การประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีตัวแบบคณิตศาสตร์ประกันภัย สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการในธุรกิจประกันภัย

นางสาวนรีรัตน์ รัตนพรชัยกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการประกันภัย ภาควิชาสถิติ
คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
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.

ECONOMIC CAPITAL VALUATION VIA ACTUARIAL MODEL FOR OPERATIONAL RISK IN INSURANCE BUSINESS

Miss Nareerat Rattanapornchaikul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Insurance

Department of Statistics

Faculty of Commerce and Accountancy

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีตัวแบบคณิตศาสตร์ประกันภัย สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการในธุรกิจประกันภัย
โดย	นางสาวนรีรัตน์ รัตนพรชัยกุล
สาขาวิชา	การประกันภัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ฐิติวดี ชัยวัฒน์

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี
(รองศาสตราจารย์ ดร. พสุ เดชะรินทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จลีพร โกลากุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฐิติวดี ชัยวัฒน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรส ใหญ่สว่าง)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สุธี โมกขะเวส)

นรีรัตน์ รัตนพรชัยกุล: การประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีตัวแบบคณิตศาสตร์ประกันภัย สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการในธุรกิจประกันภัย. (ECONOMIC CAPITAL VALUATION VIA ACTUARIAL MODEL FOR OPERATIONAL RISK IN INSURANCE BUSINESS)อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ฐิติวดี ชัยวัฒน์, 89 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษา การประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการในธุรกิจประกันภัย โดยใช้แบบจำลองภายใน (Internal Model) จากข้อมูลความเสียหายภายในองค์กร ด้วยวิธีแบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัย (Actuarial Model) ที่อ้างอิงวิธีการวัดขั้นสูง (Advanced Measurement Approaches (AMA)) เพื่อคำนวณเงินกองทุนในการรองรับความเสียหายที่มีสาเหตุมาจากความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ งานวิจัยนี้ได้กำหนดสมมติฐานโดยใช้การแจกแจงปัวซองกับข้อมูลการแจกแจงความถี่ โดยผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การคำนวณเงินกองทุนโดยวิธีการวัดมูลค่าความเสี่ยง (Value at Risk (VaR)) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซนต์ มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณเงินกองทุนโดยวิธีดัชนีพื้นฐาน (Basic Indicator Approaches (BIA)) และเมื่อปรับจำนวนครั้งในการเกิดความเสียหาย (แลมด้า) เพิ่มขึ้นและลดลงจากข้อมูลเดิม +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์นั้นพบว่า เมื่อจำนวนครั้งของการเกิดความเสียหายที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้บริษัทต้องดำรงเงินกองทุนที่เพิ่มขึ้นมากและเพิ่มในอัตราส่วนที่สูงกว่าการลดลงของเงินกองทุนเมื่อจำนวนครั้งของความเสี่ยงด้านปฏิบัติการเกิดน้อยลง นอกจากนั้นงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อคำนวณเงินกองทุนโดยใช้วิธีการรวมมูลค่าความเสี่ยงภายใต้สมมติฐานความเสียหายรวมของแต่ละประเภทความเสียหายที่มีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ จะทำให้เงินกองทุนที่ได้มีมูลค่าสูงเกินไป เมื่อใช้เทคนิคคอปปูลาในการสร้างแบบจำลองของโครงสร้างความสัมพันธ์ที่เกินกว่าความสัมพันธ์เชิงเส้น ผลวิจัยพบว่า คอปปูลาสามารถลดความสัมพันธ์ของความเสี่ยงด้านปฏิบัติการต่างๆร่วมได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ของการกระจายความเสี่ยง ส่งผลให้เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการลดลง

ภาควิชา สถิติ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา การประกันภัย ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2555

5381814526 : MAJOR INSURANCE

KEYWORDS : OPERATIONAL RISK / ADVANCED MEASUREMENT APPROACHES / ACTURIAL MODEL / ECONOMIC CAPITAL / OPERATIONAL VAR / COPULA / BASEL III

NAREERAT RATTANAPORNCHAIKUL : ECONOMIC CAPITAL VALUATION VIA ACTUARIAL MODEL FOR OPERATIONAL RISK IN INSURANCE BUSINESS.

ADVISOR : ASSOC. PROF. THITIVADEE CHAIYAWAT, Ph.D., 89 pp.

This research aims to assess economic capital for operational risk in insurance business using internal operational loss data according to Advanced Measurement Approaches (AMA). Recently, a trend in management and measurement of the operational risk for insurance industry is based on a Basel-based framework. The assumption of this research is solely based on Poisson distribution for loss frequency data. The result has indicated that the economic capital measured by value-at-risk (VaR) at 99% confidence level is not much different from the amount calculated by Basic Indicator Approach (BIA). An adjustment of parameter (lambda) upward and downward has highlighted that an increase in the parameter have a significant impact on the capital much more than a decrease in the parameter from the same adjusted levels.

A commonly used method of summation of VaR measures with full correlation assumption may generally tend to over-estimate the amount of risk capital. This research also studies Copulas that can be used to model advanced dependence structure of operational risks beyond linear. The result shows that a copula can capture the nature of dependence that support the idea diversification benefit and would result in a significant reduction in operational risk capital.

.

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

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

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สาเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจากท่านรองศาสตราจารย์ ดร. ฐิติวดี ชัยวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ถ่ายทอดวิชาความรู้และประสบการณ์ด้านต่างๆ แก่ผู้วิจัยอย่างเต็มที่ และได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ แก่ผู้วิจัย รวมทั้งให้กำลังใจ ดูแลเอาใจใส่ อบรม ตักเตือนด้วยความรัก ติดตามการทำวิทยานิพนธ์ และให้โอกาสในการเรียนรู้แก่ผู้วิจัยด้วยความปรารถนาดีเสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สาเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยรู้สึกรักและซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่กราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ จลีพร โกลากุล รองศาสตราจารย์ เสาวรส ใหญ่สว่าง และ ดร. สุธี โมกขะเวสที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร. ชญานิน เกิดผลงาม ในความกรุณาให้คำแนะนำการทำวิจัย นำองค์ความรู้มาประยุกต์ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพื่อต่อยอดในการพัฒนาธุรกิจประกันไทย และ ดร.รุ้งรวี อำนาจตระกูล ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษา รวมทั้ง ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณ คุณมนสันต์ มฤคทัต คุณกรกฎ วัฒนวีร์ คุณกัมพล กมลรัตน์ธาดา คุณจักรพงศ์ เกียรติดำรง ที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ และแลกเปลี่ยนความรู้กับผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอบคุณเพื่อนๆ ทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ รวมถึงผู้ให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ทุกท่านทั้งที่ได้เอ่ยนามและไม่ได้เอ่ยนาม

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่เป็นกำลังใจที่สำคัญ ในการสนับสนุนช่วยเหลือด้านทุนทรัพย์ ให้ความเข้าใจ ความรัก และเป็นกำลังใจอย่างดีที่สุดกับผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 3
1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย 3
1.6 คำจำกัดความของงานวิจัย 3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
1.8 วิธีการดำเนินงาน 5
1.9 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย 6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 แนวคิดและทฤษฎี 7
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 35
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 39
3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 39
3.2 ข้อมูลที่นำมาคำนวณ 40
3.3 การเตรียมข้อมูล 42
3.4 การประมาณค่าข้อมูล 46
3.5 การจำลองข้อมูลในการสร้างตัวแบบความเสียหายรวม 51
3.6 การคำนวณมูลค่าความเสี่ยง 53
3.7 คอปปูลา 54

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 60
4.1 ผลการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ 61
4.2 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว 66
4.3 เปรียบเทียบมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างแบบจำลองที่มีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและประเภทของความเสี่ยงมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ กับ แบบการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลา 69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 79
5.1 สรุปผลการวิจัย 79
5.2 อภิปรายผลการวิจัย 83
5.3 ข้อเสนอแนะ 85
รายการอ้างอิง 87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 89

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านปฏิบัติการและกิจกรรมตัวอย่าง 14
3.1 แสดงชื่อย่อของประเภทของเหตุการณ์ความเสียหาย 40
4.1 แสดงผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลความเสียหายด้านการปฏิบัติการ 62
4.2 แสดงผลการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการวัดมูลค่าความเสี่ยงที่ ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ 65
4.3 แสดงผลของมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ 66
4.4 แสดงมูลค่าและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่มีการปรับ จากค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ 67
4.5 แสดงผลการทดสอบทางสถิติของตัวแปรสุ่มร่วมระหว่างเทคนิค เกาซ์เซียนคอปปูลา และ สติวเดนท์ทีคอปปูลาที่มีองศาอิสระเท่ากับ 1 2 และ 3 71
4.6 แสดงการเปรียบเทียบมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างแบบจำลองที่มี สมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและแต่ละประเภทเหตุการณ์ความเสียหายมีความสัมพันธ์ กันอย่างสมบูรณ์และแบบการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลาที่ประกอบด้วย เกาซ์เซียนคอปปูลาและสติวเดนท์ทีคอปปูลาที่มีองศาอิสระเท่ากับ 1 2 และ 3 ที่ระดับความเชื่อมั่น ณ 95 ที่ 99 และ ที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์ 73
4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ของแบบจำลองตัวแปรสุ่มร่วม ด้วยเทคนิค เกาซ์เซียนคอปปูลาและ สติวเดนท์ทีคอปปูลาที่มีองศาอิสระ 1 2 และ 3 ที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับแบบจำลองที่มีสมมติฐานว่าความสัมพันธ์แต่ละ สายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ 74

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

4.1 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) แผนภาพ Q-Q plot และ P-P plot ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้าน ลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ 63

4.2 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) แผนภาพ Q-Q plot และ P-P plot ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านอื่นๆ 63

4.3 แสดงการแจกแจงความเสียหายรวมที่เกิดจากความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านลูกค้าผลิตภัณฑ์ และ วิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ 64

4.4 แสดงการแจกแจงความเสียหายรวมที่เกิดจากความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านอื่นๆ 64

4.5 แสดงการแจกแจงความเสียหายรวมที่เกิดจากการรวมที่เกิดจากประเภทความเสียหายทั้ง 2 ประเภท 65

4.6 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) แผนภาพ Q-Q plot และ P-P plot ของประเภทความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติ ในการดำเนินธุรกิจจากการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคคอปปูลา 70

4.7 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) แผนภาพ Q-Q plot และ P-P plot ของประเภทความเสียหายอื่นๆจากการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคคอปปูลา 70

4.8 แสดงแผนภาพการกระจายที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ด้วย เกาซ์เซียนคอปปูลา สำหรับคู่ความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจและความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายด้านอื่นๆ 76

4.9 แสดงแผนภาพการกระจายที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ด้วย สติวเดนท์ทีคอปปูลา องศาอิสระเท่ากับ 1 (T, v=1) สำหรับคู่ความเสี่ยงด้านที่เกิดจากความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ แลความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายด้านอื่นๆ 76

ภาพที่ หน้า

4.10 แสดงแผนภาพการกระจายที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ด้วย สติวเดนท์ทีคอปปูลา องศาอิสระเท่ากับ 2 (T, v=2) สำหรับคู่ความเสี่ยงด้านที่เกิดจากความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ แลความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายด้านอื่นๆ ---- 77

4.11 แสดงแผนภาพการกระจายที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ด้วย สติวเดนท์ทีคอปปูลา องศาอิสระเท่ากับ 3 (T, v=3) สำหรับคู่ความเสี่ยงด้านที่เกิดจากความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ แลความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายด้านอื่นๆ ---- 77

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากวิกฤตการเงินในต่างประเทศอย่างเช่นในกรณี American International Group (AIG) ในสหรัฐอเมริกา รวมทั้งเหตุการณ์ภัยพิบัติต่างๆที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้คาดคิดเช่น แผ่นดินไหวในญี่ปุ่น เหตุการณ์น้ำท่วมในประเทศไทยในปีพ.ศ. 2554 เหตุการณ์เหล่านี้ล้วนมีแนวโน้มที่จะเกิดเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสถาบันการเงินมูลค่ามหาศาล มีสาเหตุมาจากความล้มเหลวในการควบคุม ป้องกัน และการตรวจสอบที่ดีของสถาบันทางการเงินและปัจจัยภายนอกอย่างภัยธรรมชาติ ซึ่งความเสียหายดังกล่าวล้วนเป็นความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ดังนั้น คงไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการนั้นเริ่มมีบทบาทสำคัญและยังส่งผลกระทบต่อความเสี่ยงด้านอื่นๆ และส่งผลต่อการดำเนินงาน ภาวะความมั่นคงทางการเงิน ชื่อเสียง สถาบันทางการเงิน

จากปัญหาดังกล่าวทำให้สถาบันการเงินหลักในประเทศไทยอย่างเช่น ธุรกิจธนาคารพาณิชย์ ธุรกิจประกันภัย ธุรกิจหลักทรัพย์ และสถาบันทางการเงินอื่นๆ เริ่มคำนึงถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการประกอบธุรกิจและปัจจัยต่างๆที่มากระทบต่อการดำเนินงาน และได้นำแนวทางการบริหารความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการมาปฏิบัติใช้ ดังนั้น การมีระบบการบริหารความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่ดีจะเป็นเครื่องมือที่จะช่วยให้บริษัทสามารถดำเนินการบรรลุเป้าหมาย ช่วยลดความความเสี่ยงด้านอื่นๆรวมทั้งลดต้นทุนในการดำเนินงานและสามารถนำพาบริษัทไปสู่การพัฒนาและเติบโตอย่างยั่งยืน นอกจากการมีแนวทางบริหารความเสี่ยงดังกล่าวแล้ว กลุ่มธุรกิจยังต้องมีการจัดสรรเงินกองทุนหรือเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์เพื่อรองรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการเพื่อให้มีเงินทุนในการรองรับหากมีความเสียหายจากการปฏิบัติการเกิดขึ้น

ทั้งนี้ธนาคารแห่งประเทศไทย (ธปท.) ซึ่งเป็นสถาบันการเงินหลักของประเทศไทย ที่อิงหลักเกณฑ์ Basel III ของคณะกรรมการด้านการกำกับดูแลภาคการธนาคารในระดับสากล (Basel Committee on Banking Supervision (BCBS)) ได้ประกาศใช้แนวทางเรื่องหลักเกณฑ์การดำรงเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ โดยวิธีการวัดขั้นสูง (Advanced Measurement Approach (AMA)) ในการบริหารความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการทั้งในเกณฑ์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

ในขณะที่ธุรกิจประกันภัย คณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจประกันภัย (คปภ.) ได้มีการประกาศคู่มือในการบริหารความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการในเกณฑ์เชิงคุณภาพ จึงทำให้นิสิตเกิดแนวความคิดในการนำ แนวทางเรื่องหลักเกณฑ์การดำรงเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่วิธีการวัดขั้นสูง (AMA) โดยประยุกต์ใช้วิธีแบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัย (Actuarial Model) ในการคิดคำนวณเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการมาประยุกต์ใช้ในธุรกิจประกันภัยเพื่อเป็นแนวทางในการดำรงเงินกองทุนที่เหมาะสมตามระดับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่บริษัทควรมีเพื่อรองรับความเสียหายที่เกิดขึ้นจากความเสี่ยงดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการตามแนววิธีการวัดขั้นสูง (AMA) โดยใช้วิธีแบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัย (Actuarial Model)
2. วิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) โดยมีการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์เมื่อพารามิเตอร์แลมด้า หรือ ระดับความถี่ (จำนวนครั้งต่อปี) ที่แตกต่างกัน
3. เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้การจำลองตัวแปรสุ่มร่วมระหว่างเทคนิค เกาซ์เซียนคอปปูลา (Gaussian Copula) และ สติวเดนท์ทีคอปปูลา (Student's t Copula)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. คำนวณเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ข้อมูลความเสียหายด้านการปฏิบัติการ (Operational Loss) ระหว่างปี พ.ศ. 2551 – 2555
2. การประมาณค่าฟังก์ชันความเสี่ยงร่วมโดยใช้เกาซ์เซียนคอปปูลา (Gaussian Copula) และสติวเดนท์ทีคอปปูลา (Student's t Copula)
3. ประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์

4. ประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum-Likelihood Estimators (MLE)) และทดสอบความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ (Goodness-of- Fit test) ด้วยวิธีคอลโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Goodness-of- Fit test (K-S))

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

ใช้การแจกแจงปัวซองกับข้อมูลการแจกแจงความถี่

1.5 ข้อจำกัดของการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้คำนวณเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการเป็นความเสียหายที่ได้จากข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2551– 2555 ของบริษัทประกันภัยแห่งหนึ่งเท่านั้น

1.6 คำจำกัดความของงานวิจัย

ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ หมายถึง ความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายโดยอาจเกิดขึ้นจาก ความล้มเหลว ความไม่เพียงพอ หรือความไม่เหมาะสมของกระบวนการปฏิบัติงานภายในบุคลากร ระบบงาน หรือเหตุปัจจัยภายนอก ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลการดำเนินงาน และ/หรือ ฐานะทางการเงินของบริษัทประกันภัย โดยสามารถแบ่งเป็น 7 สาเหตุ คือ 1) การฉ้อโกงโดยบุคคลภายใน 2) การฉ้อโกงโดยบุคคลนอก 3) การจ้างงานและความปลอดภัยในสถานที่ปฏิบัติงาน 4) ลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ 5) ความเสียหายต่อทรัพย์สิน 6) ธุรกิจหยุดชะงักและระบบงานล่ม 7) การปฏิบัติการ การส่งมอบ และการจัดการกระบวนการ

การแจกแจงความเสียหายรวม คือ การรวมความเสียหายของ การแจกแจงความถี่ และ ความเสียหายของแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายของธุรกิจประกันภัย

วิธีการดำรงเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ

1) วิธีดัชนีพื้นฐาน (Basic Indicator Approach (BIA)) คือ วิธีการคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากผลคูณของรายได้การดำเนินงานเฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปีกับค่าคงที่ความเสี่ยง α เฉพาะปีที่มีค่าบวก

2) วิธีมาตรฐาน (Standardized Approach (SA-OR)) คือ วิธีการคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากผลคูณของรายได้การดำเนินงานของแต่ละสายธุรกิจธนาคารพาณิชย์ 8 ประเภทกับค่าคงที่ความเสี่ยง β ที่กำหนดแตกต่างกันตามประเภทของสายธุรกิจธนาคารพาณิชย์ 8 ประเภท

3) วิธีการวัดขั้นสูง (Advanced Measurement Approaches (AMA)) คือ วิธีการคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากการใช้ข้อมูลภายในและข้อมูลภายนอกในการสร้างแบบจำลองภายในเพื่อคาดการณ์ความเสียหายด้านปฏิบัติการในอนาคต วิธีการวัดขั้นสูง (AMA) แบ่งออกเป็น 3 วิธีดังต่อไปนี้

3.1) วิธีการวัดภายใน (Internal Measurement Approach (IMA)) คือ วิธีการคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากการคำนวณค่าประมาณการสูญเสียหรือค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (The expected loss (EL)) โดยหาจาก ผลคูณของ $EI \times PE \times LGE$ ของแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการและใช้ค่าพารามิเตอร์ γ ในการปรับค่าของเงินกองทุนสำหรับส่วนของความเสียหายที่ไม่ได้คาดไว้ล่วงหน้า (The unexpected loss (UL))

3.2) วิธีการประเมิณระดับคะแนน (The Scorecard Approach (ScA)) คือ วิธีการคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากการใช้เกณฑ์ระดับคะแนนในการปรับค่าใหม่ในการคำนวณเงินกองทุนทุก 1 ปี

3.3) วิธีการประมาณการแจกแจงความเสียหาย (Loss Distribution Approach (LDA)) คือ วิธีการคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากการคำนวณมูลค่าความเสี่ยงแต่ละคู่สายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการคำนวณเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัย
2. เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นให้บริษัทประกันภัยในการสร้างตัวแบบคำนวณเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ

1.8 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการเชิงปริมาณตามกรอบของบาเซลทู (Basel II)
2. ศึกษาวิธีการประมาณการแจกแจงความเสียหาย (LDA) ตามแนววิธีวิธีการวัดขั้นสูงในการประเมินความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการเชิงปริมาณ
3. ศึกษาการวัดมูลค่าความเสี่ยง (Value at Risk) และรูปแบบของฟังก์ชันคอปปูลาในกลุ่มอีลิปติเคิล (Elliptical) คือ เกาซ์เซียนคอปปูลา (Gaussian Copula) และสติวเดนท์ทีคอปปูลา (Student's t Copula)
4. เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาจำลองสถานการณ์ (Simulation)
5. การประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ โดยใช้วิธีแบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัย (Actuarial Model)
6. ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) โดยการเปรียบเทียบมูลค่าของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์หรือแลมด้า (Lambda) ในระดับที่แตกต่างกัน
7. ประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้การจำลองตัวแปรสุ่มร่วมระหว่างเทคนิค เกาซ์เซียนคอปปูลา (Gaussian Copula) และ สติวเดนท์ทีคอปปูลา (Student's t Copula)
8. เปรียบเทียบระดับของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างสมมติฐานที่มีโครงสร้างความสัมพันธ์ความเสียหายรวมของเหตุการณ์ความเสี่ยงที่เป็นอิสระต่อกันกับสมมติฐานที่มีจากการกระจายความเสี่ยงเมื่อใช้ฟังก์ชันคอปปูลาในกลุ่มอีลิปติเคิล (Elliptical Copulas)

9. วิเคราะห์เปรียบเทียบผลข้อมูล

10.เขียนรายงาน และทำการสรุปผลข้อมูล

1.9 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งเนื้อหาการนำเสนอออกเป็น 5 บท โดยบทที่ 1 ได้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา รวมถึงวัตถุประสงค์การวิจัยและข้อจำกัดต่างๆ ในงานวิจัย บทที่ 2 จะกล่าวถึงงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการในการดำเนินงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น บทที่ 4 กล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูล และ ผลการเปรียบเทียบที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ ในบทสุดท้ายบทที่ 5 จะกล่าวสรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอต่างๆ สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีรวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ซึ่งประกอบด้วย เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ด้านการปฏิบัติการ วิธีการวัดขั้นสูงวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกันภัย มูลค่าความเสี่ยง และคอปปูลา

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 เงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ (Operational risk capital)

คณะกรรมการด้านการกำกับดูแลภาคการธนาคารในระดับสากล (Basel Committee on Banking Supervision (BCBS))ได้ออกหลักเกณฑ์ Basel II ในการคำนวณเงินกองทุนเพื่อรองรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการเพิ่มเติมจากความเสี่ยงด้านเครดิต และความเสี่ยงด้านตลาดจาก Basel I หลักเกณฑ์ การดำรงเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ เป็นส่วนหนึ่งของ เสาหลักที่ 1 ในการดำรงเงินกองทุนขั้นต่ำ (BIS, 2001) ได้มีการแบ่งการคิดคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ 3 วิธีดังนี้

2.1.1.1 วิธีดัชนีพื้นฐาน (Basic Indicator Approach (BIA))

$$K_{BIA} = \alpha \times \frac{\sum_{j=1}^{n} GI}{n}$$

โดย K_{BIA} = ฐานเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่คำนวณตามวิธี BIA

GI = รายได้จากการดำเนินงานย้อนหลัง3 ปี เฉพาะที่มีค่าบวก

α = ค่าคงที่ความเสี่ยงตามวิธีBIA

n = จำนวนปีที่รายได้จากการดำเนินงานมีค่าบวก

วิธีดัชนีพื้นฐาน หรือ วิธี BIA เป็นการคำนวณฐานเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปีของผลคูณค่าคงที่ α กับรายได้จากการดำเนินงาน ในกรณีที่รายได้จากการดำเนินงานในปีใดมีค่าติดลบหรือเท่ากับศูนย์ให้ตัดรายได้ดังกล่าวออกจากตัวเศษและตัดปีดังกล่าวออกจากจำนวนปีในตัวส่วน

2.1.1.2 วิธีมาตรฐาน (Standardized Approach (SA-OR))

$$K_{SA-OR} = \frac{\sum_{year\ 1-3} \max\left[\sum(GI_{1-8} \times \beta_{1-8}), 0\right]}{3}$$

โดย K_{SA-OR} = ฐานเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่คำนวณตามวิธี SA-OR

GI_{1-8} = รายได้จากการดำเนินงานของแต่ละสายธุรกิจ 8 ประเภท

β_{1-8} = ค่าคงที่ความเสี่ยงตามวิธี SA-ORที่กำหนดแตกต่างกันตามประเภทของสายธุรกิจ 8 ประเภท

วิธีมาตรฐาน หรือ วิธี SA-OR เป็นการคำนวณฐานเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากแต่ละสายธุรกิจ โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 3 ปี ของผลรวมฐานเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับแต่ละสายธุรกิจธนาคารพาณิชย์ ในแต่ละปีที่คำนวณได้จาก ผลคูณรายได้จากการดำเนินงานกับค่าคงที่ความเสี่ยงกำหนดแตกต่างกันตามประเภทของสายธุรกิจธนาคารพาณิชย์ 8 ประเภท (β)

กรณีที่ฐานเงินกองทุนขั้นต่ำของของสายธุรกิจใดติดลบ ให้นำฐานเงินกองทุนขั้นต่ำที่ติดลบของสายธุรกิจนั้นมาหักกลบกับฐานเงินกองทุนขั้นต่ำที่เป็นบวกของสานธุรกิจอื่นๆในปีเดียวกันได้ ทั้งนี้ เมื่อหักกลบกันแล้ว ฐานเงินกองทุนขั้นต่ำรวมในปีใดยังมีค่าติดลบ ให้ถือว่าฐานเงินกองทุนขั้นต่ำในปีนั้นเป็นศูนย์ โดยที่ตัวหารยังคงเป็น 3 ปีเช่นเดิม

หมายเหตุ : หน้า 12 รายละเอียด ประเภทสายธุรกิจธนาคารพาณิชย์ (Business Lines)

2.1.1.3 วิธีการวัดขั้นสูง (Advanced Measurement Approaches (AMA))

2.1.1.3.1 วิธีการวัดภายใน (Internal Measurement Approach (IMA))

$$K_{IMA} = \sum_{j=1}^{8} \sum_{k=1}^{7} \gamma_{jk} \times EI_{jk} \times PE_{jk} \times LGE_{jk}$$

โดย K_{IMA} = ฐานเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่คำนวณตามวิธี IMA

j = ประเภทของสายธุรกิจ

k = ประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ

γ_{jk} = ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับค่าของเงินกองทุนสำหรับส่วนของความเสียหายที่เกินกว่าระดับที่คาดไว้

EI_{jk} = ตัวบ่งชี้ในการคิดค่าความเสี่ยง

PE_{jk} = ความน่าจะเป็นในการเกิดความเสียหาย

LGE_{jk} = ส่วนที่เสียหายจริงและคาดว่าจะเรียกคืนไม่ได้

ภายใต้วิธีนี้เงินกองทุนของแต่ละ 56 เมตริกซ์คิดได้จากผลคูณพารามิเตอร์ 3 ตัวดังนี้

1. ตัวบ่งชี้ในการคิดค่าความเสี่ยง (The exposure indicator (EI)) เช่น รายได้รวม
2. ความน่าจะเป็นในการเกิดความเสียหาย (Probability of event (PE))
3. ส่วนที่เสียหายจริงและคาดว่าจะเรียกคืนไม่ได้ (Loss given the event (LGE))

วิธีการวัดภายใน หรือวิธี IMA เป็นการหาค่าประมาณการสูญเสียหรือค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (The expected loss (EL)) ของแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ โดยคำนวณจาก ผลคูณ $EI \times PE \times LGE$ จากนั้นค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดและจะมีการปรับค่าโดยใช้พารามิเตอร์ γ ในการคำนวณมูลค่าเงินกองทุนสำหรับส่วนของค่าความเสียหายที่

เกินกว่าระดับที่คาดไว้ (The unexpected loss (UL) โดยค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวปรับค่า (γ_{jk}) ของแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการจะมีค่าที่ต่างกัน โดยเงินกองทุนของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีการคิดคำนวณเงินกองทุนโดยวิธีการวัดภายใน (IMA) มีข้อเสียดังต่อไปนี้

1. มีความสัมพันธ์ระหว่างการรวมแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการอย่างสมบูรณ์
2. มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความเสียหายด้านการปฏิบัติการที่คาดว่าจะเกิด (EL) และ ค่าความเสียหายด้านการปฏิบัติการที่เกินกว่าระดับที่คาดไว้ (UL)

2.1.1.3.2 วิธีการประเมิณระดับคะแนน (The Scorecard Approach (ScA))

$$K_{ScA} = \sum_{j=1}^{8} initial\ K_j \times \mathcal{R}_j$$

โดย K_{ScA} = ฐานเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่คำนวณตามวิธี ScA

j = ประเภทของสายธุรกิจ

$\mathcal{R}_j$ = ระดับคะแนนที่ปรับค่าเงินกองทุนเริ่มต้น

K_j = เงินกองทุนเริ่มต้นสำหรับเงินกองทุนใหม่ของแต่ละประเภทสายธุรกิจ

วิธีการประเมิณระดับคะแนน หรือวิธี ScA เป็นการคำนวณเงินกองทุนเชิงคุณภาพ ซึ่งเป็นวิธีมองไปข้างหน้า (Forward-looking) มีการออกแบบให้สะท้อนถึงการปรับปรุงการควบคุมภายใน ซึ่งส่งผลในการลดจำนวนครั้งในการเกิดความเสียหาย (ความถี่) และจำนวนมูลค่าความเสียหายของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการในอนาคต วิธีการประเมิณระดับคะแนนจะขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวชี้วัดของ

ความเสี่ยงที่เป็นตัวแทนของความเสี่ยงเฉพาะภายใน ธุรกิจธนาคารพาณิชย์ได้ใช้วิธีดังกล่าวในการคำนวณเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการของระดับสายธุรกิจในขั้นเริ่มต้นเช่นวิธี BIA หรือ วิธี SA-OR จากนั้นได้มีการปรับเปลี่ยนค่าโดยใช้เกณฑ์ระดับคะแนนในการคำนวณเงินกองทุนภายในทุก 1 ปี

2.1.1.3.3 วิธีการประมาณการแจกแจงความเสียหาย (Loss Distribution Approach (LDA))

ภายใต้วิธีการ ประมาณการแจกแจงความเสียหาย หรือ วิธี LDA ภาคธนาคารได้มีการแบ่งประเภท เป็นเมตริกซ์ของสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการตามรายละเอียดต่อไปนี้

$$K_{LDA} = \sum_{j=1}^{8} \sum_{k=1}^{7} VaR_{jk}$$

โดย K_{LDA} = ฐานเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่คำนวณตามวิธี LDA

j = ประเภทของสายธุรกิจ

k = ประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ

VaR_{jk} = มูลค่าความเสี่ยงแต่ละคู่สายธุรกิจที่ jและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ k

การคำนวณเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการของธนาคารพาณิชย์ตามกรอบของบาเซลทูมีการแบ่งสายธุรกิจของธนาคารพาณิชย์ออกเป็น 8 ประเภท และแบ่งความเสี่ยงประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการออกเป็น 7 ประเภท ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ประเภทสายธุรกิจธนาคารพาณิชย์ (Business lines)

1. ธุรกิจบริหารจัดการโครงสร้างเงินทุนให้แก่ธุรกิจ (Corporate finance)
2. การซื้อขายผลิตภัณฑ์ทางการเงิน (Trading and sales)
3. ธุรกิจธนาคารลูกค้ารายย่อย (Retail banking)
4. ธุรกิจธนาคารลูกค้ารายใหญ่ (Commercial banking)
5. ธุรกิจการชำระเงินและชำระดุล (Payment and settlement)
6. การให้บริการเป็นตัวแทน (Agency services)
7. ธุรกิจบริหารจัดการสินทรัพย์ (Asset management)
8. ธุรกิจนายหน้าซื้อขายแก่ลูกค้ารายย่อย (Retail brokerage)

ประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ (Event types)

1. ความเสียหายจากการฉ้อโกงโดยบุคคลภายใน (Internal fraud)
2. ความเสียหายจากการฉ้อโกงโดยบุคคลภายนอก (External fraud)
3. ความเสียหายจากแนวปฏิบัติเกี่ยวกับการจ้างงานและความปลอดภัยในสถานที่ปฏิบัติงาน (Employment practices and workplace safety)
4. ลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ (Clients, products and business practices)
5. ความเสียหายต่อทรัพย์สิน (Damage to physical assets)
6. ความเสียหายจากการที่ธุรกิจหยุดชะงักและระบบงานล่ม (Business disruption and system failures)
7. ความเสียหายจากการปฏิบัติการ การส่งมอบ และการจัดการกระบวนการ (Execution, delivery and process management)

จำนวนของประเภทที่แท้จริงของสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการขึ้นอยู่กับความซับซ้อนโครงสร้างของแต่ละธนาคารพาณิชย์ การคำนวณสามารถคิดได้จากการแจกแจงความถี่ (Frequency distribution) และการแจกแจงของความสูญเสีย (Severity distribution) ของเหตุการณ์ความเสียหายในช่วงเวลาที่กำหนด หลักสำคัญของวิธีนี้คือจะต้องประมาณการแจกแจงของความถี่และความรุนแรงของเหตุการณ์ความเสียหายของแต่ละคู่สายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ 56 เมตริกซ์โดยปกติจะคิด 1 ปี (1 year horizon) เพื่อนำมาวิเคราะห์มูลค่าความเสี่ยง (VaR) ภายใต้การกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่เหมาะสม (1-α) เปอร์เซ็นต์ เช่น 99.5 เปอร์เซ็นต์ของแต่ละคู่ของสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ

ความแตกต่างระหว่างวิธี IMA กับ LDA คือ วิธี LDA มีจุดประสงค์ในการประเมินค่าความเสียหายด้านการปฏิบัติการที่เกินกว่าระดับที่คาดไว้ (UL) โดยตรง และไม่อยู่บนสมมติฐานของความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (EL) กับค่าความเสียหายที่เกินกว่าระดับที่คาดไว้ (UL) รวมทั้งทางธนาคารไม่มีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ γของแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการในการหาค่าความเสียหายที่เกินกว่าระดับที่คาดไว้ (UL)

วิธีการวัดขั้นสูง หรือ AMA เป็นวิธีวิเคราะห์จากล่างขึ้นบน (Bottom-up approach) เป็นวิธีการคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่อนุญาตให้สถาบันทางการเงินใช้ข้อมูลภายในบริษัทและข้อมูลภายนอกในสร้างแบบจำลองวัดความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการเพื่อคาดการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการในอนาคต และคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ นอกจากนั้นยังช่วยให้สถาบันทางการเงิน เข้าใจความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการของตัวสถาบัน(Risk profile)ได้ดีขึ้น ในการคำนวณเงินกองทุนแม้จะมีความซับซ้อนมากขึ้นแต่สะท้อนความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการได้ดีกว่า วิธี BIA และวิธี SA-OR ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์จากบนลงล่าง (Top-Down approach)

การคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ โดยวิธีการวัดขั้นสูง (AMA) คือ ฐานเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่สามารถรองรับความเสียหายด้านการปฏิบัติการที่จะเกิดขึ้นในอีก 1 ปีข้างหน้าได้ค่อนข้างแน่นอน (ณ ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด $(1-\alpha)$ เปอร์เซ็นต์ หมายความว่า หาค่า VaR 1 ปี ณ ระดับความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$ เปอร์เซ็นต์ หรืออีก

นัยหนึ่งคือ ใน 1 ปี มีโอกาส α เปอร์เซ็นต์ ที่บริษัทหรือสถาบันจะมีเงินกองทุนไม่เพียงพอที่จะรองรับความเสียหายด้านการปฏิบัติการ

ในปัจจุบันนี้ ในประเทศสหรัฐอเมริกา การบริหารจัดการและการคำนวณเงินกองทุนความเสี่ยงดังกล่าวในธุรกิจประกันเป็นไปตามกรอบของบาเซลทู องค์กรที่ควบคุมและตรวจสอบธุรกิจประกันภัย ได้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบวิธีการในกฎข้อบังคับของความมั่นคงในการประกันภัยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยกรอบแนวทางกำกับใหม่เป็นไปในทำนองเดียวกันกับบาเซลทู ที่ได้เสนอวิธีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการกำกับดูแลและประเมินความมั่นคงของบริษัทประกันภัยบนพื้นฐานการดำเนินการธุรกิจอย่างต่อเนื่อง (NAIC, 2004) มีการเน้นย้ำส่วนหนึ่งของแนวทางการกำกับคือ เมตริกซ์ของการประเมินความเสี่ยง (Risk assessment matrix) เป็นเครื่องมือที่ครอบคลุมการประเมินความเสี่ยงรวมทั้งกระบวนการขั้นตอนในการตรวจสอบและผลลัพธ์เข้าด้วยกันทั้งหมด

ธุรกิจประกันภัยที่อิงกรอบของโซลเวนซีทู (Solvency II) ออกโดยสมาคมนักคณิตศาสตร์ประกันภัยนานาชาติ (International Actuarial Association (IAA)) ซึ่งกำหนดให้บริษัทประกันภัยดำเนินธุรกิจโดยอิงสามเสาหลักที่มีการอ้างอิงตามแนวทางของบาเซลทู (Basel II) ได้นำแนวความคิดการคำนวณเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการโดยใช้ AMA มาประยุกต์ใช้ในธุรกิจประกันภัยเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.1 แสดงประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ (Event types) และกิจกรรมตัวอย่าง

ประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย	กิจกรรมตัวอย่าง
การฉ้อโกงโดยบุคคลภายใน (Internal fraud) • การกระทำนอกอำนาจ (Unauthorized activity) • โจรกรรมและฉ้อโกง (Theft and fraud)	– การเข้าถึงระบบคอมพิวเตอร์โดยไม่ได้รับอนุญาตเพื่อจุดประสงค์ในการฉ้อโกง – การทำธุรกรรมนอกเหนือคำอนุญาต – การปลอมแปลงเอกสารเรียกร้องความเสียหายของตัวแทน

ตารางที่ 2.1 แสดงประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ (Event types) และกิจกรรมตัวอย่าง (ต่อ)

ประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย	กิจกรรมตัวอย่าง
	– จงใจเปิดเผยข้อมูลความลับของลูกค้าเพื่อจุดประสงค์ในการฉ้อโกง
การฉ้อโกงโดยบุคคลภายนอก (External fraud) ● โจรกรรมและฉ้อโกง (Theft and fraud) ● ความปลอดภัยของระบบ (Systems security)	– การทุจริตการเรียกร้องความเสียหาย – ลูกค้าปลอมปลอมข้อมูลคำขอเอาประกันภัย – บุคคลภายนอกเข้าคอมพิวเตอร์หรือระบบของบริษัทอย่างผิดกฎหมาย
การจ้างงานและความปลอดภัยในสถานที่ปฏิบัติงาน (Employment practices and workplace safety) ● ความสัมพันธ์กับพนักงาน (Employee relations) ● ความหลากหลายและการปฏิบัติแบ่งแยกไม่เท่าเทียมกัน (Diversity and discrimination) ● ความปลอดภัยของสถานที่ทำงาน (Safe environment)	– การรวมตัวเรียกร้องของพนักงาน – การจ่ายเงินชดเชยพนักงาน – การไล่ออกอย่างไม่ยุติธรรม – การบาดเจ็บหรือเสียชีวิต – การกระทำผิดเกี่ยวกับนโยบายสุขภาพและความปลอดภัย
ลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ (Clients, products and business practices) ● ความเหมาะสม การเปิดเผย และการทำหน้าที่ของผู้ได้รับความไว้วางใจ (Suitability, disclosure, and fiduciary) ● การทำไม่ถูกต้องตามระเบียบปฏิบัติทางธุรกิจ (Improper business or market practices)	– ไม่มีการให้ผลประโยชน์ทั้งที่เป็นตัวเงินและไม่เป็นตัวที่เป็นไปตามระยะเวลาหรือเงื่อนไขของผลิตภัณฑ์ที่ได้นำเสนอ – ข้อมูลประกอบผลิตภัณฑ์ไม่มีประสิทธิภาพ/ไม่ถูกต้อง – การนำเสนอขายผลิตภัณฑ์/บริการที่ไม่ถูกต้อง

ตารางที่ 2.1 แสดงประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ (Event types) และกิจกรรมตัวอย่าง (ต่อ)

ประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย	กิจกรรมตัวอย่าง
• ข้อบกพร่องขอผลิตภัณฑ์/บริการ (Product flaws) • การคัดเลือก การให้การสนับสนุนและการให้บริการ (Selection, sponsorship, and exposure) • การให้คำปรึกษา (Advisory activities)	– การนำเสนอขายผลิตภัณฑ์/บริการที่ไม่ถูกต้อง – ความผิดเกี่ยวกับการรักษาข้อมูลอันเป็นความลับของลูกค้า – ความผิดพลาดในการจำลองผลิตภัณฑ์ หรือการใช้สมมติฐานผิดพลาด ก่อนการนำผลิตภัณฑ์/บริการสู่ตลาด – ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์/บริการ – ความล้มเหลวในการตรวจสอบลูกค้าแต่ละคนตามแนวทางที่กำหนด – ทำธุรกรรมเกิน Exposure limit ที่ลูกค้ากำหนด – พนักงานให้คำแนะนำลูกค้าบุคคลโดยไม่มีใบอนุญาต
ความเสียหายต่อทรัพย์สิน (Damage to physical assets) • ภัยพิบัติและเหตุการณ์อื่นๆ (Disasters and other events)	– ภัยพิบัติทางธรรมชาติ – เหตุการณ์ภัยพิบัติอื่นๆ
การหยุดชะงักของธุรกิจและระบบงานล่ม (Business disruption and system failures) • ความล้มเหลวของระบบ (System failures) • ระบบสื่อสารและระบบสาธารณูปโภค (Telecommunication and utility outage system)	– เหตุการณ์ภายนองกระทบการทำงานของระบบ (ยกเว้นการกระทำเพื่อจุดประสงค์ในการฉ้อโกง) – ความผิดปกติ/ความล้มเหลวของระบบฮาร์ดแวร์,ซอฟแวร์,ระบบเครือข่ายและระบบสื่อสาร – ความล้มเหลวของระบบสาธารณูปโภคทำให้การดำเนินธุรกิจหยุดฉะงัก

ตารางที่ 2.1 แสดงประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ (Event types) และกิจกรรมตัวอย่าง (ต่อ)

ประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย	กิจกรรมตัวอย่าง
การปฏิบัติการ การส่งมอบ และการจัดการกระบวนการ(Execution, delivery and process management) • การทำธุรกรรม การดำเนินงาน และการดูแล (Transaction capture, execution, and maintenance) • การติดตามและการรายงาน (Monitoring and reporting) • การรับเอกสารจากลูกค้าและการเก็บรักษา (Customer intake and documentation) • การบริหารจัดการบัญชีลูกค้า (Customer/clientaccount management) • คู่ค้า (Trade counterparties) • ผู้ขายสินค้า (Vendors and suppliers)	– ระบบทำงานผิดพลาดนำไปสู่การคำนวณค่าบริการหรือคิดค่าเบี้ยผิด – การบันทึกข้อมูลหรือทำงานผิดพลาด – ข้อผิดพลาดในการกระทบยอดบัญชี – เงินสดเกิน/ขาด – ความล้มเหลวในการปฏิบัติให้ทันกำหนดเวลา – ความล้มเหลวในการรักษาเอกสาร – การรายงานที่ไม่เพียงพอ – การบริหารจัดการข้อมูลอย่างไม่ถูกต้อง – ความล้มเหลวที่จะให้บริการตรงกับความคาดหวังและความต้องการของลูกค้า – การจัดทำและเก็บเอกสารที่ไม่มีประสิทธิภาพ – การประมวลผลผิดพลาดทำให้ลูกค้าได้รับการจ่ายเงินผิดจำนวน – การให้บริการของผู้ให้บริการภายนอก

2.1.2 วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกันภัย (Actuarial Model)

2.1.2.1 ลักษณะเฉพาะของข้อมูลความสูญเสียด้านการปฏิบัติการ

ความสูญเสียด้านการปฏิบัติการมีความคล้ายคลึงกันกับความเรียกร้องค่าสินไหมทดแทนในประกันภัยจึงสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกันภัยมาเป็นต้นแบบในการจำลองความเสียหายด้านการปฏิบัติการ โดยปกติแล้วจะเป็นการวิธีการใช้แบบจำลองทางสถิติที่จะต้องใช้ค่าประมาณพารามิเตอร์ (Parametric Approach) ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งพิจารณาข้อมูล 2 ส่วนคือ การแจกแจงข้อมูลความถี่และ การแจกแจงความเสียหายของข้อมูลความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ

1. มีเงื่อนไขว่าในจำนวนเหตุการณ์ความเสียหายทั้งหมดนั้น มูลค่าความเสียหายจะต้องมีการแจกแจงแบบเดียวกัน และเป็นอิสระจากกันและตัวแปรสุ่มมีค่าบวก (Independent identically distributed positive random variables)
2. มีเงื่อนไขว่าในจำนวนครั้งของเหตุการณ์ความเสียหายทั้งหมด (n) นั้นการแจกแจงของความเสียหายเป็นอิสระจากจำนวนครั้งเหตุการณ์ความเสียหาย (n)
3. การแจกแจงของจำนวนเหตุการณ์ครั้งความเสียหายทั้งหมดไม่ขึ้นอยู่กับมูลค่าความเสียหาย

2.1.2.2 การแจกแจงความถี่ (Frequency distribution)

2.1.2.2.1 การแจกแจงปัวซอง (Poisson distribution)

การแจกแจงปัวซองถูกใช้ในการหาความน่าจะเป็นที่จำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่สนใจเกิดขึ้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งหรือหรือขอบเขตใดขอบเขตหนึ่ง

ความน่าจะเป็นที่จะมี k เหตุการณ์ที่สนใจที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งหรือในขอบเขตใดขอบเขตหนึ่ง k จะมีการแจกแจงแบบป๊วซองและ ให้ λ (แลมด้า) เป็นจำนวนสิ่งที่สนใจที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยในช่วงเวลาหรือขอบเขต
จะได้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบป๊วซอง ดังนี้

$$P(X = k) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^{k}}{k!}, k = 0,1, \dots$$

ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรสุ่มป๊วซอง คือ

$$E(x) = \lambda, V(x) = \lambda$$

การจำลองกระบวนการป๊วซองสมมติค่าเฉลี่ยเป็นค่าคงที่ (ซึ่งอาจเรียกได้ว่า **The intensity rate** หรือ **The intensity factor**) และมักจะถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า **Homogeneous poisson process** การกำหนดรูปแบบการแจกแจงกับข้อมูลหนึ่งสิ่งที่จำเป็นในการประมาณการคือการกำหนดจำนวนเหตุการณ์ที่สนใจที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยในช่วงเวลา (λ)

2.1.2.3 การแจกแจงความเสียหาย (Loss distribution)

2.1.2.3.1 การแจกแจงเลขชี้กำลัง (Exponential distribution)

ถ้าตัวแปรสุ่ม X มีการแจกแจงเลขชี้กำลังหรือเรียกว่าการแจกแจงเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Distribution) ด้วยพารามิเตอร์ λ เขียนแทนด้วย $\sim Ex(\lambda), \lambda > 0$
X มีฟังก์ชันความหนาแน่นดังนี้

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & x \geq 0 \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$$

ถ้า $X \sim Ex(\lambda)$ จะพิสูจน์ได้ว่า

$$E(X) = \frac{1}{\lambda}$$

$$Var\ (x) = \frac{1}{\lambda^2}$$

2.1.2.3.2 การแจกแจงลอคนอร์มอล (Lognormal distribution)

ถ้า $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$ ดังนั้น $X = e^Y$ จะมีการแจกแจงที่ เรียกว่าการแจกแจงลอคนอร์มอล โดยมีพารามิเตอร์ μ, σ^2 เป็นพารามิเตอร์เขียนแทนด้วย $X \sim LN(\mu, \sigma^2)$
X มีฟังก์ชันความหนาแน่นดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{lnx-\mu}{\sigma}\right)^2}, x > 0;\ -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$$

ถ้า $X \sim LN(\mu, \sigma^2)$ จะพิสูจน์ได้ว่า

$$E(X) = e^{\mu+(\sigma^2/2)}$$

$$Var\ (x) = e^{2\mu+\sigma^2(e^{\sigma^2}-1)}$$

$$\gamma_1 = (\omega + 2)\sqrt{\omega - 1}\,, \omega = e^{\sigma^2}$$

$$\gamma_2 = \omega^4 + 2\omega^3 + 3\omega^2 - 3, \omega = e^{\sigma^2}$$

2.1.2.3.3 การแจกแจงแกมมา (Gamma distribution)

ถ้าตัวแปรสุ่ม Xมีการแจกแจงแกมมา เขียนแทนด้วย $X \sim G(\alpha, \lambda)$ โดยมี α และ λ เป็นพารามิเตอร์

X มีฟังก์ชันความหนาแน่นดังนี้

$$f(x) = \frac{\beta^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}, x \geq 0;\ \alpha > 0, \beta > 0$$

ถ้า $X \sim G(\alpha, \lambda)$ จะพิสูจน์ได้ว่า

$$E(X) = \frac{\alpha}{\beta}$$

$$Var\ (x) = \frac{\alpha}{\beta^2}$$

$$\gamma_1 = \frac{2}{\sqrt{\alpha}}$$

$$\gamma_2 = 3 + \frac{6}{\alpha}$$

2.1.2.3.4 การแจกแจงพาเรโต (Pareto distribution)

ถ้าตัวแปรสุ่มXมีการแจกแจงพาเรโตเขียนแทนด้วย $X \sim Pareto(\alpha, \beta)$ โดยมีα และ β เป็นพารามิเตอร์

X มีฟังก์ชันความหนาแน่นดังนี้

$$f(x) = \frac{\alpha\beta^{\alpha}}{x^{\alpha+1}}\ , \beta < x < \infty$$

ถ้า $X \sim Pareto(\alpha, \beta)$ จะพิสูจน์ได้ว่า

$$E(X) = \frac{\alpha\beta}{\alpha-1} \quad \text{สำหรับ } \alpha > 1$$

$$Var\ (x) = \quad \frac{\alpha\beta^2}{(\alpha-1)^2(\alpha-2)} \text{ สำหรับ } \alpha > 2$$

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{\alpha-2}{\alpha} \cdot \frac{2(\alpha+1)}{\alpha-3}}$$

$$\gamma_2 = \frac{6(\alpha^3 + \alpha^2 - 6\alpha - 2)}{\alpha(\alpha-3)(\alpha-4)}$$

โดย

$E(X)$	= ค่าเฉลี่ย
$Var\ (x)$	= ค่าความแปรปรวน
γ_1	=ค่าสัมประสิทธิ์ของความเบ้
γ_2	= ค่าสัมประสิทธิ์ของความโด่ง

2.1.2.4 ตัวแบบการรวมความเสียหาย (Aggregate Loss Model)

สมมติว่าการรวมความเสียหายในการดำเนินงานรวมสำหรับเฉพาะสายธุรกิจและเหตุการณ์ความเสียหาย (Aggregated Operational Losses) ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัย กำหนดให้ X คือ มูลค่าความเสียหาย และ $N_{\Delta t}$ คือ จำนวนครั้งของการเกิดความเสียหายภายในระยะเวลา 1 ปี ดังนั้นจะได้ความเสียหายรวม (ผลรวมตัวแปรสุ่ม)

$$S_{\Delta t} = X_1, X_2, \dots, X_{N_{\Delta t}}$$

$$= \sum_{k=1}^{N_{\Delta t}} X_k$$

สามารถเขียนฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมของความเสียหายรวมได้ดังนี้

$$F_{S_{\Delta t}}(S) = P(S_{\Delta t} \leq s) = \begin{cases} \sum_{n=1}^{\infty} P(N_{\Delta t} = n) F_X^{n*}(s), s > 0 \\ P(N_{\Delta t} = 0), s = 0 \end{cases}$$

เมื่อ F_X เป็นฟังก์ชันการแจกแจงของตัวแปรสุ่มของ X และ F_X^{n*} คือ ผลการผสาน (Convolution) n ครั้ง ของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของตัวแปรสุ่ม X

$$F_X^{n*}(s) = P\left(\sum_{k}^{n} X_k \leq s\right)$$

จะได้ค่าคาดหวังและความแปรปรวนของความเสียหายรวม

$$E(S_{\Delta t}) = E(N_{\Delta t})E(X)$$

$$Var(S_{\Delta t}) = E(N_{\Delta t})var(X) + var(N_{\Delta t})E^2(X)$$

เมื่อ ความถี่ (Frequency) และ มูลค่าความเสียหาย (Severity) ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการได้สร้างแยกออกจากกัน การแจกแจงของ S จะได้มาจากการแจกแจงของ N และการแจกแจงของ X ในการสร้างการแจกแจงของ S โดย N และ X

ในการสร้างการแจกแจงของ S โดย N และ X แยกออกจากกันจะทำให้เกิดข้อดีคือ ลักษณะการแจกแจงของ S จะมีรูปร่างขึ้นอยู่กับการแจกแจงของ N และ X กล่าวคือเมื่อมีการปรับเปลี่ยนรายละเอียดต่างๆ เช่น การแจกแจงของค่าความเสียหายมีลักษณะเป็นแบบหางหนัก (Heavy tail) ในการรวมความเสียหายของ การแจกแจงของความถี่ (Frequency distribution) และการแจกแจงของความเสียหาย (Severity distribution) นั้น ลักษณะรูปร่างของหางการแจกแจง จะขึ้นอยู่กับการแจกแจงของความเสียหายและจะไม่มีผลต่อการเลือกการแจกแจงของความถี่

2.1.3 การจำลองสถานการณ์ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation)

เทคนิคมอนติคาร์โล เป็นการทดลองโดยใช้ตัวเลขสุ่มมาช่วยในการหาคำตอบของปัญหาที่ยังไม่แน่ใจในผลที่เกิดขึ้น เพราะตัวเลขสุ่มมีประโยชน์หลายประการ คือ

1. ทำให้การเลือกตัวอย่างไม่มีความเอนเอียงในการสำรวจ หรือทดลองในเรื่องนั้นๆทั้งนี้เพราะตัวเลขสุ่มมาจากแนวคิดเกี่ยวกับการคำนวณความน่าจะเป็น
2. เลขสุ่มจะทำให้ได้มาซึ่งรูปแบบต่างๆหรือวิธีการที่สลับซับซ้อน โดยการสร้างสถานการณ์จำลอง (Simulation)
3. การใช้เลขสุ่มอาจทำเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางทฤษฎีของกระบวนการทางสถิติ ที่มีความสำคัญสำหรับการประมาณค่าตลอดจนนำไปสู่คำอธิบายเกี่ยวกับอำนาจการทดสอบทางสถิติ (Power of statistic test)
4. เพื่อหาคำตอบในปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยจะพิจารณาจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของปัญหานั้นๆ

หลักการของเทคนิคมอนติคาร์โล คือการนำตัวเลขสุ่มมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆที่สนใจศึกษาถึงผลสรุปของปัญหานั้นๆ โดยมี 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่1 การสร้างตัวเลขสุ่ม (Generate random number) การสร้างเลขสุ่มจะกำหนดให้มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มในช่วง[0,1] และเป็นอิสระซึ่งกันและกัน จากนั้นนำเลขสุ่มนี้ไปสร้างตัวแปรตามลักษณะการแจกแจงที่ต้องการในปัญหาที่ศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลปัญหานั้นๆ

ขั้นที่2 การประยุกต์ปัญหาที่ต้องการศึกษาโดยใช้ตัวเลขสุ่ม ขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับปัญหาที่ศึกษาซึ่งเป็นขั้นตอนที่นำเลขสุ่มมาใช้ในการหาค่าต่างๆ ตามปัญหาที่ต้องการตามสูตรการคำนวณในปัญหาที่ศึกษา

ขั้นที่3 การทดลอง เมื่อประยุกต์ปัญหาที่ต้องการศึกษาโดยใช้ตัวเลขสุ่มแล้ว ขั้นต่อไป คือ การทำวิธีการนั้นซ้ำๆ กัน (Replication) จำนวนหลายครั้ง โดยถือว่าการทำซ้ำๆกันนั้นเป็นวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลให้มีจำนวนมากเพื่อลดความไม่แน่นอนของคำตอบ

จากหลักการมอนติคาร์โล การใช้ตัวเลขสุ่มเพื่อเป็นพื้นฐานในการหาคำตอบของปัญหาเป็นวิธีการที่นำไปสู่แนวคิดในทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ โดยเฉพาะทฤษฎีความน่าจะเป็นที่จะนำไปสู่การอ้างอิงผลสรุปในสถานการณ์ของข้อมูลจริง เพราะไม่มีผลกระทบในเรื่องอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องในการทดลองเมื่อมีการทำซ้ำๆกันเป็นจำนวนมากแล้ว ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่มที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์หาค่าต่างๆในแต่ละครั้งจะหมดไป (Counter balance)

2.1.4 การประเมินความเสี่ยง (Risk measurement)

2.1.4.1 มูลค่าความเสี่ยง (Value at Risk)

มูลค่าความเสี่ยง (Value at Risk (VaR)) เป็นตัววัดความเสี่ยงที่เป็นมาตรฐานสำหรับการประเมินโอกาสเสี่ยงภัย โดยทั่วไปมูลค่าความเสี่ยง คือจำนวนเงินขั้นต่ำเพื่อสร้างความมั่นใจเมื่อเกิดความไม่แน่นอนขึ้น โดยระดับความเชื่อมั่นที่เลือก จะเลือกตามความเหมาะสมซึ่งปกติจะมีค่าสูง เช่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

ให้ x เป็นตัวแปรสุ่มแสดงความเสียหาย (x เป็นบวกหมายถึงผลลัพธ์ที่ไม่ต้องการหรือเกิดความสูญเสีย) ที่มี $F(x)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative distribution function) มูลค่าความเสี่ยงของ x ที่ระดับความมั่นคง (security level) $100p$ เปอร์เซ็นต์แทนด้วย $VaR_p(x)$ หรือ π_p เป็น $100p$ เปอร์เซ็นต์ของการแจกแจงของ x สำหรับตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องจะได้ว่า

$$F(\pi_p) = \Pr(x \leq \pi_p) = p$$

หรือ

$$\Pr(x > \pi_p) = 1 - p$$

ตัวอย่างเช่น x เป็นความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา 1 ปีกับบริษัทประกันภัย เมื่อ p = 99.5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าในระยะเวลา 1 ปี จะมีโอกาส 0.5 เปอร์เซนต์ที่บริษัทประกันภัยจะล้มละลาย

2.1.4.2 มูลค่าความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ (Operational Value at Risk)

จาก สมการหัวข้อ 2.1.4.1 มูลค่าความเสี่ยง (Value at Risk) เราจะได้สมการของ มูลค่าความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ (Operational Value at Risk (Operational VaR))

$$1 - \alpha = F_{S_{\Delta t}}(VaR) = \sum_{n=1}^{\infty} P(N_{\Delta t} = n) F^{n*}(VaR)$$

หรือการใช้อินเวิร์สของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมค่า VaR สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$VaR = F_{S_{\Delta t}}^{-1}(1 - \alpha)$$

ข้อยกเว้น: ถ้าการแจกแจงความเสียหายมีการแจกแจงเลขชี้กำลังย่อย (Subexponential distribution) ซึ่งมีคุณสมบัติหางหนัก (Heavy-tailed distribution) จะพิจารณามูลค่าความเสียหายที่มีค่ามากที่สุด $M_n = max[X_1, X_2, \dots, X_n]$ ใน n ตัวอย่าง โดยผลรวมของค่ามูลค่าความเสียหายรวมทั้งหมด คือ $S_n = X_1 + X_2 + \cdots + X_n$ สำหรับทุกค่า$n > 2$จะได้สมการ

$$P(S_n > x) \approx P(M_n > x)$$

สามารถประมาณได้ดังสมการ

$$P(S_{\Delta t} > x) \approx E(N_{\Delta t}) \cdot \bar{F}_X(x)$$

การรวมสมการข้างต้น สามารถประมาณมูลค่าความเสี่ยง (VaR) ได้ดังนี้

$$VaR \approx F_{S_{\Delta t}}^{-1}\left(1 - \frac{\alpha}{E(N_{\Delta t})}\right)$$

2.1.5 คอปปูลา (Copula)

ในการจำลองเวกเตอร์สุ่มหรือตัวแปรสุ่มร่วมข้อมูลที่ต้องทราบคือ การแจกแจงร่วม ซึ่งระบุถึงความสัมพันธ์ที่ครบถ้วนของตัวแปรสุ่มร่วม แต่ในกรณีที่ไม่ทราบการแจกแจงร่วม ผู้จำลองมักลดความซับซ้อนของตัวแบบโดยอาศัยเพียงค่าวัดความสัมพันธ์ของตัวแปรบางค่า เช่น สหสัมพันธ์ (Correlation) อย่างไรก็ตาม สหสัมพันธ์สามารถระบุเพียงความสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรสุ่มร่วมเท่านั้น ดังนั้น เพื่อระบุตัวแบบของความสัมพันธ์ให้ครบถ้วนผู้จำลองอาจอาศัย คอปปูลา (เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์, 2555)

นอกจากนี้คอปปูลายังศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ส่วนหางและมีการใช้อย่าแพร่หลายในแบบจำลองความสัมพันธ์ของมูลค่าความเสียหายที่มีมูลค่าสูง

2.1.5.1 นิยาม

คอปปูลาเป็นการแจกแจงร่วมของกลุ่มตัวแปรสุ่ม n ตัว โดยแต่ละตัวมีการแจกแจงตามขอบ (Marginal distribution) เป็นแบบสม่ำเสมอบนช่วง $[0,1]$ อีกนัยหนึ่ง อีกในหนึ่ง คอปปูลาเป็นฟังก์ชัน $C : [0,1]^n \to [0,1]$ ซึ่งมีคุณสมบัติสามประการ

1. $C(x_1, \dots, x_n)$ เป็นฟังก์ชันเพิ่มขึ้นในทุกๆx_i
2. $C(1, \dots, 1, x_i, 1, \dots, 1) = x_i$ทุก i
3. สำหรับทุกๆ $(a_1, \dots, a_n), (b_1, \dots, b_n) \in [0,1]^n$ โดย $a_1 < b_1$เราจะได้ว่า

$$\sum_{i_1=1}^{2} \dots \sum_{i_1=1}^{2} (-1)^{i_1+\dots+i_n} \; C(x_{(1,i_1)}, \dots, x_{(n,i_1)}) \geq 0$$

โดย $x_{(j,1)} = a_j$ และ $x_{(j,2)} = b_j$ สำหรับทุกๆ $j \in \{1, \dots, n\}$ สมมติตัวแปรสุ่มร่วม n ตัวที่เราสนใจเป็น

$$X_1, X_2, \dots, X_n$$

ซึ่งแต่ละตัวมีการแจกแจงสะสมขอบ (Marginal c.d.f) F_i โดยสมมติว่า F_i เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง กำหนดให้ Q_F เป็นฟังก์ชันควอนไทล์ เราจะได้ว่า

$$Y_1 = Q_F(X_i)$$

มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอบนช่วง $[0,1]$ พิจารณาตัวแปรสุ่มร่วม

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_n$$

จะเห็นว่าการแจกแจงร่วมระหว่าง $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ เป็นคอปปูลา ให้สัญลักษณ์ $C(y_1, \dots, y_n)$ แทนการแจกแจงร่วมของ $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ และถ้าให้การแจกแจงสะสมร่วมของ X เป็น $F(x_1, \dots, x_n)$ แล้ว

$$\begin{aligned} F(x_1, \dots, x_n) &= P(X_1 \le x_1, \dots, X_n \le x_n) \\ &= P(F_1(X_1) \le F_1(x_1), \dots, F_n(X_n) \le F_n(x_n)) \end{aligned}$$

เพราะแต่ละ F_i เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องที่ไม่ลดลง (Non-decreasing continuous function)

$$= C(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n))$$

2.1.5.2 ทฤษฎีบทของ Sklar

กำหนดการแจกแจงสะสมร่วม $F(x_1, \dots, x_n)$ สำหรับตัวแปรสุ่ม $X_1, \dots, X_n$ ซึ่งแต่ละตัวมีการแจกแจงสะสมขอบ $F_1(x_1), \dots, F_n(x_n)$ แล้ว F จะสามารถเขียนได้ในรูป

$$F(x_1, \dots, x_n) = C(F_1(x_1), \dots, F_n(x_n))$$

โดย $C(u_1, \dots, u_n)$ เป็นการแจกแจงสะสมร่วมของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงตามขอบแบบสม่ำเสมอบนช่วง $[0,1]$ ถ้า F_i เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องแล้ว C จะมีเพียงหนึ่งและถ้า F_i ไม่ต่อเนื่อง C อาจมีมากกว่าหนึ่ง แต่จะมีเพียงหนึ่งบน $Ran(F_1) \times \dots \times Ran(F_n)$ โดย $Ran(F_i)$ เป็นเรนจ์ (range) ของ F_i

เนื่องจาก C มีเพียงหนึ่งสำหรับตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง เราจึงอาจมองว่า C เป็นตัวแทนระบุถึงโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่ม ซึ่งให้ข้อมูลครบถ้วนกว่าสหสัมพันธ์ หรือสหสัมพันธ์อันดับ

ในกรณีตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่อง C ยังสามารถใช้ระบุถึงความสัมพันธ์ได้เช่นเดียวกัน เพียงแต่อาจมีมากกว่าหนึ่งซึ่งก็ยังให้ข้อมูลได้มากกว่าสหสัมพันธ์ หรือสหสัมพันธ์อันดับ

สหสัมพันธ์อันดับของตัวแปรสุ่ม $X_1, X_2, \dots, X_n$ ก็คือสหสัมพันธ์ของคอปปูลา

2.1.5.3 อีลิปติเคิลคอปปูลา สำหรับตัวแปร 2 ตัว (Bivariate Elliptical Copula)

การแจกแจงสองตัวแปร (Bivariate distributions) เพื่อระบุถึงชั้น (Class) ด้วยการกำหนดการแจกแจงส่วนริม (Marginal distribution) รูปฟังก์ชันคอปปูลาสำหรับตัวแปร 2 ตัว ประกอบด้วยฟังก์ชัน 3 กลุ่มคือ กลุ่ม 1 คอปปูลาที่มีความเป็นอิสระกัน (Independent Copula) กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่ม อีลิปติเคิล (Elliptical copulas) ซึ่งประกอบด้วย เกาซ์เซียนคอปปูลา (Gaussian) และ สติวเดนท์ทีคอปปูลา (Student's) และ กลุ่มสุดท้าย คือ กลุ่มอาร์คีมีเดียน(Archimedean Copula) ซึ่งประกอบด้วย คอปปูลารูปกัมเบล (Gumbel) คอปปูลารูปเคลย์ตัน (Clayton) และคอปปูลารูปแฟรงค์ (Frank) นอกจากฟังก์ชันคอปปูลา 2 ตัวแปร ฟังก์ชันคอปปูลายัง ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติหลายตัวแปร (Multivariate statistical analysis) ในส่วนของการนำรูปแบบฟังก์ชันคอปปูลาที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ คือ คอปปูลารูปแบบปกติ (Guassian Copula) และคอปปูลารูปสติวเดนท์ที (Student's t Copula) ซึ่งอยู่ในกลุ่มอีลิปติเคิล (Elliptical)

คอปปูลากลุ่มนี้ได้รับความสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้ทางการเงิน สามารถให้คำจำกัดความได้ว่าเป็นคอปปูลาของการแจกแจงแบบอีลิปติเคิล (Elliptical distribution) ซึ่งมีจำนวนเท่ากับ จำนวนเวคเตอร์สุ่ม (Random vector) ที่อยู่ในกลุ่มการแจกแจงแบบอีลิปติเคิล เมื่อ X มีมิติขนาด n จะถูกเรียกว่าการแจกแจงแบบอีลิปติเคิลหลายตัวแปร (Multivariate elliptical distribution) ซึ่งจะอยู่ในรูป $X \sim E_n(\mu, \Sigma, \varphi)$ แต่ถ้าลักษณะฟังก์ชันมาจาก

$$\varphi_x(t) = \exp\left(it^t\mu\right) \cdot \varphi\left(\frac{1}{2}t^T \sum t\right)$$

หมายความว่า สดมภ์เวคเตอร์คือ μ เมตริกซ์ Σ จะมีขนาด $n \times n$ และฟังก์ชัน $\varphi_x(t)$ เรียกว่าฟังก์ชันก่อกำเนิด เมื่อสมาชิกในคอปปูลากลุ่มนี้มีการแจกแจงแบบ $X \sim E_n(\mu, \Sigma, \varphi)$ แล้ว อันดับของΣจะเท่ากับ $r \leq n$ ดังนั้น เวคเตอร์สุ่มจะอยู่ในรูป $X = \mu + \Re\sqrt{\sum U}$ เมื่อ U คือ การแจกแจงแบบสม่ำเสมอ ซึ่งเวคเตอร์สุ่มจะมีลักษณะคือ $\{u\epsilon[-1,1]' | \|u\| = 1\}$ ซึ่งจะมีลักษณะเป็นทรงกลม และ $\Re$ จะอิสระจาก U

2.1.5.3.1 ฟังก์ชันเกาซ์เซียนคอปปูลา สำหรับตัวแปรสองตัว (Bivariate Gaussian Copula หรือ Bivariate Normal Copula)

$$C_\rho(u,v) = \int_{-\infty}^{\Phi^{-1}(u)} \int_{-\infty}^{\Phi^{-1}(v)} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} exp\left\{-\frac{s^2 - 2\rho st + t^2}{2(1-\rho^2)}\right\} dsdt$$

ฟังก์ชันคอปปูลาแบบปกติสำหรับตัวแปรสองตัวเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและ ρ คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นค่าพารามิเตอร์เป็นตัวบ่งชี้ความสัมพันธ์คอปปูลาแบบปกติไม่มีคุณสมบัติความสัมพันธ์ส่วนหางขอบเขตบนและขอบเขตล่าง (Upper tail and Lower tail) หรือกล่าวได้ว่าพฤติกรรมความเสี่ยงของตัวแปรปกติไม่มีความน่าจะเป็นที่ค่าที่จะเกิดขึ้นจริงจะต่างไปจากค่าที่คาดมากๆทั้งทางด้านบวกและทางด้านลบต่ำกว่า ดังนั้นคอปปูลาแบบปกติไม่สามารถจับค่าสังเกตร่วมที่มีมูลค่าความเสียหายมากๆซึ่งเป็นไปได้ในการแสดงถึงข้อมูลของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ

2.1.5.3.2 ฟังก์ชันสติวเดนท์ทีคอปปูลา สำหรับตัวแปรสองตัว (Bivariate Student's t Copula)

$$C(u,v) = \int_{-\infty}^{t_\upsilon^{-1}(u)} \int_{-\infty}^{t_\upsilon^{-1}(v)} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \left(1 + \frac{s^2 - 2\rho st + t^2}{2(1-\rho^2)}\right)^{\frac{-\upsilon+2}{2}}$$

โดย ρ คือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นค่าพารามิเตอร์เป็นตัวบ่งชี้ความสัมพันธ์และυ คือ องศาความเป็นอิสระ ซึง $\upsilon > 2$ คอปปูลาแบบสติวเดนท์ที มีคุณสมบัติความสัมพันธ์ส่วนหางขอบเขตบนและขอบเขตล่างจากคุณสมบัติดังกล่าวจึงเป็นประโยชน์ในการจำลองความสัมพันธ์ส่วน

หางของคู่ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการได้ หรือกล่าวได้ว่า สามารถจับค่าสังเกตร่วมของข้อมูลความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่มีมูลค่าความเสียหายสูงได้

2.1.5.4 คอปปูลาสำหรับกลุ่มตัวแปร

$$F(X_1, \dots, X_N) = C(F_1(X_1), \dots, F_N(X_N))$$

ฟังก์ชันคอปปูลา $C(F_1(X_1), \dots, F_N(X_N))$ สำหรับกลุ่มตัวแปรทำหน้าที่ระบุความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ในลักษณะเดียวกันกับฟังก์ชันคอปปูลา 2 ตัวแปร

2.1.5.4.1 ฟังก์ชันเกาซ์เซียนคอปปูลาสำหรับกลุ่มตัวแปร (Multivariate Gaussian Copula (MGC))

นิยาม ฟังก์ชันเกาซ์เซียนคอปปูลา CDF สำหรับกลุ่มตัวแปร (Multivariate Gaussian Copula (MGC)) ให้ R เป็นเมตริกซ์ที่สมมาตรมี $diag(R) = (1,1, \dots,1)^T$ และเป็นการแจกแจงแบบเกาซ์เซียนมาตรฐานที่มีเมตริกซ์สหสัมพันธ์ R ดังนั้น ฟังก์ชันการแจกแจงเกาซ์เซียนคอปปูลาของกลุ่มตัวแปรจึงเขียนได้เป็น

$$C_R^{Ga}(u) = \Phi_{\mathrm{R}}\left(\Phi^{-1}(u_1), \Phi^{-1}(u_2), \dots, \Phi^{-1}(u_n)\right)$$

เมื่อ $\Phi^{-1}(u_i)$ เป็นฟังก์ชันส่วนกลับหรืออินเวอร์สฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาซ์เซียนมาตรฐานตัวแปรเดียว $\Phi(u_1)$

เกาซ์เซียนคอปปูลาสร้างฟังก์ชันการแจกแจงร่วมแบบแบบเกาซ์เซียนมาตรฐานตามทฤษฎีบทของสการ์และจะทำให้การแจกแจงเดี่ยวเป็นการแจกแจงแบบเกาซ์เซียนมาตรฐานดังนั้นการหาฟังก์ชันความหนาแน่นจะสามารถทำได้ด้วยคุณสมบัติแคโนนิเคิล (canonical) คือ

$$\frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}}|R|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}X^T R^{-1}X} = c_R^{Ga}\left(\Phi^{-1}(x_1), \Phi^{-1}(x_2), \dots, \Phi^{-1}(x_n)\right) \times \Pi_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2 j}\right)$$

เมื่อ $|R|$ เป็นค่าดีเทอร์มิเนนท์ (Determinant) ของ R เราจะได้ว่า

$$C_R^{Ga}\left(\Phi^{-1}(x_1), \Phi^{-1}(x_2), \dots, \Phi^{-1}(x_n)\right) = \frac{\frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}}|R|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}X^T R^{-1}X}}{\Pi_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{n}} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2 j}\right)}$$

เมื่อให้ $u_j = \Phi^{-1}(x_j)$ ดังนั้นจะได้ $x_j = \Phi^{-1}(u_j)$ สามารถเขียนฟังก์ชันความหนาแน่นใหม่ได้เป็น

$$C_R^{Ga}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \frac{1}{|R|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}\varsigma^T (R^{-1}-1)\varsigma}$$

เมื่อ $\varsigma = \left(\Phi^{-1}(u_1), \Phi^{-1}(u_2), \dots, \Phi^{-1}(u_n)\right)^T$

2.1.5.4.2 ฟังก์ชันสติวเดนท์ทีคอปปูลาสำหรับกลุ่มตัวแปร (Multivariate Student's t Copula (MTC))

เมื่อมีการเปรียบเทียบลักษณะการแจกแจงของตัวแปรแบบเกาซ์เซียนและตัวแปรแบบสติวเดนท์ทีแล้ว การแจกแจงของตัวแปรเกาซ์เซียนจะมีหางที่บางกว่า การแจกแจงแบบสติวเดนท์ทีจะมีหางที่อ้วนกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมความเสี่ยงของตัวแปรแบบเกาซ์เซียนมีความผันผวนน้อยกว่าและมีความน่าจะเป็นที่ค่าที่เกิดขึ้นจริงจะต่างไปจากค่าที่คาดมากๆ ทั้งทางด้านบวกและด้านลบที่ต่ำกว่า เราจึงใช้คุณสมบัตินี้ของฟังก์ชันสติวเดนท์ทีคอปปูลาในการอธิบายพฤติกรรมของตัวแปรหากโอกาสที่ตัวแปรจะมีค่าที่สูงหรือต่ำมากๆซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณปลายหางของการแจกแจงทั้งสองข้าง สูงกว่าโอกาสที่จะพบได้จากการแจกแจงแบบเกาซ์เซียน

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสติวเดนท์ทีคอปปูลาสำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปร

<u>นิยาม</u> ฟังก์ชันสติวเดนท์ทีคอปปูลา CDF สำหรับกลุ่มตัวแปร (Multivariate Student's t Copula: MTC) สำหรับกลุ่มตัวแปร ให้ R เป็นเมตริกซ์ที่สมมาตรมี $diag(R) = (1,1,\dots,1)^T$และ $t_{R,\upsilon}$เป็นการแจกแจงมาตรฐานกลุ่มตัวแปรแบบสติวเดนท์ที ที่มีเมตริกซ์สหสัมพันธ์ R และ υ เป็นองศาความเป็นอิสระ

$$t_{R,\upsilon}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \int_{-\infty}^{x_1}\int_{-\infty}^{x_2}\int_{-\infty}^{x_n} \frac{\Gamma\left(\frac{\upsilon+n}{2}|R|^{-\frac{1}{2}}\right)}{\Gamma\left(\frac{\upsilon}{2}(\upsilon\pi)^{\frac{n}{2}}\right)} \times \left(1+\frac{1}{\upsilon}X^T R^{-1}X\right)^{-\frac{\upsilon+n}{2}} dx_1 dx_2 \dots dx_n$$

จะได้ **MTC**

$$T_{R,\upsilon}(u_1, u_2, \dots, u_n) = t_{R,\upsilon}\left(t_\upsilon^{-1}(u_1), t_\upsilon^{-1}(u_2), \dots, t_\upsilon^{-1}(u_n)\right)$$

$$= \int_{-\infty}^{t_\upsilon^{-1}(u_1)}\int_{-\infty}^{t_\upsilon^{-1}(u_2)}\dots\int_{-\infty}^{t_\upsilon^{-1}(u_n)} \frac{\Gamma\left(\frac{\upsilon+n}{2}|R|^{-\frac{1}{2}}\right)}{\Gamma\left(\frac{\upsilon}{2}(\upsilon\pi)^{\frac{n}{2}}\right)} \times \left(1+\frac{1}{\upsilon}X^T R^{-1}X\right)^{-\frac{\upsilon+n}{2}} dx_1 dx_2 \dots dx_n$$

t_υ^{-1}เป็นฟังก์ชันอินเวอร์สของฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสมสติวเดนท์ทีตัวแปรเดียวด้วยองศาอิสระ υ

จะได้ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของสติวเดนท์ทีคอปปูลา คือ

$$c_{R,\upsilon}(u_1, u_2, \dots, u_n) = |R|^{-\frac{1}{2}} \frac{\Gamma\left(\frac{\upsilon+n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\upsilon}{2}\right)} \left(\frac{\Gamma\left(\frac{\upsilon}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\upsilon+1}{2}\right)}\right)^n \frac{\left(1+\frac{1}{\upsilon}\varsigma^T R^{-1}\varsigma\right)^{-\frac{\upsilon+n}{2}}}{\Pi_{j=1}^{n}\left(1+\frac{\varsigma_j^2}{\upsilon}\right)^{-\frac{\upsilon+1}{2}}}$$

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Woohwan Kim และ Seungbeom Bang (2009) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างความสัมพันธ์ของการแจกแจงความเสียหายรวมโดยใช้หลักความสัมพันธ์ของความถี่ โดยโครงสร้างดังกล่าวระหว่างแต่ละเซลล์เมตริกซ์ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการของธนาคาร (Operational risk matrix) เป็นประเด็นสำคัญในการพิจารณาเงินกองทุนของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ภายใต้วิธีการวัดขั้นสูง (Advanced Measurement Approach (AMA)) ซึ่งมีวิธี Loss Distribution Approach (LDA) เป็นวิธีหลักในการคิดเงินกองทุน โดยอ้างอิงหลักสถิติบนการแจกแจงความถี่และการแจกแจงความเสียหาย และใช้การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลในการสร้างแบบจำลองของการแจกแจงความเสียหาย และมีการแบ่งเซลล์ของเมตริกซ์ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการของธนาคารออกเป็น 7*8 เซลล์ตามสาเหตุความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการและหน่วยธุรกิจของธนาคารในแบบวิธี AMA และในวาราสารนี้ได้เน้นเกี่ยวกับการใช้คอปปูลา (Copula) ในการหาแบบจำลองความสัมพันธ์ความถี่ของการแจกแจงของความเสียหาย

Edoh Fofo Afamdo (2006) ได้นำเสนอเครื่องมือที่สามารถช่วยในการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ภายใต้กรอบของบาเซลทู (Basel II)สำหรับการคิดคำนวณเงินกองทุนในธุรกิจธนาคารและประกันภัยโดยใช้แบบจำลองประเมินความเสี่ยงภายใต้วิธีการวัดขั้นสูงAdvanced Measurement Approach (AMA) โดยมีการประยุกต์ใช้ แบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัย (Actuarial Model) ด้วยวิธี Extreme Value Theory ในการพิจารณา Empirical probability distribution function ในการคิดคำนวณเงินกองทุนรวมของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ (Aggregated capital charges) โดยใช้วิธีคอปปูลา (Copula) และมีการใช้ชุดข้อมูลของความเสียหายของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่เผยแพร่ในการทำแบบจำลอง

V. Chevez-Demoulin, P. Embrechts, และ J.Nesllehova (2005) ได้อธิบายถึงแบบจำลองเทคนิค 2 เทคนิค คือ Peaks Over Threshold (POT) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของ Extreme Value Theory (EVT) และ วิธี The point process Approach ซึ่งเป็นวิธีที่ซับซ้อนกว่าวิธีแรก แต่ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธี POT เพื่อหาแบบจำลองของความเสียหาย รวมทั้ง การใช้ EVT กับข้อมูลที่ไม่เสถียร ซึ่งเป็นเทคนิค ในการวิเคราะห์ประเมินเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นยาก นอกจากนี้ได้กล่าวถึง กระบวนการการแจกแจงป๊วซอง ในการวัดเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงรวม (Worst-VaR case) ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99.9 เปอร์เซ็นต์

สำหรับข้อมูลความเสียหายรวมของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการด้วยแฟรงค์คอปปูลา (Frank's Copula)

DanaePolitou และ Paolo Giudici (2008) ได้ศึกษาแบบจำลองในข้อมูลความเสียหายของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่มีหลายตัวแปร (มีจำนวนสายธุรกิจและสาเหตุความเสี่ยงมากกว่า 2 สาย) เพื่อประมาณเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงนี้ ด้วย แบบจำลองกราฟิก คอปปูลาฟังก์ชัน และ กฎไฮเปอร์มาร์คอฟ (Graphical Models, Copula Function and Hyper Markov) โดยใช้ 2 วิธี ที่นิยมใช้ในการหาความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการคือ วิธีคณิตศาสตร์ประกันภัย (Actuarial approach) และ แบบจำลองของเบย์เซียน (Bayesian models)

Pavel V. Shevchenko (2009) ได้นำเสนอ วิธีการวิเคราะห์เชิงประมาณของการแจกแจงความเสียหายในความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ โดยใช้ ทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียน (Bayesian inference) เพราะสามารถนำ ข้อมูลภายในบริษัท ข้อมูลภายนอก การตัดสินใจของผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ และ ค่าพารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอนมาพิจารณาในการสร้างแบบจำลอง รวมทั้งนำเสนอวิธีการในการหายความเสียหายรวม เช่น วิธีการ มอนติคาร์โล (Monte Carlo Approach) วิธีเอฟเอฟ และ แพนเจอร์ รีเคอร์สีฟ (FFT and Panjer recursion) แต่ไม่ได้สรุปว่าวิธีในคำนวณเงินกองทุนของความเสี่ยงด้านนี้จากแบบจำลองที่ไม่อิสระกัน (Modeling dependence) วิธีไหนเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด

Vladimir K. Kaishev,Dimitrina S. Dimitovaและ Zvetan G. Ignatov (2000) ศึกษาเกี่ยวกับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการและการประกันภัยโดย วิธีความน่าจะเป็นของการเกิดหายนะ (Ruin probabilistic reserving approach) มีการใช้พื้นฐานความน่าจะของการแจกแจงเวลาที่แน่นอน (Finite time probability) ของความเสียหาย (Ruin) และใช้กับการแจกแจงความเสียหายรุนแรง (Heavy tailed distribution) เช่นการแจกแจง Generalized Pareto, Lognormal, g and h และ GB2 ในการวัดความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ นอกจากนี้ได้อธิบายความสัมพันธ์ถึงความเสียหายที่มีผลกระทบต่อเงินกองทุนที่คาดการณ์ไว้ รวมทั้งได้นำความน่าจะเป็นการอยู่รอดร่วม (Probability of Joint survival) ของสถาบันการเงิน และบริษัทประกันภัยมาใช้เป็นการวัดความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการร่วม (Joint operational risk) ในการคำนวณหาเงินกองทุน

Donald Mango (2006) ได้นำเสนอเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วิธีการของคณิตศาสตร์ประกันภัยในความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ โดยมีการเทียบเคียงแนวความคิดแบบจำลองของความเสี่ยงภายในบริษัท

เหมือนกับการรวมหน่วยความเสี่ยง ความน่าจะเป็น ผลกระทบ และสหสัมประสิทธ์ เข้าด้วยกันเพื่อให้ได้แบบจำลองความเสียหายรวม โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือเทียบเคียงในขั้นตอนของการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk analysis stage) และศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองของความเสี่ยงภายใน (Internal Risk Modeling (IRM)) โดยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้ การจำแนกข้อมูลและรูปแบบองค์กร กำหนดความเสี่ยงและประวัติความเสียหายโดย ประมาณการแจกแจงความถี่และความเสียหายของเหตุการณ์ การคิดหาการแจกแจงของความเสียหายรวม และกำหนดความเสี่ยงที่ยอมรับได้ขององค์กรการจัดสรรเงินทุน และวิเคราะห์ต้นทุนในการบริหารความเสี่ยง

G.W.Peters (2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจำลองข้อมูลของการแจกแจงความเสียหายรายปีเพื่อหามูลค่าความเสี่ยงและค่าที่คาดของขนาดความสูญเสียหรือขาดทุน (Value at Risk and Expected Shortfall) ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการโดยวิธี แพนเจอร์ รีเคอร์ชั่น และ สมการโวล์ทเทอร่า อินทิกรัล (Panjer recursions and Volterra integral equation) โดยใช้ตามหลักของวิธี Loss Distribution Approach (LDA) ซึ่งวิธีนี้จะช่วยในการแก้ปัญหาของการประมาณผลของผลรวมสุ่มเหมือนกับการคำนวณค่าคาดหวัง ซึ่งโดยปกติทั่วไปแล้วจะใช้วิธี Compound-process LDA และรวมทั้งแสดงวิธีการสุ่มตัวอย่างที่สำคัญและขั้นตอนการจำลองตัวแปรสุ่ม ทรานส์ไดเมนชั่นนอลมาร์คอฟ เชน มอนติคาร์โล (Trans-dimensional Markov Chain monte carlo algorithms) ในการประเมินค่าคาดหวังที่มีประสิทธิภาพ

Ran Wei (2003) ได้นำเสนอถึงความสำคัญของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่มีบทบาทในสถาบันการเงิน เช่น ธนาคารและบริษัทประกันภัย รวมทั้งศึกษาข้อมูลความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการในบริษัทประกันภัยในสหรัฐอเมริกาและผลกระทบตลาดหุ้นมีผลต่อเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการและเหตุการณ์ความเสียหายดังกล่าวมีผลกระทบด้านลบกับมูลค่าตลาดต่อบริษัทประกันอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งภาพรวมของความเสี่ยงการปฏิบัติการของธุรกิจประกันภัยของสหรัฐอเมริกาและสรุปผลเกี่ยวกับการแจกแจงความเสียหาย ในการดำเนินงาน (Loss distribution) มีลักษณะเบ้ขวา (Right-skewed tail)

Fontnouvelle P. และคณะ (2003) นำเสนอ การใช้ข้อมูลความเสียหายจากแหล่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาจากแหล่งข้อมูลที่เปิดเผย เนื่องจากข้อมูลภายในและภายนอกที่มีไม่เพียงพอในการประเมินความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการเชิงปริมาณ โดยการประมาณการได้สอดคล้องกับระดับของเงินกองทุน

ของสถาบันทางการเงินที่มีขนาดใหญ่ซึ่งจัดสรรอยู่ในช่วง 2- 7 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ และพบว่าการแจกแจงของความเสียหายของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการมีการแจกแจงแบบพาเรโต (Pareto distribution) เหมือนการแจกแจงรายได้และการแจกแจงค่าสินไหมทดแทนประกันภัย

ฐิติมา จิรเศรษฐสิริ (2548) ได้ทำการศึกษาการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลาเมื่อทราบการแจกแจงส่วนริมและสหสัมพันธ์ พบว่าตัวแบบเกาส์เซียนคอปปูลา (Gaussian Copula) สามารถทำได้ง่าย แต่ขาดคุณสมบัติบางประการ เช่น คุณสมบัติความสันพันธ์ส่วนหาง ทำให้ไม่ครอบคลุมลักษณะของการใช้งานบางอย่าง ส่วนสติวเดนท์ทีคอปปูลา (Student's t Copula) มีคุณสมบัติความสัมพันธ์ส่วนหาง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกันภัย ภายใต้แนวทางวิธีการวัดขั้นสูง และมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยเปรียบเทียบเงินกองทุนเมื่อค่าพารามิเตอร์แลมด้าหรือระดับความถี่ในการเกิดความเสียหายที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งคำนวณเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้การเชื่อมโยงและประโยชน์จากการกระจายความเสี่ยงภายใต้โครงสร้างความสัมพันธ์ด้วยคุณสมบัติของคอปปูลากลุ่มอีลิปติเคิลโดยมีรายละเอียดของการวิจัยดังนี้

3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

3.1.1 เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 จำแนกข้อมูลตามสายธุรกิจประกันภัยและการรวมประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ

3.1.3 ประมาณค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลความถี่และความเสียหายโดยวิธีการประมาณค่าด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด

3.1.4 จำลองสถานการณ์(Simulation) ของเหตุการณ์ความถี่และเหตุการณ์ความเสียหายและตัวแบบความเสียหายรวม (Aggregated losses)

3.1.5 ประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ โดยใช้วิธีแบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัย (Actuarial Model)

3.1.6 วิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) โดยเปรียบเทียบผลกระทบของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์เมื่อค่าพารามิเตอร์แลมด้า หรือ ระดับความถี่ในระดับที่แตกต่างกัน

3.1.7 ประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้การจำลองตัวแปรสุ่มร่วมระหว่างเทคนิค เกาซ์เซียนคอปปูลา (Gaussian Copula) และ สติวเดนท์ทีคอปปูลา (Student's t Copula)

3.1.8 เปรียบเทียบระดับการถือครองเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สมมติฐานของเงินกองทุนที่โครงสร้างของความสัมพันธ์ของความเสียหายรวมของความเสี่ยงของเหตุการณ์ความเสี่ยงนั้นเป็นอิสระต่อกัน กับเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์จากการกระจายความเสี่ยงเมื่อใช้ฟังก์ชันคอปปูลาในกลุ่มอีลิปติเคิล (Elliptical)

3.1.9 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลข้อมูล

3.1.10 เขียนรายงาน และทำการสรุปผลข้อมูล

3.2 ข้อมูลที่นำมาคำนวณ

ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) เกี่ยวกับความเสียหายของแต่ละประเภทเหตุการณ์ความเสียหายของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการของบริษัทประกันวินาศภัยแห่งหนึ่ง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2555

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ มีรายละเอียดดังแสดงใน ตารางที่ 3.1

3.2.1 ประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย (Event types)

คือ เหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นซึ่งนำไปสู่การเกิดผลกระทบหนึ่งหรือผลกระทบอื่นๆ โดยตรง

ตารางที่ 3.1 แสดงชื่อย่อของประเภทของเหตุการณ์ความเสียหายออกเป็น 7 ประเภท

ประเภทของเหตุการณ์ความเสียหาย (Event types)	ชื่อย่อ (Code)
การทุจริตภายใน (Internal fraud)	INFR
การทุจริตภายนอก (External fraud)	EXFR

ตารางที่ 3.1 แสดงชื่อย่อของประเภทของเหตุการณ์ความเสียหายออกเป็น 7 ประเภท (ต่อ)

ประเภทของเหตุการณ์ความเสียหาย (Event types)	**ชื่อย่อ (Code)**
การจ้างงานและความปลอดภัยในสถานที่ปฏิบัติงาน (Employment practices and workplace safety)	EPWF
ลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ (Clients, products and business practices)	CPBP
ความปลอดภัยของทรัพย์สิน (Damage to physical assets)	DAPA
การหยุดชะงักของธุรกิจและระบบงาน (Business disruption and system failures)	BDSF
การปฏิบัติงานและการให้บริการ (Execution, delivery and process management)	EDPM

3.2.2 มูลค่าของความเสียหายที่เกิดขึ้นจริง (Actual losses)

คือ ปริมาณของความเสียหายทางการเงินที่เกิดจากเหตุการณ์ความเสียหาย

3.2.3 ความเสียหายที่มีการประมาณการณ์ไว้ว่าจะเกิดขึ้นแต่มีการป้องกันได้สำเร็จก่อน (Near-miss losses)

คือ เหตุการณ์หรือค่าสังเกตของเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งหากมีศักยภาพในการจัดการในการปฏิบัติการที่ดีจะสามารถลดความเสี่ยงของความเสียหายที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้อาจนำไปสู่ความเสียหายอันรุนแรงในที่สุด

3.2.4 จำนวนปี (Forecast horizon indicates)

คือ ช่วงเวลาในการนำมาวิเคราะห์มูลค่าความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ (Operational VaR)

3.3 การเตรียมข้อมูล

3.3.1 การแก้ไขปัญหาการขาดแคลนของข้อมูล

การคำนวณเงินกองทุนความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการของบริษัทประกันในประเทศไทยเป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างหนึ่งในการบริหารความเสี่ยงของบริษัทประกันภัย เนื่องจากการขาดข้อมูลที่เพียงพอในการสร้างแบบจำลองรวมทั้งยังไม่มีแนวทางในการเก็บรวบรวมข้อมูลความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ดังนั้นจึงเป็นอุปสรรคของบริษัทประกันภัยในการระบุและประมาณการความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ

การขาดแคลนข้อมูลในอดีตที่เพียงพอในการสร้างแบบจำลองหมายถึงข้อสรุปในการสร้างแบบจำลองนั้นถูกจัดทำขึ้นจากตัวอย่างที่มีอยู่อย่างจำกัดและอาจเป็นข้อจำกัดที่จะคำนวณเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงด้านปฏิติการให้เหมาะสม ปัญหานี้กลายเป็นปัญหาหลักของการสร้างแบบจำลองของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการซึ่งควรจะต้องได้รับการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เนื่องจากบริษัทอาจมีจำนวนข้อมูลที่เป็นประสบการณ์น้อย ประสบกับความเสียหายโดยเฉพาะมูลค่าที่เกิดความเสียหายมากๆ ยิ่งเป็นข้อจำกัดของบริษัทที่ยังมิได้มีการเก็บรวบรวมและอาจยังไม่เคยประสบกับความเสียหายดังกล่าวมาก่อน ข้อจำกัดดังข้างต้นทำให้ไม่สามารถนำมาสร้างแบบจำลองเหตุการณ์ส่วนหางที่มีความเสียหายสูงมากๆได้

ข้อจำกัดดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ ด้วย 3 วิธีดังต่อไปนี้

3.3.1.1 การรวมกลุ่มข้อมูลภายในและข้อมูลภายนอก (Pooling internal and external data)

วิธีนี้เป็นที่นิยมในสายธุรกิจทางธนาคารเนื่องจากการรวมข้อมูลภายนอกจากธนาคารพาณิชย์อื่น จะทำให้มีจำนวนความเสียหายที่มากพอในการจำลองตัวแบบเพื่อให้มีความแม่นยำในการประมาณการทางสถิติมากขึ้น และการที่เก็บข้อมูลนั้นเป็นการเก็บข้อมูลที่ไม่ได้เกิดขึ้นเพียงในตัวธนาคารอย่างเดียวแต่การรวมข้อมูลภายนอกสามารถสะท้อนให้เห็นถึงความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นได้จากข้อมูลในอดีตของธนาคารพาณิชย์อื่น ที่อาจจะเกิดขึ้นกับทางธนาคารของเราในการอนาคตได้

3.3.1.2 การผนวกรวมความสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงกับความเสียหายที่มีการประมาณการณ์ไว้ว่าจะเกิดขึ้นแต่มีการป้องกันได้สำเร็จ (Supplementing actual losses with near-miss losses)

3.3.1.3 การใช้การวิเคราะห์สถานการณ์และการทดสอบภาวะวิกฤติ (Using scenario analysis and Stress testing models)

วิธีการใช้การวิเคราะห์สถานการณ์ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติความมีเสถียรภาพของแบบจำลองความเสียหาย (Robustness properties of loss models) ในภาคการเงิน คือการแสดงถึงเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นที่อาจไม่ใช่ในส่วนของความเสี่ยงที่เกิดขึ้นเป็นปกติในองค์กร แต่เป็นการประมาณการที่อยู่บนพื้นฐานของสถานการณ์ที่มีสมมติฐานที่อ้างอิงถึงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้บริหารระดับสูงที่มีประสบการณ์ทำงานในองค์กร จะทำการคาดการณ์เหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต (what-if) เช่น ข้อมูลเหตุการณ์ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นและส่งผลความเสียหายต่อธุรกิจธนาคารพาณิชย์อื่น ทำการคาดการณ์เหตุการณ์ความเสียหายที่มีมูลค่าสูง ผู้เชี่ยวชาญหรือผู้บริหารระดับสูงจะวิเคราะห์ และคาดการณ์มูลค่าความเสี่ยงที่คาดว่าจะเกิดและความน่าจะเป็นที่เกี่ยวข้องต่างๆของเหตุการณ์ในการสร้างตัวแบบ แบบจำลองนี้ เรียกอีกอย่างว่า แบบจำลองการตัดสินใจพิจารณาโดยผู้เชี่ยวชาญ (Expert judgment models) (van den Brink, 2002)

ในการทำแบบจำลองของงานวิจัยนี้ใช้วิธีการเพิ่มข้อมูลโดยใช้การผนวกรวมความสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงกับความเสียหายที่มีการประมาณการไว้ว่าจะเกิดขึ้นแต่มีการป้องกันได้สำเร็จ (Supplementing actual losses with near-miss losses) เพื่อให้มีจำนวนข้อมูลที่มากพอในการจำลองตัวแบบ

3.3.2 ความแตกต่างของลักษณะธุรกิจธนาคารพาณิชย์และธุรกิจประกันภัย

ในวิธีการวัดขั้นสูง หรือ AMA มีการแบ่งสายธุรกิจของธนาคารพาณิชย์ (Business lines) ตามลักษณะการดำเนินการของธนาคารพาณิชย์ (Bank's activities) หรือ อีกในแง่หนึ่งคือ การแบ่งตามการให้บริการของธุรกิจ (Business services) ในขณะที่ธุรกิจประกันภัยมีลักษณะในการดำเนินธุรกิจที่แตกต่างจากธุรกิจธนาคารพาณิชย์ เนื่องจากธุรกิจประกันภัยนั้นมีลักษณะการดำเนินธุรกิจหลักเพียงอย่างเดียว คือ การรับประกันภัย ดังนั้นในการแบ่งสายธุรกิจเพื่อสร้างแบบจำลองในการประเมินเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการสำหรับธุรกิจประกันภัย จึงมีความแตกต่างจากการแบ่งสายธุรกิจในการสร้างแบบจำลองในการประเมินเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการสำหรับธนาคารพาณิชย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้แบ่งสายธุรกิจของธุรกิจประกันภัยเพียง 1 สายธุรกิจ คือ การรับประกันภัย

ในส่วนของการแบ่งประเภทเหตุการณ์ความเสียหายในการสร้างแบบจำลองนั้น จากงานวิจัยพบว่า มูลค่าความเสียหายจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ (Clients, products and business practices) นำมาสู่มูลค่าความเสียหายต่อธุรกิจสูงสุด หรือกล่าวได้ว่า เป็นความเสี่ยงหลัก (Main risk driver) ของธุรกิจประกันภัย เนื่องจากเมื่อเกิดความเสียหายแล้วจะส่งผลกระทบต่อธุรกิจประกันภัยมากที่สุด ทั้งนี้การพิจารณาถึงส่วนของมูลค่าความเสียหายสูงสุด หรือ ตัวความเสี่ยงหลัก (Main risk driver) เป็นเหตุผลสำคัญในการสร้างแบบจำลองสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการในเรื่องของการเทียบมาตรฐานมูลค่าความเสียหาย (Calibration) เนื่องจาก การสร้างแบบจำลองต้องมีการเทียบมาตรฐานมูลค่าความเสียหายของประเภทเหตุการณ์ความเสียหายให้มีความเหมาะสม และมูลค่าความเสียหายมีมูลค่าใกล้เคียงกัน เพื่อสะท้อนถึงแบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นในการสร้างตัวแบบจึงได้นำมูลค่าความเสียหายมาพิจารณาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ (Event types) เพื่อสะท้อนถึงการสร้างแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสม (Afambo, 2006)

ในส่วนของการพิจารณาการเกิดจำนวนครั้งของเหตุการณ์ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการของธุรกิจประกันภัย ประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ที่เกิดจากการปฏิบัติงานการส่งมอบ และขบวนการจัดการ (Execution, delivery and process management) และประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ที่เกิดจากการทุจริตภายนอก (External fraud) จะเกิดจำนวนครั้งของความเสียหายสูงที่สุดตามลำดับ และประเภทเหตุการณ์ความเสียหายในธุรกิจประกันภัยเช่น ประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย จากการจ้างงานและความปลอดภัยในสถานที่ปฏิบัติงาน (Employment practices and workplace safety) และประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ของความปลอดภัยของทรัพย์สิน (Damage to physical assets) เกิดจำนวนความเสียหายที่น้อยมากหรือไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น

จากเหตุผลข้างต้น ในการสร้างแบบจำลองสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการของธุรกิจประกันภัยในงานวิจัยนี้ จะมีการแบ่งประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านการปฏิบัติการในการสร้างแบบจำลองของเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ดังต่อไปนี้ (Afambo, 2006)

1. ประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ (Clients, products and business practices (CPBP))
2. ประเภทเหตุการณ์ความเสียหายอื่นๆ (Other event types)

3.4 การประมาณค่าข้อมูล

3.4.1 วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์วิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation (MLE))

ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าของฟังก์ชันความหนาแน่น มีหลายวิธี เช่น

1. การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด(Maximum Likelihood Estimation (MLE))
2. วิธีโมเมนต์ (The Method of Moment (MOM))
3. วิธีโมเมนต์ถ่วงน้ำหนักด้วยความน่าจะเป็น (The Method of Probability Weighted Moments)

วิธีที่นิยมมากที่สุดในการประมาณค่าพารามิเตอร์คือ การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation (MLE)) เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงสถิติที่ต้องการหลายประการหลาย เช่น เมื่อขนาดตัวอย่าง nใหญ่ ตัวประมาณการภาวะน่าจะเป็นสูงสุดจะลู่เข้าสู่ตัวประมาณการคล้องจอง (Consistent estimator) ลู่เข้าสู่ตัวประมาณประสิทธิภาพ (Efficient estimator) ตัวประมาณการไม่เอนเอียง และมีความแปรปรวนต่ำที่สุดและ การแจกแจงลู่เข้าสู่การแจกแจงแบบปกติ (Asymptotically normally distributed) ตัวประมาณที่ได้จะให้ความน่าจะเป็นที่มากที่สุด ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ที่ง่ายต่อการวิเคราะห์

สมมติว่า ขนาดของตัวอย่าง n ซึ่งมีการแจกแจงอิสระเหมือนกัน (iid) และฟังก์ชันความหนาแน่นร่วม (The joint density function) คือผลคูณของฟังก์ชันความหนาแน่นแต่ละตัว ความหนาแน่นร่วมนี้เรียกว่าฟังก์ชันภาวะความน่าจะเป็น (Likelihood function)

$$\mathcal{L}(x) = \prod_{j=1}^{n} f(x_i)$$

สามารถทำให้ง่ายขึ้นโดยการทำให้อยู่ในรูป ลอกการึทึม (Logarithmic form) ซึ่งเรียกว่าฟังก์ชัน Log-likelihood

$$l(x) = \sum_{j=1}^{n} \log\ f(x_i)$$

ค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ไม่ทราบค่าคือ**ค่ามากที่สุดของ** Log-likelihood ของข้อมูลตัวอย่าง ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ MLE สามารถหาได้จากขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่1 หาอนุพันธ์ของตัวพารามิเตอร์จากฟังก์ชัน log-likelihood ที่เราต้องการทราบ

ขั้นที่2 จับค่าของอนุพันธ์ Log-likelihood เท่ากับ 0

ขั้นที่3 หาค่าพารามิเตอร์จากสมการที่ได้จากขั้นที่ 2

3.4.1.1 การประมาณตัวอย่างสุ่มจาก X มีการแจกแจง ปัวซอง $X \sim Poi(\lambda)$ ด้วยการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด

ถ้าตัวอย่างสุ่มจาก X มีการแจกแจงปัวซอง $X \sim Poi(\lambda)$

$X_1, X_2, \dots, X_n$ มีฟังก์ชันภาวะความน่าจะเป็น

$$\mathcal{L}(\lambda) = \prod_{j=1}^{n} p(x_i)$$

$$= \prod_{j=1}^{n} \frac{e^{-\lambda}\lambda^{x_i}}{x_i!}$$

$$= \frac{e^{-n\lambda}\lambda^{(x_1+x_2+\cdots+x_n)}}{\prod_{i=1}^{n} x_i!}, x_i = 0,1, \ldots (i = 1,2, \ldots, n)$$

จะได้ค่า λ ที่ได้ $\mathcal{L}(\lambda)$ มีค่าสูงสุด เนื่องจาก λ เป็นจำนวนจริงแบบค่าต่อเนื่อง ดังนั้นสามารถใช้วิธีแคลคูลัสด้วยการหา (Derivatives) การหา λ และในกรณีนี้ การคำนวณจะง่ายกว่าเมื่อคำนวณกับฟังก์ชัน $ln\mathcal{L}(\lambda)$ ดังนั้นหาค่าของ λ จากสมการ

$$\frac{d}{d\lambda} ln\mathcal{L}(\lambda) = 0$$

จะได้

$$\frac{d}{d\lambda} ln\mathcal{L}(\lambda) = \frac{d}{d\lambda}\left[-n\lambda + \sum_{i=1}^{n} x_i(ln\lambda) - \sum_{i=1}^{n} \ln(x_i!)\right] = 0$$

$$-n + \frac{1}{\lambda}\sum_{i=1}^{n} x_i = 0$$

$$\lambda = \bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

เพราะฉะนั้น ตัวประมาณด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดของ λ ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

$$\hat{\lambda} = \bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \bar{X}_i$$

3.4.1.2 การประมาณตัวอย่างสุ่มจาก X มีการแจกแจงแบบ ลอคนอร์มอล $X \sim LN(\mu, \sigma)$ ด้วยการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด

ถ้าตัวอย่างสุ่มจาก X มีการแจกแจงลอคนอร์มอล $X \sim LN(\mu, \sigma)$ ดังนั้น ฟังก์ชัน Log-likelihood มีรูปแบบดังนี้

$$l(x) = -\left(\frac{n}{2}\right)\log(2\pi) - nlog(\sigma) - \sum_{j=1}^{n} \log\, x_i - \frac{1}{2\sigma^2}\sum_{j=1}^{n}(\log(x_i) - \mu)^2$$

หาอนุพันธ์ของตัวพารามิเตอร์ μ จากฟังก์ชัน Log-likelihood ที่เราต้องการทราบและจับเท่ากับ 0 เราจะได้

$$\frac{1}{\sigma^2}\sum_{j=1}^{n}\log(x_i) - \frac{n\mu}{\sigma^2} = 0$$

จากการประมาณค่า μ เราจะได้ตัวประมาณ

$$\hat{\mu} = \sum_{j=1}^{n}\log(x_i)/\mathrm{n}$$

และการหาค่าพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งคือ σ^2 ในหารหาค่าประมาณ โดยวิธี MLE เราจะได้

$$\widehat{\sigma^2} = \sum_{j=1}^{n}(\log(x_i) - \hat{\mu})^2/n$$

3.4.2 การทดสอบภาวะสารูปสนิทดี หรือ การทดสอบความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ (Goodness-of-fit test)

การทดสอบความเหมาะสมของของค่าพารามิเตอร์นั้นเป็นการทดสอบสำหรับการแจกแจงแบบไม่ต่อเนื่องและการแจกแจงแบบต่อเนื่องแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

<u>กลุ่มที่ 1</u> Chi-Squared Tests

1. **Pearson's Chi-squared Test** เหมาะสำหรับข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง
2. **Likelihood Ratio Test** เหมาะสำหรับข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง

<u>กลุ่มที่ 2</u> Empirical Distribution Function-Based Tests

1. **Kolmogorov-Smirnove Test**
2. **Kuiper Test**

เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีการกระจายอยู่บริเวณส่วนกลางของการแจกแจง

3. **Anderson-Darling Test**
4. **Cramer-von Test**

เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีการกระจายอยู่บริเวณส่วนปลายของการแจกแจง

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการทดสอบความเหมาะสมด้วยวิธี คอลโมโกรอฟสเมอร์นอฟ (Kolmogorove-Smirnov (KS)) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบความเหมาะสมของ Empirical Distribution Function-Based Tests (EDF) ซึ่งการทดสอบเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างโดยตรงระหว่าง ฟังก์ชันการแจกแจงของข้อมูลกับฟังก์ชันการแจกแจงที่ต้องการทดสอบความเหมาะสม

เราหวังในการทดสอบความเหมาะสมของของค่าพารามิเตอร์ ข้อมูลตัวอย่างจะเป็นไปตามการแจกแจงที่คาดการณ์ไว้ เพราะฉะนั้นสมมติฐานในการทดสอบค่าพารามิเตอร์จะเป็นดังต่อไปนี้

H_0: ข้อมูลเป็นไปตามการแจกแจงที่อ้างไว้
H_1: ข้อมูลไม่เป็นไปตามการแจกแจงที่อ้างไว้

หรือ

$$H_0: F(x) = F_n(x)$$
$$H_1: F(x) \neq F_n(x)$$

โดย $F_n(x)$ = ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมโดยสังเกต (empirical c.d.f)

$F(x)$ = ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ต้องการทดสอบความเหมาะสม

กำหนด

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \cdots \leq x_{(n)} = \text{สถิติอันดับ}$$

$$z_{(j)} = F\left(x_{(j)}\right), j = 1,2,\ldots,n$$

การใช้แบบทดสอบนี้ไม่มีข้อกำหนดว่าต้องแบ่งข้อมูลเป็นช่วง ไม่ว่ากรณีการแจกแจงแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง ทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องการกำหนดช่วง และความยาวของช่วง และนอกจากนี้ การทดสอบวิธีนี้สามารถใช้ได้กับตัวอย่างขนาดเล็กได้ (ในกรณีที่ทราบค่าพารามิเตอร์ทุกตัวของการแจกแจง แต่ถ้าต้องมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ควรจะมีขนาดตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้นเพื่อความแม่นยำ หรือเชื่อถือได้)

ในการทดสอบหาค่าสถิติ Kolmogorov-Smirnov (KS) หาความแตกต่างที่มากสุดที่สุดระหว่าง $F_n(x)$ และ $F(x)$ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของสถิติทดสอบ

ให้ D^+ แสดงความแตกต่างที่มากสุดที่สุดระหว่าง $F_n(x)$ และ $F(x)$ และ D^- แสดง ความแตกต่างที่มากสุดที่สุดระหว่าง $F(x)$ และ $F_n(x)$

$$D^+ = \sup_x \{F_n(x) - F(x)\}$$
$$D^- = \sup_x \{F(x) - F_n(x)\}$$

D^+ และ D^- เป็นขอบเขตบนน้อยสุด (Least upper bound or supremum (sub)) ของผลต่าง $\{F_n(x) - F(x)\}$ และ $\{F(x) - F_n(x)\}$ ตามลำดับ

คอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolmogorove-Smirnov (KS)) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$KS = \sqrt{n}\, max\{D^+, D^-\}$$

การคำนวณค่าสถิติตัวอย่างโดยตรง จำเป็นที่จะต้องใช้สูตรการคำนวณที่เหมาะสม D'Agostino and Stephens (ค.ศ.1986) สูตรการคำนวณสามารถหาได้โดยใช้วิธี The probability integral transformation ได้ค่าสถิติ KS ดังนี้

$$KS = \sqrt{n}\, max\left\{ \underset{j}{sup}\left\{\frac{j}{n} - z_{(j)}\right\}, \underset{j}{sup}\left\{z_{(j)} - \frac{j-1}{n}\right\}\right\},$$

จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 ถ้าค่า KS ที่ได้มากกว่าค่า $D_{\alpha,n}$ ที่ระดับนัยสำคัญ α

3.5 การจำลองข้อมูลในการสร้างตัวแบบความเสียหายรวม

การการจำลองข้อมูลในการสร้างตัวแบบความเสียหายรวมสามารถทำได้หลายวิธีเช่น

1. วิธีการคิดคำนวณโดยตรง (Direct computation approach)
2. วิธีการทำซ้ำของแพนเจอร์ (Panjer's reursive method)
3. วิธีการผกผัน (Inversion method)
4. วิธีการจำลองมอนติคาร์โล (Monte-Carlo simulation)

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการคำนวณตัวแบบรวมความเสียหายของด้วยการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte-Carlo simulation) วิธีการนี้เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการจำลองสถานการณ์ความเสียหาย

สถานการณ์การจำลอง การแจกแจงความถี่โดย พารามิเตอร์แลมด้า (λ)

1. จำลองตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงปัวซองด้วยค่าพารามิเตอร์แลมด้า (λ_i) จำนวนมากครั้ง เช่น 100,000 ครั้ง เราจะได้ลำดับ $n_1, n_2, \dots, n_{100,000}$ แทนของสถานการณ์ของจำนวนครั้งเหตุการณ์ความเสียหายทั้งหมดในช่วงเวลา 1ปี
2. สำหรับแต่ละสถานการณ์ n_k , $1 \le k \le 100{,}000$ จำลองจำนวนมูลค่าความเสียหายจากการแจกแจงของความเสียหายที่อ้างอิง จำนวน n_k สถานการณ์
3. สำหรับแต่ละ สถานการณ์ n_k , $1 \le k \le 100{,}000$ รวมจำนวนมูลค่าความเสียหายที่จำลองได้ในข้อ 2 จะได้ลำดับเหตุการณ์ของความเสียหายสะสมใน 1ปี
4. เรียงสถานการณ์ตามลำดับที่ได้ในข้อ *3* เพื่อให้ได้การแจกแจงความเสียหายรวมที่ต้องการ

3.6 การคำนวณมูลค่าความเสี่ยง

สิ่งที่ควรกำหนดในการคำนวณมูลค่าคามเสี่ยง มีดังต่อไปนี้

1. ระดับความเชื่อมั่น (Confident level)

   กำหนด ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ 99 เปอร์เซ็นต์ และที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์

2. จำนวนปี (Forecast horizon) 1 ปี
3. สกุลเงิน (Base currency) เป็นหน่วยบาท

เราจะได้สมการของ มูลค่าความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ (Operational VaR)

เมื่อ แทนค่า $1-\alpha$ ตามระดับความที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ 99 เปอร์เซ็นต์ และที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ลงในสมการ

$$VaR_{(1-\alpha)100\%} = F_{S_{\Delta t}}^{-1}(1-\alpha)$$

เช่น $1-\alpha=0.95$ เราจะได้ค่า มูลค่าความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ (Operational VaR)

$$VaR_{95\%}=F_{S_{\Delta t}}^{-1}(0.95)$$

3.7 คอปปูลา (Copula)

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะอธิบายโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มมากกว่าโครงสร้างความสัมพันธ์ของมูลค่าความเสียหายภายในกลุ่ม โครงสร้างความสัมพันธ์มี 2 ชนิด คือ ความสัมพันธ์เชิงเส้น และ ความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่เชิงเส้น ซึ่ง สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นตัวระบุของความสัมพันธ์เชิงเส้นขอตัวแปรสุ่มร่วม ในขณะที่ คอปปูลาสามารถใช้ในการระบุความสัมพันธ์ทั้งเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นได้

3.7.1 ชนิดของโครงสร้างความสัมพันธ์ที่สามารถเกิดขึ้นในความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการได้ 3 แบบดังนี้ (Three types of dependence in operational risk)

3.7.1.1 โครงสร้างความสัมพันธ์ของความถี่ (Frequency dependence)

โครงสร้างความสัมพันธ์ของความถี่จะแสดงในข้อมูลเมื่อความถี่ข้ามกลุ่มของสายธุรกิจ/ประเภทเหตุการณ์ความเสียหายมีความสัมพันธ์กันด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น ขนาดของธุรกิจ วัฏจักรเศรษฐกิจ เป็นต้น โครงสร้างความสัมพันธ์ของความถี่สามารถคำนวณได้จากการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในอดีตระหว่างเหตุการณ์ของแต่ละคู่สายธุรกิจหรือประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย

3.7.1.2 โครงสร้างความสัมพันธ์ของมูลค่าความเสียหาย (Loss dependence)

โครงสร้างความสัมพันธ์ของมูลค่าความเสียหายอาจเกิดขึ้นเมื่อความเสียหายที่มีมูลค่าสูงเกิดในกลุ่มของสายธุรกิจ/ประเภทเหตุการณ์ความเสียหายกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งแล้วมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบไปยังในการเกิดอีกสายธุรกิจ/ประเภทเหตุการณ์ความเสียหายอีกกลุ่มหนึ่งได้

3.7.1.3 โครงสร้างความสัมพันธ์ของความเสียหายรวม (Aggregate dependence)

โครงสร้างความสัมพันธ์ของความเสียหายรวมอ้างถึงความสัมพันธ์ของจำนวนความเสียหายรวมตลอดช่วงเวลานั้นๆในการคิดคำนวณมูลค่าความเสียหายหรืออาจกล่าวอีกในหนึ่งได้ว่า ความสัมพันธ์ของความเสียหายรวม คือ ผลกระทบร่วมของความสัมพันธ์ของทั้งความถี่และความสัมพันธ์ของมูลค่าความเสียหาย

3.7.2 มูลค่าความเสียหายรวมที่ไม่อิสระกัน (Dependent aggregate losses)

Chavez-Demoulin (2005) ได้กล่างถึงการรวมความเสียหายด้วยกระบวนการจำลอง ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวเพียงกระบวนการจำลองปัวซอง

1. ให้ $AggL(1)$ และ $AggL(2)$ แทนค่าความเสียหายรวมของประเภทเหตุการณ์ความเสียหายที่มีความสัมพันธ์กัน 2 ประเภทตามลำดับ
2. ให้ $[0, \Delta]$ เป็นช่วงของระยะเวลา มูลค่าความเสียหายได้ถูกสมมติว่าเป็นค่าคงที่อิสระจากกัน จำนวนครั้งของการเกิดหตุการณ์ความเสียหายของแต่ละประเภทความเสียหายด้านการปฏิบัติการที่ถูกสร้างด้วยกระบวนการจำลองปัวซอง

$$\xi(k) = \sum_{i=1}^{N(k)} I_{T_i(k)}, k = 1,2$$

ให้ $L_i(1)$ และ $L_i(2)$ แทนมูลค่าความเสียหายที่มีความสัมพันธ์กับเวลา $T_i(1)$ และ $T_i(2)$ ตามลำดับ มูลค่าความเสียหายแต่ละค่ามีการแจกแจงแบบเดียวกันและอิสระจากกันและ $L_i(1)$ และ $L_j(2)$ เป็นอิสระต่อกัน สำหรับ $i \neq j$ สำหรับกรอบกระบวนการจำลองปัวซอง สามารถอธิบายเป็นกระบวนการจำลองความเสี่ยงทั้งหมดได้เป็นดังนี้

$$\xi^*(k) = \sum_{i=1}^{N(k)} I_{(T_i(k), L_i(k))}, k = 1,2$$

ผลของความเสียหายรวมสามารถเขียนได้ดังนี้

$$AggL(1) = \sum_{k=1}^{N(1)} L_k(1)$$

และ

$$AggL(2) = \sum_{k=2}^{N(2)} L_k(2)$$

3. ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่าง $AggL(1)$ และ $AggL(2)$ได้ถูกแสดงในแง่ของชนิดของความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการเหตุการณ์ความเสียหายที่อ้างอิง $\xi(1)$ และ $\xi(2)$

ดังนั้นค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ในกรณีที่ $L_i(1)$ และ $L_j(2)$ เป็นอิสระต่อกัน

สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\rho\big(AggL(1), AggL(2)\big) = \rho\big(N(1), N(2)\big) \frac{E(L_1(1))E(L_1(2))}{\sqrt{E(L_1(1)^2 E(L_1(2)^2)}}$$

Frachol et al. ได้ยกตัวอย่างอย่างง่ายของการรวมความเสียหายเข้าด้วยกันที่สร้างโดยกระบวนการ $\xi(1)$ และ $\xi(2)$ มีการตั้งค่าเป็นผลรวมของกระบวนการปัวซองเอกพันธ์ (Homogeneous poisson process) ξ_k ซึ่งมีค่าคงที่ของแลมด้า $\lambda_k, k = 1,2,3$ นั่นคือ $\xi(1) = \xi_1 + \xi_3$ และ $\xi(2) = \xi_2 + \xi_3$

ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\rho\big(N(1), N(2)\big) = \frac{\lambda_3}{\sqrt{(\lambda_1 + \lambda_3)(\lambda_2 + \lambda_3)}}$$

ดังนั้น

$$\rho\big(AggL(1), AggL(2)\big) = \left[\frac{\lambda_3}{\sqrt{(\lambda_1+\lambda_3)(\lambda_2+\lambda_3)}}\right]\frac{E(L_1(1))E(L_1(2))}{\sqrt{E(L_1(1)^2E(L_1(2)^2)}}$$

ตัวอย่างนี้แสดงใน Powojowski et al.

3.7.3 แบบจำลองโครงสร้างความสัมพันธ์ (Modeling Dependence Structure)

แบบจำลองโครงสร้างความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับผู้ปฏิบัติงานความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ เนื่องจากภายใต้กรอบการกำกับ BCBS ธนาคารจะต้องคำนวณเงินกองทุนสำหรับแต่ละเมตริกซ์ แบ่งตามสายธุรกิจ /ประเภทเหตุการณ์ทั้งหมด 56 เมตริกซ์ และใช้แบบจำลองโครงสร้างในการรวมมูลค่าของทั้ง 56 เมตริกซ์ ดังกล่าว

3.7.3.1 วิธีการจำลองสำหรับเกาซ์เซียนคอปปูลา (Simulation methods for Gaussian Copula)

สมการการจำลองเกาซ์เซียนคอปปูลา จะถูกกำหนดด้วย

$$C(u) = \Phi_R^n(\Phi^{-1}(u_1), \dots, \Phi^{-1}(u_n))$$

เมื่อ Φ_R^n คือ ฟังก์ชันการแจกแจงร่วมของฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาซ์เซียนมาตรฐานหลายตัวแปร (n-dimensional multivariate) ที่มีเมตริกซ์ความสัมพันธ์ร่วมแบบเส้นตรง R และมี $\Phi^{-1}(u_1)$ เป็นฟังก์ชันส่วนกลับ (Inverse function) ของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่มีการแจกแจงแบบเกาซ์เซียนมาตรฐาน (Standard gaussian distribution)

สมการเกาซ์เซียนคอปปูลา มูลค่าความเสียหายรวมจำลองครั้งที่ i จะแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$AggL(i) = F_{AggL(i)}^{-1}\big(\Phi(A_i(\Phi^{-1}(u_1), \dots, \Phi^{-1}(u_n))\big)$$

โดย A คือเมตริกซ์สามเหลี่ยมบนที่มาจากการแยกแบบโชเลสกี (Cholesky decomposition) ของเมตริกซ์ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของคอปปูลาที่ถูกระบุและ u_i สำหรับ$1 \leq i \leq n$ คือ ตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอมาตรฐาที่อิสระกัน n ตัวแปร

ขั้นตอนการจำลอง (Cherubini, 2004 and Forsberg, 2010)

ถ้า R เป็นเมตริกซ์ของค่าสหสัมพันธ์ (Correlation matrix) ที่มีค่าบวกจะทำให้เมตริกซ์ A มีขนาด $n \times n$ ดังนั้น $R = AA^T$

1. หาค่า A เมตริกซ์สามเหลี่ยมบนที่มาจากการแยกแบบโชเลสกี (Cholesky decomposition) ของเมตริกซ์ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง
2. จำลองตัวแปรสุ่มที่อิสระจากกัน $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)'$จากการแจกแบบปกติ $N(0,1)$
3. กำหนดให้ $x = Az$
4. กำหนดให้$u_i = \Phi(x_i)$ ด้วย$i = 1,2, \dots, n$และΦ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงของฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานตัวแปรเดียว
5. $(u_1, \dots, u_n)' = (F_1(t_1), \dots, F_n(t_n))'$โดย F เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมเดี่ยว

3.7.3.2 วิธีการจำลองสำหรับสติวเดนท์ทีคอปปูลา (Simulation methods for Student's t Copula)

สมการการจำลองสติวเดนท์ทีคอปปูลาจะถูกกำหนดด้วย

$$C(u) = t^n{}_{R,\upsilon}\left(t_\upsilon^{-1}(u_1), \dots, t_\upsilon^{-1}(u_n)\right)$$

เมื่อ $t^n{}_{R,\upsilon}$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงร่วมของฟังก์ชันการแจกแจงแบบสติวเดนท์ทีหลายตัวแปร (n-dimensional multivariate) ที่มีเมตริกซ์ความสัมพันธ์ร่วมแบบเส้นตรง R และ υ คือ องศาอิสระ

สมการคอปปูลาแบบสติวเดนท์ที มูลค่าความเสียหายรวมจำลองครั้งที่ i จะแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$AggL(i) = F^{-1}_{AggL(i)}\left(t_{\upsilon}(\sqrt{\frac{\upsilon}{S}}\left(A_i\left(\Phi^{-1}(u_1),\dots,\Phi^{-1}(u_n)\right)\right)\right)$$

เมื่อ t_{υ} คือ ฟังก์ชันการแจกแจงร่วมของฟังก์ชันการแจกแจงแบบสติวเดนท์ที υ คือองศาอิสระและ A คือ เมตริกซ์สามเหลี่ยมบนที่มาจากการแยกแบบโชเลสกี (Cholesky decomposition) ของเมตริกซ์ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของคอปปูลาที่ถูกระบุและ S สำหรับ $1 \leq i \leq n$ คือ ตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบสม่ำเสมอมาตรฐานที่อิสระกัน n ตัวแปร และ S คือเลขสุ่มจากตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงไคสแควร์ $\chi^2(\upsilon)$ ซึ่งอิสระจากแต่ละ ฟังก์ชันส่วนกลับหรืออินเวิร์สฟังก์ชัน (Inverse function) ของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่มีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน $(\Phi^{-1}(u_1))$ แต่ละค่า

ขั้นตอนการจำลอง (Cherubini,2004 and Forsberg, 2010)

ถ้า R เป็นเมตริกซ์ของค่าสหสัมพันธ์ (Correlation matrix) ที่มีค่าบวกจะทำให้เมตริกซ์ A มีขนาด $n \times n$ ดังนั้น $R = AA^T$

1. หาค่าAเมตริกซ์สามเหลี่ยมบนที่มาจากการแยกแบบโชเลสกี (Cholesky decomposition) ของเมตริกซ์ค่าสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง
2. จำลองตัวแปรสุ่มที่อิสระจากกัน $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)'$จากการแจกแบบปกติ $N(0,1)$
3. จำลองตัวแปรสุ่มsจาก $\chi^2(\upsilon)$ ที่อิสระจาก z
4. กำหนดให้ $y = Az$
5. กำหนดให้ $x = \sqrt{(\upsilon/s)}y$
6. กำหนดให้ $u_i = T_{\upsilon}(x_i)$ ด้วย $i = 1,2,\dots,n$ และ T_{υ} คือ ฟังก์ชันการแจกแจงของฟังก์ชันการแจกแจงแบบสติวเดนท์ที
7. $(u_1,\dots,u_n)' = (F_1(t_1),\dots,F_n(t_n))'$โดย F เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมเดี่ยว

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยครั้งมีจุดประสงค์เพื่อประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการตามแนวทางวิธีวัดขั้นสูง (Advanced measurement approaches (AMA)) โดยวิธีนี้ได้นำแบบจำลองด้านคณิตศาสตร์ประกันภัย (Actuarial Model) มาประยุกต์ใช้กับธุรกิจประกันภัย โดยมีข้อตกลงเบื้องต้นว่าใช้การแจกแจงปัวซองกับการแจกแจงข้อมูลความถี่

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการเป็นข้อมูลความเสียหายจริงที่เกิดขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2555 รวมทั้งสิ้น 5 ปี ข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์นี้ ประกอบด้วย ข้อมูลด้านการแจกแจงความถี่ ข้อมูลการแจกแจงความเสียหาย ผลการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้มาจากการจำลอง (Simulation) ด้วยโปรแกรม R โดยจะมีการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. ผลการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการโดยพิจารณาจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้าผลิตภัณฑ์และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจกับประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านอื่นๆ ด้วยวิธีการวัดมูลค่าความเสี่ยงที่มีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและประเภทความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์

2. การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้าเพิ่มขึ้นและลดลงจากค่าพารามิเตอร์แลมด้าเดิมในข้อที่ 1 ในการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการโดยมีการปรับค่าดังนี้ +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์

3. เปรียบเทียบมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่พิจารณาจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ และประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านอื่นๆ ระหว่างแบบจำลองที่มีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและ

ประเภทเหตุการณ์ความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์กับ แบบการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลาที่ประกอบด้วยเกาซ์เซียนคอปปูลา (Gaussian copula) และ สติวเดนท์ทีคอปปูลา (Student's t Copula) ที่มีองศาอิสระเท่ากับ 1 2 และ 3 ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์

4.1 ผลการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ

การประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ โดยพิจารณาจาก 1) ประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และ วิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ และ 2) ประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านอื่นๆ ด้วยวิธี การวัดมูลค่าความเสี่ยงที่มีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและประเภทความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบการแจกแจงความเสียหายของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่เกิดจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ (Clients, products and business practices (CPBP)) และความเสียหายที่เกิดจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านอื่นๆ (Other event types) โดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (The Kolmogorov –Smirnov Test) พบว่าข้อมูลการแจกแจงของความเสียหายดังกล่าว มีการแจกแจงแบบลอคนอร์มอล (Lognormal) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

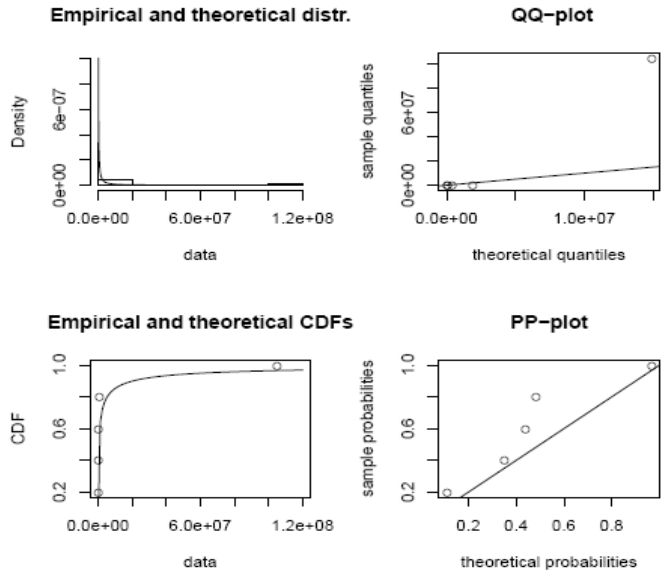
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลความเสียหายของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการแยกตามประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย

ประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย	การแจกแจงข้อมูล		ค่าประมาณพารามิเตอร์	
	ความถี่	ความเสียหาย	ความถี่	ความเสียหาย
ความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ	ปัวซอง	ลอคนอร์มอล	$\hat{\lambda} = 1$	$\hat{\mu} = 12.9112$ $\hat{\sigma} = 3.05444$
ความเสียหายอื่นๆ	ปัวซอง	ลอคนอร์มอล	$\hat{\lambda} = 21$	$\hat{\mu} = 10.1327$ $\hat{\sigma} = 1.94783$

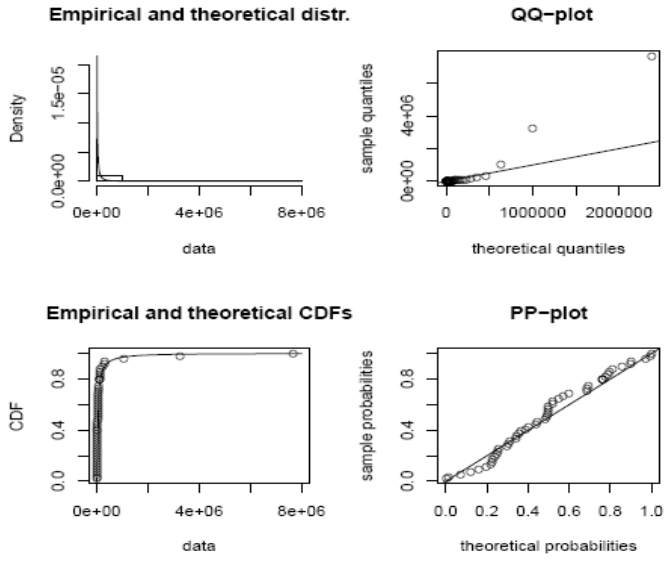
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าประมาณพารามิเตอร์ของข้อมูลความถี่และข้อมูลความเสียหาย โดยค่าประมาณพารามิเตอร์ของข้อมูลความถี่ คือ ค่าประมาณพารามิเตอร์แลมด้า โดยมีค่าพารามิเตอร์แลมด้าที่ประมาณได้สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้าน ลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ มีค่าเท่ากับ 1 และมีค่าประมาณพารามิเตอร์แลมด้าสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 21

การแจกแจงของข้อมูลความเสียหายนั้นคือการแจกแจงแบบลอคนอร์มอล ค่าประมาณพารามิเตอร์ของข้อมูลความเสียหายคือ ค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนของสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ เท่ากับ 12.9112 และ 3.05444 ตามลำดับ และ ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านอื่นๆ มีค่าประมาณพารามิเตอร์ดังกล่าวเท่ากับ 10.1327 และ 1.94783 ตามลำดับ

ภาพที่4.1 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) และ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้าน ลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ รวมทั้ง ภาพที่4.2 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านอื่นๆ

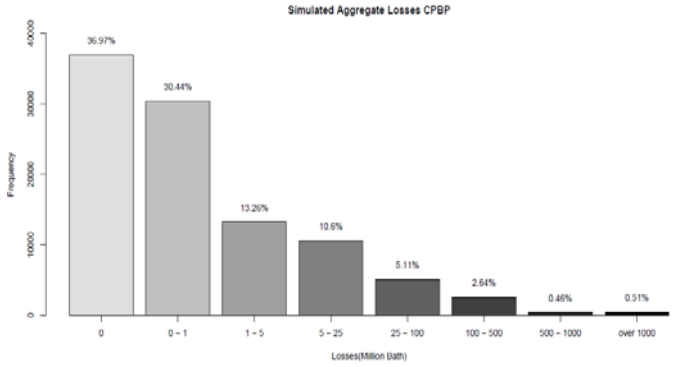


ภาพที่4.1 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) แผนภาพ Q-Q plot และ P-P plot ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้าน ลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ



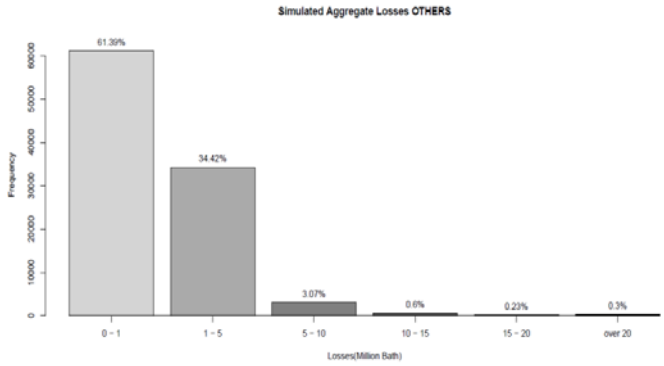
ภาพที่4.2 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) แผนภาพ Q-Q plot และ P-P plot ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านอื่นๆ

จากการจำลองสถานการ์ณความเสียหายรวมของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ ด้วยการแจกแจงลอคนอร์มอลจำนวน 100,000 ครั้ง แบ่งช่วงของมูลค่าความเสียหาย ตั้งแต่ 0 0-1 1-5 5-25 25-100 100-500 500-1000 และมากกว่า 1,000 ล้านบาท



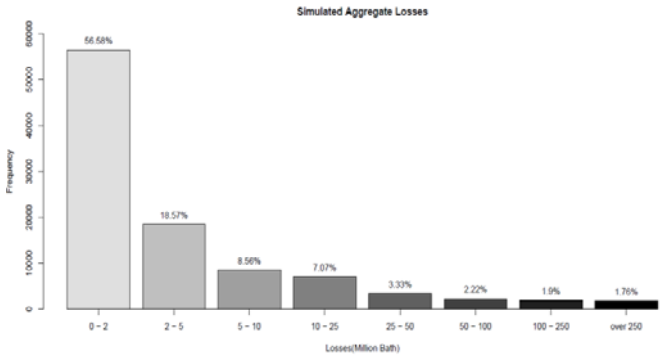
ภาพที่4.3 แสดงการแจกแจงความเสียหายรวมที่เกิดจากความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านลูกค้าผลิตภัณฑ์ และ วิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ

จากการจำลองสถานการณ์ความเสียหายรวมของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านอื่นๆ ด้วยการแจกแจงลอคนอร์มอลจำนวน 100,000 ครั้ง แบ่งตามช่วงของมูลค่าความเสียหาย ในช่วง 0-1 1-5 5-10 10-15 15-20 และ มากกว่า 20 ล้านบาท ตามลำดับ



ภาพที่4.4 แสดงการแจกแจงความเสียหายรวมที่เกิดจากความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านอื่นๆ

จากการจำลองสถานการณ์ความเสียหายรวมทั้งหมดของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ และความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านอื่นๆ ด้วยการแจกแจงลอคนอร์มอล จำนวน 100,000 ครั้ง แบ่งตามช่วงของมูลค่าความเสียหาย ในช่วง 0-2 2-5 5-10 10-25 25-50 50-100 100-200 และ มากกว่า 200 ล้านบาท



ภาพที่4.5 แสดงการแจกแจงความเสียหายรวมที่เกิดจากประเภทความเสียหายทั้ง 2 ประเภท

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้ประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการวัดมูลค่าความเสี่ยง ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ประเมินได้นี้เกิดจากการรวมมูลค่าความเสี่ยงของแต่ละประเภทเหตุการณ์ความเสียหายผลการประเมินที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีการวัดมูลค่าความเสี่ยง ณ ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ

มูลค่าความเสี่ยง	เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ (บาท)
VaR_{95}	64,319,758
VaR_{99}	484,524,880
$VaR_{99.5}$	1,022,005,283

จากตารางที่ 4.2 ผลการวิจัย พบว่า ระดับเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการด้วยวิธีการวัดมูลค่าความเสี่ยง องค์กรจะต้องดำรงเงินกองทุนจำนวน 64,319,758 บาท

ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 484,524,880 บาท ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ และ จำนวน 1, 022,005,283 บาท สำหรับ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

4.2 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้าเพิ่มขึ้นและลดลงจากค่าพารามิเตอร์แลมด้าเดิม จากการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ในหัวข้อที่ 4.1โดยมีการปรับค่าดังนี้ +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์จากค่าพารามิเตอร์แลมด้าเดิมที่ประมาณได้ ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ แลมด้า +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์

มูลค่าความเสี่ยง	การปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า (เปอร์เซ็นต์)		**มูลค่าเงินกองทุนทาง** เศรษฐศาสตร์เดิม (บาท)	การปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า(เปอร์เซ็นต์)	
	+10%	+20%		-10%	-20%
VaR_{95}	73,889,517	82,144,349	64,319,758	54,843,501	45,046,881
VaR_{99}	590,565,801	584,219,869	484,524,880	426,029,675	394,336,879
$VaR_{99.5}$	1,240,982,295	1,237,947,188	1,022,005,283	907,794,462	866,551,297

4.2.2 มูลค่าและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ จากค่าพารามิเตอร์แลมด้าเดิมที่ประมาณได้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.4 แสดงมูลค่าและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ที่มีการปรับจากค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์

มูลค่าความเสี่ยง	การปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า (เปอร์เซ็นต์)			
	-20%	-10%	+10%	+20%
VaR_{95}	-19,272,877 (-30.0%)	-9,476,257 (-14.7 %)	9,569,759 (14.9 %)	17,824,591 (27.7 %)
VaR_{99}	-90,188,001 (-18.6 %)	-58,495,205 (-12.1 %)	106,040,921 (21.9 %)	99,694,989 (20.6 %)
$VaR_{99.5}$	-155,453,986 (-15.2 %)	-114,210,821 (-11.2 %)	218,977,012 (21.4 %)	215,941,905 (21.1 %)

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว ตารางที่ 4.3 แสดงผลมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้าในหัวข้อ 4.1 +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ จากค่าพารามิเตอร์แลมด้าเดิมที่ใช้จะมีค่า 4 ค่า ณ ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้

ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ มูลค่าเงินกองทุนเท่ากับ 73,889,517 บาท 82,144,349 บาท 54,843,501 บาท และ 45,046,881 บาท ตามลำดับ

ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ มูลค่าเงินกองทุนเท่ากับ 590,565,801 บาท 584,219,869 บาท 426,029,675 บาท และ 394,336,879 บาท ตามลำดับ

ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ มูลค่าเงินกองทุนเท่ากับ 1,240,982,295 บาท 1,237,947,188 บาท 907,794,462 บาท และ 866,551,297 บาท ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการแปลี่ยนแปลงมูลค่าและเปอร์เซ็นต์ของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่มีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 +20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ จากค่าพารามิเตอร์แลมด้าเดิมที่ใช้ประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ในหัวข้อ 4.1 มีค่า 4 ค่า ณ ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้

เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 และ +20 จะทำให้เงินกองทุนที่ต้องดำรงไว้เพิ่มขึ้นจากเดิม จำนวน 9,569,759 บาท คิดเป็น 14.9 เปอร์เซ็นต์ และ 17,824,591 บาท คิดเป็น 27.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้มูลค่าเงินกองทุนที่ต้องดำรงไว้ลดลง จำนวน -9,476,257 บาท คิดเป็น -14.7 เปอร์เซ็นต์ และ -19,272,877 บาท คิดเป็น -30.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 และ +20 จะทำให้มูลค่าเงินกองทุนที่ต้องดำรงไว้เพิ่มขึ้นจากเดิม จำนวน 106,040,921บาท คิดเป็น 21.9 เปอร์เซ็นต์ และ 99,694,989 บาท คิดเป็น 20.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้มูลค่าเงินกองทุนที่ต้องดำรงไว้ลดลง จำนวน -58,495,205 บาท คิดเป็น -12.1 เปอร์เซ็นต์ -90,188,001 บาท คิดเป็น -18.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ณ ระดับความเชื่อมั่นณ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า +10 และ +20 จะทำให้มูลค่าเงินกองทุนที่ต้องดำรงไว้เพิ่มขึ้นจากเดิม จำนวน 218,977,012 บาท คิดเป็น 21.4 เปอร์เซ็นต์ และ 215,941,905 บาท คิดเป็น 21.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้า -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้มูลค่าเงินกองทุนที่ต้องดำรงไว้ลดลง จำนวน -114,210,821บาท คิดเป็น -11.2 เปอร์เซ็นต์ -155,453,986 บาท คิดเป็น -15.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

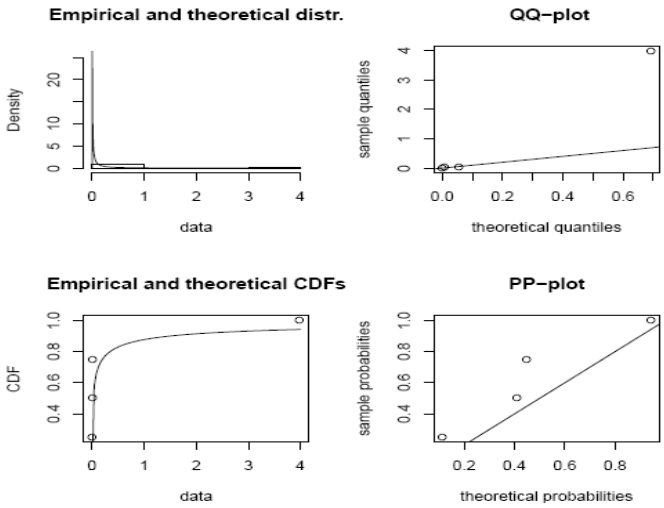
จากตารางที่ 4.4 ผลชี้ให้เห็นว่า เมื่อมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหว โดยมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์แลมด้าที่มีการปรับเพิ่มขึ้นและลดลง ณ ระดับที่เท่ากัน ที่ –10 +10 เปอร์เซ็นต์ และ –20 +20 เปอร์เซ็นต์ ผลชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ในระดับของพารามิเตอร์แลมด้าที่เท่ากันนั้น โดยส่วนใหญ่เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ณ ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ

การปรับเพิ่มขึ้นของพารามิเตอร์นั้น จะส่งผลกระทบต่อการเพิ่มการดำรงเงินกองทุนในอัตราส่วนที่สูงกว่าการปรับลดค่าพารามิเตอร์ลงที่ระดับของการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เท่ากัน

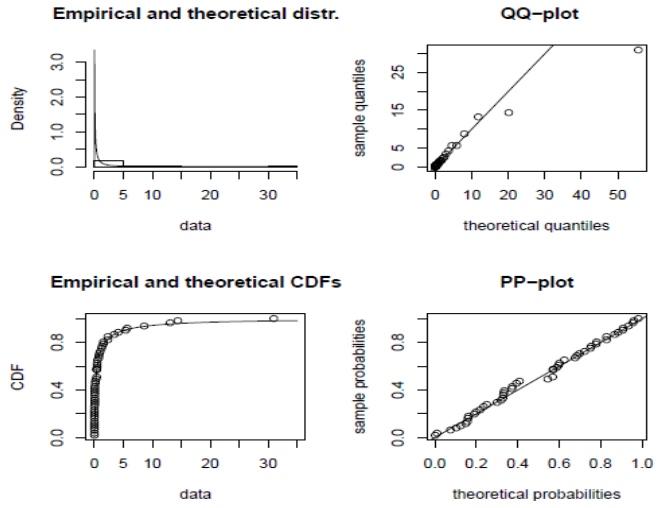
4.3 เปรียบเทียบมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ระหว่างแบบจำลองที่มีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและประเภทของความเสี่ยงมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ กับ แบบการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลา

ในส่วนนี้จะแสดงผลวิเคราะห์เปรียบเทียบมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่พิจารณาจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ และประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านอื่นๆ ระหว่าง 2 แบบจำลองคือ 1) แบบจำลองที่มีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและประเภทของความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ และ 2) แบบการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลาที่ประกอบด้วย เกาซ์เซียนคอปปูลา และ สติวเดนท์ที คอปปูที่มีองศาอิสระเท่ากับ 1 2 และ 3 ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่4.6 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) และ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้าน ลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ จากการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคคอปปูลา รวมทั้ง ภาพที่ 4.7 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านอื่นๆ จากการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคคอปปูลา



ภาพที่4.6 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) แผนภาพ Q-Q plot และ P-P plot ของประเภทความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจจากการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคคอปปูลา



ภาพที่4.7 แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็น (PDF) ฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (CDF) แผนภาพ Q-Q plot และ P-P plot ของประเภทความเสียหายอื่นๆจากการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคคอปปูลา

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบทางสถิติของตัวแปรสุ่มร่วมระหว่างเทคนิค เกาซ์เซียนคอปปูลา และ สติวเดนท์ทีคอปปูลาที่มีองศาอิสระเท่ากับ 1 2 และ 3

	เกาซ์เซียนคอปปูลา	สติวเดนท์ทีคอปปูลา		
		องศาความเป็นอิสระ		
		1	2	3
ค่าน้อยสุด (Min)	0.00	0.00	0.00	0.00
มัธยฐาน (Median)	777.27	799.43	786.88	779.82
ค่ามากสุด (Max)	223,312,000.00	391,6465,000.00	644,015,200.00	638,988,900.00
ค่าเฉลี่ย (Mean)	48,122.02	132,358.90	74,308.92	64,745.72
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)	1,406,947.00	149,70,630.00	3,838,324.00	2,892,725.00
ความเบ้ (Skewness)	0.11	0.21	0.12	0.15
ความโด่ง (Kurtosis)	15.22	50.71	16.84	27.51

ในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคคอปปูลา สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการนั้น จำเป็นต้องทราบ ค่าพารามิเตอร์ หรือ ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ (ρ) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ของความแต่ละสายธุรกิจหรือแต่ละประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านการปฏิบัติการว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด

ผลการวิเคราะห์ในส่วนการสร้างตัวแบบด้วยกลุ่มอิลิปติเคิลคอปปูลาที่ประกอบด้วยเกาซ์เซียนคอปปูลาและสติวเดนท์ทีคอปปูลา ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบทางสถิติของ เกาซ์เซียนคอปปูลา และ สติวเดนท์ทีคอปปูลา จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของคอปปูลา คือ ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองภายใต้โครงสร้างความสัมพันธ์ของความเสียหายรวมของประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านการปฏิบัติการ ดังนั้น ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็น ค่าที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของความเสียหายรวมระหว่างประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย จากด้านลูกค้าผลิตภัณฑ์และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจกับประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย จากความเสียหายด้านอื่นๆ โดยมีค่า เท่ากับ 0.6907531 สามารถอธิบายได้ว่า โครงสร้างความสัมพันธ์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายรวมของ ประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ และประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านการปฏิบัติการจากความเสียหายด้านอื่นๆมีความสัมพันธ์ร่วมกันในระดับ 69 เปอร์เซ็นต์ และสามารถนำค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคคอปปูลา

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างแบบจำลองที่มีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและแต่ละประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ และ แบบการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลาที่ประกอบด้วย เกาซ์เซียนคอปปูลา และ สติวเดนท์ทีคอปปูลา ที่มีองศาอิสระเท่ากับ 1 2 และ 3 ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์

มูลค่าความเสี่ยง ณ ระดับความเชื่อมั่น (1-α) %	เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ (บาท)				
	ประเภทความเสียหายด้านต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์	เกาซ์เซียนคอปปูลา	สติวเดนท์ทีคอปปูลา		
			องศาอิสระ		
			1	2	3
VaR_{95}	64,319,758	48,426,217	49,826,044	49,605,652	49,549,599
VaR_{99}	484,524,880	390,062,569	409,458,236	375,624,856	417,693,516
$VaR_{99.5}$	1,022,005,283	1,008,208,775	1,078,624,283	940,873,142	1,073,725,319

ตารางที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์ของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ของแบบจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิค เกาซ์เซียนคอปปูลาและ สติวเดนท์ทีคอปปูลาที่มีองศาอิสระ 1 2 และ 3 ที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับแบบจำลองที่มีสมมติฐานว่าความสัมพันธ์แต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์

มูลค่าความเสี่ยงที่ระดับความเชื่อมั่น(1-α)%	% การเปลี่ยนแปลงเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ			
	เกาซ์เซียนคอปปูลา	สติวเดนท์ทีคอปปูลา		
		องศาอิสระ		
		1	2	3
VaR_{95}	-24.71%	-22.53%	-22.88%	-22.96%
VaR_{99}	-19.50%	-15.49%	-22.48%	-13.79%
$VaR_{99.5}$	-1.35%	5.54%	-7.94%	5.06%

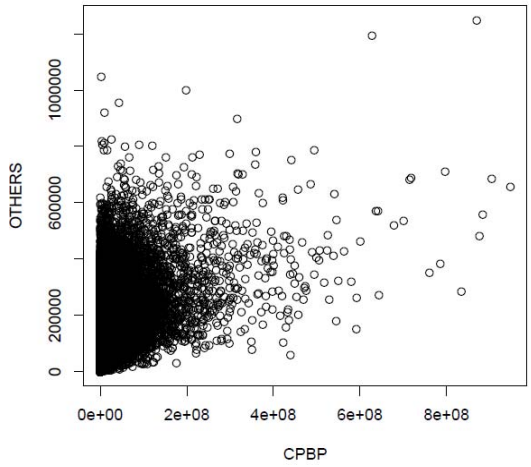
จากตารางที่ 4.6 ผลชี้ให้เห็นว่า เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ และประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านอื่นๆ ที่มีสมมติฐานว่าความสัมพันธ์แต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายที่มีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์จะส่งผลให้เงินกองทุนที่ประเมินได้นั้นมีค่าสูงที่สุด โดยเมื่อระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ เงินกองทุนเศรษฐศาสตร์ที่ประเมินได้จากสมมติฐานดังกล่าวจะมีมูลค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับมูลค่าเงินกองทุนเศรษฐศาสตร์ที่ได้จากการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลา ลำดับถัดมาคือ มูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองด้วยสติวเดนท์ทีคอปปูลา ที่มีองศาอิสระ 1 2 และ 3 และการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคเกาซ์เซียนคอปปูลาจะให้ระดับเงินกองทุนเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่องค์กรจะต้องดำรงไว้มีค่าน้อยที่สุด อย่างก็ตาม

ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ และที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์บางค่าของการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคสติวเดนท์ทีคอปปูลาจะมีมูลค่าเงินกองทุนที่มากกว่าทั้งนี้เป็นเพราะเนื่องจากขนาดตัวอย่างในการวิเคราะห์มีจำนวนน้อยในการสร้างตัวแบบจำลอง

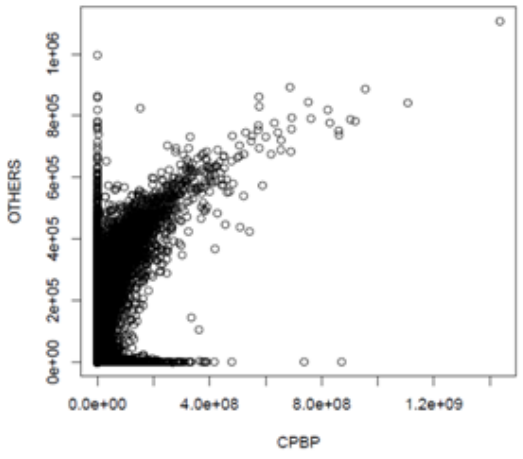
จากตารางที่ 4.7 แสดงในส่วนของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับเงินกองทุนเที่ใช้การจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคกลุ่มอิลิปติเคิลคอปปูลาเทียบกับแบบจำลองที่มีสมมติของความสัมพันธ์แต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ ผลวิจัยพบว่า ณ ระดับความเชื่อมั่นต่างๆโดยส่วนใหญ่แล้ว การประเมินเงินกองทุนโดยแบบจำลองด้วยเทคนิคเกาซ์เซียนคอปปูลาจะช่วยทำให้ระดับของการดำรงเงินกองทุนลดลงมากที่สุด ซึ่งลดลงถึง 24.71 เปอร์เซ็นต์ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ เงินกองทุนสามารถลดลงถึง 19.50 เปอร์เซ็นต์ และ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เงินกองทุนสามารถลดลง 1.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดลงของเงินกองทุนที่มีสมมติฐานดังกล่าวกับแบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคสติวเดนท์ทีคอปปูลา ที่มีองศาอิสระที่ 1 ที่ 2 และ ที่ 3 นั้นพบว่า ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ แบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคสติวเดนท์ทีคอปปูลาจะช่วยลดการดำรงเงินกองทุนลงประมาณ 22–23 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ไทล์จะช่วยลดการดำรงเงินกองทุนอยู่ในช่วง 13– 25 เปอร์เซ็นต์ และลำดับสุดท้าย ณ ระดับความเชื่อมั่น 99.5 เปอร์เซ็นต์ ผลวิเคราะห์บางส่วนจะมีค่าคลาดเคลื่อนและไม่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้อ้างอิงไว้เนื่องจากจำนวนข้อมูลมีจำนวนน้อย ค่าที่ได้ในการประเมิน ณ ระดับความเชื่อมั่นที่สูงๆ อาจมีความเอนเอียงได้

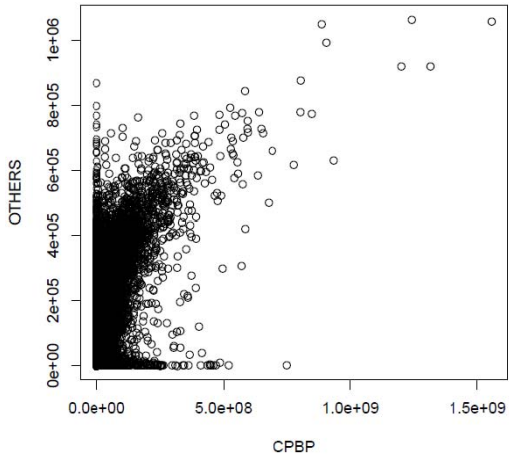
ภาพต่อไปนี้แสดงแผนภาพการกระจายจากการสร้างตัวแบบด้วยเทคนิคคอปปูลา ภาพที่4.8 แสดงแผนภาพการกระจายที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ด้วยเกาซ์เซียนคอปปูลาสำหรับคู่ความเสี่ยงที่เกิดจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ และประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านอื่นๆ ภาพที่ 4.9 ภาพที่ 4.10 และ ภาพที่ 4.11 แสดงแผนภาพการกระจายที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ด้วยสติวเดนท์ทีคอปปูลาองศาอิสระเท่ากับ 1 (T, v=1) องศาอิสระเท่ากับ 2 (T,v=2) และ องศาอิสระเท่ากับ 3 (T, v=3) สำหรับคู่ความเสี่ยงที่เกิดจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ และความเสี่ยงที่เกิดจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านอื่นๆ



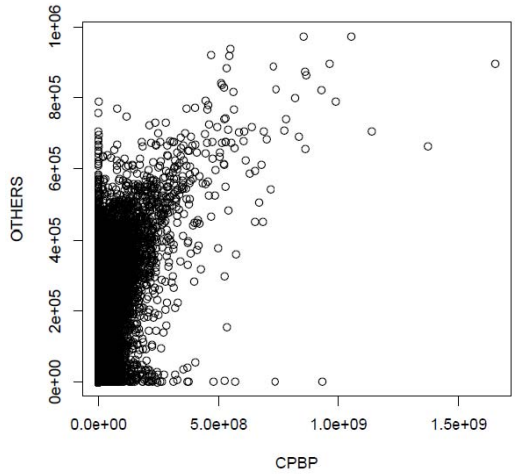
ภาพที่ 4.8 แสดงแผนภาพการกระจายที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ด้วยเกาซ์เซียนคอปปูลา สำหรับคู่ความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ และความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายด้านอื่นๆ



ภาพที่4.9 แสดงแผนภาพการกระจายที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ด้วยสติวเดนท์ทีคอปปูลา องศาอิสระเท่ากับ 1 (T, v=1) สำหรับคู่ความเสี่ยงด้านที่เกิดจากความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ แลความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายด้านอื่นๆ



ภาพที่4.10 แสดงแผนภาพการกระจายที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ด้วย สติวเดนท์ที คอปปูลาองศาอิสระเท่ากับ 2 (T, v=2) สำหรับคู่ความเสี่ยงด้านที่เกิดจากความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ แลความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายด้านอื่นๆ



ภาพที่4.11 แสดงแผนภาพการกระจายที่ได้จากการสร้างความสัมพันธ์ด้วย สติวเดนท์ที คอปปูลาองศาอิสระเท่ากับ 3 (T, v=3) สำหรับคู่ความเสี่ยงด้านที่เกิดจากความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ แลความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายด้านอื่นๆ

ในการอธิบาย ภาพที่แสดงแผนภาพการกระจายจากการสร้างตัวแบบด้วยเกาซ์เซียนคอปปูลา และสติวเดนท์ทีคอปปูลา สามารถอธิบายผลได้ดังนี้เมื่อสร้างความสัมพันธ์ด้วยกาซ์เซียนคอปปูลา ของคู่ความเสี่ยงดังกล่าว ความสัมพันธ์ที่ไม่อิสระกันจะอยู่ในรูปความสัมพันธ์เชิงเส้น จากภาพที่4.6 แผนภาพการกระจายจะมีลักษณะกระจายตัวอยู่รอบจุดศูนย์กลางของการแจกแจงเดี่ยว หมายความว่า ความสัมพันธ์ของคู่ความเสี่ยงที่เกิดจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ และความเสี่ยงที่เกิดจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านอื่นๆท มีลักษณะไม่อิสระกันบริเวณที่เป็นค่าเฉลี่ย และไม่มีความสัมพันธ์ส่วนหางของการแจกแจงหรือมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งพิสูจน์ให้เห็นได้ว่าเกาซ์เซียนคอปปูลาไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ส่วนหางได้ ในส่วนของแผนภาพการกระจายจากการสร้างตัวแบบด้วยสติวเดนท์ทีคอปปูลา

ในกรณีที่คู่ความสัมพันธ์มีค่าความสัมพันธ์ร่วมกันในระดับสูงแผนภาพการกระจายจะให้ความชันไปในทางบวกจากภาพที่ 4.9-4.11 ที่อธิบายถึง การกระจายของสติวเดนท์ทีคอปปูลา ที่มีองศาอิสระที่ 1 2 และ 3 พบว่าสติวเดนท์ทีคอปปูลา สามารถอธิบายความสัมพันธ์ที่ไม่อิสระกันของหางการแจกแจงส่วนปลาย (Upper tail) ได้บางส่วน เมื่อพิจารณาในส่วนของ องศาอิสระของสติวเดนท์ทีคอปปูลา จากผลการวิจัยจากตารางที่ 4.8 เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อ องศาอิสระเพิ่มขึ้น จะทำให้การดำรงเงินกองทุนของความเสี่ยงด้านปฏิบัติการที่บริษัทจะต้องถือครองไว้ลดลง และอีกทั้งเมื่อองศาอิสระของสติวเดนท์ทีคอปปูลาเพิ่มมากขึ้น เงินกองทุนของความเสี่ยงด้านปฏิบัติการที่จะต้องดำรงไว้มีค่าใกล้เคียงกับเงินกองทุนของเกาซ์เซียนคอปปูลา ซึ่งสามารถกล่าวอีกในหนึ่งได้ว่า เมื่อองศาความอิสระของสติวเดนท์ทีคอปปูลาที่เพิ่มขึ้นมากขึ้นนั้น การอธิบายความสัมพันธ์ส่วนหางของการแจกแจงจะมีแนวโน้มลดลงกลายเป็นคุณสมบัติบางส่วนที่มีความสมมาตร (Attributable to the asymptotic) เหมือนกับการจำลองด้วยเกาซ์เซียนคอปปูลา

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการเป็นความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในทุกส่วนขององค์กร และมีความเกี่ยวโยงที่อาจนำไปสู่การเกิดขึ้นในความเสี่ยงด้านอื่นเช่น ความเสี่ยงด้านสภาพคล่อง ความเสี่ยงด้านเครดิต ความเสี่ยงด้านตลาด รวมทั้งอาจส่งผลกระทบไปยังความเสี่ยงด้านชื่อเสียงได้ ทั้งนี้หากเกิดความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการสูงในองค์กร จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการดำเนินงาน และ/หรือ ฐานะทางการเงินขององค์กรได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดจากความเสียหายของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการสำหรับธุรกิจประกันภัยโดยใช้วิธีการวัดขั้นสูง ด้วยวิธีแบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัยในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งการจำลองแบบคณิตศาสตร์ประกันภัยมีข้อดีในเรื่องของความสามารถในการสะท้อนถึงความเสี่ยงที่แท้จริงขององค์กร

งานวิจัยนี้มีการแสดงผลการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรก แสดงผลการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการด้วยวิธีการวัดมูลค่าความเสี่ยงโดยมีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และ ที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนที่สองได้มีการทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยมีการปรับค่าประมาณพารามิเตอร์แลมด้าที่ 10 20 -10 และ -20 เปอร์เซ็นต์ จากเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่ประเมินได้จากส่วนที่หนึ่งและเปรียบเทียบมูลค่าและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ ในส่วนสุดท้าย งานวิจัยได้เสนอการเปรียบเทียบมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างแบบจำลองที่มีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ กับ แบบการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลาที่ประกอบด้วย เกาซ์เซียนคอปปูลา และ สติวเดนท์ทีคอปปูลา ที่มีองศาอิสระเท่ากับ 1 2 และ 3 ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และ ที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์

5.1.1 สรุปผลการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการโดยมีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย มีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และ ที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์

ระดับเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการตามสมมติฐานของความสัมพันธ์ระหว่างธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ถ้ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ จะได้เงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการมีค่าเท่ากับ ผลรวมของมูลค่าความเสี่ยงที่เกิดจากความเสี่ยงจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจกับมูลค่าความเสี่ยงที่เกิดจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านอื่นๆ ซึ่งประกอบด้วย 1) ความเสียหายจากการฉ้อโกงโดยบุคคลภายใน 2) ความเสียหายจากการทุจริตภายนอก 3) ความเสียหายจากการจ้างงาน และความปลอดภัยในสถานที่ 4) ความเสียหายด้านความปลอดภัยของทรัพย์สิน 5) ความเสียหายจากการขัดข้องหรือหยุดชะงักของธุรกิจและระบบงาน และ 6) ความเสียหายจากการปฏิบัติงานและการให้บริการ

มูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการสำหรับองค์กรที่เป็นกรณีศึกษา ควรดำรงเงินกองทุนไว้มีค่าเท่ากับ 64,319,758 บาท ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ และเงินกองทุน มีค่าเท่ากับ 484,524,880 บาท ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ และเงินกองทุน มีค่าเท่ากับ 1, 022,005,283 บาท สำหรับ ณ ระดับความเชื่อมั่น 99.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ทั้งนี้ การดำรงเงินกองทุนนั้นจะขึ้นอยู่กับ การที่องค์กรจะกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่เท่าใดเพื่อรองรับความเสี่ยง ซึ่งกำหนดระดับความเชื่อมั่นนั้นจำเป็นที่จะต้องสอดคล้องกับการดำเนินธุรกิจ หากองค์กรกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่มีระดับต่ำเกินไป จะส่งผลให้การประเมินเงินกองทุนนั้นต่ำกว่ามูลค่าที่ควรจะเป็น เมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้นอาจทำให้เงินกองทุนที่ดำรงไว้ไม่พียงพอในการชดใช้มูลค่าความเสียหาย ในทางกลับกัน หากองค์กรกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่มีระดับที่สูงเกินไป จะส่งผลให้องค์กรต้องดำรงเงินกองทุนที่สูงมาก ก่อให้เกิดภาระต้นทุนของเงินกองทุน และอาจส่งผลทำให้เกิดอุปสรรคในการดำเนินธุรกิจได้

5.1.2 สรุปผลของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ เมื่อมีการปรับค่าประมาณพารามิเตอร์แลมด้า

ในส่วนการวิเคราะห์ความอ่อนไหว โดยให้มีการปรับค่าประมาณพารามิเตอร์แลมด้าลดลงและเพิ่มขึ้นในระดับที่เท่ากันจากค่าพารามิเตอร์แลมด้าเดิมที่ใช้ในการวิเคราะห์ในส่วนแรก และเปรียบเทียบมูลค่าของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่เปลี่ยนแปลงไป ผลชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์โดยส่วนใหญ่ ณ ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ การเพิ่มขึ้นของพารามิเตอร์นั้นจะส่งผลทำให้การดำรงเงินกองทุนเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่สูงกว่าการปรับลดค่าประมาณพารามิเตอร์ลง อาจกล่าวในอีกแง่หนึ่งคือ เมื่อใช้ระดับความถี่ (จำนวนครั้งต่อปี) ที่แตกต่างกันพบว่า จำนวนครั้งของการเกิดความเสียหายจากความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการที่ลดลง จะส่งผลให้การดำรงเงินกองทุนที่ลดลงได้จำนวนมาก ในขณะที่เมื่อเกิดความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการเพิ่มมากขึ้นกว่าปกติจะทำให้องค์กรต้องเตรียมเงินกองทุนไว้ในจำนวนที่มากกว่าระดับปกติเพื่อรองรับความเสียหายที่เกิดจากความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ดังนั้นหากองค์กรใดมีเครื่องมือในการบริหารความเสี่ยงเพิ่มเติมเพื่อช่วยลดความเสียหายจากความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ เช่น มีการจัดการควบคุมภายในที่ดี จะช่วยให้จำนวนครั้งหรือความถี่ในการเกิดความเสียหายลดลง ซึ่งช่วยให้องค์กรสามารถลดการสำรองเงินกองทุนเพื่อรองรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ เนื่องจากการสำรองเงินกองทุนไว้จำนวนมากจะเพิ่มภาระด้านต้นทุนต่อองค์กรและจะสะท้อนถึงความไม่มั่นคงในการดำเนินธุรกิจซึ่งอาจนำไปสู่การล้มละลายเนื่องจากความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการได้

5.1.3 สรุปเปรียบเทียบมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติระหว่างแบบจำลองที่มีสมมติฐานว่าแต่ละสายธุรกิจและประเภทของความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์กับแบบการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลาที่ประกอบด้วยเกาซ์เซียนคอปปูลาและสติวเดนท์ทีคอปปูที่มีองศาอิสระเท่ากับ 1 2 และ 3 ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 ที่ 99 และ ที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์

จากปัญหาหลักของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการคือ การขาดแคลนข้อมูลที่เพียงพอและชุดข้อมูลที่นำเสนออาจมีความคลาดเคลื่อนเอนเอียงทำให้มีผลในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของคอปปูลา

นั่นก็คือ เมตริกซ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation matrix) และการระบุองศาอิสระของสติวเดนท์ทีคอปปูลา นั้นไม่สามารถระบุได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้ทำการเสนอผลในการสร้างแบบจำลองตามAfambo (2006) ในการระบุองศาอิสระในสติวเดนท์ทีคอปปูลาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

โดยมีการแบ่งการพิจารณากลุ่ม อิลลิปติเคิลคอปปูลา ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนที่1 คือเกาซ์เซียนคอปปูลาและ ส่วนที่2 จะพิจารณาสติวเดนท์ทีคอปปูลา ที่มีองศาอิสระ 1 2 และ 3 ในการคำนวณเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์

ผลเปรียบเทียบมูลค่าเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้จากแบบจำลองที่มีสมมติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ กับการใช้การจำลองตัวแปรสุ่มร่วมด้วยเทคนิคคอปปูลา พบว่าจากที่กล่าวไว้ข้างต้น คอปปูลาสามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ทั้งความสัมพันธ์เชิงเส้นและที่ไม่ใช่ความสัมพันธ์เชิงเส้นได้ซึ่งเป็นประโยชน์ในการกระจายความเสี่ยง (Diversification benefit) และอีกทั้งยังช่วยลดระดับของการดำรงเงินกองทุนของบริษัท (Capital saving) เนื่องจากเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้จากแบบจำลองในแบบแรกอาจมีค่าที่มากเกินไป และภายใต้การสร้างแบบจำลองคอปปูลา การใช้แปรสุ่มร่วมที่แตกต่างกันของคอปปูลากลุ่มอิลิปติเคิลระหว่างเกาซ์เซียนคอปปูลา กับ สติวเดนท์ทีคอปปูลานั้น ผลชี้ให้เห็นว่า เกาซ์เซียนคอปปูลาจะกระจายความเสี่ยงได้ดีรวมทั้งยังช่วยลดการดำรงเงินกองทุนได้มากที่สุด ถัดมาคือ สติวเดนท์ทีคอปปูลา ที่มีองศาอิสระ 3 องศาอิสระ2 และองศาอิสระ1 ตามลำดับในส่วนสติวเดนท์ทีคอปปูลาพบว่าระดับของเงินกองทุนที่บริษัทจะต้องดำรงไว้มีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับองศาอิสระ

นอกจากนี้ผู้วิจัยมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการเปรียบเทียบเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ดังกล่าวกับการใช้วิธีดัชนีพื้นฐาน หรือ BIA โดยคิดจาก 15 เปอร์เซ็นต์ของรายได้รวม 3 ปีย้อนหลัง ซึ่งในธุรกิจประกันภัย ผู้วิจัยได้พิจารณารายได้รวมจากแหล่งที่มารายได้ของธุรกิจประกันภัยจาก 3 แหล่ง ดังนี้ 1) เบี้ยประกันที่ถือเป็นรายได้ 2) รายได้จากการลงทุน และ 3) รายได้อื่น ซึ่งผลการศึกษา พบว่าบริษัทจะต้องดำรงเงินกองทุนสำหรับวิธีนี้ 364, 275,303บาท ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการคิดคำนวณเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจากวิธีดังกล่าว มีค่าใกล้เคียงกับวิธีการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ผู้วิจัยศึกษา ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 99 เปอร์เซ็นต์ของแบบจำลองที่มีสมมติฐานของ

ความสัมพันธ์ของประเภทเหตุการณ์ความเสียหายแบบสมบูรณ์ (Full positive correlation) และแบบจำลองที่ใช้เทคนิคกลุ่มอิลิปติเคิลคอปปูลา

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเรื่องของการประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์สำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการโดยใช้วิธีแบบจำลองคณิตศาสตร์ประกันภัย (Actuarial Model) ตามแนวทางของ Loss Distribution Approach (LDA) ภายใต้วิธีการวัดขั้นสูง (AMA) วิธีนี้มีข้อดีทางสถิติคือมีความถูกต้องแม่นยำและสามารถสะท้อนความสี่ยงที่แท้จริงขององค์กรได้มากที่สุดเนื่องจากมีการใช้การแจกแจงของข้อมูลความเสียหายจริงในการสร้างแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ แบบจำลองด้วยวิธีคณิตศาสตร์ประกันภัย มีการแยกการประมาณค่าพารามิเตอร์ออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรก เป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลความถี่โดยมีข้อตกลงเบื้องต้นในการใช้การแจกแจงปัวซองสำหรับข้อมูลความถี่ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการอีกส่วนหนึ่งคือค่าประมาณพารามิเตอร์ของข้อมูลความเสียหายของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการ ผลการวิจัยพบว่า ตัวประมาณพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการทดสอบความเหมาะสม คอลโมโกรอฟสเมอร์นอฟ (KS test) ที่มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลความเสียหายของของงานวิจัยนี้เป็น การแจกแจงแบบลอคนอร์มอล (Lognormal distribution) ซึ่งมีลักษณะของมูลค่าความสียหายไม่สูงมาก หรือมีลักษณะหางหนักปานกลาง (Moderately heavy tail) และความรุนแรงของความเสียหายของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการมีลักษณะที่ไม่สมมาตร โดยมีลักษณะเบ้ขวา เหตุผลดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งในการอธิบายเหตุการณ์ความเสีย ที่มีความถี่ในการเกิดความเสี่ยงต่ำ แต่มีความความรุนแรงหรือผลกระทบสูง (Low frequency / High severity) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลการเกิดจำนวนครั้งของเหตุการณ์จะเข้าใกล้ 0 สามารถอธิบายในส่วนของ ความโด่งสูง (High kurtosis) แต่มีความรุนแรงมากในการเกิดความเสียหายในแต่ละครั้ง ซึ่งแสดงถึงลักษณะของหางหนัก (Heavy-tailed) ได้ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการนั้น หากความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งมีมูลค่าสูง การแจกแจงหางหนัก เช่น การแจกแจงลอคนอร์มอล การแจกแจงไวบูลล์ การแจกแจงพาเรโต และ การแจกแจงอัลฟา-

สเตเบิลจึงควรนำมาพิจารณาในประเมินความเสี่ยงและการสร้างแบบจำลอง ซึ่งการแจกแจงของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการแจกแจงของมูลค่าค่าสินไหมทดแทนในการประกันภัย

จากผลการวิจัย พบว่า มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหายด้านลูกค้า ผลิตภัณฑ์ และวิธีปฏิบัติในการดำเนินธุรกิจ (Clients products and business practices (CPBP)) เป็นประเภทเหตุการณ์ความเสียหายหลักที่ก่อให้เกิดความเสียหายที่มีมูลค่ามากที่สุดต่อองค์กร ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Afambo (2006) ที่ศึกษาพบว่าความเสี่ยงจากประเภทเหตุการณ์ความเสียหายดังกล่าวเป็นความเสี่ยงหลัก (Main risk driver) ของธุรกิจประกันภัย

งานวิจัยนี้ หลักการสำคัญของการประเมิณระดับเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการคือ การคำนวณมูลค่าความเสี่ยง (VaR) ที่ได้จากความเสียหายรวม (Aggregate losses) ที่มีสมมติฐานว่าความสัมพันธ์ของแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหายมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะได้ว่าเงินกองทุนสำหรับความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการมีค่าเท่ากับผลรวมของ เงินกองทุนของความเสี่ยงแต่ละสายธุรกิจและประเภทเหตุการณ์ความเสียหาย ทั้งนี้ในการรวมเงินกองทุนแต่ละประเภทนั้นจะต้องพิจารณาในส่วนของความถูกต้องแม่นยำ และการเทียบมาตรฐานของมูลค่าความเสียหายในการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากปัญหาหลักในการสร้างแบบจำลองของความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการนั้นคือ ปัญหาการขาดแคลนข้อมูลความเสียหาย ซึ่งอาจทำให้แบบจำลองที่ได้ไม่มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้มีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการนำวิธีการผนวกรวมความสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงกับความเสียหายที่มีการประมาณการไว้ว่าจะเกิดขึ้นแต่มีการป้องกันได้สำเร็จก่อน (Near-miss losses) เพื่อให้แบบจำลองนั้นมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

ส่วนของการวิเคราะห์ความอ่อนไหว การปรับค่าพารามิเตอร์แลมด้าที่เพิ่มขึ้นและลดลงในระดับที่เท่ากัน สามารถอธิบายได้ว่า หากองค์กรไม่มีการจัดการควบคุมภายในที่ดีจะทำให้จำนวนครั้งในการเกิดความเสียหายในองค์กรเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้องค์กรจะต้องดำรงเงินกองทุนในอัตราที่สูงกว่าหากเปรียบเทียบกับการลดลงของเงินกองทุนที่จะองค์กรต้องดำรงไว้เมื่อองค์กรมีการควบคุมภายใน

ด้านการใช้เทคนิคการจำลองคอปปูลาในการจำลองตัวแปรสุ่มร่วมระหว่างเทคนิคเกาซ์เซียนคอปปูลา และ สติวเดนท์ทีคอปปูพบว่า การใช้คอปปูลามีประโยชน์ในเรื่องของการการกระจายความเสี่ยงเนื่องจากการประเมินเงินกองทุนจากวิธีก่อนหน้ามีแนวโน้มทำให้การประเมินเงินกองทุนมีค่ามากเกินไปกว่าความเป็นจริง ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อการดำรงเงินกองทุนขององค์กร ในส่วนของประเภทคอปปูลาที่นำมาใช้ พบว่าการเลือกใช้ประเภทคอปปูลาในการทำจำลองมีผลต่อระดับของเงินกองทุนที่ธุรกิจจะต้องดำรงไว้ เนื่องจากคอปปูลาแต่ละประเภทมีคุณสมบัติภายใต้โครงสร้างความสัมพันธ์ที่ไม่อิสระกันที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อการประเมินเงินกองทุนที่ไม่เท่ากัน

ในส่วนของการพิจารณาของการเลือกองศาอิสระของสติวเดนท์ทีคอปปูลาการเลือกใช้องศาอิสระต่ำ สามารถอธิบายลักษณะความสัมพันธ์ที่ไม่อิสระกันของของหางการแจกแจงส่วนปลาย (Upper tail) ได้ดี แต่จะทำให้ต้องดำรงเงินกองทุนที่มากขึ้นเพื่อรองรับในส่วนของความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายที่มีมูลค่าที่สูงๆได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การแก้ไขปัญหาของการขาดแคลนข้อมูล

อุปสรรคหลักสำหรับการสร้างแบบจำลองความเสี่ยงด้านการปฏิบัติการคือ การขาดแคลนข้อมูลในอดีตที่เพียงพอในการทำแบบจำลองซึ่งหมายถึงข้อสรุปในการทำแบบจำลองนั้นถูกสรุปมาจากตัวอย่างที่จำกัดที่มีอยู่และขาดความสามารถที่เพียงพอในการอธิบายแบบจำลองได้ปัญหานี้ได้กลายเป็นปัญหาใหญ่เมื่อต้องจัดการแก้ปัญหากับความสูญเสียด้านการปฏิบัติการที่มีความเสียหายสูงมาก เราไม่สามารถสร้างแบบจำลองเหตุการณ์ส่วนหางได้จากข้อมูลเพียงเล็กน้อยที่มีอยู่ในฐานข้อมูลมูลค่าความเสียหายภายใน ดังนั้นข้อเสนอในการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น มี 3 วิธีดังนี้

1.การรวมกลุ่มข้อมูลภายในและข้อมูลภายนอกวิธีนี้เป็นที่นิยมในสายธุรกิจทางธนาคาร เนื่องกรการรวมข้อมูลภายนอกจะทำให้มีจำนวนที่มากพอเพื่อให้มีความแม่นยำในการประมาณการทางสถิติ

และ การเก็บข้อมูลที่ไม่ได้เกิดขึ้นเพียงในตัวของธนาคารนั้นอย่างเดียวแต่การรวมข้อมูลภายนอกสามารถสะท้อนให้เห็นถึงความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นได้จากข้อมูลในอดีตของธนาคารอื่น

2..ผนวกรวมความสูญเสียที่เกิดขึ้นจริงกับความเสียหายที่มีการประมาณการณ์ไว้ว่าจะเกิดขึ้นแต่มีการป้องกันได้สำเร็จก่อน (Near-miss losses)

3.การใช้การวิเคราะห์สถานการณ์ (Scenario analysis and stress test)

2. การแบ่งสายของธุรกิจประกันภัยมีความแตกต่างจากสายธุรกิจของทางธนาคารเนื่องจากลักษณะธุรกิจมีความแตกต่างกัน

3. คุณภาพของการควบคุมสภาพแวดล้อมภายใน

คุณภาพของการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในของ บริษัท เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการแจกแจงความเสียหายของบริษัท รวมทั้งการดำรงเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์ดังนั้นแบบจำลองที่จะต้องนำมูลค่าของความเสียหายมาคิดคำนวณเงินกองทุนดังกล่าว จะต้อง เกิดจากสถานการณ์ที่ว่าเหตุการณ์ความเสี่ยงนั้นและตัวชี้วัดความเสี่ยงสามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้ในส่วนของการควบคุมและประเมินความเสี่ยงด้วยตนเอง หรือปริมาณของคุณภาพของสภาพแวดล้อมการควบคุมความเสี่ยงภายใน ที่ดีด้วยซึ่งสะท้อนความเสี่ยงของบริษัท (Risk profile) ได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จักรพงศ์ เกียรติดารง. 2554. การประเมินเงินกองทุนทางเศรษฐศาสตร์และการรวมพอร์ตโฟลิโอความเสี่ยงโดยคอปปูลาฟังก์ชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการประกันภัย ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ประกาศธนาคารแห่งประเทศไทย. 2551. หลักเกณฑ์การดำรงเงินกองทุนขั้นต่ำสำหรับความเสี่ยงด้านปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ: ธนาคารแห่งประเทศไทย.

ปิยะวดี โขวิฑูรกิจ. 2550. การบริหารความเสี่ยงและเงินกองทุน.IPRB Newsletter 7(เมษายน)

ปิยะวดี โขวิฑูรกิจ. 2550. การบริหารความเสี่ยงและเงินกองทุน.IPRB Newsletter 8(กรกฎาคม)

ปิยะวดี โขวิฑูรกิจ. 2550. การบริหารความเสี่ยงและเงินกองทุน.IPRB Newsletter 9(ตุลาคม)

มานพ วราภักดิ์. 2550. การจำลอง (Simulation). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวาณี สุรเสียงสังข์. 2553. เอกสารคำสอนวิชา 2603612 ตัวแบบคณิตศาสตร์ประกันภัย. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์. 2555. การจำลอง (Simulation). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัญญา ขันธวิทย์. 2547. การวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการลงทุนในหลักทรัพย์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อัมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

อัญญา ขันธวิทย์. 2553. วิศวกรรมการเงินในตลาดการเงินไทย : 72 ปี บัญชีธรรมศาสตร์ 36 ปี MFC. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

Afambo, E. F. 2006. Operational Risk Capital Provision for Bank and Insurance Company.Doctoral dissertation Department of Risk Management and Insurance. Georgia State University

Chernobal, A. S., Rachev, S. T. and Fabozzi,Fr. J. 2007. Operationakal Risk. USA: John Wiley & Son.

Chevez-Demoulin, V., Embrechts, P. and Nesllehova, J. 2005. Quantitative Models for Operational Risk:Extremes, Dependence and Aggregation. Working Paper. ETH Zurich

Fontnouvelle, P. D., DeJesus-Rueff, V., Jordan J. et al. 2003. Using Loss Data to Quantify Operational Risk. Working Paper (April 2003). Federal Reserve Bank of Boston

Gareth, W.P., Johansen, M.A. and Doucet, A. 2007. Simulation of the Annual Loss Distribution in Operational Risk via Panjer Recursions and Volterra Integral Equations for Value at Risk and Expected Shortfall Estimation. J. Operational Risk 2(July 2007):29-58.

Kaishev V. K., Dimitrova, D.S., and Ignatov, Z. G. 2008. Operational Risk and Insurance: A Ruin-probabilistic Reserving Approach. J. Operational Risk3:39-60.

Mango, D. 2006.Applying Actuarial Techniques in Operational Risk Modeling.Working Paper.Casualty Actuarial Society.

Politou, D. and Giudici, P. 2009. Modelling Operational Risk Losses with Graphical Models and Copula Functions.J. Springer Science11:65-93.

Shevchenko, P. V. October 2009.Implementing loss distribution approach for operational risk. J. Wiley InterScience 26(October 2009): 277-307.

Wei, R. 2003. Operational Risks in the Insurance Industry.Doctoral dissertation. Department of Insurance and Risk Management. The Wharton School University of Pennsylvania

Woohwan, K. and Seungbeom, B. 2009. A Study on the Dependence Structure of Aggregate Loss Distributions Based on Frequency Dependence. J. The IUP Financial Risk Management 4: 122-130.

.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว นรีรัตน์ รัตนพรชัยกุล เกิดเมื่อวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ.2531ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาสถิติศาสตรบัณฑิต สาขาการประกันภัย ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการประกันภัย ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2553