



ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อราคา Bitcoin และการพยากรณ์ราคา Bitcoin รายสัปดาห์ (The Important Factors that Affecting to Bitcoin Price and Predict Bitcoin Price Weekly)

จิรพัฒน์ ภูวนานันท์, ธนกร เตชะ, นกตล วัชรชัยตระกูล, นราธิปพงศ์ ศรีสุข, เพิ่มพูน อภิ
มงคลชัย, และ อภิวัฒน์ จางสกุลเจริญ¹

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาปัจจัยด้านต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อราคา Bitcoin ด้วยแบบจำลองอนุกรมเวลาหลายตัวแปร VAR และ VECM ซึ่งเก็บข้อมูลตัวแปรตามปัจจัย 4 ด้าน คือ ด้าน Cryptocurrency ด้าน Social-Media ด้านเศรษฐกิจมหภาคสหรัฐฯ และด้านการลงทุน ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่สำคัญต่อราคา Bitcoin รายสัปดาห์จากผลการประมาณแบบจำลอง VAR ได้แก่ ราคา Bitcoin ย้อนหลัง (Bitcoin Price) , มูลค่าตลาด Bitcoin (Marketcap) , อัตราการขุด Bitcoin (Hash Rate) , ค่าการทำธุรกรรม Bitcoin (Transaction Fee) , อัตราเงินเฟ้อสกุลเงินสหรัฐฯ (Inflation Rate) และดัชนีตลาดหุ้น Dow Jones (Dow Jones) ในขณะที่ตัวแปรที่สำคัญต่อราคา Bitcoin รายสัปดาห์จากผลการประมาณแบบจำลอง VECM ได้แก่ ราคา Bitcoin ย้อนหลัง (Bitcoin) , มูลค่าตลาด Bitcoin (Marketcap) และค่าการทำธุรกรรม Bitcoin (Transaction Fee) ส่วนแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพที่สุดภายใต้เงื่อนไขการศึกษาค้างนี้ คือ แบบจำลอง VECM โดยกำหนดคาบเวลาในอดีต (p) หรือ Lag Order อยู่ที่ 2 และจำนวนความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพระยะยาว หรือ Rank อยู่ที่ระดับ 4 โดยมีรูปแบบของแบบจำลอง Restricted Constant นอกจากนั้นยังพบว่า 2 ตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองดังกล่าว คือ RMSE และ MAPE อยู่ที่ 2,398.09 ดอลลาร์สหรัฐฯ และ 7.84015 % ตามลำดับ เมื่อนำแบบจำลองมาพยากรณ์ล่วงหน้า 2 สัปดาห์พบว่า สามารถทำนายราคาพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 1 ได้ถึงร้อยละ 95.5 เมื่อเทียบกับราคาจริง และทำนายราคาพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 2 ได้ถึงร้อยละ 93.6 เมื่อเทียบกับราคาจริง โดยผลการทำนายราคาเป็นในทิศทางเดียวกันกับราคาจริง

คำสำคัญ: มูลค่าตลาด อัตราการขุด ค่าการทำธุรกรรม

¹ นิสิตหลักสูตรเศรษฐศาสตรบัณฑิต (ศ.บ.) คณะเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ABSTRACT

This article has the purpose to study various factors that affect Bitcoin price by the multivariate model of Econometric VAR model and VECM model which collect variable data based on 4 sides that are Cryptocurrency, Social-media, USA Macroeconomic and Investment. The results indicated about the factors that affect Bitcoin price significantly of VAR models such as Historical Bitcoin Price, Marketcap of Bitcoin, Hash Rate, Transaction Fee of Bitcoin, USA Inflation Rate and Dow Jones Index while the factors that affect Bitcoin price significantly of VECM models such as Historical Bitcoin Price, Marketcap of Bitcoin, Hash Rate and Transaction Fee of Bitcoin. The most efficient model under the conditions of this study is VECM model which is set with Lag Order at 2, the number of long-run equilibrium relationships or Rank at level 4 and the form of a model at Restricted Constant. It was also found the indicators that were used to measure the error of the best model (VECM) are RMSE and MAPE at 2,398.09 and 7.84015 % respectively. When using the model to forecast 2 weeks in advance found out that model able to predict the Bitcoin price in the first week in advance with an accuracy of 95.5 percent of the actual price while the price was predicted in the second week in advance with an accuracy of 93.6 percent of the actual price. In addition, the model can predict the price in the same direction as the actual price.

Keywords: Market Capacity, Hash Rate, Transactions Fee

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเติบโตของราคา Bitcoin ในช่วงระยะเวลา 7 ปีที่ผ่านมา เติบโตมากกว่า 20,000% โดยในปี พ.ศ.2564 มีผู้สนใจในการลงทุน Cryptocurrency จำนวนมาก อ้างอิงจากมูลค่าตลาด Cryptocurrency ทั่วโลกสูงกว่า 2.5 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐฯ และเฉพาะ Bitcoin นั้นมีมูลค่าตลาดกว่า 1.2 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ปัญหาความผันผวนของราคา Bitcoin อุปทานที่จำกัด (ข้อจำกัดจำนวนการผลิต Bitcoin ที่ปริมาณ 21 ล้านเหรียญ) ซึ่งในปัจจุบันถูกผลิตถึง 18 ล้านเหรียญ Bitcoin ผสมกับการเพิ่มขึ้นของอุปสงค์ จากนักลงทุนสถาบัน และกระแสความสนใจการลงทุนใน Bitcoin ซึ่งส่งผลให้ปัจจัยภายนอกมีผลกระทบต่อราคามากขึ้น เช่น จำนวนการพูดถึง Bitcoin บนสื่อโซเชียล

อย่างทวิตเตอร์ จึงนำมาซึ่งการศึกษาถึงปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของราคา Bitcoin และการเปรียบเทียบแบบจำลองอนุกรมเวลาที่ดีที่สุดในการพยากรณ์ราคา Bitcoin

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อค้นหาปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อราคา Bitcoin อย่างมีนัยสำคัญ และเปรียบเทียบแบบจำลองพยากรณ์ราคา Bitcoin รายสัปดาห์ เพื่อค้นหาแบบจำลองอนุกรมเวลาที่ทำนายราคาที่มีประสิทธิภาพที่สุด

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อราคา Bitcoin และแบบจำลองพยากรณ์ราคา Bitcoin รายสัปดาห์ โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิเป็นรายสัปดาห์ ระยะเวลาตั้งแต่ 1 พฤษภาคม 2559 – 31 ตุลาคม 2564 โดยปัจจัยที่นำมาศึกษามีดังนี้ ราคา Bitcoin มูลค่าตลาด Bitcoin อัตราการขุด Bitcoin ค่าการทำธุรกรรม Bitcoin จำนวนการทวิตเกี่ยวกับ Bitcoin อัตราดอกเบี้ยสหรัฐฯ อัตราเงินเฟ้อสหรัฐฯ ราคาทองคำ ดัชนีตลาดหุ้น Dow Jones และคำค้นหา Bitcoin Crash ใน Google Trend

นิยามศัพท์

มูลค่าตลาด (Marketcap) หมายถึง เป็นค่าที่คำนวณจากการนำราคาในขณะนั้นของ Bitcoin คูณกับจำนวน Bitcoin ในปัจจุบัน ซึ่งมูลค่าตลาดจะสะท้อนให้ผู้ลงทุนเห็นถึงขนาด และความน่าสนใจลงทุนของตลาดสินทรัพย์นั้น ๆ ทั้งในแง่ของสภาพคล่อง ปริมาณ และประเภทสินค้าที่จะเลือกลงทุน (Wikipedia, 2556)

อัตราการขุด (Hash Rate) หมายถึง อัตรากำลังการคำนวณที่นักขุดใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำธุรกรรมบน Bitcoin Blockchain อัตราการขุด (Prove of Work) Bitcoin ต่อวินาทีที่มีชื่อหน่วยเป็น Theta Hash ต่อวินาที (Tnnthailand, 2564)

ค่าการทำธุรกรรม (Transaction Fee) หมายถึง ปริมาณ USD (Dollar) ที่ถูกแปลงจาก Bitcoin ซึ่งเกิดขึ้นจากการทำธุรกรรมในระบบ Blockchain ของ Bitcoin โดยระบบของ Bitcoin จะถูกตั้งให้มีการเกิดขึ้นของ Bitcoin จากการทำธุรกรรมแล้วจะนำไปจ่ายเป็นรายได้ให้กับ นักขุด Bitcoin ต่อไป (Moneybuffalo, 2564)

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีบทข้อมูลอนุกรมเวลา

ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Data) เป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นในระยะเวลาที่ห่างเท่ากัน และต่อเนื่องกัน โดยหน่วยของเวลาอาจเป็น วัน เดือน หรือปี เป็นต้น องค์ประกอบของข้อมูลอนุกรมเวลาแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ แนวโน้ม (Trend) คือ ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงสม่ำเสมอเป็นเวลานานมากกว่า 1 ปี, ฤดูกาล (Season) คือ ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันในช่วงเวลาเดียวกันของรอบเวลาแต่ละรอบ เช่น เดือน ไตรมาส เป็นต้น ซึ่งเกิดซ้ำ ๆ ในช่วงเวลาเดียวกันของแต่ละปี, วัฏจักร (Cycle) คือ ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงซ้ำ ๆ กันในช่วงเวลาที่มากกว่า 1 ปี, ความไม่แน่นอน (Irregular) คือ ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบไม่แน่นอน และไม่สามารถคาดคะเนได้

ในการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติที่สำคัญของข้อมูลอนุกรมเวลา คือ คุณสมบัตินิ่ง (Stationary) หมายถึง การที่ข้อมูลอนุกรมเวลาอยู่ในสภาพของการสมดุลเชิงสถิติ (Statistical Equilibrium) นั่นคือ ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ย (Mean) และความแปรปรวน (Variance) เท่ากันตลอดระยะเวลาที่ศึกษา คุณสมบัติ Stationary สามารถเป็นเงื่อนไขทางสถิติได้ 3 เงื่อนไข ดังนี้ เมื่อสมมติให้ตัวแปร X_t เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีคุณสมบัตินิ่ง (Stationary) ตัวแปรจะมีคุณสมบัติทางสถิติ ดังนี้

$$\text{Mean :} \quad E(X_t) = \mu$$

$$\text{Variance :} \quad \text{Var}(X_t) = E(X_t - \mu)^2 = \sigma^2$$

$$\text{Covariance :} \quad E[(X_t - \mu)(X_{t+k} - \mu)] = \gamma_k$$

ส่วนข้อมูลที่มีลักษณะไม่นิ่ง (Non-Stationary) หมายถึง ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ย (Mean) และความแปรปรวน (Variance) ไม่เท่ากันตลอดระยะเวลาที่ศึกษา เมื่อสมมติให้ตัวแปร X_t เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีความนิ่ง (Stationary) ตัวแปรจะมีคุณสมบัติทางสถิติ ดังนี้

$$\text{Mean :} \quad E(X_t) = t\mu$$

$$\text{Variance :} \quad \text{Var}(X_t) = E(X_t - \mu)^2 = t\sigma^2$$

$$\text{Covariance :} \quad E[(X_t - \mu)(X_{t+k} - \mu)] = t\gamma_k$$

ดังนั้น ในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา จำเป็นจะต้องพิจารณาตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองมีคุณสมบัติ Stationary หรือไม่ เพื่อตัดสินใจในการใช้แบบจำลอง และเพื่อไม่ให้เกิดความสัมพันธ์ที่ไม่-

แท้จริง ทำให้ผลการทดสอบที่ได้จากแบบจำลองไม่มีประสิทธิภาพ และขาดความน่าเชื่อถือได้ (ณภัทร ใจเชื้อ, 2559)

1.1 การทดสอบความนิ่งของข้อมูลด้วยวิธี Unit Root Test

การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา ขั้นตอนแรกต้องตรวจสอบคุณสมบัตินิ่ง (Stationary) ก่อน ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญในการตัดสินใจเลือกแบบจำลอง และไม่ทำให้ทำให้ผลของแบบจำลองผิดพลาด ไม่มีประสิทธิภาพ วิธีหนึ่งที่ยินยอมในการทดสอบความนิ่งของข้อมูล คือ การทดสอบ Unit Root

การทดสอบ Unit Root เป็นการทดสอบข้อมูล que มีคุณสมบัตินิ่งหรือไม่ สามารถทำได้ โดยวิธีการทดสอบ DF (Dickey-Fuller Test) ซึ่งถูกเสนอโดย Dickey และ Fuller ในปี พ.ศ. 2524 และ วิธีการทดสอบ ADF (Augmented Dickey-Fuller Test) ซึ่งถูกต่อยอดจากการทดสอบ DF คิดค้นโดย Said และ Dickey ในปี พ.ศ. 2527 ยกตัวอย่างวิธีการทดสอบ DF (Dickey-Fuller Test) โดยมีการ ทดสอบสมมติฐาน ดังนี้

สมการทดสอบ 3 สมการ (At Level) คือ

$$\Delta X_t = \gamma X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (\text{Random Walk Process})$$

$$\Delta X_t = \alpha + \gamma X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (\text{Random Walk with Drift})$$

$$\Delta X_t = \alpha + \beta_t + \gamma X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (\text{Random Walk with Drift and Trend})$$

สมมติฐานที่ทดสอบ

$$H_0 : \gamma = 0$$

$$H_1 : \gamma \neq 0$$

ถ้ายอมรับ H_0 แสดงว่า X_t ไม่มีคุณสมบัตินิ่ง (Non-Stationary) แสดงถึง ข้อมูลอนุกรม เวลาของตัวแปรมีค่าเฉลี่ย (Mean) และความแปรปรวน (Variance) ไม่เท่ากัน เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง ไป แต่ถ้าผลลัพธ์เป็น ปฏิเสธ H_0 แสดงว่า X_t มีคุณสมบัตินิ่ง (Stationary) แสดงถึง ข้อมูลอนุกรม เวลาที่มีค่าเฉลี่ย (Mean) และความแปรปรวน (Variance) เท่ากัน เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป (ณภัทร ใจเชื้อ, 2559)

วิธีการแก้ไขให้ข้อมูลมีคุณสมบัติ Stationary คือ การ Difference ข้อมูล หรือทำให้ข้อมูลอยู่ใน รูปแบบผลต่าง เพื่อลดองค์ประกอบ Trend ของข้อมูล ทำให้ค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนของ

ข้อมูลมีโอกาสคงที่ได้มากขึ้น แล้วทำการทดสอบ Unit Root อีกครั้งแล้วสังเกตผลลัพธ์ว่า มีคุณสมบัติหนึ่งหรือไม่ หากข้อมูลที่ Difference ยังไม่มีคุณสมบัติหนึ่งอีกให้ทำการ Difference แล้วทดสอบ Unit Root จนกว่าจะมีคุณสมบัติหนึ่ง เพื่อสามารถนำข้อมูลไปใช้ในแบบจำลองได้ เช่น แบบจำลอง VAR ที่ต้องใช้ข้อมูลที่มีคุณสมบัติหนึ่งแล้วในการหาความสัมพันธ์ เป็นต้น หรืออีกตัวเลือกหนึ่งหากข้อมูลไม่มีคุณสมบัติหนึ่งสามารถใช้แบบจำลอง VECM ในการหาความสัมพันธ์ได้

1.2 แบบจำลอง VAR (Vector Autoregression Model)

Vector Autoregression (VAR) คือ แบบจำลองในการพยากรณ์หลายตัวแปร ซึ่งต้องมีตัวแปรที่มีข้อมูลเป็นรูปแบบอนุกรมเวลา อย่างน้อย 2 ตัวแปร ซึ่งควรจะมีอิทธิพลต่อกัน โดยตัวแปรที่นำมาศึกษาไม่ว่าจะเป็นตัวแปรตาม หรือตัวแปรอิสระทุกตัวต้องมีคุณสมบัติหนึ่ง (Stationary) โดยตัวแปรตามจะถูกกำหนดด้วยอดีตของตัวเอง (Lagged Variable) และถูกอธิบายด้วยตัวแปรอิสระอื่นๆ (Lagged of Other Variables) สามารถเขียนแบบจำลอง VAR ได้ ดังนี้

$$y_t = m + A_t x_{t-1} + A_2 x_{t-2} + A_3 x_{t-3} + \dots + A_p x_{t-p} + \varepsilon_t$$

โดยที่	m	=	เวกเตอร์ของค่าคงที่ขนาด $n \times 1$
	A_t	=	เมตริกซ์ของค่าสัมประสิทธิ์ขนาด $n \times n$
	x_t	=	เวกเตอร์ของตัวแปรอิสระ ณ ช่วงเวลาที่ t ขนาด $n \times 1$
	ε_t	=	เวกเตอร์ของตัวแปรสุ่มคลาดเคลื่อนขนาด $n \times 1$
	p	=	จำนวน Lag Order ที่เหมาะสมของข้อมูล

Ahmed Ibrahim and Others (2020) ได้ศึกษา เรื่อง “Bitcoin Network Mechanics: Forecasting the BTC Closing Price Using Vector Autoregressive Models Based on Endogenous and Exogenous Feature Variables” โดยใช้ข้อมูลรายวัน ตั้งแต่ เดือนมกราคม ค.ศ. 2017 ถึง เดือนสิงหาคม ค.ศ. 2020 และใช้แบบจำลอง VAR พบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อราคา Bitcoin ได้แก่ ราคา Bitcoin ย้อนหลัง, Hash Rate, จำนวนการทำธุรกรรม และจำนวน Wallet User

1.3 แบบจำลอง VECM (Vector Error Correction Model)

VECM (Vector Error Correction Model) คือ แบบจำลองที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลอง VAR และแบบจำลอง Co-Integration โดยเป็นแบบจำลองที่มีการพิจารณาตัวแปรตาม (Dependent) และตัวแปรอิสระ (Independent) ได้หลายตัวพร้อมกัน และตัวแปรทุกตัวที่นำมาศึกษา

ไม่จำเป็นต้องมีคุณสมบัติหนึ่ง (Stationary) มีจุดประสงค์ เพื่อดูรูปแบบการเคลื่อนไหวของข้อมูลในอดีตแล้วคาดการณ์ข้อมูลในอนาคตโดยไม่มีทฤษฎีรองรับ

แบบจำลอง VECM สามารถแสดงความสัมพันธ์ในระยะสั้นของตัวแปร โดยคำนึงผลกระทบของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการปรับตัวในระยะยาวของตัวแปรในแบบจำลองด้วย สามารถเขียนแบบจำลอง VECM ได้ ดังนี้

$$\Delta X_t = \pi_0 + \pi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_f$$

โดยที่	ΔX_t	=	เวกเตอร์ของตัวแปรมีขนาด $n \times 1$
	πX_{t-1}	=	Vector Error Correction Term
	π_i	=	เมตริกซ์ของค่าสัมประสิทธิ์ขนาด $n \times n$
	ε_f	=	เวกเตอร์ของตัวแปรสุ่มคลาดเคลื่อนขนาด $n \times 1$
	p	=	จำนวน lag order ที่เหมาะสมของข้อมูล

Sukmawati Sukamulja and Cornelia Sikora (2018) ได้ศึกษา เรื่อง “The New Era of Financial Innovation: The Determinants of Bitcoin’s Price” โดยใช้ข้อมูลรายวัน ตั้งแต่ เดือน มกราคม ค.ศ. 2009 ถึง เดือนมกราคม ค.ศ. 2017 และใช้แบบจำลอง VECM พบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ ราคา Bitcoin ได้แก่ อุปสงค์ของ Bitcoin, ดัชนี Dow Jones และราคาทองคำ ทั้งในระยะยาว และระยะสั้น

1.4 ตัวชี้วัดในการประเมินผลการพยากรณ์

RMSE (Root Mean Squared Error) เป็นตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองในการทำนาย โดยคำนวณจากรากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง มีค่าเป็นหน่วยเดียวกับข้อมูลที่ใช้ทำนาย ยกตัวอย่าง เช่น RMSE = 5,000 หมายความว่า หากข้อมูลตัวแปรตามมีหน่วยเป็น ดอลลาร์สหรัฐฯ การทำนายของแบบจำลองมีคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไป 5,000 ดอลลาร์สหรัฐฯ เป็นต้น โดยตัวชี้วัดยังมีค่าน้อย ยิ่งแสดงถึงการทำนายของแบบจำลองที่ดี

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (F_t - A_t)^2}{N}}$$

นภดล วัชรชัยตระกูล, นราธิปพงศ์ ศรีสุข, เพิ่มพูน อภิมงคลชัย, และ อภิวัฒน์ จางสกุลเจริญ

โดยที่ F_t = ค่าพยากรณ์ หรือ Forecast Value ในช่วงเวลา t ตามลำดับ
 A_t = ค่าจริง หรือ Actual Value ในช่วงเวลา t ตามลำดับ
 N = จำนวนของข้อมูล

MAPE (Mean Absolute Percentage Error) เป็นตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนของโมเดลในการทำนาย มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%) เพื่อให้สะดวกในการเข้าใจการทำนายของแบบจำลองว่า มีการทำนายผิดพลาดไปที่เปอร์เซ็นต์ ยกตัวอย่าง เช่น $MAPE = 15\%$ หมายความว่า การทำนายของโมเดลคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไป 15% เป็นต้น โดยตัวชี้วัดนี้เกิดจาก ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ผลต่างระหว่างค่าทำนายกับค่าจริงหารด้วยค่าจริงแล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยตัวชี้วัดยังมีค่าน้อย ยิ่งแสดงถึงการทำนายที่ดี

$$MAPE = \left(\frac{1}{N} \sum \frac{|A_t - F_t|}{|A_t|} \right) \times 100$$

โดยที่ F_t = ค่าพยากรณ์ หรือ Forecast Value ในช่วงเวลา t ตามลำดับ
 A_t = ค่าจริง หรือ Actual Value ในช่วงเวลา t ตามลำดับ
 N = จำนวนของข้อมูล

ตารางตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อราคา Bitcoin รายสัปดาห์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
BTC_price	ราคาปิดเฉลี่ย Bitcoin รายวันตลอดสัปดาห์	USD
Market_cap	มูลค่าตลาด Bitcoin รายวันตลอดสัปดาห์	USD
Hash_rate	อัตราการขุด Bitcoin รายวันตลอดสัปดาห์	TH/s
Transaction	จำนวนการทำธุรกรรม Bitcoin รายวันตลอดสัปดาห์	ครั้ง
Transaction_fee	ค่าการทำธุรกรรม Bitcoin รายวันตลอดสัปดาห์	USD
Tweets	จำนวนการทวีตเกี่ยวกับ Bitcoin รายวันตลอดสัปดาห์	ครั้ง
Google_trend	คำค้นหา Bitcoin Crash รายวันตลอดสัปดาห์	เปอร์เซ็นต์
Interest_rate	อัตราดอกเบี้ยสหรัฐฯ รายวันตลอดสัปดาห์	เปอร์เซ็นต์
Inflation_rate	อัตราเงินเฟ้อสกุลเงินดอลลาร์สหรัฐฯ รายวันตลอดสัปดาห์	เปอร์เซ็นต์
Gold_price	ราคาทองคำรายวันตลอดสัปดาห์	USD
Dow_jones	ดัชนีตลาดหุ้น Dow Jones รายวันตลอดสัปดาห์	จุด

วิธีดำเนินการวิจัย

การพยากรณ์ราคา Bitcoin และหาปัจจัยที่สำคัญต่อราคา Bitcoin รายสัปดาห์ ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากแบบจำลอง VAR และแบบจำลอง VECM เริ่มจากเก็บรวบรวมจากฐานข้อมูลทุติยภูมิ นำมาตรวจสอบคุณสมบัติหนึ่ง จากนั้นเลือกคาบเวลาในอดีต (p) หรือ Lag Order และทดสอบหาความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพระยะยาว (Cointegration) หรือ Rank ด้วยวิธี Johansen and Juselius จึงสามารถประมาณการแบบจำลอง VAR และ VECM เพื่อทราบถึงตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญของแต่ละแบบจำลอง แล้วจึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองทั้งสองโดยตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของแต่ละแบบจำลองผ่านตัวชี้วัด RMSE และ MAPE เมื่อได้แบบจำลองที่มีดัชนีวัดความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด จึงนำแบบจำลองที่ดีที่สุดมาพยากรณ์ราคาในอนาคต 2 สัปดาห์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแม่นยำและสรุปผล

ผลการศึกษา

1. ผลการตรวจสอบคุณสมบัติหนึ่ง (Stationary) ของทุกตัวแปร ด้วยวิธี Unit Root Test

เมื่อทำการตรวจสอบคุณสมบัติหนึ่ง ที่ระดับ At Level พบว่า ตัวแปรส่วนใหญ่ยอมรับสมมติฐานหลัก ทำให้ตัวแปรส่วนใหญ่ไม่มีคุณสมบัติหนึ่ง (Non-Stationary) จึงทำการ First Difference ข้อมูลแล้วทดสอบคุณสมบัติหนึ่งข้อมูลอีกครั้ง จึงพบว่า ทุกตัวแปรที่ทำ First Difference ปฏิเสธสมมติฐานหลักทำให้มีคุณสมบัติหนึ่ง (Stationary) ดังนั้น จำเป็นจะต้องใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติอนุกรมเวลา จึงทำการเลือกแบบจำลอง VAR และ VECM ในการประมาณค่าพารามิเตอร์และทำนายราคา Bitcoin รายสัปดาห์

2. ผลการเลือกคาบเวลาในอดีต (Lag Order) ที่เหมาะสมกับแบบจำลอง

การเลือกคาบเวลาในอดีต (p) ที่เหมาะสมกับแบบจำลอง VAR และ VECM จะเลือกแบบจำลองที่มีค่า AIC หรือ SC ที่มีค่าน้อยที่สุด เมื่อได้คาบเวลาในอดีตที่เหมาะสมแล้ว (p) จึงประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง VAR ได้ผลการเลือกคาบเวลาในอดีต (Lag Order) พบว่า ค่า AIC มีค่าน้อยที่สุด ในจำนวนความล่าช้าที่ย้อนอดีตไป 2 ช่วงเวลา ดังนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนสมการให้กลายเป็นจำนวนความล่าช้าที่ย้อนอดีตไป 2 ช่วงเวลา สามารถนำไปใช้ได้ทั้งแบบจำลอง VAR และ VECM

3. ทดสอบความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพในระยะยาว (Cointegration Test)

ในการสร้างแบบจำลอง VECM ต้องทำการทดสอบหาความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพระยะยาว (Cointegration) ด้วยวิธี Johansen and Juselius ซึ่งเป็นการทดสอบหาจำนวน Cointegration Vector (r) หรือ Rank (r) ที่เหมาะสม ซึ่งเป็นจำนวนความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพระยะยาวที่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสถิติที่ใช้ทดสอบได้แก่ วิธี Trace Test และ Max Test จากสมมติฐานดังนี้

H_0 : จำนวน Cointegration Vector อย่างมากที่สุดเท่ากับ r

H_1 : จำนวน Cointegration Vector มากกว่า r

การทดสอบด้วย Trace test และ Maximal Eigenvalue พบว่า ณ ระดับ Rank = 4 ค่าทางสถิติ $T_{cal} < T_c$ หรือ $p - value > \alpha$ หมายความว่า ปฏิเสธ H_1 หรือยอมรับ H_0 แสดงว่า จำนวน Cointegration Vector อย่างมากที่สุดเท่ากับ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับ $\alpha = 0.05$

จากนั้นทำการค้นหารูปแบบที่เหมาะสมของแบบจำลอง VECM จาก 5 รูปแบบ พบว่าประเภทแบบจำลองที่มีค่า Akaike Information Criteria (AIC) น้อยที่สุด คือ แบบจำลอง VECM ประเภท Restricted Constant

4. ประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

4.1 ประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง VAR

โดยกำหนดคาบเวลาในอดีต (p) หรือ Lag อยู่ที่ 2 แล้วดำเนินการประมาณผลหลังจากนั้นแบบจำลองจะแสดงค่าประมาณพารามิเตอร์ (Coefficient) และระดับนัยสำคัญ (Significance) ของตัวแปรอิสระต่อตัวแปรตาม หรือ ราคา ได้ผลการประมาณตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญต่อราคา Bitcoin ดังตารางต่อไปนี้

ตารางการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง VAR ที่ Lag Order 2

VAR System, Lag Order 2					
Variable	Coefficient	Std. Error	T-Ratio	P-Value	Significance
const	185.522	125.900	1.474	0.1418	
d_BTC_price_1	0.190716	0.101014	1.888	0.0601	*
d_BTC_price_2	-0.495482	0.130623	-3.793	0.0002	***
d_Marketcap_1	-3.66847e-09	9.67642e-09	-0.3791	0.7049	
d_Marketcap_2	2.39548e-08	6.44106e-09	3.719	0.0002	***
d_Hash_rate_1	1.57272e-05	3.06882e-05	0.5125	0.6088	
d_Hash_rate_2	-6.37441e-05	3.02644e-05	-2.106	0.0361	**
d_Transactions_1	0.00437158	0.00881646	0.4958	0.6204	
d_Transactions_2	-0.0134890	0.00894594	-1.508	0.1328	
d_Transaction_fee_1	0.000714034	0.000215752	3.310	0.0011	***
d_Transaction_fee_2	-0.000240575	0.000203082	-1.185	0.2373	
d_Tweets_1	0.0125741	0.0107131	1.174	0.2416	
d_Tweets_2	0.0154902	0.0102923	1.505	0.1335	
d_Google_trend_1	5.50273	6.90638	0.7968	0.4263	
d_Google_trend_2	1.01902	7.43711	0.1370	0.8911	
d_Interest_rate_1	-169.801	2031.04	-0.08360	0.9334	
d_Interest_rate_2	97.6218	1876.32	0.05203	0.9585	
d_Inflation_rate_1	-1837.48	2327.09	-0.7896	0.4305	
d_Inflation_rate_2	5244.87	2391.05	2.194	0.0292	**
d_Gold_price_1	-6.77814	5.39873	-1.256	0.2104	
d_Gold_price_2	2.68276	5.28892	0.5072	0.6124	
d_Dow_jones_1	0.147196	0.351848	0.4184	0.6760	
d_Dow_jones_2	-0.591420	0.349025	-1.694	0.0914	*

สามารถจำแนกหมวดหมู่ตัวแปรที่มีนัยสำคัญได้ดังนี้

1. ตัวแปรที่ การเปลี่ยนแปลงย้อนหลัง 1 ช่วงเวลาส่งอิทธิพลต่อราคา Bitcoin ได้แก่ d_BTC_price ณ ระดับ $\alpha = 0.1$ และ d_Transaction_fee ณ ระดับ $\alpha = 0.01$
2. ตัวแปรที่ การเปลี่ยนแปลงย้อนหลัง 2 ช่วงเวลาส่งอิทธิพลต่อราคา Bitcoin ได้แก่ d_BTC_price ณ ระดับ $\alpha = 0.01$, d_Marketcap ณ ระดับ $\alpha = 0.01$, d_Hash_rate ณ ระดับ $\alpha = 0.05$, d_Inflation_rate ณ ระดับ $\alpha = 0.05$ และ d_Dow_jones ณ ระดับ $\alpha = 0.1$

4.2 ประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง VECM

โดยกำหนดคาบเวลาในอดีต (p) หรือ Lag Order อยู่ที่ 2 และจำนวนความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพระยะยาวหรือ Rank อยู่ที่ระดับ 4 โดยมีรูปแบบของแบบจำลอง Restricted Constant ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบจำลอง VECM ประเภท Restricted Constant

VECM System, Lag Order 2, Cointegration Rank = 4, case 2: Restricted Constant					
Variable	Coefficient	Std. Error	T-Ratio	P-Value	Significance
d_BTC_price_1	0.449024	0.155179	2.894	0.0041	***
d_Marketcap_1	-2.65727e-08	6.32E-09	-4.201	3.63E-05	***
d_Hash_rate_1	1.48E-05	3.14E-05	0.471	0.638	
d_Transactions_1	-0.000319830	0.00942337	-0.03394	0.973	
d_Transaction_fee_1	0.000748081	0.000186592	4.009	7.93E-05	***
d_Tweets_1	-0.00645360	0.011105	-0.5811	0.5616	
d_Google_trend_1	0.000784614	8.32747	9.42E-05	0.9999	
d_Interest_rate_1	500.149	1982.3	0.2523	0.801	
d_Inflation_ra~_1	-870.265	2372.47	-0.3668	0.714	
d_Gold_price_1	-3.74920	5.41899	-0.6919	0.4896	
d_Dow_Jones_1	0.234037	0.358658	0.6525	0.5146	

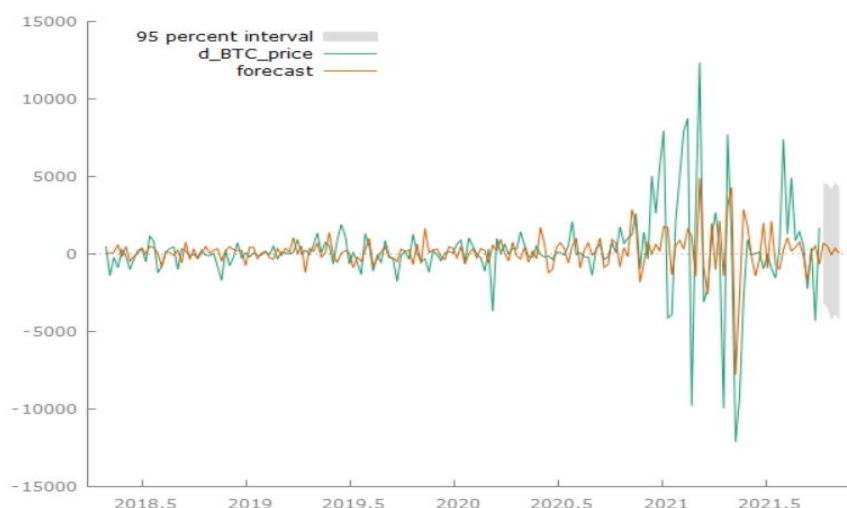
จากผลการประมาณจำแนกตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อราคา Bitcoin พบว่าตัวแปรที่การเปลี่ยนแปลงย้อนหลัง 1 ช่วงเวลาส่งอิทธิพลต่อราคา Bitcoin ได้แก่ d_BTC_price ณ ระดับ $\alpha = 0.01$, $d_Marketcap$ ณ ระดับ $\alpha = 0.01$ และ $d_Transaction_fee$ ณ ระดับ $\alpha = 0.01$

5. ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ของแบบจำลอง

ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ของแบบจำลอง โดยใช้ตัวชี้วัด RMSE และ MAPE ทั้งสองหน่วยวัดยิ่งมีค่าน้อย ยิ่งแสดงถึงการทำนายของแบบจำลองที่ดี ในส่วนของการวัดค่าของตัวชี้วัดจะต้องทำการทำนาย (Forecast Value) ตัวแปรตามจำนวน 180 สัปดาห์ และนำค่าจริง (Actual Value) มาคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองผ่านตัวชี้วัด RMSE และ MAPE

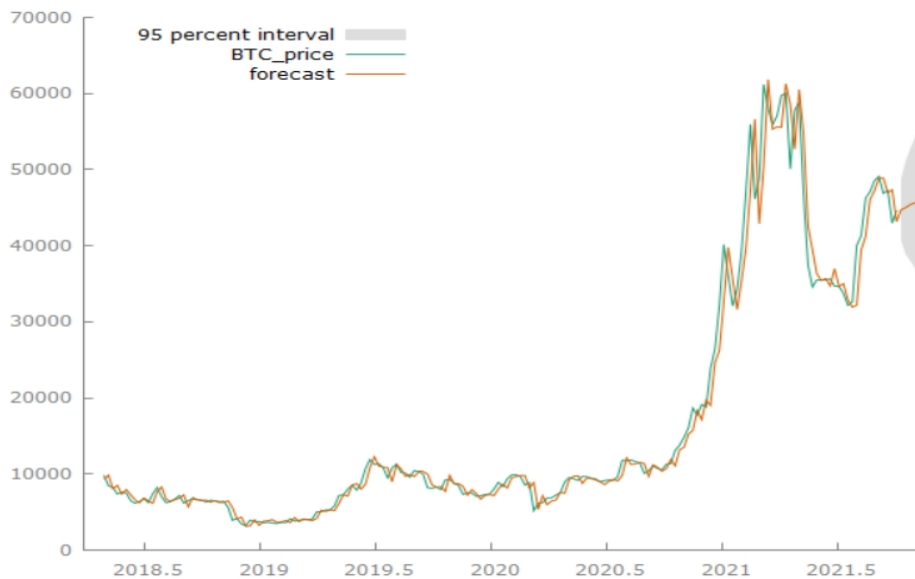
ในส่วนของแบบจำลอง VAR ทำการทำนายราคา Bitcoin จากข้อมูลย้อนหลังตลอด 180 สัปดาห์ในรูปแบบ First Difference (Forecast Value) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของราคาที่แท้จริง (Actual Value) ดังภาพต่อไปนี้

ภาพการเปรียบเทียบผลการทำนาย และค่าจริง ของแบบจำลอง VAR



ในส่วนของแบบจำลอง VECM ทำการทำนายราคา Bitcoin จากข้อมูลย้อนหลังตลอด 180 สัปดาห์ในรูปแบบ At Level (Forecast Value) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลราคาที่แท้จริง (Actual Value) ดังภาพต่อไปนี้

ภาพการเปรียบเทียบผลการทำนาย และค่าจริง ของแบบจำลอง VECM



6. เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนระหว่างแบบจำลอง

เมื่อคำนวณ RMSE และ MAPE ของแบบจำลอง VAR และ VECM โดยในส่วนของผลแบบจำลอง VAR จะต้องแปลงจาก First Difference ให้กลับอยู่ในรูปแบบ At Level ก่อน แล้วนำมาคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน ได้ผลว่า ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ของแบบจำลอง VAR มีตัวชี้วัด RMSE เท่ากับ 9,303.25 ดอลลาร์สหรัฐฯ และ MAPE เท่ากับ 84.4753 % ในขณะที่ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการทำนายของแบบจำลอง VECM มีตัวชี้วัด RMSE เท่ากับ 2,398.09 ดอลลาร์สหรัฐฯ และ MAPE เท่ากับ 7.84015 % จากการเปรียบเทียบตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนของสองแบบจำลอง พบว่า แบบจำลอง VECM เป็นแบบจำลองที่ทำนายได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า แบบจำลอง VAR

7. ทำนายตัวแปรตาม หรือราคา Bitcoin รายสัปดาห์

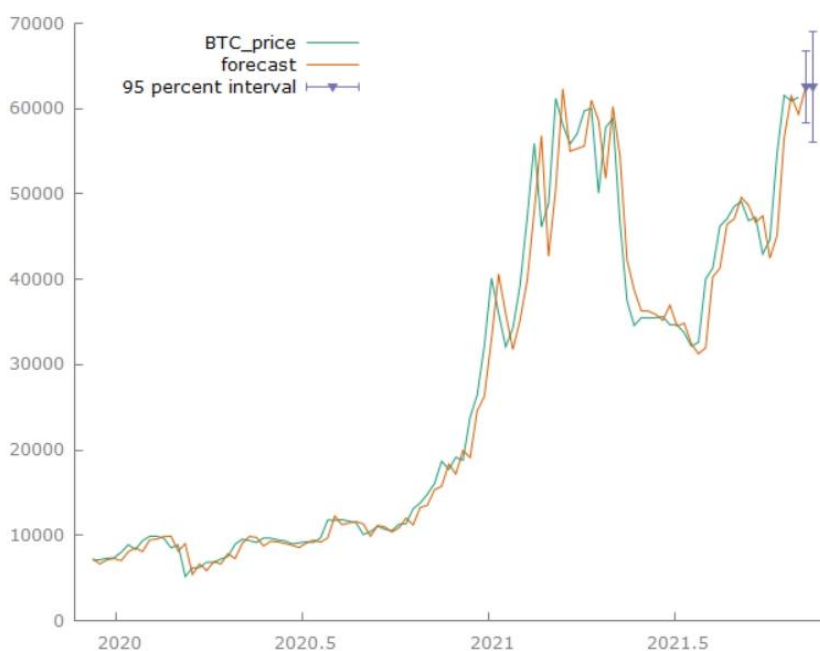
นำแบบจำลอง VECM มาอัปเดตข้อมูลเพิ่ม 4 สัปดาห์ แล้วทำนายราคา Bitcoin 2 สัปดาห์ถัดไป เปรียบเทียบแบบจำลอง VECM ไปใช้ทำนายจริง ได้ผลการทำนาย ช่วงความเชื่อมั่น 95 % และเทียบกับค่าจริง ได้ดังตารางนี้

ตารางการทำนายราคา Bitcoin 2 สัปดาห์

Date	Forecast Value	Confidence Interval (95%)	Actual Value
07-11-2021	62,513.20	[58,284.89 – 66,741.51]	65,466.84
14-11-2021	62,491.65	[56,034.69 – 68,948.62]	58,706.85

จากผลการทำนายราคา Bitcoin ใน 1 สัปดาห์ถัดไปอยู่ที่ราคา 62,513.20 ดอลลาร์สหรัฐฯ ซึ่งน้อยกว่าราคาจริงที่ 65,466.84 ดอลลาร์สหรัฐฯ อยู่ร้อยละ 4.5 ในส่วนของผลทำนาย 2 สัปดาห์ถัดไปอยู่ที่ 62,491.65 ดอลลาร์สหรัฐฯ ซึ่งมากกว่าราคาจริงที่ 58,706.85 ดอลลาร์สหรัฐฯ อยู่ร้อยละ 6.4 จะสังเกตได้ว่า ราคาทำนาย 1 สัปดาห์มีความแม่นยำมากกว่าราคาทำนาย 2 สัปดาห์ เมื่อเทียบความคลาดเคลื่อนจากค่าจริง ถึงกระนั้น ทิศทางของการทำนายราคาเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับราคาจริง คือ ราคา Bitcoin สัปดาห์ที่ 2 จะลดลงจากสัปดาห์ที่ 1 และราคาจริงยังคงอยู่ในช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ของแต่ละสัปดาห์

ภาพการเปรียบเทียบผลการทำนาย และค่าจริงของแบบจำลองที่ดีที่สุด



ดังนั้น จากภาพการเปรียบเทียบ และตารางผลการทำนายของแบบจำลอง VECM สรุปได้ว่าแบบจำลอง VECM สามารถทำนายราคา Bitcoin ได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดเพียง 1 สัปดาห์ถัดไปเท่านั้น โดยผลการทำนายราคาเป็นในทิศทางเดียวกันกับราคาจริง

ข้อสรุปและอภิปรายผล

1. จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง VAR และ VECM สามารถตอบคำถามจุดมุ่งหมายเรื่องปัจจัยที่สำคัญต่อราคา Bitcoin ได้ว่า ตัวแปรที่สำคัญต่อราคา Bitcoin รายสัปดาห์จากผลการประมาณแบบจำลอง VAR ได้แก่ ราคา Bitcoin ย้อนหลัง , มูลค่าตลาด Bitcoin (Market Cap) , อัตราการขุด Bitcoin (Hash Rate) , ค่าการทำธุรกรรม Bitcoin (Transaction Fee) , อัตราเงินเฟ้อสกุลเงินดอลลาร์สหรัฐฯ (Inflation Rate) และดัชนีตลาดหุ้น Dow Jones (Dow Jones) และตัวแปรที่สำคัญต่อราคา Bitcoin รายสัปดาห์จากผลการประมาณแบบจำลอง VECM ได้แก่ ราคา Bitcoin ย้อนหลัง (Bitcoin), มูลค่าตลาด Bitcoin (Market Cap) และค่าการทำธุรกรรม Bitcoin (Transaction Fee)

2. จากการเปรียบเทียบตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อน RMSE และ MAPE ของแบบจำลอง VAR และ VECM ทำให้ได้แบบจำลองที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดหรือมีประสิทธิภาพที่สุด คือแบบจำลอง VECM โดยกำหนดคาบเวลาในอดีต (p) หรือ Lag Order อยู่ที่ 2 และจำนวนความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพระยะยาว หรือ Rank อยู่ที่ระดับ 4 โดยมีรูปแบบของแบบจำลอง Restricted Constant นอกจากนั้นยังพบว่า 2 ตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองดังกล่าว คือ RMSE และ MAPE อยู่ที่ 2,398.09 ดอลลาร์สหรัฐฯ และ 7.84015 % ตามลำดับ เมื่อนำแบบจำลองมาพยากรณ์ล่วงหน้า 2 สัปดาห์ พบว่า สามารถทำนายราคาพยากรณ์ล่วงหน้า 1 สัปดาห์ได้ถึงร้อยละ 95.5 เมื่อเทียบกับราคาจริง และทำนายราคาพยากรณ์ล่วงหน้า 2 สัปดาห์ได้ถึงร้อยละ 93.6 เมื่อเทียบกับราคาจริง โดยผลการทำนายราคาเป็นในทิศทางเดียวกันกับราคาจริง

ตารางที่ตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง VAR และ VECM

ตัวชี้วัด	RMSE	MAPE (%)
แบบจำลอง VAR	9,303.25	84.4753
แบบจำลอง VECM	2,398.09	7.84015

ข้อเสนอแนะ

1) ผู้ที่สนใจจะศึกษา หรือลงทุนเกี่ยวกับ Bitcoin สามารถนำผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ไปใช้ต่อยอดในการศึกษา และประกอบการตัดสินใจการลงทุน Bitcoin ในอนาคต เพื่อลดความเสี่ยงในการลงทุนได้ โดยจากการศึกษาสามารถดูทิศทางการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อราคา Bitcoin รวมถึงสามารถนำแบบจำลองที่ได้จากการศึกษามาใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มของราคา Bitcoin ว่ามีความเสี่ยงมากน้อยเพียงใด เหมาะสมที่จะลงทุนหรือไม่ แต่แบบจำลองที่ได้จากการศึกษานั้นเหมาะสมที่จะใช้พยากรณ์ราคา Bitcoin ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ 1 สัปดาห์ถัดไป ไม่เหมาะที่จะนำมาพยากรณ์ในช่วงระยะเวลายาว ๆ เพราะราคาของ Bitcoin ยังมีความผันผวนสูง และมีการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยต่าง ๆ นอกเหนือจากที่ทำการศึกษา

2) สามารถเลือกปัจจัยสำคัญที่ค้นพบจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ไปต่อยอดสร้างแบบจำลองหลายตัวแปรในรูปแบบอื่น ๆ ได้นอกจากแบบจำลองที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เพื่อค้นหาแบบจำลองที่เหมาะสม หรืออาจจะมีประสิทธิภาพในการทำนายที่ดีกว่าได้

เอกสารอ้างอิง

- กิงกมล นงงาม. (2562). **ตัวแบบการพยากรณ์ราคาซื้อ-ขายบิทคอยน์**. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2564, จาก <https://repository.nida.ac.th/bitstream/handle/662723737/5136/b210808.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- เกียรติกร เทียนธรรมชาติ. (2561). **อิทธิพลต่อการตัดสินใจอมรับใช้เงินดิจิทัล (บิทคอยน์) ของผู้บริโภคกลุ่ม Millennials ในกรุงเทพมหานคร**. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2564, จาก http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2018/TU_2018_5923036171_7492_9464.pdf
- ณภัทร์ใจเอื้อ. (2559). **ปัจจัยทางเศรษฐกิจที่มีผลต่อการลงทุนโดยตรงภาคเอกชนในประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2564, จาก <http://econ.eco.ku.ac.th/2017/is/5714752350.pdf>
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2563). **“เงินเฟ้อ”**. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2564, จาก https://www.bot.or.th/App/FinancialLiteracy/ExchangeRate/01_01_contentdownload_inflation

- พงศกร พัวพัฒนกุล. (2560). การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันผวนของราคา Bitcoin. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2564, จาก http://dspace.bu.ac.th/bitstream/123456789/2768/1/phongsakorn_puap.pdf
- พิพัฒน์ อิ่มคง. (2562). การศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อทองคำและบิตคอยน์รวมทั้งความสัมพันธ์แฝงระหว่างกัน. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2564, จาก <http://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/1531/3/61061659.pdf>
- ยุทธนา เศรษฐปราโมทย์. (2564). การลงทุนในบิตคอยน์และทองคำ: สินทรัพย์ปลอดภัย (Safe Haven) หรือ เก็งกำไร (Speculative). สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2564, จาก <http://econ.nida.ac.th/2021/05/13808/>
- สุภาวดี ศิริวัฒน์ และนพจักร ทองเรือนดี. (2554). ปัจจัยที่มีผลต่อราคาทองคำในตลาดโลก. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2564, จาก http://www.northbkk.ac.th/research_themes/downloads/abstract/1407488_497_abstract.pdf
- อภิญญา ภูนิเทศ. (2557). การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระยะยาวระหว่างตลาดหลักทรัพย์จากการเชื่อมโยงตลาดทุนอาเซียนหลังจากการรวมตัว. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2564, จาก https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/1924/BUS_59_01.pdf?sequence=1
- Admiralmarkets. (2564). ดาวโจนส์ คืออะไร และทำไมเราควรลงทุนในดัชนีดาวโจนส์?. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2564, จาก <https://admiralmarkets.sc/th/education/articles/trading-instruments/dow-jones-index-guide>
- Ahmed Ibrahim and Others. (2563). Bitcoin Network Mechanics: Forecasting the BTC Closing Price Using Vector Auto-Regression Models Based on Endogenous and Exogenous Feature Variables. Retrieved NOV 10, 2021, from <https://www.mdpi.com/1911-8074/13/9/189>
- Bitkub Team. (2564). การขุด Bitcoin คืออะไรกันแน่. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2564, จาก <https://thestandard.co/what-is-bitcoin-mining/>
- Blockdit. (2564). Bitcoin จะมาแทนที่ทองคำจริงหรือไม่?. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2564, จาก <https://www.blockdit.com/posts/60a71e4928acf713ccde0161>

Dean Fantazzini and Nikita Kolodin. (2563). **Does the Hash rate Affect the Bitcoin Price?**.

Retrieved OCT 5, 2021, from <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstractid=3720039>

Dennis Wijk. (2556). **What can be expected from the Bitcoin?**. Retrieved OCT 5, 2021,

from <https://thesis.eur.nl/pub/14100/Final-version-Thesis-Dennis-van-Wijk.pdf>

Dehua Shen and others. (2562). **Does Twitter predict Bitcoin**. Retrieved OCT 5, 2021, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165176518304634?via%3Dihub>

Eray Gemici and Müslüm Polat. (2562). **Relationship between price and volume in the**

Bitcoin market. Retrieved OCT 5, 2021, from <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JRF-07-2018-0111/full/html#:~:text=It%20was%20observed%20through%20the,stronger%20impact%20on%20trade%20volume>

Erik Parstrand and Otto Ryden. (2558). **Explaining the market price of Bitcoin and other**

Cryptocurrencies with Statistical Analysis. Retrieved OCT 5, 2021, from <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:814478>

Finnomena. (2563). **7 เรื่องที่ต้องรู้ก่อนซื้อ Bitcoin**. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2564, จาก <https://www.finnomena.com/bitkub/7-things-bitcoin/>

Finnomena. (2564). **FINNOMENA ตอบโจทย์การลงทุนวิธีใหม่ครั้งแรกปี 2564 เผย**

สินทรัพย์ภายใต้การบริหารโต 90%. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2564, จาก <https://www.finnomena.com/z-admin/pr-1h2021-performance>

Jirapjat. (2564). **สาเหตุที่ราคา Bitcoin พุ่งทะลุ 1,200,000 บาทได้ และราคาจะร่วงลงมาให้**

ช้อนอีกไหม?. สืบค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2564, จาก <https://www.siambitcoin.com/2021/11/10/fed-poll-financial-industry-participants-worried-about-crypto-more-than-climate-change/>

K. Pair. (2562). **อัตราดอกเบี้ยแท้จริงคืออะไร?(Real Interest Rate)**. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน

2564, จาก <https://greedisgoods.com/อัตราดอกเบี้ยแท้จริง>

- Moneybuffalo. (2562). [สรุปโพสต์เดี่ยวจบ] “Bitcoin คืออะไร” ทำไมถึงมีมูลค่า. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2564, จาก <https://www.moneybuffalo.in.th/cryptocurrency/what-is-bitcoin>
- Niklas Hanes. (2564). **Federal fund rate on bitcoin volatility**. Retrieved OCT 5, 2021, from <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1570665/FULLTEXT01.pdf>
- Paola Ceruleo. (2557). **Bitcoin: A rival to fiat money or a speculative financial asset**. Retrieved OCT 5, 2021, from <https://tesi.luiss.it/13806/1/ceruleo-paola-tesi-2014.pdf>
- Pavel Ciaian and Others. (2559). **The economics of Bitcoin price formation**. Retrieved NOV 10, 2021, from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00036846.2015.1109038>
- Sukmawati Sukamulja and Cornelia Sikora. (2561). **THE NEW ERA OF FINANCIAL: INNOVATION :THE DETERMINANTS OF BITCOIN'S PRICE**. Retrieved OCT 5, 2021, https://www.Researchgate.net/publication/323786879_THE_NEW_ERA_OF_FINANCIAL_INNOVATION_THE_DETERMINANTS_OF_BITCOIN'S_PRICE
- Wikipedia. (2556). **มูลค่าตามราคาตลาด**. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2564, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/มูลค่าตามราคาตลาด>
- Yechen Zhu and David Dickinson. (2016). **Analysis on the influence factors of Bitcoin's price based on VEC model**. Retrieved OCT 5, 2021, from https://www.researchgate.net/publication/315536228_Analysis_on_the_influence_factors_of_Bitcoin%27s_price_based_on_VEC_model