การเปรียบเทียบแบบจำลองการวัดมูลค่าความเสี่ยง (VaR) และมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR) : กรณีศึกษา สกุลเงินดิจิทัล (Cryptocurrency)

The comparison of Value at Risk (VaR) and Conditional Value at Risk (CVaR) model : The case of Cryptocurrency

ชาญชัย พึ่งวิรวัฒน์[1] , ธฤตพน อู่สวัสดิ์[2] และ สมพร ปั่นโภชนา[3]

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการเงิน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, chanchaibenz@hotmail.co.th

[2] อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมการเงิน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, thitapon_ous@utcc.ac.th

[3] สาขาวิชาวิศวกรรมการเงิน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, somporn_punpocha@yahoo.com

---

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองการวัดมูลค่าความเสี่ยง (Value at Risk) และมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (Conditional Value at Risk) วิธีการสร้างแบบจำลองโดยใช้ ข้อมูลในอดีต (Historical Simulation) และวิธีการปรับปรุงตามแบบจำลอง GARCH และทฤษฎีค่าเอ็กซ์ทรีมซ์ Extreme Value Theory (EVT) เพื่อวัดความเสี่ยง บนดัชนีตลาดและสกุลเงินดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วย Set Index (SET), Nasdaq Composite (IXIC), Cryptocurrency Index (CRIX), Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Binance Coin (BNB) เพื่อเป็นแนวทางให้นักลงทุนสามารถใช้เป็นเครื่องมือใน การคาดการณ์ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น รวมถึงการปรับพอร์ตการลงทุนในดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัล ให้อยู่ภายใต้ความ เสี่ยงที่ยอมรับได้โดยทำการศึกษา ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และ 0.99 และทดสอบคุณภาพแบบจำลอง ด้วยวิธี Violation Ratio และวิธี Three-zone Approach

การศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาการวัดมูลค่าความเสี่ยง (VaR) และมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR) ของดัชนีตลาด และสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงิน พบว่า การประมาณหามูลค่าความเสี่ยงด้วยแบบจำลอง GARCH-EVT เป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและผ่านการทดสอบคุณภาพ (Back-testing) ณ ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และร้อยละ 99 นอกจากนี้การศึกษายังพบว่า สกุลเงินดิจิทัล Binance coin (BNB) และสกุลเงินดิจิทัล Ethereum (ETH) มีมูลค่าความเสี่ยงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีราคาตลาด และสกุลเงินดิจิทัลอื่น แต่ในขณะเดียวกันก็ยังให้อัตราผลตอบแทนมากที่สุดเช่นเดียวกัน ดังนั้น สกุลเงินดิจิทัล Binance coin (BNB) และสกุลเงินดิจิทัล Ethereum (ETH) จึงเป็นสกุลเงินดิจิทัลที่มีความน่าสนใจสำหรับนักลงทุนที่ชอบความเสี่ยง (Risk-loving investor)

คำสำคัญ: มูลค่าความเสี่ยง, มูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข, ดัชนีราคาตลาด, สกุลเงินดิจิทัล

ABSTRACT

This study is on comparing Value at Risk (VaR) and Conditional Value at Risk (CVaR) model, which include GARCH and Extreme Value Theory (EVT) and Historical Simulation to calculate the market risk of market

index and Cryptocurrency. Consists of Set Index (SET), Nasdaq Composite (IXIC), Cryptocurrency Index (CRIX), Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH) and Binance Coin (BNB). Investor are able to use Value at Risk (VaR) and Conditional Value at Risk (CVaR) as a tool to foresee the possible loss incurred due to return movement and adjust portfolio to be under an acceptable level of risk. The framework of Value at Risk (VaR) and Conditional Value at Risk (CVaR) model is calculating at 95% and 99% confidence level and also back-testing in which Violation Ratio and Three-zone Approach are applied.

The result shows that GARCH-EVT model is more suitable and pass back testing to estimate Value at Risk (VaR) and Conditional Value at Risk (CVaR) of market index and Cryptocurrency both 95% and 99% confidence level. Besides, the study finds that Binance coin (BNB) and Ethereum (ETH) presents the highest estimated risk, where as it provides the highest return, therefore it is attractive to risk-loving investor.

Keywords: Value at Risk, Conditional Value at Risk, Market index, Cryptocurrency

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศทำให้เกิดบริบทที่ไม่เคยมีมาก่อนของสกุลเงินดิจิทัลต่างๆ เช่น Cryptocurrency Index (CRIX), Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Binance Coin(BNB) เป็นต้น ที่เรียกว่าสกุลเงินดิจิทัล หรือ คริปโทเคอร์เรนซี (cryptocurrency)" ใช้เทคโนโลยีบล็อกเชน (blockchain) ติดตามการเคลื่อนไหวของเงินแม้จะไม่มีตัวกลางและสามารถป้องกันการปลอมแปลงได้ด้วยการชำระ/โอนเงินจึงอยู่แค่ภายในเครือข่าย ซึ่งมีข้อดีที่รวดเร็ว และปลอดภัย ซึ่งสกุลเงินดิจิทัลต่างๆที่เป็นที่ยอมรับการชำระเงินในรูปแบบของสกุลเงินดิจิตอล เช่น Bitcoin, Ethereum, Binance Coin เป็นต้น สกุลเงินดิจิทัลเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นในข้อมูล ดังนั้นจึงสามารถใช้สำหรับการชำระเงินและการค้าออนไลน์ได้ คนส่วนใหญ่ใช้ด้วยต้นทุนต่ำในการโอนจากคนสู่คน เนื่องจากความต้องการที่เพิ่มขึ้นและอุปทานที่จำกัด ตัวอย่างเช่น ชื่อสกุลเงินดิจิทัลที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ Bitcoin ซึ่งเปิดตัวโดย Nakamoto (2009) และมีอุปทานจำนวนจำกัดเพียง 21 ล้านเท่านั้น รวมถึงอุปสงค์ไม่จำกัด เป็นสกุลเงินใหม่ที่สร้างขึ้นจากกลไกคณิตศาสตร์ที่กำหนดจำนวนไว้จำกัด ต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์ถอดรหัสเพื่อนำเงินออกจากกลไก สำหรับเหตุการณ์เหล่านี้ ด้านอุปสงค์ซึ่งวัดจากคำค้นหา มีบทบาทสำคัญในราคาที่มีความผันผวนเหนือปัจจัยทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ ราคาที่ผันผวนของ Bitcoin ยังได้รับผลกระทบจากข้อมูลที่ประกาศต่อสาธารณะอีกด้วย สำหรับตลาดสกุลเงินดิจิทัล เกี่ยวกับ Cryptocurrencies ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างรวดเร็ว ราคาของ Cryptocurrencies ที่ผันผวนนั้นน่าสนใจสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับตลาดนี้

ทฤษฎีทางการเงินเป็นเครื่องมือสำคัญต่อนักลงทุนในการใช้วางแผนจัดพอร์ตการลงทุน รวมถึง การจัดการความเสี่ยง (Risk Management) แต่เมื่อมีสถานการณ์วิกฤตเศรษฐกิจ นักลงทุนต่างขาดทุนจำนวนมากทั้งที่ได้วางแผนทางการเงินเป็นอย่างดี ตามทฤษฎีการลงทุนสมัยใหม่ (Modern Portfolio Theory: MPT) นักลงทุนจะกระจายการลงทุนในหลักทรัพย์เพื่อลดความเสี่ยงจากการผันผวน โดยมีสมมติฐานสำคัญคือ ผลตอบแทนจากการลงทุนจะไม่ขึ้นอยู่กับเวลาและมีการกระจายแบบปกติ (Normality) (Markowitz, 1952) แต่ในความเป็นจริงผลตอบแทนตอบแทนกระจายตัวแตกต่างจากปกติ (Non-normality) (Embrechts, Resnick, & Samorodnitsky, 1999; McNeil, 1999)

แบบจำลองทางการเงินใช้ไม่ได้ในทุก สถานการณ์เพราะความเสี่ยงช่วงวิกฤตจากทฤษฎีต่ำกว่าความเป็นจริง และความสัมพันธ์ของหลักทรัพย์ ในช่วงวิกฤตแตกต่างจากช่วงปกติ

ดังนั้น จึงเกิดคำถามว่า หากสามารถปรับปรุงแบบจำลองทางการเงินโดยปรับเปลี่ยนสมมติฐานจากที่ให้การกระจายตัวของผลตอบแทนมีการกระจายแบบปกติ (Normality) เป็นสมมติฐานที่ให้การกระจายตัวของผลตอบแทนตามที่เป็นจริงได้แล้ว อาจช่วยปรับปรุงให้การใช้ทฤษฎีทางการเงิน (Financial Theory) ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมราคาในตลาดมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น โดย ปัจจุบันมีงานวิจัยเชิงประจักษ์หลายชิ้น ได้นำทฤษฎีค่าเอ็กซ์ทรีม (Extreme Value Theory: EVT) และ โคปูลาร์ (Copula) มาใช้ปรับปรุงแบบจำลองทางการเงิน การศึกษานี้ได้ใช้เทคนิค Value at risk ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับที่ The Bank International Settlement (BIS) ได้กำหนดให้ธนาคารพาณิชย์ใช้คำนวณเพื่อกันสำรองเงินกองทุนขั้นต่ำ (Bali et at.,2008)รวมถึงการวัดมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (Conditional Value at Risk หรือ CVaR) ซึ่งเป็นมูลค่าความเสี่ยงส่วนที่เกินกว่าค่า VaR ซึ่งสามารถบอกถึงโอกาสสูญเสียส่วนที่เกินจากความเชื่อมั่นที่กำหนด และสามารถวัดความเสี่ยงได้ดีกว่าค่า VaR โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากหลักทรัพย์นั้นมีการกระจายของอัตราผลตอบแทนแบบหางอ้วน (Fat-Tail Distribution) (Yamai and Yoshiba, 2005)

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการใช้มูลค่าความเสี่ยง (VaR) ในการวัดความเสี่ยงสำหรับตลาดสกุลเงินดิจิทัล
2. เพื่อศึกษาการใช้มูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR) ซึ่งเป็นความเสี่ยงส่วนที่เกินกว่าค่า VaR
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ต่างกันโดยสามารถเลือกตัวแบบจำลอง และวิธีประมาณค่า VaR ได้อย่างเหมาะสม ผ่านการคำนวณและตรวจสอบคุณภาพแบบจำลอง

3. การดำเนินการวิจัย

ในการศึกษานี้ นำเสนอการวัดความเสี่ยงของสกุลเงินดิจิทัลและตลาด Cryptocurrency โดยนำแนวคิดของ GARCH และ EVT มาปรับปรุงผลตอบแทนของสกุลเงินดิจิทัลและ ผลตอบแทนตลาด Cryptocurrency, Set Index (SET), Nasdaq Composite(IXIC) เพื่อใช้ในการวัดมูลค่าที่ความเสี่ยง (Value at Risk: VaR) และ มูลค่าที่ความเสี่ยงแบบ มีเงื่อนไข (Conditional Value at Risk: CVaR) โดยเปรียบเทียบผลกับวิธีการสร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลในอดีต (Historical Simulation) และทดสอบคุณภาพแบบจำลอง (Back-testing) ด้วยวิธี Violation Ratio และวิธี Three-zone Approach เพื่อให้แน่ใจว่าผู้ที่เกี่ยวข้องทราบระดับความเสี่ยงและประสิทธิภาพของเครื่องมือและประสิทธิภาพในสกุลเงินดิจิทัล โดยใช้ข้อมูลดัชนีรายวัน รายละเอียดขั้นตอนศึกษา มีดังนี้

3.1 เก็บข้อมูลรายวันตั้งแต่วันที่ 16 มีนาคม ค.ศ. 2018 ถึง 16 พฤษภาคม ค.ศ. 2022 จาก finance.yahoo.com มา คำนวณหาอัตราผลตอบแทนรายวัน (Daily return) โดยใช้ log return

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติพรรณนา (Preliminary Data Analysis) นำข้อมูลอัตราผลตอบแทนรายวัน หาการแจกแจงความถี่ วัดแนวโน้มเข้าหาสู่ส่วนกลาง วัดการกระจายตัวของข้อมูล หาค่าความเบ้และความโด่งพร้อมนำเสนอในรูปแบบของตารางข้อมูลและกราฟ

3.3 ทดสอบการแจกแจงด้วยกราฟ Quantile-Quantile plot (Q-Q Plot) เพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของอัตราผลตอบแทนเปรียบเทียบกับการกระจายตัวแบบปกติ

3.4 ปรับปรุงผลตอบแทนจากข้อที่ 3.1 ตามแบบจำลองทั่วไป GARCH (p,q) ตามสมการที่ (1) ความแปรปรวนของผลตอบแทนในเวลา t จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ ค่าเฉลี่ยของผลตอบแทนใน ช่วงก่อนหน้า (ϵ_{t-i}^2) และ ความแปรปรวนในช่วงก่อนหน้า (σ_{t-j}^2) (การศึกษามุ่งศึกษาผลของความผันผวน ในช่วงก่อนหน้า 1 ช่วงเวลา จึง กำหนดค่า p และ q เท่ากับ 1) โดยเมื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ α และ β อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแล้ว สามารถนำค่าผลตอบแทนที่ปรับด้วยตัวแบบ GARCH ไปใช้ใน ขั้นตอนต่อไป โดยนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าวิกฤต(Threshold: μ) และพารามิเตอร์EVT โดยวิธี POT ตามสมการที่ (2) ได้แก่ ดัชนีส่วนหาง (Shape index or Tail index: Xi: ξ) สเกลพารามิเตอร์ (Scale parameter: σ) จากสมการ ค่าดัชนีส่วนหาง (Shape: Xi: ξ)จะส่งผลต่อรูปแบบการกระจาย โดยหากค่า พารามิเตอร์เท่ากับ 0 แสดงว่าการกระจายของผลตอบแทนไม่เป็นไปตาม EVT แต่หากค่าพารามิเตอร์ แตกต่างจาก 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแสดงว่าผลตอบแทนของหมวดธุรกิจมีการกระจายตาม EVT ซึ่ง รูปแบบการกระจายที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการประมาณค่าความเสี่ยงต่อไป

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \epsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{q} \beta_i \sigma_{t-j}^2 \quad (1)$$

$$F(y|r > u) = 1 - \left(1 + \xi \frac{y}{\sigma_u}\right)^{-\frac{1}{\xi}} \quad (2)$$

3.5 นำฟังก์ชันการกระจายตาม EVT ที่ได้จากข้อที่ 3.4 มาคำนวณ มูลค่าที่ความเสี่ยง (Value at Risk: VaR) และมูลค่าที่ความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (Conditional Value at Risk: CVaR) ที่ระดับ ความเสี่ยง 95% และ 99% ตามลำดับ เปรียบเทียบความเสี่ยงกับวิธีการสร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลในอดีต (Historical Simulation)โดยในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ หากตัวแบบ EVT ให้ค่าพารามิเตอร์ที่ มีนัยสำคัญทางสถิติการความเสี่ยงจากการกระจายตาม EVT จึงตรงความเป็นจริงกว่า

- <u>วิธีการสร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลในอดีต (Historical Simulation Approach; HSA)</u>

มูลค่าที่ความเสี่ยง (Value at Risk: VaR) คำนวณได้จากการ นำอัตราผลตอบแทนที่คำนวณได้มาเรียงค่าจากมากไปน้อยแล้วจึงหาจุดที่เป็นเปอร์เซ็นต์ไทล์ของข้อมูล ซึ่งเท่ากับ ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

$$VaR_t = R_t^p \quad (3)$$

โดยที่ R_t^p = เปอร์เซ็นไทล์ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด

มูลค่าที่ความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (Conditional Value at Risk: CVaR) คำนวณจากข้อมูลผลตอบแทนเฉลี่ยทั้งหมดที่มีค่าต่ำกว่ามูลค่าติดลบของมูลค่าความเสี่ยงจากการใช้ข้อมูลในอดีต (HS VaR)

$$CVaR_\alpha(X) = -E[X|X \geq -VaR_\alpha(X)] \quad (4)$$

3.6 ตรวจสอบคุณภาพแบบจำลอง (Back-testing)

3.6.1 ตรวจสอบคุณภาพแบบจำลองการวัดมูลค่าความเสียง (VaR) ด้วยวิธี Violation Ratio และ Three-Zone approach ตามสมการดังต่อไปนี้

1) วิธี Violation Ratio

$$ViolationRatio = \frac{E}{(1-\alpha)\times N} \quad (5)$$

โดยที่ E = จำนวนวันที่ผิดปกติ (Exception Date)

α = confidence level ค่าความเชื่อมั่น

N = จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ค่า VaR

จะทำการยอมรับคุณภาพแบบจำลอง เมื่อค่า Violation Ratio มีค่าอยู่ระหว่าง 0.80 – 1.20

2) วิธี Three-zone Approach

$$P(i \leq n|N,p) = \sum_{i-1}^{n}\left[\binom{N}{n} \times p^i \times (1-p)^{N-i}\right] \quad (6)$$

โดยที่ $P(i \leq n|N,p)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จำนวนวันที่ผิดปกติ (Exception Date) มีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ n ครั้ง

ตารางที่ 1 BIS “Traffic Light” System

โซน	จำนวนวันที่ผิดปกติ (Exception date)	Cumulative probability
สีเขียว	0	0.0811
	1	0.2858
	2	0.5432
	3	0.7581
	4	0.8922
สีเหลือง	5	0.9588
	6	0.9863
	7	0.9960
	8	0.9989
	9	0.9997
สีแดง	10 หรือมากกว่า	0.9999

3.6.2 ตรวจสอบคุณภาพแบบจำลองการวัดมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR)

$$nCVaR = \frac{y_t}{CVaR_t} \quad (7)$$

โดยที่ $nCVaR$ = Normalized CvaR

$CVaR_t$ = CVaR ในวันที่ t

y_t = ค่าเฉลี่ยของอัตราผลตอบแทนในวันที่ VaR มีค่าเกินกว่าระดับที่ยอมรับได้

โดยที่สมมติฐานหลักของการทดสอบนี้ คือ $H_0: \overline{nCVaR} = 1$

4. ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งผลการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน

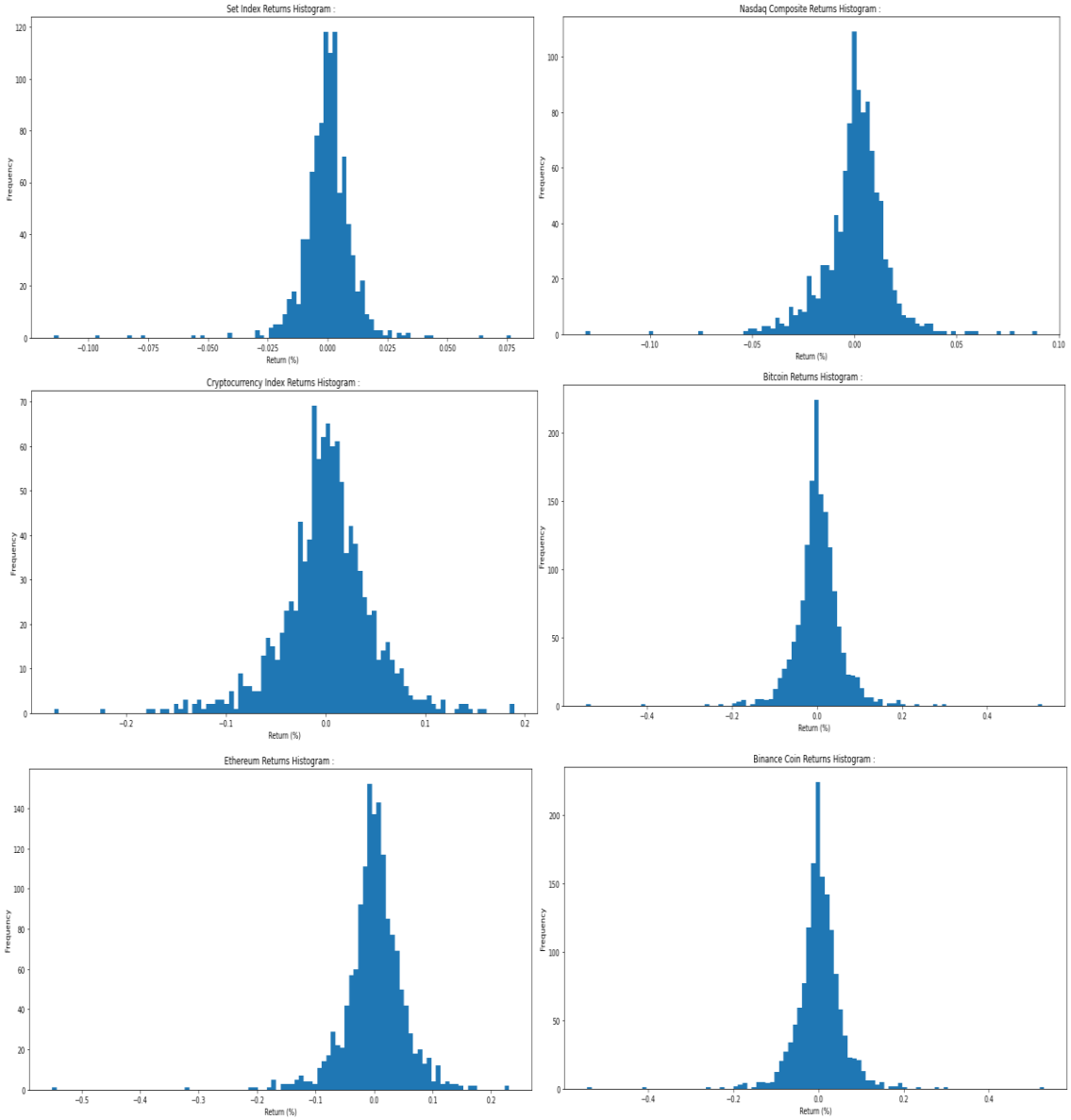
4.1 ผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณา

เมื่อนำข้อมูลดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงิน มาคำนวณหาอัตราผลตอบแทนรายวัน, ค่าสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) และกราฟ Quantile-Quantile plot (Q-Q Plot) จะได้ผลลัพธ์ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า สกุลเงินดิจิทัล Bitcoin (BTC) และ Binance coin (BNB) มีอัตราผลตอบแทนรายวันมากที่สุด เท่ากับ 0.23% รองลงมาคือ สกุลเงินดิจิทัล Cryptocurrency Index (CRIX) เท่ากับ 0.09% และสกุลเงินดิจิทัล Ethereum (ETH) เท่ากับ 0.08% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่สกุลเงินดิจิทัล Bitcoin (BTC) และ Binance coin (BNB) มีค่าความผันผวนหรือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด เท่ากับ 5.5% ต่อวัน ส่วนดัชนีที่มีอัตราผลตอบแทนต่ำที่สุด คือ ดัชนีราคาตลาด Set Index (SET) เท่ากับ -0.01% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.12%

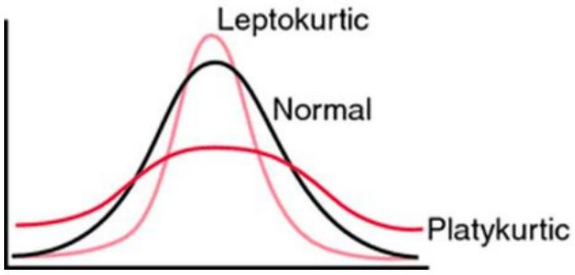
ตารางที่ 2 สถิติพื้นฐานของอัตราผลตอบแทนรายวันของดัชนีราคาตลาด (Sector Index) และสกุลเงินดิจิทัล ตั้งแต่วันที่ 16 มีนาคม ค.ศ. 2018 ถึง 16 พฤษภาคม ค.ศ. 2022

Sector	Obs.	Min.	Mean	Max.	Variance	Std.	Skewness	Kurtosis
SET	1005	-0.1143	-0.0001	0.0765	0.0001	0.0112	-1.9867	24.2809
NASDAQ	1048	-0.1315	0.0004	0.0893	0.0003	0.0159	-0.7855	8.6639
CRIX	1086	-0.2726	0.0009	0.1894	0.0021	0.0459	-0.4296	3.2620
BTC	1522	-0.5431	0.0023	0.5292	0.0030	0.0550	-0.1788	15.8289
ETH	1522	-0.5507	0.0008	0.2307	0.0025	0.0502	-1.1528	12.0902
BNB	1522	-0.5431	0.0023	0.5292	0.0030	0.0550	-0.1788	15.8289

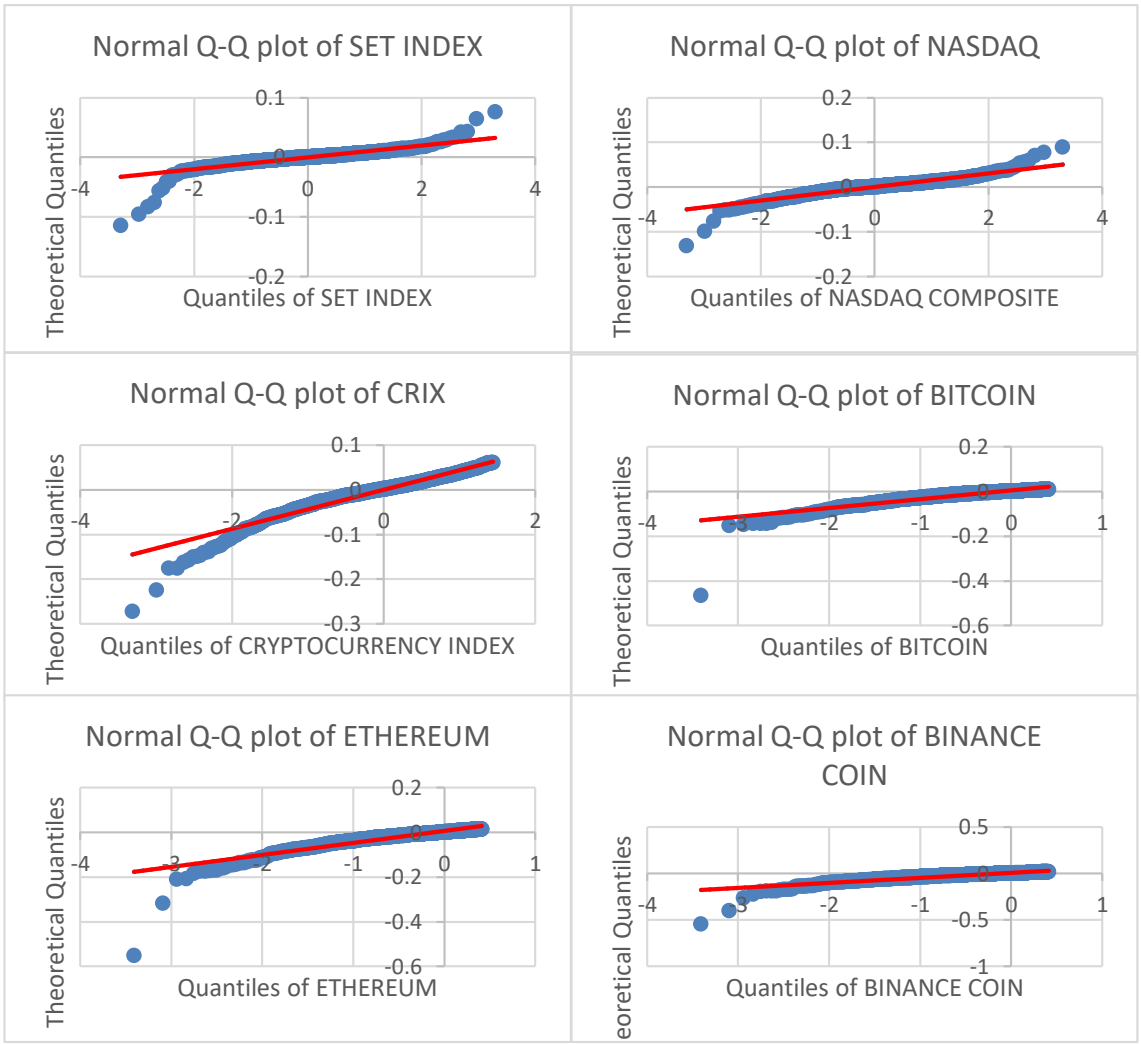
เมื่อพิจารณาค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) จากตารางที่ 2 ร่วมกับรูปที่ 1 ที่แสดงถึงการกระจายตัวของอัตราผลตอบแทนแบบฮิสโตแกรม (Histogram) พบว่า การกระจายตัวของดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงิน มีความเบ้ไปทางซ้าย (Left-skewed) หรือทางลบ (Negative -skewed) และเมื่อพิจารณาค่าความโด่งจะพบว่า ดัชนีราคาตลาด Set Index (SET) มีค่า Kurtosis สูงที่สุด เท่ากับ 24.2809 หรือมีการแจกแจงแบบโด่งสูง (Leptokurtic) ส่วนสกุลเงินดิจิทัล Cryptocurrency Index (CRIX) มีค่า Kurtosis ต่ำที่สุด เท่ากับ 3.2620 หรือมีการแจกแจงแบบโด่งต่ำ (Platykurtic) เมื่อเปรียบเทียบกับการกระจายตัวแบบปกติดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ฮิสโตแกรมของอัตราผลตอบแทนรายวันของดัชนีราคาตลาด (Sector Index) และสกุลเงินดิจิทัล



รูปที่ 2 การแจกแจง Leptokurtic และ Platykurtic



รูปที่ 3 กราฟ Quantile-Quantile plot (Q-Q Plot) ของดัชนี ราคาตลาด (Sector Index) และสกุลเงินดิจิทัล

จากรูปที่ 3 พิจารณากราฟ Quantile-Quantile plot ซึ่งเป็นการตรวจสอบการกระจายตัวของอัตราผลตอบแทนของดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงิน เปรียบเทียบกับการกระจายตัวแบบปกติว่ามีลักษณะการกระจายตัวไปใน ทิศทางเดียวกันหรือไม่ พบว่า ดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงิน ไม่ได้เรียงตัวในแนวเส้นตรงตามเส้น การกระจายตัวแบบปกติ โดยเฉพาะช่วงปลายซ้ายและปลายขวาของกราฟมีการเบนออกจากเส้นตรงค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าการแจกแจงของอัตราผลตอบแทนของดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงิน ไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งการคำนวณมูลค่าความเสี่ยง (VaR) และมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR) ภายใต้สมมติฐาน ที่ว่าอัตราผลตอบแทนมีการกระจายตัวแบบปกติ อาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่าความเป็นจริง (Underestimated) หรือ สูงกว่าความเป็นจริง (Overestimated) ได้ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงได้ว่าข้อมูลในอดีตไม่ใช่การ กระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) แต่ก็ไม่จำเป็นที่อัตราผลตอบแทนในอนาคตจะเป็นไปตามเช่นนั้นด้วย แต่ทั้งนี้หากใช้ข้อสมมติฐานการกระจายตัวที่ซับซ้อนเกินไปอาจทำให้เกิดการปฏิเสธคุณภาพของแบบจำลองได้เช่นกัน

4.2 ความเสี่ยง (Risk)

4.2.1 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ GARCH และ EVT

การประมาณค่าพารามิเตอร์ตามตัวแบบ GARCH(1,1) คือ โอเมก้า (ω) อัลฟา (σ) และ เบต้า (β) โดยทดสอบกับข้อมูล คือ ข้อมูลผลตอบแทนดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุล ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ สามารถแสดงได้ดัง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ GARCH(1,1) ของผลตอบแทนตลาด และผลตอบแทนสกุลเงินดิจิทัล

Sector	Obs	Mu	Omega	Alpha	Beta
SET	1005	-0.0002	0.0000	0.0989	0.8755
NASDAQ	1048	0.0010	0.0000	0.1914	0.7933
CRIX	1086	0.0011	0.0003	0.0816	0.7802
BTC	1522	0.0013	0.0001	0.0722	0.8558
ETH	1522	0.0011	0.0002	0.0763	0.8610
BNB	1522	0.0018	0.0001	0.1366	0.8329

จากตาราง ที่ 3 ค่า อัลฟา (σ) และ เบต้า (β) ของ ผลตอบแทนดัชนีราคาตลาด Set Index (SET) มีค่า 0.0989 และ 0.8755 อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าอัลฟา และ เบต้า ของผลตอบแทนดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุล มีค่ารวมกันประมาณ 1 แสดงถึงแบบจำลองสามารถตรวจจับความผันผวน (Volatility) ซึ่งผลการคำนวณของดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุล ให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญทุกหมวด ดังนั้น แบบจำลอง GARCH (1,1) สามารถคัดกรองความผันผวนออกจากผลตอบแทนได้อย่างมีนัยสำคัญ

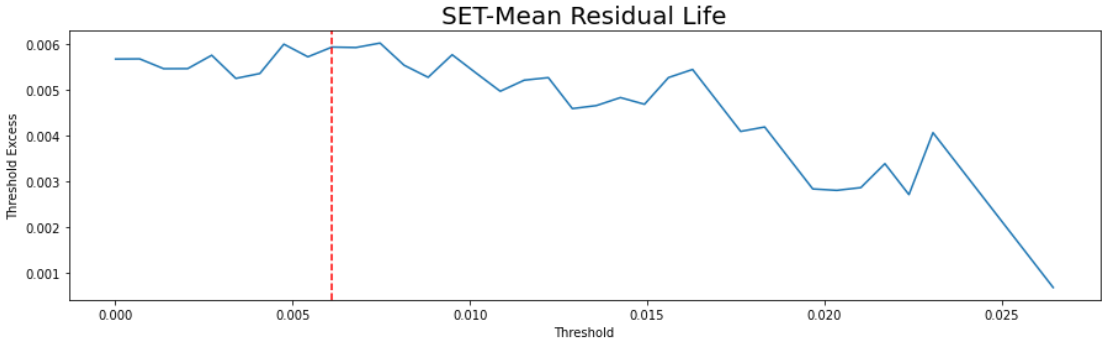
ผลตอบแทนดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุล มาปรับความผันผวนด้วยแบบจำลอง GARCH (1,1) สามารถนำมาใช้ ประมาณการค่าพารามิเตอร์ตามแบบจำลอง EVT ได้ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประมาณค่าพารามิเตอร์ GARCH(1,1)-EVT ของผลตอบแทนตลาด และผลตอบแทนสกุลเงินดิจิทัล

Sector	Obs	μ	y	Shape	Scale	Location
SET	1005	0.0061	37	0.3565	0.0046	0.0063
NASDAQ	1048	0.0092	64	-0.2845	0.0153	0.0093
CRIX	1086	0.0311	60	-0.0534	0.0303	0.0320
BTC	1522	0.0153	78	-0.2155	0.0325	0.0160
ETH	1522	0.0248	65	-0.3968	0.0653	0.0094
BNB	1522	0.0262	65	0.0865	0.0275	0.0263

ในการประมาณการค่าพารามิเตอร์ จะต้องกำหนดค่าวิกฤตที่ทำให้ค่าพารามิเตอร์มี นัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น ค่าวิกฤตของแต่ละดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุล จึงมีความแตกต่างกัน โดยแนวทางในการคัดเลือกค่าวิกฤต (Threshold) จะพิจารณาจากกราฟค่าวิกฤต โดยพิจารณา ค่าวิกฤตมากที่สุดที่ทำให้พารามิเตอร์ไม่ผันแปรตามค่าวิกฤต หรือ เป็นเส้นตรงขนานแกน Y

จากรูปที่ 4 กราฟแสดงการคัดเลือกค่าวิกฤตของ Set Index (SET) ของข้อมูล 1005 Observation ที่ระดับค่าวิกฤต 0.0061 โดยเมื่อนำค่าวิกฤตไป ประมาณการพารามิเตอร์ EVTแล้วได้ค่าดัชนีส่วนหาง (Shape Parameter) ที่มีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.0046



รูปที่ 4 การคัดเลือกค่าวิกฤตของผลตอบแทนดัชนีราคาตลาด Set Index (SET)

จากข้อมูลการประมาณค่าพารามิเตอร์ตามแบบจำลอง EVT โดยใช้ตัวอย่างทั้งหมดนั้น ที่ระดับค่าวิกฤต (Threshold) ของแต่ละดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุล พบว่าข้อมูล ผลตอบแทนตลาด (SET Returns) จำนวน 1005 วัน ที่ระดับค่าวิกฤต 0.0061 หรือ 0.61% มีวันที่ ผลตอบแทนมากกว่าค่าวิกฤต 37 วัน ค่าดัชนีส่วนหาง (Tail Index) หรือ Shape Parameter (Xi: ξ) เท่ากับ 0.3565 ค่าสเกล Sigma (σ) 0.0046 และค่าโลเคชั่น (Location) 0.0063 โดยผลการประมาณ ค่าพารามิเตอร์ตาม EVT ของดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุล เป็นไปตามตารางที่ 5

ดังนั้น เมื่อสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ตาม EVT ของตัวแปรผลตอบแทนดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุล ตามแบบจำลอง GARCH-EVT สามารถคำนวณความเสี่ยง (Risk) ในขั้นตอนต่อไปตามหัวข้อ 4.2.2

4.2.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองมูลค่าความเสี่ยง (VaR) และมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR)

ตารางที่ 5 มูลค่าความเสี่ยง (VaR) และมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR) ของผลตอบแทนตลาด และผลตอบแทนสกุลเงินดิจิทัล

Sector	Obs	Historical				GARCH-EVT			
		VaR		cVaR		VaR		cVaR	
		0.95	0.99	0.95	0.99	0.95	0.99	0.95	0.99
SET	1005	0.0150	0.0293	0.0273	0.0587	0.0124	0.0271	0.0233	0.0559
NASDAQ	1048	0.0262	0.0445	0.0393	0.0633	0.0292	0.0417	0.0428	0.0577
CRIX	1086	0.0761	0.1391	0.1134	0.1723	0.0774	0.1203	0.1144	0.1547
BTC	1522	0.0598	0.1046	0.0900	0.1468	0.0650	0.0949	0.0982	0.1341
ETH	1522	0.0763	0.1447	0.1222	0.2025	0.0881	0.1286	0.1386	0.1793
BNB	1522	0.0772	0.1386	0.1224	0.2178	0.0747	0.1294	0.1177	0.1943

หมายเหตุ. ความเสี่ยงส่วนหางมีค่าติดลบ (-) แสดงในตารางเป็นค่าสัมบูรณ์ (Absolute Value)

1) แบบจำลองมูลค่าความเสี่ยง (VaR) จากตารางที่ 5 พบว่า สกุลเงินดิจิทัล Ethereum (ETH) มีมูลค่าความเสี่ยง (VaR) มากที่สุด ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.99 เท่ากับ 14.47% ด้วยวิธี Historical Simulation และมูลค่าความเสี่ยง (VaR) รองลงมา คือ สกุลเงินดิจิทัล Binance coin (BNB) ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.99 เท่ากับ 12.94% ด้วยวิธี GARCH-EVT

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบมูลค่าความเสี่ยง (VaR) สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.95 มูลค่าความเสี่ยง (VaR) จากวิธี Historical Simulation และวิธี GARCH-EVT ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ต่างกันในแต่ละดัชนีราคาตลาดและสกุลเงินดิจิทัล แต่ ณ ระดับ ความเชื่อมั่น 0.99 พบว่า มูลค่าความเสี่ยง (VaR) ที่ประมาณจากวิธี Historical Simulation จะให้ค่าที่สูงกว่าวิธี GARCH-EVT

2) แบบจำลองมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR) จากตารางที่ 5 พบว่า สกุลเงินดิจิทัล Binance coin (BNB) มีค่า CVaR สูงที่สุด ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และ 0.99 เท่ากับ 21.78% และ 19.43% ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบมูลค่าความเสี่ยง (VaR) และมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR) ที่ได้จากการคำนวณ พบว่า ค่า CVaR จะให้ค่าที่สูงกว่า ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากคุณสมบัติของการเป็นมาตรวัดที่ดี (Coherent Measure of Risk) โดยเฉพาะคุณสมบัติ Sub-additivity หรือความสามารถในการวัดประโยชน์จากการกระจายการลงทุนได้ (Diversification)

ผลการศึกษาจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง ตาม GARCH-EVT สามารถอธิบายพฤติกรรมของผลตอบแทนของหมวดธุรกิจและผลตอบแทนตลาดได้ดี ใน 4 สกุลเงินดิจิทัล และ 2 ผลตอบแทนดัชนีราคาตลาด ฉะนั้น ค่าความเสี่ยงจากแบบจำลอง GARCH-EVT มีความแม่นยำทางสถิติมากกว่าการประมาณการด้วยวิธีการวัดความเสี่ยงแบบใช้ข้อมูลในอดีต (Historical Simulation)

ดังนั้น หากวัดความเสี่ยงโดยวิธีการวัดความเสี่ยงแบบใช้ข้อมูลในอดีต (Historical Simulation) เปรียบเทียบกับ วิธีGARCH-EVT ที่มีนัยสำคัญทางสถิติจะพบว่า ความเสี่ยงที่วัดได้จะต่ำกว่าความเป็นจริง (Underestimated) จำนวน 3 สกุลเงินดิจิทัล (CRIX,BTC,ETH) และ 1 ดัชนีราคาตลาด (NASDAQ) และ สูงกว่าความเป็นจริง จำนวน 1 สกุลเงินดิจิทัล (BNB) และ 1 ดัชนีราคาตลาด (SET)

4.3 ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบจำลอง (Back-testing)

1) การตรวจสอบคุณภาพแบบจำลองการวัดมูลค่าความเสี่ยง (VaR)

ตารางที่ 6 Violation Ratio ของมูลค่าความเสี่ยง (Value at Risk) ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และ 0.99

Sector	ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95		ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 99	
	Historical Simulation VaR	GARCH-EVT VaR	Historical Simulation VaR	GARCH-EVT VaR
SET	1.0320	1.0378	0.9183	0.9259
NASDAQ	1.0328	1.0292	0.9183	0.9470
CRIX	1.0335	1.0335	0.9259	0.9569
BTC	1.0390	1.0357	0.9470	0.9662
ETH	1.0390	1.0338	0.9470	0.9697
BNB	1.0390	1.0408	0.9470	0.9680

จากตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบคุณภาพแบบจำลองด้วยวิธี Violation Ratio พบว่า ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และระดับความเชื่อมั่น 0.99 มูลค่าความเสี่ยง (VaR) ที่วัดด้วยวิธี Historical Simulation และ GARCH-EVT ของดัชนีราคาตลาด และสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงินผ่านการทดสอบคุณภาพแบบจำลอง

ตารางที่ 7 จำนวนวันที่ผิดปกติ (Exception Date) และการทดสอบคุณภาพของตัวแบบจำลองแบบแยกโซน (three-zone approach) ของมูลค่าความเสี่ยง (Value at Risk) ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และ 0.99

Sector	95% Historical Simulation VaR	95% GARCH-EVT VaR	99% Historical Simulation VaR	99% GARCH-EVT VaR
SET	38.40% (Green)	13.30% (Green)	99.49% (Yellow)	28.50% (Green)
NASDAQ	99.98% (Yellow)	25.50% (Green)	99.82% (Yellow)	40.50% (Green)
CRIX	36.70% (Green)	25.00% (Green)	88.60% (Green)	96.66% (Yellow)
BTC	43.80% (Green)	15.30% (Green)	22.30% (Green)	0.00% (Green)
ETH	56.00% (Green)	5.10% (Green)	0.00% (Green)	32.90% (Green)
BNB	95.43% (Yellow)	91.77% (Green)	42.90% (Green)	22.30% (Green)

จากตารางที่ 7 พบว่า ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.95 วิธี GARCH-EVT เป็นเพียงแบบจำลองเดียวเท่านั้นที่ผ่านการทดสอบ คุณภาพของดัชนีราคาตลาด และสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงิน

2) การตรวจสอบคุณภาพแบบจำลองการวัดมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR)

ตารางที่ 8 nCVaR (Normalized CVaR) และผลการทดสอบสมมติฐาน $H_0: \overline{nCVaR} = 1$ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

Sector	ช่วงความเชื่อมั่น 0.95		ช่วงความเชื่อมั่น 0.99	
	Historical Simulation CVaR	GARCH-EVT CVaR	Historical Simulation CVaR	GARCH-EVT CVaR
SET	1.0090	1.0068	1.0500	1.0468
NASDAQ	1.0000	1.0074	1.1033	1.0189
CRIX	1.0061	1.0060	1.0000	1.0123
BTC	1.0044	1.0055	1.0192	1.0130
ETH	1.0049	1.0065	1.0189	1.0120
BNB	1.0049	1.0042	1.0243	1.0146

จากตารางที่ 8 การวัดมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (Conditional Value at Risk) โดยวิธี GARCH-EVT ทั้ง ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และระดับความชื่อมั่น 0.99 พบว่ามีเพียงอัตรา ผลตอบแทนของสกุลเงินดิจิทัล BITCOIN (BTC) เท่านั้นที่ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้

ในขณะที่การวัดมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (Conditional Value at Risk) โดยวิธี Historical Simulation ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.99 เป็นแบบจำลองที่ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักของอัตราผลตอบแทนของดัชนีราคาตลาด และสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงิน ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.99 จึงดูเหมือนว่า วิธี GARCH-EVT เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมในการวัดมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR)

5. การอภิปรายผล

สามารถสรุปความเสี่ยงของดัชนีตลาด และสกุลเงินดิจิทัล ดังแสดงในตารางที่ 9 โดยที่มีความเสี่ยงต่ำที่สุด คือ ดัชนีตลาด Set Index (SET) ตามมาด้วยดัชนีตลาด Nasdaq Composite (IXIC) และ สกุลเงินดิจิทัล Bitcoin (BTC) ตามลำดับ ในขณะที่สกุลเงินดิจิทัลที่มีความเสี่ยงสูงที่สุด คือ สกุลเงินดิจิทัล Binance coin (BNB) และสกุลเงินดิจิทัล Ethereum (ETH) ทั้งจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง GARCH-EVT และ Historical Simulation ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และ 0.99

ตารางที่ 9 สรุปลำดับความเสี่ยงจากมากไปน้อยที่ได้ในแต่ละแบบจำลองและระดับความเชื่อมั่นของแต่ละดัชนีราคาตลาด และสกุลเงินดิจิทัล

ลำดับความเสี่ยง / แบบจำลอง VaR / CVaR	1 High Risk	2	3	4	5	6 Row Risk
95% Historical Simulation VaR	BNB	ETH	CRIX	BTC	NASDAQ	SET
99% Historical Simulation VaR	ETH	CRIX	BNB	BTC	NASDAQ	SET
95% GARCH-EVT VaR	ETH	CRIX	BNB	BTC	NASDAQ	SET
99% GARCH-EVT VaR	BNB	ETH	CRIX	BTC	NASDAQ	SET
95% Historical Simulation CVaR	BNB	ETH	CRIX	BTC	NASDAQ	SET
99% Historical Simulation CVaR	BNB	ETH	CRIX	BTC	NASDAQ	SET
95% GARCH-EVT CVaR	ETH	BNB	CRIX	BTC	NASDAQ	SET
99% GARCH-EVT CVaR	BNB	ETH	CRIX	BTC	NASDAQ	SET

6. บทสรุปข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาการวัดมูลค่าความเสี่ยง (VaR) และมูลค่าความเสี่ยงแบบมีเงื่อนไข (CVaR) ของดัชนีตลาด และสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงิน พบว่า การประมาณหามูลค่าความเสี่ยงด้วยแบบจำลอง GARCH-EVT เป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและผ่านการทดสอบคุณภาพ (Back-testing) ณ ระดับความเชื่อมั่น 0.95 และ 0.99 รวมถึงยังพบว่า สกุลเงินดิจิทัล Binance coin (BNB) และสกุลเงินดิจิทัล Ethereum (ETH) มีมูลค่าความเสี่ยงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีตลาด และสกุลเงินดิจิทัลอื่น แต่ในขณะเดียวกันก็ยังให้อัตราผลตอบแทนมากที่สุดเช่นเดียวกัน

ดังนั้น สกุลเงินดิจิทัล Binance coin (BNB) และสกุลเงินดิจิทัล Ethereum (ETH) จึงเป็นสกุลเงินดิจิทัลที่มีความน่าสนใจสำหรับนักลงทุนที่ชอบความเสี่ยง (Risk-loving investor)

แบบจำลองความเสี่ยงที่ปรับปรุงด้วยแบบจำลอง GARCH-EVT ให้ค่าความเสี่ยงที่มีความแม่นยำเพราะค่าพารามิเตอร์ของ EVT มีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้การวัดความเสี่ยงมีความตรงความเป็นจริง ขณะที่การวัดความเสี่ยงด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลในอดีต (Historical Simulation) ให้ค่าความเสี่ยงต่ำกว่าความเป็นจริง (Underestimate)

นักลงทุนมาสามารถนำวิธีวัดความเสี่ยงที่ปรับด้วยแบบจำลอง GARCH-EVT ไปใช้ในการวัดความเสี่ยงของดัชนีตลาด และสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงินได้ โดยนักลงทุนควรมีความระมัดระวัง และใช้อย่างเหมาะสมกับพฤติกรรมของหลักทรัพย์ในแต่ละหมวด เพราะพฤติกรรมราคาของดัชนีตลาดและแต่ละสกุลเงินดิจิทัลมีความแตกต่างเนื่องจากมีระดับค่าวิกฤต (Threshold) ที่แตกต่างกัน

สำหรับข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป อาจมีการขยายผลการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตถึงแบบจำลองรูปแบบอื่นว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงของอัตราผลตอบแทนดัชนีผลตอบแทนดัชนีราคาตลาด และสกุลเงินดิจิทัลทุกสกุลเงิน ได้หรือไม่ หรือ ขยายการศึกษาไปยังกลุ่มดัชนีราคาตลาด ดัชนี MSCI สกุลเงินอื่นๆ หรือทำการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นอิสระต่อกัน (Independence test) ของค่า Violation หรือ จำนวนวันที่ผิดปกติของแบบจำลอง (Exception date) ที่มีต่อคุณภาพของแบบจำลอง หรือ มีการทดสอบความหลากหลายของช่วงเวลาทำการศึกษา โดยการปรับปรุง ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ VaR และ CVaR เพื่อดูผลลัพธ์ความแม่นยำของคุณภาพแบบจำลองเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ธฤตพน อู่สวัสดิ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร ปั่นโภชา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำในการศึกษาค้นคว้าวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

อัญญา ขันธวิทย์. 2547. **การวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการลงทุนในหลักทรัพย์.** พิมพ์ครั้งที่ 1: ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย. (59-89)

อัญญา ขันธวิทย์. 2550. หมายเหตุด้านเทคนิค Copula VaR และ Copula Expected Shortfall เพื่อการวัดความเสี่ยงของพอร์ตตราสารหนี้ไทย. คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยฯธรรมศาสตร์, 113, 13-24.

Embrechts, P., Resnick, S. I., & Samorodnitsky, G. (1999). Extreme value theory as a risk management tool. North American Actuarial Journal, 3(2), 30–41.

Jon Danielsson London School of Economics.2017. **Financial Risk Forecasting.** Version 3.1. (143-166)

Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection. The Journal of Finance, 7(1), 77–91.

McNeil, A. J. (1999). Extreme Value Theory for Risk Managers (Research paper), Departement Mathematik ETH Zentrum. Retrieved, Aug 20, 2018, from http://www.globalriskguard.com/ resources/market/ evt_1.pdf

Philippe Jorion Garp. 2009. **Financial Risk Manager Handbook.** Fifth Edition John Wiley & Sons, Inc. (254-268)