การเปรียบเทียบการจัดอันดับและมูลค่าความเสี่ยง
ระหว่างตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัยและตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย

นางสาวศรัณยา สมทรง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถิติศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติ ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

A COMPARISON ON RANKING AND VALUE AT RISK BETWEEN THE HAZARD PROBIT MODEL AND THE HAZARD PROBIT WITH GAUSSIAN COPULA MODEL

Miss Sarunya Somsong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Statistics

Department of Statistics

Faculty of Commerce and Accountancy

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบการจัดอันดับและมูลค่าความเสี่ยงระหว่างตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัยและตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย
โดย	นางสาวศรัณยา สมทรง
สาขาวิชา	สถิติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี
(รองศาสตราจารย์ ดร.พสุ เดชะรินทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพร วีระถาวร)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์)

…… กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดี)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. อรุณี กำลัง)

ศรัณยา สมทรง : การเปรียบเทียบการจัดอันดับและมูลค่าความเสี่ยงระหว่างตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัยและตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย. (A Comparison on Ranking and Value at Risk between the Hazard Probit Model and the Hazard Probit with Gaussian Copula Model) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์, 89 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อและมูลค่าความเสี่ยงของตัวแบบคะแนนสินเชื่อ 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย โดยทำการศึกษาจากข้อมูลจำลองภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้ ข้อมูลเป็นแบบภาวะภัยซึ่งมีหลายช่วงเวลา ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพที่มีเพียง 2 ค่า โดยให้ค่าสังเกตของตัวแปรตามในช่วงเวลาเดียวกันมีความสัมพันธ์กันด้วยปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาเดียวกัน ซึ่งปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ คือ $\rho = 0.1$, $\rho = 0.3$, $\rho = 0.5$ และ $\rho = 0.7$ และค่าสังเกตของตัวแปรตามในช่วงเวลาที่ต่างกันเป็นอิสระกัน ตัวแปรอิสระมีจำนวน 2 ตัวแปร ซึ่งจำลองจากการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน จำนวนระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง คือ 3, 6, 9 และ 12 ช่วงเวลา จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ในทุกๆ การทดลอง จำนวนการกระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์เป็น 100 รอบ เกณฑ์ในการตัดสินใจสำหรับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ คือ ค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่างตัวแบบในการจัดอันดับเทียบกับตัวแบบของข้อมูล ส่วนเกณฑ์ในการตัดสินใจสำหรับมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต คือ ผลต่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตระหว่างตัวแบบประเมินความเสี่ยงเทียบกับตัวแบบของข้อมูล ทำการเปรียบเทียบโดยทดสอบสมมติฐานบนความแตกต่างของตัวชี้วัดของสองตัวแบบ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการวิเคราะห์ผลการจำลองพบว่าการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อจากสองตัวแบบไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเกือบทุกกรณี ในขณะที่มูลค่าความเสี่ยงที่คำนวณจากสองตัวแบบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกกรณี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ภาควิชาสถิติ สถิติ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา สถิติ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2554

5281903626 : MAJOR STATISTICS

KEYWORDS : PROBIT MODEL / GAUSSIAN COPULA / VALUE AT RISK

SARUNYA SARUNYA : A COMPARISON ON RANKING AND VALUE AT RISK BETWEEN THE HAZARD PROBIT MODEL AND THE HAZARD PROBIT WITH GAUSSIAN COPULA MODEL. ADVISOR: ASST. PROF. SEKSAN KAITSUPAIBUL Ph.D., 89 pp.

The objective of this research is to compare the ranking of the fitted scores and the value at risk (VaR) obtained from two credit scoring models: hazard probit model and hazard probit with Gaussian copula model. The experiment is done under the following conditions. The data set contains data in multiple periods. The dependence variable is a binary variable. The observations of the dependence variable in the same period are correlated by a Gaussian copula factor at $\rho =$ 0.1, $\rho =$0.3, $\rho =$0.5 and $\rho =$ 0.7. The observations of the dependent variables from different periods are independent. There are two independence variables, which are simulated from the standard normal distribution. The numbers of the periods are 3, 6, 9, and 12. The number of data is 1,000 per periods. The performance measure for the credit score ranking is the rank correlation obtained from the scoring model and the data model. On the other hand, the performance measure for the credit value at risk (CVaR) is the difference of the CVaR obtained from the risk estimation model and that from the data model. The comparison is performed by testing hypotheses on the difference of the performance measures between the two models at significant levels of 0.05.

From the analysis, the fitted credit scores from the two models are not significantly different in most cases, while the values at risk from the two models are significantly different in all cases.

Department : Statistics Student's Signature .....

Field of Study : Statistics Advisor's Signature .....

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนช่วยเหลือตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดีจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความรู้สึกซาบซึ้ง เคารพและสำนึกในพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพร วีระถาวร อาจารย์ ดร.อนุภาพ สมบูรณ์สวัสดี และอาจารย์ ดร.อรุณี กำลัง ประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้วิจัยจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การส่งเสริม สนับสนุนด้านทุนการศึกษา รวมทั้งให้ความรักความอบอุ่นและให้กำลังใจดูแลเอาใจใส่ แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
1.3 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 4
1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย..... 5
1.6 สมมติฐานการวิจัย..... 6
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย..... 6
1.8 เกณฑ์การตัดสินใจ..... 8
1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 8

2 ทฤษฎีและสถิติที่เกี่ยวข้อง..... 9

2.1 ข้อมูลแบบภาวะภัย..... 9
2.2 ตัวแบบโพรบิท..... 10
2.1.1 ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ..... 11
2.1.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย..... 12

บทที่ หน้า

2.3 ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย..... 14
2.1.3 ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ..... 14
2.1.4 การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย..... 15
2.4 เกาซ์เซียนคอพพูลา..... 16
2.5 ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย..... 17
2.1.5 ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ..... 18
2.1.6 การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย..... 19

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 21

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย..... 21
3.2 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย..... 22
3.2.1 การจำลองข้อมูล..... 22
3.2.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย..... 23
3.2.3 การคำนวนตัวชี้วัด..... 23
- การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ..... 24
- มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต..... 25
3.2.4 การเปรียบเทียบและสรุปผลการวิจัย..... 28

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 33

4.1 ผลการวิเคราะห์..... 35
4.1.1 การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ..... 35
4.1.2 มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต..... 42
4.2 ผลการเปรียบเทียบ..... 49
4.2.1 การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ..... 49
4.2.2 มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต..... 49

บทที่ หน้า

5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 50

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 50
5.2 อภิปรายผลการวิจัย..... 53
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 54

รายการอ้างอิง..... 55

ภาผนวก..... 56

ภาคผนวก ก ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานการประเมินความเสี่ยงด้านเครดิต..... 57
ภาคผนวก ข กราฟ e.c.d.f. ระหว่างตัวแบบจริงและตัวแบบประมาณ..... 63
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการใช้โปรแกรม R ในการดำเนินงานวิจัย..... 81

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 89

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	สรุปขอบเขตของการวิจัย.....	5
2.1	แสดงความแตกต่างความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจระหว่าง 3 ตัวแบบคือตัวแบบโพรบิท ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย.....	19
4.1	สรุปกรณีศึกษาที่ใช้ทั้งหมดในงานวิจัย.....	35
4.2	แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อของ กรณีศึกษาที่ 1.....	38
4.3	แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อของ กรณีศึกษาที่ 2.....	39
4.4	แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อของ กรณีศึกษาที่3.....	40
4.5	แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อของ กรณีศึกษาที่ 4.....	41
4.6	แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ของ กรณีศึกษาที่ 1.....	45
4.7	แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ของ กรณีศึกษาที่ 2.....	46
4.8	แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ของ กรณีศึกษาที่ 3.....	47
4.9	แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ของ กรณีศึกษาที่ 4.....	48
5.1	สรุปผลการวิจัยในการทดสอบสมมติฐานเรื่องการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ…….	51
5.2	สรุปผลการวิจัยในการทดสอบสมมติฐานเรื่องมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต…….	52

สารบัญภาพ

แผนภาพที่		หน้า
1.1	แสดงภาพรวมของวิธีดำเนินงานวิจัย.....	7
3.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด…….....	29
3.2	แสดงขั้นตอนการจำลองข้อมูล……...	30
3.3	แสดงขั้นตอนการคำนวณตัวชี้วัดที่ 1 คือการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ……..	31
3.4	แสดงขั้นตอนการคำนวณตัวชี้วัดที่ 2 คือมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต……..	32

ภาพที่ หน้า

1.1 มูลค่าความเสี่ยงที่เปอร์เซ็นไทล์ที่ 99..... 3
2.1 การจัดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบภาวะภัย..... 9

ข.1 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 1.1..... 65
ข.2 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 1.2..... 66
ข.3 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 1.3..... 67
ข.4 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 1.4..... 68
ข.5 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 2.1..... 69
ข.6 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 2.2..... 70

ภาพที่ หน้า

ข.7 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 2.3..... 71

ข.8 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 2.4..... 72

ข.9 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 3.1..... 73

ข.10 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 3.2..... 74

ข.11 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 3.3..... 75

ข.12 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 3.4..... 76

ข.13 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 4.1..... 77

ภาพที่ หน้า

ข.14 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 4.2..... 78

ข.15 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 4.3..... 79

ข.16 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 4.4..... 80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การดำเนินธุรกิจในปัจจุบันย่อมหลีกเลี่ยงการแข่งขันกันไม่พ้น ธุรกิจใดมีการวางแผนและการตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง และทันต่อเหตุการณ์จะสามารถดำรงอยู่ได้ เป็นความจริงที่ยอมรับกันว่าการดำเนินธุรกิจใดๆของทุกองค์กรหรือหน่วยงานจะอยู่ภายใต้ความเสี่ยงของสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นปัจจัยหนึ่งที่จะเสริมความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจ คือความสามารถในการพยากรณ์ และประเมินความเสี่ยงของสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างแม่นยำ ตัวอย่างเช่น ธนาคารต้องทราบว่าความเสี่ยงด้านเครดิตของการที่ลูกหนี้จะผิดนัดชำระหนี้ จึงต้องพยากรณ์ว่าโอกาสที่ลูกหนี้แต่ละคนจะผิดนัดชำระหนี้มีมากน้อยเพียงไร

ความเสี่ยงด้านเครดิต (Credit Risk) เป็นความเสี่ยงประเภทหนึ่งที่สำคัญในธุรกิจการเงิน เพราะมีผลอันสำคัญต่อรายได้หลักและฐานะเงินกองทุนของสถาบันการเงิน การบริหารความเสี่ยงด้านเครดิตอาศัยเครื่องมือทางสถิติเข้ามาช่วยในการประเมินความเสี่ยง ได้แก่ การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ (Credit Score Ranking) และการคำนวณมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต (Credit Value at Risk: CVaR) อย่างไรก็ตามการประเมินความเสี่ยงทั้ง 2 ใช้เครื่องมือสถิติที่มีข้อสมมติที่ขัดแย้งกัน โดยการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อมักมีข้อสมมติว่า การชำระหนี้ของลูกค้าในแต่ละค่าสังเกตเป็นอิสระซึ่งกันและกัน ส่วนการคำนวณมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตมักมีข้อสมมติว่า การชำระหนี้ของลูกค้าในแต่ละค่าสังเกตมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งการประเมินความเสี่ยงทั้ง 2 ประเภทนี้จะพิจารณาจากความเสี่ยงที่เกิดจากการผิดนัดชำระหนี้ (Default Risk) เดียวกัน คือโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่ลูกค้าจะค้างชำระเงินกู้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ปัญหางานวิจัย คือการแสดงว่าการประเมินความเสี่ยงทั้ง 2 แบบได้รับผลกระทบมากน้อยเพียงไรจากข้อสมมติที่ขัดแย้งกัน

Tyler Shumway (2001) อาศัยตัวแบบความถดถอยโลจิสติคแบบภาวะภัย จัดอันดับคะแนนสินเชื่อของกลุ่มอุตสาหกรรมในประเทศสหรัฐอเมริกา จากข้อมูลตลาดหุ้นระหว่างปี ค.ศ. 1962 ถึง ค.ศ. 1992 ซึ่งพบว่าตัวประมาณที่ได้จากการวิเคราะห์แบบภาวะภัยเป็นตัวประมาณที่ไม่เอนเอียง มีความคงเส้นคงวา และให้เปอร์เซ็นความถูกต้องของการพยากรณ์สูงกว่าตัวแบบสถิตย์

Oldrich Alfons Vasicek (2002) อาศัยตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาซึ่งนำเสนอโดย David X. Li (2000) ในการประเมินมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต (Credit Value at Risk: CVaR) หรือมูลค่าความเสียหายสูงสุดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการผิดนัดชำระหนี้ของลูกค้า ภายใต้ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด ซึ่งตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลามีข้อสมมติว่าค่าสังเกตมีความสัมพันธ์กัน พบว่าตัวแบบดังกล่าวให้มูลค่าความเสียหายสูงสุดที่เหมาะสมจากการผิดนัดชำระหนี้ของลูกค้า และจากงานวิจัยของ Sunti Tirapat and Seksan Kiatsupaibul (2007) ได้พยากรณ์มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตเช่นเดียวกัน แต่ใช้ตัวแบบความถดถอยโลจิสติคที่มีข้อสมมติว่าค่าสังเกตเป็นอิสระต่อกัน และพบว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตที่คำนวณได้มีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งอาจเป็นผลจากความสัมพันธ์ของค่าสังเกตตามตัวแบบของ Oldrich Alfons Vasicek (2002) จากปัญหานี้จึงนำไปสู่งานวิจัยของ สุกัญญา บุญมา (2551) และลดาวัลย์ ศรีดาเดช (2552) ซึ่งได้สร้างตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิท โดยมีการนำเอาความสัมพันธ์เกาซ์เซียนคอพพูลาที่มีปัจจัยเดียวมาประกอบกับตัวแบบโพรบิท งานวิจัยทั้งสองศึกษาการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบดังกล่าว แต่ไม่ได้ศึกษามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตที่ได้จากตัวแบบดังกล่าว

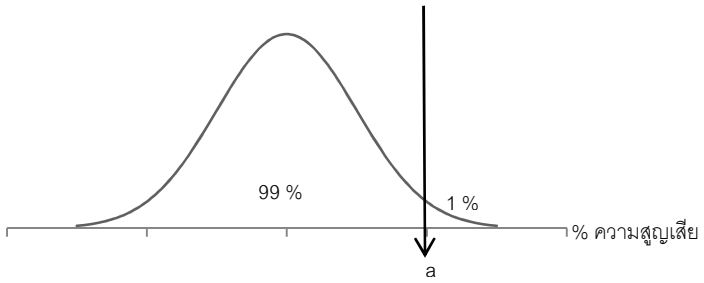
งานวิจัยนี้กำหนดว่าการผิดนัดชำระหนี้ของลูกค้าหรือตัวแปรตามในแต่ละค่าสังเกตในช่วงเวลาเดียวกันมีความสัมพันธ์กันด้วยปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาเดียวกัน นั่นคือการผิดนัดชำระหนี้เป็นไปตามตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย (Hazard Probit with Gaussian Copula Model) ดังนั้นภายใต้ตัวแบบของข้อมูลดังกล่าว การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และการคำนวณมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ด้วยตัวแบบที่ตรงกับข้อมูลซึ่งมีข้อสมมติว่าค่าสังเกตในช่วงเวลาเดียวกันมีความสัมพันธ์กัน กับตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย (Hazard Probit Model) ของ Tyler Shumway (2001) ซึ่งมีข้อสมมติว่าค่าสังเกตในช่วงเวลาเดียวกันเป็นอิสระกัน จะให้ผลที่แตกต่างกันอย่างไร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการเปรียบเทียบการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อระหว่างตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย
2. เพื่อทำการเปรียบเทียบมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตระหว่างตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย

1.3 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. ข้อมูลแบบภาวะภัย (Hazard Data) คือ ข้อมูลที่ได้จากการแบ่งช่วงเวลาของการศึกษาออกเป็นหลายช่วงเวลาย่อย และพิจารณาข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวอย่างในช่วงเวลาย่อยเหล่านั้น
2. ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย (Hazard Probit Model) คือ ตัวแบบโพรบิทที่พิจารณาข้อมูลตามช่วงเวลา เมื่อ*ไม่มี*ปัจจัยคอพพูลา
3. ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย (Hazard Probit with Gaussian Copula Model) คือ ตัวแบบโพรบิทที่พิจารณาข้อมูลตามช่วงเวลา เมื่อ*มี*ปัจจัย คอพพูลา
4. การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ (Credit Score Ranking) คือ การให้คะแนนคุณสมบัติของผู้กู้เพื่อบ่งบอกระดับความเสี่ยงด้านเครดิต ซึ่งจะมีผลต่อการกำหนดวงเงินกู้ยืมและอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ซึ่งแสดงตัวอย่างการคำนวณไว้ในภาคผนวก ก
5. มูลค่าความเสี่ยง (Value at Risk: VaR) คือ ตัวเลขที่บอกความสูญเสียของสินทรัพย์เป็นตัวเงินพร้อมทั้งบอกความเชื่อมั่นกำกับ โดยเกณฑ์ความเชื่อมั่นมักจะเท่ากับ 99% ดังนั้นมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตที่ 99% ความเชื่อมั่นจะเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของความสูญเสีย ซึ่งเป็นค่า a ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 มูลค่าความเสี่ยง ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 99

6. มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต (Credit Value at Risk: CVaR) คือ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตเมื่อสินทรัพย์ที่ต้องการประเมินความเสี่ยงเป็นเงินกู้ โดยความสูญเสียมักระบุเป็นอัตรา ซึ่งก็คืออัตราการผิดนัดชำระหนี้ (Default Rate) ซึ่งแสดงตัวอย่างการคำนวณไว้ในภาคผนวก ก

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากการจำลองข้อมูล โดยใช้โปรแกรม R ที่เป็นไปตามตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย กำหนดตัวแบบของข้อมูล ดังนี้

$$Y_{it} = \begin{cases} 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 1 & \text{(Default)} \\ 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} > 0 & \text{(Default)} \\ 0; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} \le 0 & \text{(Not Default)} \end{cases}$$

โดยที่ $Y_{it}^{*} = \sum_{k=0}^{K} \beta_{k,t} X_{k,it} + \varepsilon_{it}$

และ $\varepsilon_{it} = \sqrt{\rho} Z_t + \sqrt{1-\rho} e_{it}$

กำหนดให้ $Z_t \overset{iid}{\sim} N(0,1)$ และ $e_{it} \overset{iid}{\sim} N(0,1)$

เมื่อ $i = 1,2,...,n_{t+1}$, $t = 0,1,2,...,T$

และ $n_{t+1} = n_1 + n_2 + ... + n_T = \sum_{t=1}^{T} n_t$

โดยที่ i คือ หน่วยตัวอย่างที่ i

t คือ กลุ่มตัวอย่างหรือช่วงเวลาที่ t

n_{t+1} คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

T คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างหรือช่วงเวลา

n_t คือ จำนวนตัวอย่างของช่วงเวลาที่ t

2. กำหนดให้มีตัวแปรอิสระจำนวน 2 ตัวแปร และทั้ง 2 ตัวแปร มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน
3. กำหนดให้พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ที่มีค่าคงที่ คือ $\beta_{0,t}$ = -3 พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย 2 ตัว คือ $\beta_{1,t}$ = -0.71, -1.41, -3.54, -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71, 1.41, 3.54, 7.07
4. กำหนดให้ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ คือ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ
5. กำหนดจำนวนระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง (T) คือ 3, 6, 9 และ 12 ช่วงเวลา ตามลำดับ
6. กำหนดจำนวนหน่วยตัวอย่างเริ่มต้น $(n_{t=1})$ คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ในทุกๆ การทดลอง
7. กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ในการวิจัยครั้งนี้ คือ 0.05
8. กำหนดจำนวนการกระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์เป็น 100 รอบ

ตารางที่ 1.1 สรุปขอบเขตของการวิจัย

ลักษณะของข้อมูล	สัญลักษณ์	ขอบเขตของการวิจัย
ตัวแปรตาม (2 ค่า)	Y_{it}	1 และ 0
ตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร	$X_{1,it}$	$X_{1,it} \overset{iid}{\sim} N(0,1)$
	$X_{2,it}$	$X_{2,it} \overset{iid}{\sim} N(0,1)$
ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลา	Z_t	$Z_t \overset{iid}{\sim} N(0,1)$
พารามิเตอร์ค่าคงที่	$\beta_{0,t}$	-3
พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย	$\beta_{1,t}$	-0.71, -1.41, -3.54, -7.07
	$\beta_{2,t}$	0.71, 1.41, 3.54, 7.07
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ρ	0.1, 0.3, 0.5, 0.7
จำนวนระยะเวลา	T	3, 6, 9, 12 ช่วงเวลา
จำนวนหน่วยตัวอย่างเริ่มต้น	$n_{t=1}$	1,000 ต่อช่วงเวลา
ระดับนัยสำคัญ	α	0.05
จำนวนการทำซ้ำ		100 รอบ

1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การวิจัยครั้งนี้จะทำการศึกษาข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบปิด คือไม่มีหน่วยตัวอย่างเข้ามาใหม่และไม่มีหน่วยตัวอย่างภายใต้การทดลองออกจากกลุ่มทดลองในระหว่างการทดลอง นอกเสียจากจะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจหรือสิ้นสุดเวลาของหน่วยตัวอย่างนั้น
2. การวิจัยครั้งนี้ลักษณะของข้อมูลที่ใช้เป็นการศึกษาแบบติดตามผล คือสังเกตข้อมูลตั้งแต่เริ่มเข้ามาในช่วงของการสังเกตจนกระทั่งเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ หรือสิ้นสุดเวลาของหน่วยตัวอย่างนั้น หรือสิ้นสุดช่วงเวลาของการศึกษา
3. การวิจัยครั้งนี้จะพิจารณากรณีที่ช่วงเวลาเป็นแบบไม่ต่อเนื่องและมีความยาวของแต่ละช่วงเวลาเท่ากัน และข้อมูลจากการจำลองกำหนดให้เริ่มต้นเก็บข้อมูลที่เวลาเดียวกันคือ t=0 และจะเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 3, 6, 9 และ 12 ช่วงเวลา

1.6 สมมติฐานการวิจัย

1. ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัยจะมีการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อได้ใกล้เคียงกับตัวแบบที่มีกำหนดค่าพารามิเตอร์จริง มากกว่าตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย
2. ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัยจะมีมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตมากกว่าตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย

1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

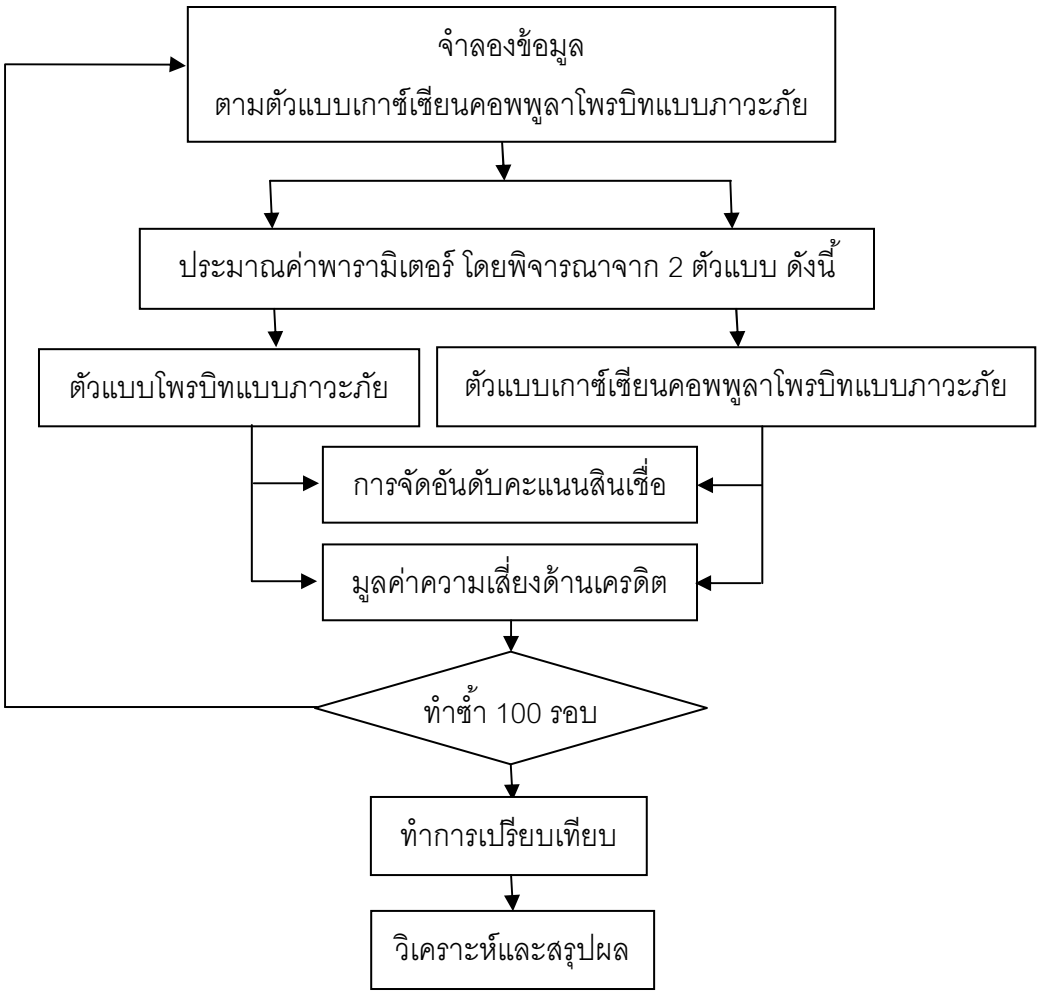
1. ทำการจำลองข้อมูลตามตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย เมื่อเราทราบพารามิเตอร์ที่แท้จริง ตามขอบเขตของการวิจัย ดังตารางที่ 1.1
   1.1 โดยให้ตัวแปรตามในแต่ละค่าสังเกตในช่วงเวลาเดียวกันมีความสัมพันธ์กันด้วยปัจจัยคอพพูลาเดียวกัน และตัวแปรตามในแต่ละค่าสังเกตในช่วงเวลาที่ต่างกันเป็นอิสระกันผ่านค่าสหสัมพันธ์ต่าง ๆ
   1.2 จากการจำลองข้อมูลในข้อ 1 ลักษณะของข้อมูลที่ใช้เป็นการศึกษาแบบติดตามผลคือจะสังเกตข้อมูลตั้งแต่เริ่มเข้ามาในช่วงเวลาของการสังเกตจนกระทั่งเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ หรือสิ้นสุดเวลาของหน่วยตัวอย่างนั้น หรือสิ้นสุดช่วงเวลาของการศึกษา จะได้ตัวแปรตาม ซึ่งเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพที่มีค่าได้เพียง 2 ค่า คือ 1 และ 0
2. ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์จากตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย ตามลำดับ
3. จากข้อมูลการจำลองในข้อ 2 ทำการเปรียบเทียบระหว่าง 2 ตัวแบบคือ ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย โดยพิจารณาตัวชี้วัดต่อไปนี้
   3.1 การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ (Credit Score Ranking) ในแต่ละตัวแบบคำนวณค่าสหสัมพันธ์ระหว่างอันดับจากตัวแบบนั้น ๆ กับอันดับจากตัวแบบจริง และพิจารณาความแตกต่างระหว่างสหสัมพันธ์อันดับที่คำนวณได้จาก 2 ตัวแบบ

3.2 มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต (Credit Value at Risk: CVaR) ในแต่ละตัวแบบคำนวณมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตซึ่งคือเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 99 ของอัตราการผิดนัดชำระหนี้จากตัวแบบนั้น ๆ กับตัวแบบจริง และพิจารณาความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตใน 3 ช่วงเวลาถัดไปที่คำนวณได้จาก 2 ตัวแบบ

4. ทำการเปรียบเทียบและสรุปผลงานวิจัย

จากวิธีการดำเนินงานวิจัยข้างต้นแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ คือ การจำลองข้อมูล การประมาณค่าพารามิเตอร์ การคำนวณตัวชี้วัด และการเปรียบเทียบและสรุปผลการวิจัย ซึ่งแสดงไว้ดังแผนภาพที่ 1.1 ส่วนรายละเอียดวิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดจะกล่าวโดยละเอียดไว้ในบทที่ 3

แผนภาพที่ 1.1 แสดงภาพรวมของวิธีดำเนินงานวิจัย



1.8 เกณฑ์การตัดสินใจ

ตัวชี้วัดของการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ คือค่าสหสัมพันธ์อันดับเทียบกับตัวแบบจริง (ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย) ส่วนตัวชี้วัดของมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต คือวัดด้วยผลต่างของมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตเทียบกับตัวแบบจริง (ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย) การเปรียบเทียบทำโดยทดสอบสมมติฐานบนความแตกต่างระหว่างตัวชี้วัดของ 2 ตัวแบบ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ คือ 0.05

1.9 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อประเมินคุณภาพของตัวแบบโพรบิทที่นิยมใช้กันในการให้คะแนนสินเชื่อ
2. สามารถนำมาเป็นทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลในกรณีที่ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพที่มีเพียง 2 ค่า และแต่ละค่าสังเกตมีความสัมพันธ์กัน อันเนื่องมาจากยังมีปัจจัยหรือตัวแปรอิสระบางตัวที่ไม่สามารถสังเกตได้
3. เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบมีภาวะภัย ซึ่งเพิ่มเติมจากกรณีตัวแบบโพรบิทที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน

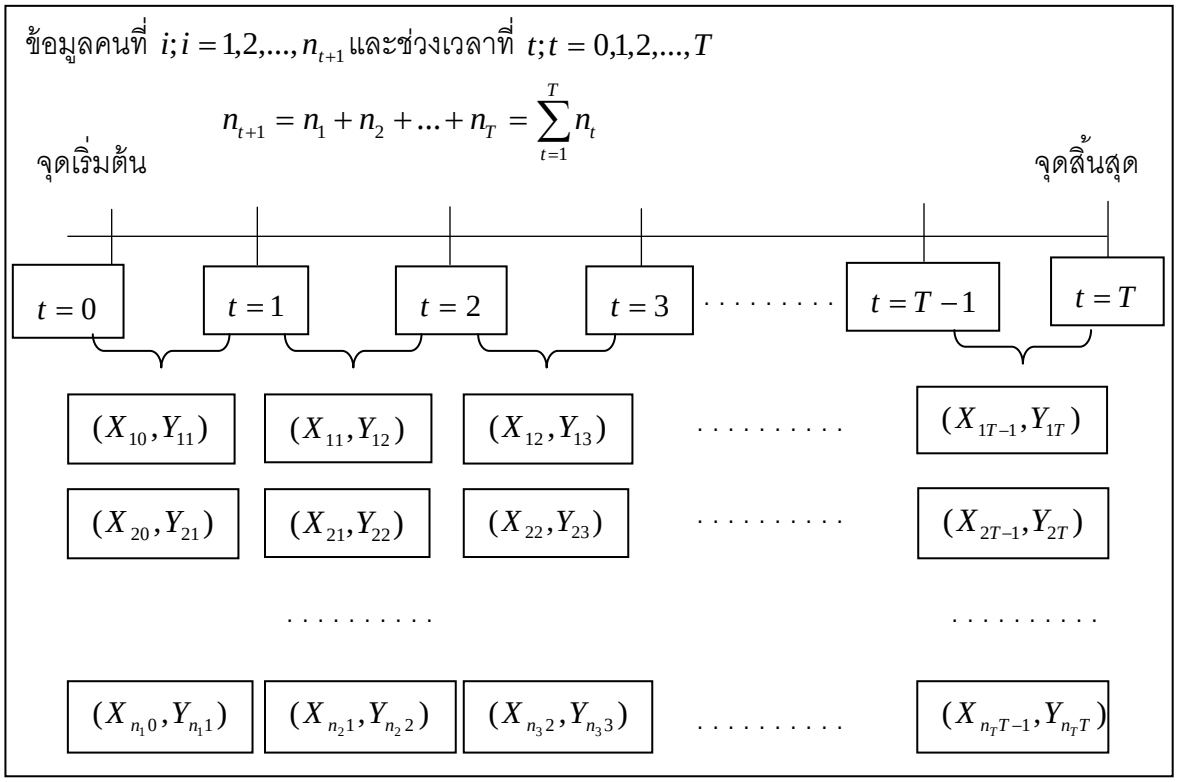
บทที่ 2

ทฤษฎีและสถิติที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มีทฤษฎีและสถิติที่เกี่ยวข้อง คือ ข้อมูลแบบภาวะภัย (Hazard Data) ตัวแบบโพรบิท (Probit Model) ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย (Hazard Probit Model) เกาซ์เซียนคอพพูลา (Gaussian Copula) และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย (Hazard Probit with Gaussian Copula Model) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดตามลำดับ ดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลแบบภาวะภัย (Hazard Data)

ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบภาวะภัย จะเป็นข้อมูลในหลายช่วงเวลา โดยข้อมูลของตัวแปรอิสระ (X_{it}) เป็นค่าที่จุดเริ่มต้นของแต่ละช่วงเวลาย่อย และข้อมูลของตัวแปรตาม (Y_{it}) เป็นค่าที่จุดสิ้นสุดของช่วงเวลาย่อยนั้นๆ ดังภาพที่ 2.1 แตกต่างจากข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์โดยทั่วไป หรือเรียกว่าการวิเคราะห์แบบสถิตย์ คือแต่ละหน่วยตัวอย่างจะมีเพียง 1 ชุดหรือ 1 ค่าสังเกตของตัวแปร กล่าวคือข้อมูลของตัวแปรอิสระที่จุดเริ่มต้นการศึกษาและข้อมูลของตัวแปรตามที่จุดสิ้นสุดการศึกษา



ภาพที่ 2.1 การจัดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบภาวะภัย

จากงานวิจัยของ วรุณี มุริกา (2551) การวิเคราะห์ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัยที่ได้มีการแบ่งช่วงเวลาของการศึกษาออกเป็นหลายช่วงเวลาย่อย และพิจารณาข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวอย่างในช่วงเวลาย่อยเหล่านั้น จะทำให้ได้ตัวประมาณที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ดีกว่าตัวแบบที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวแบบโพรบิทแบบปกติ หรือตัวแบบโพรบิทแบบสถิตย์ ที่ในการวิเคราะห์จะพิจารณาข้อมูลเป็นเพียง 1 ช่วงเวลาเท่านั้น

ทั้งนี้เมื่อต้องการวิเคราะห์แบบภาวะภัย ควรมีการวางแผนการเก็บข้อมูลให้เข้ากับการวิเคราะห์แบบภาวะภัยตั้งแต่เริ่มต้น และการเก็บข้อมูลต้องมีความต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากข้อมูลได้อย่างเต็มที่ อีกทั้งการประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัยจะเหมือนกับตัวแบบโพรบิทแบบปกติ โดยใช้วิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเช่นเดียวกัน ยกเว้นแต่การจัดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เท่านั้นที่ต่างกัน ซึ่งจะแสดงในหัวข้อ 2.2-2.3 ตามลำดับ

2.2 **ตัวแบบโพรบิท** (Probit Model)

ตัวแบบโพรบิทมีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อมุ่งหาตัวแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ 2 ลักษณะ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าตัวแปรหุ่น (Dummy Variable) ที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 มีการแจกแจงแบบเบอร์นูลลี (Bernoulli Distribution) ส่วนตัวแปรอิสระสามารถเป็นได้ทั้งตัวแปรเชิงปริมาณอย่างเดียว หรือตัวแปรเชิงคุณภาพอย่างเดียว หรือจะมีทั้งตัวแปรเชิงปริมาณและตัวแปรเชิงคุณภาพก็ได้ เมื่อได้รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลแล้ว สามารถนำไปพยากรณ์โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่ค่าสังเกตจะอยู่ในกลุ่มของเหตุการณ์ที่สนใจได้

เนื่องจากตัวแปรตาม (Y_i) มีค่าได้เพียง 2 ค่า คือ 0 และ 1 เป็นค่าที่สังเกตได้จากหน่วยตัวอย่างที่ $i; i = 1,2,...,n$ โดยทำการปรับให้เป็นตัวแปรหุ่นจากตัวแปรแฝงซึ่งไม่สามารถเก็บข้อมูลหรือค่าสังเกตได้จริง จึงไม่ทราบค่าที่แท้จริงทราบแต่เพียงผลที่เกิดขึ้นเท่านั้น มีรูปแบบเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรอิสระ จำนวน $K+1$ ตัว $(1, X_{1i}, X_{2i},..., X_{Ki})$ ที่สัมประสิทธิ์ความถดถอยแทนด้วย $\beta_0, \beta_1,..., \beta_K$ และค่าความคลาดเคลื่อน แทนด้วย ε_i โดยที่ ε_i มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน เราเรียกตัวแปรแฝงดังกล่าวว่า ตัวแปรลาเทนท์ (Latent Variable) (Y_i^*) สามารถเขียนสมการแทนได้ ดังนี้

$$Y_i = \begin{cases} 1; & \text{if } Y_i^* > 0 \quad \text{(Default)} \\ 0; & \text{if } Y_i^* \le 0 \quad \text{(Not Default)} \end{cases} \qquad \text{.....(2.1)}$$

โดยที่ $$Y_i^* = \sum_{k=0}^{K} \beta_k X_{k,i} + \varepsilon_i \qquad \text{.....(2.2)}$$

กำหนดให้ $\varepsilon_i \overset{iid}{\sim} N(0,1)$

เมื่อ $i = 1,2,...,n$

หรือเขียนตัวแปรแฝงให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ ได้ดังนี้

$$Y^* = X\beta + \varepsilon$$

โดยที่ $X_{(n\times K)}$ คือ เมทริกซ์ของตัวแปรอิสระ

$\beta_{(K\times 1)}$ คือ เวกเตอร์ของพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย

$\varepsilon_{(n\times 1)}$ คือ เวกเตอร์สุ่มซึ่งแทนความคลาดเคลื่อน

2.2.1 ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ $(P(Y_i = 1))$

จากสมการ (2.1) และ (2.2) ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ (p_i) เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} p_i = P(Y_i = 1) &= P(Y_i^* > 0) \\ &= P(\sum_{k=0}^{K} \beta_k X_{k,i} + \varepsilon_i > 0) \\ &= P(\varepsilon_i > -\sum_{k=0}^{K} \beta_k X_{k,i}) \\ &= P(\varepsilon_i \le \sum_{k=0}^{K} \beta_k X_{k,i}) \\ &= \Phi(\sum_{k=0}^{K} \beta_k X_{k,i}) \\ &= \Phi(X_i'\beta) \qquad \text{.....(2.3)} \end{aligned}$$

โดยที่ Φ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) ของค่าความคลาดเคลื่อน (ε_i) มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน

จากสมการ (2.3) เมื่อฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความคลาดเคลื่อน (ε_i) มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน ซึ่งค่าของฟังก์ชันจะอยู่ระหว่าง 0 และ 1 มีรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงเป็นดังนี้

$$p_i = \int_{-\infty}^{\eta_i} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\varepsilon_i^{\,2}}{2}\right) d\varepsilon_i$$

กำหนดให้ $\eta_i = X_i'\beta$

และจะได้ว่า $p_i = \Phi(\eta_i)$

$$\eta_i = \Phi^{-1}(p_i) \qquad \text{.....(2.4)}$$

จากสมการ (2.4) จะเรียกว่า การแปลงโพรบิท (Probit Transformation) ซึ่ง η_i เป็นตัวผกผันของการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปกติมาตรฐาน (The Inverse of the Standard Cumulative Normal Distribution Function) และพบว่าการแปลงโพรบิทจะทำให้เราได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร และการวิเคราะห์ซึ่งอาศัยการแปลงดังกล่าวนี้เรียกว่า การวิเคราะห์แบบโพรบิท (Probit Analysis)

2.2.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย

จากที่กล่าวมาแล้วว่า ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ 2 ลักษณะ ที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 มีฟังก์ชันการแจกแจงแบบเบอร์นูลลี (Bernoulli Distribution) ดังนี้

$$P(Y_i = y_i) = p_i^{\,y_i}(1-p_i)^{1-y_i} \quad ; y_i = 0,1 \qquad \text{.....(2.5)}$$

จากสมการ (2.5)

เมื่อ $y_i = 0$ จะได้ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ไม่สนใจ คือ

$$P(Y_i = 0) = p_i^{\,0}(1-p_i)^{1-0} = 1-p_i \quad \text{ซึ่ง } 0 \le p_i \le 1$$

และเมื่อ $y_i = 1$ จะได้ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ คือ

$$P(Y_i = 1) = p_i^{\,1}(1-p_i)^{1-1} = p_i \quad \text{ซึ่ง } 0 \le p_i \le 1$$

ตัวแบบโพรบิทจะใช้การประมาณสัมประสิทธิ์ความถดถอยด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) จากสมการ (2.5) จึงสามารถสร้างฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น (Likelihood Function) ที่แปรผันตามค่าตัวแปรอิสระ ได้ดังนี้

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^{n} P(Y_i = 1 | X_i; \beta)^{y_i} P(Y_i = 0 | X_i; \beta)^{1-y_i}$$

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^{n} \Phi(t_i, X_i; \beta)^{y_i} [1 - \Phi(t_i, X_i; \beta)]^{1-y_i}$$

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^{n} [\Phi(X_i'\beta)]^{y_i} [1 - \Phi(X_i'\beta)]^{1-y_i} \quad \text{.....(2.6)}$$

การหาค่าตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด คือ ต้องทำให้ $L(\beta)$ จากสมการ (2.6) มีค่ามากที่สุดโดยทำการหาอนุพันธ์เทียบกับ β ต่างๆ โดยเราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของลอการิทึม (Logarithm) หรือและฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นลอการึทึม (Log-Likelihood Function) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \ln L(\beta) &= \sum_{i=1}^{n} \{ y_i \cdot \ln[\Phi(X_i'\beta)] + (1 - y_i) \cdot \ln[1 - \Phi(X_i'\beta)] \} \\ &= \sum_{y_i=0} \ln[1 - \Phi(X_i'\beta)] + \sum_{y_i=1} \ln[\Phi(X_i'\beta)] \end{aligned} \quad \text{.....(2.7)}$$

จากสมการ (2.7) สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของสัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_0, \beta_1, ..., \beta_K)$ โดยการหาค่า First order condition ของฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น ดังนี้

$$\frac{\partial \ln L(\boldsymbol{\beta})}{\partial \beta} = 0 \quad \text{.....(2.8)}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L(\boldsymbol{\beta})}{\partial \beta} &= \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{y_i \phi(\cdot)}{\Phi(\cdot)} + (1 - y_i) \left(\frac{-\phi(\cdot)}{1 - \Phi(\cdot)} \right) \right] x_i = 0 \\ &= \sum_{y_i=0} \left[\frac{-\phi(X_i'\beta)}{1 - \Phi(X_i'\beta)} \right] x_i \sum_{y_i=1} \left[\frac{\phi(X_i'\beta)}{\Phi(X_i'\beta)} \right] x_i = 0 \end{aligned}$$

โดยที่ ϕ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ

Φ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ

2.3 ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย (Hazard Probit Model)

ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย ของ Tyler Shumway (2001) เป็นตัวแบบที่ตัวแปรตามในแต่ละค่าสังเกตเป็นอิสระซึ่งกันและกันตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งการจัดข้อมูลแบบภาวะภัยเป็นไปตามภาพที่ 2.1 ตัวแบบเป็นดังนี้

$$Y_{it} = \begin{cases} 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 1 & \text{(Default)} \\ 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} > 0 & \text{(Default)} \\ 0; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} \le 0 & \text{(Not Default)} \end{cases} \qquad \text{.....(2.9)}$$

โดยที่ $$Y_{it}^{*} = \sum_{k=0}^{K} \beta_{k,t} X_{k,it} + \varepsilon_{it} \qquad \text{.....(2.10)}$$

กำหนดให้ $\varepsilon_{it} \overset{iid}{\sim} N(0,1)$

เมื่อ $i = 1,2,...,n_{t+1}$, $t = 0,1,2,...,T$

และ $n_{t+1} = n_1 + n_2 + ... + n_T = \sum_{t=1}^{T} n_t$

2.3.1 ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ $(P(Y_{it} = 1))$

จากสมการ (2.9) และ (2.10) ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ (p_{it}) เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} p_{it} = P(Y_{it} = 1) &= P(Y_{it}^{*} > 0) \\ &= P(\sum_{k=0}^{K} \beta_{k,t} X_{k,it} + \varepsilon_{it} > 0) \\ &= P(\varepsilon_{it} > -\sum_{k=0}^{K} \beta_{k,t} X_{k,it}) \\ &= P(\varepsilon_{it} \le \sum_{k=0}^{K} \beta_{k,t} X_{k,it}) \\ &= \Phi(\sum_{k=0}^{K} \beta_{k,t} X_{k,it}) \\ &= \Phi(X_{it}' \beta) \qquad \text{.....(2.11)} \end{aligned}$$

โดยที่ Φ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) ของค่าความคลาดเคลื่อน (ε_{it}) มีการแจกแจงแบบปกติ

2.3.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย

การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย จะเหมือนกับตัวแบบโพรบิท เพียงแต่มีการจัดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เท่านั้นที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอยด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) โดยมีรูปแบบของสมการฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น (Likelihood Function) และฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นลอการิทึม (Log-Likelihood Function) ที่แปรผันตามค่าตัวแปรอิสระ เป็นดังนี้

$$L(\beta)=\prod_{i=1}^{n_{t+1}}\{P(Y_{it}=1|X_{it};\beta)^{y_{it}}\prod_{j<t_i}P(Y_{it}=0|X_{ij};\beta)\}$$

$$L(\beta)=\prod_{i=1}^{n_{t+1}}\{\Phi(t_i,X_{it};\beta)^{y_{it}}\prod_{j<t_i}[1-\Phi(t_i,X_{ij};\beta)]\}$$

$$L(\beta)=\prod_{i=1}^{n_{t+1}}\{[\Phi(X'_{it}\beta)]^{y_{it}}\prod_{j<t_i}[1-\Phi(X'_{ij}\beta)]\}$$

$$\ln L(\beta)=\sum_{i=1}^{n_{t+1}}\{y_{it}\cdot\ln[\Phi(X'_{it}\beta)]+\sum_{j<t_i}\ln[1-\Phi(X'_{ij}\beta)]\} \quad \text{.....(2.12)}$$

เมื่อ $t_i=\min\{t:Y_{it}=1\}$

โดยที่ Φ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ

จากสมการ (2.12) สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของสัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_0,\beta_1,...,\beta_K)$ เช่นเดียวกับตัวแบบโพรบิท จากสมการ (2.8) โดยการหาค่า First order condition ของฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นต่อไป

การประมาณค่าตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัยจะยังไม่ถูกต้อง เพราะข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้เป็นข้อมูลของค่าสังเกตที่เกิดในหลายช่วงเวลา ซึ่งทำให้ข้อมูลบกพร่องในคุณสมบัติของความเป็นอิสระต่อกันระหว่างช่วงเวลาย่อย Tyler Shumway (2001) ได้แนะนำถึงวิธีการแก้ปัญหานี้ โดยจะต้องทำการปรับแก้ค่าสถิติทดสอบ (Likelihood Ratio Test) ซึ่งประมาณด้วยการแจกแจงไคสแควร์ (χ^2) โดยการหารด้วยจำนวนเฉลี่ยของค่าสังเกตที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบภาวะภัย ต่อจำนวนค่าสังเกตที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบปกติ ซึ่งจากการปรับจำนวนค่าสังเกตในตัวแบบภาวะภัยจึงเป็นการเหมาะสมแล้ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีข้อสมมติที่ว่าค่าสังเกตในการวิเคราะห์ต้องเป็นอิสระต่อกัน

2.4 เกาซ์เซียนคอพพูลา (Gaussian Copula)

เกาซ์เซียนคอพพูลา เป็นฟังก์ชันการแจกแจงร่วมของตัวแปรสุ่มร่วมที่มีการแจกแจงแบบปกติ n ตัว (Multivariate Normal Variables) โดยที่แต่ละตัวมีการแจกแจงส่วนริม (Marginal Distribution) เป็นการแจงแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) บนช่วง $[0,1]$ คือ $C:[0,1]^n \to [0,1]$ หรืออีกในหนึ่ง ก็คือ เป็นตัวแบบคอพพูลาที่มีโครงสร้างของความไม่อิสระของตัวแปรสุ่มร่วมที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Multivariate Normal Variables) มีนิยามดังนี้

$$C_{\Sigma}^{Ga}(u) = C_{\Sigma}^{Ga}(u_1,u_2,...,u_n) = \Phi_{\Sigma}^{n}(\Phi^{-1}(u_1),\Phi^{-1}(u_2),...,\Phi^{-1}(u_n)) \quad .....(2.13)$$

โดยที่ $C_{\Sigma}^{Ga}(u)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงร่วมของเกาซ์เซียนคอพพูลา ซึ่ง $u_i \sim U(0,1)$ $i = 1,2,...,n$

$\sum$ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม

Φ_{Σ}^{n} คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ n ตัว ด้วยเมทริกซ์ $\sum$

Φ^{-1} คือ ตัวผกผันของแจกแจงสะสมของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ 1 ตัว (Univariate Standard Normal)

- สำหรับกรณีเกาซ์เซียนคอพพูลา 2 ตัวแปร นิยามดังนี้

$$C_{\rho}^{Ga}(u_1,u_2) = \Phi_{\rho}(\Phi^{-1}(u_1),\Phi^{-1}(u_2))$$
$$= \int_{-\alpha}^{\Phi^{-1}(u_2)} \int_{-\alpha}^{\Phi^{-1}(u_1)} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{s^2 - 2\rho st + t^2}{2(1-\rho^2)}\right) dsdt$$

- สำหรับกรณีตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาแบบปัจจัยเดียว มีรูปแบบดังนี้

$$\varepsilon_i = \sqrt{\rho} Z_i + \sqrt{1-\rho} e_i \qquad ; i = 1,2,...,n$$
$$U_i = \Phi(\varepsilon_i)$$

และ c.d.f. ของ U_i คือ

$$C_{\Sigma}^{Ga}(u) = \Phi_{\Sigma}^{n}(\Phi^{-1}(u_1),\Phi^{-1}(u_2),...,\Phi^{-1}(u_n))$$

โดยให้ $$\sum = \begin{bmatrix} 1 & \rho & \cdots & \rho \\ \rho & 1 & \cdots & \rho \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \rho & \rho & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$ เมื่อ ρ มีค่าบวก

จากงานวิจัยของ ฐิติมา จิรเศรษฐศิริ (2548) การหาปัจจัยคอพพูลา มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ในการวิจัยนี้ใช้วิธีเกาซ์เซียนคอพพูลา ซึ่งเป็นวิธีการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมเมื่อทราบการแจกแจงส่วนริมและสหสัมพันธ์ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีขั้นตอนที่ง่าย จึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากกว่าวิธีอื่น ๆ

2.5 **ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย** (Hazard Probit with Gaussian Copula Model)

ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย เป็นตัวแบบโพรบิทที่นำความสัมพันธ์แบบเกาซ์เซียนคอพพูลา และเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง กล่าวคือการจัดข้อมูลแบบภาวะภัยเป็นไปตามภาพที่ 2.1 แต่จะมีข้อสมมติเพิ่มเติมว่าตัวแปรตามในแต่ละค่าสังเกตในช่วงเวลาเดียวกันมีความสัมพันธ์กันด้วยปัจจัยคอพพูลาเดียวกัน ส่วนตัวแปรตามในแต่ละค่าสังเกตในช่วงเวลาที่ต่างกันเป็นอิสระกัน ตัวแบบเป็นดังนี้

$$Y_{it} = \begin{cases} 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 1 & \text{(Default)} \\ 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} > 0 & \text{(Default)} \\ 0; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} \le 0 & \text{(Not Default)} \end{cases} \qquad \text{.....(2.14)}$$

โดยที่ $$Y_{it}^{*} = \sum_{k=0}^{K} \beta_{k,t} X_{k,it} + \varepsilon_{it} \qquad \text{.....(2.15)}$$

และ $$\varepsilon_{it} = \sqrt{\rho} Z_t + \sqrt{1-\rho} e_{it}$$

กำหนดให้ $Z_t \overset{iid}{\sim} N(0,1)$ และ $e_{it} \overset{iid}{\sim} N(0,1)$

เมื่อ $i = 1,2,...,n_{t+1}$, $t = 0,1,2,...,T$

และ $n_{t+1} = n_1 + n_2 + ... + n_T = \sum_{t=1}^{T} n_t$

2.5.1 ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ $(P(Y_{it}=1|Z_t))$

จากสมการ (2.14) และ (2.15) และจากงานวิจัยของสุกัญญา บุญมา (2551) พบว่า หากเรากำหนดเงื่อนไขว่าค่าปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลา (Z_t) เป็นตัวแปรที่ทราบค่า จึงพบว่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ (p_{it}) เมื่อทราบค่าปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลา เป็นดังนี้

$$
\begin{aligned}
(p_{it}\,|\,Z_t) = P(Y_{it}=1|Z_t) &= P(Y_{it}^{*}>0\,|\,Z_t)\\
&= P(\sum_{k=0}^{K}\beta_{k,t}X_{k,it}+\sqrt{\rho}Z_t+\sqrt{1-\rho}e_{it}>0)\\
&= P(e_{it}>-(\frac{\sum_{k=0}^{K}\beta_{k,t}X_{k,it}}{\sqrt{1-\rho}}+\sqrt{\frac{\rho}{1-\rho}}Z_t))\\
&= P(e_{it}\le\frac{\sum_{k=0}^{K}\beta_{k,t}X_{k,it}}{\sqrt{1-\rho}}+\sqrt{\frac{\rho}{1-\rho}}Z_t)\\
&= P(e_{it}\le\frac{\beta_{0,t}}{\sqrt{1-\rho}}+\sqrt{\frac{\rho}{1-\rho}}Z_t+\frac{\sum_{k=1}^{K}\beta_{k,t}X_{k,it}}{\sqrt{1-\rho}})\\
&= P(e_{it}\le\beta^{*}{}_{0,t}+\sum_{k=1}^{K}\beta^{*}{}_{k,t}X_{k,it})\\
&= P(e_{it}\le\sum_{k=0}^{K}\beta^{*}{}_{k,t}X_{k,it})\\
&= \Phi(\sum_{k=0}^{K}\beta^{*}{}_{k,t}X_{k,it})\\
&= \Phi(X_{it}'\beta^{*}) \qquad \text{.....(2.16)}
\end{aligned}
$$

เมื่อ $\beta^{*}{}_{0,t}=\frac{\beta_{0,t}}{\sqrt{1-\rho}}+\sqrt{\frac{\rho}{1-\rho}}Z_t$

$$\sum_{k=1}^{K}\beta^{*}{}_{k,t}=\frac{\sum_{k=1}^{K}\beta_{k,t}}{\sqrt{1-\rho}}$$

โดยที่ Φ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) ของค่าความคลาดเคลื่อน (e_{it}) มีการแจกแจงแบบปกติ

จากสมการที่ (2.16) จะเห็นว่าเมื่อกำหนดให้ทราบค่าปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลา (Z_t) เป็นตัวแปรที่ทราบค่า จะส่งผลให้เกิดความเป็นอิสระกันของข้อมูล และพบว่าตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย นี้ ก็คือ ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย นั่นเอง

2.5.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย

การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอยของตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย จะเหมือนกับตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย ซึ่งก็เหมือนกับตัวแบบโพรบิทพื้นฐาน เพียงแต่พิจารณาความสัมพันธ์แบบเกาซ์เซียนคอพพูลา และมีการจัดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เท่านั้นที่แตกต่างกัน ดังสังเกตได้จากความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจของทั้ง 3 ตัวแบบ ดังกล่าวที่มีลักษณะเหมือนกัน จากสมการที่ (2.3), (2.11), และ (2.16) ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจระหว่าง 3 ตัวแบบ คือตัวแบบโพรบิท ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย

ความแตกต่าง	ตัวแบบโพรบิท	ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย	ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย
ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ	$\Phi(\sum_{k=0}^{K}\beta_k X_{k,i}) = \Phi(X_i'\beta)$	$\Phi(\sum_{k=0}^{K}\beta_{k,t} X_{k,it}) = \Phi(X_{it}'\beta)$	$\Phi(\sum_{k=0}^{K}\beta^*_{k,t} X_{k,it}) = \Phi(X_{it}'\beta^*)$

ดังนั้นจะใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอยด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) โดยมีรูปแบบของสมการฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น (Likelihood Function) และฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นลอการึทึม (Log-Likelihood Function) ที่แปรผันตามค่าตัวแปรอิสระ เป็นดังนี้

$$L(\beta \mid Z_t) = \prod_{i=1}^{n_{t+1}} \{P(Y_{it} = 1 \mid X_{it}; \beta)^{y_{it}} \prod_{j<t_i} P(Y_{it} = 0 \mid X_{ij}; \beta)\}$$

$$L(\beta \mid Z_t) = \prod_{i=1}^{n_{t+1}} \{\Phi(t_i, X_{it}; \beta)^{y_{it}} \prod_{j<t_i} [1 - \Phi(t_i, X_{ij}; \beta)]\}$$

$$L(\beta \mid Z_t) = \prod_{i=1}^{n_{t+1}} \{[\Phi(X_{it}^{*'}\beta^*)]^{y_{it}} \prod_{j<t_i} [1 - \Phi(X_{ij}^{*'}\beta^*)]\}$$

$$\ln L(\beta \mid Z_t) = \sum_{i=1}^{n_{t+1}} \{y_{it} \cdot \ln[\Phi(X_{it}^{*'}\beta^*)] + \sum_{j<t_i} \ln[1 - \Phi(X_{ij}^{*'}\beta^*)]\} \quad \text{.....(2.17)}$$

เมื่อ $t_i = \min\{t : Y_{it} = 1\}$

และ $X_{it}^{*'} = [X_{it}', Z_t']$

โดยที่ Φ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ

จากสมการ (2.17) สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของสัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_0, \beta_1, ..., \beta_K)$ เช่นเดียวกับตัวแบบโพรบิท จากสมการ (2.8) โดยการหาค่า First order condition ของฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบ 2 ตัวชี้วัด คือ การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ระหว่าง 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย ซึ่งความแตกต่างระหว่าง 2 ตัวแบบอยู่ที่ข้อสมมติเรื่องความสัมพันธ์ของค่าสังเกตในช่วงเวลาเดียวกัน โดยตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัยมีข้อสมมติว่าค่าสังเกตเป็นอิสระกัน ส่วนตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัยมีข้อสมมติว่าค่าสังเกตในช่วงเวลาเดียวกันมีความสัมพันธ์กัน

การศึกษาเปรียบเทียบทำบนข้อมูลจำลอง โดยตัวแบบของข้อมูลจำลองเป็นตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย ดังนั้นการเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาว่าการประมาณค่าพารามิเตอร์จากตัวแบบที่ผิดเพี้ยนจากข้อมูล (ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย) กับตัวแบบที่ตรงกับข้อมูล (ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย) จะมีผลกระทบต่อตัวชี้วัดอย่างไร

ในงานวิจัยนี้จะใช้สัญลักษณ์

HCopula_Real แทน ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย จากพารามิเตอร์จริง หรือจะเรียกโดยย่อว่าตัวแบบจริง

HCopula_Est แทน ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย จากพารามิเตอร์ประมาณ หรือตัวแบบที่ตรงกับข้อมูล

H_Est แทน ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย จากพารามิเตอร์ประมาณ หรือตัวแบบที่ผิดเพี้ยนจากข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดทำบนโปรแกรม R โดยวิเคราะห์ครอบคลุมตามขอบเขตของการวิจัย ในบทนี้จะกล่าวถึงแผนการดำเนินงานวิจัย และขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ตามลำดับ

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

1. ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากการจำลองข้อมูล โดยใช้โปรแกรม R ที่เป็นไปตามตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย

2. กำหนดให้มีตัวแปรอิสระจำนวน 2 ตัวแปร และทั้ง 2 ตัวแปร มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน
3. กำหนดให้พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ที่มีค่าคงที่ คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย 2 ตัว คือ $\beta_{1,t}$ = -0.71, -1.41, -3.54, -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71, 1.41, 3.54, 7.07
4. กำหนดให้ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ คือ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ
5. กำหนดจำนวนระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง (T) คือ 3, 6, 9 และ 12 ช่วงเวลา ตามลำดับ
6. กำหนดจำนวนหน่วยตัวอย่างเริ่มต้น $(n_{t=1})$ คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ในทุกๆ การทดลอง
7. กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ในการวิจัยครั้งนี้ คือ 0.05
8. กำหนดจำนวนการกระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์เป็น 100 รอบ

3.2 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ คือ การจำลองข้อมูล การประมาณค่าพารามิเตอร์ การคำนวณตัวชี้วัด และการเปรียบเทียบและสรุปผลการวิจัย ซึ่งกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อ 3.2.1-3.2.4 ตามลำดับ ดังนี้

3.2.1 การจำลองข้อมูล

ตัวแบบของข้อมูลจำลองเป็นตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย ค่าสังเกตในช่วงเวลาเดียวกันมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือเป็นตัวแบบที่ตัวแปรตามในแต่ละค่าสังเกตในช่วงเวลาเดียวกันมีความสัมพันธ์กันด้วยปัจจัยคอพพูลาเดียวกัน และตัวแปรตามในแต่ละค่าสังเกตในช่วงเวลาที่ต่างกันเป็นอิสระกัน มีขั้นตอนดังนี้

1. พิจารณาตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย ที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัวแปร (K=2) มีตัวแบบดังนี้

$$Y_{it} = \begin{cases} 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 1 & \text{(Default)} \\ 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} > 0 & \text{(Default)} \\ 0; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} \le 0 & \text{(Not Default)} \end{cases}$$

โดยที่ $Y_{it}^{*} = \sum_{k=0}^{K} \beta_{k,t} X_{k,it} + \varepsilon_{it}$

และ $\varepsilon_{it} = \sqrt{\rho} Z_t + \sqrt{1-\rho} e_{it}$

กำหนดให้ $Z_t \overset{iid}{\sim} N(0,1)$ และ $e_{it} \overset{iid}{\sim} N(0,1)$

เมื่อ $i = 1,2,...,n_{t+1}$, $t = 0,1,2,...,T$

และ $n_{t+1} = n_1 + n_2 + ... + n_T = \sum_{t=1}^{T} n_t$

2. จากข้อ 1 กำหนดค่าต่างๆ ในตัวแบบให้เป็นไปตามแผนการดำเนินงานวิจัย

3. จำลองข้อมูลตามตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย โดยพิจารณาตามช่วงเวลา กำหนดให้จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา จำลองข้อมูลดังนี้

   - เมื่อ $t = 1$ คำนวณค่า Y_{it}^{*} และ Y_{it} สำหรับ $i = 1,2,...,n$
   - สำหรับ $t = 2,...,T$ คำนวณค่า Y_{it}^{*} และ Y_{it} สำหรับ i ในเซ็ท S ซึ่งเป็นเซ็ทของหน่วยตัวอย่างที่ $Y_{i(t-1)}$ เป็น 0

4. จากข้อ 3 จะได้ข้อมูลจำลอง (Hcopula_Real) นำไปทำการประมาณค่าพารามิเตอร์และคำนวณตัวชี้วัด คือ การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.2-3.2.4 ต่อไป

3.2.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย

ในการวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบ ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย เมื่อพิจารณาจากความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ จะมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบเหมือนกัน ซึ่งก็เหมือนกับตัวแบบโพรบิทพื้นฐาน เพียงแต่มีการจัดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เท่านั้นที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะใช้การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) ซึ่งกล่าวโดยละเอียดแล้วในบทที่ 2

3.2.3 การคำนวนตัวชี้วัด

ตัวชี้วัดในงานวิจัยนี้ คือ การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อและมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต เพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง 2 ตัวแบบคือ ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย ดังนี้

- **ตัวชี้วัดที่ 1 คือ การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ** มีขั้นตอน ดังนี้

1. คำนวณคะแนนสินเชื่อ โดยพิจารณาจาก 3 ตัวแบบ คือ HCopula_Real, HCopula_Est และ H_Est

2. จากข้อ 1 คำนวณค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่างตัวแบบจริงและตัวแบบประมาณ คือ ค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real กับ HCopula_Est และค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real กับ H_Est จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman Rank Correlation Coefficientหรือ Spearman's rho) ใช้สัญญลักษณ์ r_s เป็นวิธีที่ใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หรือข้อมูล 2 ชุด โดยที่ตัวแปร หรือข้อมูล 2 ชุดนั้นจะต้องอยู่ในรูปของข้อมูลในมาตราจัดอันดับ (Ordinal Scale) ตามสูตรดังนี้

$$r_s = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n_{t+1}} d_i^2}{n_{t+1}(n_{t+1}^{\ 2} - 1)}$$

โดยที่ $d_i = R(X_i) - R(Y_i)$

d_i คือ ผลต่างของลำดับที่ของตัวแปรที่ 1 และลำดับที่ของตัวแปรที่ 2 ของหน่วยที่ i

X คือ ตัวแปรที่ 1 ซึ่งในที่นี้คือ คะแนนสินเชื่อจากตัวแบบที่กำหนด

Y คือ ตัวแปรที่ 2 ซึ่งในที่นี้คือ คะแนนสินเชื่อจากตัวแบบที่กำหนด

n_{t+1} คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

3. จากข้อ 2 พิจารณาความแตกต่างของสหสัมพันธ์อันดับ โดยกระทำซ้ำ 100 รอบ

4. จากข้อ 3 ทำการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้วิธีการทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม ซึ่งไม่เป็นอิสระต่อกัน (Paired t-test) กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05

กำหนดให้

$r_{s,12}$ คือ ค่าสหสัมพันธ์อันดับของ HCopula_Real และ HCopula_Est

$r_{s,13}$ คือ ค่าสหสัมพันธ์อันดับของ HCopula_Real และ H_Est

Δr_s คือ ความแตกต่างระหว่างค่าสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real, HCopula_Est และ ค่าสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real, H_Est

เขียนแทนด้วยสมการ ดังนี้

$$\Delta r_s = r_{s,12} - r_{s,13}$$

สมมติฐาน คือ

$$H_0 : \mu_{r_{s,12}} = \mu_{r_{s,13}}$$
$$H_1 : \mu_{r_{s,12}} \neq \mu_{r_{s,13}}$$

หรือสามารถเขียนได้อีกแบบ คือ

$$H_0 : \mu_{\Delta r_s} = 0$$
$$H_1 : \mu_{\Delta r_s} \neq 0$$

โดยที่ $\mu_{\Delta r_s} = \mu_{r_{s,12}} - \mu_{r_{s,13}}$

$\mu_{\Delta r_s}$ คือ ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real, HCopula_Est และค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real, H_Est

$\mu_{r_{s,12}}$ คือ ค่าคาดหวังของสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real และ HCopula_Est

$\mu_{r_{s,13}}$ คือ ค่าคาดหวังของสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real และ H_Est

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ มีสูตรดังนี้

$$t_{cal} = \frac{\hat{\mu}_{\Delta r_s} - 0}{Std.Err_{\hat{\mu}_{\Delta r_s}}}$$

5. ทำการเปรียบเทียบและสรุปผล

- **ตัวชี้วัดที่ 2 คือ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต** มีขั้นตอน ดังนี้

1. คำนวณอัตราการผิดนัดชำระหนี้ จาก 3 ช่วงเวลาถัดไป โดยพิจารณาจาก 3 ตัวแบบ คือ HCopula_Real, HCopula_Est และ H_Est จำนวนหน่วยตัวอย่างเริ่มต้น $(n_{t=1})$ ในที่นี้ คือ 1,000 ตัวอย่าง โดยกระทำซ้ำ 1,000 รอบ ในการคำนวณอัตราการผิดนัดชำระหนี้ (d_t) คำนวณจากจำนวนการผิดนัดชำระหนี้ใน 3ช่วงเวลา หารด้วยจำนวนหน่วยตัวอย่าง (n_t) มีสูตร ดังนี้

$$d_t = \frac{\sum_{i=1}^{n_{t=1}} Y_{it}}{n_{t=1}} \quad ; t = 1,2,3 \quad ; i = 1,\ldots, n_{t=1}$$

โดยที่

$$Y_{it} = \begin{cases} 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 1 & \text{(Default)} \\ 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} > 0 & \text{(Default)} \\ 0; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} \le 0 & \text{(Not Default)} \end{cases}$$

d_t คือ อัตราการผิดนัดชำระหนี้ในช่วงเวลาที่ t

คำนวณอัตราการผิดนัดชำระหนี้ (d_t) ใน 3 ช่วงเวลาถัดไป พิจารณาตามช่วงเวลาที่กระทำในแต่ละรอบ ดังนี้

- เมื่อ $t=1$ คำนวณค่า d_t เมื่อ $Y_{it}=1$ สำหรับ $i=1,2,...,n$
- สำหรับ $t=2,3$ คำนวณค่า d_t เมื่อ $Y_{it}=1$ สำหรับ i ในเซ็ท S ซึ่งเซ็ทของหน่วยตัวอย่างที่ $Y_{i(t-1)}$ เป็น 0

2. จากข้อ 1 พิจารณามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต 99 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของการผิดนัดชำระหนี้ ของทั้ง 3 ตัวแบบ คือ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ HCopula_Real มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ HCopula_Est และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ H_Est

3. จากข้อ 2 พิจารณาความแตกต่างของมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตระหว่างตัวแบบจริงและตัวแบบประมาณ โดยกระทำซ้ำ 100 รอบ

4. จากข้อ 3 ทำการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้วิธีการทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มซึ่งไม่เป็นอิสระต่อกัน (Paired t-test) กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05

   กำหนดให้

   ΔX_1 คือ ความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est

   ΔX_2 คือ ความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est

   ΔX_3 คือ ความแตกต่างระหว่าง ΔX_2 และ ΔX_1

   เขียนแทนด้วยสมการ ดังนี้

$$\Delta X_1 = VaR_1 - VaR_2$$

$$\Delta X_2 = VaR_1 - VaR_3$$
$$\Delta X_3 = \Delta X_2 - \Delta X_1$$

โดยที่ VaR_1 คือ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real

VaR_2 คือ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est

VaR_3 คือ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est

สมมติฐาน คือ

$$H_0 : \mu_{\Delta X_2} \leq \mu_{\Delta X_1}$$
$$H_1 : \mu_{\Delta X_2} > \mu_{\Delta X_1}$$

หรือสามารถเขียนได้อีกแบบ คือ

$$H_0 : \mu_{\Delta X_3} \leq 0$$
$$H_1 : \mu_{\Delta X_3} > 0$$

โดยที่ $\mu_{\Delta X_3} = \mu(VaR_2) - \mu(VaR_3)$

$\mu_{\Delta X_1}$ คือ ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est

$\mu_{\Delta X_2}$ คือ ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est

$\mu_{\Delta X_3}$ คือ ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est และค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ มีสูตรดังนี้

$$t_{cal} = \frac{(\hat{\mu}_{\Delta X_2} - \hat{\mu}_{\Delta X_1}) - 0}{Std.Err_{(\hat{\mu}_{\Delta X_2} - \hat{\mu}_{\Delta X_1})}}$$

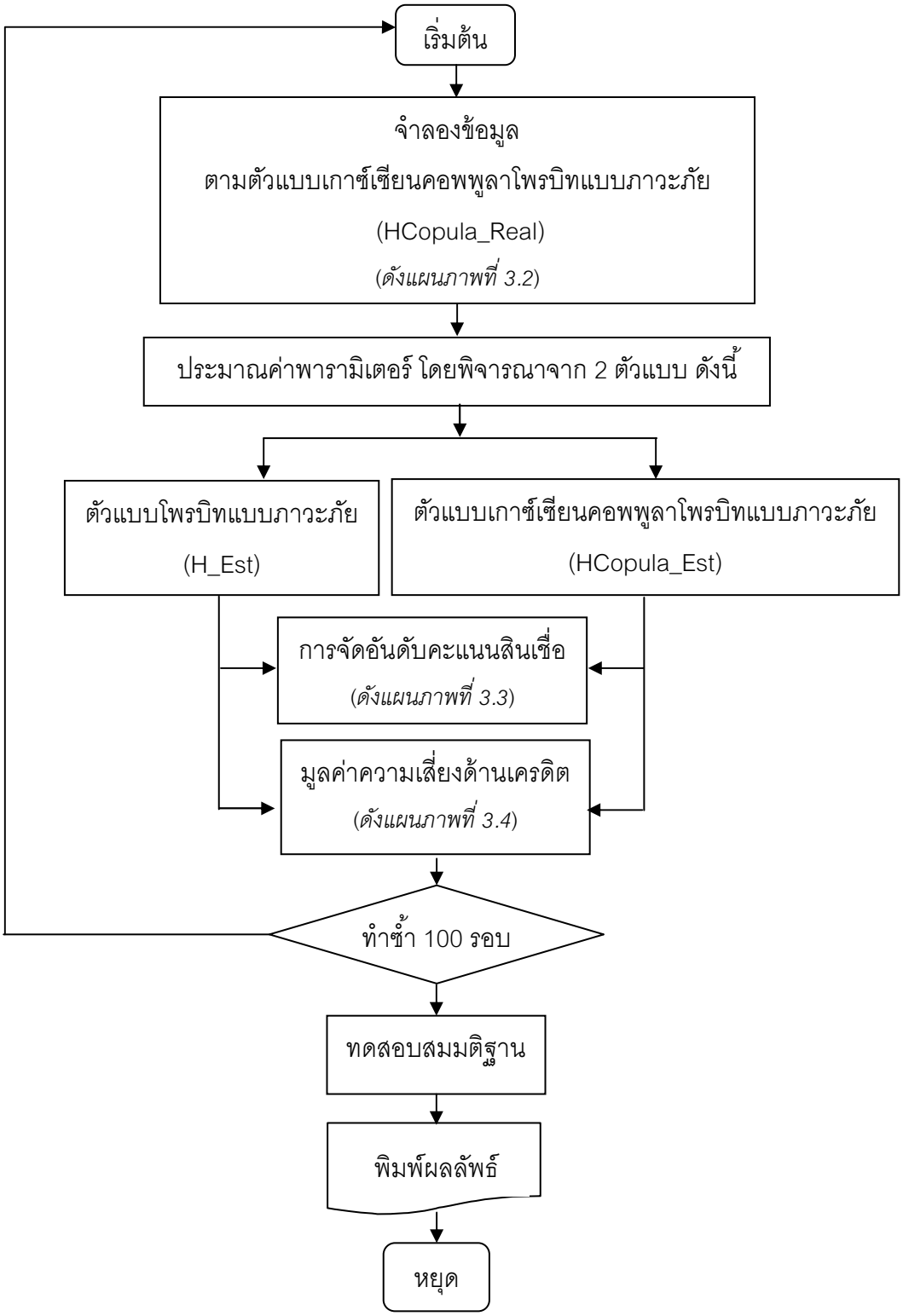
5. ทำการเปรียบเทียบและสรุปผล

3.2.4 การเปรียบเทียบและสรุปผลการวิจัย

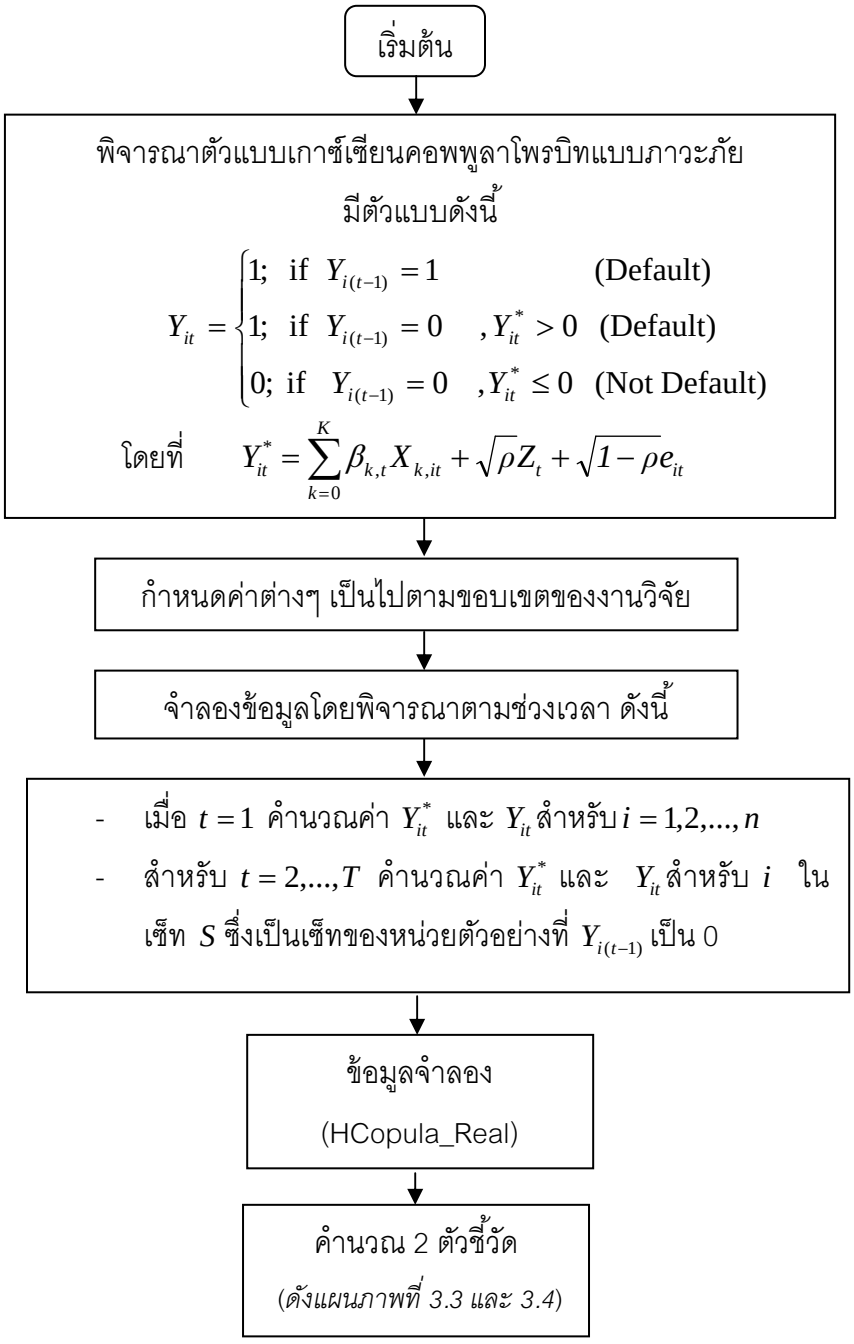
เมื่อจำลองข้อมูลภายใต้ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย คำนวณตัวชี้วัดทั้ง 2 ตัว คือการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตเรียบร้อยแล้ว จะนำผลการทดลองที่ได้มาสรุปในรูปแบบตาราง โดยแสดงผลการวิจัยแยกเป็น 2 หัวข้อ ตามตัวชี้วัด เพื่อให้ง่ายต่อการแสดงผลเปรียบเทียบในแต่ละกรณีศึกษา ซึ่งผลการวิเคราะห์จะกล่าวโดยละเอียดในบทที่ 4 และสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ จะกล่าวโดยละเอียดในบทที่ 5

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในหัวข้อ 3.2.1-3.2.4 ได้แสดงแผนภาพขั้นตอนเรียงตามหัวข้อขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงในแผนภาพที่ 3.1-3.4 โดยแผนภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนทั้งหมดในการดำเนินงานวิจัย แผนภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนในการจำลองข้อมูล แผนภาพที่ 3.3 แสดงขั้นตอนในการคำนวณตัวชี้วัดที่ 1 คือการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ แผนภาพที่ 3.4 แสดงขั้นตอนในการคำนวณตัวชี้วัดที่ 2 คือมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ตามลำดับ

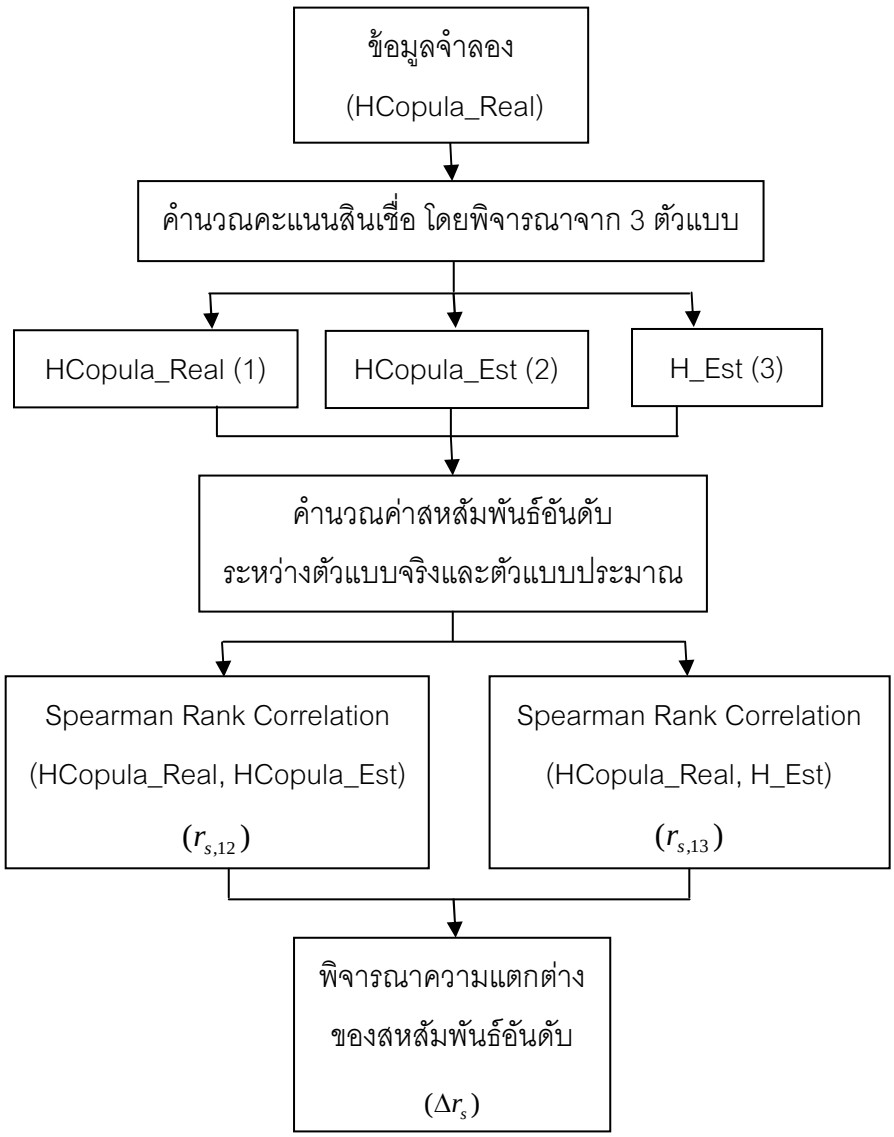
แผนภาพที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด



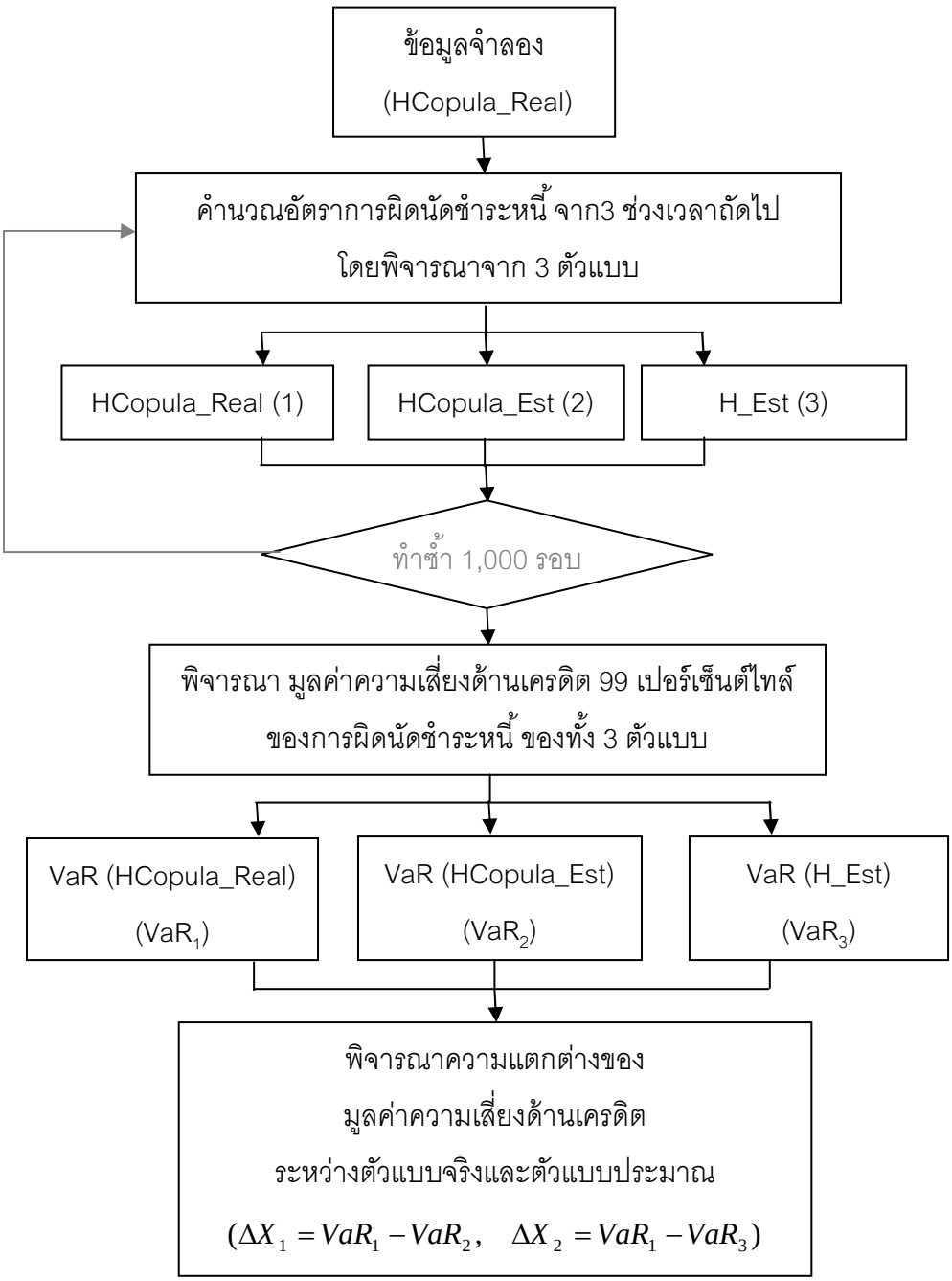
แผนภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการจำลองข้อมูล



แผนภาพที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการคำนวณตัวชี้วัดที่ 1 คือการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ



แผนภาพที่ 3.4 แสดงขั้นตอนการคำนวณตัวชี้วัดที่ 2 คือมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบ 2 ตัวชี้วัด คือ การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ระหว่างการประมาณจาก 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย (H_Est) และตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย (HCopula_Est) เมื่อข้อมูลจำลองจากตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย (HCopula_Real)

ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลการวิเคราะห์ และผลการเปรียบเทียบ โดยในแต่ละหัวข้อจะแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อย่อย ตามตัวชี้วัด คือการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ซึ่งทั้ง 2 ตัวชี้วัดนี้ จะมีการทดลองเหมือนกันในทุกกรณีศึกษาตามขอบเขตของงานวิจัย ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษาใหญ่ ๆ ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1: พิจารณาจำนวนระยะเวลา 3 ช่วงเวลา

โดยกำหนดจำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ที่กำหนดให้คงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 โดยพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_{1,t}, \beta_{2,t})$ แตกต่างกัน 4 คู่ แบ่งเป็น 4 กรณีศึกษาย่อย ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1.1: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -0.71 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71
กรณีศึกษาที่ 1.2: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -1.41 และ $\beta_{2,t}$ = 1.41
กรณีศึกษาที่ 1.3: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -3.54 และ $\beta_{2,t}$ = 3.54
กรณีศึกษาที่ 1.4: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 7.07

กรณีศึกษาที่ 2: พิจารณาจำนวนระยะเวลา 6 ช่วงเวลา

โดยกำหนดจำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ที่กำหนดให้คงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 โดยพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_{1,t}, \beta_{2,t})$ แตกต่างกัน 4 คู่ แบ่งเป็น 4 กรณีศึกษาย่อย ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 2.1: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -0.71 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71
กรณีศึกษาที่ 2.2: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -1.41 และ $\beta_{2,t}$ = 1.41

กรณีศึกษาที่ 2.3: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -3.54 และ $\beta_{2,t}$ = 3.54

กรณีศึกษาที่ 2.4: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 7.07

กรณีศึกษาที่ 3: พิจารณาจำนวนระยะเวลา 9 ช่วงเวลา

โดยกำหนดจำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ที่กำหนดให้คงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 โดยพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_{1,t}, \beta_{2,t})$ แตกต่างกัน 4 คู่ แบ่งเป็น 4 กรณีศึกษาย่อย ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 3.1: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -0.71 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71

กรณีศึกษาที่ 3.2: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -1.41 และ $\beta_{2,t}$ = 1.41

กรณีศึกษาที่ 3.3: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -3.54 และ $\beta_{2,t}$ = 3.54

กรณีศึกษาที่ 3.4: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 7.07

กรณีศึกษาที่ 4: พิจารณาจำนวนระยะเวลา 12 ช่วงเวลา

โดยกำหนดจำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ที่กำหนดให้คงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 โดยพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_{1,t}, \beta_{2,t})$ แตกต่างกัน 4 คู่ แบ่งเป็น 4 กรณีศึกษาย่อย ดังนี้

กรณีศึกษาที่ 4.1: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -0.71 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71

กรณีศึกษาที่ 4.2: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -1.41 และ $\beta_{2,t}$ = 1.41

กรณีศึกษาที่ 4.3: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -3.54 และ $\beta_{2,t}$ = 3.54

กรณีศึกษาที่ 4.4: พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $\beta_{1,t}$ = -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 7.07

จากกรณีศึกษาทั้ง 4 จะเห็นว่า สิ่งที่เหมือนกันในทุกการทดลอง คือพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_{1,t}, \beta_{2,t})$ 4 คู่ แยกออกมาเป็น 4 กรณีศึกษาย่อย โดยที่แต่ละกรณีศึกษาย่อยจะพิจารณาปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาที่มีความสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่างๆ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ พารามิเตอร์ค่าคงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และจำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ส่วนสิ่งที่แตกต่างกันในการทดลอง คือจำนวนระยะเวลาและพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_{1,t}, \beta_{2,t})$ 4 คู่ ที่แต่ละคู่แตกต่างกัน โดยการกระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์เป็น 100 รอบ สรุปกรณีศึกษาที่ใช้ทั้งหมดในงานวิจัย ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปกรณีศึกษาทั้งหมดในงานวิจัย

กรณีศึกษาที่	จำนวนระยะเวลา	พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย (แต่ละกรณีพิจารณา ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ)	
		$\beta_{1,t}$	$\beta_{2,t}$
1	3 (ช่วงเวลา)	-0.71, -1.41, -3.54, -7.07	0.71, 1.41, 3.54, 7.07
2	6 (ช่วงเวลา)	-0.71, -1.41, -3.54, -7.07	0.71, 1.41, 3.54, 7.07
3	9 (ช่วงเวลา)	-0.71, -1.41, -3.54, -7.07	0.71, 1.41, 3.54, 7.07
4	12 (ช่วงเวลา)	-0.71, -1.41, -3.54, -7.07	0.71, 1.41, 3.54, 7.07

4.1 ผลการวิเคราะห์

การวิจัยครั้งนี้แสดงผลการวิเคราะห์เป็น 2 หัวข้อตามตัวชี้วัด คือ การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ตามลำดับ ดังนี้

4.1.1 การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ

การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ คำนวณจากคะแนนสินเชื่อของตัวแบบ เพื่อคำนวณค่าสหสัมพันธ์อันดับ ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาว่า เมื่อขาดปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาในตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย ซึ่งมักพบในการประยุกต์ใช้งานจริง จะทำให้การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อของลูกค้าผิดพลาดหรือไม่ โดยถือว่าการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อจากตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัยเป็นการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อที่ถูกต้อง ผลการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษา ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

โดยทั้ง 4 กรณีศึกษา ของการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อสำหรับงานวิจัยนี้ ทำการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้วิธีการทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม ซึ่งไม่เป็นอิสระต่อกัน (Paired t-test) กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทำการคำนวณค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real กับ HCopula_Est และ สหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real กับ H_Est และพิจารณาความแตกต่างระหว่างสหสัมพันธ์อันดับทั้ง 2 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน ที่ 4.1 ดังนี้

กำหนดให้

$r_{s,12}$ คือ ค่าสหสัมพันธ์อันดับของ HCopula_Real และ HCopula_Est

$r_{s,13}$ คือ ค่าสหสัมพันธ์อันดับของ HCopula_Real และ H_Est

Δr_s คือ ความแตกต่างระหว่างค่าสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real, HCopula_Est และ ค่าสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real, H_Est

เขียนแทนด้วยสมการ ดังนี้

$$\Delta r_s = r_{s,12} - r_{s,13}$$

สมมติฐาน คือ

$$H_0 : \mu_{r_{s,12}} = \mu_{r_{s,13}}$$
$$H_1 : \mu_{r_{s,12}} \neq \mu_{r_{s,13}} \quad \text{.....(4.1)}$$

จากสมมติฐานที่ 4.1 สามารถเขียนได้อีกแบบ คือ

$$H_0 : \mu_{\Delta r_s} = 0$$
$$H_1 : \mu_{\Delta r_s} \neq 0$$

โดยที่ $\mu_{\Delta r_s} = \mu_{r_{s,12}} - \mu_{r_{s,13}}$

$\mu_{\Delta r_s}$ คือ ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real, HCopula_Est และค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real, H_Est

$\mu_{r_{s,12}}$ คือ ค่าคาดหวังของสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real และ HCopula_Est

$\mu_{r_{s,13}}$ คือ ค่าคาดหวังของสหสัมพันธ์อันดับ HCopula_Real และ H_Est

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ มีสูตรดังนี้

$$t_{cal} = \frac{\hat{\mu}_{\Delta r_s} - 0}{Std.Err_{\hat{\mu}_{\Delta r_s}}}$$

การสรุปผล คือจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ในการวิจัยครั้งนี้ คือ 0.05 ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่า พบหลักฐานทางสถิติว่าการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อด้วย H_Est มีความผิดพลาด

โดยที่ผลการวิเคราะห์ของการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ แสดงในรูปของตาราง ตามตารางที่ 4.2-4.5 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละตารางจะแสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ($\hat{\mu}_{\Delta r_s}$) ค่าสถิติทดสอบ (t) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Std. Error) และค่า p-value ของแต่ละกรณีศึกษา โดยพิจารณาจากระยะเวลา (T) ในช่วงเวลาที่กำหนด จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลามีความสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่าง ๆ และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ ($\beta_{k,t}$) ต่างๆ ตามขอบเขตที่กำหนด รายละเอียดเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.2 เป็นผลการศึกษาของ กรณีศึกษาที่ 1 เมื่อพิจารณาจำนวนระยะเวลา 3 ช่วงเวลา จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา พารามิเตอร์ค่าคงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย 2 ตัว คือ $\beta_{1,t}$ = -0.71, -1.41, -3.54, -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71, 1.41, 3.54, 7.07 เป็นคู่ ตามลำดับ และปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่างๆ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 เป็นผลการศึกษาของ กรณีศึกษาที่ 2 เมื่อพิจารณาจำนวนระยะเวลา 6 ช่วงเวลา จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา พารามิเตอร์ค่าคงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย 2 ตัว คือ $\beta_{1,t}$ = -0.71, -1.41, -3.54, -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71, 1.41, 3.54, 7.07 เป็นคู่ ตามลำดับ และปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่างๆ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 เป็นผลการศึกษาของ กรณีศึกษาที่ 3 เมื่อพิจารณาจำนวนระยะเวลา 9 ช่วงเวลา จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา พารามิเตอร์ค่าคงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย 2 ตัว คือ $\beta_{1,t}$ = -0.71, -1.41, -3.54, -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71, 1.41, 3.54, 7.07 เป็นคู่ ตามลำดับ และปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่างๆ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 เป็นผลการศึกษาของ กรณีศึกษาที่ 4 เมื่อพิจารณาจำนวนระยะเวลา 12 ช่วงเวลา จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา พารามิเตอร์ค่าคงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย 2 ตัว คือ $\beta_{1,t}$ = -0.71, -1.41, -3.54, -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71, 1.41, 3.54, 7.07 เป็นคู่ ตามลำดับ และปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่างๆ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อของ กรณีศึกษาที่ 1

T	$\beta_{k,t}$	ρ	$\hat{\mu}_{\Delta r_s}$	t	Std. Error	p-value
3	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1	3.045E-05	0.534	5.705E-04	0.595
		0.3	5.191E-05	0.603	8.610E-04	0.548
		0.5	4.248E-05	0.547	7.762E-04	0.586
		0.7	2.001E-05	0.242	8.268E-04	0.809
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1	2.258E-06	0.247	2.258E-06	0.805
		0.3	2.007E-05	1.365	1.470E-04	0.175
		0.5	-6.597E-06	-0.300	2.201E-04	0.765
		0.7	1.415E-05	1.209	1.171E-04	0.230
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1	4.209E-06	1.750	2.405E-05	0.083
		0.3	4.342E-06	1.332	3.260E-05	0.186
		0.5	7.702E-07	0.293	2.629E-05	0.770
		0.7	1.863E-06	0.572	3.259E-05	0.569
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1	-4.488E-08	-0.034	1.318E-05	0.973
		0.3	1.005E-06	0.887	1.132E-05	0.377
		0.5	4.283E-06	2.958	1.448E-05	0.004 *
		0.7	2.407E-06	1.635	1.472E-05	0.105

หมายเหตุ: * หมายถึง การทดสอบสมมติฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณา ค่า p-value ในการทดสอบ ตามสมมติฐานที่ 4.1 ในการทดลองซ้ำจำนวน 100 รอบ พบว่า เกือบทุกกรณีค่า p-value จะมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จะมีเพียงกรณีเดียวเท่านั้นที่ค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั่นคือค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real, HCopula_Est ($\mu_{r_{s,12}}$) และ ค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real, H_Est ($\mu_{r_{s,13}}$) แตกต่างกันน้อย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือกล่าวโดยสรุป คือว่าการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อด้วย H_Est มีความผิดพลาดน้อย

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อของ กรณีศึกษาที่ 2

T	$\beta_{k,t}$	ρ	$\hat{\mu}_{\Delta r_s}$	t	Std. Error	p-value
6	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1	7.738E-05	1.673	4.626E-04	0.098
		0.3	8.090E-05	1.493	5.418E-04	0.139
		0.5	-8.634E-06	-0.174	4.977E-04	0.863
		0.7	6.853E-05	1.386	4.944E-04	0.169
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1	4.354E-06	0.548	7.951E-05	0.585
		0.3	1.875E-05	1.559	1.203E-04	0.122
		0.5	9.677E-06	0.837	1.157E-04	0.405
		0.7	1.696E-05	1.205	1.408E-04	0.231
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1	-7.760E-07	-0.347	2.237E-05	0.729
		0.3	2.540E-06	0.922	2.755E-05	0.359
		0.5	4.675E-06	1.347	3.470E-05	0.181
		0.7	3.938E-06	1.087	3.622E-05	0.280
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1	-1.194E-06	-1.168	1.022E-05	0.246
		0.3	5.551E-07	0.490	1.134E-05	0.626
		0.5	3.020E-06	2.188	1.380E-05	0.031 *
		0.7	1.755E-06	1.536	1.143E-05	0.128

หมายเหตุ: * หมายถึง การทดสอบสมมติฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณา ค่า p-value ในการทดสอบ ตามสมติฐานที่ 4.1 ในการทดลองซ้ำจำนวน 100 รอบ พบว่า เกือบทุกกรณีค่า p-value จะมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จะมีเพียงกรณีเดียวเท่านั้นที่ค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั่นคือค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real, HCopula_Est $(\mu_{r_{s,12}})$ และ ค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real, H_Est $(\mu_{r_{s,13}})$ แตกต่างกันน้อย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือกล่าวโดยสรุป คือการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อด้วย H_Est มีความผิดพลาดน้อย

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อของ กรณีศึกษาที่ 3

T	$\beta_{k,t}$	ρ	$\hat{\mu}_{\Delta r_s}$	t	Std. Error	p-value
9	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1	-3.214E-05	-1.123	2.862E-04	0.264
		0.3	1.468E-05	0.541	2.711E-04	0.589
		0.5	3.391E-05	0.989	3.431E-04	0.325
		0.7	4.424E-05	0.764	5.788E-04	0.447
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1	1.235E-06	0.253	4.884E-05	0.801
		0.3	1.176E-05	1.211	9.709E-05	0.229
		0.5	2.503E-05	3.060	8.177E-05	0.003 *
		0.7	2.737E-05	2.170	1.261E-04	0.032 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1	1.082E-06	0.475	2.277E-05	0.636
		0.3	2.550E-06	1.133	2.252E-05	0.260
		0.5	5.690E-06	2.151	2.645E-05	0.034 *
		0.7	6.980E-06	2.200	3.173E-05	0.030 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1	-7.238E-07	-0.788	9.181E-06	0.432
		0.3	2.179E-06	1.684	1.294E-05	0.095
		0.5	3.559E-06	2.422	1.469E-05	0.017 *
		0.7	2.178E-06	1.544	1.411E-05	0.126

หมายเหตุ: * หมายถึง การทดสอบสมมติฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณา ค่า p-value ในการทดสอบ ตามสมติฐานที่ 4.1 ในการทดลองซ้ำจำนวน 100 รอบ พบว่า กรณีส่วนใหญ่ค่า p-value จะมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จะมี 5 กรณี ที่ค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั่นคือค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real, HCopula_Est ($\mu_{r_{s,12}}$) และ ค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real, H_Est ($\mu_{r_{s,13}}$) แตกต่างกันน้อย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือกล่าวโดยสรุป คือการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อด้วย H_Est มีความผิดพลาดน้อย

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อของ กรณีศึกษาที่ 4

T	$\beta_{k,t}$	ρ	$\hat{\mu}_{\Delta r_s}$	t	Std. Error	p-value
12	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1	4.046E-05	1.823	2.220E-04	0.071
		0.3	-2.410E-05	-0.813	2.963E-04	0.418
		0.5	3.941E-05	1.098	3.589E-04	0.275
		0.7	6.055E-05	1.367	4.428E-04	0.175
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1	-4.189E-06	-0.673	6.224E-05	0.503
		0.3	1.398E-05	1.993	7.014E-05	0.049 *
		0.5	-3.995E-06	-0.414	9.663E-05	0.680
		0.7	-8.676E-07	-0.084	1.033E-04	0.933
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1	3.568E-06	1.441	2.476E-05	0.153
		0.3	-5.944E-07	-0.254	2.340E-05	0.800
		0.5	3.171E-06	1.168	2.715E-05	0.246
		0.7	7.267E-06	2.820	2.577E-05	0.006 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1	4.492E-07	0.451	9.959E-06	0.653
		0.3	1.043E-06	1.215	8.584E-06	0.227
		0.5	6.494E-07	0.530	1.224E-05	0.597
		0.7	2.210E-06	2.005	1.102E-05	0.048 *

หมายเหตุ: * หมายถึง การทดสอบสมมติฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณา ค่า p-value ในการทดสอบ ตามสมติฐานที่ 4.1 ในการทดลองซ้ำจำนวน 100 รอบ พบว่า กรณีส่วนใหญ่ค่า p-value จะมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จะมี 3 กรณี ที่ค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั่นคือค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real, HCopula_Est ($\mu_{r_{s,12}}$) และ ค่าคาดหวังของค่าสหสัมพันธ์อันดับระหว่าง HCopula_Real, H_Est ($\mu_{r_{s,13}}$) แตกต่างกันน้อย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือกล่าวโดยสรุป คือการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อด้วย H_Est มีความผิดพลาดน้อย

4.1.2 มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต

มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต คำนวณจากเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 99 ของอัตราการผิดนัดชำระหนี้ หรืออัตราการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาว่า เมื่อใส่ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาในตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย จะทำให้มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตใกล้เคียงกับตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย (ตัวแบบจริง) มากกว่าเมื่อขาดปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาในตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัยหรือไม่ ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษา ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งเหมือนกับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อทุกกรณี

โดยทั้ง 4 กรณีศึกษา ของมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตสำหรับงานวิจัยนี้ ทำการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้วิธีการทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม ซึ่งไม่เป็นอิสระต่อกัน (Paired t-test) กำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทำการคำนวณมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก 3 ตัวแบบ คือ HCopula_Real (ตัวแบบจริง), HCopula_Est, H_Est และพิจารณาความแตกต่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตใน 3 ช่วงเวลาถัดไป ระหว่างตัวแบบจริงเทียบกับตัวแบบประมาณ คือ HCopula_Real เทียบกับ HCopula_Est และH_Est ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน ที่ 4.2 ดังนี้

กำหนดให้

ΔX_1 คือ ความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est

ΔX_2 คือ ความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est

ΔX_3 คือ ความแตกต่างระหว่าง ΔX_2 และ ΔX_1

เขียนแทนด้วยสมการ ดังนี้

$$\Delta X_1 = VaR_1 - VaR_2$$
$$\Delta X_2 = VaR_1 - VaR_3$$
$$\Delta X_3 = \Delta X_2 - \Delta X_1$$

โดยที่ VaR_1 คือ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real

VaR_2 คือ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est

VaR_3 คือ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est

สมมติฐาน คือ

$$H_0 : \mu_{\Delta X_2} \leq \mu_{\Delta X_1}$$
$$H_1 : \mu_{\Delta X_2} > \mu_{\Delta X_1} \quad \text{.....(4.2)}$$

หรือสามารถเขียนได้อีกแบบ คือ

$$H_0 : \mu_{\Delta X_3} \leq 0$$
$$H_1 : \mu_{\Delta X_3} > 0$$

โดยที่ $\mu_{\Delta X_3} = \mu(VaR_2) - \mu(VaR_3)$

$\mu_{\Delta X_1}$ คือ ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est

$\mu_{\Delta X_2}$ คือ ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est

$\mu_{\Delta X_3}$ คือ ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est และค่าคาดหวังมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est

ตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ มีสูตรดังนี้

$$t_{cal} = \frac{(\hat{\mu}_{\Delta X_2} - \hat{\mu}_{\Delta X_1}) - 0}{Std.Err_{(\hat{\mu}_{\Delta X_2} - \hat{\mu}_{\Delta X_1})}}$$

การสรุปผล คือจะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ในการวิจัยครั้งนี้ คือ 0.05 ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่า พบหลักฐานทางสถิติว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของH_Est มีค่าน้อยกว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ HCopula_Est

โดยที่ผลการวิเคราะห์ของมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต แสดงในรูปของตาราง ตามตารางที่ 4.6-4.9 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละตารางจะแสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง $(\hat{\mu}_{\Delta X_3})$ ค่าสถิติทดสอบ (t) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Std. Error) และค่า p-value ของแต่ละกรณีศึกษา โดยพิจารณาจากระยะเวลา (T) ในช่วงเวลาที่กำหนด จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลามีความสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่าง ๆ และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ $(\beta_{k,t})$ ต่างๆ ตามขอบเขตที่กำหนด รายละเอียดเป็นดังนี้

ตารางที่ 4.6 เป็นผลการศึกษาของ กรณีศึกษาที่ 1 เมื่อพิจารณาจำนวนระยะเวลา 3 ช่วงเวลา จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา พารามิเตอร์ค่าคงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย 2 ตัว คือ $\beta_{1,t}$ = -0.71, -1.41, -3.54, -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71, 1.41, 3.54, 7.07 เป็นคู่ ตามลำดับ และปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่างๆ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 เป็นผลการศึกษาของ กรณีศึกษาที่ 2 เมื่อพิจารณาจำนวนระยะเวลา 6 ช่วงเวลา จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา พารามิเตอร์ค่าคงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย 2 ตัว คือ $\beta_{1,t}$ = -0.71, -1.41, -3.54, -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71, 1.41, 3.54, 7.07 เป็นคู่ ตามลำดับ และปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ คือ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 เป็นผลการศึกษาของ กรณีศึกษาที่ 3 เมื่อพิจารณาจำนวนระยะเวลา 9 ช่วงเวลา จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา พารามิเตอร์ค่าคงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย 2 ตัว คือ $\beta_{1,t}$ = -0.71, -1.41, -3.54, -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71, 1.41, 3.54, 7.07 เป็นคู่ ตามลำดับ และปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่างๆ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 เป็นผลการศึกษาของ กรณีศึกษาที่ 4 เมื่อพิจารณาจำนวนระยะเวลา 12 ช่วงเวลา จำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา พารามิเตอร์ค่าคงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย 2 ตัว คือ $\beta_{1,t}$ = -0.71, -1.41, -3.54, -7.07 และ $\beta_{2,t}$ = 0.71, 1.41, 3.54, 7.07 เป็นคู่ ตามลำดับ และปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่างๆ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ กรณีศึกษาที่ 1

T	$\beta_{k,t}$	ρ	$\hat{\mu}_{\Delta X_3}$	t	Std. Error	p-value
3	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1	0.036	9.720	3.747E-02	2.229E-16 *
		0.3	0.094	8.835	1.068E-01	1.894E-14 *
		0.5	0.097	8.746	1.104E-01	2.952E-14 *
		0.7	0.123	7.805	1.571E-01	3.126E-12 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1	0.034	12.167	2.820E-02	1.127E-21 *
		0.3	0.086	11.100	7.756E-02	2.213E-19 *
		0.5	0.112	14.799	7.601E-02	3.927E-27 *
		0.7	0.115	11.172	1.026E-01	1.551E-19 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1	0.023	12.807	1.787E-02	4.967E-23 *
		0.3	0.049	13.635	3.566E-02	9.305E-25 *
		0.5	0.063	14.703	4.275E-02	6.140E-27 *
		0.7	0.071	11.839	6.015E-02	5.682E-21 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1	0.012	13.111	9.216E-03	1.144E-23 *
		0.3	0.019	12.390	1.526E-02	3.781E-22 *
		0.5	0.030	12.113	2.492E-02	1.469E-21 *
		0.7	0.037	13.085	2.863E-02	1.299E-23 *

หมายเหตุ: * หมายถึง การทดสอบสมมติฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณา ค่า p-value ในการทดสอบ ตามสมติฐานที่ 4.2 ในการทดลองซ้ำจำนวน 100 รอบ พบว่า ทุกกรณีมี ค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในทุกระดับสหสัมพันธ์ คือ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ นั่นคือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่บ่งบอกว่า ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est มีค่ามากกว่าค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือกล่าวโดยสรุป คือพบหลักฐานทางสถิติว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ H_Est มีค่าน้อยกว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ HCopula_Est

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ กรณีศึกษาที่ 2

T	$\beta_{k,t}$	ρ	$\hat{\mu}_{\Delta X_3}$	t	Std. Error	p-value
6	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1	0.035	16.857	2.051E-02	3.731E-31 *
		0.3	0.068	16.135	4.239E-02	9.062E-30 *
		0.5	0.090	11.165	8.071E-02	1.602E-19 *
		0.7	0.129	10.273	1.259E-01	1.386E-17 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1	0.042	18.830	2.239E-02	8.580E-35 *
		0.3	0.086	18.353	4.663E-02	6.221E-34 *
		0.5	0.103	18.082	5.710E-02	1.939E-33 *
		0.7	0.139	16.071	8.654E-02	1.203E-29 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1	0.022	18.737	1.159E-02	1.264E-34 *
		0.3	0.042	21.782	1.929E-02	7.603E-40 *
		0.5	0.057	20.495	2.783E-02	1.069E-37 *
		0.7	0.066	16.766	3.960E-02	5.564E-31 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1	0.013	18.336	7.014E-03	6.676E-34 *
		0.3	0.021	17.136	1.244E-02	1.106E-31 *
		0.5	0.031	14.471	2.139E-02	1.805E-26 *
		0.7	0.038	20.650	1.846E-02	5.818E-38 *

หมายเหตุ: * หมายถึง การทดสอบสมมติฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณา ค่า p-value ในการทดสอบ ตามสมติฐานที่ 4.2 ในการทดลองซ้ำจำนวน 100 รอบ พบว่า ทุกกรณีมี ค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในทุกระดับสหสัมพันธ์ คือ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ นั่นคือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่บ่งบอกว่า ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est มีค่ามากกว่าค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือกล่าวโดยสรุป คือพบหลักฐานทางสถิติว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ H_Est มีค่าน้อยกว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ HCopula_Est

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ กรณีศึกษาที่ 3

T	$\beta_{k,t}$	ρ	$\hat{\mu}_{\Delta X_3}$	t	Std. Error	p-value
9	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1	0.036	20.525	1.733E-02	9.486E-38 *
		0.3	0.065	14.972	4.331E-02	1.771E-27 *
		0.5	0.085	14.858	5.745E-02	2.986E-27 *
		0.7	0.098	11.480	8.530E-02	3.358E-20 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1	0.045	25.189	1.799E-02	3.798E-45 *
		0.3	0.081	21.844	3.717E-02	6.015E-40 *
		0.5	0.111	17.912	6.185E-02	3.984E-33 *
		0.7	0.148	16.949	8.719E-02	2.495E-31 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1	0.027	22.663	1.174E-02	2.865E-41 *
		0.3	0.042	20.927	2.013E-02	1.985E-38 *
		0.5	0.062	20.176	3.063E-02	3.753E-37 *
		0.7	0.078	21.719	3.610E-02	9.647E-40 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1	0.014	21.785	6.428E-03	7.521E-40 *
		0.3	0.023	19.658	1.163E-02	2.953E-36 *
		0.5	0.034	20.965	1.624E-02	1.715E-38 *
		0.7	0.042	21.353	1.980E-02	3.865E-39 *

หมายเหตุ: * หมายถึง การทดสอบสมมติฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.8 เมื่อพิจารณา ค่า p-value ในการทดสอบ ตามสมติฐานที่ 4.2 ในการทดลองซ้ำจำนวน 100 รอบ พบว่า ทุกกรณีมี ค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในทุกระดับสหสัมพันธ์ คือ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ นั่นคือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่บ่งบอกว่า ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est มีค่ามากกว่าค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือกล่าวโดยสรุป คือพบหลักฐานทางสถิติว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ H_Est มีค่าน้อยกว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ HCopula_Est

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง ค่าสถิติทดสอบ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และค่า p-value สำหรับมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ กรณีศึกษาที่ 4

T	$\beta_{k,t}$	ρ	$\hat{\mu}_{\Delta X_3}$	t	Std. Error	p-value
12	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1	0.037	24.564	1.512E-02	3.260E-44 *
		0.3	0.062	21.356	2.893E-02	3.821E-39 *
		0.5	0.076	16.015	4.760E-02	1.552E-29 *
		0.7	0.111	16.589	6.718E-02	1.209E-30 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1	0.045	25.728	1.759E-02	6.158E-46 *
		0.3	0.083	21.347	3.891E-02	3.952E-39 *
		0.5	0.107	19.876	5.407E-02	1.234E-36 *
		0.7	0.142	23.928	5.914E-02	3.017E-43 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1	0.025	26.417	9.405E-03	6.247E-47 *
		0.3	0.042	23.891	1.773E-02	3.437E-43 *
		0.5	0.064	24.564	2.590E-02	3.253E-44 *
		0.7	0.084	22.597	3.726E-02	3.651E-41 *
	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1	0.014	24.519	5.776E-03	3.801E-44 *
		0.3	0.025	24.668	1.004E-02	2.272E-44 *
		0.5	0.035	23.900	1.455E-02	3.330E-43 *
		0.7	0.043	24.071	1.786E-02	1.822E-43 *

หมายเหตุ: * หมายถึง การทดสอบสมมติฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณา ค่า p-value ในการทดสอบ ตามสมติฐานที่ 4.2 ในการทดลองซ้ำจำนวน 100 รอบ พบว่า ทุกกรณีมี ค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในทุกระดับสหสัมพันธ์ คือ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ นั่นคือ มีนัยสำคัญทางสถิติที่บ่งบอกว่า ค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก H_Est มีค่ามากกว่าค่าคาดหวังของความแตกต่างระหว่างมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Real และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจาก HCopula_Est ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือกล่าวโดยสรุป คือพบหลักฐานทางสถิติว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ H_Est มีค่าน้อยกว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ HCopula_Est

4.2 ผลการเปรียบเทียบ

4.2.1 การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ

จากผลการศึกษาเรื่องการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ ตามตารางที่ 4.2-4.5 กล่าวโดยสรุปได้ว่า การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อด้วย H_Est มีความผิดพลาดน้อย

เมื่อพิจารณาจำนวนช่วงเวลาคงที่ และเมื่อจำนวนพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ คือ $\beta_{1,t}$ และ $\beta_{2,t}$ เปลี่ยนแปลงไป จากผลการทดลองจะเห็นชัดในกรณี เมื่อ $\beta_{1,t}$ =-7.07 และ $\beta_{2,t}$ =7.07 ในบางระดับสหสัมพันธ์คือ $\rho =$ 0.5 หรือ 0.7 ของทุกช่วงเวลา จะมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาจำนวนพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ คือ $\beta_{1,t}$ และ $\beta_{2,t}$ คงที่ และเมื่อจำนวนช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงไป จากผลการทดลองจะเห็นชัดในกรณี เมื่อ $\beta_{1,t}$ =-0.71 และ $\beta_{2,t}$ =0.71 ในทุกระดับสหสัมพันธ์ คือ $\rho =$ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ของทุกช่วงเวลา จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.2 มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต

จากผลการศึกษาเรื่องมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ตามตารางที่ 4.6-4.9 กล่าวโดยสรุปได้ว่า พบหลักฐานทางสถิติว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ H_Est มีค่าน้อยกว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของ HCopula_Est

เมื่อพิจารณาจำนวนช่วงเวลาคงที่ และเมื่อจำนวนพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ คือ $\beta_{1,t}$ และ $\beta_{2,t}$ เปลี่ยนแปลงไป จากผลการทดลองจะเห็นชัดเมื่อช่วงเวลามากที่สุด T=12 ค่า p-value จะค่าน้อยมาก แสดงว่าตัวแบบมีค่าแตกต่างกันชัดเจน ในทุกระดับสหสัมพันธ์ คือ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7

เมื่อพิจารณาจำนวนพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ คือ $\beta_{1,t}$ และ $\beta_{2,t}$ คงที่ และเมื่อจำนวนช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงไป จากผลการทดลองจะเห็นชัดในกรณี เมื่อ $\beta_{1,t}$ และ $\beta_{2,t}$ =-1.41, 1.41 หรือ -3.54, 3.54 หรือ -7.07, 7.07 ค่า p-value จะน้อยมาก แสดงว่าตัวแบบมีค่าแตกต่างกันชัดเจน ในทุกระดับสหสัมพันธ์ คือ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7

จากการทดสอบสมมติฐานมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต จะเห็นว่าในทุกกรณีศึกษาแตกต่างกัน และการแจกแจง (Distribution) ก็มีความแตกต่างกันมากด้วย สามารถพิจารณาจากรูปได้ในภาคผนวก ข

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ภายใต้การศึกษาเปรียบเทียบทำบนข้อมูลจำลอง โดยตัวแบบของข้อมูลจำลองเป็นตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย การเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์จากตัวแบบที่ผิดเพี้ยนจากข้อมูล (ตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย) กับตัวแบบที่ตรงกับข้อมูล (ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย) จะมีผลกระทบต่อตัวชี้วัด อย่างไรตัวชี้วัดในงานวิจัยนี้ คือการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต โดยทั้ง 2 ตัวชี้วัดนี้ จะมีการทดลองเหมือนกันในทุกกรณีศึกษา ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษา ตามขอบเขตที่กำหนด ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 ในบทนี้จึงทำการสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ รวมทั้งอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ตามลำดับ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ในการวิจัย และนำไปสู่ปัญหางานวิจัย ที่ว่าการแสดงว่าตัวชี้วัดใดบ้างที่จะถูกกระทบจากข้อสมมติที่ขัดแย้งกัน ภายใต้ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย (HCopula_Real) ผลสรุปคือตัวชี้วัดทั้งการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ไม่ถูกกระทบจากข้อสมมติที่ขัดแย้งกัน ซึ่งผลสรุปของแต่ละตัวชี้วัด เป็นดังนี้

การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ ผลการวิจัยคือ เมื่อขาดปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาในตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย หรือตัวแบบที่ผิดเพี้ยนไปจากข้อมูล (H_Est) ซึ่งมักพบในการประยุกต์ใช้งานจริง จะพบว่าการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อด้วยตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย (H_Est) มีความผิดพลาดน้อย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ผลการวิจัยคือ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของตัวแบบประมาณที่ตรงกับข้อมูล (HCopula_Est) มีค่าใกล้เคียงกับตัวแบบจริง (HCopula_Real) มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย หรือตัวแบบที่ผิดเพี้ยนไปจากข้อมูล (H_Est) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

งานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลา ไม่มีผลต่อการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อในขณะที่มีผลกับมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลสรุปดังตารางที่ 5.1-5.2

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการวิจัยในการทดสอบสมมติฐานเรื่องการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ

การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ					
พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์	ค่าสหสัมพันธ์	กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2	กรณีศึกษาที่ 3	กรณีศึกษาที่ 4
		T=3	T=6	T=9	T=12
$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1	×	×	×	×
	0.3	×	×	×	×
	0.5	×	×	×	×
	0.7	×	×	×	×
$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1	×	×	×	×
	0.3	×	×	×	√
	0.5	×	×	√	×
	0.7	×	×	√	×
$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1	×	×	×	×
	0.3	×	×	×	×
	0.5	×	×	√	×
	0.7	×	×	√	√
$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1	×	×	×	×
	0.3	×	×	×	×
	0.5	√	√	√	×
	0.7	×	×	×	√

หมายเหตุ: √ คือ การทดสอบสมมติฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
× คือ การทดสอบสมมติฐานที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่ากรณีศึกษาส่วนใหญ่เมื่อทดสอบสมมติฐานจะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และมีเพียง 10 กรณี จากกรณีศึกษาทั้งหมดที่การทดสอบสมมติฐานมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นสรุปได้ว่า การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อด้วยตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย หรือตัวแบบที่ผิดเพี้ยนไปจากข้อมูลมีความผิดพลาดน้อย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการวิจัยในการทดสอบสมมติฐานเรื่องมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต

มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต					
พารามิเตอร์สัมประสิทธิ์	ค่าสหสัมพันธ์	กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2	กรณีศึกษาที่ 3	กรณีศึกษาที่ 4
		T=3	T=6	T=9	T=12
$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1	√	√	√	√
	0.3	√	√	√	√
	0.5	√	√	√	√
	0.7	√	√	√	√
$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1	√	√	√	√
	0.3	√	√	√	√
	0.5	√	√	√	√
	0.7	√	√	√	√
$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1	√	√	√	√
	0.3	√	√	√	√
	0.5	√	√	√	√
	0.7	√	√	√	√
$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1	√	√	√	√
	0.3	√	√	√	√
	0.5	√	√	√	√
	0.7	√	√	√	√

หมายเหตุ: √ คือ การทดสอบสมมติฐานที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

× คือ การทดสอบสมมติฐานที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าทุกกรณีศึกษาเมื่อทดสอบสมมติฐานจะมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นสรุปได้ว่า มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของตัวแบบประมาณที่ตรงกับข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกับตัวแบบจริงมากกว่ามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตของตัวแบบโพรบิทแบบภาวะภัย หรือตัวแบบที่ผิดเพี้ยนไปจากข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.2 **อภิปรายผลการวิจัย**

จากการวิจัยนี้ พิจารณาจากตัวชี้วัดการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อและมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ซึ่งถือเป็นเครื่องมือในการประเมินความเสี่ยงที่นิยมใช้ในปัจจุบัน โดยตัวแบบคะแนนสินเชื่อเกิดขึ้นมาก่อนซึ่งทางสถิติมักจะมีข้อสมมติว่าค่าสังเกตเป็นอิสระกัน ส่วนมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตเกิดขึ้นตามมาภายหลัง ซึ่งนักเศรษฐมิติให้ข้อสังเกตว่าการผิดนัดชำระหนี้มีความสัมพันธ์กัน ทำให้ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาจึงสร้างมาเพื่อเติมเต็มในเฉพาะส่วนนี้ แต่ขณะเดียวกันกิจกรรมการทำคะแนนสินเชื่อก็ยังดำเนินไปในลักษณะเดิม จึงเกิดคำถามในงานวิจัยว่าการดำเนินการทำคะแนนสินเชื่อในลักษณะเดิมมีความผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งผลสรุปจากงานวิจัยนี้ก็แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการทำคะแนนสินเชื่อที่เพิ่มปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลา ไม่แตกต่างไปจากการทำคะแนนสินเชื่อในลักษณะเดิม

พื้นฐานที่สำคัญของการประเมินความเสี่ยงคือ ต้องระบุและประเมินค่าความเสี่ยงได้ เช่น ตัวชี้วัดการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต เป็นต้น เพื่อที่จะสามารถกำหนดแนวทางการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องมือทางสถิติจึงมีประโยชน์อย่างมากในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความรวดเร็วในการประเมินความเสี่ยง รวมทั้งตัดปัญหาเรื่องความผิดพลาดของมนุษย์ เช่น มีความชำนาญไม่เพียงพอ หรือมีอคติในการวิเคราะห์ลงได้บ้าง แต่อย่างไรก็ตามผู้วิเคราะห์ควรเลือกตัวแบบให้เหมาะสม ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย จึงเป็นตัวแบบหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากจะทำให้ตัวประมาณมีประสิทธิภาพสูงขึ้นส่งผลให้ การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้นดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องในความเป็นจริงจึงสามารถใช้ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลากับทั้ง 2 กิจกรรม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าทรัพยากรที่ต้องลงทุนเพิ่มจะคุ้มค่ากับผลที่ได้หรือไม่ ซึ่งล้วนเป็นปัญหาในเชิงธุรกิจที่ขึ้นกับผู้บริหารว่ามีนโยบายการวางแผนเป็นในทิศทางใด

แต่อย่างไรก็ตาม เกาซ์เซียนคอพพูลายังมีข้อบกพร่องเพราะไม่เป็นอิสระกันในส่วนหาง (Tail Dependence) แต่การผิดนัดชำระหนี้ถือว่าเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในส่วนหาง (Tail) ดังนั้นจึงน่าสนใจที่จะศึกษาตัวแบบถดถอยที่มีฟังก์ชันเชื่อมโยง (Link Function) ที่มีการกระจายค่าไปในส่วนปลายหาง (Extreme Value Distribution) และมีคอพพูลาในส่วนปลายหาง (Extreme Value Copula) เช่นเดียวกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การใช้ตัวแบบภาวะภัยที่ใช้ในการจัดการความเสี่ยง สำหรับการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อและมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ทำภายใต้ข้อสมมติที่ขัดแย้งกัน เพื่อให้สอดคล้องกันควรใช้ตัวแบบเกาซ์เซียนคอพูลาแบบภาวะภัย ในการจัดการประเมินความเสี่ยงกับทั้ง 2 ตัวชี้วัด

2. ตัวแบบความถดถอยเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบมีภาวะภัย เป็นตัวแบบหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้งาน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ฐิติมา จิรเศรษฐสิริ. การจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอพพูลาเมื่อทราบการแจกแจงส่วนริมและสหสัมพันธ์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ลดาวัลย์ ศรีเดชา. การประมาณค่าสหสัมพันธ์ภายในกลุ่มตัวอย่างของตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิท, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

วรุณี มุริกา. การเปรียบเทียบตัวแบบความถดถอยโลจิสติคแบบสถิตย์และแบบพลวัต, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

สุกัญญา บุญมา. ตัวแบบความถดถอยโลจิสติคแบบเกาซ์เซียนคอพพูลา, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ภาษาอังกฤษ

Tyler Shumway. Forecasting Bankruptcy More Accurately: A Simple Hazard Model. Journal of Business 74 (January 2001): 101-124.

Oldrich Alfons Vasicek. The Distribution of Loan Portfolio Value. RISK, 15 (December 2002): 160-162.

David X. Li. On Default Correlation: A copula function approach. Journal of Fixed Income 9 (March 2000): 43-54.

Sunti Tirapat and Seksan Kiatsupaibul. Credit value at risk via credit scoring model. Simulation Society Research Workshop (2007): 1-4.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานการประเมินความเสี่ยงด้านเครดิต

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานการประเมินความเสี่ยงด้านเครดิต ยกตัวอย่างเช่น ธนาคารต้องทราบว่าความเสี่ยงด้านเครดิตของการที่ลูกหนี้จะผิดนัดชำระหนี้ จึงต้องพยากรณ์ว่าโอกาสที่ลูกหนี้แต่ละคนจะผิดนัดชำระหนี้มีมากน้อยเพียงไร เครื่องมือการประเมินความเสี่ยงได้แก่ การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ และการคำนวณมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต ตามตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย ตัวแบบเป็นดังนี้

$$Y_{it} = \begin{cases} 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 1 & \text{(Default)} \\ 1; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} > 0 & \text{(Default)} \\ 0; \text{ if } Y_{i(t-1)} = 0 \quad , Y_{it}^{*} \le 0 & \text{(Not Default)} \end{cases}$$

โดยที่ $$Y_{it}^{*} = \sum_{k=0}^{K} \beta_{k,t} X_{k,it} + \varepsilon_{it}$$

และ $$\varepsilon_{it} = \sqrt{\rho} Z_t + \sqrt{1-\rho} e_{it}$$

กำหนดให้ $Z_t \overset{iid}{\sim} N(0,1)$ และ $e_{it} \overset{iid}{\sim} N(0,1)$

เมื่อ $i = 1,2,...,n_{t+1}$, $t = 0,1,2,...,T$

และ $n_{t+1} = n_1 + n_2 + ... + n_T = \sum_{t=1}^{T} n_t$

เมื่อกำหนดให้

Y_{it} แทน สถานะ (Status) ของลูกค้า โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

$Y_{it} = 1$ ลูกค้าผิดนัดชำระหนี้ (Default)

$Y_{it} = 0$ ลูกค้าลูกค้าไม่ผิดนัดชำระหนี้ (Not Default)

X_1 แทน อายุ (ปี)

X_2 แทน จำนวนระยะเวลาของการค้างชำระหนี้ (เดือน)

Z_t แทน ปัจจัยมหภาค หรือ นโยบายสินเชื่อ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

โดยที่ i คือ หน่วยตัวอย่างที่ i

t คือ กลุ่มตัวอย่างหรือช่วงเวลาที่ t

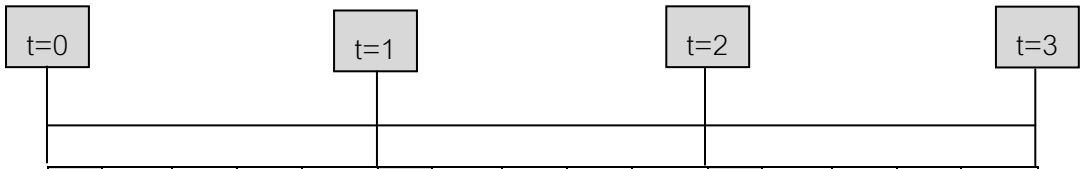
n_{t+1} คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด ในที่นี้กำหนด $n_{t=1}$ คือ 5 คน

T คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่างหรือช่วงเวลา ในที่นี้กำหนด 3 เดือน

n_t คือ จำนวนตัวอย่างของช่วงเวลาที่ t

การจำลองข้อมูลแบบภาวะภัย

เมื่อทราบตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ จำนวนช่วงเวลาในที่นี้คือ 3 เดือน จำนวนตัวอย่างเริ่มต้น $n_{t=1}$ ในที่นี้คือ 5 คน เป็นไปตามที่กำหนดไว้ข้างต้น ตัวอย่างการจำลองข้อมูลแบบภาวะภัยเป็นดังนี้



t	คน	Y	X_1	X_2	t	คน	Y	X_1	X_2	t	คน	Y	X_1	X_2
1	ก	0	30	10	2	ก	0	30	9	3	ก	0	30	8
	ข	1	35	7										
	ค	0	40	20		ค	0	40	19		ค	0	40	18
	ง	0	45	5		ง	1	45						
	จ	0	29	8		จ	0	29	7		จ	0	29	6

โดยนำข้อมูลในแต่ละช่วงเวลามาเรียงต่อกัน จะได้ข้อมูลแบบภาวะภัย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

t	คน	Y	X_1	X_2
1	ก	0	30	10
	ข	1	35	7
	ค	0	40	20
	ง	0	45	5
	จ	0	29	8
2	ก	0	33	33
	ค	0	43	43
	ง	1	48	48
	จ	0	29	7
3	ก	0	36	36
	ค	0	46	46
	จ	0	29	6

การคำนวณการจัดอันดับคะแนนสินเชื่อ

การคำนวณคะแนนสินเชื่อ เป็นการให้คะแนนคุณสมบัติของผู้กู้เพื่อบ่งบอกระดับความเสี่ยงด้านเครดิต ซึ่งจะมีผลต่อการกำหนดวงเงินกู้ยืมและอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ในที่นี้เป็นไปตามตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอยด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด และทำการคำนวณคะแนนสินเชื่อของลูกค้าแต่ละคน โดยนำค่าประมาณพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย แทนลงในสมการต่อไปนี้

$$\hat{Y}_{it}^{*} = \sum_{k=0}^{K} b_{k,t} X_{k,it} \quad ; K = 0,1,2$$

การคำนวณคะแนนสินเชื่อดังกล่าว จะทำให้สถานบันทางการเงินทราบอันดับเพื่อบ่งบอกคุณสมบัติของผู้กู้โดยตรงเพื่อระบุออกมาว่ามีความเสี่ยงด้านเครดิตในระดับมากหรือน้อยเพียงใด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่านโยบายของแต่ละสถาบันทางการเงินที่ต้องกำหนดคะแนนสินเชื่อที่น้อยที่สุดเท่าใดเป็นคะแนนที่ผ่านเกณฑ์

การคำนวณมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตด้วยการจำลอง

มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต เป็นตัวเลขที่บอกความสูญเสียของสินทรัพย์เป็นตัวเงินพร้อมทั้งบอกความเชื่อมั่นกำกับ โดยเกณฑ์ความเชื่อมั่นมักจะเท่ากับ 99% โดยความสูญเสียมักระบุเป็นอัตรา ซึ่งก็คืออัตราการผิดนัดชำระหนี้ (Default Rate) พิจารณา จาก 3 ช่วงเวลาถัดไป โดยการจำลองกระทำซ้ำจำนวน 1,000 รอบ ในที่นี้เป็นไปตามตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย จากตัวแบบจะมีตัวแปร Z_t หรือ Credit Index เป็นตัวแปรที่กำหนดความเสี่ยง มีสูตรดังนี้

$$d_t = \frac{\sum_{i=1}^{n_{t=1}} Y_{it}}{n_{t=1}} \quad ; t = 1,2,3 \quad ; i = 1,\ldots, n_{t=1}$$

โดยที่ Y_{it} คือ ตัวแปรตามที่เป็นไปตามตัวแบบเกาซ์เซียนคอพพูลาโพรบิทแบบภาวะภัย

d_t คือ อัตราการผิดนัดชำระหนี้ในช่วงเวลาที่ t

โดยที่ตัวแปรตามพิจารณาจากความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ $(P(Y_{it}=1|Z_t))$ ซึ่งกล่าวไว้แล้วโดยละเอียดในบทที่ 2 หัวข้อ 2.5.1 ซึ่งใช้ค่าประมาณพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดเช่นเดียวกัน

$$(p_{it}|Z_t)=P(Y_{it}=1|Z_t)=P(Y_{it}^{*}>0|Z_t)$$

$$=P(e_{it}\le\frac{b_{0,t}}{\sqrt{1-\rho}}+\sqrt{\frac{\rho}{1-\rho}}Z_t+\frac{\sum_{k=1}^{K}b_{k,t}X_{k,it}}{\sqrt{1-\rho}})$$

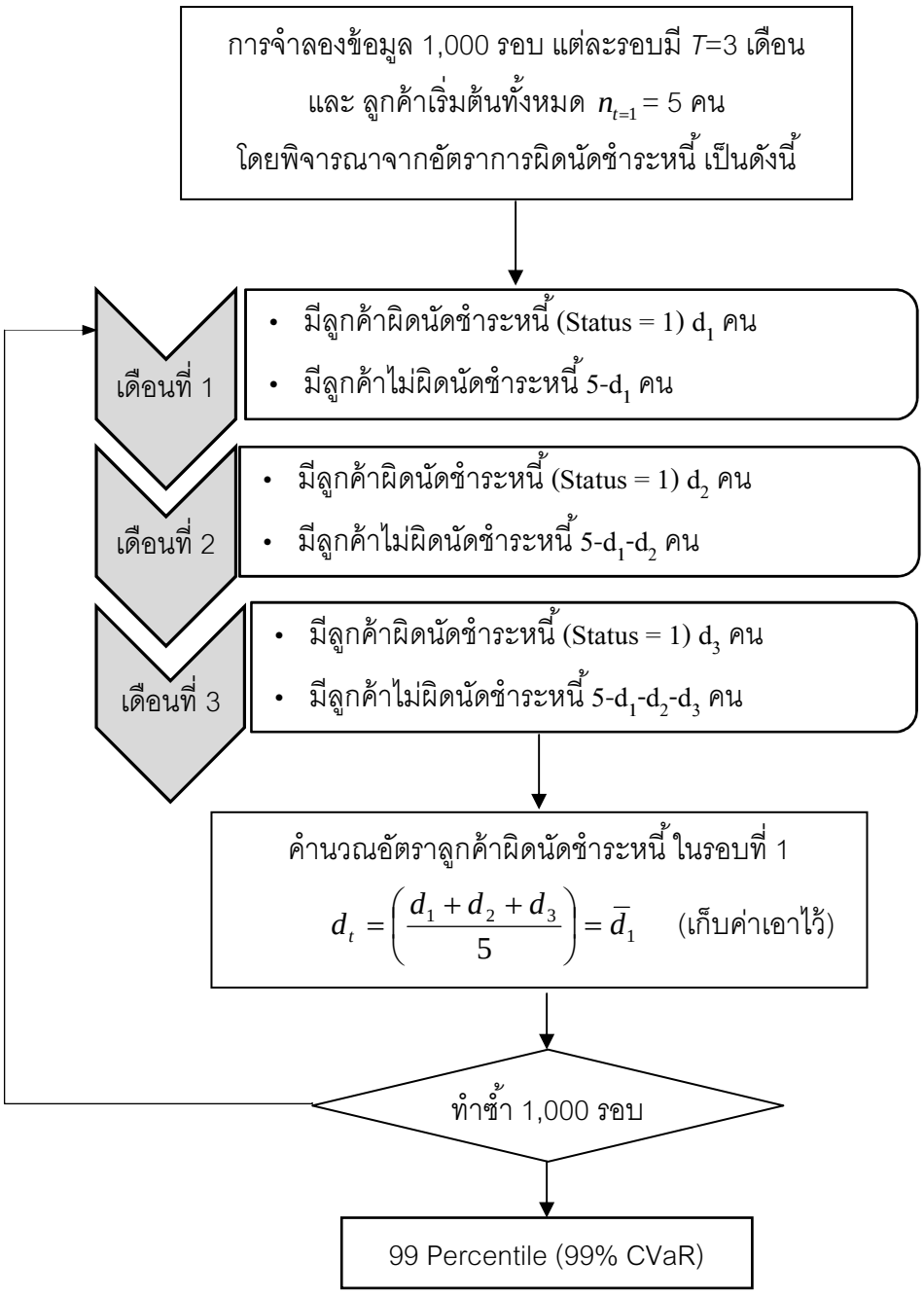
เมื่อคำนวณอัตราการผิดนัดชำระหนี้ จาก 3 ช่วงเวลาถัดไป ได้มาทั้งหมด 1,000 ค่า แล้วจากนั้นนำมาพิจารณามูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตที่ 99% ความเชื่อมั่นจะเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของความสูญเสีย ของตัวแบบดังกล่าว

ตัวอย่างสำหรับการแปลความหมายของ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต เช่น หากเราระบุว่า “ค่า VaR 1 วันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% มีค่าเท่ากับ 50,000 บาท” จะหมายความว่า จะมีโอกาส 99% ที่ค่าผลขาดทุนสูงสุดต่อวันจะไม่เกิน 50,000 บาทหรืออีกนัยหนึ่งคือ โดยเฉลี่ยแล้วจะมีโอกาส 1 ใน 20 วัน (1% ที่เหลือ) ที่ผลขาดทุนจะมากกว่า 50,000 บาท

มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิต เป็นวิธีนิยมนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงด้านเครดิตในระดับพอร์ตการลงทุน ที่มีส่วนผสมของตราสารหนี้ภาคเอกชน โดยผู้บริหารความเสี่ยงจะนำ มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตมาใช้วิเคราะห์และกำหนดนโยบายควบคู่ไปกับมาตรการจัดการความเสี่ยงด้านเครดิตอื่น เช่น การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อด้วย ทั้งนี้การจัดอันดับคะแนนสินเชื่อจะเป็นการประเมินความเสี่ยงตราสารหนี้แต่ละราย ขณะที่มูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตจะประเมินความเสี่ยงของพอร์ตการลงทุนโดยรวม

โดยขั้นตอนการคำนวณมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตด้วยการจำลอง แสดงดังแผนภาพด้านล่างต่อไปนี้

แผนภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตด้วยการจำลอง



ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข

กราฟ e.c.d.f. ระหว่างตัวแบบจริงและตัวแบบประมาณ

จากบทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษาใหญ่ จะเห็นว่าสิ่งที่เหมือนกันในทุกการทดลอง คือพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_{1,t}, \beta_{2,t})$ 4 คู่ แยกออกมาเป็น 4 กรณีศึกษาย่อย โดยที่แต่ละกรณีศึกษาย่อยจะพิจารณาปัจจัยเกาซ์เซียนคอพพูลาที่มีความสัมพันธ์กันด้วยค่าสหสัมพันธ์ (ρ) ระดับต่างๆ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ พารามิเตอร์ค่าคงที่คือ $\beta_{0,t}$ = -3 และจำนวนหน่วยตัวอย่าง คือ 1,000 ต่อช่วงเวลา ส่วนสิ่งที่แตกต่างกันในการทดลอง คือจำนวนระยะเวลา และพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ความถดถอย $(\beta_{1,t}, \beta_{2,t})$ 4 คู่ ที่แต่ละคู่แตกต่างกัน โดยการกระทำซ้ำในแต่ละสถานการณ์เป็น 100 รอบ

จากกรณีศึกษาของมูลค่าความเสี่ยงด้านเครดิตดังกล่าวข้างต้น นำพิจารณาด้วยกราฟ e.c.d.f. (Empirical Cumulative Distribution Function) ซึ่งแสดงถึงการแจกแจงของกรณีศึกษาต่างๆ ว่ามีการกระจายที่แตกต่างกันระหว่างตัวแบบจริงและตัวแบบประมาณ ดังภาพที่ ข.1-ข.16 ซึ่งแสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ HCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และH_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน)

จากภาพที่ ก.1-ก.16 กำหนดให้ ____ = HCopula_Real

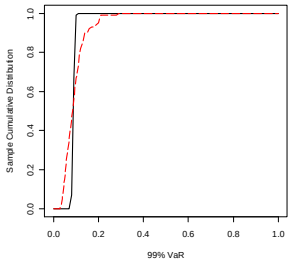
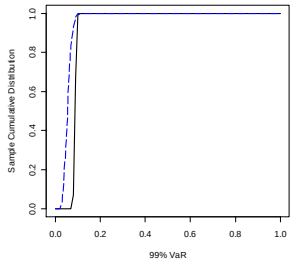
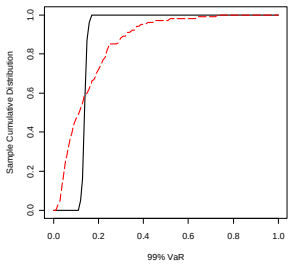
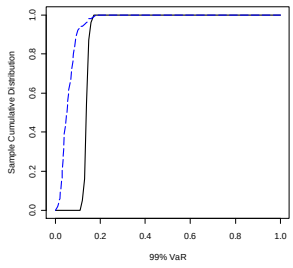
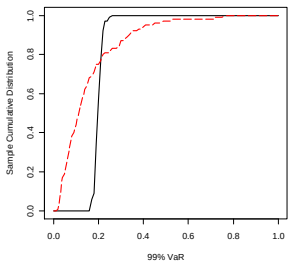
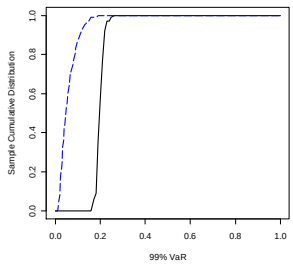
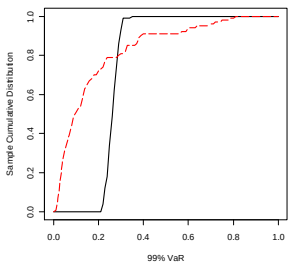
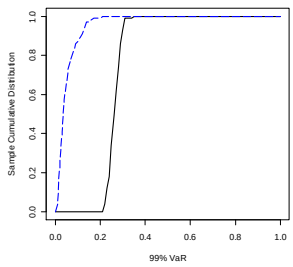
_ _ _ = HCopula_Est

_ _ _ = H_Est

จากภาพที่ ข.1-ข.16 เมื่อพิจารณาจำนวนช่วงเวลาคงที่ และเมื่อจำนวนพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ คือ $\beta_{1,t}$ และ $\beta_{2,t}$ เปลี่ยนแปลงไป เมื่อพิจารณาคู่ของ $\beta_{1,t}$ มีค่าน้อยที่สุด และ $\beta_{2,t}$ มีค่ามากที่สุด จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real อย่างชัดเจน เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7 ตามลำดับ

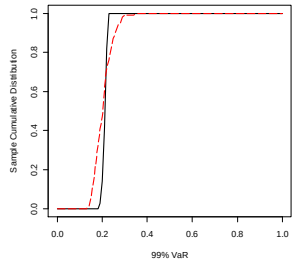
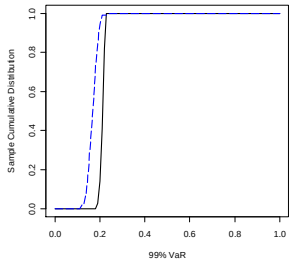
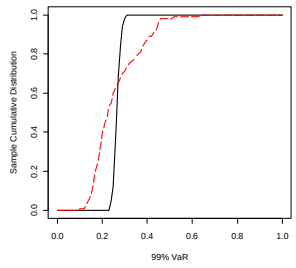
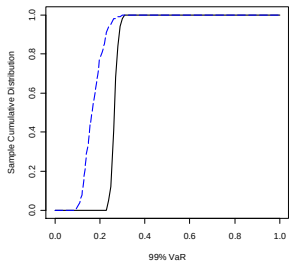
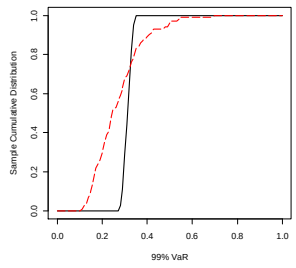
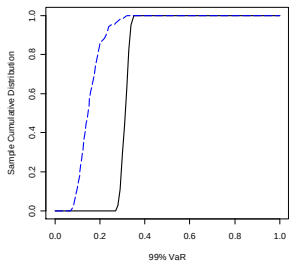
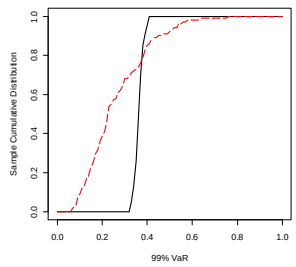
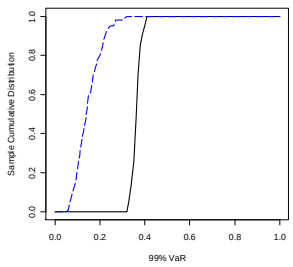
จากภาพที่ ข.1-ข.16 เมื่อพิจารณาจำนวนพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ คือ $\beta_{1,t}$ และ $\beta_{2,t}$ คงที่ และเมื่อจำนวนช่วงเวลาเปลี่ยนแปลงไป เมื่อพิจารณาช่วงเวลาที่มากที่สุด จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real อย่างชัดเจน เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

ภาพที่ ข.1 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 1.1

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
3	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

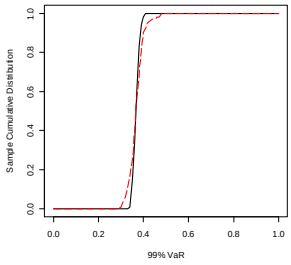
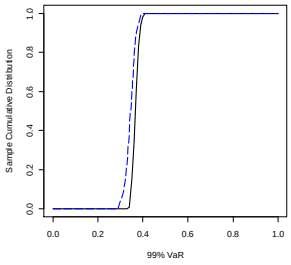
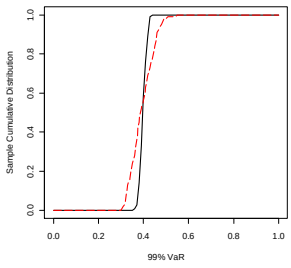
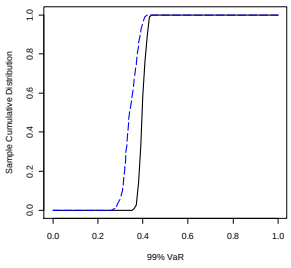
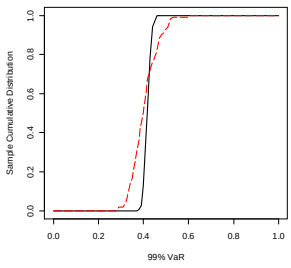
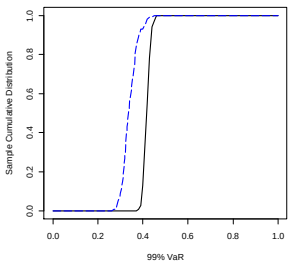
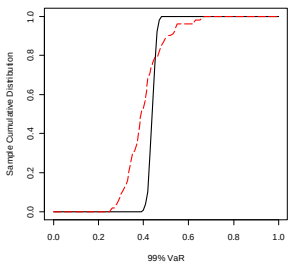
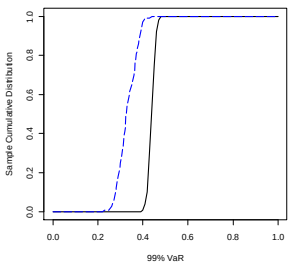
จากภาพที่ ข.1 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7 ตามลำดับ

ภาพที่ ข.2 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 1.2

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
3	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

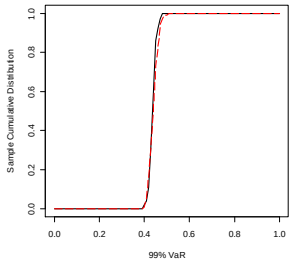
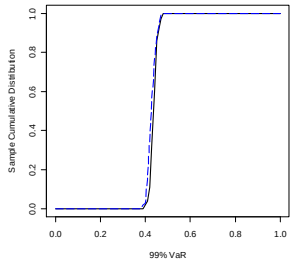
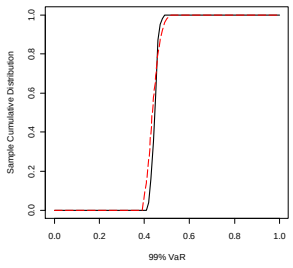
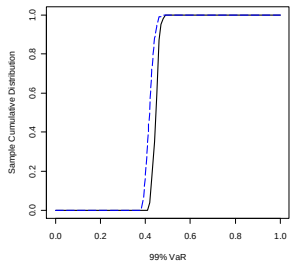
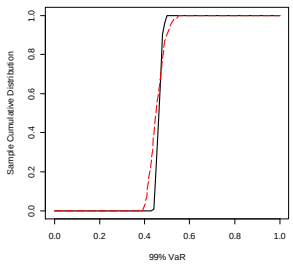
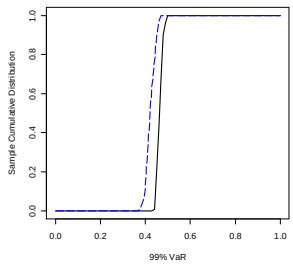
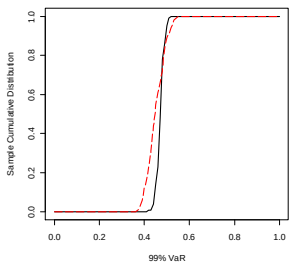
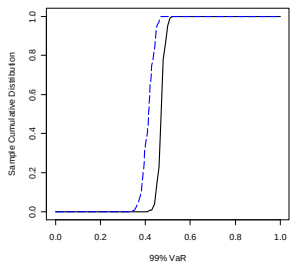
จากภาพที่ ข.2 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7 ตามลำดับ

ภาพที่ ข.3 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 1.3

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
3	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

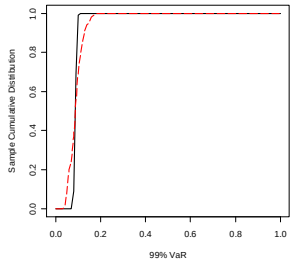
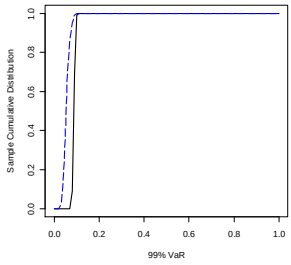
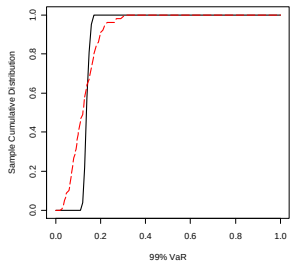
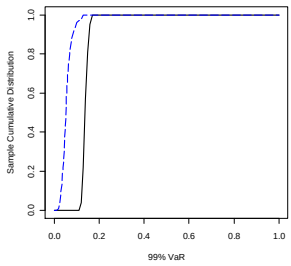
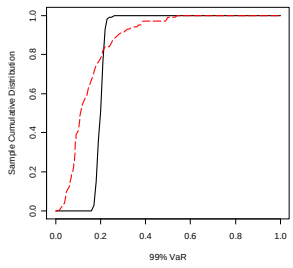
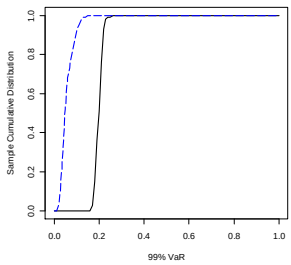
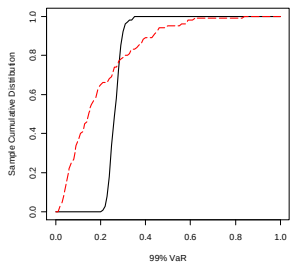
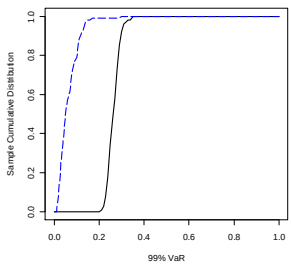
จากภาพที่ ข.3 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.4 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 1.4

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
3	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

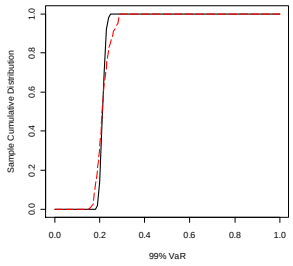
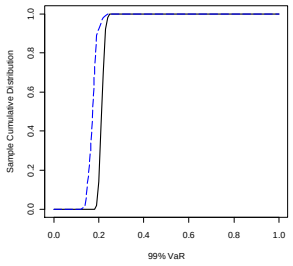
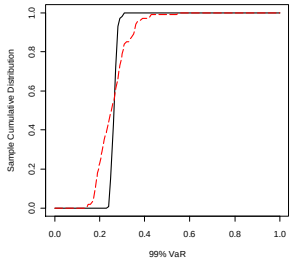
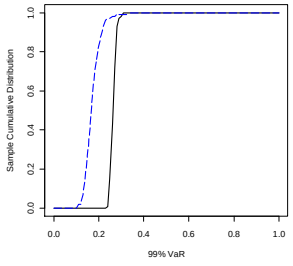
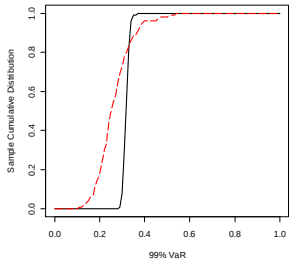
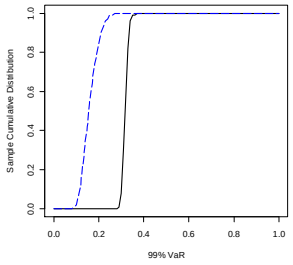
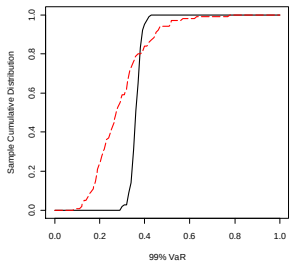
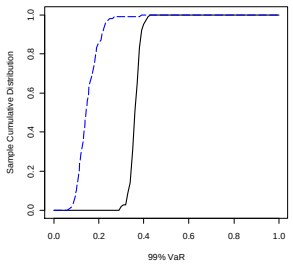
จากภาพที่ ข.4 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.5 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 2.1

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
6	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

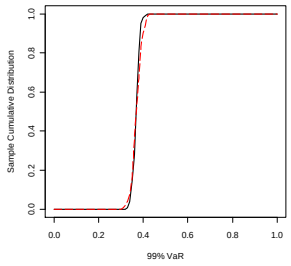
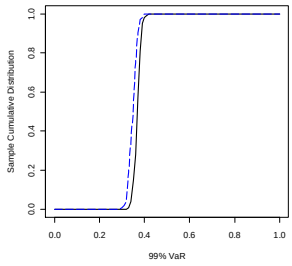
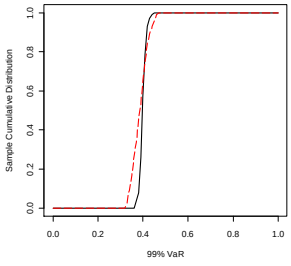
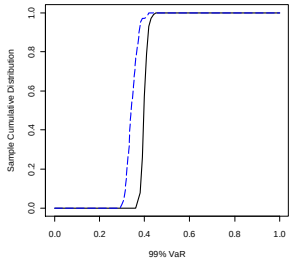
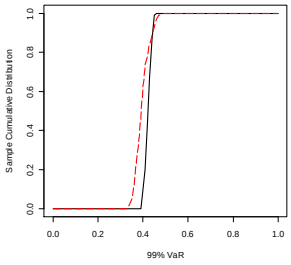
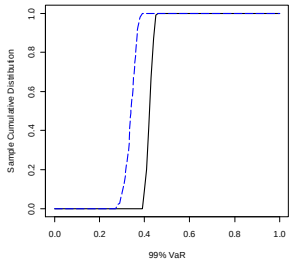
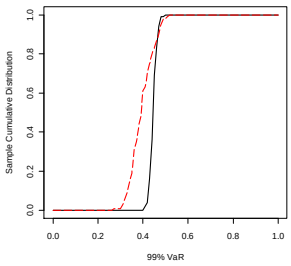
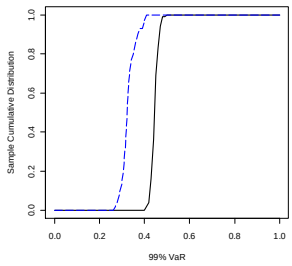
จากภาพที่ ข.5 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.6 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 2.2

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
6	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

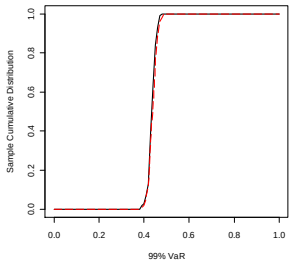
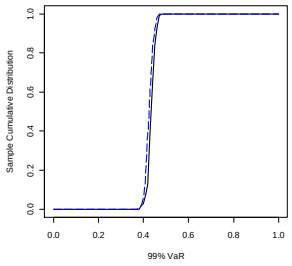
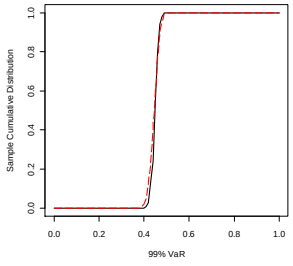
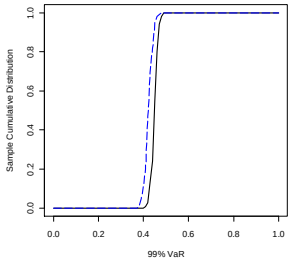
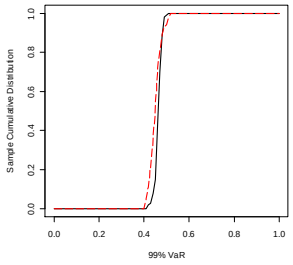
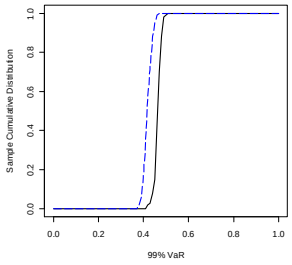
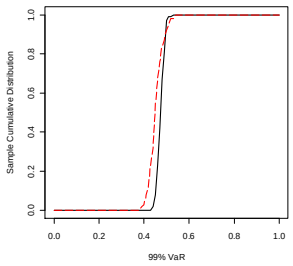
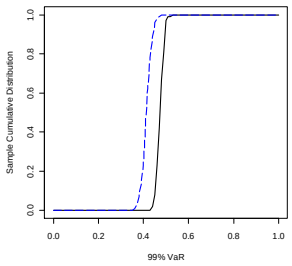
จากภาพที่ ข.6 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.7 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 2.3

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
6	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

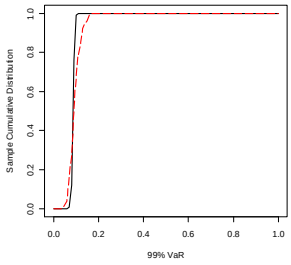
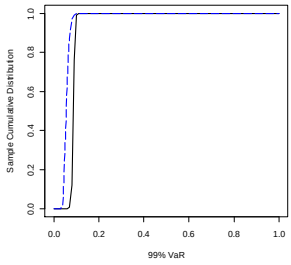
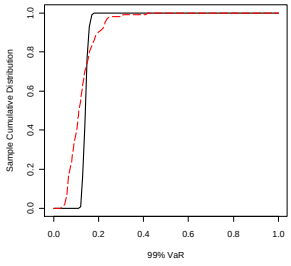
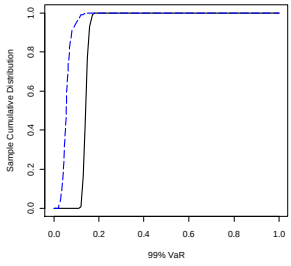
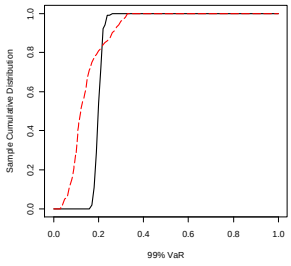
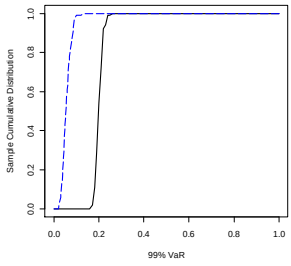
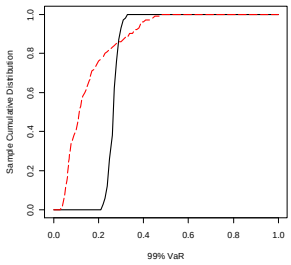
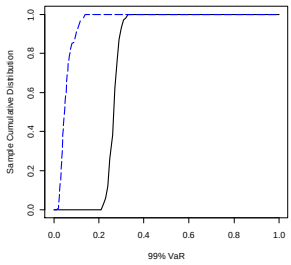
จากภาพที่ ข.7 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.8 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 2.4

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
6	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

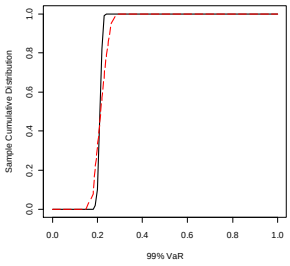
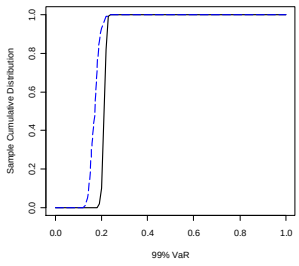
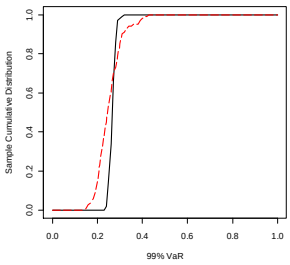
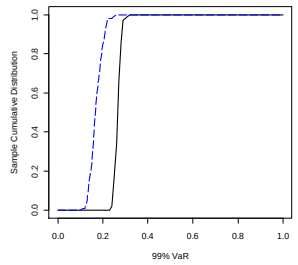
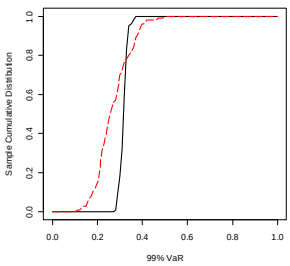
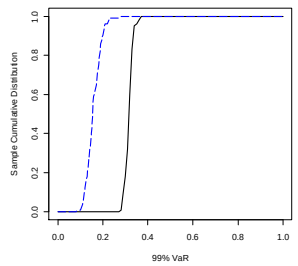
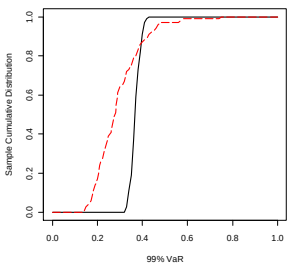
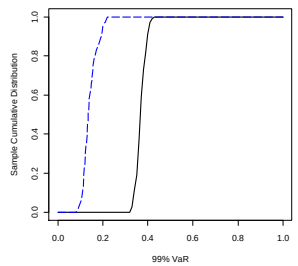
จากภาพที่ ข.8 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.9 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 3.1

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
9	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

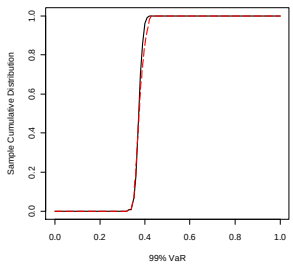
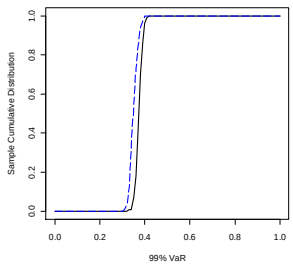
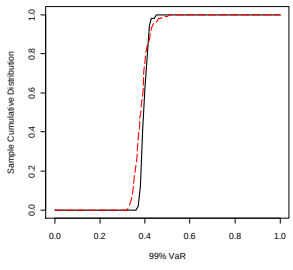
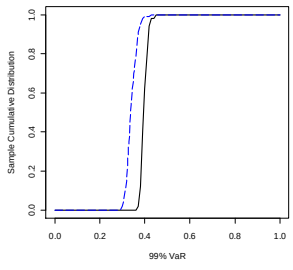
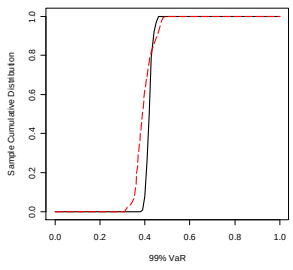
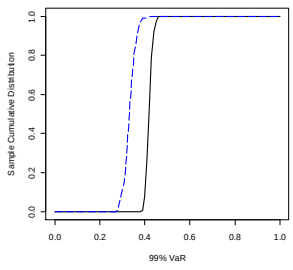
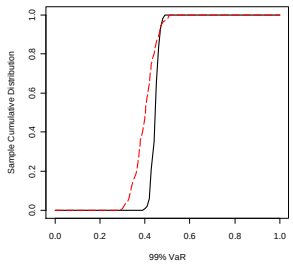
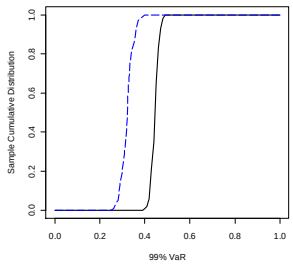
จากภาพที่ ข.9 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.10 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 3.2

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
9	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

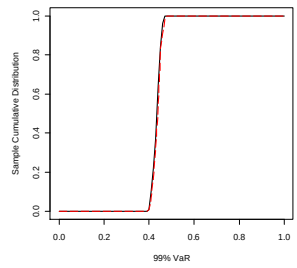
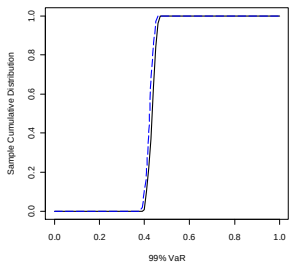
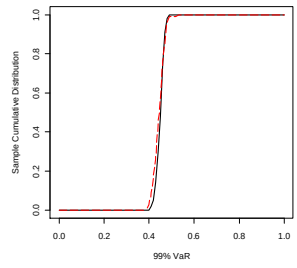
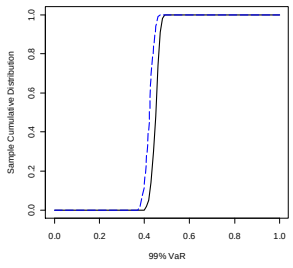
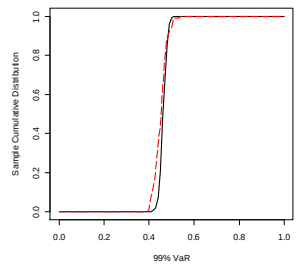
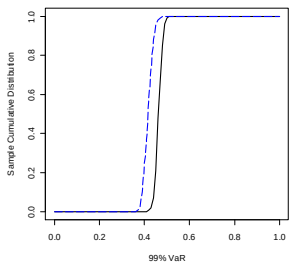
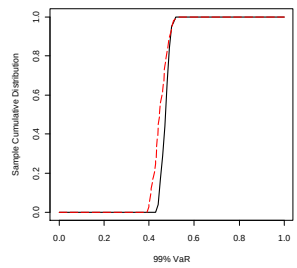
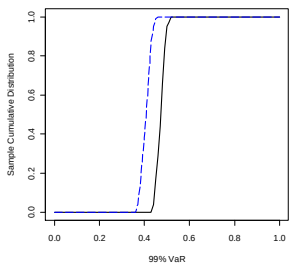
จากภาพที่ ข.10 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.11 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 3.3

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
9	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

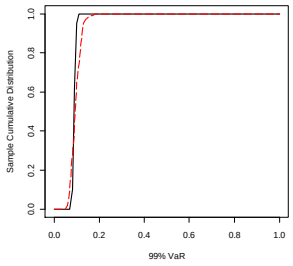
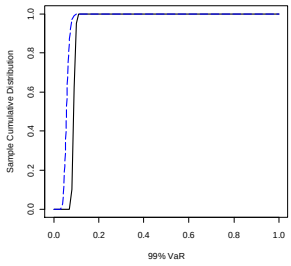
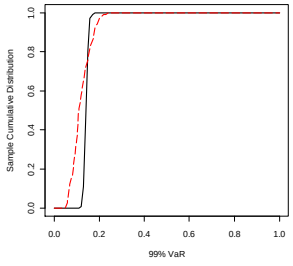
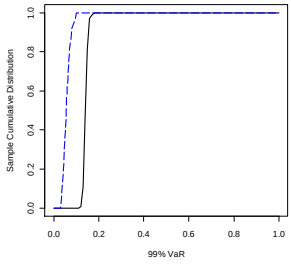
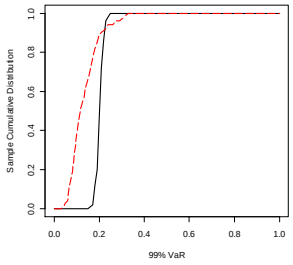
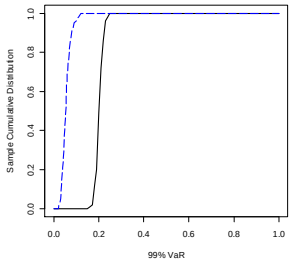
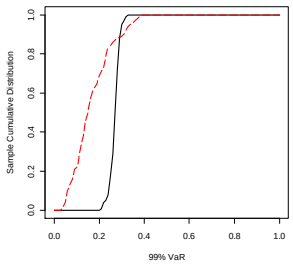
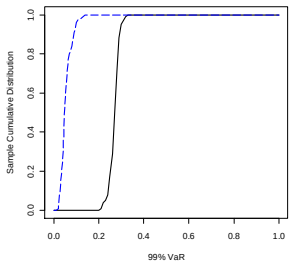
จากภาพที่ ข.11 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.12 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 3.4

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
9	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

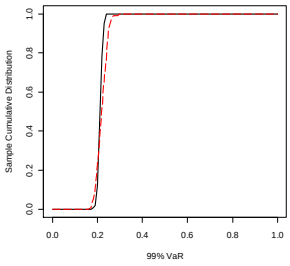
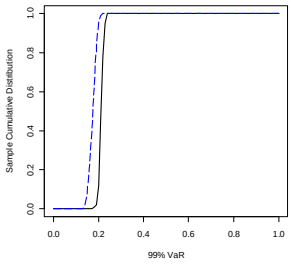
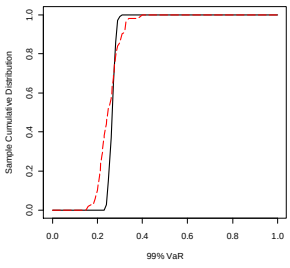
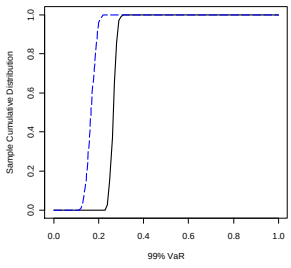
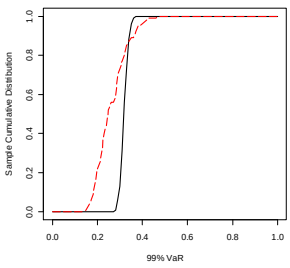
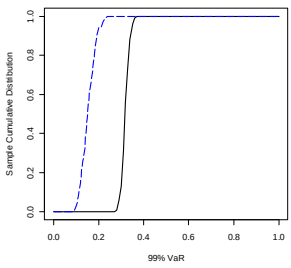
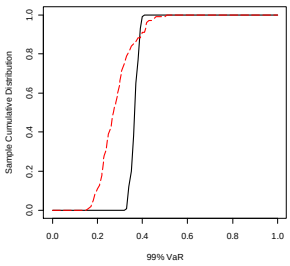
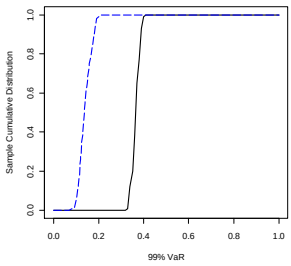
จากภาพที่ ข.12 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.13 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 4.1

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
12	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -0.71 $\beta_{2,t}$ = 0.71	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

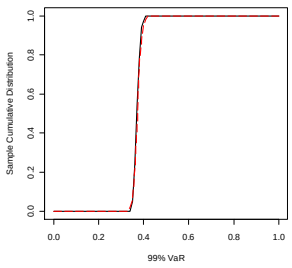
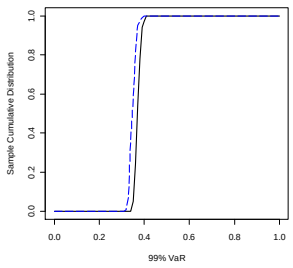
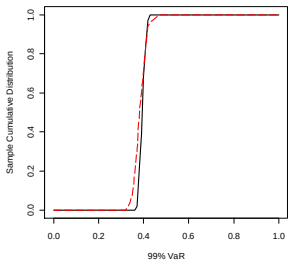
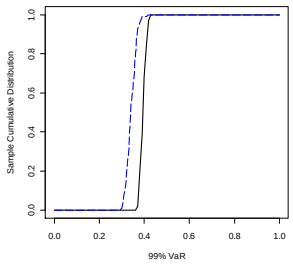
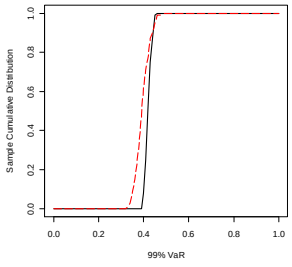
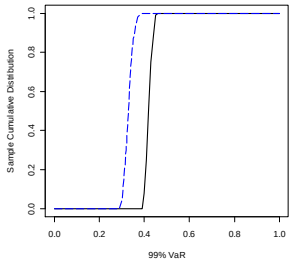
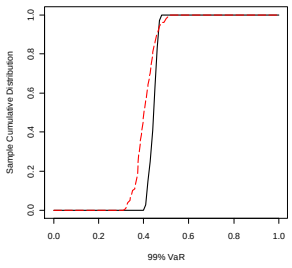
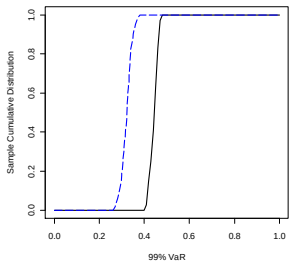
จากภาพที่ ข.13 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7 ตามลำดับ

ภาพที่ ข.14 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 4.2

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
12	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -1.41 $\beta_{2,t}$ = 1.41	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

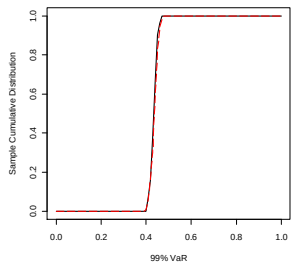
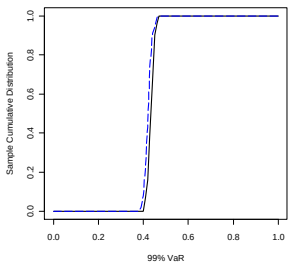
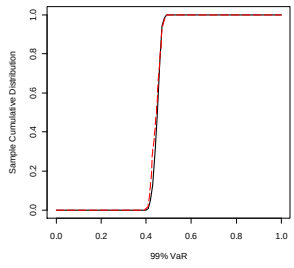
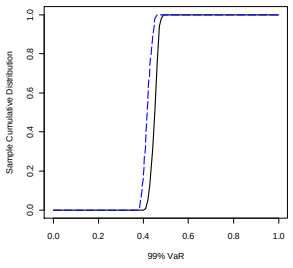
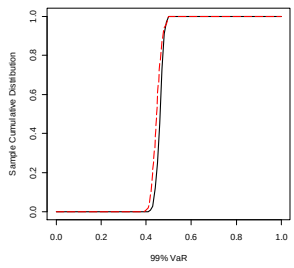
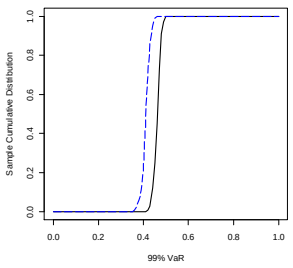
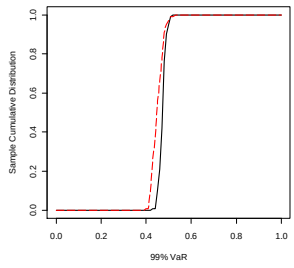
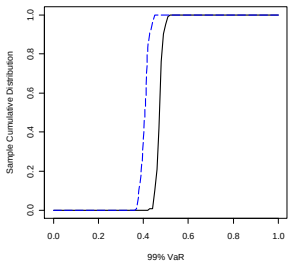
จากภาพที่ ข.14 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.15 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 4.3

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
12	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -3.54 $\beta_{2,t}$ = 3.54	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

จากภาพที่ ข.15 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาพที่ ข.16 แสดงกราฟ e.c.d.f. ของมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และHCopula_Est (กราฟเส้นสีแดง) และมูลค่าความเสี่ยงระหว่าง HCopula_Real (กราฟเส้นสีดำ) และ H_Est (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ของกรณีศึกษาที่ 4.4

T	$\beta_{k,t}$	ρ	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. HCopula_Est	e.c.d.f.: HCopula_Real VS. H_Est
12	$\beta_{0,t}$ = -3 $\beta_{1,t}$ = -7.07 $\beta_{2,t}$ = 7.07	0.1		
		0.3		
		0.5		
		0.7		

จากภาพที่ ข.16 จะเห็นว่ามูลค่าความเสี่ยงของ HCopula_Est จะมีค่าใกล้เคียงกับ HCopula_Real มากกว่ามูลค่าความเสี่ยงของ H_Est และ HCopula_Real เมื่อ ρ = 0.1, 0.3, 0.5 และ0.7ตามลำดับ

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการใช้โปรแกรม R ในการดำเนินงานวิจัย

```
# ---------------------------------- #
#         Defind Variables
# ---------------------------------- #
# HCReal = Hazard Copula Real Model
# HCEst = Hazard Copula Estimate Model
# HEst = Hazard Estimate Model

rhovec <- c();
HCEstbeta0realvec <- c();
HCEstbeta1realvec <- c();
HCEstbeta2realvec <- c();

HEstbeta0vec <- c();
HEstbeta1vec <- c();
HEstbeta2vec <- c();

rho1vec <- c();
rho2vec <- c();
diffrhovec <- c();

HCRealvar99vec <- c();
HCEstvar99vec <- c();
HEstvar99vec <- c();

# ---------------------------------- #
#       STEP: Simulate Data
# ---------------------------------- #

for(outeri in 1:100){

numperiod <- 3;
numcustomer <- 1000;
Z <- rnorm(numperiod);
X1 <- rnorm(numcustomer);
X2 <- rnorm(numcustomer);
BETA0 <- (-3);
BETA1 <- (-0.71);
BETA2 <- (0.71);
RHO <- 0.1;
beginmonthframe <- data.frame(Date=0,ID=rep(1:numcustomer),
                    Y=0,Dfdate=0,Ystar=0,X1=X1,X2=X2);
allframe <- c();
```

```
j <- 1;

while(j <= numperiod){

      beginmonthframe$Date <- j
      beginmonthframe$Ystar<- BETA0+(BETA1*beginmonthframe$X1)
                              +(BETA2*beginmonthframe$X2)
                              +(sqrt(RHO)*Z[j])+(sqrt(1-RHO)
                              *rnorm(nrow(beginmonthframe)));

      beginmonthframe$Y <- ifelse(beginmonthframe$Ystar
                            > 0,1,0);
      beginmonthframe$Dfdate <- ifelse(beginmonthframe$Ystar
                                > 0,j,0);

      validateframe <- beginmonthframe$Y
                      [(beginmonthframe$Y != 0)];

      if(length(validateframe) > 0){
            allframe <- rbind(allframe,beginmonthframe);
            beginmonthframe <- beginmonthframe
                              [(beginmonthframe$Y == 0),];
            j <- j+1;
      }
      else{
            Z <- rnorm(numperiod);
            X1 <- rnorm(numcustomer);
            X2 <- rnorm(numcustomer);
            beginmonthframe <- data.frame(Date=0,
                               ID=rep(1:numcustomer),Y=0,
                               Dfdate=0,Ystar=0,X1=X1,X2=X2);
            j <- 1;
            allframe <- c();
      }
}

allframe <- data.frame(Date=allframe$Date,ID=allframe$ID,
            Y=allframe$Y,Dfdate=allframe$Dfdate,Ystar=allframe$Y
            star,X1=allframe$X1,X2=allframe$X2);

for(i in c(1:4))
      allframe[[i]]<-as.factor(allframe[[i]]);

summary(allframe);

#-------------------------------------------------------------#
```

```
# ---------------------------------- #
#     STEP: Estimate(Fit) Model
# ---------------------------------- #
# Hdatafit column : Date, Y, X1, X2 (allframe column: Date, ID, Y,
Dfdate, Ystar, X1, X2) #

Hdatafit <- allframe[,c(-2,-4,-5)];
nummonth <- nlevels(Hdatafit$Date);

# ----- HCEst = Hazard Copula Estimate Model ----- #

HCfitmodel <- glm(Y~0+.,family=binomial
             (link="probit"),data=Hdatafit);
HCcoefvec <- coef(HCfitmodel);
ztemp <- HCcoefvec[1:nummonth];
HCEstbeta0 <- mean(ztemp);
sdztemp <- sd(ztemp);
rho <- sdztemp^2/(1+sdztemp^2);
z <- (ztemp-HCEstbeta0)/sdztemp;
HCEstbeta <- HCfitmodel$coef[(length(HCfitmodel$coef)-1)
             :length(HCfitmodel$coef)];

HCEstbeta0real <- HCEstbeta0*sqrt(1-rho);
HCEstbeta1real <- HCcoefvec[numperiod+1]*sqrt(1-rho);
HCEstbeta2real <- HCcoefvec[numperiod+2]*sqrt(1-rho);
HCEstbetareal <- c(HCEstbeta1real,HCEstbeta2real);

rhovec <- c(rhovec,rho);
HCEstbeta0realvec <- c(HCEstbeta0realvec,HCEstbeta0real);
HCEstbeta1realvec <- c(HCEstbeta1realvec,HCEstbeta1real);
HCEstbeta2realvec <- c(HCEstbeta2realvec,HCEstbeta2real);

# ----- HEst = Hazard Estimate Model ----- #

Hfitmodel <- glm(Y~X1+X2,family=binomial(link="probit"),
             data=Hdatafit);
HEstbeta0 <- Hfitmodel$coef[1]
HEstbeta1 <- Hfitmodel$coef[2]
HEstbeta2 <- Hfitmodel$coef[3]
HEstbeta <- Hfitmodel$coef[(length(Hfitmodel$coef)-1)
            :length(Hfitmodel$coef)];

HEstbeta0vec <- c(HEstbeta0vec,HEstbeta0);
HEstbeta1vec <- c(HEstbeta1vec,HEstbeta1);
HEstbeta2vec <- c(HEstbeta2vec,HEstbeta2);
#-------------------------------------------------------------#
```

```
##### Prepare predicted data set #####
# Hdatafit column : Date,Y,X1,X2 #

firstdate <- min(as.numeric(as.character(Hdatafit$Date)));
Hdatasimstart <- Hdatafit[(as.numeric(as.character
                (Hdatafit$Date))==firstdate),];
numcustomernext <- nrow(Hdatasimstart);
Hdatasimstart <- Hdatasimstart[c(-1,-2)];

#-------------------------------------------------------------#


# ---------------------------------- #
#            STEP: Ranking
# ---------------------------------- #

# ----- HCReal = Hazard Copula Real Model ----- #

HCRealdatarank <- as.matrix(Hdatasimstart);
HCRealbeta <- c(BETA1,BETA2);
HCRealscore <- BETA0 + HCRealdatarank%*%HCRealbeta;


# ----- HCEst = Hazard Copula Estimate Model ----- #

HCEstdatarank <- as.matrix(Hdatasimstart);
HCEstscore <- HCEstbeta0real + HCEstdatarank%*%HCEstbetareal;


# ----- HEst = Hazard Estimate Model ----- #

HEstdatarank <- as.matrix(Hdatasimstart);
HEstscore <- HEstbeta0 + HEstdatarank%*%HEstbeta;

rho1 <- cor(HCRealscore,HCEstscore,method = "spearman");
rho2 <- cor(HCRealscore,HEstscore,method = "spearman");
diffrho <- rho1-rho2;

rho1vec <- c(rho1vec,rho1);
rho2vec <- c(rho2vec,rho2);
diffrhovec <- c(diffrhovec,diffrho);

#-------------------------------------------------------------#
```

```
# ---------------------------------- #
#        STEP: Value at Risk
# ---------------------------------- #

nummonthnext <- 3;

# ----- HCReal = Hazard Copula Real Model ----- #

HCRealdfrate <- c();

for(round1 in 1:1000){
      HCRealdatasim <- as.matrix(Hdatasimstart);
      HCRealdfnum <- 0;

      for(period1 in 1:nummonthnext){

            HCReallinkvec <- (BETA0 + HCRealdatasim%*%HCRealbeta
                            + sqrt(RHO)*rnorm(1))/sqrt(1-RHO);
            HCRealpdq <- pnorm(HCReallinkvec);
            HCRealyvec <- ifelse(runif(length(HCRealpdq))
                          < HCRealpdq,1,0);
            HCRealdfnum <- HCRealdfnum+sum(HCRealyvec);
            HCRealdatasim <- HCRealdatasim[HCRealyvec==0,];
            HCRealdatasim <- as.matrix(HCRealdatasim);
      }
      HCRealdfrate <- c(HCRealdfrate,HCRealdfnum/
                        numcustomernext);
}

HCRealvar99 <- quantile(HCRealdfrate,0.99);

# ----- HCEst = Hazard Copula Estimate Model ----- #

HCEstdfrate <- c();

for(round2 in 1:1000){
      HCEstdatasim <- as.matrix(Hdatasimstart);
      HCEstdfnum <- 0;

      for(period2 in 1:nummonthnext){

            HCEstlinkvec <- HCEstbeta0 + HCEstdatasim%*%
                            HCEstbeta + sdztemp*rnorm(1);
            HCEstpdq <- pnorm(HCEstlinkvec);
            HCEstyvec <- ifelse(runif(length(HCEstpdq))
                         < HCEstpdq,1,0);
```

```
            HCEstdfnum <- HCEstdfnum+sum(HCEstyvec);
            HCEstdatasim <- HCEstdatasim[HCEstyvec==0,];
            HCEstdatasim <- as.matrix(HCEstdatasim);
      }
      HCEstdfrate <- c(HCEstdfrate,HCEstdfnum/numcustomernext);
}

HCEstvar99 <- quantile(HCEstdfrate,0.99);


# ----- HEst = Hazard Estimate Model ----- #

HEstdfrate <- c();

for(round3 in 1:1000){
      HEstdatasim <- as.matrix(Hdatasimstart);
      HEstdfnum <- 0;

      for(period3 in 1:nummonthnext){

            HEstlinkvec <- HEstbeta0 + HEstdatasim%*%HEstbeta;
            HEstpdq <- pnorm(HEstlinkvec);
            HEstyvec <- ifelse(runif(length(HEstpdq))
                        < HEstpdq,1,0);
            HEstdfnum <- HEstdfnum+sum(HEstyvec);
            HEstdatasim <- HEstdatasim[HEstyvec==0,];
            HEstdatasim <- as.matrix(HEstdatasim);
      }
      HEstdfrate <- c(HEstdfrate,HEstdfnum/numcustomernext);
}

HEstvar99 <- quantile(HEstdfrate,0.99);

HCRealvar99vec <- c(HCRealvar99vec,as.numeric(HCRealvar99));
HCEstvar99vec <- c(HCEstvar99vec, as.numeric(HCEstvar99));
HEstvar99vec <- c(HEstvar99vec, as.numeric(HEstvar99));
}

#-------------------------------------------------------------#
```

```
##### Summary Ranking #####
      # Hypothesis

      t.test(rho1vec,rho2vec,paired=TRUE);
      sd(rho1vec-rho2vec);


##### Summary Value at Risk #####
      # Hypothesis

      diff1 <- (HCRealvar99vec-HCEstvar99vec);
      diff2 <- (HCRealvar99vec-HEstvar99vec);
      t.test(diff2,diff1,"greater",paired=TRUE);


##### Plot ecdf: Value at Risk #####
# ecdf : Empirical Cumulative Distribution Function

index <- seq(0,1,by=0.01);
ecdfHCRealvar99 <- ecdf(HCRealvar99vec);
ecdfHCEstvar99 <- ecdf(HCEstvar99vec);
ecdfHEstvar99 <- ecdf(HEstvar99vec);

plot(index,ecdfHCRealvar99(index),type="l", xlab="99% VaR",
           ylab="Sample Cumulative Distribution", lwd=2);

points(index,ecdfHCEstvar99(index),type="l",col="red",lty=5,
           lwd=2);

windows()

plot(index,ecdfHCRealvar99(index),type="l",xlab="99% VaR",
           ylab="Sample Cumulative Distribution", lwd=2);

points(index,ecdfHEstvar99(index),type="l",col="blue",lty=5,
           lwd=2);

#-------------------------------------------------------------#
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศรัณยา สมทรง เกิดวันพฤหัสบดีที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2530 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถิติศาสตรมหาบัณฑิต (สต.ม.) สาขาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2552