ในรูปที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานสำหรับการอครีดขึ้นรูปวิธีนี้ ชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจับยึดชุดจับแม่พิมพ์ เบ้าแม่พิมพ์ ตัวกระทง และอุปกรณ์เสริมต่างๆ รูปที่ 2.6 แสดงตัวแปรพื้นฐานในกระบวนการอครีดขึ้นรูปโดยตรง เช่น มุมคาย (Dies angle) อัตราส่วนการลดขนาดของพื้นที่หน้าตัด (Reduction ratio of cross section area)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 5
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วในการอัดขึ้นรูป (Extrusion speed) อุณหภูมิของชิ้นงาน และสารหล่อลื่นที่มีผลต่อความเสียหายทุกๆ ผิวสัมผัส



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์พื้นฐานในการอัดรีดขึ้นรูปโดยตรง



รูปที่ 2.6 ตัวแปรพื้นฐานในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปโดยตรง

เมื่อก้าวถึงการขึ้นรูปโลหะสิ่งหนึ่งที่มีจะต้องพิจารณา คือ การทำนายแรงที่กระทำจากภายนอก เพื่อให้โลหะเกิดการไหลและเปลี่ยนแปลงรูปทรงตามที่ต้องการ เนื่องจากในความจริงมักมีความไม่แน่นอน ซึ่งเกิดขึ้นจากผลของความเสียหายการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ไม่เป็นเอกพันธ์ และการทำให้แข็งด้วยความเครียดที่เกิดขึ้นจริงระหว่างการเปลี่ยนรูปที่ซับซ้อน จึงเป็นการยากที่จะทำนายแรงหรือภาระที่ต้องการในการขึ้นรูปได้อย่างแม่นยำตรง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาวิธีการต่างๆ และใช้สมมติฐานที่เหมาะสมกับปัญหา ทำให้สามารถประมาณค่าแรงที่ต้องการได้ ในการวิเคราะห์ได้พยายามคำนึงถึง ความไม่แน่นอนที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยรวมไว้ในสมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อให้สามารถประมาณค่าแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป แรงที่เป็นเงื่อนไขบังคับและวิธีการที่โลหะไหลได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด โดยทั่วไปแล้ววิธีการเหล่านี้ก็มีจุดอ่อนเช่นกันคือ ไม่สามารถที่จะทำนายคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ผ่านการเปลี่ยนรูปสูงสุดที่เป็นไปได้จนกระทั่งแตก หรือการแปรผันของผลจากความเสียหายระหว่างการเปลี่ยนรูป

2.1.5 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่จะนำมาผ่านกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปในการทดลองนี้ คือ Carbon Steel CK45 โดยมี แกรไฟต์ เป็นสารหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัส ในการศึกษาถึงแรงอัดขึ้นรูปที่เกิดขึ้นเนื่องจากตัวแปรในกระบวนการอัดรีดร้อนต่อสมบัติเชิงกลของ Carbon Steel CK45 ซึ่งคุณสมบัติต่างๆของ Carbon Steel CK45 ที่เลือกใช้แสดงดังต่อไปนี้ (บริษัท ไทย-เยอรมันสเปเชียลสตีลเซ็นเตอร์ จำกัด, 2551.)

Carbon Steel CK45 ที่ใช้ในการทดลองมีหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ความยาวขึ้นอยู่กับแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปแต่ละครั้ง โดยมีส่วนผสมทางเคมีและชื่อเรียกตามมาตรฐาน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของ Carbon Steel CK45

ส่วนผสมทางเคมี (%wt.)	C	Si	Mn	P	S
	0.42 - 0.50	≤ 0.40	0.50 - 0.80	≤ 0.035	≤ 0.035
AISI	1045				
JIS	S45C, S48C				
DIN	1.1191 (CK45/C45E)				
สภาพจำหน่าย	อบปกติ ความแข็ง ไม่เกิน 229 HB				

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของ Carbon Steel CK45

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ			
	20 °c	350 °c	700 °c	
การนำความร้อน Thermal Conductivity (W / m.K)	42.5	38.5	34.2	
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนระหว่าง 20 °c ถึง Coefficient of thermal expansion between 20 °c (µm / m.K)	100 °c	200 °c	300 °c	400 °c
	11.5	11.7	12.5	13.3
	500 °c	600 °c	700 °c	-
	13.9	14.3	14.4	-
โมดูลัสของการยืดหยุ่นที่ 20 °c Modulus of elasticity (10 ³ N / mm ²)	210			
ความจุความร้อนจำเพาะที่ 20 °c Specific heat at 20 °c (J / g. °c)	0.486			
ความหนาแน่น Density (g / cm ³)	7.80			
สภาพทางแม่เหล็ก (Magnetizability)	ซึมซับ			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกลของ Carbon Steel CK45

∅ (mm)	0.2% Y.S. (N/mm ²)	U.T.S. (N/mm ²)	E.L. (%)	Hard. (HB)
d ≤ 16	≥ 340	≥ 620	≥ 22	≥ 183
16 < d ≤ 40	≥ 305	≥ 580	≥ 22	≥ 172
40 < d ≤ 100	≥ 275	≥ 560	≥ 22	≥ 166

ตารางที่ 2.4 ข้อแนะนำในการขึ้นรูปร้อนของ Carbon Steel CK45

การขึ้นรูปร้อน (Hot working)	อุณหภูมิ (°C)	เย็นตัว
	1,100 - 850	ช้า (ในเตา)

2.2 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

ถ้ามีตัวแปรอิสระ k ตัว (X_1, X_2, \dots, X_k) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y โดยที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้นจะได้ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_1, X_2, \dots, X_k ดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 3.)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \quad (2.1)$$

โดยที่ β_0 คือ ส่วนตัดแกน Y เมื่อกำหนดให้ $X_1 = X_2 = \dots = X_k = 0$
 $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ คือ สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (Partial Regression Coefficient) โดยที่ β_i เป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม Y เมื่อตัวแปรอิสระ X_i เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ตัวแปรอิสระ X ตัวอื่นๆ มีค่าคงที่
 e คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

2.2.1 วิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย

การเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยมี 4 วิธีดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 4.)

2.2.1.1 วิธี Enter

เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าในสมการถดถอย ซึ่งการใช้วิธีนี้ผู้วิจัยจะต้องทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยใช้ F-test จากตาราง ANOVA และ t-test ผู้วิจัยจะต้องสรุปผลการทดสอบว่ามีตัวแปรอิสระใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม โดยใช้ผลการทดสอบ F-test และ t-test ตามลำดับ ซึ่งในปริภูมิพหุนั้นจะนำเสนอวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Enter ซึ่งผลที่ได้จากวิธีอื่นๆ จะให้ผลที่เหมือนกับวิธี Enter

2.2.1.2 วิธี Forward Selection

เป็นวิธีการพิจารณาว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม โดยจะเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยครั้งละ 1 ตัว ซึ่งจะทำให้การเลือกหลาย ๆ ครั้ง ในแต่ละครั้งจะเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการเพียง 1 ตัว โดยเลือกตัวแปรอิสระตัวที่ทำให้ความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y เพิ่มขึ้นมากที่สุด และจะหยุดนำตัวแปรอิสระเข้าสมการเมื่อนำเข้ามาเพิ่มแล้วไม่ได้ทำให้ความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเพิ่มมากขึ้น

2.2.1.3 วิธี Backward Elimination

เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ตรงข้ามกับวิธี Forward Selection โดยจะทำการตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y ออกจากสมการถดถอยครั้งละ 1 ตัว

2.2.1.4 วิธี Stepwise

เป็นวิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการ โดยใช้หลักการทั้งวิธี Forward Selection ในการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการ และวิธี Backward Elimination ในการตัดตัวแปรอิสระออกจากสมการ

2.2.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

จากสมการถดถอยเชิงพหุซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ $k+1$ ตัว คือ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ การประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ จะต้องใช้ข้อมูลตัวอย่างของ Y, X_1, X_2, \dots, X_k โดยใช้ตัวอย่างขนาด n จากสมการถดถอยเชิงพหุในสมการที่ 2.1 และจะประมาณค่า Y หรือจะประมาณสมการที่ 2.1 ด้วยสมการที่ 2.2

$$\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki} \quad (2.2)$$

โดยที่ $\hat{\beta}_0 = a, \hat{\beta}_1 = b_1, \hat{\beta}_2 = b_2, \dots, \hat{\beta}_k = b_k$

ดังนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า Y_i ด้วย \hat{Y}_i คือ $Y_i - \hat{Y}_i = e_i$ หรือที่เรียกว่า Residual หรือ Error การประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ ด้วยค่า a, b_1, b_2, \dots, b_k นั้นมีจุดประสงค์เพื่อให้ผลบวกของค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 2.) กรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว (X_1, X_2) ที่มีความสัมพันธ์กับ Y ดังนั้นสมการถดถอยจะเป็นดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + e_i \quad (2.3)$$

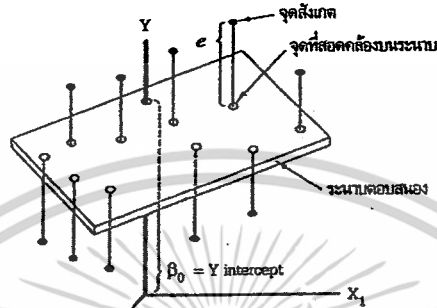
และค่าประมาณของ Y_i คือ

$$\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} \quad (2.4)$$

และค่าความคลาดเคลื่อน $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

กราฟของการถดถอยเชิงพหุจะเป็นพื้นผิวตอบสนอง (Response surface) แทนเส้นตรง ในกรณีที่สมการถดถอยมี 3 ตัวแปรคือ Y , X_1 และ X_2 กราฟจะอยู่ใน 3 มิติ ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงแผนภาพการกระจายของผิวตอบสนองเมื่อตัวแปรอิสระมี 2 ตัว สมการถดถอยเชิงพหุก็จะสร้างระนาบตอบสนอง (Response plane) จากรูปจะเห็นอนุกรมของจุดรอบๆ ระนาบ บางจุดอยู่เหนือระนาบ บางจุดอยู่ใต้ระนาบ โดยระยะแนวตั้งจาก Y_i คือระนาบความคลาดเคลื่อน e_i



รูปที่ 2.7 ระนาบถดถอยเชิงพหุที่มีตัวแปรตาม Y และตัวแปรอิสระ X_1 และ X_2

เนื่องจากต้องการ $\min \sum_{i=1}^n e_i^2 = \min \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ ดังนั้นจึงใช้อนุพันธ์ย่อยเทียบกับ a , b_1 และ b_2 แล้วทำให้

เท่ากับศูนย์ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial a} \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right] = \frac{\partial}{\partial a} \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 \right] = 0$$

$$-2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}) = 0$$

$$-2 \sum_{i=1}^n Y_i + 2na + 2b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + 2b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} = 0$$

$$na + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial b_1} \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right] = \frac{\partial}{\partial b_1} \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 \right] = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\begin{aligned}
& -2X_{1i} \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}) = 0 \\
& -2 \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i + 2a \sum_{i=1}^n X_{1i} + 2b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + 2b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} = 0 \\
& a \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} = \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i \tag{2.6} \\
& \frac{\partial}{\partial b_2} \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right] = \frac{\partial}{\partial b_2} \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 \right] = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -2X_{2i} \sum_{i=1}^n (Y_i - a - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i}) = 0 \\
& -2 \sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i + 2a \sum_{i=1}^n X_{2i} + 2b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} + 2b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 = 0 \\
& a \sum_{i=1}^n X_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 = \sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i \tag{2.7}
\end{aligned}$$

สมการที่ 2.5, 2.6, 2.7 เรียกว่า ชุดของสมการปกติ ดังนี้

$$\left. \begin{aligned}
na + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i} &= \sum_{i=1}^n Y_i \\
a \sum_{i=1}^n X_{1i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} &= \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i \\
a \sum_{i=1}^n X_{2i} + b_1 \sum_{i=1}^n X_{1i} X_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^n X_{2i}^2 &= \sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i
\end{aligned} \right\} \tag{2.8}$$

ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า a, b₁ และ b₂ โดยใช้เมทริกซ์ได้ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 \\ \sum X_2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix} \tag{2.9}$$

$$\text{หรืออาจใช้สัญลักษณ์} \quad X'Xb = X'Y \tag{2.10}$$

$$\text{โดยที่ } X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} \\ 1 & X_{12} & X_{22} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, X'Y = \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix}$$

$$\text{และ } b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = (X'X)^{-1} X'Y$$

$$\text{ดังนั้น } b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 \\ \sum X_1 & \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 \\ \sum X_2 & \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix}$$

$$\text{ถ้าให้ } X'X = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix}$$

$$\text{จะได้ } (X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & k \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & K \end{bmatrix}$$

$$\text{โดยที่ } A = \frac{(ek - fh)}{Z} \quad B = \frac{(bk - ch)}{Z} \quad C = \frac{(bf - ce)}{Z}$$

$$D = \frac{(dk - fg)}{Z} \quad E = \frac{(ak - cg)}{Z} \quad F = \frac{(af - cd)}{Z}$$

$$G = \frac{(dh - eg)}{Z} \quad H = \frac{(ah - bg)}{Z} \quad K = \frac{(ac - bd)}{Z}$$

และ Z เป็นดีเทอร์มิแนนต์ของเมตริกซ์ $X'X$ โดย $Z = a(ek - fh) - b(dk - fg) + c(dh - eg)$

$$\text{ดังนั้น } \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

2.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เมื่อมีตัวแปรอิสระหลายตัวในสมการถดถอย ซึ่งสามารถทดสอบความมีนัยสำคัญทั้งหมดของความสัมพันธ์ของการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ หรือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Y และเซตของตัวแปรอิสระ X_1, X_2, \dots, X_k โดยตั้งสมมติฐานดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 2.)

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \text{มี } \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ค่าที่ } \neq 0; i = 1, 2, \dots, k$$

สถิติสำหรับการทดสอบ คือ

$$F = \frac{MSR}{MSE} = \frac{(b'X'Y - n\bar{y}^2)/k}{(Y'Y - b'XY)/(n-k-1)} \quad (2.12)$$

ซึ่งจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้า $F > F_{k, n-k-1; 1-\alpha}$

ผลการทดสอบสมมติฐานอาจเป็นดังนี้

1. ยอมรับสมมติฐาน $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ ซึ่งสรุปได้ว่า Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ X ทั้ง k ตัว (X_1, X_2, \dots, X_k) ในรูปเชิงเส้น
2. ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หรือยอมรับสมมติฐาน H_1 ซึ่งสรุปได้ว่ามี X_i อย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับ Y บนรูปเชิงเส้น ซึ่งต้องทดสอบต่อไปว่า X_i ตัวใดมีความสัมพันธ์กับ Y โดยใช้สถิติทดสอบ t (t-test)

การทดสอบ F (F-test) นั้นจำเป็นต้องสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ดังตารางที่ 2.5 ส่วนค่า SST, SSR และ SSE จะคำนวณได้จากสมการที่ 2.13 ถึง 2.15 ดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 4.)

$$\text{จากสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ } Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e$$

ค่าแปรปรวนของ $Y =$ ค่าแปรปรวนที่เกิดจากอิทธิพลของ $X_1, X_2, \dots, X_k +$ ค่าแปรปรวนอย่างสุ่มหรือ $SST = SSR +$

$$SSE \text{ หรือ } SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2 = Y'Y - n\bar{y}^2 \quad (2.13)$$

$$SSR = b'X'Y - n\bar{y}^2 \quad (2.14)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^n [Y_i - (a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i})]^2 \quad (2.15)$$

$$\text{หรือ } SSE = SST - SSR = Y'Y - b'X'Y$$

โดยที่	SST (Sum Square of Total)	คือ ค่าแปรปรวนทั้งหมดของ Y
	SSR (Sum Square of Regression)	คือ ค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลของ X_1, X_2, \dots, X_k
	SSE (Sum Square of Error)	คือ ค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ

ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์เชิงพหุ

แหล่งแปรปรวน (SV)	องศาอิสระ (DF)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย (MS)	F
ความถดถอย (Regression)	k	SSR	$MSR = \frac{SSR}{k}$	$\frac{MSR}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน (Error) หรือ Residual	n-k-1	SSE	$MSE = \frac{SSE}{n-k-1}$	
ผลรวม	n-1	SST		

2.2.4 การประมาณค่าความคลาดเคลื่อน

การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการถดถอย หรือการประมาณค่าความแปรปรวนของการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประมาณค่า $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + e_i$ ด้วย $\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i}$ เป็นค่าความคลาดเคลื่อน $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 2.)

กรณีที่มีตัวแปรอิสระ k ตัว จะได้ค่าความแปรปรวนของการประมาณคือ $S_e^2 = S_{y.12..k}^2 = S^2$ โดยที่

$$S^2 = \frac{SSE}{n-k-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-k-1} \quad (2.16)$$

ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อน หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการประมาณค่า คือ

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{SSE}{(n-k-1)}} = \sqrt{MSE} \quad (2.17)$$

กรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ (X_1, X_2) จะได้

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2-1} = MSE \quad (2.18)$$

2.2.5 การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย

ในการประมาณค่า β_i ด้วยค่า b_i แบบช่วงนั้น จะต้องทราบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ b_i ; $i = 1, 2, \dots, k$ โดยที่ค่าความแปรปรวนของ b_i คือ $(b) = S^2(b) = (X'X)^{-1}S^2$ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 2.)

กรณีที่มี $k=2$ หรือมีตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ (X_1, X_2) จะได้

$$b = \begin{bmatrix} a \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, S_b^2 = \begin{bmatrix} S_a^2 & S_{a,b1} & S_{a,b2} \\ S_{a,b1} & S_{b1}^2 & S_{b1,b2} \\ S_{a,b2} & S_{b1,b2} & S_b^2 \end{bmatrix}$$

และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ b_i คือ

$$S_{b1} = \sqrt{S_{b1}^2} = \frac{S}{\sqrt{\sum X_1^2 (1-r_{12}^2)}} \quad (2.19)$$

$$S_{b2} = \sqrt{S_{b2}^2} = \frac{S}{\sqrt{\sum X_2^2 (1-r_{12}^2)}} \quad (2.20)$$

$$r_{12} = \frac{\sum X_1 X_2}{\sqrt{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2)}} \quad (2.21)$$

โดยที่ $X_i = (X_i - \bar{X}_i)$

r_{12} = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X_1 กับ X_2

2.2.6 สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน

ถ้ามีตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (Y) 3 ตัว คือ X_1, X_2 และ X_3 สมการถดถอยเชิงพหุ คือ $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + e$ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 3.)

$$\text{ค่าประมาณของ } Y \text{ คือ } \hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 \quad (2.22)$$

จากสมการที่ 2.22 ค่าประมาณของ $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ และ β_3 คือ a, b_1, b_2 และ b_3 ตามลำดับโดยที่

a คือ ส่วนหรือระยะตัดแกน Y ซึ่งเมื่อกำหนดให้ $X_1 = X_2 = X_3 = 0$

b_1, b_2 และ b_3 เป็นค่าประมาณของสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน ซึ่งมีหน่วยเหมือน Y และมีความหมายดังนี้

- b_1 เป็นค่าซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_1 หมายถึง ถ้า X_1 เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้ Y เปลี่ยนไป b_1 หน่วย (ขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ b_1) โดยที่กำหนดให้ตัวแปรอิสระอื่นๆ คือ X_2 และ X_3 มีค่าคงที่
- b_2 เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_2 หมายถึง ถ้า X_2 เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้ Y เปลี่ยนไป b_2 หน่วย โดยที่กำหนดให้ตัวแปรอิสระอื่นๆ คือ X_1 และ X_3 มีค่าคงที่

ในทำนองเดียวกัน b_3 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X_3 โดยที่ถ้า X_3 เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะทำให้ Y เปลี่ยนไป b_3 หน่วย โดยควบคุมให้ X_1 และ X_2 มีค่าคงที่

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การถดถอย

ในการทดสอบเกี่ยวกับค่า β_i เมื่อมีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว จะมี 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$

H_1 : มี β_i อย่างน้อย 1 ค่าที่ $\neq 0$; $i = 1, 2, \dots, k$

การทดสอบจะใช้ F-test จากตาราง ANOVA

- ถ้ายอมรับ H_0 จะสรุปได้ว่า X_1, X_2, \dots, X_k ไม่มีความสัมพันธ์กับ Y
- ถ้าปฏิเสธ H_0 จะสรุปได้ว่ามี X_i อย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับ Y จึงต้องทดสอบขั้นต่อไปในขั้นที่ 2 ว่ามี X ตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับ Y

ขั้นที่ 2 สมมติฐาน $H_0: \beta_i = 0$

$H_1: \beta_i \neq 0$

สถิติทดสอบ $t = \frac{b_i - 0}{sb_i}$ หรือใช้สถิติทดสอบ Z ถ้า n มีค่ามาก

เขตปฏิเสธสมมติฐาน H_0

จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อ $t_{1-\alpha/2; n-k-1}$ หรือ $t < -t_{1-\alpha/2; n-k-1}$

หรือกล่าวว่าจะปฏิเสธ H_0 ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2; n-k-1}$ หรือ Significance ของสถิติ $t <$ ระดับนัยสำคัญที่กำหนด α

ตารางที่ 2.6 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การถดถอย β_i ในขั้นที่ 2

	การทดสอบแบบด้านเดียว		การทดสอบแบบสองด้าน
สมมติฐาน	$H_0: \beta_i \leq 0$ $H_1: \beta_i > 0$	$H_0: \beta_i \geq 0$ $H_1: \beta_i < 0$	$H_0: \beta_i = 0$ $H_1: \beta_i \neq 0$
สถิติทดสอบ	$t = b_i / sb_i$		$t = b_i / sb_i$
เขตปฏิเสธ H_0	$t > t_{1-\alpha/2; n-k-1}$ หรือ 1. $\frac{\text{Sig.}}{2} < \alpha$ และ 2. $t > 0$	$t < -t_{1-\alpha/2; n-k-1}$ หรือ 1. $\frac{\text{Sig.}}{2} < \alpha$ และ 2. $t > 0$	$ t > t_{1-\alpha/2; n-k-1}$ หรือ Sig. ของ $t < \alpha$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.2.7 สัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐาน

ค่า Beta หรือค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐาน (Standardized Regression Coefficient) สามารถคำนวณได้ดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 2.)

$$\text{Beta}_j = b_j \frac{S_j}{S_y} \tag{2.23}$$

โดยที่ b_j = สัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแปรอิสระที่ j ; $j = 1, 2, \dots, k$

S_j = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรอิสระที่ j (X_j)

S_y = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตาม Y

ค่า b_j ของตัวแปรอิสระที่ j หมายถึงค่า Y ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อ X_j เปลี่ยนไป 1 หน่วย กรณีที่มีตัวแปรอิสระหลายตัว (k ตัว) การเปรียบเทียบอิทธิพลหรือความสำคัญของ X_j ที่มีต่อ Y จะสามารถนำค่า b_j ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวมาเปรียบเทียบกัน ได้ถ้าตัวแปรอิสระทุกตัวมีหน่วยเหมือนกัน แต่จะพบว่าในทางปฏิบัติตัวแปรมักจะมีหน่วยแตกต่างกัน การที่ตัวแปรอิสระมีหน่วยต่างกัน จะมีผลต่อค่า b ด้วย ถ้าต้องการนำค่า b_j มาเปรียบเทียบกันจะต้องทำให้อยู่ในรูปมาตรฐานเสียก่อน นั่นคือทำให้ b ไม่มีหน่วย ค่า Beta_j เป็นค่ามาตรฐานของ b_j ซึ่งจะไม่มีหน่วยจึงสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

ถ้าตัวแปรอิสระตัวใดมีค่า Beta มาก (อาจเป็นบวก หรือลบก็ได้) แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นมีความสำคัญกับตัวแปรตามมากด้วย

2.2.8 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (Multiple Coefficient of Determination: R^2 หรือ r^2) เป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระ (X_1, X_2, \dots, X_k) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y ได้ หรือกล่าวได้ว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุเป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ความผันแปร Y ที่มีสาเหตุเนื่องจากความผันแปรของ X_1, X_2 และ X_k โดยที่สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุจะใช้สัญลักษณ์ $R^2_{Y.123\dots k}$ แต่โดยทั่วไปจะใช้ R^2 (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 4.)

$$R^2 = r^2 = \frac{\text{ความผันแปรของ } Y \text{ เนื่องจากอิทธิพลของ } X_1, X_2, \dots, X_k}{\text{ความแปรผันทั้งหมด}} = \frac{\text{SSR}}{\text{SST}} \tag{2.24}$$

โดยที่ $0 \leq R^2, r^2 \leq 1$

ถ้าค่า R^2 ที่ใกล้ 1 จะหมายถึง X_1, X_2, \dots, X_k มีความสัมพันธ์กับ Y มาก แต่ถ้าค่า R^2 เข้าใกล้ 0 จะหมายถึงค่า X_1, X_2, \dots, X_k มีความสัมพันธ์กับ Y น้อย

เนื่องจาก SSR จะเพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มตัวแปรอิสระ เช่น เติมมี X_1 และ X_2 มีความสัมพันธ์กับ Y แต่ถ้าเพิ่มตัวแปรอิสระ X_3 เข้าในสมการถดถอย จะได้ว่า

$$\text{SSR}(X_1, X_2, X_3) > \text{SSR}(X_1, X_2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 17
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $SSR(X_1, X_2, X_3)$ หมายถึง SSR ของสมการถดถอยที่มีตัวแปรอิสระ X_1, X_2 และ X_3
 และ $SSR(X_1, X_2)$ หมายถึง SSR ของสมการถดถอยที่มีตัวแปรอิสระ X_1 และ X_2
 ดังนั้น เมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยจะทำให้ค่า R^2 มากขึ้นทั้งที่ตัวแปรอิสระ X ที่เพิ่มอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับ Y เลยก็ได้ จึงได้มีการปรับค่า R^2 ให้ถูกต้องขึ้น เรียกว่า Adjusted R^2 โดยที่

$$R_{adj}^2 = \text{Adjusted } R^2 = 1 + \frac{(n-1)}{(n-k-1)}(R^2 - 1) \quad (2.25)$$

กรณีที่มีตัวแปรอิสระหลายตัว จะพิจารณาจากค่า R_{adj}^2 มากกว่าค่า R^2

2.2.9 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงพหุ

ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงพหุ (Multiple Coefficient of Correlation) ได้จากการถอดรากที่สองของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 3.)

$$\text{ดังนั้น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงพหุ} = R_{Y.12\dots k} = R = \sqrt{R_{Y.12\dots k}^2} \quad \text{โดยที่ } 0 \leq R \leq 1$$

โดยที่ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงพหุ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ \hat{Y} ถ้าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงพหุมีค่ามากกว่าแสดงว่าค่า \hat{Y} ใกล้เคียงกับค่า Y มาก

1. R มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า Y มีความสัมพันธ์กับ X_1, X_2, \dots, X_k น้อยมาก และถ้า $R = 0$ แสดงว่า Y ไม่มีความสัมพันธ์กับ X_1, X_2, \dots, X_k เลย
2. R มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า Y มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระทั้ง k ตัวมีมาก

2.2.10 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน (Coefficient of Partial Correlation) เป็นการวัดค่าระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง Y และ X ตัวใดตัวหนึ่ง โดยให้ X ตัวอื่น ๆ มีค่าคงที่ ถ้ามีตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ X_1 และ X_2 ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y ซึ่งสมการสำหรับคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคู่ใดคู่หนึ่งเป็นดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 2.)

$$r_{12} = \frac{\sum(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum(x_1 - \bar{x}_1)^2 \sum(x_2 - \bar{x}_2)^2}} = \frac{\sum x_1 x_2}{\sqrt{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2)}}$$

โดยที่ $y = Y - \bar{Y}$, $x_i = X_i - \bar{X}_i$; $i=1,2$

$$r_{y1} = \frac{\sum(y - \bar{y})(x_1 - \bar{x}_1)}{\sqrt{\sum(y - \bar{y})^2 \sum(x_1 - \bar{x}_1)^2}} = \frac{\sum y x_1}{\sqrt{(\sum y^2)(\sum x_1^2)}}$$

$$r_{Y2} = \frac{\sum(Y - \bar{Y})(X_2 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum(Y - \bar{Y})^2 \sum(X_2 - \bar{X}_2)^2}} = \frac{\sum YX_2}{\sqrt{(\sum Y^2)(\sum X_2^2)}}$$

ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนได้ดังนี้

$$r_{Y1,2} = \frac{r_{Y1} - r_{Y2} \cdot r_{12}}{\sqrt{(1 - r_{Y2}^2)(1 - r_{12}^2)}} \quad (2.26)$$

$$r_{Y2,1} = \frac{r_{Y2} - r_{Y1} \cdot r_{12}}{\sqrt{(1 - r_{Y1}^2)(1 - r_{12}^2)}} \quad (2.27)$$

โดยที่ $r_{Y1,2}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่าง Y กับ X_1 เมื่อกำหนดให้ X_2 คงที่
 $r_{Y2,1}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่าง Y กับ X_2 เมื่อกำหนดให้ X_1 คงที่

2.2.11 การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ

เนื่องจากเงื่อนไขข้อหนึ่งของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุคือ ตัวแปรอิสระทุกตัวต้องเป็นอิสระต่อกัน การตรวจสอบเงื่อนไขนี้จะทำโดยการให้ตัวแปรอิสระตัวหนึ่งเป็นตัวแปรตาม ส่วนตัวแปรอิสระที่เหลือเป็นตัวแปรอิสระ กรณีที่มีตัวแปรอิสระ k ตัว และให้ X_i เป็นตัวแปรตาม ได้สมการถดถอยดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 3.)

$$X_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_{i-1} X_{i-1} + \beta_{i+1} X_{i+1} + \dots + \beta_k X_k + e \quad (2.28)$$

ตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันจะให้รายละเอียดที่คล้ายคลึงกันต่อตัวแปรตาม จึงเป็นการยากที่จะแยกอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัว ดังนั้นจะอาศัยค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ 2 ค่า คือ ค่า Tolerance และค่า Variance Inflation Factor (VIF) (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 3.)

2.2.11.1 ค่า Tolerance

$$\text{Tolerance ของตัวแปร } X_i = 1 - R_i^2 \quad (2.29)$$

โดยที่ R_i = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงพหุ

ถ้าค่า Tolerance ของตัวแปร X_i มีค่าต่ำ แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_i มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ มาก เนื่องจาก Tolerance ของตัวแปร $X_i = 1 - R_i^2$ ถ้า Tolerance มีค่าน้อย แสดงว่า R_i^2 มีค่ามาก และ R_i^2 คือสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X_i กับตัวแปรอิสระอื่นๆ มีค่ามาก นั่นคือ X_i มีความสัมพันธ์กับตัว

แปรอิสระอื่นๆ มากนั่นเอง หรือกล่าวได้ว่า ถ้าค่า Tolerance มีค่าใกล้ศูนย์ แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_i มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ มาก นั่นคือ เกิด Multicollinearity เป็นการขัดแย้งกับเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

2.2.11.2 ค่า VIF

$$\text{VIF ของตัวแปรอิสระ } X_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (2.30)$$

ค่า VIF ก็คือส่วนกลับของค่า Tolerance นั่นคือ ถ้า VIF มีค่ามากแสดงว่าตัวแปรอิสระ X_i มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ มาก

2.2.12 การตรวจสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความถดถอย

ก่อนที่จะทำนายค่า Y ด้วยสมการถดถอยโดยกำหนด X นั้น ค่าความคลาดเคลื่อน (e) จะต้องมีคุณสมบัติตามสมมติฐานทั้ง 5 ข้อ ดังนี้ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 3.)

2.2.12.1 ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ ($E(e) = 0$)

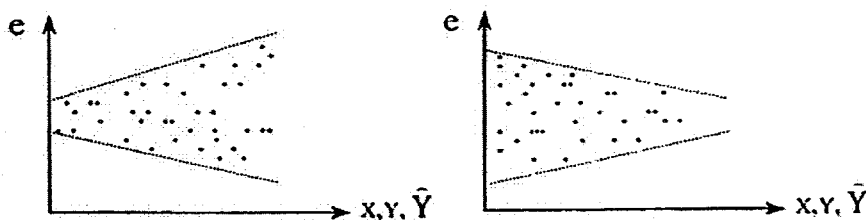
การหาค่า a และ b โดยทำให้ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำสุดจะทำให้ $\sum e_i^2 = 0$ และเนื่องจาก ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน $= E(e) = \frac{\sum e_i}{n} = \frac{0}{n} = 0$ ดังนั้นเงื่อนไขข้อนี้จึงเป็นจริงเสมอเมื่อใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการหาค่า a และ b

2.2.12.2 ค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่ทุกค่าของ X

เป็นการตรวจสอบว่า $V(e) = V(Y) = \sigma^2 =$ ค่าคงที่ทุกค่าของ X สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

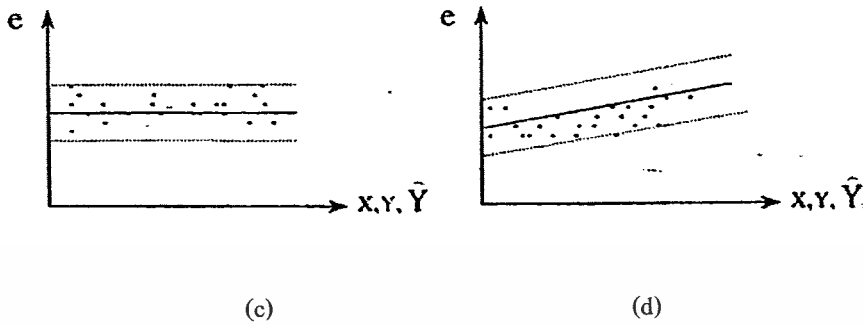
1. พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า e กับ \hat{Y}

ถ้า $V(e)$ ไม่เท่ากับค่าคงที่ เรียกว่า เกิดปัญหา Heteroscedastic ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (a) และ 2.8 (b) แต่ถ้า $V(e) =$ ค่าคงที่ ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ดังรูปที่ 2.8 (c) และ 2.8 (d) คือ ค่า e จะกระจายอยู่รอบๆ ศูนย์ หรือมีค่าในช่วงหนึ่งแคบๆ ไม่ว่า X หรือ Y เปลี่ยนไปอย่างไร



(a)

(b)



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า e กับ \hat{Y}

จากรูปที่ 2.8 (a) จะพบว่า σ_e^2 จะมีค่าน้อยเมื่อ \hat{Y} มีค่าน้อย และเมื่อ \hat{Y} มีค่ามากจะทำให้ σ_e^2 มีค่ามากด้วย ขณะที่รูปที่ 2.8 (c) และ 2.8 (d) ค่า σ_e^2 จะคงที่เมื่อ \hat{Y} เปลี่ยนไป ส่วนรูปที่ 2.8 (b) ค่า σ_e^2 จะมีค่าน้อยเมื่อ \hat{Y} มีค่ามาก

2. ใช้สถิติทดสอบ โกลด์เฟลด์-ควอนด์ท (Goldfeld-Quandt Test)

ถ้าในตัวแบบมีตัวแปรอิสระหลายตัว ให้ยึดตัวแปรอิสระที่มีความแปรปรวนมากเป็นหลักในการเรียงลำดับจากน้อยไปมาก แล้วดำเนินขั้นตอนดังนี้ (วราพร เหลือสินทรัพย์, 2551.)

ขั้นที่ 1 แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กันถ้าจำนวนข้อมูลเป็นเลขคี่ ให้ตัดข้อมูลชุดกลางออก

ขั้นที่ 2 สมมติฐานที่ทดสอบ คือ

$$H_0 : \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2 \text{ (Homoscedasticity)}$$

$$H_1 : \sigma_1^2 < \sigma_2^2 \text{ (Heteroscedasticity)}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณตัวสถิติโดยใช้ F-Test

$$F = \frac{\hat{\sigma}_2^2}{\hat{\sigma}_1^2} = \frac{SSE_2 / (L - P)}{SSE_1 / (L - P)} = \frac{SSE_2}{SSE_1}$$

เมื่อ L = จำนวนข้อมูลที่อยู่ในแต่ละกลุ่ม

P = จำนวนพารามิเตอร์

ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ถ้าค่า F มีค่ามากกว่าค่า $f_{\alpha, (L-P, L-P)}$ ที่เปิดจากตาราง

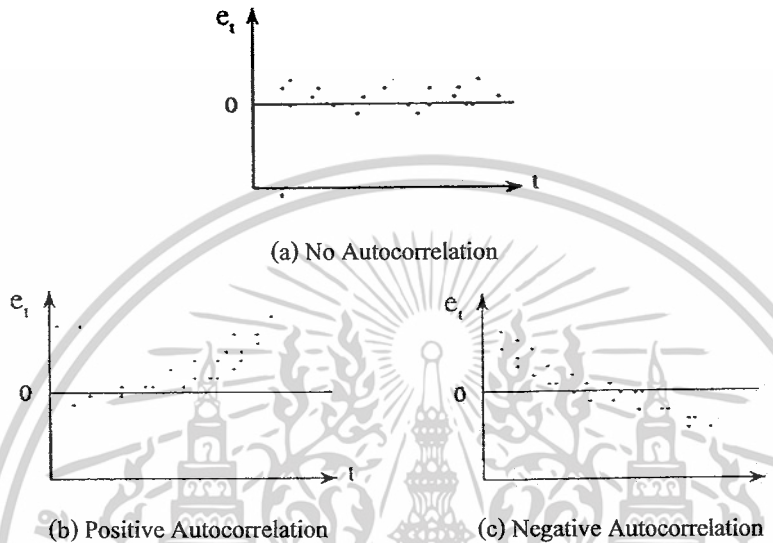
ข้อสังเกต:

ถ้าใช้ข้อมูลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล (Untransformed data) ทดสอบปรากฏว่าปฏิเสธ H_0 ให้เปลี่ยนแปลงข้อมูล (Transformed data) แล้วทดสอบโดยวิธีนี้ใหม่

2.2.12.3 ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

การตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกันของ e_t และ e_j โดยที่ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ และ $e_j = Y_j - \hat{Y}_j$ ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e_t กับ t



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e_t กับ t

ถ้า e_t และ e_j มีความสัมพันธ์จะเรียกว่า เกิด Autocorrelation ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (b) และ รูปที่ 2.9 (c) โดยรูปที่ 2.9 (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e_t กับ e_{t+j} ในทิศทางบวก ที่เรียกว่า Positive Autocorrelation ส่วนรูปที่ 2.9 (c) แสดงความสัมพันธ์ในทิศทางลบ เรียกว่า Negative Autocorrelation และในรูปที่ 2.9 (a) แสดงความอิสระต่อกันของ e_t กับ e_{t+j} ถ้าเขียนกราฟระหว่าง e_t กับ t ได้ดังรูปที่ 2.9 (a) แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน

2. ใช้สถิติทดสอบ Durbin-Watson (DW)

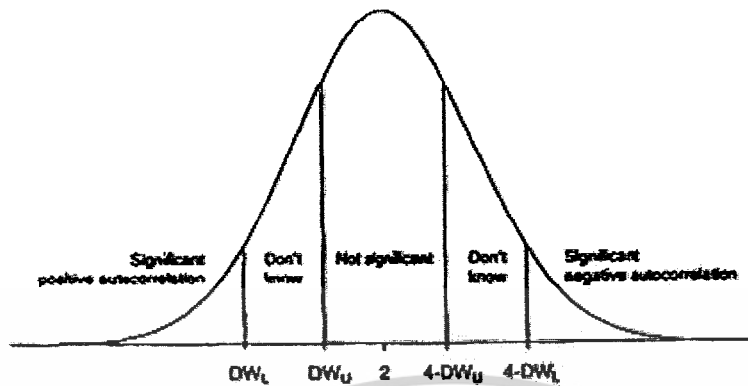
การทดสอบของ Durbin-Watson เป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าสหสัมพันธ์ในตัวเองของอนุกรมเวลาของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยโดยจะเป็นการทดสอบสมมติฐานดังนี้ (วิชิต หล่อจีระฐนกุล, 2548.)

$$H_0: \rho_1 = 0$$

$$H_1: \rho_1 \neq 0$$

โดย ρ_1 เป็นค่าสหสัมพันธ์ในตัวเองของค่าความคลาดเคลื่อนที่ห่างกันหนึ่งหน่วยเวลาซึ่งมีสถิติทดสอบดังนี้

$$DW = \frac{\sum_{t=1}^n (e_t - e_{t-1})^2}{2 \sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (2.31)$$



รูปที่ 2.10 การแจกแจงของ Durbin-Watson

การทดสอบสองทางที่ระดับนัยสำคัญ α

- ถ้าค่า $DW < DW_L$ หรือ $4 - DW < DW_L$ จะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 2α
- ถ้าค่า $DW > DW_U$ และ $4 - DW > DW_U$ จะไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 2α
- ถ้านอกเหนือจาก 2 เงื่อนไขนี้ การทดสอบไม่มีข้อสรุป

ในกรณีที่การทดสอบได้ผลลัพธ์ว่าไม่มีข้อสรุป อาจจะใช้การทดสอบที่ลดมาตรฐานลงโดยให้การทดสอบมีค่าวิกฤตเฉพาะ DW_U เท่านั้น แล้วถ้าค่า $DW < DW_U$ หรือ $4 - DW < DW_U$ จะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 2α

2.2.12.4 ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

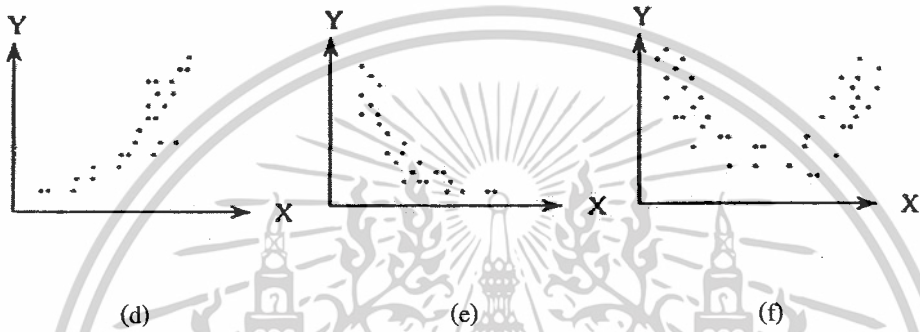
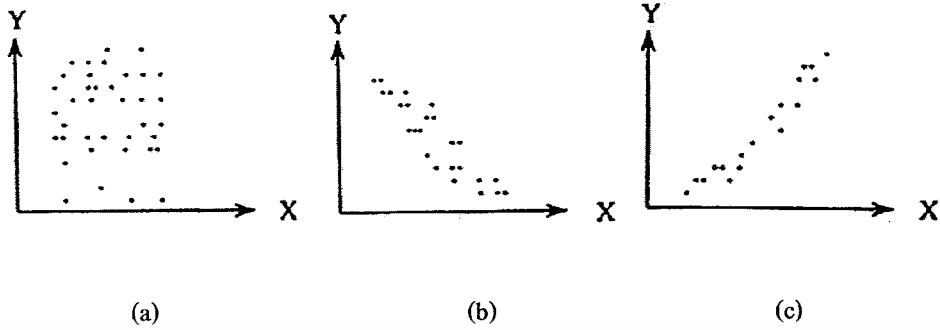
การทดสอบว่า e_t มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น สามารถตรวจสอบได้โดยใช้กราฟ เช่น Histogram และ Normal Probability Plot หรือใช้สถิติทดสอบ เช่น Kolmogorov-Smirnov, Levene's Test และ Lilliefort's Test

2.2.12.5 ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

การทดสอบว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันหรือไม่นั้น สามารถตรวจสอบได้โดยใช้สถิติทดสอบ เช่น ค่า Tolerance หรือ VIF

2.2.13 การตรวจสอบรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงปริมาณ 2 ตัว

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวนั้น อาจจะมีหลายรูปแบบ เช่น สัมพันธ์กันในเชิงเส้น เส้นโค้ง พาราโบลา เป็นต้น ดังนั้น ก่อนที่จะคำนวณค่าสถิติเพื่อแสดงระดับความสัมพันธ์จึงควรมีการตรวจสอบลักษณะของความสัมพันธ์ก่อน วิธีการตรวจสอบที่ง่ายที่สุด คือ การสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เมื่อได้กราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y แล้วก็จะทราบว่าความสัมพันธ์ที่ได้นั้นอยู่ในรูปแบบใด จากนั้นจึงเลือกวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับรูปแบบนั้นๆ (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2551, เล่ม 3.)



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y

โดยที่ รูปที่ 2.11 (a) หมายถึง ตัวแปร X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กัน
 รูปที่ 2.11 (b) หมายถึง ตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นและเป็นลบ หรือมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงข้าม นั่นคือ ถ้า X เพิ่มขึ้น Y จะลดลง แต่ถ้า X ลดลง Y จะเพิ่มขึ้น
 รูปที่ 2.11 (c) หมายถึง ตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นและเป็นบวก หรือมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ ถ้า X เพิ่ม Y จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้า X ลดลง Y จะลดลงด้วย
 รูปที่ 2.11 (d) หมายถึง ตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กันในรูป Exponential และเป็นบวก
 รูปที่ 2.11 (e) หมายถึง ตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กันในรูป Exponential และเป็นลบ
 รูปที่ 2.11 (f) หมายถึง ตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปพาราโบลา

2.2.14 การเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามเงื่อนไข

1. ถ้าค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ Y มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าการแจกแจงของค่าความคลาดเคลื่อนเบ้ขวา หรือเบ้บวก จึงจะเปลี่ยนรูปแบบของตัวแปร Y เพื่อยังคงทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y อยู่ในรูปเชิงเส้นดังนี้

$$Y' = \log(Y): Y > 0 \quad (2.32)$$

2. ถ้าค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนเป็นสัดส่วนกับค่าคาดหวังของ Y หรือการแจกแจงของค่าความคลาดเคลื่อนเบ้ทางซ้าย หรือเบ้ขวา และต้องการให้ความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y อยู่ในรูปเชิงเส้นจะต้องเปลี่ยนรูปแบบของตัวแปร Y เป็น

$$Y' = Y^2 \quad (2.33)$$

3. ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นสัดส่วนกับค่าคาดหวังของ Y จะต้องแปลงรูปแบบของ Y เป็น

$$Y' = \sqrt{Y}; Y > 0 \quad (2.34)$$

4. ถ้าค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อ Y เพิ่มขึ้นภายใต้เงื่อนไขจะต้องเปลี่ยน Y เป็น

$$Y' = \frac{1}{Y} \quad (2.35)$$

2.2.15 ปัญหาสหสัมพันธ์ของตัวรบกวน

ปัญหาสหสัมพันธ์ของตัวรบกวน (Autocorrelation) คือ ปัญหาที่เกิดจากตัวรบกวน (Disturbance term) ในแต่ละช่วงเวลามีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ซึ่งมีลักษณะความสำคัญดังต่อไปนี้ (ทศนิยม ชังเทศ, 2530.)

2.2.15.1 ข้อสมมติในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหการถดถอย

ค่าความคลาดเคลื่อนต้องไม่มีความสัมพันธ์กันในเวลาที่ต่างกัน หรือ ที่เรียกว่า Non-autocorrelation

2.2.15.2 สาเหตุของการเกิดปัญหาสหสัมพันธ์ของตัวรบกวน

การเกิดปัญหาสหสัมพันธ์ของตัวรบกวน มีสาเหตุหลัก ๆ 3 ประการ ดังนี้

1. การละเลยตัวแปรที่มีความสำคัญออกจากฟังก์ชันที่ศึกษา ทำให้ตัวแปรที่ถูกละเลยมีความสัมพันธ์กับตัวรบกวน ทำให้ตัวรบกวนมีความสัมพันธ์กัน โดยผ่านตัวแปรอิสระที่ถูกละเลย
2. เกิดจากการกำหนดรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของสมการผิดไปจากความเป็นจริง (Incorrect functional form)
3. เกิดจากปัจจัยที่อยู่เบื้องหลังตัวรบกวนโดยตรง คือมีบางกรณีที่ตัวรบกวนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งโดยตัวมันเองจะส่งผลกระทบต่อไปยังช่วงเวลาอื่นๆ กล่าวอีกนัยคือ ทำให้ค่าตัวรบกวนที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาไม่เป็นอิสระต่อกัน กรณีนี้เราเรียกว่าเกิดสภาพ “True autocorrelation” หรือ “Pure autocorrelation” ซึ่งแตกต่างจากสองกรณีแรกที่ว่าสาเหตุของการเกิด ไม่ได้เกิดจากลักษณะของตัวรบกวนเราจึง เรียกว่า Impure autocorrelation

2.2.15.3 ผลกระทบของปัญหาสหสัมพันธ์ของตัวรบกวน

- ตัวประมาณค่าโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดยังคงเป็น Unbiased
- ความแปรปรวน (Variance) ของค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะไม่มีค่าต่ำสุด ซึ่งทำให้ตัวประมาณค่าของพารามิเตอร์โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดไม่มีคุณสมบัติเป็น Efficiency
- ความแปรปรวนของตัวรบกวนอาจจะมีค่าต่ำกว่า (Underestimate) ที่เป็นจริง

$R^2 =$ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ

- ถ้าค่า R^2 หรือ Adjusted R^2 มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระชุดนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมาก
- แต่ถ้า R^2 หรือ Adjusted R^2 มีค่าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระชุดนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือมีความสัมพันธ์น้อยมาก

2.2.16.2 Mallows C_p Statistic

$$C_p = (SSE_p / MSE_p) - (n - 2p) \quad (2.39)$$

กำหนดให้

$p =$ จำนวนตัวแปรอิสระทั้งหมดรวม β_0

$SSE_p =$ Sum of square error

$MSE_p =$ Mean square error

$n =$ จำนวนตัวอย่าง

ในการเลือกสมการถดถอยให้เลือกสมการที่มีค่า C_p น้อยที่สุด โดยเปรียบเทียบจากสมการทั้งหมดและค่าที่ได้นี้จะต้องมีค่าที่ใกล้ p ของสมการนั้น

2.2.16.3 Akaike's Information Criterion

$$AIC_p = n \ln SSE_p - n \ln n + 2p \quad (2.40)$$

กำหนดให้

$n =$ จำนวนตัวอย่าง

$SSE_p =$ Sum of square error

$p =$ จำนวนตัวแปรอิสระทั้งหมดรวม β_0

ในการเลือกสมการถดถอยให้เลือกสมการที่มีค่า AIC_p น้อยที่สุด โดยเปรียบเทียบจากสมการทั้งหมด

2.2.16.4 Schwarz' Bayesian Criterion

$$SBC_p = n \ln SSE_p - n \ln n + [\ln n]p \quad (2.41)$$

กำหนดให้

n = จำนวนตัวอย่าง

SSE_p = Sum of square error

p = จำนวนตัวแปรอิสระทั้งหมดรวม β_0

ในการเลือกสมการถดถอยให้เลือกสมการที่มีค่า SBC_p น้อยที่สุด โดยเปรียบเทียบจากสมการทั้งหมด

2.2.17 ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมการถดถอย

การทดสอบสมการถดถอยต้องอาศัยค่าทางสถิติในการเปรียบเทียบความแม่นยำเพื่อเลือกสมการที่มีความถูกต้องมากที่สุด โดยค่าสถิติที่ใช้มีดังต่อไปนี้ (Daryl และ Paulson, 2007.)

2.2.17.1 ค่า Estimated Regression Coefficient

ค่า Estimated regression coefficient (a, b_1, b_2, \dots, b_k) คือ ค่าที่ได้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงเส้น ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$) โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

2.2.17.2 ค่า Regression Coefficient Standard Error

ค่า Regression coefficient standard error (std $a, \text{std } b_1, \text{std } b_2, \dots, \text{std } b_k$) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่า $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$

2.2.17.3 ค่า Prediction Sum of Squares

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (2.42)$$

กำหนดให้

n = จำนวนตัวอย่าง

$Y_i - \hat{Y}_i$ = ค่าความคลาดเคลื่อน

2.2.17.4 ค่า Mean Square Prediction Error

$$MSPR = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (2.43)$$

กำหนดให้

n = จำนวนตัวอย่างของข้อมูลทดสอบ

$Y_i - \hat{Y}_i$ = ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลทดสอบ

2.2.18 การทดสอบสมการถดถอย

การทดสอบความแม่นยำของสมการถดถอย (Model validation) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการสร้างสมการถดถอยเพื่อเลือกสมการที่มีความถูกต้อง สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการต่างๆ ที่สร้างขึ้นมา วิธีการที่ใช้วัดความแม่นยำของสมการสามารถทำได้ 3 วิธีคือ

1. เก็บข้อมูลใหม่เพื่อนำมาทดสอบสมการ และความสามารถในการทำนาย
2. เปรียบเทียบผลของข้อมูลทางทฤษฎี ข้อมูลจากการทดลอง และข้อมูลที่จำลองขึ้น
3. การใช้ส่วนหนึ่งของข้อมูลเป็นตัวทดสอบสมการ และความสามารถในการทำนาย (Data splitting)

ปัญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้วิธีการนำส่วนหนึ่งของข้อมูลเป็นตัวทดสอบสมการ และความสามารถในการทำนาย ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้ (Kutner และคณะ, 2004.)

2.2.18.1 วิธี Hold-out

วิธีการนี้จะแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเรียกว่าข้อมูลฝึกสอน (Training data) จะมีจำนวนประมาณสองในสาม หรือประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด ส่วนที่สองเรียกว่า ข้อมูลทดสอบ (Validation data) มีจำนวนประมาณหนึ่งในสาม หรือประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด ข้อมูลฝึกสอนจะถูกนำมาสร้างสมการถดถอย จากนั้นจะใช้ข้อมูลทดสอบมาสร้างเป็นสมการเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบวัดความถูกต้องของสมการ โดยแบ่งการทดสอบความแม่นยำออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบความแม่นยำภายใน (Internal validation) และการทดสอบความแม่นยำภายนอก (External validation)

1. การทดสอบความแม่นยำภายใน

การทดสอบความแม่นยำภายในของสมการถดถอยทำได้โดยใช้ค่าทางสถิติที่คำนวณได้จากข้อมูลฝึกสอนมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากการสร้างสมการจากข้อมูลทดสอบ ซึ่งค่าที่นำมาเปรียบเทียบมีดังนี้

- ค่า PRESS ต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่า SSE
- ค่า C_p ต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่า p

2. การทดสอบความแม่นยำภายนอก

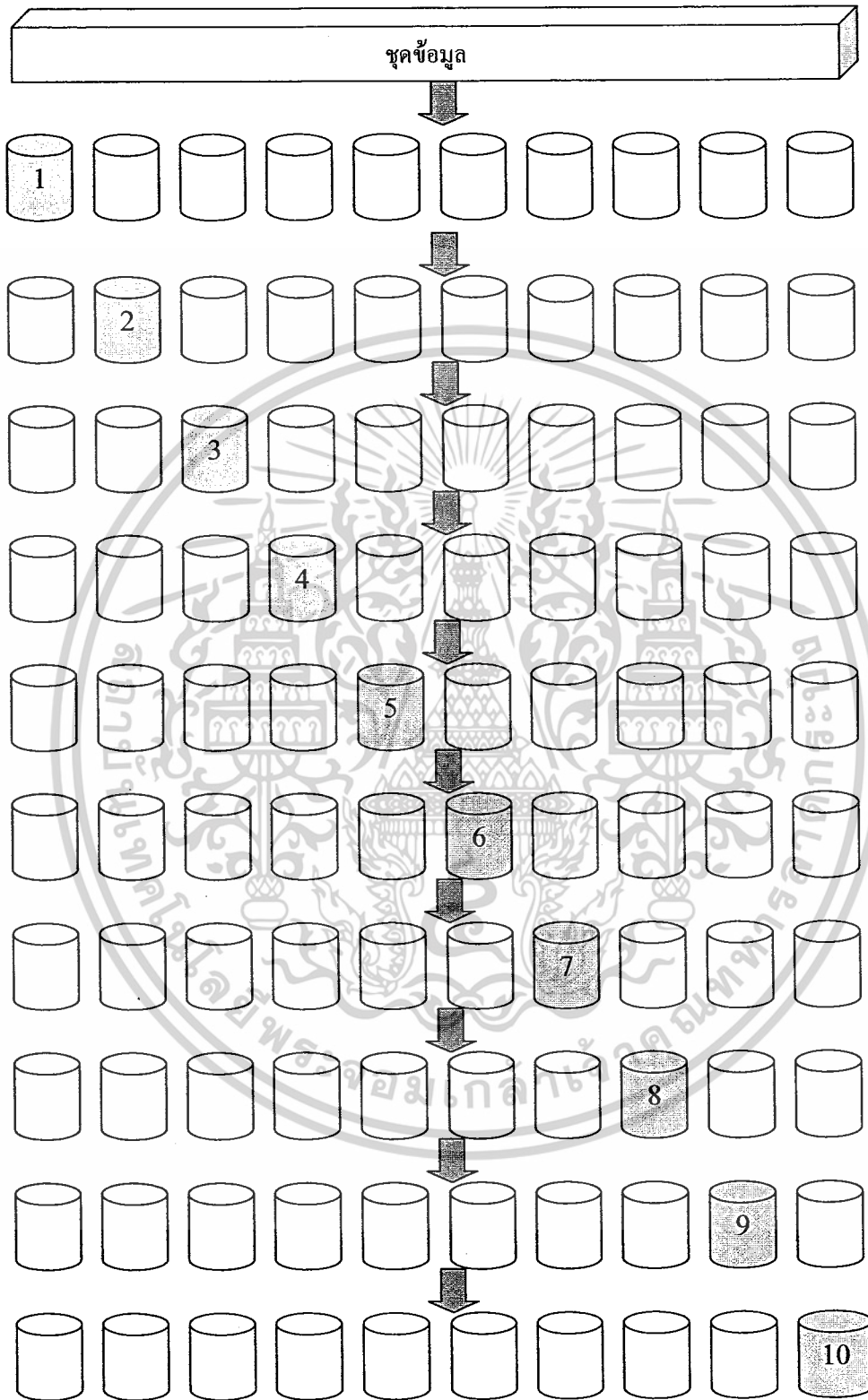
- ค่า Estimated regression coefficient ของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบต้องมีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่า Regression coefficient standard error ของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบต้องมีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่า MSPR ของข้อมูลทดสอบต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่า MSE ของข้อมูลฝึกสอน

ถ้ากรณีที่ค่า Estimated regression coefficient ของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบมีเครื่องหมายตรงกันข้ามกันจะไม่พิจารณาสมการนั้น

2.2.18.2 วิธี k-fold cross-validation

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่นักวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้ เนื่องจากประเมินความผิดพลาดได้ดี การวัดประสิทธิภาพจะแบ่งข้อมูลออกเป็น k ส่วนและจะวัดประสิทธิภาพ k รอบ (k เป็นเลขจำนวนเต็มเช่น 5, 10, 24) ตามรูปที่ 2.12 รอบที่ 1 จะใช้ข้อมูลส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลทดสอบ ข้อมูลส่วนที่ 2 ถึงส่วนที่ k ถูกใช้เป็นข้อมูลฝึกสอน ผลการวัดประสิทธิภาพจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ 1 รอบที่ 2 จะใช้ข้อมูลส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลทดสอบ ข้อมูลส่วนที่ 1 และข้อมูลส่วนที่ 3 ถึงส่วนที่ k ถูกใช้เป็นข้อมูลฝึกสอน ผลการวัดประสิทธิภาพจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ 2 ทำแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงรอบที่ k จะใช้ส่วนที่ k เป็นข้อมูลทดสอบ ข้อมูลส่วนที่ 1 ถึงส่วนที่ $k-1$ ถูกใช้เป็นข้อมูลฝึกสอน ผลการวัดประสิทธิภาพจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ k ค่าความแม่นยำของสมการถดถอย จะเป็นค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ 2 ถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่ k สมการถดถอยที่ดีที่สุดจะต้องมีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด วิธีการวัดประสิทธิภาพสมการแบบนี้จะเหมาะกับกรณีข้อมูลมีจำนวนน้อย วิธีการนี้จะทำให้จำนวนข้อมูลทั้งหมดได้ผ่านขั้นตอนการจำแนกซึ่งแตกต่างจากการใช้วิธี Hold-out โดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมใช้ $k = 10$ เนื่องจากได้ความถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ





รูปที่ 2.12 การแบ่งชุดข้อมูลของการทดสอบสมการ โดยวิธี k-fold cross-validation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานสองส่วน โดยมีการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นสองกลุ่มคือ ชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบ ส่วนแรกคือ อาศัยชุดข้อมูลฝึกสอนในการสร้างสมการถดถอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Linear Regression) เพื่อทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อน (Hot Extrusion) ส่วนที่สองคือ อาศัยชุดข้อมูลทดสอบในการทดสอบความถูกต้องของสมการถดถอย ซึ่งการดำเนินงานในสองส่วนนี้จะใช้โปรแกรม SPSS 15.0 for Windows ในการศึกษา

3.1 การดำเนินงานของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

ในขั้นตอนการดำเนินงานของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุจะกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

X_1 = มุมด้าย (องศา)

X_2 = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

X_3 = ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)

X_4 = อุณหภูมิขึ้นรูป ($^{\circ}\text{C}$)

Y = แรงอัดขึ้นรูป (Tons)

วิธีการดำเนินงานประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ
2. ศึกษาการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุในโปรแกรม SPSS 15.0 for Windows
3. ตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความถดถอย
4. ทดสอบความถูกต้องของสมการถดถอยโดยใช้ชุดข้อมูลทดสอบ

3.1.1 ข้อมูลจริงทั้งหมด

ข้อมูลจริงทั้งหมดที่นำมาใช้ในการฝึกสอนและทดสอบสมการถดถอยมี 180 ข้อมูล แสดงในตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก

3.1.2 การจัดเตรียมข้อมูล

จากข้อมูลในตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก การจัดเตรียมข้อมูลเพื่อสร้างและทดสอบสมการถดถอย ข้อมูลทั้งหมดแบ่งเป็น 2 ชุด ดังนี้

1. ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการฝึกสอน เพื่อใช้สร้างสมการถดถอย มี 135 ข้อมูล คือ ข้อมูลในลำดับที่ 1 ถึง 135 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ในปริภูมิพิกัด
เล่มนี้จะทำการทำนายตัวแปรตาม คือ แรงอัดขึ้นรูป โดยใช้ตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม คือ มุมคาย
สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความเร็วอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิขึ้นงาน

2. ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดสอบ เพื่อใช้ทดสอบสมการถดถอย มี 45 ข้อมูล คือ ข้อมูลในลำดับที่ 136 ถึง 180

ในการดำเนินงานของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ข้อมูลของตัวแปรอิสระทั้งหมดจะถูกแปลงให้อยู่
ในช่วง -1 ถึง 1 ดังตารางที่ ก.2 ในภาคผนวก ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและเพิ่มความถูกต้องในการวิเคราะห์ อัน
เนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนช่วงการวิเคราะห์ให้อยู่ในช่วงเดียวกัน

3.1.3 การทำนายแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

ก่อนที่จะเริ่มต้นการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ของ
สมการถดถอย จะต้องสร้างสมการหรือตัวแบบจำลองโดยทั่วไปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปร
อิสระ เพื่อเป็นสมการพื้นฐานในการศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสม

การนำวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ มาใช้ในการเลือกรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของสมการ
ถดถอย เพื่อศึกษาการทำนายแรงอัดขึ้นรูปนั้นมีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีผลต่อการเรียนรู้ของการวิเคราะห์ความ
ถดถอยเชิงพหุ การเรียนรู้ที่ดีจะส่งผลให้สมการถดถอยมีความสามารถในการคำนวณหาคำตอบได้แม่นยำขึ้น ดังนั้น
ก่อนทำการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ จึงต้องมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบที่มีผลต่อการเรียนรู้และประสิทธิภาพ
ของสมการถดถอย ดังนี้

3.1.3.1 การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล

การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อการ
วิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ซึ่งในปริภูมิพิกัดนี้จะใช้วิธีการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2
วิธี ดังนี้

1. การตรวจสอบโดยใช้กราฟ กราฟที่ใช้ในการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลคือ
- ฮิสโตแกรม (Histogram)

โดยใช้กราฟฮิสโตแกรมในการตรวจสอบการแจกแจงของแรงอัดขึ้นรูปเทียบกับแต่ละปัจจัย คือ มุมคาย
สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความเร็วอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิขึ้นงาน เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร
นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการหาข้อสรุปและช่วยให้แปลความผลลัพธ์ทางสถิติได้ง่ายขึ้น โดยแสดงกราฟฮิสโตแกรม
สำหรับ มุมคาย สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความเร็วอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิขึ้นงาน แต่ละค่าการใช้งานบนกราฟ
เดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้เห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของแรงอัดขึ้นรูปที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนค่าใช้งานของแต่ละปัจจัย มีการ
เหลื่อมล้ำกันมากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบโดยการ ใช้สถิติทดสอบ สถิติทดสอบที่ใช้คือ

- Kolmogorov-Smirnov

เนื่องจากผลการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลเชิงกราฟด้วยฮิสโตแกรม ผู้วิเคราะห์จะต้องพิจารณาจากกราฟและสรุปเองว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จึงมีความเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์จะสรุปต่างกัน จึงจำเป็นต้องใช้สถิติทดสอบควบคู่กันไปกับการพิจารณาจากกราฟ

3.1.3.2 จำนวนตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

ปัญญานิพนธ์นี้ได้กำหนดจำนวนตัวแปรอิสระ 4 ปัจจัย จากปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับแรงอัดขึ้นรูปของชิ้นงาน คือ มุมคาย สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความเร็วอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิชิ้นงาน ส่วนตัวแปรตามจะกำหนดจากค่าผลลัพธ์ที่ต้องการให้สมการถดถอยคำนวณออกมา คือ แรงอัดขึ้นรูป ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวแปรอิสระ

- มุมคาย
- สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
- ความเร็วอัดขึ้นรูป
- อุณหภูมิชิ้นงาน

2. ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวแปรตาม หรือค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ

- แรงอัดขึ้นรูป

3.1.3.3 การเข้ารหัสให้ค่าสังเกต

ในการสร้างสมการถดถอยควรมีการแปลงค่าข้อมูลของตัวแปรอิสระด้วยวิธีการเข้ารหัส (Coded Variable) ก่อนใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ ให้อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 เหมือนกันทั้งหมดในตัวแปรอิสระทุกตัว เพื่อเพิ่มความสะดวกและความถูกต้องในการวิเคราะห์ อันเนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนช่วงการวิเคราะห์ให้อยู่ในช่วงเดียวกัน ซึ่งการเข้ารหัสให้ค่าสังเกตสามารถทำได้ดังนี้

$$X = \frac{X_i - (X_{\min} + X_{\max}) / 2}{(X_{\max} - X_{\min}) / 2} \quad (3.1)$$

กำหนดให้

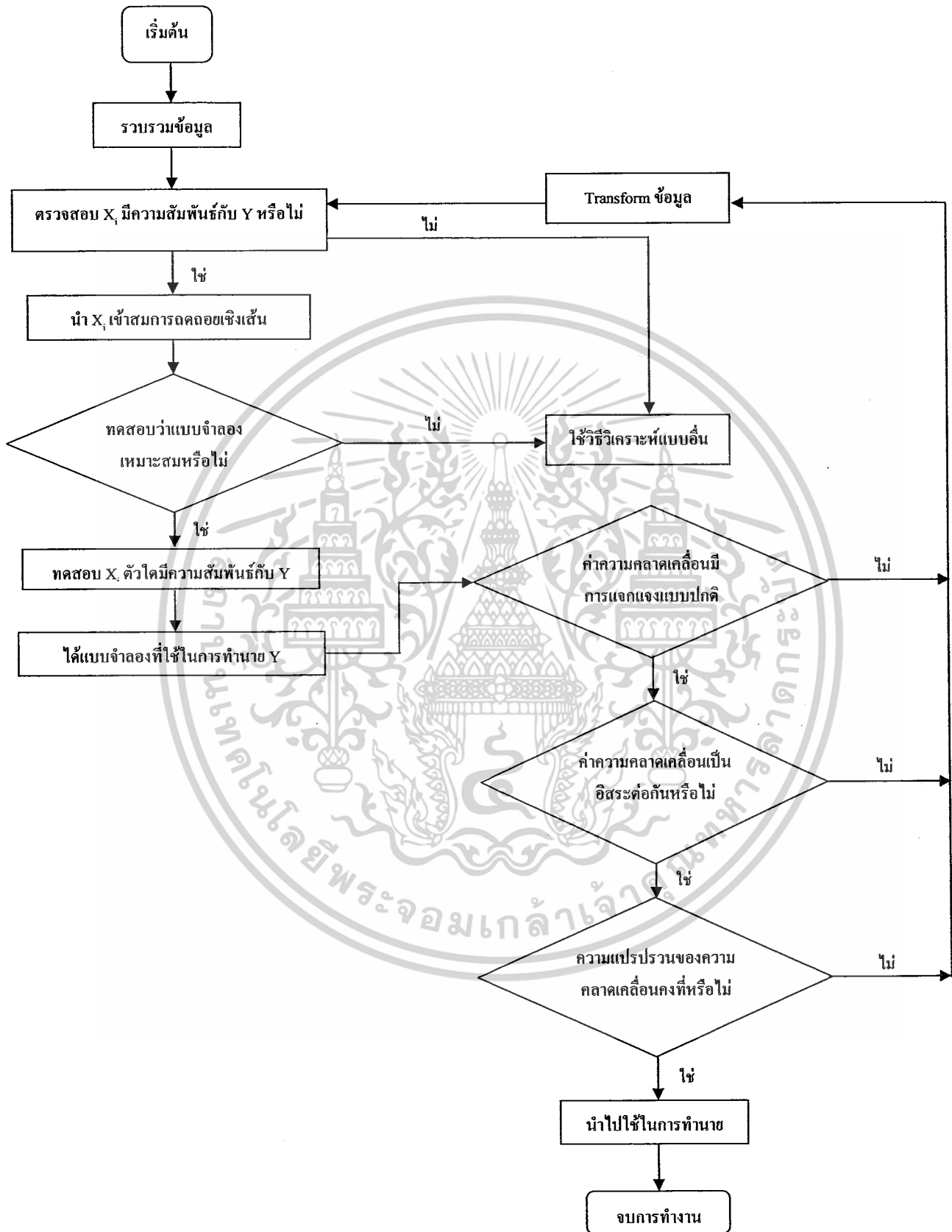
X = ค่าของตัวแปรอิสระหลังการเข้ารหัส

X_i = ค่าของตัวแปรอิสระที่ต้องการเข้ารหัสใดๆ

X_{\max} = ค่าของตัวแปรอิสระที่มีค่ามากที่สุด

X_{\min} = ค่าของตัวแปรอิสระที่มีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



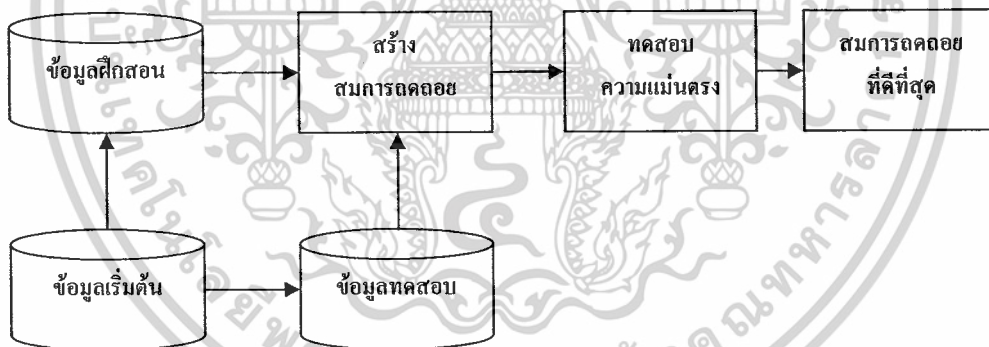
เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำนายแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การดำเนินงานของการทดสอบสมการถดถอย

ปัญหานี้ทำการทดสอบสมการถดถอยด้วยการแบ่งข้อมูลจำนวนหนึ่งไว้เป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบสมการ (Data splitting) ซึ่งมี 2 วิธีดังนี้

3.1.4.1 วิธี Hold-out

1. แบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ ข้อมูลฝึกสอน (Training data) จำนวน 135 ข้อมูล ส่วนที่สองคือ ข้อมูลทดสอบ (Validation data) จำนวน 45 ข้อมูล ซึ่งได้แสดงไว้ในส่วนของการจัดเตรียมข้อมูล หัวข้อที่ 3.1.2
2. สร้างสมการถดถอยจากทั้งข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบ
3. ทดสอบความแม่นยำภายใน (Internal validation) โดยอาศัยค่าสถิติดังต่อไปนี้
 - นำค่า PRESS มาเปรียบเทียบกับค่า SSE
 - นำค่า C_p มาเปรียบเทียบกับค่า p
4. ทดสอบความแม่นยำภายนอก (External validation) โดยอาศัยค่าสถิติดังต่อไปนี้
 - นำค่า Estimated regression coefficient มาเปรียบเทียบกับ
 - นำค่า Regression coefficient standard error มาเปรียบเทียบกับ
 - นำค่า Mean Square Prediction Error (MSPR) ของข้อมูลทดสอบเปรียบเทียบกับค่า Mean Square Error (MSE) ของข้อมูลฝึกสอน

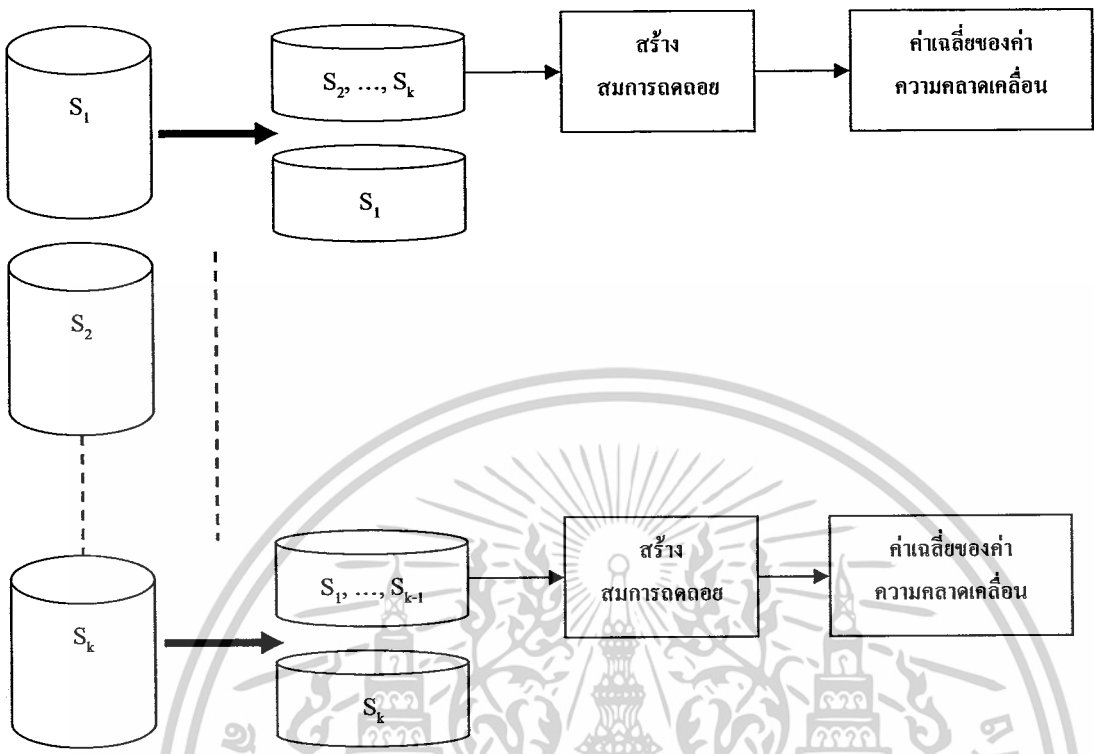


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี Hold-out

3.1.4.2 วิธี k-fold cross-validation

1. แบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ชุด ชุดละ 18 ข้อมูล ดังตารางที่ ก.5 – ก.14 ในภาคผนวก
2. สร้างสมการถดถอย 10 รอบ โดยในแต่ละรอบจะทำการตัดข้อมูลออกไปหนึ่งชุดแล้วคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละรอบ
3. คำนวณค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนออกมาเป็นตัวแทนของแต่ละสมการแล้วนำมาทำการเปรียบเทียบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี k-fold cross-validation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

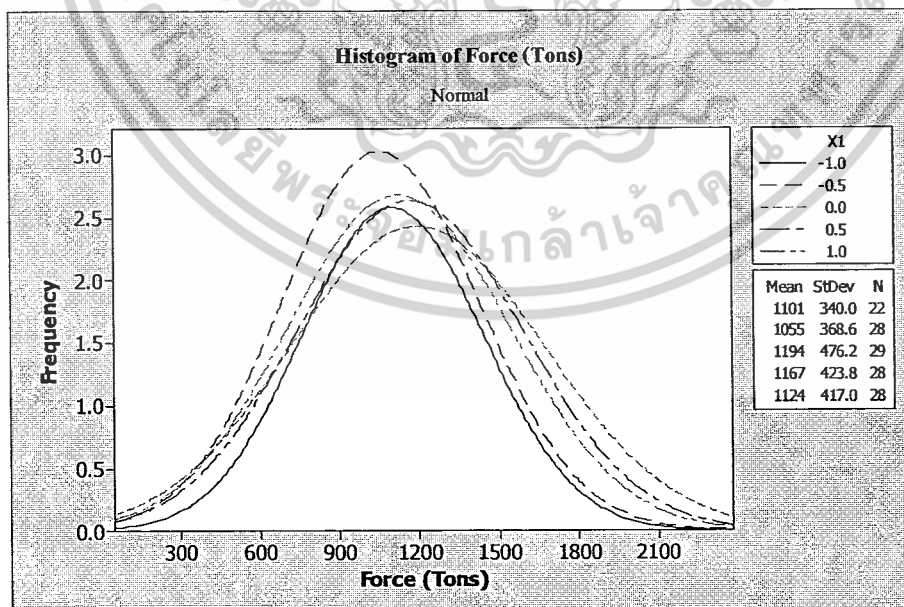
บทนี้จะกล่าวถึงผลการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลเบื้องต้น ก่อนนำไปสร้างสมการถดถอยด้วยวิธี การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุเพื่อใช้ทำนายแรงอัดขึ้นรูป โดยจะแสดงผลของการปรับเปลี่ยนรูปแบบความสัมพันธ์ของสมการถดถอย และเปรียบเทียบผลการทำนาย ด้วยวิธี k-fold cross-validation และวิธี Hold-out

4.1 การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูล

ในปริภูมิงานนี้ได้นำเสนอผลการตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลในตารางที่ ก.2 ในภาคผนวก ด้วย 2 วิธี ดังนี้

4.1.1 การตรวจสอบโดยใช้กราฟ

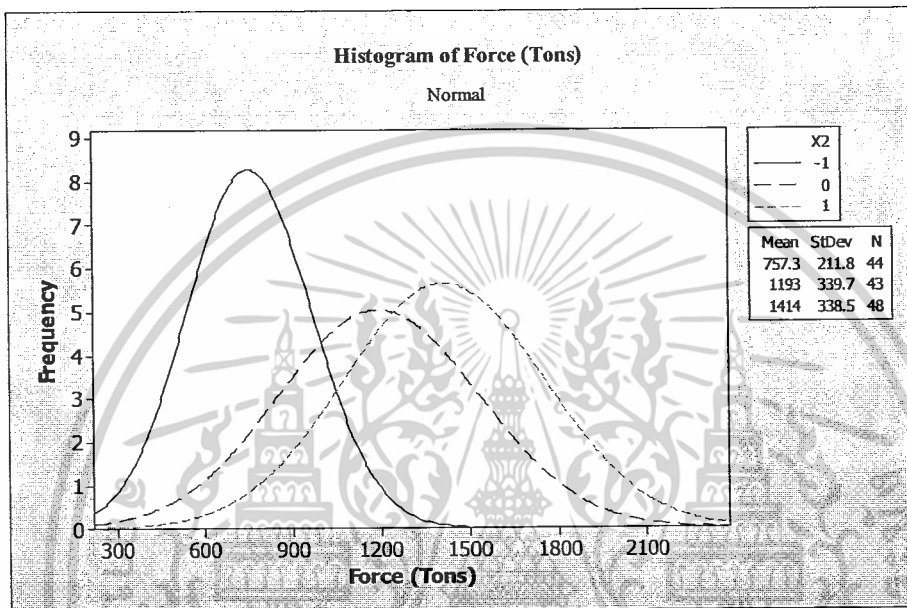
การแปลผลจากกราฟฮิสโตแกรมรูปที่ 4.1 แสดงผลว่า ค่าเฉลี่ยของแรงอัดขึ้นรูปที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนมุมคามีค่าใกล้เคียงกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น มุมคาน่าจะไม่ใช่ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแรงที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน



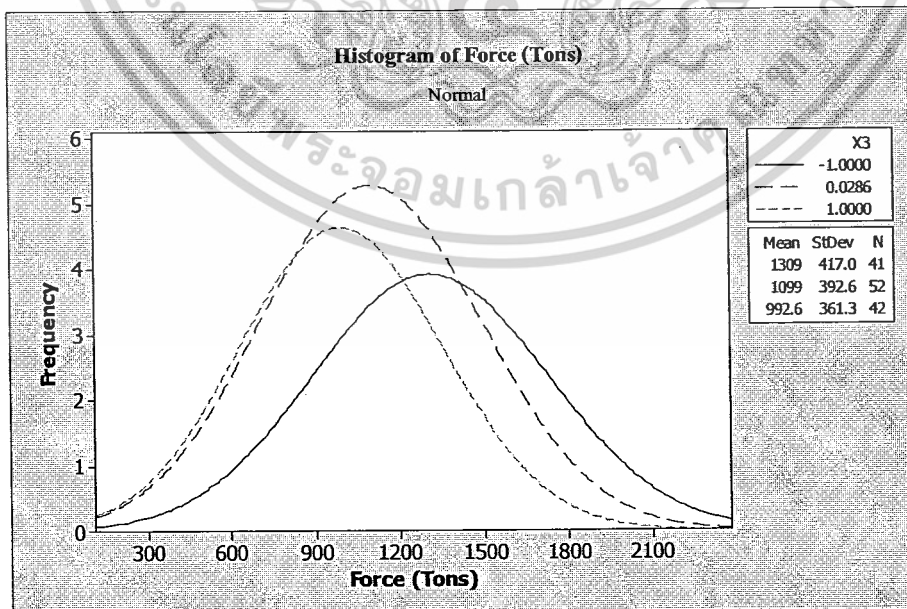
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของแรงอัดขึ้นรูปในแต่ละมุมค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ 38 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

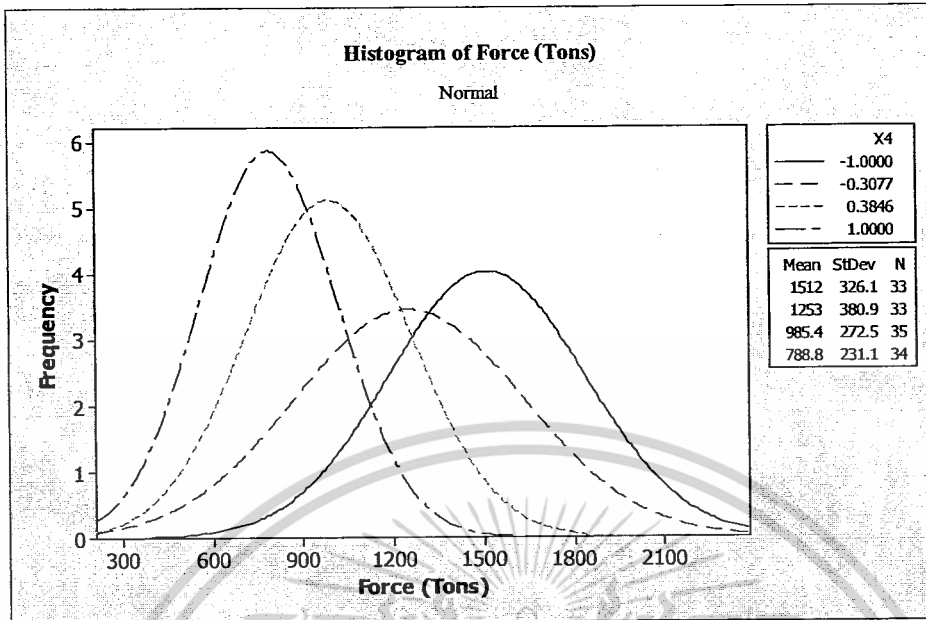
การแปลผลจากกราฟฮิสโตแกรมรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 แสดงผลว่า ค่าเฉลี่ยของแรงอัดขึ้นรูปที่เกิดขึ้น จากการปรับเปลี่ยนค่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความเร็วอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิขึ้นงาน มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความเร็วอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิขึ้นงาน ที่ 0.4, 203 mm/s และ 1,260°C ตามลำดับ ให้ค่าเฉลี่ยของแรงอัดขึ้นรูปน้อยที่สุด ดังนั้น สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความเร็วอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิขึ้นงานน่าจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการกำหนดค่าการใช้งานของแรงในการอัดขึ้นรูปขึ้นงาน



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของแรงอัดขึ้นรูปในแต่ละสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.3 การกระจายตัวของแรงอัดขึ้นรูปในแต่ละความเร็วอัดขึ้นรูป
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของแรงอัดขึ้นรูปในแต่ละอุณหภูมิขึ้นงาน

4.1.2 การทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบ

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.1 เป็นตารางวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของชุดข้อมูลฝึกสอน ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : แรงอัดขึ้นรูปมีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_1 : แรงอัดขึ้นรูปไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov และ ค่า Sig. = 0.200 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ แรงอัดขึ้นรูปมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้น สามารถนำข้อมูลฝึกสอนไปสร้างสมการถดถอยด้วยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (มุมคาน้ำ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ความเร็วอัดขึ้นรูป และอุณหภูมิขึ้นงาน) กับแรงอัดขึ้นรูป

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลฝึกสอน

	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Y	0.087	135	0.200

4.2 การทำนายแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้ชุดข้อมูลฝึกสอนในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

4.2.1 สมการถดถอยที่ 1

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.2 ใน Column ของ Method เป็นการระบุวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Enter โดยแรงอัดขึ้นรูป (Y) เป็นตัวแปรตาม คำว่า Variable Enter หมายถึง ตัวแปรอิสระที่นำเข้าสมการถดถอยเชิงเส้น คือ มุมคาน้ำ (X_1) สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (X_2) ความเร็วอัดขึ้นรูป (X_3) และอุณหภูมิขึ้นงาน (X_4) ใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 1 ด้วยวิธี Enter

Variables Entered	Variables Removed	Method
X ₁ , X ₂ , X ₃ , X ₄	.	Enter

a. All requested variables entered

b. Dependent variable: Y

ความหมายของผลลัพธ์ตารางที่ 4.3

- R Square หมายถึง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 91.1% นั่นคือตัวแปร X₁, X₂, X₃ และ X₄ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้ 91.1%
- R หมายถึง $\sqrt{R^2} = \sqrt{0.911} = 0.954$ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมด
- Adjusted R Square หมายถึง เป็นค่า R² ที่ได้ปรับแล้ว ในที่นี้ R²_{adj} = 0.908
- Std. Error of the estimate หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (Ŷ) หรือคือ Standard Error (SE) ของตัวแปรอิสระทั้งหมดเท่ากับ 123.584 ดัน
- Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน
 H₀: ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน
 H₁: ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 4.3 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 1

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the estimate	Durbin-Watson
0.954	0.911	0.908	123.58356	1.138

a. Predictors: (Constant), X₁, X₂, X₃, X₄

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.4 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H₀: β₁ = β₂ = β₃ = β₄ = 0 กับ H₁: β_i ≠ 0 อย่างน้อย 1 ค่า; i = 1,2,3,4
 สมการถดถอยที่ 1: SSR = 20,339,928 SSE = 1,985,477

$$MSR = \frac{20,339,928}{4} = 5,084,982.041 \quad ; \quad MSE = \frac{1,985,477}{130} = 15,272.896$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติทดสอบ $F = 332.942$ และ $\text{Sig. of } F = 0.001 < 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จะต้องทำการทดสอบต่อไปว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยใช้ t -test ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 1

Type	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	20,339,928	4	5,084,982.041	332.942	0.001
Residual	1,985,477	130	15,272.896		
Total	22,325,405	134			

a. Predictors: (Constant), X_1 , X_2 , X_3 , X_4

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.5 เป็นตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการถดถอยสมการถดถอยที่ 1:

$$\text{สมการจะเป็น } Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + e$$

$$\text{หรือ } \hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + e$$

- B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่มี $a = 1,132.048$ $b_1 = 42.760$ $b_2 = 307.566$ $b_3 = -133.257$
 $b_4 = -338.071$
- Std. Error หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน นั่นคือ $SE(a) = 10.679$, $SE(b_1) = 15.484$,
 $SE(b_2) = 12.919$, $SE(b_3) = 13.588$, $SE(b_4) = 14.297$
- Beta หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐานของ $X_1 = 0.072$, $X_2 = 0.624$, $X_3 = -0.257$,
 $X_4 = -0.620$
- t และ Sig. เป็นสถิติทดสอบค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ และ β_4
โดยที่ Sig. ของค่าคงที่ $= 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_0 \neq 0$
Sig. ของ $X_1 = 0.007 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_1 \neq 0$
Sig. ของ $X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_2 \neq 0$
Sig. ของ $X_3 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_3 \neq 0$
Sig. ของ $X_4 = 0.000 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_4 \neq 0$

$$\text{สมการจึงกลายเป็น } \hat{Y} = 1,132.048 + 42.760X_1 + 307.566X_2 - 133.257X_3 - 338.071X_4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

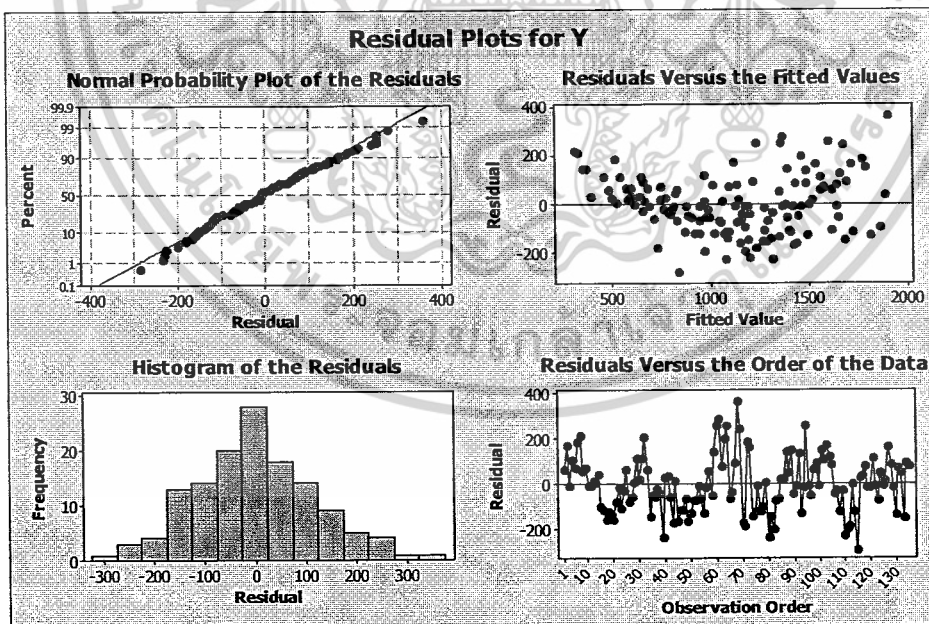
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 1

Independent variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Colinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	1,132.048	10.679		106.006	0.001		
X ₁	42.760	15.484	0.072	2.761	0.007	0.999	1.001
X ₂	307.566	12.919	0.064	23.807	0.001	0.996	1.004
X ₃	-133.257	13.588	-0.257	-9.807	0.001	0.997	1.003
X ₄	-338.071	14.297	-0.620	-23.646	0.001	0.994	1.006

a. Dependent variable: Y

4.2.1.1 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

ผลของการวิเคราะห์ที่ได้ คือ $\hat{Y} = 1,132.048 + 42.760X_1 + 307.566X_2 - 133.257X_3 - 338.071X_4$ จะนำเช็คือถ้าผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย ทั้ง 5 ข้อ ซึ่งผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟมีความเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์จะสรุปผลแตกต่างกัน จึงมีการใช้สถิติทดสอบในการตรวจสอบเงื่อนไขควบคู่กัน กับการพิจารณาจากกราฟ ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติแสดงดังต่อไปนี้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 1: ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์

เงื่อนไขนี้ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบเนื่องจากใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ และ β_4 จะทำให้ $E(\text{error}) = 0$ เสมอ หรือถ้าต้องการทดสอบก็สามารถทำได้เช่นกัน จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.6 เป็นตารางแสดงค่าสถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ กับ H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

สถิติทดสอบ $t = 0.000$ และ $\text{Sig. of } t = 1.000 > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 1

Residual	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of Difference	
					Lower	Upper
Unstandardized Residual	0.000	134	1.000	0.00000000	-20.7205	20.72054

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.7 เป็นตารางวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov และ ค่า $\text{Sig.} = 0.200 > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 1

Residual	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	0.055	135	0.200

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Durbin-Watson (DW) เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน จากตารางที่ 4.3 DW มีค่า 1.138 เมื่อ $k = 4$, $\alpha = 0.05$ และ $n = 135$ เปิดตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ ค่า $DW_L = 1.653$ และ $DW_U = 1.781$

เนื่องจาก $DW = 1.138 < DW_L = 1.653$ จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 4: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.8 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2$ กับ $H_1 : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$ สถิติทดสอบ $F = 0.92$ ได้จากการนำ SSE_2 หารด้วย SSE_1 เมื่อ $\alpha = 0.05$ และ $L-P = 62$ เปิดตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ $f_{0.05, (62, 62)} = 1.525$ เนื่องจาก $F < f_{0.05, (62, 62)}$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 1

Source1	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Regression	4	6,742,833	1,685,708	140.00	0.001
Residual Error	62	746,507	10,240		
Total	66	7,489,341			
Source 2					
Regression	4	7,148,702	1,787,176	161.34	0.001
Residual Error	62	686,788	11,077		
Total	66	7,835,491			

a. Dependent variable: Y

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 5: ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

Tolerance และ VIF เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่า Tolerance ของ X_1 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_1 มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ น้อยมาก

4.2.2 สมการถดถอยที่ 2

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.9 เป็นตารางวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ไม่มี Interaction ระหว่างตัวแปรอิสระต่อตัวแปรตาม กับ H_1 : มี Interaction ระหว่างตัวแปรอิสระต่อตัวแปรตาม

F และ Sig. เป็นสถิติทดสอบการเกิดความสัมพันธ์ของ X_1X_2 , X_2X_3 , X_2X_4 และ X_3X_4

โดยที่ Sig. ของ $X_1X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า X_1 และ X_2 เกิดความสัมพันธ์ในรูปแบบของ Interaction

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sig. ของ $X_2X_3 = 0.015 < 0.05$ จึงสรุปว่า X_2 และ X_3 เกิดความสัมพันธ์ในรูปของ Interaction
 Sig. ของ $X_2X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า X_2 และ X_4 เกิดความสัมพันธ์ในรูปของ Interaction
 Sig. ของ $X_3X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า X_3 และ X_4 เกิดความสัมพันธ์ในรูปของ Interaction

ตารางที่ 4.9 การเกิดรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในสมการถดถอยที่ 2

Source	F	Sig.
X_1X_2	45.414	0.001
X_2X_3	6.110	0.015
X_2X_4	29.209	0.001
X_3X_4	10.888	0.001

a. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.10 ใน Column ของ Method เป็นการระบุวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Enter โดยตัวแปร Y เป็นตัวแปรตาม คำว่า Variable Enter หมายถึง ตัวแปรอิสระที่นำเข้ามาสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4$ และ X_3X_4

ตารางที่ 4.10 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 2 ด้วยวิธี Enter

Variables Entered	Variables Removed	Method
$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4$.	Enter

a. All requested variables entered

b. Dependent variable: Y

ความหมายของผลลัพธ์ตารางที่ 4.11

- R Square หมายถึง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 94.8% นั่นคือตัวแปร $X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4$ และ X_3X_4 สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้ 94.8%
- R หมายถึง $\sqrt{R^2} = \sqrt{0.948} = 0.974$ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมด
- Adjusted R Square หมายถึง เป็นค่า R^2 ที่ได้ปรับแล้ว ในที่นี้ $R^2_{adj} = 0.945$
- Std. Error of the estimate หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (\hat{Y}) หรือคือ SE ของตัวแปรอิสระทั้งหมดเท่ากับ 95.584 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน

H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 4.11 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 2

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the estimate	Durbin-Watson
0.974	0.948	0.945	95.58424	1.669

a. Predictors: (Constant), $X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4$

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.12 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_8 = 0$ กับ $H_1: \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า; $i = 1, 2, 3, \dots, 8$
สมการถดถอยที่ 2: $SSR = 21,174,225$ $SSE = 1,151,180$

$$MSR = \frac{21,174,225}{8} = 2,646,778.135 \quad ; \quad MSE = \frac{1,151,180}{126} = 9,136.346$$

สถิติทดสอบ $F = 289.698$ และ $\text{Sig. of } F = 0.001 < 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จะต้องทำการทดสอบต่อไปว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยใช้ t-test ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 2

Type	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	21,174,225	8	2,646,778.135	289.698	0.001
Residual	1,151,180	126	9,136.346		
Total	22,325,405	134			

a. Predictors: (Constant), $X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4$

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.13 เป็นตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการถดถอย

สมการถดถอยที่ 2: สมการจะเป็น $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_1X_2 + \beta_6 X_2X_3 + \beta_7 X_2X_4 + \beta_8 X_3X_4 + e$

หรือ $\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5 X_1X_2 + b_6 X_2X_3 + b_7 X_2X_4 + b_8 X_3X_4 + e$

- B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่มี $a = 1,128.404$ $b_1 = 47.243$ $b_2 = 313.425$ $b_3 = -138.324$
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b_4 = -339.233 \quad b_5 = 98.239 \quad b_6 = -32.072 \quad b_7 = -73.908 \quad b_8 = 47.557$$

- Std. Error หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน นั่นคือ $SE(a) = 8.295$, $SE(b_1) = 12.016$
 $SE(b_2) = 10.083$, $SE(b_3) = 10.603$, $SE(b_4) = 11.071$, $SE(b_5) = 14.578$,
 $SE(b_6) = 12.975$, $SE(b_7) = 13.675$, $SE(b_8) = 14.413$
- Beta หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐานของ $X_1 = 0.080$, $X_2 = 0.636$, $X_3 = -0.267$,
 $X_4 = -0.622$, $X_1X_2 = -0.137$, $X_2X_3 = -0.051$, $X_2X_4 = -0.110$, $X_3X_4 = 0.068$
- t และ Sig. เป็นสถิติทดสอบค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$ และ β_8

โดยที่ Sig. ของค่าคงที่ = 0.001 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_0 \neq 0$

Sig. ของ $X_1 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_1 \neq 0$

Sig. ของ $X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_2 \neq 0$

Sig. ของ $X_3 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_3 \neq 0$

Sig. ของ $X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_4 \neq 0$

Sig. ของ $X_1X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_5 \neq 0$

Sig. ของ $X_2X_3 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_6 \neq 0$

Sig. ของ $X_2X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_7 \neq 0$

Sig. ของ $X_3X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_8 \neq 0$

$$\text{สมการจึงกลายเป็น } \hat{Y} = 1,128.404 + 47.243X_1 + 313.425X_2 - 138.324X_3 - 339.233X_4 + 98.239X_1X_2 - 32.072X_2X_3 - 73.908X_2X_4 + 47.557X_3X_4$$

ตารางที่ 4.13 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 2

Independent variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Colinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	1,128.404	8.295		136.037	0.001		
X_1	47.243	12.016	0.080	3.932	0.001	0.993	1.007
X_2	313.425	10.083	0.636	31.085	0.001	0.978	1.022
X_3	-138.324	10.603	-0.267	-13.046	0.001	0.979	1.021
X_4	-339.233	11.071	-0.622	-30.640	0.001	0.992	1.008
X_1X_2	98.239	14.578	-0.137	6.739	0.001	0.994	1.006
X_2X_3	-32.072	12.975	-0.051	-2.472	0.015	0.969	1.032
X_2X_4	-73.908	13.675	-0.110	-5.045	0.001	0.983	1.018
X_3X_4	47.557	14.413	0.068	3.300	0.001	0.975	1.026

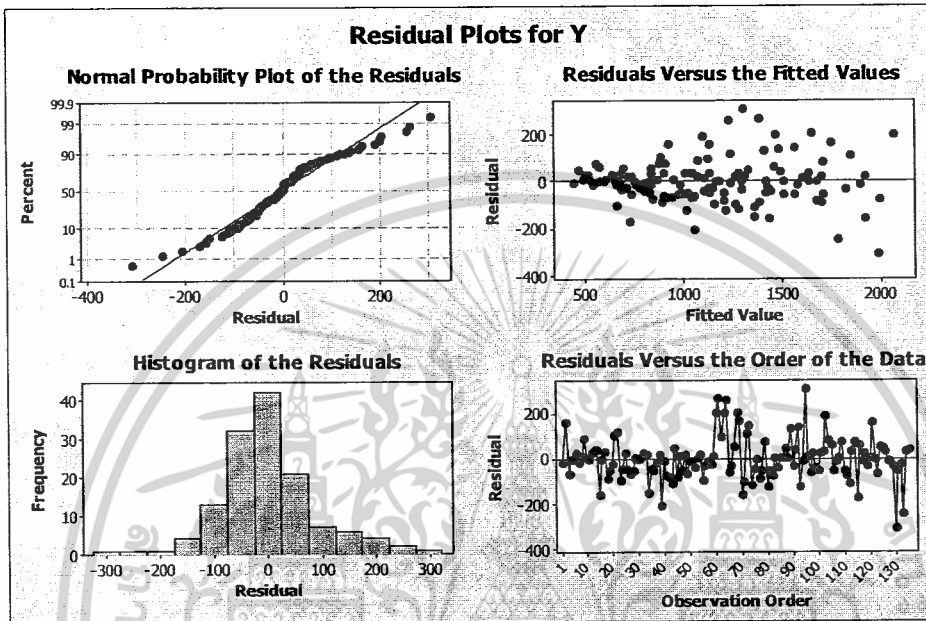
a. Dependent variable: Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

ผลของการวิเคราะห์ที่ได้ คือ $\hat{Y} = 1,128.404 + 47.243X_1 + 313.425X_2 - 138.324X_3 - 339.233X_4 + 98.239X_1X_2 - 32.072 X_2X_3 - 73.908 X_2X_4 + 47.557X_3X_4$ จะน่าเชื่อถือ ถ้าผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย ทั้ง 5 ข้อ ซึ่งผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 2

จากผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟมีความเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์จะสรุปผลแตกต่างกัน จึงมีการใช้สถิติทดสอบในการตรวจสอบเงื่อนไขควบคู่กันไปกับการพิจารณาจากกราฟ ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติแสดงดังต่อไปนี้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 1: ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์

เงื่อนไขนี้ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบเนื่องจากใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$ และ β_8 จะทำให้ $E(\text{error}) = 0$ เสมอ หรือถ้าต้องการทดสอบก็สามารถทำได้เช่นกัน จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.14 เป็นตารางแสดงค่าสถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ กับ H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

สถิติทดสอบ $t = 0.000$ และ $\text{Sig. of } t = 1.000 > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 2

Residual	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of Difference	
					Lower	Upper
Unstandardized Residual	0.000	134	1.000	0.00000000	-15.7776	-15.77758

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.15 เป็นตารางวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov และ ค่า Sig. = 0.001 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 2

Residual	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	0.129	135	0.001

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน จากตารางที่ 4.11 DW มีค่า 1.669 เมื่อ $k = 8$, $\alpha = 0.05$ และ $n = 135$ เปิดตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ ค่า $DW_L = 1.595$ และ $DW_U = 1.846$

เนื่องจาก $DW = 1.669 < DW_U = 1.846$ จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 4: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.16 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2$ กับ $H_1 : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

สถิติทดสอบ $F = 1.694$ ได้จากการนำ SSE_2 หารด้วย SSE_1 เมื่อ $\alpha = 0.05$ และ $L-P = 58$ เปิดตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ $f_{0.05, (58, 58)} = 1.547$ เนื่องจาก $F > f_{0.05, (58, 58)}$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ความ

แปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 2

Source1	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Regression	8	7,129,256	891,157	143.54	0.001
Residual Error	58	360,084	6,208		
Total	66	7,489,341			
Source 2					
Regression	8	7,225,468	903,184	85.87	0.001
Residual Error	58	610,023	10,518		
Total	66	7,835,491			

a. Dependent variable: Y

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 5: ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

Tolerance และ VIF เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ จากตารางที่ 4.13 พบว่าค่า Tolerance ของ X_i มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_i มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ น้อยมาก

4.2.3 สมการถดถอยที่ 3

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.17 เป็นตารางวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ไม่มี Interaction ระหว่างตัวแปรอิสระต่อตัวแปรตาม กับ H_1 : มี Interaction ระหว่างตัวแปรอิสระต่อตัวแปรตาม และ H_0 : ไม่มีปฏิกริยาอันดับสองของตัวแปรอิสระต่อตัวแปรตาม กับ H_1 : มีปฏิกริยาอันดับสองของตัวแปรอิสระต่อตัวแปรตาม

F และ Sig. เป็นสถิติทดสอบการเกิดความสัมพันธ์ของ X_1X_2 , X_2X_3 , X_2X_4 , X_3X_4 และ X_2^2 โดยที่ Sig. ของ $X_1X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า X_1 และ X_2 เกิดความสัมพันธ์ในรูปของ Interaction
 Sig. ของ $X_2X_3 = 0.011 < 0.05$ จึงสรุปว่า X_2 และ X_3 เกิดความสัมพันธ์ในรูปของ Interaction
 Sig. ของ $X_2X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า X_2 และ X_4 เกิดความสัมพันธ์ในรูปของ Interaction
 Sig. ของ $X_3X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า X_3 และ X_4 เกิดความสัมพันธ์ในรูปของ Interaction
 Sig. ของ $X_2^2 = 0.005 < 0.05$ จึงสรุปว่า X_2 เกิดความสัมพันธ์ในรูปของ Second Order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 การเกิดรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระในสมการถดถอยที่ 3

Source	F	Sig.
X_1X_2	47.251	0.001
X_2X_3	6.745	0.011
X_2X_4	31.943	0.001
X_3X_4	10.905	0.001
X_2^2	8.017	0.005

a. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.18 ใน Column ของ Method เป็นการระบุวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Enter โดยตัวแปร Y เป็นตัวแปรตาม คำว่า Variable Enter หมายถึง ตัวแปรอิสระที่นำเข้าสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4$ และ X_2^2

ตารางที่ 4.18 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 3 ด้วยวิธี Enter

Variables Entered	Variables Removed	Method
$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4, X_2^2$.	Enter

a. All requested variables entered

b. Dependent variable: Y

ความหมายของผลลัพธ์ตารางที่ 4.19

- R Square หมายถึง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 95.2% นั่นคือตัวแปร $X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4$ และ X_2^2 สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้ 95.2%
- R หมายถึง $\sqrt{R^2} = \sqrt{0.952} = 0.975$ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมด
- Adjusted R Square หมายถึง เป็นค่า R^2 ที่ได้ปรับแล้ว ในที่นี้ $R_{adj}^2 = 0.948$
- Std. Error of the estimate หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (\hat{Y}) หรือ คือ SE ของตัวแปรอิสระทั้งหมดเท่ากับ 93.029 ตัน
- Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน
 H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน
 H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 3

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the estimate	Durbin-Watson
0.975	0.952	0.948	93.02908	1.752

- a. Predictors: (Constant), $X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4, X_2^2$
 b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.20 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3, \dots, \beta_9 = 0$ กับ $H_1: \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า; $i = 1, 2, 3, \dots, 9$

สมการถดถอยที่ 3: $SSR = 21,243,604$ $SSE = 1,811,801$

$$MSR = \frac{21,243,604}{9} = 2,360,400.391 \quad ; \quad MSE = \frac{1,811,801}{125} = 8,654.409$$

สถิติทดสอบ $F = 272.74$ และ $Sig. \text{ of } F = 0.001 < 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จะต้องทำการทดสอบต่อไปว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยใช้ t-test ดังแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 3

Type	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	21,243,604	9	2,360,400.391	272.740	0.001
Residual	1,811,801	125	8,654.409		
Total	22,325,405	134			

- a. Predictors: (Constant), $X_1, X_2, X_3, X_4, X_1X_2, X_2X_3, X_2X_4, X_3X_4, X_2^2$
 b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.21 เป็นตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการถดถอย

สมการถดถอยที่ 3: สมการจะเป็น $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_1X_2 + \beta_6 X_2X_3 + \beta_7 X_2X_4 + \beta_8 X_3X_4 + \beta_9 X_2^2 + e$

หรือ $\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_1X_2 + b_6X_2X_3 + b_7X_2X_4 + b_8X_3X_4 + b_9X_2^2 + e$

- B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่มี $a = 1,161.710$ $b_1 = 46.006$ $b_2 = 314.365$ $b_3 = -136.363$
 $b_4 = -336.926$ $b_5 = 97.542$ $b_6 = -32.803$ $b_7 = -75.272$ $b_8 = 46.345$ $b_9 = -49.032$

- Std. Error หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน นั่นคือ $SE(a) = 14.267$, $SE(b_1) = 11.703$,

$$SE(b_2) = 9.819, SE(b_3) = 10.343, SE(b_4) = 10.806, SE(b_5) = 14.190,$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SE(b_0) = 12.630, SE(b_1) = 13.318, SE(b_8) = 14.034, SE(b_9) = 17.318$$

- Beta หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐานของ $X_1 = 0.078, X_2 = 0.638, X_3 = -0.263, X_4 = -0.618, X_1X_2 = 0.136, X_2X_3 = -0.052, X_2X_4 = -0.112, X_3X_4 = 0.066, X_2^2 = -0.056$

- t และ Sig. เป็นสถิติทดสอบค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8$ และ β_9

โดยที่ Sig. ของค่าคงที่ = 0.001 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_0 \neq 0$

Sig. ของ X_1 = 0.001 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_1 \neq 0$

Sig. ของ X_2 = 0.001 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_2 \neq 0$

Sig. ของ X_3 = 0.001 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_3 \neq 0$

Sig. ของ X_4 = 0.001 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_4 \neq 0$

Sig. ของ X_1X_2 = 0.001 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_5 \neq 0$

Sig. ของ X_2X_3 = 0.011 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_6 \neq 0$

Sig. ของ X_2X_4 = 0.001 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_7 \neq 0$

Sig. ของ X_3X_4 = 0.001 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_8 \neq 0$

Sig. ของ X_2^2 = 0.005 < 0.05 จึงสรุปว่า $\beta_9 \neq 0$

สมการจึงกลายเป็น $\hat{Y} = 1,161.710 + 46.006X_1 + 314.365X_2 - 136.363X_3 - 336.926X_4 + 97.542X_1X_2 - 32.803X_2X_3 - 75.272X_2X_4 + 46.345X_3X_4 - 49.032X_2^2$

ตารางที่ 4.21 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 3

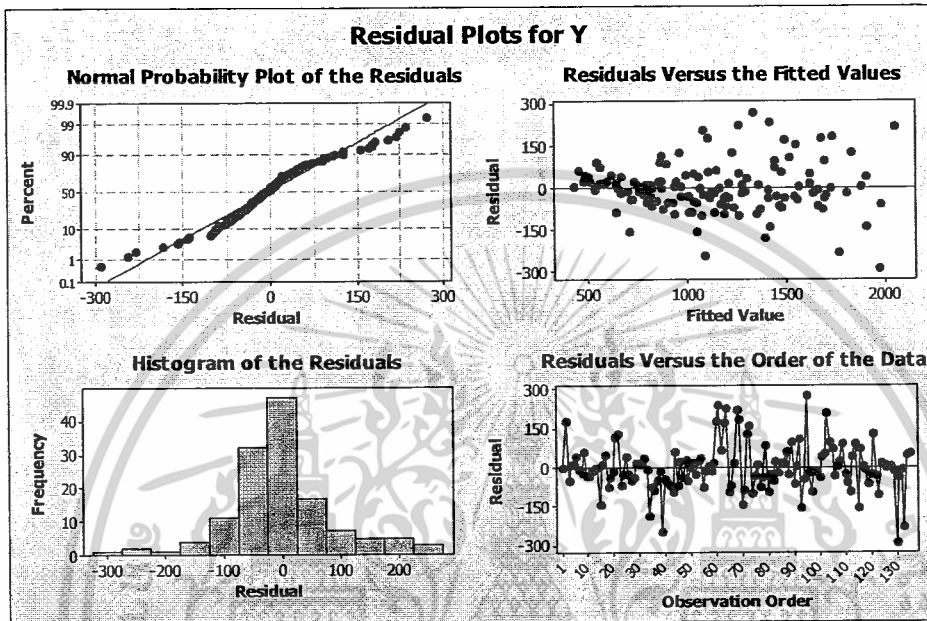
Independent variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Colinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	1,161.710	14.267		81.426	0.001		
X_1	46.006	11.703	0.078	3.931	0.001	0.992	1.009
X_2	314.365	9.819	0.638	32.017	0.001	0.997	1.024
X_3	-136.363	10.343	-0.263	-13.185	0.001	0.975	1.026
X_4	-336.926	10.806	-0.618	-31.179	0.001	0.986	1.014
X_1X_2	97.542	14.190	0.136	6.874	0.001	0.994	1.006
X_2X_3	-32.803	12.630	-0.052	-2.597	0.011	0.969	1.032
X_2X_4	-75.272	13.318	-0.112	-5.652	0.001	0.981	1.019
X_3X_4	46.345	14.034	0.066	3.302	0.001	0.974	1.027
X_2^2	-49.032	17.318	-0.056	-2.831	0.005	0.985	1.015

a. Dependent variable: Y

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.1 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

ผลของการวิเคราะห์ที่ได้ คือ $\hat{Y} = 1,161.710 + 46.006X_1 + 314.365X_2 - 136.363X_3 - 336.926X_4 + 97.542X_1X_2 - 32.803X_2X_3 - 75.272X_2X_4 + 46.345X_3X_4 - 49.032X_2^2$ จะน่าเชื่อถือ ถ้าผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย ทั้ง 5 ข้อ ซึ่งผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 3 แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 3

จากผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟมีความเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์จะสรุปผลแตกต่างกัน จึงมีการใช้สถิติทดสอบในการตรวจสอบเงื่อนไขควบคู่กัน กับการพิจารณาจากกราฟ ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติแสดงดังต่อไปนี้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 1: ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์

เงื่อนไขนี้ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบเนื่องจากใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8$ และ β_9 จะทำให้ $E(\text{error}) = 0$ เสมอ หรือถ้าต้องการทดสอบก็สามารถทำได้เช่นกัน จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.22 เป็นตารางแสดงค่าสถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ กับ H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

สถิติทดสอบ $t = 0.000$ และ $\text{Sig. of } t = 1.000 > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 3

Residual	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of Difference	
					Lower	Upper
Unstandardized Residual	0.000	134	1.000	0.00000000	-15.2948	15.29475

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.23 เป็นตารางวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov และ ค่า Sig. = 0.001 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 3

Residual	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	0.120	135	0.000

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน จากตารางที่ 4.19 DW มีค่า 1.752 เมื่อ $k = 9$, $\alpha = 0.05$ และ $n = 135$ เปิดตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ในช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ ค่า $DW_L = 1.579$ และ $DW_U = 1.863$

เนื่องจาก $DW = 1.752 < DW_U = 1.863$ จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 4: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.24 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2$ กับ $H_1 : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

สถิติทดสอบ $F = 1.69$ ได้จากการนำ SSE_2 หารด้วย SSE_1 เมื่อ $\alpha = 0.05$ และ $L-P = 57$ เปิดตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก ในช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ $f_{0.05,(57,57)} = 1.56$ เนื่องจาก $F > f_{0.05,(57,57)}$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าไม่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 3

Source1	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Regression	8	7,129,256	891,157	143.54	0.001
Residual Error	58	360,084	6,208		
Total	66	7,489,341			
Source 2					
Regression	8	7,225,468	903,184	85.87	0.001
Residual Error	58	610,023	10,518		
Total	66	7,489,341			

a. Dependent variable: Y

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 5: ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

Tolerance และ VIF เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ จากตารางที่ 4.21 พบว่าค่า Tolerance ของ X_1 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_1 มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ น้อยมาก

4.2.4 สมการถดถอยที่ 4

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.25 ใน Column ของ Method เป็นการระบุวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Enter โดยตัวแปร In Y เป็นตัวแปรตาม คำว่า Variable Enter หมายถึง ตัวแปรอิสระที่นำเข้าสมการถดถอยเชิงเส้น คือ X_1, X_2, X_3 และ X_4

ตารางที่ 4.25 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 4 ด้วยวิธี Enter

Variables Entered	Variables Removed	Method
X_1, X_2, X_3, X_4	.	Enter

a. All requested variables entered

b. Dependent variable: In Y

ความหมายของผลลัพธ์ตารางที่ 4.26

- R Square หมายถึง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 93.4% นั่นคือ ตัวแปร X_1, X_2, X_3 และ X_4 สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า In Y ได้ 93.4%
- R หมายถึง $\sqrt{R^2} = \sqrt{0.934} = 0.966$ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมด

• Adjusted R Square หมายถึง เป็นค่า R^2 ที่ได้ปรับแล้ว ในที่นี้ $R_{adj}^2 = 0.932$ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Std. Error of the estimate หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (\hat{Y}) หรือคือ SEของตัวแปรอิสระทั้งหมดเท่ากับ 0.098 ดัน
- Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน
 - H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน
 - H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 4.26 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 4

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the estimate	Durbin-Watson
0.966	0.934	0.932	0.09840	1.204

a. Predictors: (Constant), X_1 , X_2 , X_3 , X_4

b. Dependent variable: In Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.27 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$ กับ $H_1: \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า; $i = 1, 2, 3, 4$

สมการถดถอยที่ 4: $SSR = 17.791$ $SSE = 1.259$

$$MSR = \frac{17.791}{4} = 4.448 \quad ; \quad MSE = \frac{1.259}{130} = 0.010$$

สถิติทดสอบ $F = 459.392$ และ Sig. of $F = 0.001 < 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม InY อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จะต้องทำการทดสอบต่อไปว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยใช้ t-test ดังแสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 4

Type	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	17.791	4	4.448	459.392	0.001
Residual	1.259	130	0.010		
Total	19.050	134			

a. Predictors: (Constant), X_1 , X_2 , X_3 , X_4

b. Dependent variable: In Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.28 เป็นตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการถดถอย

สมการถดถอยที่ 4:

$$\text{สมการจะเป็น } \ln Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + e$$

$$\text{หรือ } \ln \hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + e$$

- B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่มี $a = 6.964$ $b_1 = 0.026$ $b_2 = 0.296$ $b_3 = -0.122$ $b_4 = -0.309$
- Std. Error หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน นั่นคือ $SE(a) = 0.009$, $SE(b_1) = 0.012$,
 $SE(b_2) = 0.010$, $SE(b_3) = 0.011$, $SE(b_4) = 0.011$
- Beta หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐานของ $X_1 = 0.048$, $X_2 = 0.651$, $X_3 = -0.254$,
 $X_4 = -0.613$
- t และ Sig. เป็นสถิติทดสอบค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ และ β_4
โดยที่ Sig. ของค่าคงที่ $= 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_0 \neq 0$
Sig. ของ $X_1 = 0.036 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_1 \neq 0$
Sig. ของ $X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_2 \neq 0$
Sig. ของ $X_3 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_3 \neq 0$
Sig. ของ $X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_4 \neq 0$

สมการจึงกลายเป็น $\ln \hat{Y} = 6.964 + 0.026X_1 + 0.296X_2 - 0.122X_3 - 0.309 X_4$

ตารางที่ 4.28 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 4

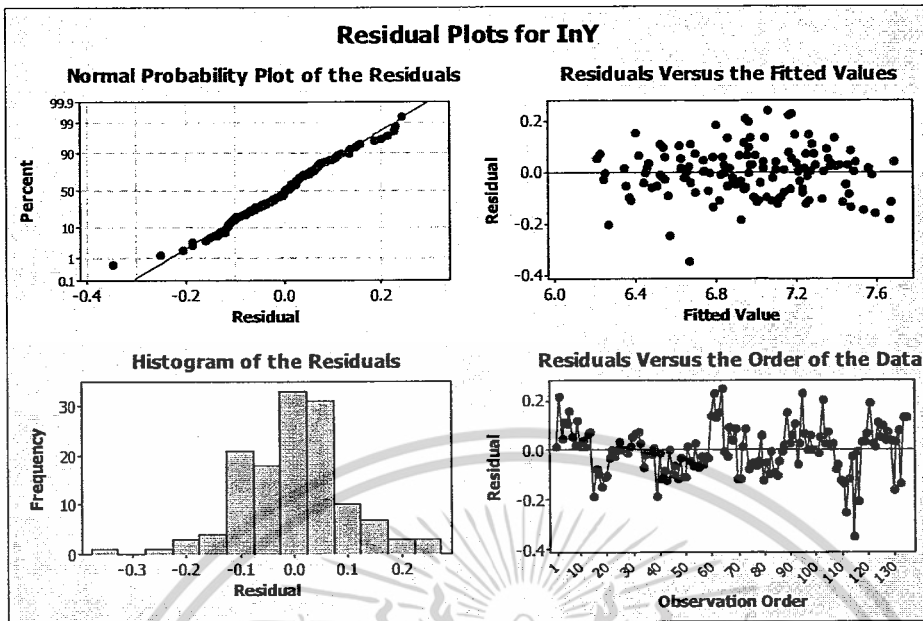
Independent variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Colinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	6.964	0.009		819.046	0.001		
X ₁	0.026	0.012	0.048	2.123	0.036	0.999	1.001
X ₂	0.296	0.010	0.651	28.819	0.001	0.996	1.004
X ₃	-0.122	0.011	-0.254	-11.235	0.001	0.997	1.003
X ₄	-0.309	0.011	-0.613	-27.107	0.001	0.994	1.006

a. Dependent variable: In Y

4.2.4.1 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

ผลของการวิเคราะห์ที่ได้ คือ $\ln \hat{Y} = 6.964 + 0.026X_1 + 0.296X_2 - 0.122X_3 - 0.309 X_4$ จะน่าเชื่อถือ ถ้าผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย ทั้ง 5 ข้อ ซึ่งผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 4 แสดงดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 4

จากผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟมีความเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์จะสรุปผลแตกต่างกัน จึงมีการใช้สถิติทดสอบในการตรวจสอบเงื่อนไขควบคู่กันไปกับการพิจารณาจากกราฟ ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติแสดงดังต่อไปนี้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 1: ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์

เงื่อนไขนี้ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบเนื่องจากใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ และ β_4 จะทำให้ $E(\text{error}) = 0$ เสมอ หรือถ้าต้องการทดสอบก็สามารถทำได้เช่นกัน จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.29 เป็นตารางแสดงค่าสถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ กับ H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

สถิติทดสอบ $t = 0.000$ และ $\text{Sig. of } t = 1.000 > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 4.29 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 4

Residual	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of Difference	
					Lower	Upper
Unstandardized Residual	0.000	134	1.000	0.0000000	-0.016497	-0.016497

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.30 เป็นตารางวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov และ ค่า Sig. = 0.200 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.30 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 4

Residual	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	0.062	135	0.200

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j มีความสัมพันธ์กัน จากตารางที่ 4.26 DW มีค่า 1.204 เมื่อ $k=4$, $\alpha=0.05$ และ $n=135$ เปิดตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ ค่า $DW_L = 1.653$ และ $DW_U = 1.781$

เนื่องจาก $DW = 1.204 < DW_L = 1.653$ จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j มีความสัมพันธ์กัน

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 4: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.31 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2$ กับ $H_1: \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

สถิติทดสอบ $F = 0.685$ ได้จากการนำ SSE_2 หารด้วย SSE_1 เมื่อ $\alpha = 0.05$ และ $L-P = 62$ เปิดตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ $f_{0.05, (62, 62)} = 1.525$ เนื่องจาก $F < f_{0.05, (62, 62)}$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 4

Source1	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Regression	4	7.6582	1.9145	261.74	0.001
Residual Error	62	0.4535	0.0073		
Total	66	8.1117			
Source 2					
Regression	4	4.1082	1.0271	203.67	0.001
Residual Error	62	0.3127	0.0050		
Total	66	4.4209			

a. Dependent variable: In Y

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 5: ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

Tolerance และ VIF เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ จากตารางที่ 4.28 พบว่าค่า Tolerance ของ X_1 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_1 มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ น้อยมาก

4.2.5 สมการถดถอยที่ 5

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.32 ใน Column ของ Method เป็นการระบุวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Enter โดยตัวแปร Y เป็นตัวแปรตาม คำว่า Variable Enter หมายถึง ตัวแปรอิสระที่นำเข้ามาสมการถดถอยเชิงเส้น คือ $X_1, X_2, \ln X_3$ และ $\ln X_4$

ตารางที่ 4.32 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 5 ด้วยวิธี Enter

Variables Entered	Variables Removed	Method
$X_1, X_2, \ln X_3, \ln X_4$.	Enter

a. All requested variables entered

b. Dependent variable: Y

ความหมายของผลลัพธ์ตารางที่ 4.33

- R Square หมายถึง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 91.2% นั่นคือตัวแปร $X_1, X_2, \ln X_3$ และ $\ln X_4$ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้ 91.2%
- R หมายถึง $\sqrt{R^2} = \sqrt{0.912} = 0.955$ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมด

• Adjusted R Square เป็นค่า R^2 ที่ได้ปรับแล้ว ในที่นี้ $R^2_{adj} = 0.909$ ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Std. Error of the estimate หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (\hat{Y}) หรือ คือ SEของตัวแปรอิสระทั้งหมดเท่ากับ 122.875 ดัน
- Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน
 H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน
 H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 4.33 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 5

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the estimate	Durbin-Watson
0.955	0.912	0.909	122.87504	1.158

a. Predictors: (Constant), X_1 , X_2 , $\ln X_3$, $\ln X_4$

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.34 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$ กับ $H_1: \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า; $i = 1, 2, 3, 4$

สมการถดถอยที่ 5: $SSR = 20,362,629$ $SSE = 1,962,776$

$$MSR = \frac{20,362,629}{4} = 5,090,657.191; \quad MSE = \frac{1,962,776}{130} = 15,098.276$$

สถิติทดสอบ $F = 337.168$ และ $\text{Sig. of } F = 0.001 < 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จะต้องทำการทดสอบต่อไปว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยใช้ t-test ดังแสดงในตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.34 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 5

Type	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	20,362,629	4	5,090,657.191	337.168	0.001
Residual	1,962,776	130	15,098.276		
Total	22,325,405	134			

a. Predictors: (Constant), X_1 , X_2 , $\ln X_3$, $\ln X_4$

b. Dependent variable: Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.35 เป็นตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการถดถอย

สมการถดถอยที่ 5: สมการจะเป็น $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + e$

หรือ $\hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 \ln X_3 + b_4 \ln X_4 + e$

- B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่มี $a = 1,139.625$ $b_1 = 42.108$ $b_2 = 306.895$ $b_3 = -133.545$
 $b_4 = -338.298$

- Std. Error หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน นั่นคือ $SE(a) = 10.656$, $SE(b_1) = 15.396$,
 $SE(b_2) = 12.847$, $SE(b_3) = 13.456$, $SE(b_4) = 14.204$

- Beta หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐานของ $X_1 = 0.071$, $X_2 = 0.623$, $\ln X_3 = -$
 0.259 , $\ln X_4 = -0.621$

- t และ Sig. เป็นสถิติทดสอบค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ และ β_4

โดยที่ Sig. ของค่าคงที่ = $0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_0 \neq 0$

Sig. ของ $X_1 = 0.007 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_1 \neq 0$

Sig. ของ $X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_2 \neq 0$

Sig. ของ $\ln X_3 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_3 \neq 0$

Sig. ของ $\ln X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_4 \neq 0$

สมการจึงกลายเป็น $\hat{Y} = 1,139.625 + 42.108X_1 + 306.895X_2 - 133.545\ln X_3 - 338.298\ln X_4$

ตารางที่ 4.35 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 5

Independent variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Colinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	1,139.625	10.656		106.950	0.001		
X_1	42.108	15.396	0.071	2.735	0.007	0.999	1.001
X_2	306.895	12.847	0.623	23.889	0.001	0.996	1.004
$\ln X_3$	-133.545	13.456	-0.259	-9.925	0.001	0.997	1.003
$\ln X_4$	-338.298	14.204	-0.621	-23.816	0.000	0.994	1.006

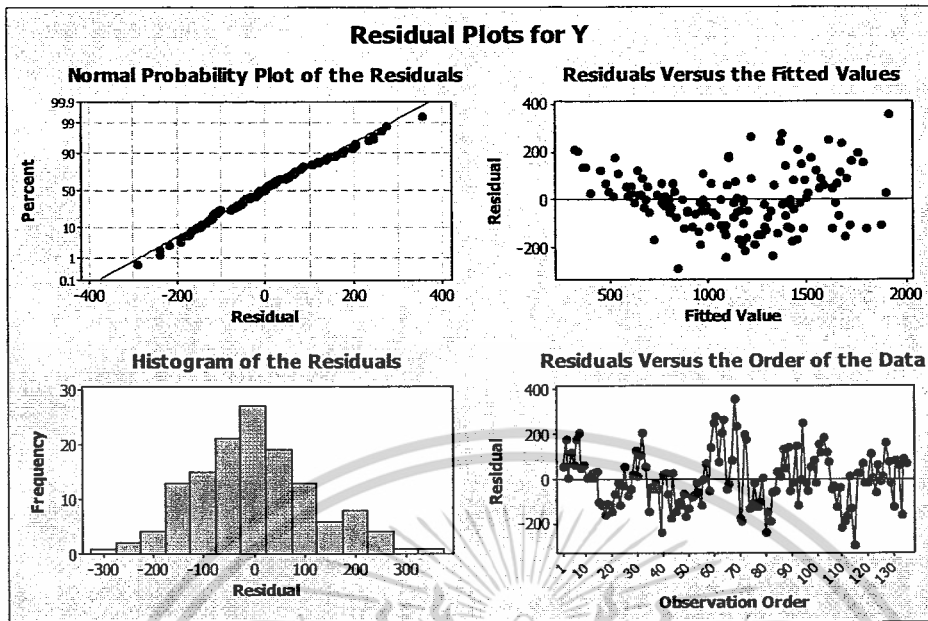
a. Dependent variable: Y

4.2.5.1 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

ผลของการวิเคราะห์ที่ได้ คือ $\hat{Y} = 1,139.625 + 42.108X_1 + 306.895X_2 - 133.545\ln X_3 - 338.298\ln X_4$ จะ
น่าเชื่อถือ ถ้าผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย ทั้ง 5 ข้อ ซึ่งผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟ

ของสมการถดถอยที่ 5 แสดงดังรูปที่ 4.9

เป็นเส้นตรงที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟที่เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 5

จากผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟมีความเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์จะสรุปผลแตกต่างกัน จึงมีการใช้สถิติทดสอบในการตรวจสอบเงื่อนไขควบคู่กันไปกับการพิจารณาจากกราฟ ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติแสดงดังต่อไปนี้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 1: ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์

เงื่อนไขนี้ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบเนื่องจากใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ และ β_4 จะทำให้ $E(\text{error}) = 0$ เสมอ หรือถ้าต้องการทดสอบก็สามารถทำได้เช่นกัน จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.36 เป็นตารางแสดงค่าสถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ กับ H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

สถิติทดสอบ $t = .000$ และ $\text{Sig. of } t = 1.000 > .05$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 4.36 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 5

Residual	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of Difference	
					Lower	Upper
Unstandardized Residual	0.000	134	1.000	0.00000000	-20.6017	20.60175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.37 เป็นตารางวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov และ ค่า Sig. = 0.200 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.37 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 5

Residual	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	.054	135	.200

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน จากตารางที่ 4.33 DW มีค่า 1.158 เมื่อ $k = 4$, $\alpha = 0.05$ และ $n = 135$ เปิดตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ ค่า $DW_L = 1.653$ และ $DW_U = 1.781$

เนื่องจาก $DW = 1.158 < DW_L = 1.653$ จึงปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 4: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.38 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2$ กับ $H_1 : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

สถิติทดสอบ $F = 0.936$ ได้จากการนำ SSE_2 หารด้วย SSE_1 เมื่อ $\alpha = 0.05$ และ $L-P = 62$ เปิดตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ $f_{0.05, (62, 62)} = 1.525$ เนื่องจาก $F < f_{0.05, (62, 62)}$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 5

Source1	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Regression	4	6,755,324	1,688,831	142.65	0.000
Residual Error	62	734,016	11,839		
Total	66	7,489,341			
Source 2					
Regression	4	7,148,222	1,787,056	161.21	0.000
Residual Error	62	687,269	11,085		
Total	66	7,835,491			

a. Dependent variable: Y

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 5: ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

Tolerance และ VIF เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ จากตารางที่ 4.35 พบว่าค่า Tolerance ของ X_i มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_i มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ น้อยมาก

4.2.6 สรุปผลการสร้างสมการถดถอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

ผลการสร้างสมการถดถอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.39 ซึ่งจากผลการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอย ดังตารางที่ 4.40 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามเงื่อนไข ซึ่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่ประมาณได้ไม่ถูกต้อง จึงไม่สามารถใช้สมการถดถอยเชิงเส้นที่จัดสร้างขึ้นในการทำนายแรงอัดขั้นรูปได้ เนื่องจากการนำไปใช้งานอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

ดังนั้น การแก้ไขปัญหาค่าความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามเงื่อนไข สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูลโดยใช้วิธี First Difference Method ซึ่งจะแสดงในหัวข้อ 4.3

ตารางที่ 4.39 สรุปรูปแบบความสัมพันธ์ของสมการถดถอยที่ 1-5

สมการถดถอย	รูปแบบความสัมพันธ์
สมการถดถอยที่ 1	$\hat{Y} = 1,132+42.8X_1+307.6X_2-133.3X_3-338.1X_4$
สมการถดถอยที่ 2	$\hat{Y} = 1,128+47.2X_1+313.4X_2-138.3X_3-339.2X_4+98.2X_1X_2-32.1X_2X_3-73.9X_2X_4+47.6X_3X_4$
สมการถดถอยที่ 3	$\hat{Y} = 1,162+46X_1+314.4X_2-136.4X_3-336.9X_4+97.5X_1X_2-32.8X_2X_3-75.3X_2X_4+46.4X_3X_4-49X_2^2$
สมการถดถอยที่ 4	$\ln \hat{Y} = 6.96+0.026X_1+0.296X_2-0.122X_3-0.309 X_4$
สมการถดถอยที่ 5	$\hat{Y} = 1,139.6+42.1X_1+306.9X_2-133.6\ln X_3-338.3\ln X_4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.40 ผลการตรวจสอบเงื่อนไขและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการถดถอยที่ 1-5

สมการถดถอย	เงื่อนไข					ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	
	1	2	3	4	5	R ²	R ² _{adj}
สมการถดถอยที่ 1	T	T	F	T	T	0.911	0.908
สมการถดถอยที่ 2	T	F	F	F	T	0.948	0.945
สมการถดถอยที่ 3	T	F	F	F	T	0.952	0.948
สมการถดถอยที่ 4	T	T	F	T	T	0.934	0.932
สมการถดถอยที่ 5	T	T	F	T	T	0.912	0.909

หมายเหตุ: T คือ ผ่าน, F คือ ไม่ผ่าน

4.3 การทำนายแรงอัดขึ้นรูปโดยใช้ชุดข้อมูลการแปลงในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

ตารางที่ ก.3 ในภาคผนวกแสดงข้อมูลฝึกสอนที่ผ่านการแปลงด้วยวิธี First Difference Method จะถูกนำมาเข้ารหัสเพื่อปรับเปลี่ยนช่วงการวิเคราะห์ให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน ให้ง่ายต่อการศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ของสมการถดถอยที่จะสร้างขึ้นและเพิ่มความถูกต้องในการวิเคราะห์ ซึ่งผลการแปลงดังตารางที่ ก.4 ในภาคผนวก

4.3.1 สมการถดถอยที่ 6

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.41 ใน Column ของ Method เป็นการระบุวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Enter โดยตัวแปร Y เป็นตัวแปรตาม คำว่า Variable Enter หมายถึง ตัวแปรอิสระที่นำเข้าสู่สมการถดถอยเชิงเส้น คือ X₂, X₃ และ X₄

ตารางที่ 4.41 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 6 ด้วยวิธี Enter

Variables Entered	Variables Removed	Method
X ₂ , X ₃ , X ₄		Enter

a. All requested variables entered

b. Dependent variable: Y

ความหมายของผลลัพธ์ตารางที่ 4.42

- R Square หมายถึง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 91.4% นั่นคือตัวแปร X₂, X₃ และ X₄ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้ 91.4%
- R หมายถึง $\sqrt{R^2} = \sqrt{0.914} = 0.956$ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมด
- Adjusted R Square หมายถึง เป็นค่า R² ที่ได้ปรับแล้ว ในที่นี้ R²_{adj} = 0.912

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Std. Error of the estimate หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (\hat{Y}) หรือคือ SE ของตัวแปรอิสระทั้งหมดเท่ากับ 112.534 ดัน
- Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน
 H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน
 H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 4.42 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 6

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the estimate	Durbin-Watson
0.956	0.914	0.912	112.53384	1.893

a. Predictors: (Constant), X_2 , X_3 , X_4

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.43 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ กับ $H_1: \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า; $i = 1, 2, 3$
 สมการถดถอยที่ 6: $SSR = 17,466,775$ $SSE = 1,646,302$

$$MSR = \frac{17,466,775}{3} = 5,822,258.233 ; \quad MSE = \frac{1,646,302}{130} = 12,663.865$$

สถิติทดสอบ $F = 459.754$ และ $\text{Sig. of } F = 0.001 < 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จะต้องทำการทดสอบต่อไปว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยใช้ t-test ดังแสดงในตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.43 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 6

Type	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	17,466,775	3	5,822,258.233	459.754	0.000
Residual	1,646,302	130	12,663.865		
Total	19,113,077	133			

a. Predictors: (Constant), X_2 , X_3 , X_4

b. Dependent variable: Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.44 เป็นตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการถดถอย

สมการถดถอยที่ 6: สมการจะเป็น $Y = \beta_0 + \beta_1 X_2 + \beta_2 X_3 + \beta_3 X_4 + e$

หรือ $\hat{Y} = a + b_1 X_2 + b_2 X_3 + b_3 X_4 + e$

- B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่มี $a = 656.627$ $b_1 = 383.274$ $b_2 = -154.001$ $b_3 = -430.288$
- Std. Error หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน นั่นคือ $SE(a) = 11.414$, $SE(b_1) = 21.505$,
 $SE(b_2) = 17.086$, $SE(b_3) = 14.390$
- Beta หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐานของ $X_2 = 0.460$, $X_3 = -0.232$, $X_4 = -0.771$
- t และ Sig. เป็นสถิติทดสอบค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ และ β_3

โดยที่ Sig. ของค่าคงที่ $= 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_0 \neq 0$

Sig. ของ $X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_1 \neq 0$

Sig. ของ $X_3 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_2 \neq 0$

Sig. ของ $X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_3 \neq 0$

สมการจึงกลายเป็น $\hat{Y} = 656.627 + 383.274X_2 - 154.001X_3 - 430.288X_4$

ตารางที่ 4.44 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 6

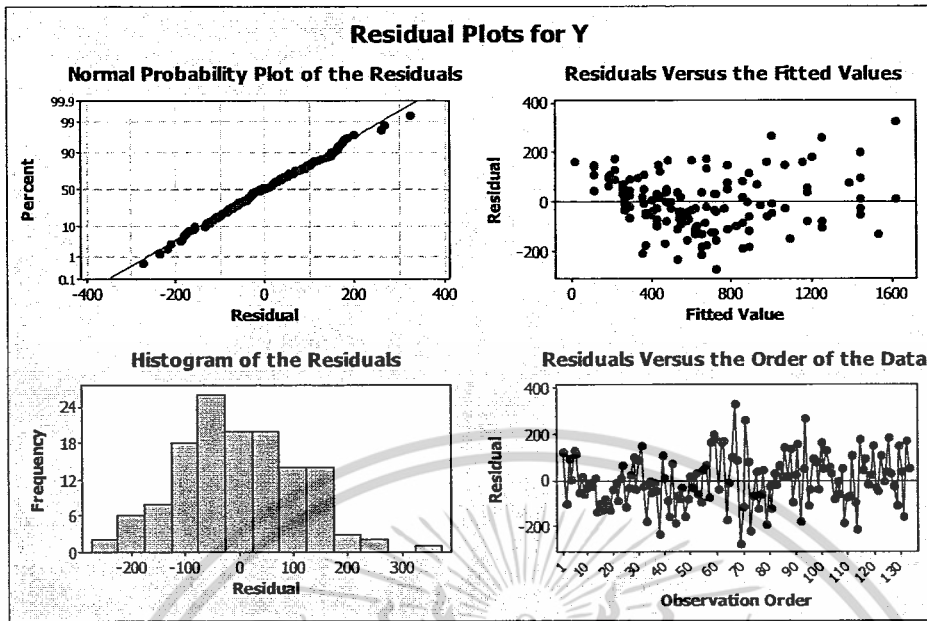
Independent variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Colinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
	(Constant)	656.627	11.414				57.529
X_2	383.274	21.505	0.460	17.823	0.001	0.994	1.006
X_3	-154.001	17.086	-0.232	-9.013	0.001	0.997	1.003
X_4	-430.288	14.390	-0.771	-29.902	0.001	0.997	1.003

a. Dependent variable: Y

4.3.1.1 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

ผลของการวิเคราะห์ที่ได้ คือ $\hat{Y} = 656.627 + 383.274X_2 - 154.001X_3 - 430.288X_4$ จะนำเช็ถือือ ถ้าผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย ทั้ง 5 ข้อ ซึ่งผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 6 แสดงดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 การตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 6

จากผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟมีความเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์จะสรุปผลแตกต่างกัน จึงมีการใช้สถิติทดสอบในการตรวจสอบเงื่อนไขควบคู่กัน ไปด้วยกับการพิจารณาจากกราฟ ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติแสดงดังต่อไปนี้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 1: ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์

เงื่อนไขนี้ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบเนื่องจากใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ และ β_3 จะทำให้ $E(\text{error}) = 0$ เสมอ หรือถ้าต้องการทดสอบก็สามารถทำได้เช่นกัน จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.45 เป็นตารางแสดงค่าสถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ กับ H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

สถิติทดสอบ $t = 0.000$ และ $\text{Sig. of } t = 1.000 > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 4.45 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 6

Residual	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of Difference	
					Lower	Upper
Unstandardized Residual	0.000	133	1.000	0.00000000	-19.01053	19.01053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.46 เป็นตารางวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov และ ค่า Sig. = 0.200 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.46 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 6

Residual	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	0.040	134	0.200

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_j เป็นอิสระต่อกัน กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_j มีความสัมพันธ์กัน จากตารางที่ 4.42 DW มีค่า 1.893 เมื่อ $k = 3$, $\alpha = 0.05$ และ $n = 134$ เปิดตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ ค่า $DW_L = 1.673$ และ $DW_U = 1.764$

เนื่องจาก $DW = 1.893 > DW_U = 1.764$ และ $4 - DW = 2.107 > DW_U = 1.764$ จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_j เป็นอิสระต่อกัน

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 4: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.47 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2$ กับ $H_1: \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

สถิติทดสอบ $F = 0.536$ ได้จากการนำ SSE_2 หารด้วย SSE_1 เมื่อ $\alpha = 0.05$ และ $L-P = 63$ เปิดตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ $f_{0.05, (63, 63)} = 1.522$ เนื่องจาก $F < f_{0.05, (63, 63)}$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.47 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 6

Source1	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Regression	3	9,537,008	3,179,003	247.52	0.001
Residual Error	63	809,146	12,844		
Total	66	10,346,155			
Source 2					
Regression	3	1,005,132	335,044	48.68	0.001
Residual Error	63	433,647	6,883		
Total	66	1,438,779			

a. Dependent variable: Y

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 5: ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

Tolerance และ VIF เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ จากตารางที่ 4.44 พบว่าค่า Tolerance ของ X_1 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_1 มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ น้อยมาก

4.3.2 สมการถดถอยที่ 7

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.48 ใน Column ของ Method เป็นการระบุวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Enter โดยตัวแปร Y เป็นตัวแปรตาม คำว่า Variable Enter หมายถึง ตัวแปรอิสระที่นำเข้าสู่สมการถดถอยเชิงเส้น คือ $\ln X_1$, $\ln X_2$, $\ln X_3$ และ $\ln X_4$

ตารางที่ 4.48 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 7 ด้วยวิธี Enter

Variables Entered	Variables Removed	Method
$\ln X_1$, $\ln X_2$, $\ln X_3$, $\ln X_4$.	Enter

a. All requested variables entered

b. Dependent variable: Y

ความหมายของผลลัพธ์ตารางที่ 4.49

- R Square หมายถึง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 91.6% นั่นคือตัวแปร $\ln X_1$, $\ln X_2$, $\ln X_3$ และ $\ln X_4$ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้ 91.6%
- R หมายถึง $\sqrt{R^2} = \sqrt{0.916} = 0.957$ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมด
- Adjusted R Square หมายถึง เป็นค่า R^2 ที่ได้ปรับแล้ว ในที่นี้ $R_{adj}^2 = 0.913$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในพิธีการพิธีการเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Std. Error of the estimate หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (\hat{Y}) หรือ คือ SE ของตัวแปรอิสระทั้งหมดเท่ากับ 111.760 ดัน
- Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน
 - H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน
 - H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 4.49 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 7

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the estimate	Durbin-Watson
0.957	0.916	0.913	111.76002	1.904

a. Predictors: (Constant), In X_1 , In X_2 , In X_3 , In X_4

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.50 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$ กับ $H_1: \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า; $i = 1, 2, 3, 4$
สมการถดถอยที่ 7: $SSR = 17,501,859$ $SSE = 1,611,249$

$$MSR = \frac{17,501,859}{4} = 4,375,464.834 ; \quad MSE = \frac{1,611,249}{129} = 12,490.303$$

สถิติทดสอบ $F = 350.309$ และ $\text{Sig. of } F = 0.001 < 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จะต้องทำการทดสอบต่อไปว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยใช้ t -test ดังแสดงในตารางที่ 4.51

ตารางที่ 4.50 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 7

Type	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	17,501,859	4	4,375,464.834	350.309	0.001
Residual	1,611,249	129	12,490.303		
Total	19,113,108	133			

a. Predictors: (Constant), In X_1 , In X_2 , In X_3 , In X_4

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.51 เป็นตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการถดถอย

สมการถดถอยที่ 7: สมการจะเป็น $Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + e$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานที่ถูกต้องเท่านั้น ขอสงวนสิทธิ์ในข้อใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ $\hat{Y} = a + b_1 \ln X_1 + b_2 \ln X_2 + b_3 \ln X_3 + b_4 \ln X_4 + e$

- B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่มี $a = 528.401$ $b_1 = 32.956$ $b_2 = 467.011$ $b_3 = -202.680$
 $b_4 = -434.279$
- Std. Error หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน นั่นคือ $SE(a) = 17.944$, $SE(b_1) = 15.825$,
 $SE(b_2) = 26.279$, $SE(b_3) = 17.154$, $SE(b_4) = 13.924$
- Beta หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐานของ $\ln X_1 = 0.054$, $\ln X_2 = 0.460$,
 $\ln X_3 = 0.305$, $\ln X_4 = 0.799$
- t และ Sig. เป็นสถิติทดสอบค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ และ β_4
โดยที่ Sig. ของค่าคงที่ $= 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_0 \neq 0$
Sig. ของ $\ln X_1 = 0.039 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_1 \neq 0$
Sig. ของ $\ln X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_2 \neq 0$
Sig. ของ $\ln X_3 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_3 \neq 0$
Sig. ของ $\ln X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_4 \neq 0$

สมการจึงกลายเป็น $\hat{Y} = 528.401 + 32.956 \ln X_1 + 467.011 \ln X_2 - 202.680 \ln X_3 - 434.279 \ln X_4$

ตารางที่ 4.51 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 7

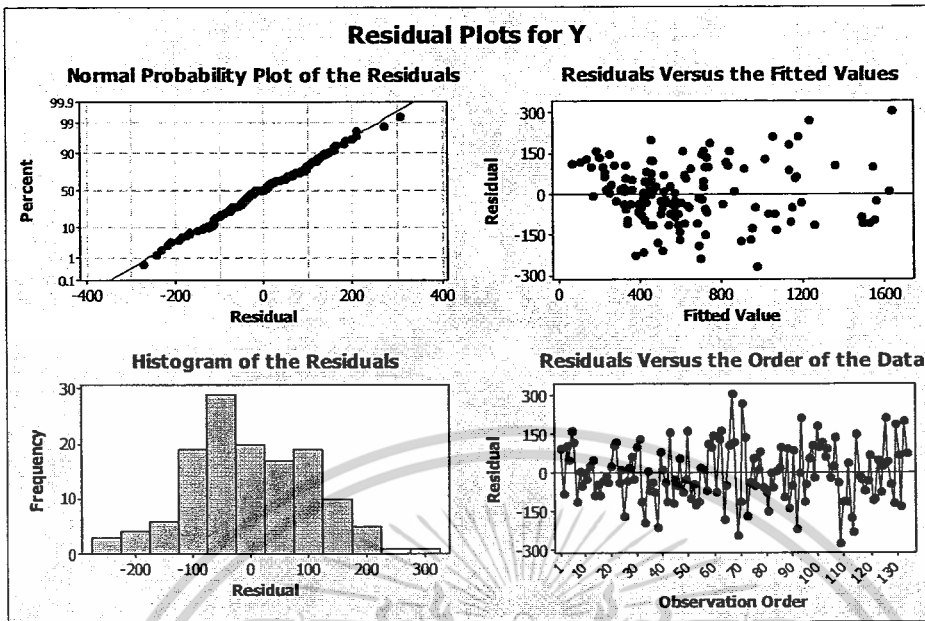
Independent variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Colinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	528.401	17.944		29.447	0.001		
$\ln X_1$	32.956	15.825	0.054	2.083	0.039	0.986	1.014
$\ln X_2$	467.011	26.279	0.460	17.771	0.001	0.976	1.025
$\ln X_3$	-202.680	17.154	0.305	-11.814	0.001	0.981	1.019
$\ln X_4$	-434.279	13.924	0.799	-31.189	0.001	0.995	1.005

a. Dependent variable: Y

4.3.2.1 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

ผลของการวิเคราะห์ที่ได้ คือ $\hat{Y} = 528.401 + 32.956 \ln X_1 + 467.011 \ln X_2 - 202.680 \ln X_3 - 434.279 \ln X_4$ จะน่าเชื่อถือ ถ้าผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย ทั้ง 5 ข้อ ซึ่งผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 7 แสดงดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟที่เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 7

จากผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟมีความเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์จะสรุปผลแตกต่างกัน จึงมีการใช้สถิติทดสอบในการตรวจสอบเงื่อนไขควบคู่กันไปกับการพิจารณาจากกราฟ ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติแสดงดังต่อไปนี้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 1: ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์

เงื่อนไขนี้ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบเนื่องจากใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$

และ β_4 จะทำให้ $E(\text{error}) = 0$ เสมอ หรือถ้าต้องการทดสอบก็สามารถทำได้เช่นกัน จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.52 เป็นตารางแสดงค่าสถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ กับ H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

สถิติทดสอบ $t = 0.000$ และ $\text{Sig. of } t = 1.000 > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 4.52 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 7

Residual	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of Difference	
					Lower	Upper
Unstandardized Residual	0.000	133	1.000	0.00000000	-18.8071	18.80706

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.53 เป็นตารางวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov และ ค่า Sig. = 0.200 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.53 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 7

Residual	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	0.059	134	0.200

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_j เป็นอิสระต่อกัน กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_j มีความสัมพันธ์กัน จากตารางที่ 4.49 DW มีค่า 1.904 เมื่อ $k=4$, $\alpha=0.05$ และ $n=134$ เปิดตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ ค่า $DW_L = 1.651$ และ $DW_U = 1.780$

เนื่องจาก $DW = 1.904 > DW_U = 1.780$ และ $4 - DW = 2.096 > DW_U = 1.780$ จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_j เป็นอิสระต่อกัน

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 4: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.54 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2$ กับ $H_1: \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

สถิติทดสอบ $F = 0.414$ ได้จากการนำ SSE_2 หารด้วย SSE_1 เมื่อ $\alpha = 0.05$ และ $L-P = 62$ เปิดตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ $f_{0.05, (62, 62)} = 1.525$ เนื่องจาก $F < f_{0.05, (62, 62)}$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.54 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 7

Source1	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Regression	4	9,365,620	2,341,405	148.05	0.001
Residual Error	62	980,535	15,815		
Total	66	10,346,155			
Source 2					
Regression	4	1,033,065	258,266	39.47	0.001
Residual Error	62	405,714	6,544		
Total	66	1,438,779			

a. Dependent variable: Y

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 5: ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

Tolerance และ VIF เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ จากตารางที่ 4.51 พบว่าค่า Tolerance ของ X_1 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_1 มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ น้อยมาก

4.3.3 สมการถดถอยที่ 8

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.55 ใน Column ของ Method เป็นการระบุวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Enter โดยตัวแปร Y เป็นตัวแปรตาม คำว่า Variable Enter หมายถึง ตัวแปรอิสระที่นำเข้าสมการถดถอยเชิงเส้น คือ X_2 , $\ln X_3$ และ $\ln X_4$

ตารางที่ 4.55 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 8 ด้วยวิธี Enter

Variables Entered	Variables Removed	Method
X_2 , $\ln X_3$, $\ln X_4$.	Enter

a. All requested variables entered

b. Dependent variable: Y

ความหมายของผลลัพธ์ตารางที่ 4.56

- R Square หมายถึง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 91.8% นั่นคือตัวแปร X_2 , $\ln X_3$ และ $\ln X_4$ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้ 91.8%

- R หมายถึง $\sqrt{R^2} = \sqrt{0.918} = 0.958$ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมด

- Adjusted R Square หมายถึง เป็นค่า R^2 ที่ได้ปรับแล้ว ในที่นี้ $R_{adj}^2 = 0.916$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่แนะนำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Std. Error of the estimate หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (\hat{Y}) หรือ คือ SE ของตัวแปรอิสระทั้งหมดเท่ากับ 109.579 ดัน
- Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน
 - H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน
 - H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_i และ e_j มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 4.56 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 8

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of The estimate	Durbin-Watson
0.958	0.918	0.916	109.57897	1.856

a. Predictors: (Constant), X_2 , $\ln X_3$, $\ln X_4$

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.57 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ กับ $H_1: \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า; $i = 1, 2, 3$

สมการถดถอยที่ 8: $SSR = 17,552,096$ $SSE = 1,560,982$

$$MSR = \frac{17,552,096}{3} = 5,850,698.53 ; \quad MSE = \frac{1,560,982}{130} = 12,007.55$$

สถิติทดสอบ $F = 487.252$ และ $\text{Sig. of } F = 0.001 < 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จะต้องทำการทดสอบต่อไปว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยใช้ t-test ดังแสดงในตารางที่ 4.58

ตารางที่ 4.57 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 8

Type	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	17,552,096	3	5,850,698.53	487.252	0.001
Residual	1,560,982	130	12,007.55		
Total	19,113,077	133			

a. Predictors: (Constant), X_2 , $\ln X_3$, $\ln X_4$

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.58 เป็นตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการถดถอย

สมการถดถอยที่ 8: สมการจะเป็น $Y = \beta_0 + \beta_1 X_2 + \beta_2 \ln X_3 + \beta_3 \ln X_4 + e$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ $\hat{Y} = a + b_1X_2 + b_2\ln X_3 + b_3\ln X_4 + e$

- B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่มี $a = 694.437$ $b_1 = 381.999$ $b_2 = -154.392$ $b_3 = -414.460$
- Std. Error หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน นั่นคือ $SE(a) = 11.638$, $SE(b_1) = 20.941$, $SE(b_2) = 16.720$, $SE(b_3) = 13.664$
- Beta หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐานของ $X_2 = 0.459$, $\ln X_3 = -0.232$, $\ln X_4 = -0.763$
- t และ Sig. เป็นสถิติทดสอบค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ และ β_3
โดยที่ Sig. ของค่าคงที่ $= 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_0 \neq 0$
Sig. ของ $X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_1 \neq 0$
Sig. ของ $\ln X_3 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_2 \neq 0$
Sig. ของ $\ln X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_3 \neq 0$

สมการจึงกลายเป็น $\hat{Y} = 694.437 + 381.999X_2 - 154.392\ln X_3 - 414.460\ln X_4$

ตารางที่ 4.58 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 8

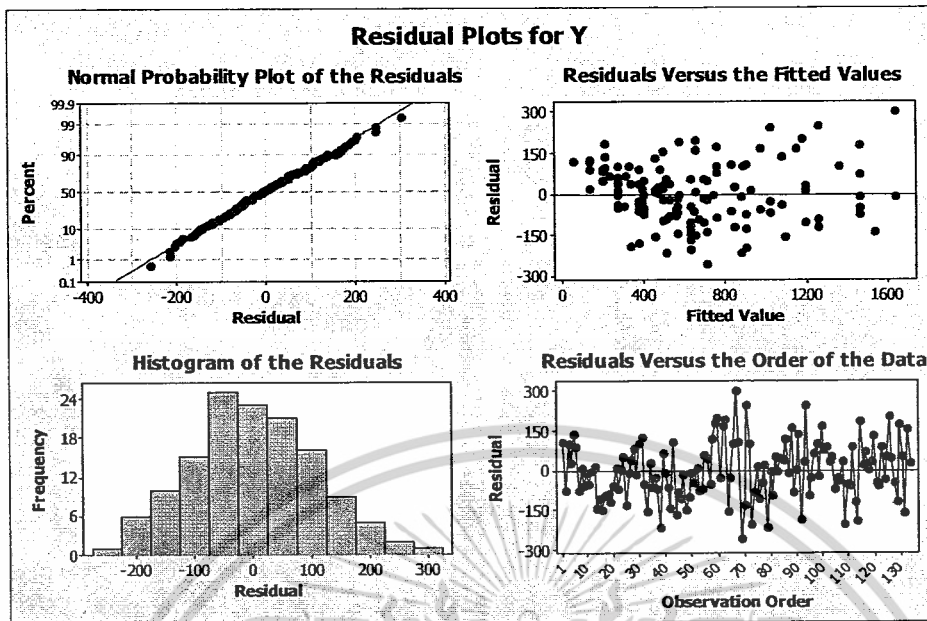
Independent variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Colinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	694.437	11.638		59.670	0.001		
X_2	381.999	20.941	0.459	18.241	0.001	0.994	1.006
$\ln X_3$	-154.392	16.720	-0.232	-9.234	0.001	0.993	1.007
$\ln X_4$	-414.460	13.664	-0.763	-30.332	0.001	0.993	1.007

a. Dependent variable: Y

4.3.3.1 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

ผลของการวิเคราะห์ที่ได้ คือ $\hat{Y} = 694.437 + 381.999X_2 - 154.392\ln X_3 - 414.460\ln X_4$ จะนำเชื่อถือ ถ้าผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย ทั้ง 5 ข้อ ซึ่งผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 8 แสดงดังรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 การตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟที่เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 8

จากผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟมีความเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์จะสรุปผลแตกต่างกัน จึงมีการใช้สถิติทดสอบในการตรวจสอบเงื่อนไขควบคู่กัน กับการพิจารณาจากกราฟ ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติแสดงดังต่อไปนี้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 1: ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์

เงื่อนไขนี้ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบเนื่องจากใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ และ β_3 จะทำให้ $E(\text{error}) = 0$ เสมอ หรือถ้าต้องการทดสอบก็สามารถทำได้เช่นกัน จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.59 เป็นตารางแสดงค่าสถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ กับ H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

สถิติทดสอบ $t = 0.000$ และ $\text{Sig. of } t = 1.000 > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 4.59 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 8

Residual	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of Difference	
					Lower	Upper
Unstandardized Residual	0.000	133	1.000	0.00000000	-18.5114	18.51136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.60 เป็นตารางวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov และ ค่า Sig. = 0.200 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.60 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 8

Residual	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	0.038	134	0.200

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน จากตารางที่ 4.56 DW มีค่า 1.856 เมื่อ $k = 3$, $\alpha = 0.05$ และ $n = 134$ เปิดตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ ค่า $DW_L = 1.672$ และ $DW_U = 1.764$

เนื่องจาก $DW = 1.856 > DW_U = 1.764$ และ $4 - DW = 2.144 > DW_U = 1.764$ จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 4: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.61 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2$ กับ $H_1 : \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

สถิติทดสอบ $F = 0.509$ ได้จากการนำ SSE_2 หารด้วย SSE_1 เมื่อ $\alpha = 0.05$ และ $L-P = 63$ เปิดตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ $f_{0.05, (63, 63)} = 1.522$ เนื่องจาก $F < f_{0.05, (63, 63)}$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.61 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 8

Source1	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Regression	3	9,525,422	3,175,141	243.73	0.001
Residual Error	63	820,733	13,028		
Total	66	10,346,155			
Source 2					
Regression	3	1,020,877	340,292	51.30	0.001
Residual Error	63	417,902	6,633		
Total	66	1,438,779			

a. Dependent variable: Y

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 5: ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

Tolerance และ VIF เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ จากตารางที่ 4.58 พบว่าค่า Tolerance ของ X_1 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_1 มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ น้อยมาก

4.3.4 สมการถดถอยที่ 9

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.62 ใน Column ของ Method เป็นการระบุวิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Enter โดยตัวแปร Y เป็นตัวแปรตาม คำว่า Variable Enter หมายถึง ตัวแปรอิสระที่นำเข้าสู่สมการถดถอยเชิงเส้น คือ X_2 , X_3 และ $\ln X_4$

ตารางที่ 4.62 ผลการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่ 9 ด้วยวิธี Enter

Variables Entered	Variables Removed	Method
X_2 , X_3 , $\ln X_4$.	Enter

a. All requested variables entered

b. Dependent variable: Y

ความหมายของผลลัพธ์ตารางที่ 4.63

- R Square หมายถึง สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 91.8% นั่นคือตัวแปร X_2 , X_3 และ

$\ln X_4$ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้ 91.8%

- R หมายถึง $\sqrt{R^2} = \sqrt{0.918} = 0.958$ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของ

ตัวแปรอิสระทั้งหมด

- Adjusted R Square หมายถึง เป็นค่า R^2 ที่ได้รับแล้ว ในที่นี้ $R_{adj}^2 = 0.916$

เอกซอร์นนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพียงในพิธีการเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Std. Error of the estimate หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า (\hat{Y}) หรือ คือ SE ของตัวแปรอิสระทั้งหมดเท่ากับ 110.018 ดัน
- Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน
 H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน
 H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 4.63 ผลสรุปการสร้างสมการถดถอยที่ 9

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the estimate	Durbin-Watson
0.958	0.918	0.916	110.01788	1.839

a. Predictors: (Constant), X_2 , X_3 , $\ln X_4$

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.64 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ กับ $H_1: \beta_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า; $i = 1, 2, 3$

สมการถดถอยที่ 9: $SSR = 17,539,566$ $SSE = 1,573,512$

$$MSR = \frac{17,539,566}{3} = 5,846,521.854 ; \quad MSE = \frac{1,573,512}{130} = 12,103.935$$

สถิติทดสอบ $F = 483.027$ และ $\text{Sig. of } F = 0.001 < 0.05$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จะต้องทำการทดสอบต่อไปว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยใช้ t-test ดังแสดงในตารางที่ 4.65

ตารางที่ 4.64 ผลการทดสอบ ANOVA ของสมการถดถอยที่ 9

Type	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	17,539,566	3	5,846,521.854	483.027	0.001
Residual	1,573,512	130	12,103.935		
Total	19,113,077	133			

a. Predictors: (Constant), X_2 , X_3 , $\ln X_4$

b. Dependent variable: Y

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.65 เป็นตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของสมการความถดถอย

สมการถดถอยที่ 9: สมการจะเป็น $Y = \beta_0 + \beta_1 X_2 + \beta_2 X_3 + \beta_3 \ln X_4 + e$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ $\hat{Y} = a + b_1X_2 + b_2X_3 + b_3\ln X_4 + e$

- B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่มี $a = 685.687$ $b_1 = 381.823$ $b_2 = -152.696$ $b_3 = -420.222$
- Std. Error หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน นั่นคือ $SE(a) = 11.362$, $SE(b_1) = 21.027$,
 $SE(b_2) = 16.705$, $SE(b_3) = 13.695$
- Beta หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยมาตรฐานของ $X_2 = 0.458$, $X_3 = -0.230$,
 $\ln X_4 = -0.773$
- t และ Sig. เป็นสถิติทดสอบค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ และ β_4
โดยที่ Sig. ของค่าคงที่ $= 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_0 \neq 0$
Sig. ของ $X_2 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_1 \neq 0$
Sig. ของ $X_3 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_2 \neq 0$
Sig. ของ $\ln X_4 = 0.001 < 0.05$ จึงสรุปว่า $\beta_3 \neq 0$

สมการจึงกลายเป็น $\hat{Y} = 685.687 + 381.823X_2 - 152.696X_3 - 420.222\ln X_4$

ตารางที่ 4.65 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ 9

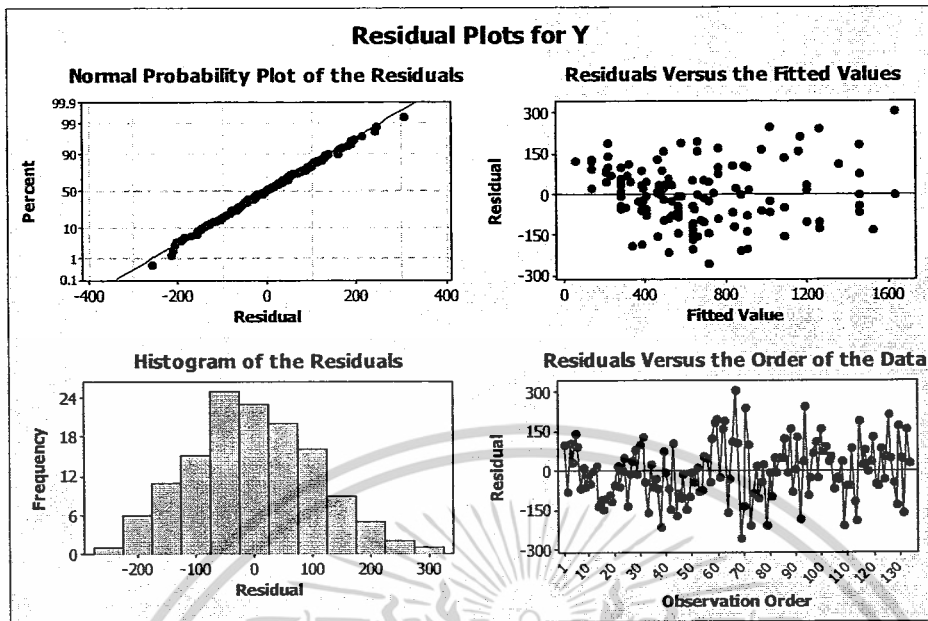
Independent variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Colinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	685.687	11.362		60.349	0.001		
X ₂	381.823	21.027	0.458	18.159	0.001	0.994	1.006
X ₃	-152.696	16.705	-0.230	-9.141	0.001	0.997	1.003
lnX ₄	-420.222	13.695	-0.773	-30.684	0.001	0.997	1.003

a. Dependent variable: Y

4.3.4.1 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

ผลของการวิเคราะห์ที่ได้ คือ $\hat{Y} = 685.687 + 381.823X_2 - 152.696X_3 - 420.222\ln X_4$ จะนำเช็ทือ ถ้าผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย ทั้ง 5 ข้อ ซึ่งผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 9 แสดงดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 การตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟที่เชิงกราฟของสมการถดถอยที่ 9

จากผลการตรวจสอบเงื่อนไขเชิงกราฟมีความเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์จะสรุปผลแตกต่างกัน จึงมีการใช้สถิติทดสอบในการตรวจสอบเงื่อนไขควบคู่กันไปกับการพิจารณาจากกราฟ ซึ่งผลการทดสอบทางสถิติแสดงดังต่อไปนี้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 1: ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์

เงื่อนไขนี้ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบเนื่องจากใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ และ β_3 จะทำให้ $E(\text{error}) = 0$ เสมอ หรือถ้าต้องการทดสอบก็สามารถทำได้เช่นกัน จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.66 เป็นตารางแสดงค่าสถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ กับ H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

สถิติทดสอบ $t = 0.000$ และ $\text{Sig. of } t = 1.000 > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 4.66 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 9

Residual	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of Difference	
					Lower	Upper
Unstandardized Residual	0.000	133	1.000	0.00000000	-18.5855	18.58551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 2: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.67 เป็นตารางวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ Kolmogorov-Smirnov และ ค่า Sig. = 0.200 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4.67 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 9

Residual	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	0.041	134	0.200

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 3: ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระต่อกัน

Durbin-Watson เป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน H_0 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน กับ H_1 : ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} มีความสัมพันธ์กัน จากตารางที่ 4.63 DW มีค่า 1.839 เมื่อ $k = 3$, $\alpha = 0.05$ และ $n = 134$ เปิดตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ ค่า $DW_L = 1.672$ และ $DW_U = 1.764$

เนื่องจาก $DW = 1.839 > DW_U = 1.764$ และ $4 - DW = 2.161 > DW_U = 1.764$ จึงยอมรับ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 นั่นคือ ค่าความคลาดเคลื่อน e_t และ e_{t-1} เป็นอิสระต่อกัน

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 4: ค่าความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่

จากผลลัพธ์ตารางที่ 4.68 เป็นตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ ซึ่งใช้ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \sigma_1^2 \geq \sigma_2^2$ กับ $H_1: \sigma_1^2 < \sigma_2^2$

สถิติทดสอบ $F = 0.512$ ได้จากการนำ SSE_2 หารด้วย SSE_1 เมื่อ $\alpha = 0.05$ และ $L-P = 63$ เปิดตารางที่ ข.2 ในภาคผนวก หาช่วงการทดสอบได้ ดังนี้ $f_{0.05, (63, 63)} = 1.522$ เนื่องจาก $F < f_{0.05, (63, 63)}$ จึงยอมรับ H_0 นั่นคือ ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.68 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนสมการถดถอยที่ 9

Source1	df	Sum of Squares	Mean Square	F	Sig.
Regression	3	9,527,561	3,175,854	244.42	0.001
Residual Error	63	818,594	12,994		
Total	66	10,346,155			
Source 2					
Regression	3	1,019,831	339,944	51.12	0.001
Residual Error	63	418,948	6,650		
Total	66	1,438,779			

a. Dependent variable: Y

การตรวจสอบเงื่อนไขที่ 5: ตัวแปรอิสระต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน

Tolerance และ VIF เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ จากตารางที่ 4.65 พบว่าค่า Tolerance ของ X_i มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระ X_i มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ น้อยมาก

4.3.5 สรุปผลการสร้างสมการถดถอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

ผลการสร้างสมการถดถอยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.69 ซึ่งจากผลการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอย ดังตารางที่ 4.70 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นไปตามเงื่อนไข จึงสามารถใช้สมการถดถอยเชิงเส้นที่จัดสร้างขึ้นในการทำนายแรงอัดขึ้นรูปได้ และเปรียบเทียบผลของการทำนายด้วยวิธี k-fold cross-validation กับ Hold-out ซึ่งจะแสดงในหัวข้อ 4.4

ตารางที่ 4.69 สรุปรูปแบบความสัมพันธ์ของสมการถดถอยที่ 6-9

สมการถดถอย	รูปแบบความสัมพันธ์
สมการถดถอยที่ 6	$\hat{Y} = 656.63 + 383.27X_2 - 154.001X_3 - 430.29X_4$
สมการถดถอยที่ 7	$\hat{Y} = 528.40 + 32.96\ln X_1 + 467.01\ln X_2 - 202.68\ln X_3 - 434.28\ln X_4$
สมการถดถอยที่ 8	$\hat{Y} = 694.44 + 381.99X_2 - 154.39\ln X_3 - 414.46\ln X_4$
สมการถดถอยที่ 9	$\hat{Y} = 685.69 + 381.82X_2 - 152.69X_3 - 420.22\ln X_4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.70 ผลการตรวจสอบเงื่อนไขและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการถดถอยที่ 6-9

สมการถดถอย	เงื่อนไข					ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	
	1	2	3	4	5	R^2	R^2_{adj}
สมการถดถอยที่ 6	T	T	T	T	T	0.914	0.912
สมการถดถอยที่ 7	T	T	T	T	T	0.916	0.913
สมการถดถอยที่ 8	T	T	T	T	T	0.918	0.916
สมการถดถอยที่ 9	T	T	T	T	T	0.918	0.916

หมายเหตุ: T คือ ผ่าน, F คือ ไม่ผ่าน

4.4 การทดสอบสมการถดถอย

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอผลการทดสอบสมการถดถอย ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการสร้างสมการถดถอย เพื่อค้นหาสมการถดถอยที่ดีที่สุดก่อนนำไปใช้ทำนายแรงอัดขึ้นรูป โดยแสดงผลการทดสอบด้วย 2 วิธี คือ วิธี Hold-out และวิธี k-fold cross-validation

4.4.1 วิธี Hold-out

ความหมายของผลลัพธ์ตารางที่ 4.71

- p หมายถึง จำนวนตัวแปรอิสระบวกหนึ่ง ($k+1$)
- a, b_1, b_2, b_3, b_4 หมายถึง ค่าที่ได้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Estimated regression coefficient) ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบเพื่อเลือกสมการถดถอยที่ดีที่สุด
- $std\ a, std\ b_1, std\ b_2, std\ b_3, std\ b_4$ หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่า Estimated regression coefficient ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบเพื่อเลือกสมการถดถอยที่ดีที่สุด
- Sum Square of Error (SSE), Prediction Sum of Squares (PRESS), Mean Square Error (MSE), Mean Square Prediction Error (MSPR) หมายถึง ค่าสถิติที่เกี่ยวข้องกับค่าความคลาดเคลื่อนซึ่งใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบเพื่อเลือกสมการถดถอยที่ดีที่สุด
- C_p , Akaike's Information Criterion (AIC_p), Schwarz' Bayesian Criterion (SBC_p) หมายถึง ค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจเลือกสมการถดถอยที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.71 ค่าสถิติทดสอบสมการถดถอยโดยวิธี Hold-out (1)

ค่าสถิติ	สมการถดถอย							
	6		7		8		9	
	ฝึกสอน	ทดสอบ	ฝึกสอน	ทดสอบ	ฝึกสอน	ทดสอบ	ฝึกสอน	ทดสอบ
p	4	4	5	5	4	4	4	4
a	656.627	1,125.139	528.401	1,111.423	694.437	1,135.236	685.687	1,134.124
std a	11.414	17.690	17.944	16.620	11.638	17.334	11.362	17.339
b ₁	383.274	348.567	32.956	49.828	381.999	347.855	381.823	347.297
std b ₁	21.505	22.836	15.825	21.354	20.941	22.360	21.027	22.357
b ₂	-154.001	-119.125	467.011	343.403	-154.392	-119.600	-152.696	-119.645
std b ₂	17.086	19.653	26.279	21.375	16.720	19.244	16.705	19.260
b ₃	-430.288	-335.624	-202.680	-125.692	-414.460	-336.553	-420.222	-336.692
std b ₃	14.390	23.929	17.154	18.593	13.664	23.415	13.695	23.424
b ₄	-	-	-434.279	-343.691	-	-	-	-
std b ₄	-	-	13.924	22.696	-	-	-	-
SSE	1,646,302	569,934.20	1,611,249	495,974.10	1,560,982	546,930.10	1,573,512	547,193.50
PRESS	1,769,007	718,158	1,754,342	664,129	1,677,901	689,943	1,690,816	689,788
MSE	12,663.865	13,900.835	12,490.303	12,399.352	12,007.550	13,339.758	12,103.935	13,346.182
MSPR	-	12,665.200	-	11,021.650	-	12,154.002	-	12,159.855
C _p	3.99	3.99	4.99	5.00	4.00	4.00	4.00	4.00
AIC _p	1,269.77	-	1,268.88	-	1,262.64	-	1,263.71	-
SBC _p	1,281.36	-	1,283.37	-	1,274.23	-	1,275.30	-

สมการถดถอยที่ 6: รูปแบบตามตารางที่ 4.69 จากตารางที่ 4.71 ได้ผลดังต่อไปนี้

- ค่า a, b₁, b₂, b₃ ของข้อมูลฝึกสอนเปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่า std a, std b₁, std b₂, std b₃ ของข้อมูลฝึกสอนเปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่า PRESS ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 1,769,007 มีค่าใกล้เคียงกับค่า SSE ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 1,646,302
- ค่า PRESS ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 718,158 มีค่าใกล้เคียงกับค่า SSE ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 569,934.20
- ค่า MSPR ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 12,665.200 มีค่าใกล้เคียงกับค่า MSE ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 12,663.865
- ค่า C_p ของข้อมูลฝึกสอน และข้อมูลทดสอบเท่ากับ 3.99 และ 3.99 ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับค่า p=4

สมการถดถอยที่ 7: รูปแบบตามตารางที่ 4.69 จากตารางที่ 4.71 ได้ผลดังต่อไปนี้

- ค่า a, b₁, b₂, b₃, b₄ ของข้อมูลฝึกสอนเปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า $std\ a, std\ b_1, std\ b_2, std\ b_3, std\ b_4$ ของข้อมูลฝึกสอนเปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่า PRESS ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 1,754,342 มีค่าใกล้เคียงกับค่า SSE ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 1,611,249
- ค่า PRESS ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 664,129 มีค่าใกล้เคียงกับค่า SSE ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 495,974.10
- ค่า MSPR ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 11,021.650 มีค่าใกล้เคียงกับค่า MSE ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 12,490.303
- ค่า C_p ของข้อมูลฝึกสอน และข้อมูลทดสอบเท่ากับ 4.99 และ 5.00 ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับค่า $p = 5$

สมการถดถอยที่ 8: รูปแบบตามตารางที่ 4.69 จากตารางที่ 4.71 ได้ผลดังต่อไปนี้

- ค่า a, b_1, b_2, b_3 ของข้อมูลฝึกสอนเปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่า $std\ a, std\ b_1, std\ b_2, std\ b_3$ ของข้อมูลฝึกสอนเปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่า PRESS ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 1,677,901 มีค่าใกล้เคียงกับค่า SSE ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 1,560,982
- ค่า PRESS ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 689,943 มีค่าใกล้เคียงกับค่า SSE ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 546,930.10
- ค่า MSPR ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 12,154.002 มีค่าใกล้เคียงกับค่า MSE ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 12,007.550
- ค่า C_p ของข้อมูลฝึกสอน และข้อมูลทดสอบเท่ากับ 4.00 และ 4.00 ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับค่า $p = 4$

สมการถดถอยที่ 9: รูปแบบตามตารางที่ 4.69 จากตารางที่ 4.71 ได้ผลดังต่อไปนี้

- ค่า a, b_1, b_2, b_3 ของข้อมูลฝึกสอนเปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่า $std\ a, std\ b_1, std\ b_2, std\ b_3$ ของข้อมูลฝึกสอนเปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน
- ค่า PRESS ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 1,690,816 มีค่าใกล้เคียงกับค่า SSE ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 1,573,512
- ค่า PRESS ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 689,788 มีค่าใกล้เคียงกับค่า SSE ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 547,193.50
- ค่า MSPR ของข้อมูลทดสอบเท่ากับ 12,159.855 มีค่าใกล้เคียงกับค่า MSE ของข้อมูลฝึกสอนเท่ากับ 12,103.935
- ค่า C_p ของข้อมูลฝึกสอน และข้อมูลทดสอบเท่ากับ 4.00 และ 4.00 ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกับค่า $p = 4$

4.4.1.1 สรุปผลการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี Hold-out

จากตารางที่ 4.71 สมการถดถอยที่ 6, 7, 8 และ 9 มีค่าสถิติที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกสมการถดถอยที่ดีที่สุดเป็นไปตามหลักของการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธีนี้คือ

1. ค่า Estimated regression coefficient ของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบต้องมีค่าใกล้เคียงกัน
2. ค่า Regression coefficient standard error ของข้อมูลฝึกสอนและข้อมูลทดสอบต้องมีค่าใกล้เคียงกัน
3. ค่า PRESS ต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่า SSE
4. ค่า MSPR ของข้อมูลทดสอบต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่า MSE ของข้อมูลฝึกสอน
5. ค่า C_p ต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่า p

จากการพิจารณาโดยละเอียดพบว่าสมการถดถอยที่ 7 มีค่าสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบแตกต่างกันมากกว่าสมการถดถอยอื่นๆ โดยเฉพาะค่า MSPR ของข้อมูลทดสอบที่มีค่าเท่ากับ 11,021.650 มีความแตกต่างกับค่า MSE ของการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลฝึกสอนซึ่งมีค่าเท่ากับ 12,490.303 มาก ซึ่งต่างจากสมการถดถอยอื่นๆ ที่มีค่าของ MSPR กับค่า MSE ใกล้เคียงกัน ดังนั้น สรุปได้ว่าสมการถดถอยที่มีแนวโน้มที่จะเป็นสมการที่ดีที่สุดจากการทดสอบด้วยวิธี Hold-out คือ สมการถดถอยที่ 6, 8 และ 9 ซึ่งยังไม่สามารถระบุได้ว่าสมการถดถอยใดเป็นสมการถดถอยที่ดีที่สุด จึงนำไปสู่การทดสอบสมการถดถอยอีกวิธี คือวิธี k-fold cross-validation

4.4.2 วิธี k-fold cross-validation

ความหมายจากตารางที่ 4.72

- e₁ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยรอบที่ 1 เมื่อตัดข้อมูลชุดที่ 1 ออก
- e₂ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยรอบที่ 2 เมื่อตัดข้อมูลชุดที่ 2 ออก
- e₃ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยรอบที่ 3 เมื่อตัดข้อมูลชุดที่ 3 ออก
- e₄ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยรอบที่ 4 เมื่อตัดข้อมูลชุดที่ 4 ออก
- e₅ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยรอบที่ 5 เมื่อตัดข้อมูลชุดที่ 5 ออก
- e₆ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยรอบที่ 6 เมื่อตัดข้อมูลชุดที่ 6 ออก
- e₇ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยรอบที่ 7 เมื่อตัดข้อมูลชุดที่ 7 ออก
- e₈ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยรอบที่ 8 เมื่อตัดข้อมูลชุดที่ 8 ออก
- e₉ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยรอบที่ 9 เมื่อตัดข้อมูลชุดที่ 9 ออก
- e₁₀ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยรอบที่ 10 เมื่อตัดข้อมูลชุดที่ 10 ออก
- e หมายถึง ตัวแทนค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการทั้ง 10 รอบ ที่จะใช้เปรียบเทียบเพื่อหาสมการถดถอยที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4.72 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบสมการถดถอยโดยวิธี k-fold cross-validation

ค่าความคลาดเคลื่อน	สมการถดถอย			
	6	7	8	9
e ₁	220.00	82.60	100.00	100.00
e ₂	137.00	202.15	99.70	127.00
e ₃	140.48	199.08	98.20	131.00
e ₄	158.83	219.99	90.40	150.38
e ₅	135.04	200.38	98.83	126.00
e ₆	146.15	206.00	97.90	137.41
e ₇	146.15	206.00	97.90	137.41
e ₈	132.00	92.25	126.37	122.56
e ₉	134.16	95.80	129.00	125.00
e ₁₀	99.00	92.20	19.90	22.20
e	145.00	159.67	95.87	117.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในของสำนักงานศึกษาธิการจังหวัดสุพรรณบุรี ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.1 สรุปผลการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี k-fold cross-validation

จากตารางที่ 4.72 เมื่อทำการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธีนี้ และคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นตัวแทนของแต่ละสมการ ได้ผลดังนี้

1. สมการถดถอยที่ 6 มีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 145.00
2. สมการถดถอยที่ 7 มีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 159.67
3. สมการถดถอยที่ 8 มีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 95.87
4. สมการถดถอยที่ 9 มีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 117.96

ดังนั้น การทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี k-fold cross-validation สรุปได้ว่า สมการถดถอยที่ดีที่สุด คือสมการถดถอยที่ 8 เพราะมีค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากับ 95.87 เมื่อเปรียบเทียบกับทุกสมการ ซึ่งการสรุปผลนี้สอดคล้องกับค่า AIC_p และค่า SBC_p ของสมการถดถอยที่ 8 จากตารางที่ 4.71 ที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกสมการซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,262.64 และ 1,274.23 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเรื่อง การทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดรีออน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ ความถดถอยเชิงพหุ กระบวนการอัดรีดที่ใช้ในการทดลองเป็นการอัดรีดรีออนโดยตรง (Forward or direct extrusion) ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองที่มีผลต่อแรงในการอัดขึ้นรูปมีทั้งหมด 4 ตัวแปร ดังนี้ มุมคาย 5 ขนาด คือ 15, 30, 45, 60 และ 75 องศา สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 3 ค่า คือ 0.4, 0.6 และ 0.8 ความเร็วในการอัดขึ้นรูป 3 ค่า คือ 168, 186 และ 203 มิลลิเมตรต่อวินาที และอุณหภูมิขึ้นงาน 4 ค่า คือ 1,000, 1,090, 1,180 และ 1,260 องศาเซลเซียส ภายหลังจากการสร้าง สมการถดถอยและทดสอบ เพื่อหาสมการถดถอยที่ดีที่สุดเพื่อใช้ทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดรีออนสามารถ สรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

5.1.1 การสร้างสมการถดถอยและการตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

จากผลการดำเนินงานในขั้นตอนของการสร้างสมการถดถอยสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ รูปแบบความสัมพันธ์ ของสมการถดถอยที่ได้จัดสร้างมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 9 รูปแบบ โดยสมการถดถอยที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีรูปแบบตาม ตารางสรุปผลที่ 4.39 และสมการถดถอยที่ 6, 7, 8 และ 9 มีรูปแบบตามตารางสรุปผลที่ 4.69 จากนั้นทำการตรวจสอบ เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยทั้ง 9 สมการสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ สมการถดถอยที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ไม่ผ่าน เงื่อนไขทั้ง 5 ข้อของการวิเคราะห์ความถดถอย ได้ผลตามตารางที่ 4.40 สมการถดถอยที่ 6, 7, 8 และ 9 ผ่านเงื่อนไขทั้ง 5 ข้อของการวิเคราะห์ความถดถอย ได้ผลตามตารางที่ 4.70 ดังนั้น สมการถดถอยที่สามารถนำไปใช้เพื่อทำนายแรงอัดขึ้น รูปในกระบวนการอัดรีดรีออนได้ คือ สมการถดถอยที่ 6, 7, 8 และ 9

5.1.2 การทดสอบสมการถดถอยเพื่อหาสมการถดถอยที่ดีที่สุด

หลังจากได้สมการถดถอยที่สามารถนำไปใช้เพื่อทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดรีออนทั้ง 4 สมการ คือ สมการถดถอยที่ 6, 7, 8 และ 9 ก็เข้าสู่ขั้นตอนการทดสอบสมการถดถอยเพื่อหาสมการถดถอยที่ดีที่สุดเพียงสมการ เดียวซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ จากการทดสอบสมการด้วยวิธี Hold-out จะได้สมการถดถอยที่ดีที่สุด 3 สมการคือ สมการ ถดถอยที่ 6, 8 และ 9 ซึ่งยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่า สมการถดถอยใดเป็นสมการถดถอยที่ดีที่สุด จึงนำไปสู่การ ทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี k-fold cross-validation ซึ่งจะได้สมการถดถอยที่ดีที่สุดคือ สมการถดถอยที่ 8 ที่มีค่าเฉลี่ย ของค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากับ 95.87 เมื่อเปรียบเทียบกับทุกสมการ และมีความสามารถในการทำนายแรงอัด ขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดรีออนได้ถึง 89.8 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี Hold-out ในปริภูมิพหุนมนี้ยังไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าสมการถดถอยใดดีที่สุด สาเหตุมาจากความผิดพลาดในการแบ่งข้อมูลเบื้องต้นที่ไม่เป็นไปตามสัดส่วน ข้อมูลฝึกสอน 66 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลทดสอบ 34 เปอร์เซ็นต์ แต่หลังจากได้แบ่งข้อมูลให้เป็นไปตามสัดส่วนที่ถูกต้องแล้วทำการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี Hold-out ใหม่อีกครั้งจะได้ผลตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าสถิติทดสอบสมการถดถอยโดยวิธี Hold-out (2)

ค่าสถิติ	สมการถดถอย							
	6		7		8		9	
	ฝึกสอน	ทดสอบ	ฝึกสอน	ทดสอบ	ฝึกสอน	ทดสอบ	ฝึกสอน	ทดสอบ
p	4	4	5	5	4	4	4	4
a	652.187	1,137.194	533.688	1,111.084	689.834	1,147.376	681.733	1,145.971
std a	11.867	14.345	17.892	14.400	11.952	14.206	11.660	14.215
b ₁	373.075	354.214	25.528	49.943	371.280	354.142	370.847	353.469
std b ₁	22.681	18.667	17.508	17.372	21.852	18.486	21.914	18.489
b ₂	-144.498	-126.452	452.205	345.351	-142.631	-127.161	-141.139	-127.171
std b ₂	18.279	16.605	27.298	18.185	17.719	16.442	17.666	16.461
b ₃	-442.360	-322.107	-189.915	-132.689	-428.673	-322.508	-434.136	-322.474
std b ₃	15.556	19.524	18.128	15.718	14.708	19.322	14.678	19.331
b ₄	-	-	-447.778	-329.037	-	-	-	-
std b ₄	-	-	14.893	18.516	-	-	-	-
SSE	1,469,465	707,164.99	1,390,885	620,299.52	1,363,832	693,570.88	1,371,223	694,318.53
PRESS	1,592,753	827,271	1,539,623	761,761	1,483,542	811,947	1,490,501	811,947
MSE	12,890.042	12,406.403	12,308.725	11,076.777	11,963.438	12,167.910	12,028.272	12,181.027
MSPR	-	11,667.627	-	9,958.020	-	11,453.608	-	11,440.286
C _p	2.99	5.00	4.00	6	2.99	5.00	3.00	4.99

จากตารางที่ 5.1 สรุปได้ว่าสมการถดถอยที่ดีที่สุด คือ สมการถดถอยที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบสมการถดถอยด้วยวิธี k-fold cross-validation

เนื่องจากระยะเวลาที่จำกัดในการจัดทำปริภูมิพหุนมนี้ ทำให้การศึกษาในส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสมการถดถอยมีน้อย ดังนั้น ในปริภูมิพหุนมนี้สามารถที่จะศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้และส่วนอื่นๆต่อไปได้เพื่อปรับปรุงหรือสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายแรงอัดขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดร้อนให้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กัลยา วานิชย์บัญชา, รศ.ดร., 2551, เล่ม 1. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัลยา วานิชย์บัญชา, รศ.ดร., 2551, เล่ม 2. การวิเคราะห์สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัลยา วานิชย์บัญชา, รศ.ดร., 2551, เล่ม 3. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 11. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กัลยา วานิชย์บัญชา, รศ.ดร., 2551, เล่ม 4. สถิติสำหรับงานวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูศรี วงศ์รัตน์, 2544. เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิศนีย์ ชังเทศ, 2530. การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- บริษัท ไทย-เยอรมันสเปเชียลสตีลเซ็นเตอร์ จำกัด, 2551. www.thyssenkruppmaterials.co.th/dmdocuments/ck45.
- ปารเมศ ชูติมา, 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มัลลิกา บุณนาค, 2551. สถิติเพื่อการวิจัยและตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วราพร เหลือสินทรัพย์, 2551. เอกสารประกอบการสอนการวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์. ภาควิชา สถิติประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วิจิต หล่อจิระชุนท์กุล, 2548. เทคนิคการพยากรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โครงการส่งเสริมเอกสาร วิชาการสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- สมชัย ตันทวิรุฬห์, 2550. ผลกระทบของตัวแปรในกระบวนการค้นขึ้นรูปแบบเป็นต่อสมบัติเชิงกลของแท่งอลูมิเนียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อนันต์ชัย เชื้อนธรรม, 2542. วิธีการทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชา สถิติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Daryl, S., Paulson, 2007. Handbook of Regression and Modeling. America : Chapman & Hall/CRC Taylor & Francis Group.
- Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., and Neter, J. (2004). Applied Linear Regression Models. 4th ed. Singapore : Mc Graw Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจริงทั้งหมด 180 ข้อมูล

ลำดับที่	มุมคาน (องศา)	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิชิ้นงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
1	15	0.4	168	1,260	643.71
2	15	0.4	186	1,000	1,285.03
3	15	0.4	186	1,090	876.07
4	15	0.4	186	1,180	756.64
5	15	0.4	203	1,090	825.30
6	15	0.4	203	1,180	702.76
7	15	0.4	203	1,260	526.02
8	15	0.6	168	1,000	1,618.09
9	15	0.6	168	1,180	1,162.59
10	15	0.6	186	1,000	1,417.00
11	15	0.6	186	1,090	1,181.96
12	15	0.6	186	1,260	761.93
13	15	0.6	203	1,090	1,069.71
14	15	0.6	203	1,180	867.83
15	15	0.8	168	1,000	1,772.00
16	15	0.8	168	1,180	1,289.07
17	15	0.8	168	1,260	1,040.64
18	15	0.8	186	1,000	1,614.32
19	15	0.8	186	1,090	1,367.19
20	15	0.8	186	1,180	1,106.47
21	15	0.8	186	1,260	980.00
22	15	0.8	203	1,090	1,355.42
23	30	0.4	168	1,000	1,166.74
24	30	0.4	168	1,180	781.50
25	30	0.4	168	1,260	663.08
26	30	0.4	186	1,000	1,058.06
27	30	0.4	186	1,090	850.00
28	30	0.4	186	1,180	681.55
29	30	0.4	186	1,260	576.00
30	30	0.4	203	1,090	797.28
31	30	0.4	203	1,180	652.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจริงทั้งหมด 180 ข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	มุดาย (องศา)	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิขึ้นงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
32	30	0.4	203	1,260	542.64
33	30	0.6	168	1,000	1,649.59
34	30	0.6	168	1,090	1,211.00
35	30	0.6	186	1,000	1,397.00
36	30	0.6	186	1,180	919.00
37	30	0.6	186	1,260	747.00
38	30	0.6	203	1,000	1,277.35
39	30	0.6	203	1,090	848.47
40	30	0.6	203	1,260	668.87
41	30	0.8	168	1,000	1,924.37
42	30	0.8	168	1,090	1,597.89
43	30	0.8	168	1,180	1,254.63
44	30	0.8	186	1,090	1,535.00
45	30	0.8	186	1,180	1,127.00
46	30	0.8	186	1,260	962.00
47	30	0.8	203	1,000	1,511.56
48	30	0.8	203	1,090	1,329.94
49	30	0.8	203	1,180	994.45
50	30	0.8	203	1,260	820.95
51	45	0.4	168	1,000	1,228.00
52	45	0.4	168	1,180	760.79
53	45	0.4	168	1,260	615.23
54	45	0.4	186	1,000	1,093.92
55	45	0.4	186	1,090	801.00
56	45	0.4	186	1,180	680.00
57	45	0.4	186	1,260	542.00
58	45	0.4	203	1,090	750.13
59	45	0.4	203	1,260	500.17
60	45	0.6	168	1,000	1,859.00
61	45	0.6	168	1,090	1,651.66
62	45	0.6	168	1,180	1,215.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจริงทั้งหมด 180 ข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	มุดาย (องศา)	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิขึ้นงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
63	45	0.6	186	1,000	1,664.38
64	45	0.6	186	1,090	1,487.56
65	45	0.6	186	1,180	939.00
66	45	0.6	186	1,260	756.77
67	45	0.6	203	1,260	754.54
68	45	0.8	168	1,000	2,274.00
69	45	0.8	168	1,090	1,919.66
70	45	0.8	168	1,180	1,278.00
71	45	0.8	168	1,260	1,052.00
72	45	0.8	186	1,000	1,961.32
73	45	0.8	186	1,090	1,706.47
74	45	0.8	186	1,180	1,165.00
75	45	0.8	186	1,260	979.00
76	45	0.8	203	1,000	1,638.08
77	45	0.8	203	1,090	1,294.35
78	45	0.8	203	1,180	1,080.00
79	45	0.8	203	1,260	978.44
80	60	0.4	168	1,000	1,088.53
81	60	0.4	168	1,090	943.13
82	60	0.4	186	1,000	981.00
83	60	0.4	186	1,090	874.00
84	60	0.4	186	1,180	648.00
85	60	0.4	186	1,260	529.00
86	60	0.4	203	1,180	602.55
87	60	0.4	203	1,260	516.23
88	60	0.6	168	1,000	1,679.73
89	60	0.6	168	1,090	1,538.44
90	60	0.6	168	1,180	1,112.88
91	60	0.6	168	1,260	940.10
92	60	0.6	186	1,000	1,625.00
93	60	0.6	186	1,180	895.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจริงทั้งหมด 180 ข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	มุมคาย (องศา)	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิชิ้นงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
94	60	0.6	186	1,260	800.60
95	60	0.6	203	1,000	1,612.46
96	60	0.6	203	1,090	1,116.43
97	60	0.6	203	1,180	842.13
98	60	0.6	203	1,260	744.57
99	60	0.8	168	1,090	1,789.98
100	60	0.8	168	1,180	1,456.60
101	60	0.8	186	1,000	1,944.00
102	60	0.8	186	1,090	1,672.49
103	60	0.8	186	1,260	1,289.00
104	60	0.8	203	1,000	1,789.98
105	60	0.8	203	1,090	1,516.00
106	60	0.8	203	1,180	1,154.56
107	60	0.8	203	1,260	966.57
108	75	0.4	168	1,180	752.43
109	75	0.4	168	1,260	635.39
110	75	0.4	186	1,000	976.00
111	75	0.4	186	1,090	769.09
112	75	0.4	186	1,180	553.00
113	75	0.4	186	1,260	527.00
114	75	0.4	203	1,000	950.33
115	75	0.4	203	1,090	553.08
116	75	0.4	203	1,180	634.64
117	75	0.4	203	1,260	430.39
118	75	0.6	168	1,000	1,723.34
119	75	0.6	168	1,090	1,400.00
120	75	0.6	168	1,180	1,168.67
121	75	0.6	168	1,260	1,088.00
122	75	0.6	186	1,000	1,507.00
123	75	0.6	186	1,180	972.41
124	75	0.6	186	1,260	888.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจริงทั้งหมด 180 ข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	มุดาย (องศา)	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิขึ้นงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
125	75	0.6	203	1,000	1,375.11
126	75	0.6	203	1,090	1,161.54
127	75	0.8	168	1,090	1,886.82
128	75	0.8	168	1,180	1,569.55
129	75	0.8	168	1,260	1,264.98
130	75	0.8	186	1,000	1,685.00
131	75	0.8	186	1,090	1,656.84
132	75	0.8	186	1,180	1,400.00
133	75	0.8	203	1,000	1,537.26
134	75	0.8	203	1,180	1,311.64
135	75	0.8	203	1,260	1,088.00
136	15	0.4	168	1,000	1,432.34
137	15	0.4	168	1,090	944.54
138	15	0.4	168	1,180	764.94
139	15	0.4	186	1,260	541.01
140	15	0.4	203	1,000	1,045.60
141	15	0.6	168	1,090	1,234.67
142	15	0.6	168	1,260	1,036.22
143	15	0.6	186	1,180	881.90
144	15	0.6	203	1,000	1,247.15
145	15	0.6	203	1,260	718.76
146	15	0.8	168	1,090	1,405.80
147	15	0.8	203	1,000	1,571.16
148	15	0.8	203	1,180	1,092.67
149	15	0.8	203	1,260	960.25
150	30	0.4	168	1,090	942.68
151	30	0.4	203	1,000	970.65
152	30	0.6	168	1,180	1,038.85
153	30	0.6	168	1,260	831.59
154	30	0.6	186	1,090	1,073.00
155	30	0.6	203	1,180	806.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลจริงทั้งหมด 180 ข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	มุดาย (องศา)	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิชิ้นงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
156	30	0.8	168	1,260	1,160.48
157	30	0.8	186	1,000	1,766.00
158	45	0.4	168	1,090	922.47
159	45	0.4	203	1,000	947.42
160	45	0.4	203	1,180	598.50
161	45	0.6	168	1,260	978.00
162	45	0.6	203	1,000	1,477.48
163	45	0.6	203	1,090	1,310.01
164	45	0.6	203	1,180	854.02
165	60	0.4	168	1,180	758.99
166	60	0.4	168	1,260	618.27
167	60	0.4	203	1,000	907.77
168	60	0.4	203	1,090	741.45
169	60	0.6	186	1,090	1,337.39
170	60	0.8	168	1,000	2,049.62
171	60	0.8	168	1,260	1,369.25
172	60	0.8	186	1,180	1,368.00
173	75	0.4	168	1,000	1,141.62
174	75	0.4	168	1,090	932.18
175	75	0.6	186	1,090	1,224.00
176	75	0.6	203	1,180	964.00
177	75	0.6	203	1,260	715.30
178	75	0.8	168	1,000	2,287.04
179	75	0.8	186	1,260	1,133.00
180	75	0.8	203	1,090	1,534.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
1	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	643.71
2	-1.00	-1.00	0.03	-1.00	-1.00	-1.00	0.08	-1.00	1,285.03
3	-1.00	-1.00	0.03	-0.31	-1.00	-1.00	0.08	-0.25	876.07
4	-1.00	-1.00	0.03	0.38	-1.00	-1.00	0.08	0.43	756.64
5	-1.00	-1.00	1.00	-0.31	-1.00	-1.00	1.00	-0.25	825.30
6	-1.00	-1.00	1.00	0.38	-1.00	-1.00	1.00	0.43	702.76
7	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	526.02
8	-1.00	0.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.17	-1.00	-1.00	1,618.09
9	-1.00	0.00	-1.00	0.38	-1.00	0.17	-1.00	0.43	1,162.59
10	-1.00	0.00	0.03	-1.00	-1.00	0.17	0.08	-1.00	1,417.00
11	-1.00	0.00	0.03	-0.31	-1.00	0.17	0.08	-0.25	1,181.96
12	-1.00	0.00	0.03	1.00	-1.00	0.17	0.08	1.00	761.93
13	-1.00	0.00	1.00	-0.31	-1.00	0.17	1.00	-0.25	1,069.71
14	-1.00	0.00	1.00	0.38	-1.00	0.17	1.00	0.43	867.83
15	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	1,772.00
16	-1.00	1.00	-1.00	0.38	-1.00	1.00	-1.00	0.43	1,289.07
17	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	1,040.64
18	-1.00	1.00	0.03	-1.00	-1.00	1.00	0.08	-1.00	1,614.32
19	-1.00	1.00	0.03	-0.31	-1.00	1.00	0.08	-0.25	1,367.19
20	-1.00	1.00	0.03	0.38	-1.00	1.00	0.08	0.43	1,106.47
21	-1.00	1.00	0.03	1.00	-1.00	1.00	0.08	1.00	980.00
22	-1.00	1.00	1.00	-0.31	-1.00	1.00	1.00	-0.25	1,355.42
23	-0.50	-1.00	-1.00	-1.00	-0.14	-1.00	-1.00	-1.00	1,166.74
24	-0.50	-1.00	-1.00	0.38	-0.14	-1.00	-1.00	0.43	781.50
25	-0.50	-1.00	-1.00	1.00	-0.14	-1.00	-1.00	1.00	663.08
26	-0.50	-1.00	0.03	-1.00	-0.14	-1.00	0.08	-1.00	1,058.06
27	-0.50	-1.00	0.03	-0.31	-0.14	-1.00	0.08	-0.25	850.00
28	-0.50	-1.00	0.03	0.38	-0.14	-1.00	0.08	0.43	681.55
29	-0.50	-1.00	0.03	1.00	-0.14	-1.00	0.08	1.00	576.00
30	-0.50	-1.00	1.00	-0.31	-0.14	-1.00	1.00	-0.25	797.28
31	-0.50	-1.00	1.00	0.38	-0.14	-1.00	1.00	0.43	652.48
32	-0.50	-1.00	1.00	1.00	-0.14	-1.00	1.00	1.00	542.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ (ต่อ)

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
33	-0.50	0.00	-1.00	-1.00	-0.14	0.17	-1.00	-1.00	1,649.59
34	-0.50	0.00	-1.00	-0.31	-0.14	0.17	-1.00	-0.25	1,211.00
35	-0.50	0.00	0.03	-1.00	-0.14	0.17	0.08	-1.00	1,397.00
36	-0.50	0.00	0.03	0.38	-0.14	0.17	0.08	0.43	919.00
37	-0.50	0.00	0.03	1.00	-0.14	0.17	0.08	1.00	747.00
38	-0.50	0.00	1.00	-1.00	-0.14	0.17	1.00	-1.00	1,277.35
39	-0.50	0.00	1.00	-0.31	-0.14	0.17	1.00	-0.25	848.47
40	-0.50	0.00	1.00	1.00	-0.14	0.17	1.00	1.00	668.87
41	-0.50	1.00	-1.00	-1.00	-0.14	1.00	-1.00	-1.00	1,924.37
42	-0.50	1.00	-1.00	-0.31	-0.14	1.00	-1.00	-0.25	1,597.89
43	-0.50	1.00	-1.00	0.38	-0.14	1.00	-1.00	0.43	1,254.63
44	-0.50	1.00	0.03	-0.31	-0.14	1.00	0.08	-0.25	1,535.00
45	-0.50	1.00	0.03	0.38	-0.14	1.00	0.08	0.43	1,127.00
46	-0.50	1.00	0.03	1.00	-0.14	1.00	0.08	1.00	962.00
47	-0.50	1.00	1.00	-1.00	-0.14	1.00	1.00	-1.00	1,511.56
48	-0.50	1.00	1.00	-0.31	-0.14	1.00	1.00	-0.25	1,329.94
49	-0.50	1.00	1.00	0.38	-0.14	1.00	1.00	0.43	994.45
50	-0.50	1.00	1.00	1.00	-0.14	1.00	1.00	1.00	820.95
51	0.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.37	-1.00	-1.00	-1.00	1,228.00
52	0.00	-1.00	-1.00	0.38	0.37	-1.00	-1.00	0.43	760.79
53	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.37	-1.00	-1.00	1.00	615.23
54	0.00	-1.00	0.03	-1.00	0.37	-1.00	0.08	-1.00	1,093.92
55	0.00	-1.00	0.03	-0.31	0.37	-1.00	0.08	-0.25	801.00
56	0.00	-1.00	0.03	0.38	0.37	-1.00	0.08	0.43	680.00
57	0.00	-1.00	0.03	1.00	0.37	-1.00	0.08	1.00	542.00
58	0.00	-1.00	1.00	-0.31	0.37	-1.00	1.00	-0.25	750.13
59	0.00	-1.00	1.00	1.00	0.37	-1.00	1.00	1.00	500.17
60	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.37	0.17	-1.00	-1.00	1,859.00
61	0.00	0.00	-1.00	-0.31	0.37	0.17	-1.00	-0.25	1,651.66
62	0.00	0.00	-1.00	0.38	0.37	0.17	-1.00	0.43	1,215.80
63	0.00	0.00	0.03	-1.00	0.37	0.17	0.08	-1.00	1,664.38
64	0.00	0.00	0.03	-0.31	0.37	0.17	0.08	-0.25	1,487.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางผู้จัดทำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ (ต่อ)

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
65	0.00	0.00	0.03	0.38	0.37	0.17	0.08	0.43	939.00
66	0.00	0.00	0.03	1.00	0.37	0.17	0.08	1.00	756.77
67	0.00	0.00	1.00	1.00	0.37	0.17	1.00	1.00	754.54
68	0.00	1.00	-1.00	-1.00	0.37	1.00	-1.00	-1.00	2,274.00
69	0.00	1.00	-1.00	-0.31	0.37	1.00	-1.00	-0.25	1,919.66
70	0.00	1.00	-1.00	0.38	0.37	1.00	-1.00	0.43	1,278.00
71	0.00	1.00	-1.00	1.00	0.37	1.00	-1.00	1.00	1,052.00
72	0.00	1.00	0.03	-1.00	0.37	1.00	0.08	-1.00	1,961.32
73	0.00	1.00	0.03	-0.31	0.37	1.00	0.08	-0.25	1,706.47
74	0.00	1.00	0.03	-0.38	0.37	1.00	-0.08	0.43	1,165.00
75	0.00	1.00	0.03	1.00	0.37	1.00	-0.08	1.00	979.00
76	0.00	1.00	1.00	-1.00	0.37	1.00	1.00	-1.00	1,638.08
77	0.00	1.00	1.00	-0.31	0.37	1.00	1.00	-0.25	1,294.35
78	0.00	1.00	1.00	0.38	0.37	1.00	1.00	0.43	1,080.00
79	0.00	1.00	1.00	1.00	0.37	1.00	1.00	1.00	978.44
80	0.50	-1.00	-1.00	-1.00	0.72	-1.00	-1.00	-1.00	1,088.53
81	0.50	-1.00	-1.00	-0.31	0.72	-1.00	-1.00	-0.25	943.13
82	0.50	-1.00	0.03	-1.00	0.72	-1.00	0.08	-1.00	981.00
83	0.50	-1.00	0.03	-0.31	0.72	-1.00	0.08	-0.25	874.00
84	0.50	-1.00	0.03	0.38	0.72	-1.00	0.08	0.43	648.00
85	0.50	-1.00	0.03	1.00	0.72	-1.00	0.08	1.00	529.00
86	0.50	-1.00	1.00	0.38	0.72	-1.00	1.00	0.43	602.55
87	0.50	-1.00	1.00	1.00	0.72	-1.00	1.00	1.00	516.23
88	0.50	0.00	-1.00	-1.00	0.72	0.17	-1.00	-1.00	1,679.73
89	0.50	0.00	-1.00	-0.31	0.72	0.17	-1.00	-0.25	1,538.44
90	0.50	0.00	-1.00	0.38	0.72	0.17	-1.00	0.43	1,112.88
91	0.50	0.00	-1.00	1.00	0.72	0.17	-1.00	1.00	940.10
92	0.50	0.00	0.03	-1.00	0.72	0.17	0.08	-1.00	1,625.00
93	0.50	0.00	0.03	0.38	0.72	0.17	0.08	0.43	895.00
94	0.50	0.00	0.03	1.00	0.72	0.17	0.08	1.00	800.60
95	0.50	0.00	1.00	-1.00	0.72	0.17	1.00	-1.00	1,612.46
96	0.50	0.00	1.00	-0.31	0.72	0.17	1.00	-0.25	1,116.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ (ต่อ)

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
97	0.50	0.00	1.00	0.38	0.72	0.17	1.00	0.43	842.13
98	0.50	0.00	1.00	1.00	0.72	0.17	1.00	1.00	744.57
99	0.50	1.00	-1.00	-0.31	0.72	1.00	-1.00	-0.25	1,789.98
100	0.50	1.00	-1.00	0.38	0.72	1.00	-1.00	0.43	1,456.60
101	0.50	1.00	0.03	-1.00	0.72	1.00	0.08	-1.00	1,944.00
102	0.50	1.00	0.03	-0.31	0.72	1.00	0.08	-0.25	1,672.49
103	0.50	1.00	0.03	1.00	0.72	1.00	0.08	1.00	1,289.00
104	0.50	1.00	1.00	-1.00	0.72	1.00	1.00	-1.00	1,789.98
105	0.50	1.00	1.00	-0.31	0.72	1.00	1.00	-0.25	1,516.00
106	0.50	1.00	1.00	0.38	0.72	1.00	1.00	0.43	1,154.56
107	0.50	1.00	1.00	1.00	0.72	1.00	1.00	1.00	966.57
108	1.00	-1.00	-1.00	0.38	1.00	-1.00	-1.00	0.43	752.43
109	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	635.39
110	1.00	-1.00	0.03	-1.00	1.00	-1.00	0.08	-1.00	976.00
111	1.00	-1.00	0.03	-0.31	1.00	-1.00	0.08	-0.25	769.09
112	1.00	-1.00	0.03	0.38	1.00	-1.00	0.08	0.43	553.00
113	1.00	-1.00	0.03	1.00	1.00	-1.00	0.08	1.00	527.00
114	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	950.33
115	1.00	-1.00	1.00	-0.31	1.00	-1.00	1.00	-0.25	553.08
116	1.00	-1.00	1.00	0.38	1.00	-1.00	1.00	0.43	634.64
117	1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	430.39
118	1.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.17	-1.00	-1.00	1,723.34
119	1.00	0.00	-1.00	-0.31	1.00	0.17	-1.00	-0.25	1,400.00
120	1.00	0.00	-1.00	0.38	1.00	0.17	-1.00	0.43	1,168.67
121	1.00	0.00	-1.00	1.00	1.00	0.17	-1.00	1.00	1,088.00
122	1.00	0.00	0.03	-1.00	1.00	0.17	0.08	-1.00	1,507.00
123	1.00	0.00	0.03	0.38	1.00	0.17	0.08	0.43	972.41
124	1.00	0.00	0.03	1.00	1.00	0.17	0.08	1.00	888.00
125	1.00	0.00	1.00	-1.00	1.00	0.17	1.00	-1.00	1,375.11
126	1.00	0.00	1.00	-0.31	1.00	0.17	1.00	-0.25	1,161.54
127	1.00	1.00	-1.00	-0.31	1.00	1.00	-1.00	-0.25	1,886.82
128	1.00	1.00	-1.00	0.38	1.00	1.00	-1.00	0.43	1,569.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ (ต่อ)

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
129	1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	1,264.98
130	1.00	1.00	0.03	-1.00	1.00	1.00	0.08	-1.00	1,685.00
131	1.00	1.00	0.03	-0.31	1.00	1.00	0.08	-0.25	1,656.84
132	1.00	1.00	0.03	0.38	1.00	1.00	0.08	0.43	1,400.00
133	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1,537.26
134	1.00	1.00	1.00	0.38	1.00	1.00	1.00	0.43	1,311.64
135	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1,088.00
136	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1,432.34
137	-1.00	-1.00	-1.00	-0.31	-1.00	-1.00	-1.00	-0.25	944.54
138	-1.00	-1.00	-1.00	0.38	-1.00	-1.00	-1.00	0.43	764.94
139	-1.00	-1.00	0.03	1.00	-1.00	-1.00	0.08	1.00	541.01
140	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	1,045.60
141	-1.00	0.00	-1.00	-0.31	-1.00	0.17	-1.00	-0.25	1,234.67
142	-1.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	0.17	-1.00	1.00	1,036.22
143	-1.00	0.00	0.03	0.38	-1.00	0.17	0.08	0.43	881.90
144	-1.00	0.00	1.00	-1.00	-1.00	0.17	1.00	-1.00	1,247.15
145	-1.00	0.00	1.00	1.00	-1.00	0.17	1.00	1.00	718.76
146	-1.00	1.00	-1.00	-0.31	-1.00	1.00	-1.00	-0.25	1,405.80
147	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	1,571.16
148	-1.00	1.00	1.00	0.38	-1.00	1.00	1.00	0.43	1,092.67
149	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	960.25
150	-0.50	-1.00	-1.00	-0.31	-0.14	-1.00	-1.00	-0.25	942.68
151	-0.50	-1.00	1.00	-1.00	-0.14	-1.00	1.00	-1.00	970.65
152	-0.50	0.00	-1.00	0.38	-0.14	0.17	-1.00	0.43	1,038.85
153	-0.50	0.00	-1.00	1.00	-0.14	0.17	-1.00	1.00	831.59
154	-0.50	0.00	0.03	-0.31	-0.14	0.17	0.08	-0.25	1,073.00
155	-0.50	0.00	1.00	0.38	-0.14	0.17	1.00	0.43	806.26
156	-0.50	1.00	-1.00	1.00	-0.14	1.00	-1.00	1.00	1,160.48
157	-0.50	1.00	0.03	-1.00	-0.14	1.00	0.08	-1.00	1,766.00
158	0.00	-1.00	-1.00	-0.31	0.37	-1.00	-1.00	-0.25	922.47
159	0.00	-1.00	1.00	-1.00	0.37	-1.00	1.00	-1.00	947.42
160	0.00	-1.00	1.00	0.38	0.37	-1.00	1.00	0.43	598.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ (ต่อ)

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
161	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.37	0.17	-1.00	1.00	978.00
162	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.37	0.17	1.00	-1.00	1,477.48
163	0.00	0.00	1.00	-0.31	0.37	0.17	1.00	-0.25	1,310.01
164	0.00	0.00	1.00	0.38	0.37	0.17	1.00	0.43	854.02
165	0.50	-1.00	-1.00	0.38	0.72	-1.00	-1.00	0.43	758.99
166	0.50	-1.00	-1.00	1.00	0.72	-1.00	-1.00	1.00	618.27
167	0.50	-1.00	1.00	-1.00	0.72	-1.00	1.00	-1.00	907.77
168	0.50	-1.00	1.00	-0.31	0.72	-1.00	1.00	-0.25	741.45
169	0.50	0.00	0.03	-0.31	0.72	0.17	0.08	-0.25	1,337.39
170	0.50	1.00	-1.00	-1.00	0.72	1.00	-1.00	-1.00	2,049.62
171	0.50	1.00	-1.00	1.00	0.72	1.00	-1.00	1.00	1,369.25
172	0.50	1.00	0.03	0.38	0.72	1.00	0.08	0.43	1,368.00
173	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1,141.62
174	1.00	-1.00	-1.00	-0.31	1.00	-1.00	-1.00	-0.25	932.18
175	1.00	0.00	0.03	-0.31	1.00	0.17	0.08	-0.25	1,224.00
176	1.00	0.00	1.00	0.38	1.00	0.17	1.00	0.43	964.00
177	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.17	1.00	1.00	715.30
178	1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	2,287.04
179	1.00	1.00	0.03	1.00	1.00	1.00	0.08	1.00	1,133.00
180	1.00	1.00	1.00	-0.31	1.00	1.00	1.00	-0.25	1,534.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการแปลงข้อมูลฝึกสอนด้วยวิธี First Difference Method

ลำดับที่	มุดาย (องศา)	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิขึ้นงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
1	8.55	0.23	113.77	458.31	1,008.29
2	8.55	0.23	106.04	660.09	323.62
3	8.55	0.23	106.04	711.39	380.01
4	8.55	0.23	123.04	582.70	500.01
5	8.55	0.23	115.73	711.39	347.95
6	8.55	0.23	115.73	752.70	223.89
7	8.55	0.43	80.73	458.31	1,391.95
8	8.55	0.34	95.77	750.09	466.95
9	8.55	0.34	113.77	492.70	917.19
10	8.55	0.34	106.04	660.09	572.77
11	8.55	0.34	106.04	791.39	253.79
12	8.55	0.34	123.04	548.31	742.15
13	8.55	0.34	115.73	711.39	407.95
14	8.55	0.54	80.73	492.70	1,398.91
15	8.55	0.46	95.77	750.09	527.26
16	8.55	0.46	95.77	752.70	486.45
17	8.55	0.46	113.77	458.31	1,166.93
18	8.55	0.46	106.04	660.09	673.17
19	8.55	0.46	106.04	711.39	518.70
20	8.55	0.46	106.04	752.70	504.31
21	8.55	0.46	123.04	548.31	934.10
22	23.55	0.06	80.73	531.39	584.03
23	17.10	0.23	95.77	750.09	279.90
24	17.10	0.23	95.77	752.70	327.10
25	17.10	0.23	113.77	458.31	772.99
26	17.10	0.23	106.04	660.09	395.13
27	17.10	0.23	106.04	711.39	316.12
28	17.10	0.23	106.04	752.70	282.99
29	17.10	0.23	123.04	548.31	549.65
30	17.10	0.23	115.73	711.39	309.72
31	17.10	0.23	115.73	752.70	262.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการแปลงข้อมูลฝึกสอนด้วยวิธี First Difference Method (ต่อ)

ลำดับที่	มุดาย (องศา)	สัมประสิทธิ์ความ เสียหาย	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิชิ้นงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
32	17.10	0.43	80.73	458.31	1,416.30
33	17.10	0.34	95.77	660.09	501.82
34	17.10	0.34	113.77	531.39	876.37
35	17.10	0.34	106.04	750.09	318.41
36	17.10	0.34	106.04	752.70	351.91
37	17.10	0.34	123.04	458.31	956.20
38	17.10	0.34	115.73	660.09	299.32
39	17.10	0.34	115.73	791.39	304.10
40	17.10	0.54	80.73	458.31	1,636.81
41	17.10	0.46	95.77	660.09	770.58
42	17.10	0.46	95.77	711.39	567.67
43	17.10	0.46	113.77	582.70	995.62
44	17.10	0.46	106.04	711.39	467.08
45	17.10	0.46	106.04	752.70	477.49
46	17.10	0.46	123.04	458.31	1,097.98
47	17.10	0.46	115.73	660.09	680.10
48	17.10	0.46	115.73	711.39	422.69
49	17.10	0.46	115.73	752.70	393.42
50	32.10	0.06	80.73	458.31	875.06
51	25.65	0.23	95.77	750.09	232.86
52	25.65	0.23	95.77	752.70	288.16
53	25.65	0.23	113.77	458.31	829.42
54	25.65	0.23	106.04	660.09	330.71
55	25.65	0.23	106.04	711.39	335.64
56	25.65	0.23	106.04	752.70	249.66
57	25.65	0.23	123.04	548.31	517.12
58	25.65	0.23	115.73	791.39	177.68
59	25.65	0.43	80.73	458.31	1,643.97
60	25.65	0.34	95.77	660.09	852.45
61	25.65	0.34	95.77	711.39	505.73
62	25.65	0.34	113.77	492.70	1,141.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการแปลงข้อมูลฝึกสอนด้วยวิธี First Difference Method (ต่อ)

ลำดับที่	มุดาย (องศา)	สัมประสิทธิ์ความ เสียหาย	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิรีนงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
63	25.65	0.34	106.04	660.09	772.02
64	25.65	0.34	106.04	711.39	299.48
65	25.65	0.34	106.04	752.70	353.08
66	25.65	0.34	123.04	718.31	429.19
67	25.65	0.54	80.73	458.31	1,949.61
68	25.65	0.46	95.77	660.09	942.04
69	25.65	0.46	95.77	711.39	452.71
70	25.65	0.46	95.77	752.70	502.57
71	25.65	0.46	113.77	458.31	1,509.05
72	25.65	0.46	106.04	660.09	863.27
73	25.65	0.46	106.04	711.39	431.36
74	25.65	0.46	106.04	752.70	478.15
75	25.65	0.46	123.04	458.31	1,217.19
76	25.65	0.46	115.73	660.09	590.12
77	25.65	0.46	115.73	711.39	523.54
78	25.65	0.46	115.73	752.70	514.13
79	40.65	0.06	80.73	458.31	667.89
80	34.21	0.23	95.77	660.09	475.16
81	34.21	0.23	113.77	531.39	575.54
82	34.21	0.23	106.04	660.09	452.25
83	34.21	0.23	106.04	711.39	272.26
84	34.21	0.23	106.04	752.70	250.42
85	34.21	0.23	123.04	638.31	375.13
86	34.21	0.23	115.73	752.70	257.19
87	34.21	0.43	80.73	458.31	1,457.80
88	34.21	0.34	95.77	660.09	816.30
89	34.21	0.34	95.77	711.39	451.48
90	34.21	0.34	95.77	752.70	461.66
91	34.21	0.34	113.77	458.31	1,220.84
92	34.21	0.34	106.04	750.09	196.39
93	34.21	0.34	106.04	752.70	415.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

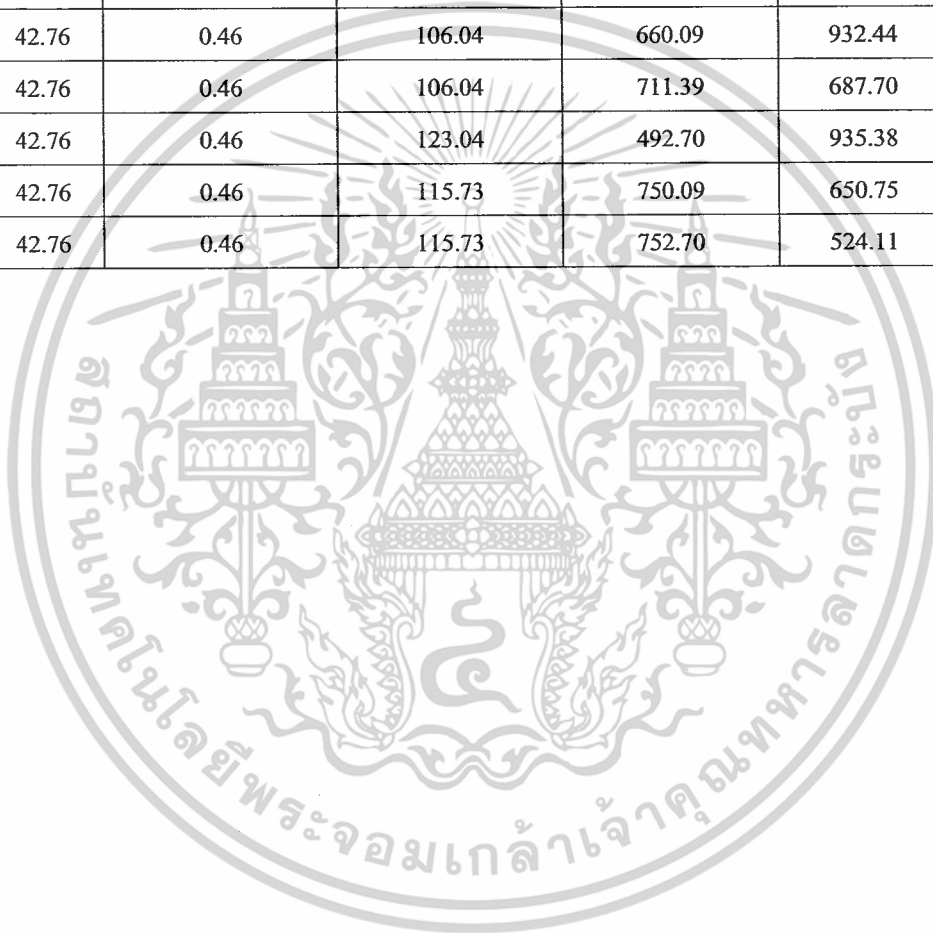
ตารางที่ ก.3 ผลการแปลงข้อมูลฝึกสอนด้วยวิธี First Difference Method (ต่อ)

ลำดับที่	มุดาย (องศา)	สัมประสิทธิ์ความ เสียดทาน	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิชิ้นงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
94	34.21	0.34	123.04	458.31	1,268.27
95	34.21	0.34	115.73	660.09	423.21
96	34.21	0.34	115.73	711.39	362.16
97	34.21	0.34	115.73	752.70	382.53
98	34.21	0.54	80.73	548.31	1,469.88
99	34.21	0.46	95.77	711.39	687.06
100	34.21	0.46	113.77	492.70	1,317.79
101	34.21	0.46	106.04	660.09	836.74
102	34.21	0.46	106.04	791.39	569.97
103	34.21	0.46	123.04	458.31	1,235.82
104	34.21	0.46	115.73	660.09	746.46
105	34.21	0.46	115.73	711.39	502.81
106	34.21	0.46	115.73	752.70	470.21
107	49.21	0.06	80.73	638.31	336.89
108	42.76	0.23	95.77	752.70	311.91
109	42.76	0.23	113.77	458.31	702.84
110	42.76	0.23	106.04	660.09	349.49
111	42.76	0.23	106.04	711.39	222.36
112	42.76	0.23	106.04	752.70	289.26
113	42.76	0.23	123.04	458.31	723.77
114	42.76	0.23	115.73	660.09	144.52
115	42.76	0.23	115.73	711.39	396.86
116	42.76	0.23	115.73	752.70	157.55
117	42.76	0.43	80.73	458.31	1,538.31
118	42.76	0.34	95.77	660.09	659.11
119	42.76	0.34	95.77	711.39	566.79
120	42.76	0.34	95.77	752.70	585.57
121	42.76	0.34	113.77	458.31	1,039.25
122	42.76	0.34	106.04	750.09	324.53
123	42.76	0.34	106.04	752.70	469.95
124	42.76	0.34	123.04	458.31	993.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ผลการแปลงข้อมูลฝึกสอนด้วยวิธี First Difference Method (ต่อ)

ลำดับที่	มุดาย (องศา)	สัมประสิทธิ์ความ เสียหาย	ความเร็วอัดขึ้นรูป (mm/s)	อุณหภูมิชิ้นงาน (°C)	แรงอัดขึ้นรูป (Tons)
125	42.76	0.34	115.73	660.09	570.36
126	42.76	0.54	80.73	621.39	1,387.46
127	42.76	0.46	95.77	711.39	758.38
128	42.76	0.46	95.77	752.70	590.21
129	42.76	0.46	113.77	458.31	1,141.17
130	42.76	0.46	106.04	660.09	932.44
131	42.76	0.46	106.04	711.39	687.70
132	42.76	0.46	123.04	492.70	935.38
133	42.76	0.46	115.73	750.09	650.75
134	42.76	0.46	115.73	752.70	524.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลผ่านการแปลงด้วยวิธี First Difference Method

ลำดับที่	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	lnX ₁	lnX ₂	lnX ₃	lnX ₄	Y
1	-1.00	-0.29	0.56	-1.00	-1.00	0.23	0.62	-1.00	1,008.29
2	-1.00	-0.29	0.20	0.21	-1.00	0.23	0.29	0.33	323.62
3	-1.00	-0.29	0.20	0.52	-1.00	0.23	0.29	0.63	380.01
4	-1.00	-0.29	1.00	-0.25	-1.00	0.23	1.00	-0.11	500.01
5	-1.00	-0.29	0.65	0.52	-1.00	0.23	0.71	0.63	347.95
6	-1.00	-0.29	0.65	0.77	-1.00	0.23	0.71	0.81	223.89
7	-1.00	0.53	-1.00	-1.00	-1.00	0.79	-1.00	-1.00	1,391.95
8	-1.00	0.18	-0.29	0.75	-1.00	0.59	-0.19	0.81	466.95
9	-1.00	0.18	0.56	-0.79	-1.00	0.59	0.62	-0.74	917.19
10	-1.00	0.18	0.20	-0.21	-1.00	0.59	0.29	0.33	572.77
11	-1.00	0.18	0.20	1.00	-1.00	0.59	0.29	1.00	253.79
12	-1.00	0.18	1.00	-0.46	-1.00	0.59	1.00	-0.33	742.15
13	-1.00	0.18	0.65	0.52	-1.00	0.59	0.71	0.63	407.95
14	-1.00	1.00	-1.00	-0.79	-1.00	1.00	-1.00	-0.74	1,398.91
15	-1.00	0.65	-0.29	0.75	-1.00	0.84	-0.19	0.81	527.26
16	-1.00	0.65	-0.29	0.77	-1.00	0.84	-0.19	0.81	486.45
17	-1.00	0.65	0.56	-1.00	-1.00	0.84	0.62	-1.00	1,166.93
18	-1.00	0.65	0.20	0.21	-1.00	0.84	0.29	0.33	673.17
19	-1.00	0.65	0.20	0.52	-1.00	0.84	0.29	0.63	518.70
20	-1.00	0.65	0.20	0.77	-1.00	0.84	0.29	0.81	504.31
21	-1.00	0.65	1.00	-0.46	-1.00	0.84	1.00	-0.33	934.10
22	-0.26	-1.00	-1.00	-0.56	0.15	-1.00	-1.00	-0.44	584.03
23	-0.58	-0.29	-0.29	0.75	-0.21	0.23	-0.19	0.81	279.90
24	-0.58	-0.29	-0.29	0.77	-0.21	0.23	-0.19	0.81	327.10
25	-0.58	-0.29	0.56	-1.00	-0.21	0.23	0.62	-1.00	772.99
26	-0.58	-0.29	0.20	0.21	-0.21	0.23	0.29	0.33	395.13
27	-0.58	-0.29	0.20	0.52	-0.21	0.23	0.29	0.63	316.12
28	-0.58	-0.29	0.20	0.77	-0.21	0.23	0.29	0.81	282.99
29	-0.58	-0.29	1.00	-0.46	-0.21	0.23	1.00	-0.33	549.65
30	-0.58	-0.29	0.65	0.52	-0.21	0.23	0.71	0.63	309.72
31	-0.58	-0.29	0.65	0.77	-0.21	0.23	0.71	0.81	262.13
32	-0.58	0.53	-1.00	-1.00	-0.21	0.79	-1.00	-1.00	1,416.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลผ่านการแปลงด้วยวิธี First Difference Method (ต่อ)

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
33	-0.58	0.18	-0.29	0.21	-0.21	0.59	-0.19	0.33	501.82
34	-0.58	0.18	0.56	-0.56	-0.21	0.59	0.62	-0.44	876.37
35	-0.58	0.18	0.20	0.75	-0.21	0.59	0.29	0.81	318.41
36	-0.58	0.18	0.20	0.77	-0.21	0.59	0.29	0.81	351.91
37	-0.58	0.18	1.00	-1.00	-0.21	0.59	1.00	-1.00	956.20
38	-0.58	0.18	0.65	0.21	-0.21	0.59	0.71	0.33	299.32
39	-0.58	0.18	0.65	1.00	-0.21	0.59	0.71	1.00	304.10
40	-0.58	1.00	-1.00	-1.00	-0.21	1.00	-1.00	-1.00	1,636.81
41	-0.58	0.65	-0.29	0.21	-0.21	0.84	-0.19	0.33	770.58
42	-0.58	0.65	-0.29	0.52	-0.21	0.84	-0.19	0.63	567.67
43	-0.58	0.65	0.56	-0.25	-0.21	0.84	0.62	-0.11	995.62
44	-0.58	0.65	0.20	0.52	-0.21	0.84	0.29	0.63	467.08
45	-0.58	0.65	0.20	0.77	-0.21	0.84	0.29	0.81	477.49
46	-0.58	0.65	1.00	-1.00	-0.21	0.84	1.00	-1.00	1,097.98
47	-0.58	0.65	0.65	0.21	-0.21	0.84	0.71	0.33	680.10
48	-0.58	0.65	0.65	0.52	-0.21	0.84	0.71	0.63	422.69
49	-0.58	0.65	0.65	0.77	-0.21	0.84	0.71	0.81	393.42
50	0.16	-1.00	-1.00	-1.00	0.51	-1.00	-1.00	-1.00	875.06
51	-0.16	-0.29	-0.29	0.75	0.25	0.23	-0.19	0.81	232.86
52	-0.16	-0.29	-0.29	0.77	0.25	0.23	-0.19	0.81	288.16
53	-0.16	-0.29	0.56	-1.00	0.25	0.23	0.62	-1.00	829.42
54	-0.16	-0.29	0.20	0.21	0.25	0.23	0.29	0.33	330.71
55	-0.16	-0.29	0.20	0.52	0.25	0.23	0.29	0.63	335.64
56	-0.16	-0.29	0.20	0.77	0.25	0.23	0.29	0.81	249.66
57	-0.16	-0.29	1.00	-0.46	0.25	0.23	1.00	-0.33	517.12
58	-0.16	-0.29	0.65	1.00	0.25	0.23	0.71	1.00	177.68
59	-0.16	0.53	-1.00	-1.00	0.25	0.79	-1.00	-1.00	1,643.97
60	-0.16	0.18	-0.29	0.21	0.25	0.59	-0.19	0.33	852.45
61	-0.16	0.18	-0.29	0.52	0.25	0.59	-0.19	0.63	505.73
62	-0.16	0.18	0.56	-0.79	0.25	0.59	0.62	-0.74	1,141.69
63	-0.16	0.18	0.20	0.21	0.25	0.59	0.29	0.33	772.02
64	-0.16	0.18	0.20	0.52	0.25	0.59	0.29	0.63	299.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลผ่านการแปลงด้วยวิธี First Difference Method (ต่อ)

ลำดับที่	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	lnX ₁	lnX ₂	lnX ₃	lnX ₄	Y
65	-0.16	0.18	0.20	0.77	0.25	0.59	0.29	0.81	353.08
66	-0.16	0.18	1.00	0.56	0.25	0.59	1.00	0.67	429.19
67	-0.16	1.00	-1.00	-1.00	0.25	1.00	-1.00	-1.00	1,949.61
68	-0.16	0.65	-0.29	0.21	0.25	0.84	-0.19	0.33	942.04
69	-0.16	0.65	-0.29	0.52	0.25	0.84	-0.19	0.63	452.71
70	-0.16	0.65	-0.29	0.77	0.25	0.84	-0.19	0.81	502.57
71	-0.16	0.65	0.56	-1.00	0.25	0.84	0.62	-1.00	1,509.05
72	-0.16	0.65	0.20	0.21	0.25	0.84	0.29	0.33	863.27
73	-0.16	0.65	0.20	0.52	0.25	0.84	0.29	0.63	431.36
74	-0.16	0.65	0.20	0.77	0.25	0.84	0.29	0.81	478.15
75	-0.16	0.65	1.00	-1.00	0.25	0.84	1.00	-1.00	1,217.19
76	-0.16	0.65	0.65	0.21	0.25	0.84	0.71	0.33	590.12
77	-0.16	0.65	0.65	0.52	0.25	0.84	0.71	0.63	523.54
78	-0.16	0.65	0.65	0.77	0.25	0.84	0.71	0.81	514.13
79	0.58	-1.00	-1.00	-1.00	0.78	-1.00	-1.00	-1.00	667.88
80	0.26	-0.29	-0.29	0.21	0.58	0.23	-0.19	0.33	475.16
81	0.26	-0.29	0.56	-0.56	0.58	0.23	0.62	-0.44	575.54
82	0.26	-0.29	0.20	0.21	0.58	0.23	0.29	0.33	452.25
83	0.26	-0.29	0.20	0.52	0.58	0.23	0.29	0.63	272.26
84	0.26	-0.29	0.20	0.77	0.58	0.23	0.29	0.81	250.42
85	0.26	-0.29	1.00	0.08	0.58	0.23	1.00	0.22	375.13
86	0.26	-0.29	0.65	0.77	0.58	0.23	0.71	0.81	257.19
87	0.26	0.53	-1.00	-1.00	0.58	0.79	-1.00	-1.00	1,457.80
88	0.26	0.18	-0.29	0.21	0.58	0.59	-0.19	0.33	816.30
89	0.26	0.18	-0.29	0.52	0.58	0.59	-0.19	0.63	451.48
90	0.26	0.18	-0.29	0.77	0.58	0.59	-0.19	0.81	461.66
91	0.26	0.18	0.56	-1.00	0.58	0.59	0.62	-1.00	1,220.84
92	0.26	0.18	0.20	0.75	0.58	0.59	0.29	0.81	196.39
93	0.26	0.18	0.20	0.77	0.58	0.59	0.29	0.81	415.83
94	0.26	0.18	1.00	-1.00	0.58	0.59	1.00	-1.00	1,268.27
95	0.26	0.18	0.65	0.21	0.58	0.59	0.71	0.33	423.21
96	0.26	0.18	0.65	0.52	0.58	0.59	0.71	0.63	362.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลผ่านการแปลงด้วยวิธี First Difference Method (ต่อ)

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
97	0.26	0.18	0.65	0.77	0.58	0.59	0.71	0.81	382.53
98	0.26	1.00	-1.00	-0.46	0.58	1.00	-1.00	-0.33	1,469.88
99	0.26	0.65	-0.29	0.52	0.58	0.84	-0.19	0.63	687.06
100	0.26	0.65	0.56	-0.79	0.58	0.84	0.62	-0.74	1,317.79
101	0.26	0.65	0.20	0.21	0.58	0.84	0.29	0.33	836.74
102	0.26	0.65	0.20	1.00	0.58	0.84	0.29	1.00	569.97
103	0.26	0.65	1.00	-1.00	0.58	0.84	1.00	-1.00	1,235.82
104	0.26	0.65	0.65	0.21	0.58	0.84	0.71	0.33	746.46
105	0.26	0.65	0.65	0.52	0.58	0.84	0.71	0.63	502.81
106	0.26	0.65	0.65	0.77	0.58	0.84	0.71	0.81	470.21
107	1.00	-1.00	-1.00	0.08	1.00	-1.00	-1.00	0.22	336.89
108	0.68	-0.29	-0.29	0.77	0.84	0.23	-0.19	0.81	311.91
109	0.68	-0.29	0.56	-1.00	0.84	0.23	0.62	-1.00	702.84
110	0.68	-0.29	0.20	0.21	0.84	0.23	0.29	0.33	349.49
111	0.68	-0.29	0.20	0.52	0.84	0.23	0.29	0.63	222.36
112	0.68	-0.29	0.20	0.77	0.84	0.23	0.29	0.81	289.26
113	0.68	-0.29	1.00	-1.00	0.84	0.23	1.00	-1.00	723.77
114	0.68	-0.29	0.65	0.21	0.84	0.23	0.71	0.33	144.52
115	0.68	-0.29	0.65	0.52	0.84	0.23	0.71	0.63	396.86
116	0.68	-0.29	0.65	0.77	0.84	0.23	0.71	0.81	157.55
117	0.68	0.53	-1.00	-1.00	0.84	0.79	-1.00	-1.00	1,538.31
118	0.68	0.18	-0.29	0.21	0.84	0.59	-0.19	0.33	659.11
119	0.68	0.18	-0.29	0.52	0.84	0.59	-0.19	0.63	566.79
120	0.68	0.18	-0.29	0.77	0.84	0.59	-0.19	0.81	585.57
121	0.68	0.18	0.56	-1.00	0.84	0.59	0.62	-1.00	1,039.25
122	0.68	0.18	0.20	0.75	0.84	0.59	0.29	0.81	324.53
123	0.68	0.18	0.20	0.77	0.84	0.59	0.29	0.81	469.95
124	0.68	0.18	1.00	-1.00	0.84	0.59	1.00	-1.00	993.35
125	0.68	0.18	0.65	0.21	0.84	0.59	0.71	0.33	570.36
126	0.68	1.00	-1.00	-0.02	0.84	1.00	-1.00	0.11	1,387.46
127	0.68	0.65	-0.29	0.52	0.84	0.84	-0.19	0.63	758.38
128	0.68	0.65	-0.29	0.77	0.84	0.84	-0.19	0.81	590.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการเข้ารหัสชุดข้อมูลผ่านการแปลงด้วยวิธี First Difference Method (ต่อ)

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
129	0.68	0.65	0.56	-1.00	0.84	0.84	0.62	-1.00	1,141.17
130	0.68	0.65	0.20	0.21	0.84	0.84	0.29	0.33	932.43
131	0.68	0.65	0.20	0.52	0.84	0.84	0.29	0.63	687.70
132	0.68	0.65	1.00	-0.79	0.84	0.84	1.00	-0.74	935.38
133	0.68	0.65	0.65	0.75	0.84	0.84	0.71	0.81	650.75
134	0.68	0.65	0.65	0.77	0.84	0.84	0.71	0.81	524.11

ตารางที่ ก.5 ผลการแบ่งชุดข้อมูลทดสอบโดยวิธี k-fold cross-validation ชุดที่ 1

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
1	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	643.71
2	-1.00	-1.00	0.03	-1.00	-1.00	-1.00	0.08	-1.00	1,285.03
3	-1.00	-1.00	0.03	-0.30	-1.00	-1.00	0.08	-0.25	876.07
4	-1.00	-1.00	0.03	0.38	-1.00	-1.00	0.08	0.43	756.64
5	-1.00	-1.00	1.00	-0.30	-1.00	-1.00	1.00	-0.25	825.30
6	-1.00	-1.00	1.00	0.38	-1.00	-1.00	1.00	0.43	702.76
7	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	526.02
8	-1.00	0.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.17	-1.00	-1.00	1,618.09
9	-1.00	0.00	-1.00	0.38	-1.00	0.17	-1.00	0.43	1,162.59
10	-1.00	0.00	0.03	-1.00	-1.00	0.17	0.08	-1.00	1,417.00
11	-1.00	0.00	0.03	-0.30	-1.00	0.17	0.08	-0.25	1,181.96
12	-1.00	0.00	0.03	1.00	-1.00	0.17	0.08	1.00	761.93
13	-1.00	0.00	1.00	-0.30	-1.00	0.17	1.00	-0.25	1,069.71
14	-1.00	0.00	1.00	0.38	-1.00	0.17	1.00	0.43	867.83
15	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	1,772.00
16	-1.00	1.00	-1.00	0.38	-1.00	1.00	-1.00	0.43	1,289.07
17	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	1,040.64
18	-1.00	1.00	0.03	-1.00	-1.00	1.00	0.08	-1.00	1,614.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ผลการแบ่งชุดข้อมูลทดสอบ โดยวิธี k-fold cross-validation ชุดที่ 2

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
1	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	643.71
2	-1.00	-1.00	0.03	-1.00	-1.00	-1.00	0.08	-1.00	1,285.03
3	-1.00	-1.00	0.03	-0.30	-1.00	-1.00	0.08	-0.25	876.07
4	-1.00	-1.00	0.03	0.38	-1.00	-1.00	0.08	0.43	756.64
5	-1.00	-1.00	1.00	-0.30	-1.00	-1.00	1.00	-0.25	825.30
6	-1.00	-1.00	1.00	0.38	-1.00	-1.00	1.00	0.43	702.76
7	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	526.02
8	-1.00	0.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.17	-1.00	-1.00	1,618.09
9	-1.00	0.00	-1.00	0.38	-1.00	0.17	-1.00	0.43	1,162.59
10	-1.00	0.00	0.03	-1.00	-1.00	0.17	0.08	-1.00	1417.00
11	-1.00	0.00	0.03	-0.30	-1.00	0.17	0.08	-0.25	1,181.96
12	-1.00	0.00	0.03	1.00	-1.00	0.17	0.08	1.00	761.93
13	-1.00	0.00	1.00	-0.30	-1.00	0.17	1.00	-0.25	1,069.71
14	-1.00	0.00	1.00	0.38	-1.00	0.17	1.00	0.43	867.83
15	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	1,772.00
16	-1.00	1.00	-1.00	0.38	-1.00	1.00	-1.00	0.43	1,289.07
17	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	1,040.64
18	-1.00	1.00	0.03	-1.00	-1.00	1.00	0.08	-1.00	1,614.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ผลการแบ่งชุดข้อมูลทดสอบ โดยวิธี k-fold cross-validation ชุดที่ 3

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
1	-0.50	0.00	0.03	1.00	-0.14	0.17	0.08	1.00	747.00
2	-0.50	0.00	1.00	-1.00	-0.14	0.17	1.00	-1.00	1,277.35
3	-0.50	0.00	1.00	-0.30	-0.14	0.17	1.00	-0.25	848.47
4	-0.50	0.00	1.00	1.00	-0.14	0.17	1.00	1.00	668.87
5	-0.50	1.00	-1.00	-1.00	-0.14	1.00	-1.00	-1.00	1,924.37
6	-0.50	1.00	-1.00	-0.30	-0.14	1.00	-1.00	-0.25	1,597.89
7	-0.50	1.00	-1.00	0.38	-0.14	1.00	-1.00	0.43	1,254.63
8	-0.50	1.00	0.03	-0.30	-0.14	1.00	0.08	-0.25	1,535.00
9	-0.50	1.00	0.03	0.38	-0.14	1.00	0.08	0.43	1,127.00
10	-0.50	1.00	0.03	1.00	-0.14	1.00	0.08	1.00	962.00
11	-0.50	1.00	1.00	-1.00	-0.14	1.00	1.00	-1.00	1,511.56
12	-0.50	1.00	1.00	-0.30	-0.14	1.00	1.00	-0.25	1,329.94
13	-0.50	1.00	1.00	0.38	-0.14	1.00	1.00	0.43	994.45
14	-0.50	1.00	1.00	1.00	-0.14	1.00	1.00	1.00	820.95
15	0.00	-1.00	-1.00	-1.00	0.37	-1.00	-1.00	-1.00	1,228.00
16	0.00	-1.00	-1.00	0.38	0.37	-1.00	-1.00	0.43	760.79
17	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.37	-1.00	-1.00	1.00	615.23
18	0.00	-1.00	0.03	-1.00	0.37	-1.00	0.08	-1.00	1,093.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ผลการแบ่งชุดข้อมูลทดสอบ โดยวิธี k-fold cross-validation ชุดที่ 4

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
1	0.00	-1.00	0.03	-0.30	0.37	-1.00	0.08	-0.25	801.00
2	0.00	-1.00	0.03	0.38	0.37	-1.00	0.08	0.43	680.00
3	0.00	-1.00	0.03	1.00	0.37	-1.00	0.08	1.00	542.00
4	0.00	-1.00	1.00	-0.30	0.37	-1.00	1.00	-0.25	750.13
5	0.00	-1.00	1.00	1.00	0.37	-1.00	1.00	1.00	500.17
6	0.00	0.00	-1.00	-1.00	0.37	0.17	-1.00	-1.00	1,859.00
7	0.00	0.00	-1.00	-0.30	0.37	0.17	-1.00	-0.25	1,651.66
8	0.00	0.00	-1.00	0.38	0.37	0.17	-1.00	0.43	1,215.80
9	0.00	0.00	0.03	-1.00	0.37	0.17	0.08	-1.00	1,664.38
10	0.00	0.00	0.03	-0.30	0.37	0.17	0.08	-0.25	1,487.56
11	0.00	0.00	0.03	0.38	0.37	0.17	0.08	0.43	939.00
12	0.00	0.00	0.03	1.00	0.37	0.17	0.08	1.00	756.77
13	0.00	0.00	1.00	1.00	0.37	0.17	1.00	1.00	754.54
14	0.00	1.00	-1.00	-1.00	0.37	1.00	-1.00	-1.00	2,274.00
15	0.00	1.00	-1.00	-0.30	0.37	1.00	-1.00	-0.25	1,919.66
16	0.00	1.00	-1.00	0.38	0.37	1.00	-1.00	0.43	1,278.00
17	0.00	1.00	-1.00	1.00	0.37	1.00	-1.00	1.00	1,052.00
18	0.00	1.00	0.03	-1.00	0.37	1.00	0.08	-1.00	1,961.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ผลการแบ่งชุดข้อมูลทดสอบ โดยวิธี k-fold cross-validation ชุดที่ 5

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
1	0.00	1.00	0.03	-0.3	0.37	1.00	0.08	-0.25	1,706.47
2	0.00	1.00	0.03	0.38	0.37	1.00	0.08	0.43	1,165.00
3	0.00	1.00	0.03	1.00	0.37	1.00	0.08	1.00	979.00
4	0.00	1.00	1.00	-1.00	0.37	1.00	1.00	-1.00	1,638.08
5	0.00	1.00	1.00	-0.30	0.37	1.00	1.00	-0.25	1,294.35
6	0.00	1.00	1.00	0.38	0.37	1.00	1.00	0.43	1,080.00
7	0.00	1.00	1.00	1.00	0.37	1.00	1.00	1.00	978.44
8	0.50	-1.00	-1.00	-1.00	0.72	-1.00	-1.00	-1.00	1,088.53
9	0.50	-1.00	-1.00	-0.30	0.72	-1.00	-1.00	-0.25	943.13
10	0.50	-1.00	0.03	-1.00	0.72	-1.00	0.08	-1.00	981.00
11	0.50	-1.00	0.03	-0.30	0.72	-1.00	0.08	-0.25	874.00
12	0.50	-1.00	0.03	0.38	0.72	-1.00	0.08	0.43	648.00
13	0.50	-1.00	0.03	1.00	0.72	-1.00	0.08	1.00	529.00
14	0.50	-1.00	1.00	0.38	0.72	-1.00	1.00	0.43	602.55
15	0.50	-1.00	1.00	1.00	0.72	-1.00	1.00	1.00	516.23
16	0.50	0.00	-1.00	-1.00	0.72	0.17	-1.00	-1.00	1,679.73
17	0.50	0.00	-1.00	-0.30	0.72	0.17	-1.00	-0.25	1,538.44
18	0.50	0.00	-1.00	0.38	0.72	0.17	-1.00	0.43	1,112.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ผลการแบ่งชุดข้อมูลทดสอบ โดยวิธี k-fold cross-validation ชุดที่ 6

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
1	0.50	0.00	-1.00	1.00	0.72	0.17	-1.00	1.00	940.10
2	0.50	0.00	0.03	-1.00	0.72	0.17	0.08	-1.00	1,625.00
3	0.50	0.00	0.03	0.37	0.72	0.17	0.08	0.43	895.00
4	0.50	0.00	0.03	1.00	0.72	0.17	0.08	1.00	800.60
5	0.50	0.00	1.00	-1.00	0.72	0.17	1.00	-1.00	1,612.46
6	0.50	0.00	1.00	-0.30	0.72	0.17	1.00	-0.25	1,116.43
7	0.50	0.00	1.00	0.38	0.72	0.17	1.00	0.43	842.13
8	0.50	0.00	1.00	1.00	0.72	0.17	1.00	1.00	744.57
9	0.50	1.00	-1.00	-0.30	0.72	1.00	-1.00	-0.25	1,789.98
10	0.50	1.00	-1.00	0.38	0.72	1.00	-1.00	0.43	1,456.6
11	0.50	1.00	0.03	-1.00	0.72	1.00	0.08	-1.00	1,944.00
12	0.50	1.00	0.03	-0.30	0.72	1.00	0.08	-0.25	1,672.49
13	0.50	1.00	0.03	1.00	0.72	1.00	0.08	1.00	1,289.00
14	0.50	1.00	1.00	-1.00	0.72	1.00	1.00	-1.00	1,789.98
15	0.50	1.00	1.00	-0.30	0.72	1.00	1.00	-0.25	1,516.00
16	0.50	1.00	1.00	0.38	0.72	1.00	1.00	0.43	1,154.56
17	0.50	1.00	1.00	1.00	0.72	1.00	1.00	1.00	966.57
18	1.00	-1.00	-1.00	0.38	1.00	-1.00	-1.00	0.43	752.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ผลการแบ่งชุดข้อมูลทดสอบโดยวิธี k-fold cross-validation ชุดที่ 7

ลำดับที่	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	lnX ₁	lnX ₂	lnX ₃	lnX ₄	Y
1	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	635.39
2	1.00	-1.00	0.03	-1.00	1.00	-1.00	0.08	-1.00	976.00
3	1.00	-1.00	0.03	-0.30	1.00	-1.00	0.08	-0.25	769.09
4	1.00	-1.00	0.03	0.38	1.00	-1.00	0.08	0.43	553.00
5	1.00	-1.00	0.03	1.00	1.00	-1.00	0.08	1.00	527.00
6	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	1.00	-1.00	950.33
7	1.00	-1.00	1.00	-0.30	1.00	-1.00	1.00	-0.25	553.08
8	1.00	-1.00	1.00	0.38	1.00	-1.00	1.00	0.43	634.64
9	1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	430.39
10	1.00	0.00	-1.00	-1.00	1.00	0.17	-1.00	-1.00	1,723.34
11	1.00	0.00	-1.00	-0.30	1.00	0.17	-1.00	-0.25	1,400.00
12	1.00	0.00	-1.00	0.38	1.00	0.17	-1.00	0.43	1,168.67
13	1.00	0.00	-1.00	1.00	1.00	0.17	-1.00	1.00	1,088.00
14	1.00	0.00	0.03	-1.00	1.00	0.17	0.08	-1.00	1,507.00
15	1.00	0.00	0.03	0.38	1.00	0.17	0.08	0.43	972.41
16	1.00	0.00	0.03	1.00	1.00	0.17	0.08	1.00	888.00
17	1.00	0.00	1.00	-1.00	1.00	0.17	1.00	-1.00	1,375.11
18	1.00	0.00	1.00	-0.30	1.00	0.17	1.00	-0.25	1,161.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ผลการแบ่งชุดข้อมูลทดสอบ โดยวิธี k-fold cross-validation ชุดที่ 8

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
1	1.00	1.00	-1.00	-0.30	1.00	1.00	-1.00	-0.25	1,886.82
2	1.00	1.00	-1.00	0.38	1.00	1.00	-1.00	0.43	1,569.55
3	1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	1,264.98
4	1.00	1.00	0.03	-1.00	1.00	1.00	0.08	-1.00	1,685.00
5	1.00	1.00	0.03	-0.30	1.00	1.00	0.08	-0.25	1,656.84
6	1.00	1.00	0.03	0.38	1.00	1.00	0.08	0.43	1,400.00
7	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1,537.26
8	1.00	1.00	1.00	0.38	1.00	1.00	1.00	0.43	1,311.64
9	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1,088.00
10	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1,432.34
11	-1.00	-1.00	-1.00	-0.30	-1.00	-1.00	-1.00	-0.25	944.54
12	-1.00	-1.00	-1.00	0.38	-1.00	-1.00	-1.00	0.43	764.94
13	-1.00	-1.00	0.03	1.00	-1.00	-1.00	0.08	1.00	541.01
14	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	1,045.60
15	-1.00	0.00	-1.00	-0.30	-1.00	0.17	-1.00	-0.25	1,234.67
16	-1.00	0.00	-1.00	1.00	-1.00	0.17	-1.00	1.00	1,036.22
17	-1.00	0.00	0.03	0.38	-1.00	0.17	0.08	0.43	881.90
18	-1.00	0.00	1.00	-1.00	-1.00	0.17	1.00	-1.00	1,247.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ผลการแบ่งชุดข้อมูลทดสอบ โดยวิธี k-fold cross-validation ชุดที่ 9

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
1	-1.00	0.00	1.00	1.00	-1.00	0.17	1.00	1.00	718.76
2	-1.00	1.00	-1.00	-0.30	-1.00	1.00	-1.00	-0.25	1,405.80
3	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	1,571.16
4	-1.00	1.00	1.00	0.38	-1.00	1.00	1.00	0.43	1,092.67
5	-1.00	1.00	1.00	1.00	-1.00	1.00	1.00	1v	960.25
6	-0.50	-1.00	-1.00	-0.30	-0.14	-1.00	-1.00	-0.25	942.68
7	-0.50	-1.00	1.00	-1.00	-0.14	-1.00	1.00	-1.00	970.65
8	-0.50	0.00	-1.00	0.38	-0.14	0.17	-1.00	0.43	1,038.85
9	-0.50	0.00	-1.00	1.00	-0.14	0.17	-1.00	1.00	831.59
10	-0.50	0.00	0.03	-0.30	-0.14	0.17	0.08	-0.25	1,073.00
11	-0.50	0.00	1.00	0.38	-0.14	0.17	1.00	0.43	806.26
12	-0.50	1.00	-1.00	1.00	-0.14	1.00	-1.00	1.00	1,160.48
13	-0.50	1.00	0.03	-1.00	-0.14	1.00	0.08	-1.00	1,766.00
14	0.00	-1.00	-1.00	-0.30	0.38	-1.00	-1.00	-0.25	922.47
15	0.00	-1.00	1.00	-1.00	0.38	-1.00	1.00	-1.00	947.42
16	0.00	-1.00	1.00	0.38	0.38	-1.00	1.00	0.43	598.50
17	0.00	0.00	-1.00	1.00	0.38	0.17	-1.00	1.00	978.00
18	0.00	0.00	1.00	-1.00	0.38	0.17	1.00	-1.00	1,477.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14 ผลการแบ่งชุดข้อมูลทดสอบโดยวิธี k-fold cross-validation ชุดที่ 10

ลำดับที่	X_1	X_2	X_3	X_4	$\ln X_1$	$\ln X_2$	$\ln X_3$	$\ln X_4$	Y
1	0.00	0.00	1.00	-0.3	0.38	0.17	1.00	-0.25	1,310.01
2	0.00	0.00	1.00	0.38	0.38	0.17	1.00	0.43	854.02
3	0.50	-1.00	-1.00	0.38	0.72	-1.00	-1.00	0.43	758.99
4	0.50	-1.00	-1.00	1.00	0.72	-1.00	-1.00	1.00	618.27
5	0.50	-1.00	1.00	-1.00	0.72	-1.00	1.00	-1.00	907.77
6	0.50	-1.00	1.00	-0.30	0.72	-1.00	1.00	-0.25	741.45
7	0.50	0.00	0.03	-0.30	0.72	0.17	0.08	-0.25	1,337.39
8	0.50	1.00	-1.00	-1.00	0.72	1.00	-1.00	-1.00	2,049.62
9	0.50	1.00	-1.00	1.00	0.72	1.00	-1.00	1.00	1,369.25
10	0.50	1.00	0.03	0.38	0.72	1.00	0.08	0.43	1,368.00
11	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	1,141.62
12	1.00	-1.00	-1.00	-0.30	1.00	-1.00	-1.00	-0.25	932.18
13	1.00	0.00	0.03	-0.30	1.00	0.17	0.08	-0.25	1,224.00
14	1.00	0.00	1.00	0.38	1.00	0.17	1.00	0.43	964.00
15	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.17	1.00	1.00	715.30
16	1.00	1.00	-1.00	-1.00	1.00	1.00	-1.00	-1.00	2,287.04
17	1.00	1.00	0.03	1.00	1.00	1.00	0.08	1.00	1,133.00
18	1.00	1.00	1.00	-0.30	1.00	1.00	1.00	-0.25	1,534.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

ตารางทดสอบทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1

ตารางค่าสถิติ Durbin-Watson (DW) ค่าของ DW_L และ DW_U ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

k คือ จำนวนตัวแปรอิสระ (ไม่รวมพจน์จุดตัดแกน Y)

n	k=3		k=4		k=5		k=6		k=7		k=8		k=9	
	DW_L	DW_U	DW_L	DW_U	DW_L	DW_U	DW_L	DW_U	DW_L	DW_U	DW_L	DW_U	DW_L	DW_U
37	1.307	1.655	1.249	1.723	1.190	1.795	1.131	1.870	1.071	1.948	1.011	2.029	0.951	2.112
38	1.318	1.656	1.261	1.722	1.204	1.792	1.146	1.864	1.088	1.939	1.029	2.017	0.970	2.098
39	1.328	1.658	1.273	1.722	1.218	1.789	1.161	1.859	1.104	1.932	1.047	2.007	0.990	2.085
40	1.338	1.659	1.285	1.721	1.230	1.786	1.175	1.854	1.120	1.924	1.064	1.997	1.008	2.072
45	1.383	1.666	1.336	1.720	1.287	1.776	1.238	1.835	1.189	1.895	1.139	1.958	1.089	2.022
50	1.421	1.674	1.378	1.721	1.335	1.771	1.291	1.822	1.246	1.875	1.201	1.930	1.156	1.986
55	1.452	1.681	1.414	1.724	1.374	1.768	1.334	1.814	1.294	1.861	1.253	1.909	1.212	1.959
60	1.480	1.689	1.444	1.727	1.408	1.767	1.372	1.808	1.335	1.850	1.298	1.894	1.260	1.939
65	1.503	1.696	1.471	1.731	1.438	1.767	1.404	1.805	1.370	1.843	1.336	1.882	1.301	1.923
70	1.525	1.703	1.494	1.735	1.464	1.768	1.433	1.802	1.401	1.837	1.369	1.873	1.337	1.910
75	1.543	1.709	1.515	1.739	1.487	1.770	1.458	1.801	1.428	1.834	1.399	1.867	1.369	1.901
80	1.560	1.715	1.534	1.743	1.507	1.772	1.480	1.801	1.453	1.831	1.425	1.861	1.397	1.893
85	1.575	1.721	1.550	1.747	1.525	1.774	1.500	1.801	1.474	1.829	1.448	1.857	1.422	1.886
90	1.589	1.726	1.566	1.751	1.542	1.776	1.518	1.801	1.494	1.827	1.469	1.854	1.445	1.881
95	1.602	1.732	1.579	1.755	1.557	1.778	1.535	1.802	1.512	1.827	1.489	1.852	1.465	1.877
100	1.613	1.736	1.592	1.758	1.571	1.780	1.550	1.803	1.528	1.826	1.506	1.850	1.484	1.874
150	1.693	1.774	1.679	1.788	1.665	1.802	1.651	1.817	1.637	1.832	1.622	1.847	1.608	1.862
200	1.738	1.799	1.728	1.810	1.718	1.820	1.707	1.831	1.697	1.841	1.686	1.852	1.675	1.863

แหล่งที่มา: N.E.Savin and Kenneth J. White, "The Durbin-Watson Test for Serial Correlation with Extreme Sample Sizes or Many Regressors", *Econometrica*, 45 (8), Nov. 1977, pp. 1989-1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ค่าวิกฤตการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ ที่ $\alpha = 0.05$

$$f_{0.05, (v_1, v_2)}$$

v_2	v_1							
	12	15	20	24	30	40	60	120
4	5.9117	5.8578	5.8025	5.7744	5.7459	5.7170	5.6877	5.6581
5	4.6777	4.6188	4.5581	4.5272	4.4957	4.4638	4.4314	4.3985
6	3.9999	3.9381	3.8742	3.8415	3.8082	3.7743	3.7398	3.7047
7	3.5747	3.5107	3.4445	3.4105	3.3758	3.3404	3.3043	3.2674
8	3.2839	3.2184	3.1503	3.1152	3.0794	3.0428	3.0053	2.9669
9	3.0729	3.0061	2.9365	2.9005	2.8637	2.8259	2.7872	2.7475
10	2.9130	2.8450	2.7740	2.7372	2.6996	2.6609	2.6211	2.5801
11	2.7876	2.7186	2.6464	2.6090	2.5705	2.5309	2.4901	2.4480
12	2.6866	2.6169	2.5436	2.5055	2.4663	2.4259	2.3842	2.3410
13	2.6037	2.5331	2.4589	2.4202	2.3803	2.3392	2.2966	2.2524
14	2.5342	2.4630	2.3879	2.3487	2.3082	2.2664	2.2229	2.1778
15	2.4753	2.4034	2.3275	2.2878	2.2468	2.2043	2.1601	2.1141
16	2.4247	2.3522	2.2756	2.2354	2.1938	2.1507	2.1058	2.0589
17	2.3807	2.3077	2.2304	2.1898	2.1477	2.1040	2.0584	2.0107
18	2.3421	2.2686	2.1906	2.1497	2.1071	2.0629	2.0166	1.9681
19	2.3080	2.2341	2.1555	2.1141	2.0712	2.0264	1.9795	1.9302
20	2.2776	2.2033	2.1242	2.0825	2.0391	1.9938	1.9464	1.8963
21	2.2504	2.1757	2.0960	2.0540	2.0102	1.9645	1.9165	1.8657
22	2.2258	2.1508	2.0707	2.0283	1.9842	1.9380	1.8894	1.8380
23	2.2036	2.1282	2.0476	2.0050	1.9605	1.9139	1.8648	1.8128
24	2.1834	2.1077	2.0267	1.9838	1.9390	1.8920	1.8424	1.7896
25	2.1649	2.0889	2.0075	1.9643	1.9192	1.8718	1.8217	1.7684
26	2.1479	2.0716	1.9898	1.9464	1.9010	1.8533	1.8027	1.7488
27	2.1323	2.0558	1.9736	1.9299	1.8842	1.8361	1.7851	1.7306
28	2.1179	2.0411	1.9586	1.9147	1.8687	1.8203	1.7689	1.7138
29	2.1045	2.0275	1.9446	1.9005	1.8543	1.8055	1.7537	1.6981
30	2.0921	2.0148	1.9317	1.8874	1.8409	1.7918	1.7396	1.6835
40	2.0035	1.9245	1.8389	1.7929	1.7444	1.6928	1.6373	1.5766
60	1.9174	1.8364	1.7480	1.7001	1.6491	1.5943	1.5343	1.4673
120	1.8337	1.7505	1.6587	1.6084	1.5543	1.4952	1.4290	1.3519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้