

การพยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้าด้วยแบบจำลอง ARIMA
CRYPTOCURRENCY PRICE FORECASTING FOR FUTURES USING ARIMA MODEL

อุทิศ พงศ์จิรวัดนา¹ อนูปงศ์ สุขประเสริฐ¹ นันทิมา แพงทรัพย์¹ และ มะลิวัลย์ สารภาพ¹

¹คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Utis Bhongchirawattana¹ Anupong Sukprasert¹ Nantima Paengsab¹ and Maliwan Saraphap¹

¹Maharakham Business School, Maharakham University

(Received: August 22, 2022; Revised: April 8, 2023; Accepted: June 8, 2023)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซีด้วยวิธี ARIMA และเพื่อทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซี ใช้ข้อมูลทุติยภูมิรายสัปดาห์ตั้งแต่วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึงวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 200 สัปดาห์ ประกอบด้วย ราคาเหรียญสกุลเงินดิจิทัลทั้ง 7 เหรียญ ประกอบด้วย Bitcoin, Ethereum, Binance Coin, Cardano, XRP, Dogecoin และ Litecoin ผลการศึกษาพบว่า 1) การพยากรณ์ราคาเหรียญ Bitcoin แบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ ARIMA (1,1,1) ค่า MAPE เท่ากับ 8.175 มีความแม่นยำในการพยากรณ์อยู่ที่ร้อยละ 91.825 2) การพยากรณ์เหรียญ Ethereum แบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ ARIMA (2,1,4) ค่า MAPE เท่ากับ 11.192 มีความแม่นยำในการพยากรณ์อยู่ที่ร้อยละ 88.808 3) การพยากรณ์เหรียญ Binance Coin แบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ ARIMA (0,1,1) ค่า MAPE เท่ากับ 15.541 มีความแม่นยำในการพยากรณ์อยู่ที่ร้อยละ 84.459 4) การพยากรณ์เหรียญ Cardano แบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ ARIMA (1,1,0) ค่า MAPE เท่ากับ 12.647 มีความแม่นยำในการพยากรณ์อยู่ที่ร้อยละ 84.459 5) การพยากรณ์เหรียญ XRP แบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ ARIMA (0,1,6) ค่า MAPE เท่ากับ 11.886 มีความแม่นยำในการพยากรณ์อยู่ที่ 88.114% 6) การพยากรณ์เหรียญ Dogecoin แบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ ARIMA (2,1,3) ค่า MAPE เท่ากับ 21.852 มีความแม่นยำในการพยากรณ์อยู่ที่ร้อยละ 78.148 และ 7) การพยากรณ์เหรียญ Litecoin แบบจำลองที่มีความเหมาะสมที่สุด คือ ARIMA (3,1,2) ค่า MAPE เท่ากับ 11.059 มีความแม่นยำในการพยากรณ์อยู่ที่ร้อยละ 88.059 โดยการพยากรณ์ Bitcoin มีความแม่นยำมากที่สุด ในขณะที่แบบจำลอง ARIMA ของเหรียญ Dogecoin มีความแม่นยำน้อยที่สุด

คำสำคัญ: แบบจำลอง ARIMA, คริปโทเคอร์เรนซี, การพยากรณ์

ABSTRACT

The purposes of this study were to predict the cryptocurrency prices using the ARIMA model and to affirm the prediction accuracy of the cryptocurrency prediction in which the secondary data had been collected weekly from February 18th, 2018 to December 12th, 2021 counted as a total of 200 weeks. The data exactly comprised the 7 digital currencies including Bitcoin, Ethereum, Binance Coin, Cardano, XRP, Dogecoin, and Litecoin. Significantly, the study outcome indicated that: 1) ARIMA

(1,1,1) was the optimal forecast model for Bitcoin price since it demonstrated the MAPE of 8.175 and the prediction accuracy of 91.825%; 2) ARIMA (2,1,4) was the optimal model for Ethereum price forecast since it demonstrated the MAPE of 11.192 and the prediction accuracy of 88.808%; 3) ARIMA (0,1,1) was the optimal model for Binance Coin forecast with the MAPE of 15.541 and the prediction accuracy of 84.459%; 4) ARIMA (1,1,0) was the optimal model to predict the price of Cardano with the MAPE of 12.647 and the prediction accuracy of 84.459%; 5) ARIMA (0,1,6) was the optimal model for XRP forecast with the MAPE of 11.886 and the prediction accuracy of 88.114%; 6) ARIMA (2,1,3) was the optimal model for Dogecoin price forecast with the MAPE of 21.852 and the prediction accuracy of 78.148%; and 7) The optimal model for Litecoin price was ARIMA (3,1,2) with the MAPE of 11.059 and the prediction accuracy of 88.059%. After all, the Bitcoin model was the most accurate one whereas the ARIMA model for Dogecoin provided the least accurate result.

Keywords: ARIMA Model, Cryptocurrency, Forecast

บทนำ

ในอดีตที่ผ่านมามนุษย์เราได้ใช้สื่อกลาง ในการแลกเปลี่ยนมาแล้วหลากหลายรูปแบบ ตั้งแต่สิ่งของต่อสิ่งของ โลหะหายาก จนมาถึงในปัจจุบันที่มีการใช้ธนบัตรและเหรียญกษาปณ์ เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนที่ได้รับความนิยมมาอย่างยาวนาน แต่ด้วยการมาถึงกระแสโลกาภิวัตน์ ทำให้ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีมากขึ้น รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของนวัตกรรมด้านการเงิน การบัญชี และการทำธุรกรรมการเงินต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงเป็นการดำเนินงานเป็นแบบดิจิทัล (วิยะดา สุวรรณเพชร และคณะ, 2561) หรือที่เรียกว่า “เงินดิจิทัล (Digital Money) หรือ e-money” ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดข้อจำกัดต่าง ๆ ของเงินที่เป็นธนบัตรและเหรียญ อย่างเช่น การพกพาที่ไม่สะดวก การทำธุรกรรมข้ามพรมแดนที่ยุ่งยากอีกนัยหนึ่งก็คือ การเปลี่ยนจากสื่อที่ใช้แลกเปลี่ยนในรูปของวัตถุที่จับต้องได้มาเป็นรูปแบบของดิจิทัลแทน และสามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน อย่างเช่น บัตรที่ใช้ในศูนย์อาหาร บัตรรถไฟฟ้า บัตรเครดิตของแต่ละธนาคาร ไปจนถึงบริการที่อยู่ในรูปแบบของแอปพลิเคชันมือถือ เป็นต้น นอกเหนือจากเงินดิจิทัลที่เป็นที่รู้จักในวงกว้างแล้ว ยังได้มีสื่อแลกเปลี่ยนทางดิจิทัลอีก รูปแบบหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจอยู่ในขณะนี้ นั่นคือ “สกุลเงินดิจิทัล (Digital Currency)” หรืออีกชื่อหนึ่งคือ “คริปโทเคอร์เรนซี (Cryptocurrency)” สกุลเงินดิจิทัลนั้นแตกต่างจากเงินดิจิทัลตรงที่เงินดิจิทัลเหล่านั้นจะมีการอ้างอิงมูลค่ากับสกุลเงินท้องถิ่น แต่สกุลเงินดิจิทัลนั้นเกิดจากกระบวนการเข้ารหัส (Cryptography) ผ่านกลไกทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและไม่อ้างอิงมูลค่ากับสินทรัพย์อื่นใด โดยสกุลเงินดิจิทัลสกุลแรกที่เกิดขึ้นมาในปี 2548 มีชื่อเรียกว่า “Bitcoin” นับแต่นั้นเป็นต้นมาก็ได้เกิดสกุลเงินดิจิทัลอื่น ๆ อีกมากตามมา (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2562)

คริปโทเคอร์เรนซี (Cryptocurrency) เกิดจากการตระหนักถึงปัญหาต่าง ๆ ของระบบการเงินการธนาคารแบบเดิมที่มีการดำเนินการในลักษณะการรวมศูนย์อำนาจ (Centralization)

ได้แก่ ความเสี่ยงที่ข้อมูลสำคัญต่าง ๆ ของผู้ใช้บริการที่ถูกเก็บไว้กับตัวกลางอย่างธนาคารหรือสถาบันการเงินจะถูกทำลาย เปลี่ยนแปลง แก้ไข ทั้งจากความผิดพลาดขาดเจตนาหรืออาจถูกกระทำโดยทุจริต รวมทั้งข้อมูลดังกล่าวอาจถูกนำไปใช้หรือนำไปเปิดเผยโดยมิชอบ และประเด็นปัญหาในเรื่องของการทำธุรกรรมผ่านตัวกลางที่นอกจากจะทำให้มีต้นทุนในการดำเนินการสูงขึ้นเนื่องจากมีการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมแล้ว ยังทำให้เกิดความล่าช้าอันเนื่องมาจากจะต้องรอให้ตัวกลางเป็นผู้ตรวจสอบและอนุมัติธุรกรรมต่าง ๆ (Nakamoto, 2008) คริปโทเคอร์เรนซีจึงถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นสื่อกลางการแลกเปลี่ยนสินค้าและบริการรูปแบบใหม่ที่ไม่มีการปลอมแปลง ไม่สามารถจับต้องได้ แต่อยู่ในรูปแบบของข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการทำงานและเก็บข้อมูลด้วยระบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์ แม้คริปโทเคอร์เรนซีจะยังไม่สามารถมาแทนที่ระบบเงินตราดั้งเดิมได้ เนื่องจากมูลค่าของคริปโทเคอร์เรนซีไม่ได้ยึดโยงอยู่กับสินทรัพย์หรือสถาบันการเงินใด ๆ อีกทั้งสังคมโลกส่วนใหญ่ยังไม่ยอมรับให้เป็นวัตถุที่สามารถชำระหนี้ได้ตามกฎหมายก็ตาม

ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ระบุว่ามีการทำธุรกรรมอยู่ในตลาดซื้อขายสินทรัพย์ดิจิทัลและมีมูลค่าของตลาดโดยรวมอยู่ที่ 2.21 ล้านดอลลาร์ (Investing, 2564) โดยสกุลเงินดิจิทัลที่มีความนิยมในการซื้อขาย ได้แก่ Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Binance Coin (BNB), Cardano (ADA), Ripple (XRP), Dogecoin (DOGE) และ Litecoin (LTC) ในบรรดาสกุลเงินดิจิทัลทั้งหมดนี้ Bitcoin ถือว่ามีส่วนแบ่งในตลาดซื้อขายสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม เนื่องจากด้วยสกุลเงินดิจิทัลเหล่านี้ ไม่มีสินทรัพย์จริงหนุนหลัง ทำให้มูลค่านั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอุปสงค์และอุปทานของตลาดที่ทำการซื้อขาย ด้วยเหตุนี้มูลค่าของสกุลเงินดิจิทัลจึงมีความผันผวนที่สูงและไม่แน่นอนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังไม่สามารถเข้าถึงประชาชนทั่วไปได้อย่างแท้จริง ยังไม่สามารถนำมาใช้งานในชีวิตประจำวันได้อย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากมีหลาย ๆ ประเทศเริ่มยอมรับสกุลเงินดิจิทัลกันมากขึ้น มีการซื้อ-ขายผ่านตลาดคริปโทเคอร์เรนซีอย่างแพร่หลายมากขึ้น สกุลเงินดิจิทัลจึงเป็นทางเลือกของการลงทุนอีกทางหนึ่งที่ผู้คนเริ่มหันมาลงทุนเพิ่มมากขึ้นกว่าแต่ก่อน และจากการที่สกุลเงินดิจิทัลเริ่มมีการใช้อย่างถูกกฎหมายในหลาย ๆ ประเทศ จึงอาจส่งผลกระทบต่อองค์กรหรือธุรกิจหลาย ๆ ธุรกิจ ในด้านการเงินและด้านอื่น ๆ ในอนาคต สกุลเงินดิจิทัลอาจจะเป็นตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจที่สำคัญตัวหนึ่ง (สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร, 2560)

จากความสำคัญดังกล่าวการศึกษาการพยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้า โดยนำเหรียญสกุลหลักในตลาด 7 เหรียญ ที่เลือกจากมูลค่าตลาดสูงสุดและไม่รวมเหรียญที่เป็น Stablecoin ได้แก่ Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Binance Coin (BNB), Cardano (ADA), Ripple (XRP), Dogecoin (DOGE) และ Litecoin (LTC) โดยใช้เครื่องมือการพยากรณ์ (Forecasting) ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้กันทั่วไป คือการพยากรณ์เชิงปริมาณ โดยอาศัยข้อมูลหรือตัวเลขจากอดีตและใช้วิธีการทางสถิติวิเคราะห์เพื่อพิจารณารูปแบบมาสร้างแบบจำลอง ARIMA (ARIMA Model) เพื่อใช้พยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้าในอนาคต และทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ ซึ่งการพยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซีจะเป็นหนึ่งปัจจัยที่จะช่วยให้นักลงทุนสามารถวางแผนด้านการลงทุน และสามารถประเมินสถานการณ์ภาวะของความผันผวนในขณะนั้น ซึ่งจะสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการลงทุนได้ ทั้งนี้แบบจำลอง ARIMA เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมในการพยากรณ์ที่แม่นยำในระยะสั้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการพยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้าด้วยวิธี ARIMA
2. เพื่อทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้า

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณโดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ลักษณะข้อมูลแบบอนุกรมเวลา (Time-Series Data) โดยเป็นข้อมูลรายสัปดาห์ โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 ถึงวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 200 สัปดาห์ โดยการนำเหรียญสกุลหลักในตลาด 7 เหรียญ เป็นตัวแทนของราคาคริปโทเคอร์เรนซีทั้งตลาดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ 1) Bitcoin (BTC) 2) Ethereum (ETH) 3) Binance Coin (BNB) 4) Cardano (ADA) 5) Ripple (XRP) 6) Dogecoin (DOGE) และ 7) Litecoin (LTC) (Investing, 2565)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยใช้เทคนิคการพยากรณ์ด้วยวิธี ARIMA โดยคำนวณจากโปรแกรม Gretl แบบจำลอง ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) เป็นเทคนิคการพยากรณ์ของบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins) ซึ่งวิธีการพยากรณ์ด้วยวิธี ARIMA นั้นจะเป็นการอาศัยพฤติกรรมของข้อมูลในอดีต โดยการทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ จะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) เพื่อกำหนดรูปแบบในปัจจุบัน และอธิบายแนวโน้มหรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของตัวข้อมูลเองในอนาคต รูปแบบการกำหนด ARIMA (p,d,q) จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 AR (p) หรือ Autoregressive Process เป็นการนำเอาข้อมูลตัวมันเองในอดีตที่ผ่านมาแล้วมากำหนดข้อมูลตัวมันเอง ณ ปัจจุบัน ด้วยวิธี Correlogram โดยพิจารณาจาก Partial Autocorrelation Function (PACF)

ส่วนที่ 2 I (d) คือ อันดับความนิ่งของข้อมูล โดยพิจารณาจากการทดสอบ Unit Root เช่น ถ้า $I(0)$ หมายถึงข้อมูลหนึ่งที่ระดับ Level และถ้า $I(1)$ หมายถึงข้อมูลหนึ่งที่ระดับ First Difference Level เป็นต้น

ส่วนที่ 3 MA (q) หรือ Moving Average Process เป็นการนำเอาค่า Error term จากข้อมูลในอดีตต่าง ๆ มากำหนดตัวมันเอง ด้วยวิธี Correlogram โดยพิจารณาจาก Autocorrelation Function (ACF)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การพยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้าด้วยวิธี ARIMA

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการพยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้าผ่านตลาดซื้อขายสินทรัพย์ดิจิทัล โดยพิจารณาจากรูปแบบ การเปลี่ยนแปลงของราคาคริปโทเคอร์เรนซีในอดีตที่มีต่อความสัมพันธ์ต่อการคาดการณ์ ราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้าในอนาคต ซึ่งมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

3.1.1 ทำการทดสอบความนิ่งและความไม่นิ่ง (Stationary Nonstationary) โดยการทดสอบคุณสมบัติ Stationary ของข้อมูลด้วยวิธีการ Unit Root Test ซึ่งการศึกษานี้ ได้ใช้วิธีการทดสอบ Unit Root Test ของ Augmented Dickey Fuller (ADF) Test การตรวจสอบว่าข้อมูลมีลักษณะ Stationary หรือไม่นั้น โดยการพิจารณาว่าข้อมูล Stationary หรือไม่ให้ดูที่ค่า Prob. หากค่า Prob. < 0.05 (กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ความเชื่อมั่น 95%) ทั้ง 3 รูปแบบ จึงจะสรุปว่าข้อมูล Stationary ซึ่งจากขั้นตอนนี้จะทำให้ทราบถึงระดับของการ Integrate ของข้อมูลตัวแปรราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้าว่ามีคุณสมบัติเป็นข้อมูลอนุกรมเวลาที่ Integrated ที่ระดับ (Order) ไตซึ่งจะทำให้ ทราบว่าแบบจำลอง ARIMA (p,d,q) มีระดับ (Order) ของ d มีค่าเท่ากับเท่าไร

3.1.2 เมื่อได้ข้อมูลอนุกรมเวลาที่นิยมนิ่ง (Stationary) แล้ว จึงนำข้อมูลไปทำการกำหนดแบบจำลอง ARIMA (p,d,q) โดยพิจารณาจากคอเรโลแกรม ค่า Autocorrelation Function (ACF) และ Partial Autoregressive Function (PACF) เพื่อที่จะระบุว่าจะแบบจำลองควรจะมี ACF, Autoregressive (p) และ Moving average (q) เท่าใด โดยการสร้างแบบจำลองไว้ในหลายๆ รูปแบบ เพื่อทำการหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 1 การพิจารณาค่า ACF และค่า PACF

ตัวแบบ	ACF	PACF
AR (p)	ลดลงเข้าหา 0 อย่างรวดเร็ว	หลัง lag p มีค่าเท่ากับ 0
MA (q)	หลัง lag q มีค่าเท่ากับ 0	ลดลงเข้าหา 0 อย่างรวดเร็ว
ARMA (p,q)	ลดลงเข้าหา 0 อย่างรวดเร็ว	ลดลงเข้าหา 0 อย่างรวดเร็ว

ตัวแบบเชิงปริมาณที่ใช้ในการพยากรณ์ของงานวิจัยนี้คือกระบวนการ ARIMA (p,d,q) p คือ จำนวนเทอมที่ถอยในตัวเอง d คืออันดับของผลต่างที่ทำให้ข้อมูลนิ่ง q คือจำนวนเทอมของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ตัวอย่างเช่น กระบวนการ ARIMA (2,1,2) มีผลต่างอันดับที่ 1 (d=1) ที่ทำให้ข้อมูลนิ่ง และมีเทอมการถดถอยและเทอมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 2 เทอมเท่ากัน ถ้า d=0 กระบวนการ ARIMA (p,d=0,q) หมายถึง ARMA (p,q)

3.1.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์ (estimation parameter) โดยการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary least squares) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของออโตรีเกรสซีฟ (Autoregressive parameter) และพารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average parameter)

3.1.4 การตรวจสอบความถูกต้อง (diagnostic checking) เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบแบบจำลองจากค่าสถิติต่างๆ และพิจารณากับค่า Q-statistics, ค่า Akaike

Information Criterion, Schwarz Criterion และพิจารณาค่า Root Mean Square Error (RMSE) หรือค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน โดยเลือกรูปแบบที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

3.1.5 การพยากรณ์ (Forecasting) ใช้สมการพยากรณ์ที่สร้างจากรูปแบบการพยากรณ์ที่กำหนดและผ่านการตรวจสอบ ตามขั้นตอนดังกล่าวมาพยากรณ์ผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นเพื่อให้ค่าพยากรณ์ของแบบจำลองถูกต้องแม่นยำที่สุด จึงมีการทดสอบแบบจำลองโดยการแบ่งการพยากรณ์ ออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วง Historical Forecast ใช้ข้อมูลตั้งแต่ T1 - T2 ช่วง Ex-post forecast ใช้ข้อมูลตั้งแต่ T2 - T3 และช่วง Ex-ante forecast เป็นการพยากรณ์ในช่วงเวลาอนาคตตั้งแต่ T3 เป็นต้นไป

3.2 การทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์

การทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ จะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) เป็นการวัดความแม่นยำที่ไม่มีหน่วยซึ่งจะใช้เป็นค่าเปรียบเทียบความแม่นยำที่เกิดจากการพยากรณ์อนุกรมเวลาหลายชุดที่มีหน่วยของข้อมูลต่างกัน มักจะใช้ MAPE เนื่องจากง่ายต่อการตีความและอธิบายได้ง่าย ยิ่งถ้า MAPE มีค่าน้อย แสดงได้ว่าแบบจำลองจะยังสามารถคาดการณ์ค่าได้แม่นยำขึ้น

ผลการวิจัย

1. การทดสอบ Unit Root Test

จากการทดสอบพบว่าข้อมูลราคาเหรียญในตลาดคริปโทเคอร์เรนซีทั้ง 7 เหรียญ มีลักษณะหนึ่งที่ First Difference

1.1 การพยากรณ์โดยใช้แบบจำลอง ARIMA

1.1.1 การพยากรณ์ราคาเหรียญ Bitcoin ในตลาดคริปโทเคอร์เรนซี เมื่อทำการหาแบบจำลอง ARIMA ที่เหมาะสมด้วยกระบวนการสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบ ARIMA (1,1,1) เหมาะสมสำหรับเพื่อใช้ในพยากรณ์ โดยพิจารณาจาก Mean Absolute Percentage Error (MAPE) มีค่าเท่ากับ 8.175 ของแบบจำลองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลการพยากรณ์ของช่วงเวลาถัดไปล่วงหน้าในช่วง 10 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึง 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ราคาที่ได้คือ 46475.3, 47003.9, 47035.3, 47273.7, 47425.9, 47614.0, 47787.2, 47966.6, 48143.3 และ 48321.2 ตามลำดับ

1.1.2 การพยากรณ์ราคาเหรียญ Ethereum ในตลาดคริปโทเคอร์เรนซี เมื่อทำการหาแบบจำลอง ARIMA ที่เหมาะสมด้วยกระบวนการสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบ ARIMA (2,1,4) เหมาะสมสำหรับเพื่อใช้ในพยากรณ์ โดยพิจารณาจาก Mean Absolute Percentage Error (MAPE) มีค่าเท่ากับ 11.192 ของแบบจำลองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลการพยากรณ์ของช่วงเวลาถัดไปล่วงหน้าในช่วง 10 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึง 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ราคาที่ได้คือ 3662.91, 3759.93, 3912.88, 3862.52, 3730.39, 3770.91, 3930.79, 3956.17, 3835.86 และ 3807.54 ตามลำดับ

1.1.3 การพยากรณ์ราคาเหรียญ Binance Coin ในตลาดคริปโทเคอร์เรนซี เมื่อทำการหาแบบจำลอง ARIMA ที่เหมาะสมด้วยกระบวนการสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบ ARIMA (0,1,1)

เหมาะสมสำหรับเพื่อใช้ในพยากรณ์ โดยพิจารณาจาก Mean Absolute Percentage Error (MAPE) มีค่าเท่ากับ 15.541 ของแบบจำลองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลการพยากรณ์ของช่วงเวลาถัดไปล่วงหน้าในช่วง 10 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึง 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ราคาที่ได้คือ 515.69, 518.22, 520.75, 523.29, 525.82, 528.35, 530.89, 533.42, 535.95 และ 538.48 ตามลำดับ

1.1.4 การพยากรณ์ราคาเหรียญ Cardano ในตลาดคริปโทเคอร์เรนซี เมื่อทำการหาแบบจำลอง ARIMA ที่เหมาะสมด้วยกระบวนการสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบ ARIMA (1,1,0) เหมาะสมสำหรับเพื่อใช้ในพยากรณ์ โดยพิจารณาจาก Mean Absolute Percentage Error (MAPE) มีค่าเท่ากับ 12.647 ของแบบจำลองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลการพยากรณ์ของช่วงเวลาถัดไปล่วงหน้าในช่วง 10 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึง 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ราคาที่ได้คือ 1.2071, 1.2082, 1.2121, 1.2165, 1.2210, 1.2255, 1.2300, 1.2345, 1.2391 และ 1.2436 ตามลำดับ

1.1.5 การพยากรณ์ราคาเหรียญ XRP ในตลาดคริปโทเคอร์เรนซี เมื่อทำการหาแบบจำลอง ARIMA ที่เหมาะสมด้วยกระบวนการสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบ ARIMA (0,1,6) เหมาะสมสำหรับเพื่อใช้ในพยากรณ์ โดยพิจารณาจาก Mean Absolute Percentage Error (MAPE) มีค่าเท่ากับ 11.886 ของแบบจำลองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลการพยากรณ์ของช่วงเวลาถัดไปล่วงหน้าในช่วง 10 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึง 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ราคาที่ได้คือ 0.74692, 0.78343, 0.84398, 0.91324, 0.92611, 0.93730, 0.93839, 0.93947, 0.94055 และ 0.94164 ตามลำดับ

1.1.6 การพยากรณ์ราคาเหรียญ Dogecoin ในตลาดคริปโทเคอร์เรนซี เมื่อทำการหาแบบจำลอง ARIMA ที่เหมาะสมด้วยกระบวนการสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบ ARIMA (2,1,3) เหมาะสมสำหรับเพื่อใช้ในพยากรณ์ โดยพิจารณาจาก Mean Absolute Percentage Error (MAPE) มีค่าเท่ากับ 21.852 ของแบบจำลองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลการพยากรณ์ของช่วงเวลาถัดไปล่วงหน้าในช่วง 10 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึง 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ราคาที่ได้คือ 0.029663, 0.046202, 0.057129, 0.069357, 0.081277, 0.090157, 0.096990, 0.103912, 0.111405 และ 0.118327 ตามลำดับ

1.1.7 การพยากรณ์ราคาเหรียญ Litecoin ในตลาดคริปโทเคอร์เรนซี เมื่อทำการหาแบบจำลอง ARIMA ที่เหมาะสมด้วยกระบวนการสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบ ARIMA (3,1,2) เหมาะสมสำหรับเพื่อใช้ในพยากรณ์ โดยพิจารณาจาก Mean Absolute Percentage Error (MAPE) มีค่าเท่ากับ 11.059 ของแบบจำลองมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งผลการพยากรณ์ของช่วงเวลาถัดไปล่วงหน้าในช่วง 10 สัปดาห์ คือสัปดาห์ที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึง 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ราคาที่ได้คือ 122.905, 118.346, 134.984, 142.888, 128.820, 116.884, 126.109, 139.208, 133.582 และ 119.138 ตามลำดับ

1.2 การทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์

ตารางที่ 2 การทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์

สกุลเงินดิจิทัล	Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	ความแม่นยำในการพยากรณ์ (100%)
Bitcoin	8.175	91.825%
Ethereum	11.192	88.808%
Binance coin	15.541	84.459%
Cardano	12.647	87.353%
XRP	11.886	88.114%
Dogecoin	21.852	78.148%
Litecoin	11.059	88.059%

จากตารางที่ 2 การทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์จากผลการเลือกแบบจำลอง ARIMA ที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลราคาทั้ง 7 เหรียญ สามารถนำมาพิจารณาความแม่นยำของการพยากรณ์ได้นั้น โดยการพิจารณาจากค่า Mean Absolute Percentage Error (MAPE) สามารถสรุปได้ว่า การพยากรณ์ราคาเหรียญ Bitcoin เป็นเหรียญที่ดีที่สุด เพราะสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำถึงร้อยละ 91.825 เนื่องจากมีค่า MAPE ต่ำที่สุด คือ 8.175 เมื่อเทียบกับเหรียญอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่พยากรณ์ ราคาจะไม่แกว่งมาก สามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลล่วงหน้า นอกจากนี้พบว่า จากการพยากรณ์ราคาเหรียญ Dogecoin เป็นเหรียญที่มีความแม่นยำน้อยที่สุดในการพยากรณ์ เพราะสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำถึงร้อยละ 78.148 เนื่องจากมีค่า MAPE ที่สูงที่สุด คือ 21.852 จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่พยากรณ์ ราคาจะแกว่งมาก การพยากรณ์จึงมีความผิดพลาดสูงไม่ใกล้เคียงกับค่าความจริง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้สำหรับการพยากรณ์ข้อมูลราคาล่วงหน้า

1.3 เปรียบเทียบราคาการพยากรณ์และค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้แบบจำลอง ARIMA

การเปรียบเทียบราคาจริงของเหรียญกับราคาจากการพยากรณ์โดยแบบจำลอง ARIMA สามารถสรุปได้ว่า ราคาเหรียญ Bitcoin มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 6692.086 ราคาเหรียญ Ethereum มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 453.0033 ราคาเหรียญ Binance Coin มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 83.4236 ราคาเหรียญ Cardano มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.29788 ราคาเหรียญ XRP มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.207033 ราคาเหรียญ Dogecoin มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ -0.0029882 และราคาเหรียญ Litecoin มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 43.75444

จากข้างต้นพบว่า การพยากรณ์ราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้าและค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ARIMA มีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นเมื่อมีการพิจารณาจากการพยากรณ์ในช่วงวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึงวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 จะเห็นได้ว่าราคาคริปโทเคอร์เรนซีล่วงหน้าแตกต่างจากราคาจริงค่อนข้างมาก จึงส่งผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ค่อนข้างสูงตาม เนื่องจากการพยากรณ์ด้วยวิธี ARIMA นั้นถึงแม้จะเป็นวิธีที่ค่อนข้างได้รับความนิยมสำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการพยากรณ์ข้อมูล แต่ก็ยังเป็นเพียงการนำเอาข้อมูลย้อนหลังในอดีตมาใช้เพื่อพยากรณ์ทิศทางความเป็นไปในอนาคต ซึ่งราคาคริปโทเคอร์เรนซินั้นมีการเคลื่อนไหวในลักษณะขึ้น-ลง และมีความผันผวนค่อนข้างมาก เหตุผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุปสงค์-อุปทานความต้องการที่จะซื้อขายคริปโทเคอร์เรนซี ณ ระดับราคาหนึ่งในช่วงเวลานั้น ๆ โดยเฉพาะตลาดคริปโทเคอร์เรนซีซึ่งเป็นตลาดที่ไม่มีเพดานราคา (Ceiling) ทำให้สามารถซื้อขายได้ทั่วโลกและตลอดเวลา ไม่มีการห้ามซื้อขายเหรียญซึ่งต่างจากตลาดหุ้นทั่วไป หรือเหตุจากข่าวสารต่าง ๆ ที่สามารถสร้างผลกระทบต่อราคาคริปโทเคอร์เรนซี นอกจากนี้ยังมีเรื่องของกฎหมายแต่ละประเทศ รวมถึงต้นทุนการขุด Bitcoin ที่ส่งผลกระทบต่อการขึ้นลงของราคาด้วยเช่นกัน จากเหตุผลนี้ทำให้เห็นว่าการขึ้นลงของราคาคริปโทเคอร์เรนซีที่มีความไม่แน่นอนสูงและมีความผันผวนเป็นอย่างมาก ส่งผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ออกมาค่อนข้างสูงเช่นกัน

อภิปรายผล

การพยากรณ์ราคาเหรียญคริปโทเคอร์เรนซีโดยใช้แบบจำลอง ARIMA ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลอนุกรมเวลาที่นำมาพยากรณ์ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะไม่นิ่งที่ลำดับ Order of Integration หรือระดับ Level ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการทดสอบความนิ่งของข้อมูลแต่ละตัวแปรที่ลำดับผลต่างลำดับถัดไป (Difference) จนได้ข้อสรุปว่า ตัวแปรแต่ละตัวจะมีลักษณะหนึ่งที่ระดับ First Difference ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ กมลวรรณ สารพานิช (2555) ที่ได้ทำการศึกษการพยากรณ์ราคาน้ำมันดิบล่วงหน้าในตลาดฟิวเจอร์สในเม็กซิโกด้วยวิธี ARIMA และ ARIMAX ที่ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ใช้ในการพยากรณ์ มีลักษณะหนึ่งที่การหาผลต่างลำดับที่ 1 หรือระดับ First Difference ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ โรม ตระกูลโกศล (2561) ได้ศึกษาการพยากรณ์ดัชนีราคาผู้บริโภคของประเทศไทยโดยแบบจำลอง ARIMA และแบบจำลอง ARIMA X ที่ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลตัวแปรที่นำมาไม่มีความนิ่งที่ระดับ Level แต่ข้อมูลมีลักษณะหนึ่งที่การหาผลต่างลำดับที่ 1 หรือ ระดับ First Difference ณ ระดับนัยสำคัญ 0.01 และในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบรายสัปดาห์ เนื่องจากสามารถแสดงค่าการพยากรณ์ที่แม่นยำในช่วงระยะสั้นได้ดีกว่าข้อมูลอนุกรมเวลาแบบรายวัน และการทดสอบความแม่นยำของผลการพยากรณ์ข้อมูลจากค่า Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ที่มีน้อยที่สุดแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนั้นมีความใกล้เคียงกับค่าจริง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริรัตน์ แจ่มรักษัสกุล และคณะ (2564) ที่ได้ทำการศึกษการพยากรณ์ความต้องการ: กรณีศึกษาบริษัทผลิตขวดน้ำดื่ม ผลการศึกษาพบว่า การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ด้วยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ที่ต่ำที่สุดและลดความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ ในการศึกษาในครั้งนี้มีตัวแทนเหรียญคริปโทเคอร์เรนซีทั้ง 7 เหรียญ บางเหรียญที่สามารถ

พยากรณ์ด้วยวิธีแบบจำลอง ARIMA ได้ดี แต่ในขณะเดียวกันก็มีบางเหรียญที่ใช้วิธีแบบจำลอง ARIMA ไม่สามารถพยากรณ์ได้ดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของแต่ละเหรียญโดยบางเหรียญเป็นเหรียญที่มีมูลค่าตลาดต่ำก็จะมี การเคลื่อนไหวและร้อยละการเปลี่ยนแปลงที่มาก แต่ในเหรียญที่มีมูลค่าตลาดสูง จะมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่า ซึ่งจากการศึกษาทำให้เห็นว่าแบบจำลอง ARIMA สามารถใช้พยากรณ์เหรียญคริปโตเคอร์เรนซีได้อย่างเหมาะสมและมีความแม่นยำดังกรณีเหรียญ Bitcion ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเป็นเหรียญที่มีมูลค่าสูงที่สุดในตลาดคริปโตเคอร์เรนซี ส่งผลทำให้มีความแกว่งของราคาค่อนข้างน้อย ทำให้สามารถพยากรณ์ออกมาได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ก็มีบางเหรียญที่ไม่สามารถพยากรณ์ได้ดี เช่น เหรียญ Dogecion เป็นเหรียญที่มีความผันผวนสูง เนื่องมาจากเป็นเหรียญที่มีมูลค่าน้อยในตลาดคริปโตเคอร์เรนซี จึงส่งผลทำให้มีความแกว่งของราคาค่อนข้างมาก ทำให้แบบจำลอง ARIMA ไม่สามารถพยากรณ์ได้ดี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อ การขึ้นลง เช่น ข่าวสารต่าง ๆ ที่สามารถสร้างผลกระทบต่อราคาคริปโตเคอร์เรนซี และเป็นเหรียญที่ผู้ซื้อ ผู้ขายส่วนใหญ่มีจุดประสงค์ในการเก็งกำไร เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม การพยากรณ์ด้วยวิธี ARIMA ถึงแม้จะเป็นวิธีที่ค่อนข้างได้รับความนิยม แต่ก็ เป็นเพียงการนำเอาข้อมูลย้อนหลังในอดีตมาใช้เพื่อพยากรณ์ทิศทางความเป็นไปในอนาคต ซึ่ง ราคา คริปโตเคอร์เรนซีนั้นมีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง และมีความผันผวนค่อนข้างมาก เนื่องมาจากหลาย ปัจจัย ดังเช่น อุปสงค์-อุปทานความต้องการที่จะซื้อขายคริปโตเคอร์เรนซี ณ ระดับราคาหนึ่งใน ช่วงเวลานั้น ๆ หรือเหตุจากข่าวสารต่าง ๆ และนอกจากนี้ยังมีเรื่องของกฎหมายแต่ละประเทศ รวมถึงต้นทุนการขุด (Bitcoin) ที่ส่งผลต่อการขึ้นลงของราคาด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ แม้ว่าไม่ได้มีงานวิจัยที่ชัดเจนที่บ่งบอกว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการขึ้นลงของแต่ละเหรียญ แต่ก็อาจมี ส่วนที่ทำให้การขึ้นลงของราคาคริปโตเคอร์เรนซีมีความไม่แน่นอนสูงและมีความผันผวนเป็นอย่างมาก ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ออกมาสูงด้วยเช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

จากการศึกษาการพยากรณ์ราคาคริปโตเคอร์เรนซีด้วยวิธี ARIMA พบว่า มีบางเหรียญที่สามารถใช้แบบจำลอง ARIMA ในการพยากรณ์ได้ และค่อนข้างมีความแม่นยำ เช่น Bitcion, XRP, และ Ethereum โดยพิจารณาจากค่า MAPE ซึ่งก็มีบางเหรียญที่ใช้แบบจำลอง ARIMA ไม่สามารถพยากรณ์ได้ดีหรือมีความผิดพลาดของการพยากรณ์สูง ได้แก่ Binance coin, Cadano, Dogecion และ Litecion เนื่องจากตัวเหรียญมีความแกว่งของราคาค่อนข้างมาก หากจะนำผลการศึกษารั้งนี้ ไปประยุกต์ใช้กับการตัดสินใจหรือวางแผนการลงทุนในคริปโตเคอร์เรนซี ก็ควรเลือกใช้ตัวเหรียญที่มีความแม่นยำของการพยากรณ์ที่สูงในการใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนการลงทุน ทั้งนี้การพยากรณ์ด้วยวิธี ARIMA เป็นเพียงการนำเอาข้อมูลในอดีตของตัวมันเองมาใช้ในการพยากรณ์อนาคต ซึ่งอาจมีความผิดพลาดได้ ดังนั้น จึงควรใช้ผลการพยากรณ์เป็นอีกทางเลือกร่วมกับปัจจัยอื่น ๆ ในการใช้เพื่อตัดสินใจลงทุนในคริปโตเคอร์เรนซี

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการศึกษาครั้งต่อไป เพื่อให้ได้ผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้นอาจนำตัวแปรที่มีผลต่อการกำหนดราคาของเหรียญนอกเหนือจากการใช้ราคาเหรียญนั้นในอดีตเพียงอย่างเดียว รวมถึงการใช้เทคนิคการพยากรณ์อื่น ๆ มาเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- กมลวรรณ สารพานิช. (2555). การพยากรณ์ราคาน้ำมันดิบล่วงหน้าในตลาดฟิวเจอร์ในเม็กซิโกโดยวิธีอาามาและอาร์แมกซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2562). บริการทางการเงินดิจิทัลและนัยต่อการดำเนินนโยบายการเงินของไทย. สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2564, จาก https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/EconomicConditions/AAA/Paper_DigitalizationonFinancialServices.pdf
- โรม ตระกูลโกศล. (2561). การพยากรณ์ดัชนีราคาผู้บริโภคของประเทศไทยโดยแบบจำลอง ARIMA และแบบจำลอง ARIMAX. วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- วิยะดา สุวรรณเพชร อุเทน เลาน้ำทา และธัญกมล ปะละฤทธิ์. (2561). ผลกระทบของทักษะทางการเงินดิจิทัลที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการปฏิบัติงานทางบัญชีของนักบัญชีในเขตอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 2(6), 33-46.
- ศิริรัตน์ แจ้งรักษ์สกุล ผ่องใส เพ็ชรรักษ์ และสิทธิโชค เจริญกิจ. (2561). การพยากรณ์ความต้องการ: กรณีศึกษาบริษัทผลิตขวดน้ำดื่ม. วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 3(6), 45-58.
- สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. กลุ่มวิชาการ. (2560). บิทคอยน์ (Bitcoin) สกุลเงินเสมือนจริงแห่งอนาคต. เอกสารวิชาการอิเล็กทรอนิกส์.
- Investest. (2565). ข้อมูลสกุลเงินดิจิทัลทั้งหมด. สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2565, จาก <https://th.investing.com/crypto/currencies>.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer Electronic Cash System. Retrieved March 8, 2022, from <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.