การประมาณค่าพารามิเตอร์ในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุ เมื่อข้อมูลมีค่าผิดปกติ

นางสาว จิตรวี วีระประดิษฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาสถิติ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-464-6

ลิขสิทธิ์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17371582

AN ESTIMATION OF PARAMETERS IN MULTIPLE LINEAR REGRESSION WITH OUTLIERS

MISS JITRAVEE VEERAPRADIST

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Statistics

Graduate School

Chulalongkong University

1996

ISBN 974-633-464-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประมาณค่าพารามิเตอร์ในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุ เมื่อข้อมูลมีค่าผิดปกติ

โดย นางสาวจิตรวี วีระประดิษฐ

ภาควิชา สถิติ

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก มานพ วราภักดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ผกาวดี ศิริรังษี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร.อ. มานพ วราภักดิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ชูศักดิ์ อุดมศรี)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

จิตรวี วีระประดิษฐ : การประมาณค่าพารามิเตอร์ในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุ เมื่อข้อมูลมีค่าผิดปกติ (AN ESTIMATION OF PARAMETERS IN MULTIPLE LINEAR REGRESSION WITH OUTLIERS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ร.อ. มานพ วราภักดี , 295 หน้า. ISBN 974-633-464-6

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (สัมประสิทธิ์การถดถอย) ในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุ เมื่อข้อมูลมีค่าผิดปกติ ในที่นี้ทำการศึกษาวิธีการประมาณ 5 วิธี คือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด วิธีตัวประมาณ M และวิธีตัวประมาณ Bounded-Influence เมื่อใช้เกณฑ์ความแกร่งของ Huber และของ Tukey เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) การเปรียบเทียบกระทำภายใต้เงื่อนไขของข้อมูลที่มีค่าผิดปกติซึ่งศึกษาในกรณีต่าง ๆ ดังนี้

1. กรณีที่ข้อมูลเกิดค่าผิดปกติในตัวแปรตาม
2. กรณีที่ข้อมูลเกิดค่าผิดปกติในตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม
3. กรณีที่ข้อมูลเกิดค่าผิดปกติในตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ณ ตำแหน่งเดียวกัน

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยได้จากการจำลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลและกระทำซ้ำ 500 รอบในแต่ละกรณี

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

กรณีที่ข้อมูลเกิดค่าผิดปกติในตัวแปรตาม และ กรณีที่ข้อมูลเกิดค่าผิดปกติในตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

โดยทั่วไปวิธีตัวประมาณ M มีค่า MSE ต่ำกว่าวิธีอื่น แต่บางสถานการณ์วิธีตัวประมาณ M และวิธีตัวประมาณ Bounded-Influence จะมีค่า MSE ใกล้เคียงกัน และเมื่อขนาดของค่าผิดปกติของตัวแปรตามมีขนาดใหญ่ โดยทั่วไปวิธีตัวประมาณ M เมื่อใช้เกณฑ์ความแกร่งของ Tukey จะมีค่า MSE ต่ำที่สุด

ค่า MSE ของตัวประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยทุกตัวมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน เมื่อข้อมูลเกิดค่าผิดปกติในตัวแปรตาม

กรณีที่ข้อมูลเกิดค่าผิดปกติในตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ณ ตำแหน่งเดียวกัน

โดยทั่วไปวิธีประมาณ Bounded-Influence มีค่า MSE ต่ำที่สุด และเมื่อขนาดของค่าผิดปกติของตัวแปรตามมีขนาดใหญ่ พบว่า วิธีประมาณ Bounded-Influence เมื่อใช้เกณฑ์ความแกร่งของ Tukey มีค่า MSE ต่ำที่สุด และเมื่อขนาดของค่าผิดปกติของตัวแปรตามมีขนาดเล็ก โดยทั่วไปวิธีตัวประมาณ Bounded-Influence เมื่อใช้เกณฑ์ความแกร่งของ Huber มีค่า MSE ต่ำที่สุด

ค่า MSE ของตัวประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยทุกตัวมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะค่า MSE ของตัวประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระที่มีค่าผิดปก ติจะมีเปอร์เซ็นต์ของการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าค่า MSE ของตัวประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยตัวอื่น

โดยทั่วไปค่า MSE จะแปรผันตามปัจจัยดังต่อไปนี้จากมากไปน้อย ได้แก่ ขนาดค่าผิดปกติของตัวแปรตามและอัตราส่วนปลอมปน แต่จะแปรผกผันกับขนาดตัวอย่าง

ภาควิชา สถิติ ลายมือชื่อนิสิต จิตรวี วีระประดิษฐ์

สาขาวิชา สถิติ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

c522876 : MAJOR STATISTICS
KEY WORD: MULTIPLE LINEAR REGRESSION/ OUTLIERS
JITRAVEE VEERAPRADIST : AN ESTIMATION OF PARAMETERS IN MULTIPLE LINEAR REGRESSION WITH OUTLIERS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. CAPT. MANOP VARAPHAKDI. 295 pp. ISBN 974-633-464-6

The objective of this research is to compare the estimation of parameters (regression coefficients) in the multiple linear regression with outliers. In this study, the estimation methods are the Ordinary Least Squares method, M-estimator and Bounded-Influence estimator using Huber's robust criteria and Tukey's robust criteria. They were compared by mean square error (MSE). The comparison was done under several conditions of outlier types which are as follows:-

1. Outliers occur in the dependent variable.
2. Outliers occur in the independent varibles and the dependent variable.
3. Outliers of the dependent variable occur at the same positions of the outliers of the independent variables.

The data of the experiment were generated through simulation using Monte Carlo technique and the experiment was repeated 500 times for each case.

The results of this research can be summarized as follows:-

In case of outliers occur in the dependent variable and in case of outliers occur in the independent variables and the dependent variable.

In general, the MSE of M-estimator method is lower than the others. But in some situations, the MSE of the M-estimator method and the Bounded-Influence estimator method are nearly equal. When the size of the outlires of the dependent variable is large, in general, the MSE of the M-estimator using Tukey's robust criteria is the lowest.

The MSE of the estimators of all the regression coefficients increases with the same ratio, when the outliers occur in the dependent variable.

In case of outliers in the dependent variable occur at the same positions of the outliers in the independent variables.

In general, the MSE of the Bounded-Influence estimator method is the lowest. When the size of the outliers of the dependent variable is large, the MSE of the Bounded-Influence estimator using Tukey's robust criteria is the lowest. When the size of the outliers of the dependent variable is small, in general, the MSE of the Bounded-Influence estimator using Huber's robust criteria is the lowest.

The MSE of the estimators of all the regression coefficients increases, especially for the coefficient of independent variable having outliers, it increases higher than the others.

In general, the MSE varies with, most to least respectively, the size of the outliers of the dependent variable and the ratio of contamination but coverse to sample size.

ภาควิชา สถิติ ลายมือชื่อนิสิต จิตรวี วีระประดิษฐ์

สาขาวิชา สถิติ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยรองศาสตราจารย์ ร.อ. มานพ วราภักดิ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำตลอดจน ดูแล แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ผกาวดี ศิริรังษี รองศาสตราจารย์ ดร. สรชัย พิศาลบุตร และ รองศาสตราจารย์ ชูศักดิ์ อุดมศรี ที่ได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์อย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้แก่ผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ท้ายนี้ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่ได้ส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษา และให้กำลังใจตลอดมา และขอขอบคุณ น้องชายและน้องสาวที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี และนอกจากนี้ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

จิตรวี วีระประดิษฐ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

ข้อตกลงเบื้องต้น 5

สมมุติฐานของการวิจัย 10

ขอบเขตของการวิจัย 10

เกณฑ์การตัดสินใจ 12

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 12

บทที่ 2 สถิติที่ใช้ในการวิจัย 13

วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares Method) 13

วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบทั่วไป (Generalized Least Squares Method) และ
วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Least Squares Method) 15

วิธีตัวประมาณ M (M-Estimator Method) 18

วิธีตัวประมาณ Bounded-Influence (Bounded-Influence Estimator Method) 30

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย 35

วิธีจำลองโดยใช้เทคนิคมอนติคาร์โล 36

แผนการทดลอง 37

ขั้นตอนในการวิจัย 39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
โปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย	52
บทที่ 4 ผลการวิจัย	53
การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยทั้ง 5 วิธี	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	158
ผลสรุปการวิจัย	158
ข้อเสนอแนะ	166
รายการอ้างอิง	168
ภาคผนวก	170
ประวัติผู้เขียน	295

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัม-ประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อ $\varepsilon_i \sim CN(PE,9)$ โดยจำแนกตามอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n) 58

4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัม-ประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อ $\varepsilon_i \sim CN(PE,100)$ โดยจำแนกตามอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n) 60

4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัม-ประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,9)$ โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) อัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n) 64

4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัม-ประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,100)$ โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) อัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n) 68

4.5 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัม-ประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,9)$ โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) อัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n) 75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.6 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,100)$ โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) อัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n) 79

4.7 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,9)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 20 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (VX2) อัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (PX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 86

4.8 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,9)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (VX2) อัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (PX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 91

4.9 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,9)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 50 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (VX2) อัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (PX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.10 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,100)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 20 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (VX2) อัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (PX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 101

4.11 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,100)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (VX2) อัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (PX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 106

4.12 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,100)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 50 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (VX2) อัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (PX1) และตัวแปรอิสระ x_2 (PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 111

4.13 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,9) ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และขนาดตัวอย่าง (n) 119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.14 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,100) ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติ และอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และขนาดตัวอย่าง (n) 122

4.15 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,9) ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติ และอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) และขนาดตัวอย่าง (n) 128

4.16 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,100) ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติ และอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) และขนาดตัวอย่าง (n) 131

4.17 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,9) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 20 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 137

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.18 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,9) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 140

4.19 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,9) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 50 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 143

4.20 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,100) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 20 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 146

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.21 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,100) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 149

4.22 แสดงค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) ของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของวิธี OLS , M-H , M-T , BI-H และ BI-T เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือตัวแปรอิสระ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,100) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 50 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 152

5.1 แสดงวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่เหมาะสมภายใต้สถานการณ์ที่ข้อมูลมีค่าผิดปกติในกรณีต่าง ๆ 162

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงตัวอย่างของข้อมูลกรณีเกิดค่าผิดปกติในตัวแปรตาม (ความคลาดเคลื่อน) เมื่อ $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \varepsilon_i$, i = 1, 2, ... , n	7
1.2	แสดงตัวอย่างของข้อมูลกรณีเกิดค่าผิดปกติในตัวแปรอิสระ x_1 ตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตาม (ความคลาดเคลื่อน) เมื่อ $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \varepsilon_i$, i = 1, 2, ... , n	8
1.3	แสดงตัวอย่างของข้อมูลกรณีเกิดค่าผิดปกติในตัวแปรอิสระ x_1 หรือ ตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตาม (ความคลาดเคลื่อน) ณ ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อ $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \varepsilon_i$, i = 1, 2, ... , n	9
3.1	แสดงผังงานสำหรับหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสองของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของทั้ง 5 วิธี	51
4.1	การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อ ε_i ~ CN(PE,9) โดยจำแนกตามอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n)	59
4.2	การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อ ε_i ~ CN(PE,100) โดยจำแนกตามอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n)	61
4.3	การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 เกิดค่าผิดปกติ และ ε_i ~ CN(PE,9) โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) อัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n)	65
4.4	การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 เกิดค่าผิดปกติ และ ε_i ~ CN(PE,100) โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) อัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n)	69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,9)$ โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) อัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n) 76

4.6 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,100)$ โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) อัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) และขนาดตัวอย่าง (n) 80

4.7 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,9)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 20 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 87

4.8 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,9)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,9)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 50 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 97

4.10 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,100)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 20 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 102

4.11 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,100)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 107

4.12 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรอิสระ x_2 เกิดค่าผิดปกติ และ $\varepsilon_i \sim CN(PE,100)$ กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 50 โดยจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) และอัตราส่วนปลอมปนของ ε (PE) 112

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.13 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรตามเกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,9) ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และขนาดตัวอย่าง (n) 120

4.14 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 และตัวแปรตามเกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,100) ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และขนาดตัวอย่าง (n) 123

4.15 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตามเกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,9) ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) และขนาดตัวอย่าง (n) 129

4.16 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_2 และตัวแปรตามเกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,100) ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) และขนาดตัวอย่าง (n) 132

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,9) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 20 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 138

4.18 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,9) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 141

4.19 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,9) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 50 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 144

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.20 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,100) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 20 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 147

4.21 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,100) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 150

4.22 การเปรียบเทียบค่า MSE ของวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุทั้ง 5 วิธี เมื่อตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 และตัวแปรตาม เกิดค่าผิดปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดย ε ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่มีค่าตัวแปรอิสระ x_1 หรือ x_2 ผิดปกติ มีการแจกแจงแบบ N(0,100) กรณีขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 50 ซึ่งจำแนกตามระดับค่าผิดปกติและอัตราส่วนค่าผิดปกติของตัวแปรอิสระ x_1 (VX1 และ PX1) และของตัวแปรอิสระ x_2 (VX2 และ PX2) 153