



การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยใช้เทคนิคการ  
เรียนรู้เชิงลึก

นายเฉลิมชาติ ให้มาด

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไซยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยใช้เทคนิคการ  
เรียนรู้เชิงลึก



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



## ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยใช้  
เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก

โดย นายเฉลิมชาติ ให้มาด

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา  
ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ

คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและ

นวัตกรรมดิจิทัล

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันทา สดสี)

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดช ธรรมศิริ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชวีวรรณ จิตต์สกุล)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑิรา รัตนศิริวงศ์วุฒิ)

ชื่อ : นายเฉลิมชาติ โห้มาต  
 ชื่อการค้นคว้าอิสระ : การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐ  
 ประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก  
 สาขาวิชา : ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
 อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรวิวัฒน์ จิตต์สกุล  
 ปีการศึกษา : 2568

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยเปรียบเทียบอัลกอริทึม 3 อัลกอริทึม ได้แก่ 1) อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ 2) อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว และ 3) อัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าของเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 มีระยะเวลาข้อมูลเป็นรายวัน จำนวน 1,827 ระเบียบ แบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2566 และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2567 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 ประเมินค่าประสิทธิภาพของอัลกอริทึม โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ผลการวิจัย พบว่า อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว ให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์แม่นยำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.3448 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.5872 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 0.1981 ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เท่ากับ 0.0608 และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 4.3236 จากนั้น นำแบบจำลองที่ดีที่สุดพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ในอีก 365 วันข้างหน้า และแสดงผลการพยากรณ์ด้วยโปรแกรม Tableau

(การค้นคว้าอิสระมีจำนวนทั้งสิ้น 93 หน้า)

คำสำคัญ : อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว อัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้า

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก

Name : Mr. Chalermchad Homat

Independent Study Title : Forecasting Hydrological Inflows of Xayaburi Dam Lao People's Democratic Republic Using Deep Learning Techniques

Major Field : Management Information Systems  
King Mongkut's University of Technology North  
Bangkok

Independent Study Advisor : Assistant Professor Dr. Watchareewan Jitsakul

Academic Year : 2025

### ABSTRACT

This study aimed to develop a forecasting model for hydrological inflow to the Xayaburi Dam in the Lao People's Democratic Republic by comparing three algorithms: (1) Recurrent Neural Network (RNN), (2) Long Short-Term Memory (LSTM), and (3) Gated Recurrent Unit (GRU). Daily inflow data from the Xayaburi Dam covering the period from 1 January 2020 to 31 December 2024 were utilized, comprising a total of 1,827 records. The dataset was divided into two subsets: a training set from 1 January 2020 to 31 December 2023 and a testing set from 1 January 2024 to 31 December 2024. Model performance was evaluated using five statistical metrics: Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Deviation (MAD), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results indicated that the Long Short-Term Memory (LSTM) algorithm achieved the highest forecasting accuracy, with an MSE of 0.3448, an RMSE of 0.5872, an MAE of 0.1981, a MAD of 0.0608, and a MAPE of 4.3236. Subsequently, the best-performing model was employed to forecast hydrological inflow to the Xayaburi Dam for the subsequent 365 days. The forecasting results were visualized using Tableau.

(Total 93 Pages)

Keywords: Recurrent Neural Network, Long Short-Term Memory, Gated Recurrent Unit, Hydrological Inflow Forecasting

\_\_\_\_\_  
Advisor

## กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สำเร็จลงไปด้วยดี ผู้วิจัยต้องกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.วัชรวิวรรณ จิตต์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลักการค้นคว้าอิสระฉบับนี้ ที่คอยให้คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไข และชี้แนะทางที่ถูกต้องด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดช ธรรมศิริ ประธานกรรมการคุมสอบ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงงานวิจัยให้มีความถูกต้องและครบถ้วนตามหลักวิชาการ และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑิยา รัตนศิริวงศ์วุฒิ กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ และความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ซึ่งทำให้การค้นคว้าอิสระในครั้งนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการภาควิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้วิชาความรู้แก่ผู้วิจัยตลอดมา ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ร่วมชั้นในสาขาวิชาที่ให้คำแนะนำให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้กันมาตลอด และที่สำคัญขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การส่งเสริม เอาใจใส่ และเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุดจนการค้นคว้าอิสระครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการค้นคว้าอิสระนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากนัก หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุง และศึกษางานวิจัย ต่อไป

เฉลิมชาติ โห้มาต

## สารบัญ

|                                                                                                                        | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                                                                                        | ข    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                                                                                     | ค    |
| กิตติกรรมประกาศ                                                                                                        | ง    |
| สารบัญตาราง                                                                                                            | ช    |
| สารบัญภาพ                                                                                                              | ซ    |
| บทที่ 1 บทนำ                                                                                                           | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา                                                                                     | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย                                                                                            | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย                                                                                                  | 2    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                                                                          | 2    |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                                                                                 | 3    |
| 2.1 ความหมาย และความสำคัญของการพยากรณ์                                                                                 | 3    |
| 2.2 อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ                                                                             | 4    |
| 2.3 อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว                                                                                | 5    |
| 2.4 อัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู                                                                                 | 6    |
| 2.5 วิธีวัดค่าความแม่นยำของการพยากรณ์                                                                                  | 7    |
| 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                                                                                              | 9    |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน                                                                                               | 22   |
| 3.1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย                                                                                              | 22   |
| 3.2 ขั้นตอนการรวบรวม และเตรียมข้อมูล                                                                                   | 24   |
| 3.3 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์<br>แต่ละอัลกอริทึม                                     | 26   |
| 3.4 ขั้นตอนการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐ<br>ประชาธิปไตยประชาชนลาว และการแสดงผลผ่านโปรแกรม Tableau | 27   |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย                                                                                            | 30   |
| 4.1 ผลการรวบรวม และเตรียมข้อมูล                                                                                        | 30   |
| 4.2 ผลการการคัดเลือก และทดสอบประสิทธิภาพอัลกอริทึม                                                                     | 35   |
| 4.3 ผลการพยากรณ์ และการแสดงผลผ่าน Tableau                                                                              | 82   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                        | หน้า |
|----------------------------------------|------|
| บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ | 88   |
| 5.1 สรุปผล                             | 88   |
| 5.2 อภิปรายผล                          | 89   |
| 5.3 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย              | 90   |
| เอกสารอ้างอิง                          | 91   |
| ประวัติผู้วิจัย                        | 93   |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า                                                                            |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2-1      | สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                                                       | 14 |
| 3-1      | ค่าพารามิเตอร์ของแต่ละอัลกอริทึมสำหรับการทดสอบ                                  | 27 |
| 4-1      | ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า จากการรวบรวมจำนวน 10 ระเบียบ                     | 30 |
| 4-2      | ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำไหลออก จากการรวบรวมจำนวน 10 ระเบียบ                      | 31 |
| 4-3      | ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝน จากการรวบรวมจำนวน 10 ระเบียบ                          | 31 |
| 4-4      | ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิอากาศ จากการรวบรวมจำนวน 10 ระเบียบ                        | 31 |
| 4-5      | ตัวอย่างข้อมูลระดับน้ำในเขื่อน จากการรวบรวมจำนวน 10 ระเบียบ                     | 32 |
| 4-6      | ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า ที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล<br>จำนวน 10 ระเบียบ | 32 |
| 4-7      | ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝน ที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล<br>จำนวน 10 ระเบียบ      | 33 |
| 4-8      | ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล<br>จำนวน 10 ระเบียบ    | 33 |
| 4-9      | ตัวอย่างระดับน้ำในเขื่อน ที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล จำนวน 10 ระเบียบ          | 34 |
| 4-10     | ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) หลังจากการแปลงหน่วย<br>จำนวน 10 ระเบียบ | 34 |
| 4-11     | ผลการทดสอบด้วยอัลกอริทึม RNN                                                    | 35 |
| 4-12     | ผลการทดสอบด้วยอัลกอริทึม LSTM                                                   | 51 |
| 4-13     | ผลการทดสอบด้วยอัลกอริทึม GRU                                                    | 66 |
| 4-14     | ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์                                           | 82 |
| 4-15     | แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM<br>จำนวน 30 ระเบียบ   | 82 |

## สารบัญรูปภาพ

| ภาพที่                                                                                                            | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3-1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย                                                                                     | 22   |
| 3-2 ขั้นตอนการดำเนินงาน                                                                                           | 24   |
| 3-3 ขั้นตอนการรวบรวม และเตรียมข้อมูล                                                                              | 25   |
| 3-4 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์แต่ละอัลกอริทึม                                    | 26   |
| 3-5 ขั้นตอนการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวและการแสดงผลผ่านโปรแกรม Tableau | 27   |
| 3-6 แสดงโครงร่างการแสดงผลภาพรวมข้อมูลของเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว                             | 28   |
| 3-7 แสดงโครงร่างการแสดงผลผลลัพธ์ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของแต่ละอัลกอริทึม                                         | 29   |
| 3-8 แสดงโครงร่างการแสดงผลการพยากรณ์ 365 วันข้างหน้า                                                               | 29   |
| 4-1 ผลการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม RNN                                                                                | 50   |
| 4-2 ผลการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM                                                                               | 66   |
| 4-3 ผลการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม GRU                                                                                | 81   |
| 4-4 กราฟผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหล 365 วันข้างหน้า ด้วยอัลกอริทึม LSTM                                              | 84   |
| 4-5 แสดงผลข้อมูลภาพรวมข้อมูลของเขื่อนไชยะบุรี                                                                     | 84   |
| 4-6 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม RNN                                                                | 85   |
| 4-7 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM                                                               | 85   |
| 4-8 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม GRU                                                                | 86   |
| 4-9 ผลการพยากรณ์ 365 วันข้างหน้าด้วยอัลกอริทึม LSTM                                                               | 87   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความจำเป็นและความสำคัญของปัญหา

การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในเขื่อนมีความสำคัญต่อความมั่นคงทางน้ำและการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศ เขื่อนเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญในการกักเก็บและควบคุมปริมาณน้ำ โดยออกแบบมาเพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลาย เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า การชลประทาน และการป้องกันอุทกภัย เป็นต้น ซึ่งการบริหารจัดการน้ำในเขื่อนจำเป็นต้องมีการจัดสรรอย่างเหมาะสมเพื่อตอบสนองความต้องการที่หลากหลาย โดยการบริหารจัดการน้ำ เพื่อป้องกันและบรรเทาผลกระทบจากอุทกภัยอาจขัดแย้งกับวัตถุประสงค์ในการกักเก็บน้ำ เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า การเกษตร การอุปโภคบริโภค และกิจกรรมอื่น ๆ หากมีการระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำในปริมาณที่มากเกินไปจนความจำเป็น เพื่อเตรียมความพร้อมรองรับปริมาณน้ำฝนที่อาจเกิดขึ้น จะส่งผลให้เกิดภาวะขาดแคลนน้ำ ในขณะที่มีการระบายน้ำน้อยเกินไป อาจส่งผลให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเกินขีดความจุสูงสุดก่อให้เกิดภาวะน้ำท่วมฉับพลันในพื้นที่ท้ายเขื่อนได้ ดังนั้น ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการปริมาณน้ำในเขื่อน ส่งผลต่อการดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่มีความรับผิดชอบในการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมาก

ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ได้มีผู้วิจัยนำเสนออัลกอริทึมต่าง ๆ มาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้ เช่น การใช้อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN) ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลรายเดือนของกลุ่มน้ำ Zarrine [1] การใช้อัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Unit: GRU) ในการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์น้ำท่วมสำหรับเมือง Ashland รัฐเทนเนสซี [2] การใช้อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) Transformer ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ภูเขาทางตะวันตกเฉียงเหนือของเทือกเขาหิมาลัย [3] เป็นต้น จากปัญหาและงานวิจัยที่ได้กล่าวถึงข้างต้น ผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญของการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไซยะบุรีในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการบริหารจัดการน้ำในเขื่อนอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากน้ำท่วมหรือน้ำขาดแคลนในพื้นที่ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองที่สามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำได้อย่างแม่นยำ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำของเขื่อนไซยะบุรีในอนาคต อันจะนำไปสู่การใช้ทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อชุมชนและประเทศ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

1.2.3 เพื่อนำเสนอผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ข้อมูลของเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 โดยมีระยะเวลาข้อมูลเป็นรายวัน จำนวน 1,827 ระเบียบประกอบด้วยคุณลักษณะจำนวน 5 คุณลักษณะ ได้แก่ ปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ปริมาณน้ำไหลออก (Outflow) ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) และระดับน้ำในเขื่อน (Water Level)

1.3.2 อัลกอริทึมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ประกอบด้วย 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN) อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) และอัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Unit: GRU)

1.3.3 ทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง จำนวน 5 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Mean Squared Error: MSE) รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error: RMSE) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE)

1.3.4 นำเสนอผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ผ่านโปรแกรม Tableau

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้อัลกอริทึมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

1.4.2 ได้นำเสนอข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อน เพื่อเป็นแนวทางและเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำของเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวในอนาคต อันจะนำไปสู่การใช้ทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อชุมชนและประเทศ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

- 2.1 ความหมาย และความสำคัญของการพยากรณ์
- 2.2 อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ
- 2.3 อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว
- 2.4 อัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู
- 2.5 วิธีวัดค่าความแม่นยำของการพยากรณ์
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความหมาย และความสำคัญของการพยากรณ์

การพยากรณ์ (Forecasting) คือ กระบวนการคาดการณ์เหตุการณ์หรือค่าของตัวแปรในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลในอดีต และปัจจุบันร่วมกับวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ หรือเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ เพื่อระบุแนวโน้ม รูปแบบ และความสัมพันธ์ของข้อมูล ที่อาจเกิดขึ้นในช่วงเวลาถัดไป การพยากรณ์ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายสาขา เช่น การพยากรณ์อากาศ การคาดการณ์ราคาหลักทรัพย์ การคาดการณ์ความต้องการสินค้า และการประเมินสถานการณ์ทางเศรษฐกิจหรือสังคม เป็นต้น ซึ่งความแม่นยำของผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับคุณภาพข้อมูล วิธีการวิเคราะห์ และความเหมาะสมของแบบจำลองที่เลือกใช้ [4] บทบาทสำคัญของการพยากรณ์ คือ ช่วยลดความไม่แน่นอนในการตัดสินใจ และสนับสนุนการวางแผนเชิงกลยุทธ์ในอนาคต ทั้งในระดับองค์กรและระดับนโยบาย ผู้บริหารสามารถใช้ผลการพยากรณ์ เพื่อกำหนดแผนการลงทุน การบริหารทรัพยากร การกำหนดงบประมาณ การจัดการห่วงโซ่อุปทาน ตลอดจนการวางแผนด้านการตลาด และกำลังคนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ การพยากรณ์ยังช่วยระบุความเสี่ยงและโอกาสล่วงหน้า เช่น การคาดการณ์ภาวะเศรษฐกิจ การประเมินความเสี่ยงทางการเงิน หรือการเตือนภัยจากเหตุการณ์ธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งช่วยให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถเตรียมมาตรการรองรับ และปรับกลยุทธ์ได้อย่างทันที่ [5] ดังนั้น การพยากรณ์จึงถือเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญในงานวางแผน และการตัดสินใจในหลายสาขาวิชา

##### 2.1.1 ขั้นตอนของกระบวนการพยากรณ์ประกอบด้วยลำดับขั้นตอนสำคัญดังต่อไปนี้

2.1.1.1 การกำหนดเป้าหมายการพยากรณ์ เริ่มจากการระบุวัตถุประสงค์ ขอบเขต และช่วงเวลาที่ต้องการคาดการณ์อย่างชัดเจน เพื่อให้สามารถเลือกวิธีการและข้อมูลที่เหมาะสม

2.1.1.2 การรวบรวมข้อมูล ดำเนินการจัดหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ฐานข้อมูลย้อนหลัง รายงานสถิติ หรือข้อมูลจากระบบสารสนเทศ เป็นต้น โดยต้องตรวจสอบความครบถ้วน และความน่าเชื่อถือ

2.1.1.3 การสำรวจ และวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น ทำความเข้าใจลักษณะข้อมูล ตรวจสอบค่าผิดปกติ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และรูปแบบแนวโน้ม เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนสร้างแบบจำลอง

2.1.1.4 การพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ เลือกเทคนิคที่เหมาะสม เช่น วิธีอนุกรมเวลา การถดถอยเชิงสถิติ หรือแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง เป็นต้น แล้วสร้างแบบจำลองจากข้อมูลฝึกสอน

2.1.1.5 การทดสอบและประเมินแบบจำลอง นำแบบจำลองไปทดลองกับข้อมูลที่ไม่ได้ใช้ในการฝึกสอน เพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ตัวชี้วัดความแม่นยำ เช่น MAE, RMSE, MAPE เป็นต้น

2.1.1.6 การปรับปรุงแบบจำลอง หากผลลัพธ์ไม่มีความแม่นยำเพียงพอ ต้องปรับพารามิเตอร์ เลือกตัวแปรใหม่ หรือเปลี่ยนวิธีการสร้างแบบจำลอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง

2.1.1.7 การนำเสนอผลการพยากรณ์ แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น ตาราง กราฟ หรือแดชบอร์ด เป็นต้น เพื่อสนับสนุนการนำไปใช้ในการตัดสินใจ

2.1.1.8 การติดตามผลการใช้งานจริง เปรียบเทียบค่าที่พยากรณ์กับข้อมูลจริงเมื่อเวลาผ่านไป เพื่อตรวจสอบความแม่นยำและความเสถียรของแบบจำลอง

2.1.1.9 การวิเคราะห์ข้อผิดพลาด และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง วิเคราะห์สาเหตุของความคลาดเคลื่อน เพื่อปรับปรุงแบบจำลองให้เหมาะสมกับสถานการณ์ใหม่ ๆ และเพิ่มความแม่นยำในอนาคต

กระบวนการพยากรณ์เป็นวงจรต่อเนื่องที่เริ่มตั้งแต่การกำหนดเป้าหมาย การจัดการข้อมูล การสร้าง และทดสอบแบบจำลอง ไปจนถึงการติดตาม และปรับปรุงผลลัพธ์ ซึ่งการดำเนินการครบทุกขั้นตอนอย่างเป็นระบบจะช่วยให้การพยากรณ์มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.2 อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ

อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN) เป็นแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกออกแบบมาเพื่อประมวลผลข้อมูลลำดับ (Sequential data) เช่น ข้อมูลอนุกรมเวลา ข้อความ หรือสัญญาณต่อเนื่อง เป็นต้น โดยจุดเด่นสำคัญของ RNN คือความสามารถในการรักษา “สถานะภายใน” (Internal State) หรือหน่วยความจำชั่วคราวของเครือข่าย ซึ่งช่วยให้แบบจำลองสามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์เชิงเวลา (Temporal Dependencies) ระหว่างข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาได้

ในแต่ละช่วงเวลา  $t$  เครือข่ายจะอัปเดตสถานะซ่อน (Hidden State) ใหม่ โดยใช้ทั้งข้อมูลอินพุตปัจจุบัน และสถานะซ่อนจากช่วงเวลาก่อนหน้า ทำให้ RNN สามารถสะสมข้อมูลจากอดีตเพื่อใช้ในการตัดสินใจหรือพยากรณ์ในปัจจุบันได้ [6] โครงสร้างเชิงคณิตศาสตร์ของ RNN แสดงดังสมการที่ 2-1 และ 2-2

สมการอัปเดตสถานะซ่อน (Hidden State Update)

$$h_t = f(Wx_t + Uh_{t-1} + b) \quad (2-1)$$

สมการเอาต์พุตของ RNN

$$y_t = g(Vh_t + c) \quad (2-2)$$

โดยที่

$x_t$  คือ เวกเตอร์อินพุต ณ เวลา  $t$

$h_t$  คือ สถานะซ่อนที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำภายในของเครือข่าย

$y_t$  คือ ผลลัพธ์ของเครือข่าย ณ เวลา  $t$

$W, U, V$  คือ เมทริกซ์ค่าน้ำหนักที่ต้องเรียนรู้ระหว่างกระบวนการฝึกสอนโมเดล

$b, c$  คือ ค่าคงที่ปรับสมดุล (bias terms)

$f(\cdot)$  และ  $g(\cdot)$  คือ ฟังก์ชันกระตุ้น เช่น tanh, sigmoid หรือ ReLU เป็นต้น

## 2.3 อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว

อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่งที่พัฒนาต่อยอดมาจาก RNN โดยถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาการเรียนรู้ลำดับข้อมูลระยะยาว (Long-term Dependencies) ซึ่งมักเกิดข้อจำกัดใน RNN แบบดั้งเดิม เช่น ปัญหา Vanishing Gradient เป็นต้น โครงสร้างของ LSTM มีองค์ประกอบสำคัญคือหน่วยความจำเซลล์ (Cell State) และกลไกประตูควบคุม (Gating Mechanisms) ที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา โครงสร้างนี้ช่วยให้แบบจำลองสามารถเก็บรักษา ปรับปรุง และคัดเลือกข้อมูลเชิงเวลาที่สำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ในลำดับข้อมูลที่ยาว [7] โดยโครงสร้างเชิงคณิตศาสตร์ของ LSTM แสดงดังสมการที่ 2-3 และ 2-4

สมการอัปเดตสถานะเซลล์ (Cell State Update)

$$c_t = f_t \cdot (c_{t-1} + i_t \cdot \tilde{c}_t) \quad (2-3)$$

สมการอัปเดตสถานะซ่อน (Hidden State Update)

$$h_t = o_t \cdot \tanh c_t \quad (2-4)$$

โดยที่

$c_t$  คือ สถานะเซลล์ (cell state) ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำระยะยาว

$h_t$  คือ สถานะซ่อน (hidden state) หรือเอาต์พุตภายในของเครือข่าย

- $f_t$  คือ forget gate ควบคุมการลืมข้อมูลเก่า
- $i_t$  คือ input gate ควบคุมการรับข้อมูลใหม่
- $o_t$  คือ output gate ควบคุมการส่งข้อมูลออก
- $\tilde{c}_t$  คือ ค่าข้อมูลใหม่ที่เสนอเข้าสู่หน่วยความจำ
- คือ การคูณแบบองค์ประกอบต่อองค์ประกอบ (element-wise multiplication)

## 2.4 อัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู

อัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Unit: GRU) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบลำดับเวลาที่พัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงข้อจำกัดของ RNN แบบดั้งเดิม โดยใช้กลไกประตูควบคุม (Gating Mechanisms) ในการกำหนดการไหลของข้อมูลตามช่วงเวลา ทำให้สามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ระยะยาวในข้อมูลลำดับได้อย่างมีประสิทธิภาพ โครงสร้างของ GRU มีลักษณะเรียบง่ายกว่า LSTM เนื่องจากใช้เพียงสถานะซ่อน (hidden state) เพียงตัวเดียว และใช้ชุดประตูควบคุมเพื่อกำหนดว่าข้อมูลใดควรถูกเก็บไว้หรืออัปเดต [8] โครงสร้างเชิงคณิตศาสตร์ของ GRU แสดงดังสมการที่ 2-5 ถึง 2-8

สมการ Update Gate

$$z_t = \sigma(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z) \quad (2-5)$$

สมการ Reset Gate

$$r_t = \sigma(W_r x_t + U_r h_{t-1} + b_r) \quad (2-6)$$

สมการ Candidate Hidden State

$$\tilde{h}_t = \tanh(W_h x_t + U_h (r_t \cdot h_{t-1}) + b_h) \quad (2-7)$$

สมการอัปเดต Hidden State

$$h_t = (1 - z_t) \cdot h_{t-1} + z_t \cdot \tilde{h}_t \quad (2-8)$$

โดยที่

$x_t$  คือ เวกเตอร์อินพุต ณ เวลา  $t$

$h_t$  คือ สถานะซ่อน ณ เวลา  $t$

$h_{t-1}$  คือ สถานะซ่อนจากช่วงเวลาก่อนหน้า

$z_t$  คือ update gate ควบคุมการผสมข้อมูลเก่าและใหม่

$r_t$  คือ reset gate ควบคุมการลืมข้อมูลเดิม

$\tilde{h}_t$  คือ สถานะซ่อนตัวเลือก

$\sigma(\cdot)$  คือ ฟังก์ชัน sigmoid

$\tanh(\cdot)$  คือ ฟังก์ชัน hyperbolic tangent

• คือ การคูณแบบองค์ประกอบต่อองค์ประกอบ (element-wise multiplication)

## 2.5 วิธีวัดค่าความแม่นยำของการพยากรณ์

งานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ได้คัดเลือกความเหมาะสมในการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ โดยทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีพยากรณ์จากตัวชี้วัดทางสถิติทั้งหมด 5 ค่า ได้แก่

2.5.1 ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Mean Squared Error: MSE) ซึ่งสามารถแสดงดังสมการที่ 2-9

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2-9)$$

โดยที่

$y_t$  คือ ค่าข้อมูลจริง ณ เวลา  $t$

$\hat{y}_t$  คือ ค่าที่พยากรณ์ได้ ณ เวลา  $t$

$n$  คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.5.2 รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error: RMSE) ซึ่งสามารถแสดงดังสมการที่ 2-10

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (2-10)$$

โดยที่

$y_t$  คือ ค่าข้อมูลจริง ณ เวลา  $t$

$\hat{y}_t$  คือ ค่าที่พยากรณ์ได้ ณ เวลา  $t$

$n$  คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.5.3 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) ซึ่งสามารถแสดงดังสมการที่ 2-11

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t| \quad (2-11)$$

โดยที่

$y_t$  คือ ค่าข้อมูลจริง ณ เวลา  $t$

$\hat{y}_t$  คือ ค่าที่พยากรณ์ได้ ณ เวลา  $t$

$n$  คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.5.4 ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) ซึ่งสามารถแสดงดังสมการที่ 2-12

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2-12)$$

โดยที่

$y_t$  คือ ค่าข้อมูลจริง ณ เวลา  $t$

$\hat{y}_t$  คือ ค่าที่พยากรณ์ได้ ณ เวลา  $t$

$n$  คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.5.5 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ในรูปเปอร์เซ็นต์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ซึ่งสามารถแสดงดังสมการที่ 2-13

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|y_t - \hat{y}_t|}{y_t} \times 100 \quad (2-13)$$

โดยที่

$y_t$  คือ ค่าข้อมูลจริง ณ เวลา  $t$

$\hat{y}_t$  คือ ค่าที่พยากรณ์ได้ ณ เวลา  $t$

$n$  คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าบทความวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก รวมถึงแนวทางขั้นตอนวิธีการในการเปรียบเทียบ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ดังงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

Nakhaei and et al. [1] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลรายเดือนของกลุ่มน้ำ Zarrine ซึ่งเป็นกลุ่มน้ำสำคัญของทะเลสาบ Urmia ในอิหร่าน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม RNN และอัลกอริทึม LSTM ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ตั้งแต่ปี 2522 – 2557 และการกำหนดโครงสร้างโมเดล 5 แบบที่ใช้ข้อมูลนำเข้าล่าช้าสูงสุด 4 เดือน ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม RNN พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 22.8 ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.84 และค่า NSE เท่ากับ 0.8

Fordjour and Kalyanapu [2] นำเสนองานวิจัยเรื่อง พัฒนาแบบจำลองพยากรณ์น้ำท่วมสำหรับเมือง Ashland รัฐเทนเนสซี โดยใช้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม GRU ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลระดับน้ำรายครึ่งชั่วโมงจากสถานีวัด 10 แห่งในลุ่มน้ำ Lower Cumberland Sycamore ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม GRU พยากรณ์ได้แม่นยำ โดยมีค่า NSE เท่ากับ 0.982 ค่า RMSE เท่ากับ 0.064 ฟุต ค่า MAE เท่ากับ 0.052 ฟุต และค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.984

Wani and et al. [3] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ภูเขาทางตะวันตกเฉียงเหนือของเทือกเขาหิมาลัย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม ANN อัลกอริทึม SVR อัลกอริทึม RF อัลกอริทึม KNN อัลกอริทึม LSTM อัลกอริทึม Bidirectional LSTM อัลกอริทึม Deep LSTM อัลกอริทึม RNN อัลกอริทึม GRU อัลกอริทึม ARIMA และอัลกอริทึม TBATS โดยใช้ข้อมูลจากอุตุนิยมวิทยารายวันในช่วงปี พ.ศ. 2523 – 2563 จากสถานีอากาศ 6 แห่งที่มีความสูงต่างกัน และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจำนวน 2 ค่า ได้แก่ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม Bidirectional LSTM และอัลกอริทึม LSTM ให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุดในหลายสถานี โดยเฉพาะสถานี L1 ที่อัลกอริทึม LSTM มีค่า RMSE เท่ากับ 38.28 และ MAE เท่ากับ 22.27

Mahmood, Sulaima and Jumeily [9] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนฮาดิษะทางตะวันตกของอิรัก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม SVM โดยใช้ kernel 3 ประเภท ได้แก่ เคอร์เนลเชิงเส้น (Linear) เคอร์เนลกำลังสอง (Quadratic) และเคอร์เนลแบบเบรคมีฐาน (Radial Basis Function: RBF) ใช้ข้อมูลจากสถานีวัดน้ำ Husaybah และข้อมูลจากโครงการเขื่อน Haditha ซึ่งใช้ข้อมูลรายวัน รายเดือน และรายฤดูกาลในช่วงปี 2528 – 2567 และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจำนวน 3 ค่า ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination:  $R^2$ ) ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) ผลการวิจัยพบว่า การพยากรณ์รายวัน อัลกอริทึม SVM แบบ Linear โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 1 วัน พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.95 ค่า RMSE เท่ากับ

53.29 m<sup>3</sup>/s และค่า MAE เท่ากับ 33.26 m<sup>3</sup>/s สำหรับการพยากรณ์รายเดือน อัลกอริทึม SVM แบบ Linear โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 3 วัน พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.731 ค่า RMSE เท่ากับ 109.4 m<sup>3</sup>/s และค่า MAE เท่ากับ 76.08 m<sup>3</sup>/s และการพยากรณ์รายฤดูกาล อัลกอริทึม SVM แบบ Quadratic โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 1 วัน พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.415 ค่า RMSE เท่ากับ 152.3 m<sup>3</sup>/s และค่า MAE เท่ากับ 129.3 m<sup>3</sup>/s

Shi and et al. [10] นำเสนองานวิจัยเรื่อง แบบจำลองการทำนายอนุกรมเวลาโดยใช้ LSTM Transformer สำหรับการไหลเข้าของน้ำในเหมืองโดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM อัลกอริทึม CNN อัลกอริทึม Transformer อัลกอริทึม LSTM Transformer และอัลกอริทึม CNN-LSTM ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลการไหลของน้ำในเหมือง Baotailong ในมณฑล Heilongjiang แบ่งข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูล การฝึกและชุดข้อมูลการทดสอบ ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม LSTM-Transformer พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด มีค่า MAE เท่ากับ 11.2 และมีค่า RMSE เท่ากับ 13.7

Luo and Gong [11] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์มลพิษทางอากาศโดยใช้อัลกอริทึม ARIMA-WOA-LSTM โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM อัลกอริทึม ARIMA อัลกอริทึม WOA-LSTM อัลกอริทึม CEEMDAN-WOA-LSTM อัลกอริทึม ARIMA-LSTM และอัลกอริทึม ARIMA-WOA-LSTM ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลมลพิษทางอากาศที่มีทั้งลักษณะเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม ARIMA-WOA-LSTM พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุดในการคาดการณ์มลพิษและความเสถียรมากกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ โดยมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในทุกด้านที่ทดสอบ โมเดลนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อการจัดการมลพิษทางอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

Ameri and et al. [12] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ความเข้มข้นของ PM 2.5 โดยใช้วิธีการสลายตัวแบบ CEEMDAN ด้วยอัลกอริทึม SVM และอัลกอริทึม LSTM โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม SVM อัลกอริทึม LSTM อัลกอริทึม CEMD-SVM อัลกอริทึม CEMD-LSTM และอัลกอริทึม CEMD-SVM-LSTM ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลรายวันของ PM2.5 ในเมืองเกาสง ประเทศไต้หวัน ระหว่างปี 2019 ถึง 2021 ผลการวิจัยพบว่า สำหรับการพยากรณ์ PM2.5 ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 7 วัน อัลกอริทึม CEMD-SVM-LSTM พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด มีค่า MAE เท่ากับ 1.858 มีค่า MSE เท่ากับ 7.2449 มีค่า RMSE เท่ากับ 2.6682 และมีค่า NSE เท่ากับ 0.9169

Wen and et al. [13] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การปล่อย CO<sub>2</sub> ในประเทศจีนและภูมิภาคต่าง ๆ โดยใช้อัลกอริทึม ARIMA-LSTM โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม ARIMA อัลกอริทึม LSTM อัลกอริทึม ARIMA-LSTM อัลกอริทึม LR และอัลกอริทึม BPNN ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อย CO<sub>2</sub> จำนวน 14 ปัจจัย และใช้วิธีป่าแบบสุ่ม (random forest) ในการคัดเลือกปัจจัย ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม ARIMA-LSTM พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยภูมิภาค Nationwide มีค่า RMSE เท่ากับ 1.9842 มีค่า MAE เท่ากับ 1.8213 และมีค่า MAPE เท่ากับ 0.0186 ภูมิภาค Eastern มีค่า RMSE เท่ากับ 1.1019 มีค่า MAE เท่ากับ 1.0808 และมีค่า MAPE เท่ากับ 0.0243 ภูมิภาค Central มีค่า RMSE

เท่ากับ 0.5774 มีค่า MAE เท่ากับ 0.5107 และมีค่า MAPE เท่ากับ 0.0185 และภูมิภาค Western มีค่า RMSE เท่ากับ 0.4966 มีค่า MAE เท่ากับ 0.3917 และมีค่า MAPE เท่ากับ 0.0146

จิตรารักษ์ [14] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนเพื่อวิเคราะห์ภัยแล้งในลุ่มน้ำน่าน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM และอัลกอริทึม ARIMA โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนจากสถานีวัดฝน 15 แห่งในลุ่มน้ำน่าน ในช่วงปี 2497–2564 แบ่งเป็นชุดฝึกสอน (ปี 2497–2547) และชุดทดสอบ (ปี 2548–2564) และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจำนวน 3 ค่า ได้แก่ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของแนช-สัทคลิฟฟ์ (Nash-Sutcliffe Efficiency: NSE) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R) ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม LSTM พยากรณ์ได้แม่นยำกว่าอัลกอริทึม ARIMA ใน 10 จาก 15 สถานี โดยมีค่า RMSE และค่า NSE ที่ดีกว่า

ฐิติวัฒน์ [15] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์น้ำฝนเพื่อวิเคราะห์ภัยแล้งในลุ่มน้ำมูล โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM และอัลกอริทึม ARIMA โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนจากสถานีวัดฝน 27 แห่ง ในช่วงปี 2534–2563 และข้อมูลภัยแล้งจากกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (ปภ.) ในช่วงปี 2554–2563 ซึ่งวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง Standardized Precipitation Index (SPI) ใน 3 ระยะเวลา ได้แก่ SPI3, SPI6 และ SPI12 และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจำนวน 3 ค่า ได้แก่ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของแนช-สัทคลิฟฟ์ (Nash-Sutcliffe Efficiency: NSE) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R) ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม LSTM มีค่าประสิทธิภาพแบบจำลองสูงที่สุดจำนวนทั้งหมด 21 สถานี คิดเป็นร้อยละ 77.78 มากกว่าอัลกอริทึม ARIMA ที่มีค่าเพียงร้อยละ 22.22 ในการพยากรณ์ภัยแล้ง อัลกอริทึม LSTM ทำการพยากรณ์ล่วงหน้าจำนวน 5 ปีในช่วงปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563 โดยเปรียบเทียบกับค่าดัชนีภัยแล้งที่คำนวณได้ และเปรียบเทียบกับภัยแล้งจริงที่เกิดขึ้น เมื่อทำการเฉลี่ยค่าความแม่นยำทั้ง 5 ปี พบว่า มีค่าความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 76.30 และร้อยละ 54.07 ตามลำดับ

ลักษณ์ [16] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ระดับความชื้นในอากาศ ณ สถานีรายงานดอยอินทนนท์ เพื่อสนับสนุนการวางแผนภารกิจการบินสำรวจทางอวกาศของกองทัพอากาศ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ระดับความชื้นในอากาศด้วยอัลกอริทึม ARIMA Feed-Forward Neural Network และอัลกอริทึม LSTM ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ Davis weather station ที่ถูกติดตั้งอยู่ ณ สถานีรายงานดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ และข้อมูลที่ได้จากอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช มีข้อมูลคุณลักษณะรวมทั้งสิ้น 39 คุณลักษณะ ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม LSTM ร่วมกับตัวแปร 1 ตัวแปร พยากรณ์ได้ดีที่สุด มีค่า RMSE เท่ากับ 0.36 รองลงมาคือ อัลกอริทึม Feed-Forward Neural Network เท่ากับ 0.42 อัลกอริทึม LSTM ร่วมกับตัวแปร 5 ตัวแปร เท่ากับ 0.76 และอัลกอริทึม ARIMA เท่ากับ 75.01 ตามลำดับ

กรอภิชิต และสมพร [17] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ความผันผวนของดัชนีตลาดหลักทรัพย์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม SVM โดยใช้ kernel 3 ประเภท ได้แก่ เคอร์เนลเชิงเส้น (Linear) เคอร์เนลกำลังสอง (Quadratic) และเคอร์เนลแบบรัศมีฐาน (Radial Basis Function: RBF) อัลกอริทึม ARCH อัลกอริทึม GARCH และอัลกอริทึม EGARCH โดยใช้ข้อมูลราคาปิดรายวันของ SET Index ที่ปรับปรุงแล้วในช่วงปี 2553 – 2564 และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม SVM แบบ RBF ให้ผลการพยากรณ์แม่นยำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 0.000313

Essam and et al. [18] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลในคาบสมุทรมาเลเซีย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม SVM อัลกอริทึม ANN และอัลกอริทึม LSTM ซึ่งใช้ข้อมูลปริมาณน้ำไหลรายวันจากแม่น้ำ 11 สายใน 11 รัฐของมาเลเซีย ย้อนหลัง 1, 2 และ 3 วัน และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจำนวน 4 ค่า ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination:  $R^2$ ) และค่าเฉลี่ยของอันดับ (Ranking Mean: RM) ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม ANN (ข้อมูลย้อนหลัง 3 วัน) พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุดในการพยากรณ์น้ำไหลในแม่น้ำหลายสายทั่วคาบสมุทรมาเลเซีย เพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำและเตือนภัยน้ำท่วมหรือภัยแล้ง

Rahman, Chowdhury และ Amrin [19] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์จำนวนผู้ติดเชื้อและผู้เสียชีวิตจากโรค COVID-19 ในประเทศบังกลาเทศ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม ARIMA และอัลกอริทึม XGBoost โดยใช้ข้อมูลรายวันจากหน่วยงานสาธารณสุขของบังกลาเทศ (DGHS และ IEDCR) จำนวน 633 วัน (8 มีนาคม 2563 – 30 พฤศจิกายน 2564) และแบ่งข้อมูลออกเป็นหลายชุดฝึกและทดสอบ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจำนวน 4 ค่า ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละเฉลี่ย (Mean Percentage Error: MPE) ผลการวิจัยพบว่า สำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ติดเชื้อ COVID-19 อัลกอริทึม ARIMA พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 13.21 (ชุดฝึก) และร้อยละ 133.16 (ชุดทดสอบ) และสำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้เสียชีวิตจาก COVID-19 อัลกอริทึม ARIMA พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 22.92 (ชุดฝึก) และร้อยละ 235.75 (ชุดทดสอบ)

กมลชนก ธนวัฒน์ และเดวิด [20] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพัฒนาแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนแม่สะงาเพื่อประยุกต์ใช้การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองไม่เชิงเส้นกับระบบจัดการพลังงานในเมืองแม่ฮ่องสอน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ สำหรับการควบคุมของระบบจัดการพลังงานร่วมกับการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าแบบเหมาะสมที่สุด รวมถึงประยุกต์ใช้การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองไม่เชิงเส้นกับระบบ

จัดการพลังงานของเมืองแม่ฮ่องสอน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วย อัลกอริทึม ARIMA อัลกอริทึม SARIMA และอัลกอริทึม LSTM ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม LSTM ที่กำหนดจำนวนรอบการเรียนรู้เหมาะสำหรับการทำนาย คือ 50 ฟังก์ชันกระตุ้นที่เหมาะสมที่สุดคือ relu และจำนวนมิติของข้อมูลขาออก คือ 64 เป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการทำนายระดับน้ำในเขื่อนแม่สะงา โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 0.05810 และมีค่า MAE เท่ากับ 0.04421

รักษ์คณา [21] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนระยะสั้นในบริเวณพื้นที่สนามบินสุวรรณภูมิด้วยโครงข่ายระบบประสาทแบบย้อนกลับ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมของแบบจำลองด้วย อัลกอริทึม ARIMA อัลกอริทึม ARIMAX อัลกอริทึม RNN อัลกอริทึม LSTM และอัลกอริทึม GRU ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลสภาพอากาศและปริมาณน้ำฝนสะสมที่รวบรวมมาจากพื้นที่สนามบินสุวรรณภูมิ ทำการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ 1) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบที่มีการเพิ่มตัวแปรคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องว่ามีความถูกต้องแม่นยำดีขึ้นหรือไม่ เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ไม่ได้มีการเพิ่มตัวแปรคุณลักษณะในสภาพแวดล้อมที่เทียบเท่ากัน และ 2) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมของแบบจำลอง ผลการวิจัยพบว่า ทั้ง 2 ส่วน การเพิ่มตัวแปรคุณลักษณะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ให้กับตัวแบบได้ในกรณีที่ข้อมูลที่นำมาฝึกฝนตัวแบบมีจำนวนจำกัด โดยอัลกอริทึม GRU ให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากที่สุด

พิรภัทร [22] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ราคาขายทรัพย์สินรอการขายประเภทที่อยู่อาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานครโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม SVM, อัลกอริทึม GBT, อัลกอริทึม ANN และเทคนิค Ensemble Vote ด้วยโปรแกรม Rapid Miner Studio ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 9 ปีวิจัย ซึ่งเป็นปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อราคาขายทรัพย์สินรอการขายประเภทที่อยู่อาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่สามารถรวบรวมได้จากเว็บไซต์จำหน่ายสินทรัพย์รอการขาย ผลการวิจัยพบว่า เทคนิค Ensemble Vote พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 3,746,335.580 บาท ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative Error) เท่ากับร้อยละ 91.44 และค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เท่ากับ 0.836

Zarei and et al. [23] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ในการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ (FIRO) เพื่อลดความเสียหายจากน้ำท่วม โดยวิธีอัลกอริทึมของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning algorithms) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม SVM อัลกอริทึม ANN อัลกอริทึม RT และอัลกอริทึม GP ซึ่งใช้ข้อมูลเขื่อน Dez, Karkheh และ Gotvand ในอิหร่าน ย้อนหลังตั้งแต่ปี 2500 – 2562 และทำการพยากรณ์ล่วงหน้าสำหรับเดือนมกราคมถึงเมษายนเป็นช่วงฤดูน้ำหลาก และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจำนวน 4 ค่า ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R) ค่าประสิทธิภาพของแนช-ซัตคลิฟฟ์ (Nash–Sutcliffe Efficiency: NSE) ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม RT พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า MAE เท่ากับร้อยละ 0.43 โดยอัลกอริทึม RT ให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้ข้อมูลย้อนหลัง 2 เดือน และเขื่อน Gotvand ให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัลกอริทึม RT กับข้อมูลย้อนหลัง 1 เดือน

พัชรพล [24] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากร น้ำในจังหวัดระยอง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองปรับให้เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ทั้งแบบบวกและแบบคูณ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method) และตัวแบบการถดถอยในตัวเองรวมการเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่มีความแปรผันทางฤดูกาล (SARIMA) และใช้วิธีค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) ในการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ผลการวิจัยพบว่าเมื่อมีข้อมูล Training Data แบบเต็มปี ผลลัพธ์ที่ได้ของทุกวิธีจะมีความแตกต่างกันและสามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนลงจากวิธีปัจจุบันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งค่าที่ได้จากการพยากรณ์มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงที่เกิดขึ้นโดยมีค่า MAE อยู่ที่ 13.58 - 26.38 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 11.17 - 17.16 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับ 3 อ่างเก็บน้ำ หลักรวมกัน (อ่างเก็บน้ำ ดอกกราย อ่างเก็บน้ำ หนองปลาไหล อ่างเก็บน้ำ คลองใหญ่) และอ่างเก็บน้ำ ประแสร์ ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อมีข้อมูล Training Data บางส่วน ผลลัพธ์ที่ได้ของค่า MAE ที่มีค่าสม่ำเสมอมากที่สุด คือ วิธี SARIMA โดยมีค่า MAE อยู่ที่ 3.14 - 3.41 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 0.63 - 0.65 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับ 3 อ่างเก็บน้ำ หลักรวมกันและอ่างเก็บน้ำ ประแสร์ ตามลำดับ

Dehghani and Poudeh [25] นำเสนองานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าแม่น้ำ Kakareza ทางตะวันตกของประเทศอิหร่าน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม SVM และอัลกอริทึม Gene Expression Programming (GEP) ใช้ข้อมูลรายเดือนจากสถานี Horod ในช่วงปี 2522 - 2558 และทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจำนวน 3 ค่า ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R) ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์นาซ-ซัตคลิฟฟ์ (Nash-Sutcliffe Efficiency: NS) ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึม SVM ที่ใช้เคอร์เนลแบบเบรคมีฐาน (Radial Basis Function: RBF) โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 4 เดือน พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า R เท่ากับ 0.97 ค่า RMSE เท่ากับ 0.08 m<sup>3</sup>/s และค่า NS เท่ากับ 0.94 ในขณะที่อัลกอริทึม GEP ที่ใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์พื้นฐาน 4 ตัว (F2) ให้ค่า R เท่ากับ 0.88 ค่า RMSE เท่ากับ 0.15 m<sup>3</sup>/s และค่า NS เท่ากับ 0.76

ตารางที่ 2-1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

| ชื่องานวิจัย/ทฤษฎี                                                                                                 | ปี   | เทคนิค/อัลกอริทึม | ผลการวิจัย                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Comparative Evaluation of Deep Learning Techniques in Streamflow Monthly Prediction of the Zarrine River Basin [1] | 2024 | - RNN<br>- LSTM   | อัลกอริทึม RNN พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 22.8 ค่า R <sup>2</sup> เท่ากับ 0.84 และค่า NSE เท่ากับ 0.8 |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

| ชื่องานวิจัย/ทฤษฎี                                                                                                                                  | ปี   | เทคนิค/อัลกอริทึม                                                                                                        | ผลการวิจัย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Implementing a GRU Neural Network for Flood Prediction in Ashland City, Tennessee [2]                                                               | 2024 | - GRU                                                                                                                    | อัลกอริทึม GRU พยากรณ์ได้แม่นยำ โดยมีค่า NSE เท่ากับ 0.982 ค่า RMSE เท่ากับ 0.064 ฟุต ค่า MAE เท่ากับ 0.052 ฟุต และค่า $R^2$ เท่ากับ 0.984                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Predicting Rainfall Using Machine Learning, Deep Learning, and Time Series Models Across an Altitudinal Gradient in the North-Western Himalayas [3] | 2024 | - ANN<br>- SVR<br>- RF<br>- KNN<br>- LSTM<br>- Bidirectional LSTM<br>- Deep LSTM<br>- RNN<br>- GRU<br>- ARIMA<br>- TBATS | อัลกอริทึม Bidirectional LSTM และอัลกอริทึม LSTM ให้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุดในหลายสถานี โดยเฉพาะสถานี L1 ที่อัลกอริทึม LSTM มีค่า RMSE เท่ากับ 38.28 และ MAE เท่ากับ 22.27                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Forecasting for Haditha Reservoir Inflow in the West of Iraq Using Support Vector Machine (SVM) [9]                                                 | 2024 | SVM kernel 3 ประเภท ได้แก่<br>- Linear<br>- Quadratic<br>- RBF                                                           | การพยากรณ์รายวัน อัลกอริทึม SVM แบบ Linear โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 1 วัน พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า $R^2$ เท่ากับ 0.95 ค่า RMSE เท่ากับ 53.29 $m^3/s$ และค่า MAE เท่ากับ 33.26 $m^3/s$ สำหรับการพยากรณ์รายเดือน อัลกอริทึม SVM แบบ Linear โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 3 วัน พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า $R^2$ เท่ากับ 0.731 ค่า RMSE เท่ากับ 109.4 $m^3/s$ และค่า MAE เท่ากับ 76.08 $m^3/s$ และการพยากรณ์รายฤดูกาล อัลกอริทึม SVM |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

| ชื่องานวิจัย/ทฤษฎี                                                                                           | ปี   | เทคนิค/อัลกอริทึม                                                                         | ผลการวิจัย                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                              |      |                                                                                           | แบบ Quadratic โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 1 วัน พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า $R^2$ เท่ากับ 0.415 ค่า RMSE เท่ากับ 152.3 $m^3/s$ และค่า MAE เท่ากับ 129.3 $m^3/s$                                                      |
| Time Series Prediction Model Using LSTM Transformer Neural Network for Mine Water Inflow [10]                | 2024 | - LSTM<br>- CNN<br>- Transformer<br>- LSTM<br>Transformer CNN-LSTM                        | อัลกอริทึม LSTM-Transformer พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด มีค่า MAE เท่ากับ 11.2 และ RMSE เท่ากับ 13.7                                                                                                                   |
| Air Pollutant Prediction Based on ARIMA-WOA-LSTM Model [11]                                                  | 2023 | - LSTM<br>- ARIMA<br>- WOA-LSTM<br>- CEEMDAN-WOA-LSTM<br>- ARIMA-LSTM<br>- ARIMA-WOA-LSTM | อัลกอริทึม ARIMA-WOA-LSTM พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุดในการคาดการณ์มลพิษและความเสถียรมากกว่าแบบจำลองอื่นๆ โดยมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในทุกด้านที่ทดสอบ โมเดลนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อการจัดการมลพิษทางอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ |
| Forecasting PM 2.5 Concentration Based on Integrating of Ceemdan Decomposition Method with SVM and LSTM [12] | 2023 | - SVM<br>- LSTM<br>- CEMD-SVM<br>- CEMD-LSTM<br>- CEMD-SVM-LSTM                           | การพยากรณ์ PM2.5 ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 7 วัน<br>อัลกอริทึม CEMD-SVM-LSTM พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด มีค่า MAE เท่ากับ 1.858 มีค่า MSE เท่ากับ 7.2449 มีค่า RMSE เท่ากับ 2.6682 และมีค่า NSE เท่ากับ 0.9169         |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

| ชื่องานวิจัย/ทฤษฎี                                                                                  | ปี   | เทคนิค/อัลกอริทึม                                   | ผลการวิจัย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Modeling and Forecasting CO2 Emissions in China and its Regions Using a Novel ARIMA-LSTM Model [13] | 2023 | - ARIMA<br>- LSTM<br>- ARIMA-LSTM<br>- LR<br>- BPNN | อัลกอริทึม ARIMA-LSTM พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยภูมิภาค Nationwide มีค่า RMSE เท่ากับ 1.9842 มีค่า MAE เท่ากับ 1.8213 และมีค่า MAPE เท่ากับ 0.0186 ภูมิภาค Eastern มีค่า RMSE เท่ากับ 1.1019 มีค่า MAE เท่ากับ 1.0808 และมีค่า MAPE เท่ากับ 0.0243 ภูมิภาค Central มีค่า RMSE เท่ากับ 0.5774 มีค่า MAE เท่ากับ 0.5107 และมีค่า MAPE เท่ากับ 0.0185 และภูมิภาค Western มีค่า RMSE เท่ากับ 0.4966 มีค่า MAE เท่ากับ 0.3917 และมีค่า MAPE เท่ากับ 0.0146 |
| การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนเพื่อวิเคราะห์ภัยแล้งในลุ่มน้ำน่าน [14]                        | 2566 | - LSTM<br>- ARIMA                                   | อัลกอริทึม LSTM พยากรณ์ได้แม่นยำกว่าอัลกอริทึม ARIMA ใน 10 จาก 15 สถานี โดยมีค่า RMSE และค่า NSE ที่ดีกว่า                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์น้ำฝนเพื่อวิเคราะห์ภัยแล้งในลุ่มน้ำมูล [15]                               | 2566 | - LSTM<br>- ARIMA                                   | อัลกอริทึม LSTM มีค่าประสิทธิภาพแบบจำลองสูงที่สุดจำนวนทั้งหมด 21 สถานี คิดเป็นร้อยละ 77.78 มากกว่าอัลกอริทึม ARIMA ที่มีค่าเพียงร้อยละ 22.22 ในการพยากรณ์ภัยแล้ง อัลกอริทึม LSTM ทำการพยากรณ์ล่วงหน้าจำนวน 5 ปีในช่วงปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563 โดยเปรียบเทียบกับค่าดัชนีภัยแล้งที่คำนวณได้ และเปรียบเทียบ                                                                                                                                            |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

| ชื่องานวิจัย/ทฤษฎี                                                                                                          | ปี   | เทคนิค/อัลกอริทึม                                                                                                         | ผลการวิจัย                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                             |      |                                                                                                                           | กับภัยแล้งจริงที่เกิดขึ้น เมื่อทำการเฉลี่ยค่าความแม่นยำทั้ง 5 ปี พบว่ามีค่าความแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 76.30 และร้อยละ 54.07 ตามลำดับ                                                                                                               |
| การพยากรณ์ระดับความชื้นในอากาศ ณ สถานีรายงาน ดอยอินทนนท์ เพื่อสนับสนุนการวางแผนภารกิจการบินสำรวจทางอากาศของกองทัพอากาศ [16] | 2565 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ARIMA</li> <li>- Feed-Forward Neural Network</li> <li>- LSTM</li> </ul>          | อัลกอริทึม LSTM ร่วมกับตัวแปร 1 ตัวแปร พยากรณ์ได้ดีที่สุด มีค่า RMSE เท่ากับ 0.36 รองลงมาคือ อัลกอริทึม Feed-Forward Neural Network เท่ากับ 0.42 อัลกอริทึม LSTM ร่วมกับตัวแปร 5 ตัวแปร เท่ากับ 0.76 และอัลกอริทึม ARIMA เท่ากับ 75.01 ตามลำดับ |
| การพยากรณ์ความผันผวนของตลาดหลักทรัพย์ โดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน [17]                                                     | 2565 | SVM kernel 3 ประเภท ได้แก่ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Linear</li> <li>- Quadratic</li> <li>- RBF</li> </ul> | อัลกอริทึม SVM แบบ RBF ให้ผลการพยากรณ์แม่นยำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 0.000313                                                                                                                                                               |
| Predicting Streamflow in Peninsular Malaysia Using Support Vector Machine and Deep Learning Algorithms [18]                 | 2022 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- SVM</li> <li>- ANN</li> <li>- LSTM</li> </ul>                                    | อัลกอริทึม ANN (ข้อมูลย้อนหลัง 3 วัน) พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุดในการพยากรณ์น้ำไหลในแม่น้ำหลายสายทั่วคาบสมุทรมลายู เพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำและเตือนภัยน้ำท่วม หรือภัยแล้ง                                                                       |
| Accuracy Comparison of ARIMA and XGBoost Forecasting Models in Predicting the Incidence of COVID-19 in Angladesh [19]       | 2022 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ARIMA</li> <li>- XGBoost</li> </ul>                                              | สำหรับการพยากรณ์จำนวนผู้ติดเชื้อ COVID-19 อัลกอริทึม ARIMA พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 13.21 (ชุดฝึก) และร้อยละ 133.16 (ชุดทดสอบ) และสำหรับการพยากรณ์                                                                    |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

| ชื่องานวิจัย/ทฤษฎี                                                                                                                             | ปี   | เทคนิค/อัลกอริทึม                               | ผลการวิจัย                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                |      |                                                 | จำนวนผู้เสียชีวิตจาก COVID-19 อัลกอริทึม ARIMA พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า MAPE เท่ากับร้อยละ 22.92 (ชุดฝึก) และร้อยละ 235.75 (ชุดทดสอบ)                                                                                                                          |
| การพัฒนาแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนแม่สะงาเพื่อประยุกต์ใช้การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองไม่เชิงเส้นกับระบบจัดการพลังงานในเมืองแม่ฮ่องสอน [20] | 2565 | - ARIMA<br>- SARIMA<br>- LSTM                   | อัลกอริทึม LSTM ที่กำหนดจำนวนรอบการเรียนรู้เหมาะสำหรับการทำนาย คือ 50, ฟังก์ชันกระตุ้นที่เหมาะสมที่สุดคือ relu, และจำนวนมิติของข้อมูลขาออกคือ 64 เป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการทำนายระดับน้ำในเขื่อนแม่สะงา โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 0.05810 และมีค่า MAE เท่ากับ 0.04421 |
| การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนระยะสั้นในบริเวณพื้นที่สนามบินสุวรรณภูมิด้วยโครงข่ายระบบประสาทแบบย้อนกลับ [21]                                            | 2564 | - ARIMA<br>- ARIMAX<br>- RNN<br>- LSTM<br>- GRU | ทั้ง 2 ส่วน การเพิ่มตัวแปรคุณลักษณะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ให้กับตัวแบบได้ในกรณีที่มีข้อมูลที่นำมาฝึกฝนตัวแบบมีจำนวนจำกัด โดยอัลกอริทึม GRU ให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากที่สุด                                                                               |
| การพยากรณ์ราคาขายทรัพย์สินรอการขายประเภทที่อยู่อาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานครโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง [22]                               | 2564 | - SVM<br>- GBT<br>- ANN<br>- Ensemble Vote      | เทคนิค Ensemble Vote พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า RMSE เท่ากับ 3,746,335.580 บาท ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative Error) เท่ากับ ร้อยละ 91.44 และค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เท่ากับ 0.836                                                                         |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

| ชื่องานวิจัย/ทฤษฎี                                                                                       | ปี   | เทคนิค/อัลกอริทึม                                          | ผลการวิจัย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Machine Learning Algorithms for Forecast Informed Reservoir Operation (FIRO) to Reduce Food Damages [23] | 2021 | - SVM<br>- ANN<br>- RT<br>- GP                             | อัลกอริทึม RT พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า MAE เท่ากับร้อยละ 0.43 โดยอัลกอริทึม RT ให้ผลดีที่สุดในการเขื่อน Dez และ Karkheh เมื่อใช้ข้อมูลย้อนหลัง 2 เดือน และเขื่อน Gotvand ให้ผลดีที่สุดเมื่อใช้อัลกอริทึม RT กับข้อมูลย้อนหลัง 1 เดือน                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| การพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในจังหวัดระยอง [24]           | 2563 | - SARIMA<br>- Holt-Winters<br>Exponential Smoothing Method | เมื่อมีข้อมูล Training Data แบบเต็มปี ผลลัพธ์ที่ได้ของทุกวิธีจะไม่มี ความแตกต่างกันและสามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนลงจากวิธีปัจจุบัน อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งค่าที่ได้จากการพยากรณ์มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงที่เกิดขึ้น โดยมีค่า MAE อยู่ที่ 13.58 - 26.38 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 11.17 - 17.16 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับ 3 อ่างเก็บน้ำหลัก รวมกัน (อ่างเก็บน้ำ ดอกกราย อ่างเก็บน้ำ หนองปลาไหล อ่างเก็บน้ำ คลองใหญ่) และอ่างเก็บน้ำประแสร์ ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อมีข้อมูล Training Data บางส่วน ผลลัพธ์ที่ได้ของค่า MAE ที่มีค่าสม่ำเสมอมากที่สุด คือ อัลกอริทึม SARIMA โดยมีค่า MAE อยู่ที่ 3.14 - 3.41 ล้านลูกบาศก์เมตร และ 0.63 - 0.65 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับ 3 อ่างเก็บน้ำหลัก |

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

| ชื่องานวิจัย/ทฤษฎี                                                   | ปี   | เทคนิค/อัลกอริทึม | ผลการวิจัย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------|------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                      |      |                   | รวมกันและอ่างเก็บน้ำประแสร์ตามลำดับ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Application of Support Vector Machine for River Flow Estimation [25] | 2020 | - SVM<br>- GEP    | อัลกอริทึม SVM ที่ใช้เคอร์เนลแบบปริมาตรฐาน (Radial Basis Function: RBF) โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 4 เดือน พยากรณ์ได้แม่นยำที่สุด โดยมีค่า R เท่ากับ 0.97 ค่า RMSE เท่ากับ 0.08 m <sup>3</sup> /s และค่า NS เท่ากับ 0.94 ในขณะที่อัลกอริทึม GEP ที่ใช้ฟังก์ชันคณิตศาสตร์พื้นฐาน 4 ตัว (F2) ให้ค่า R เท่ากับ 0.88 ค่า RMSE เท่ากับ 0.15 m <sup>3</sup> /s และค่า NS เท่ากับ 0.76 |

จากทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ศึกษามานั้น จะเห็นได้ว่ามีเทคนิคและแนวคิดต่าง ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว พบว่า อัลกอริทึม RNN อัลกอริทึม LSTM และอัลกอริทึม GRU เป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ดังนั้น การดำเนินการวิจัยครั้งนี้จึงนำทั้ง 3 อัลกอริทึม มาเปรียบเทียบเพื่อหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวต่อไป

## บทที่ 3

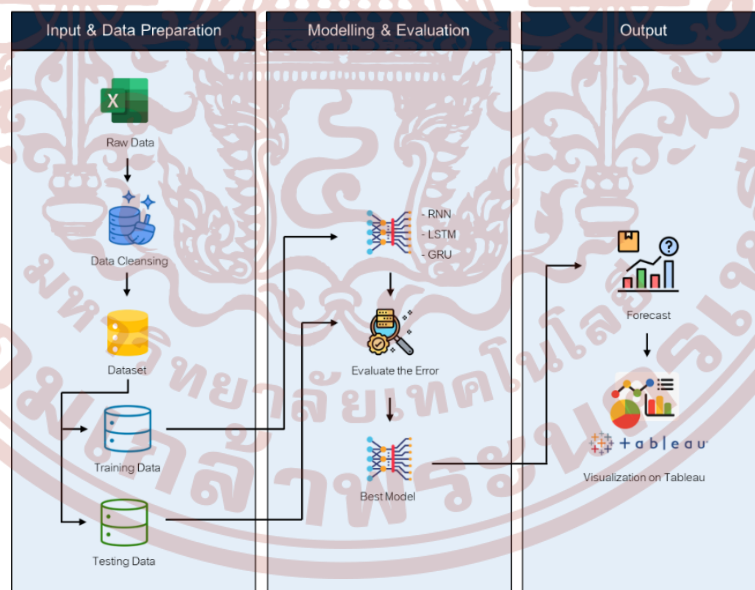
### วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว มีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 3.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย
- 3.2 ขั้นตอนการรวบรวม และการจัดเตรียมข้อมูล
- 3.3 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์แต่ละอัลกอริทึม
- 3.4 ขั้นตอนการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และการแสดงผลผ่านโปรแกรม Tableau

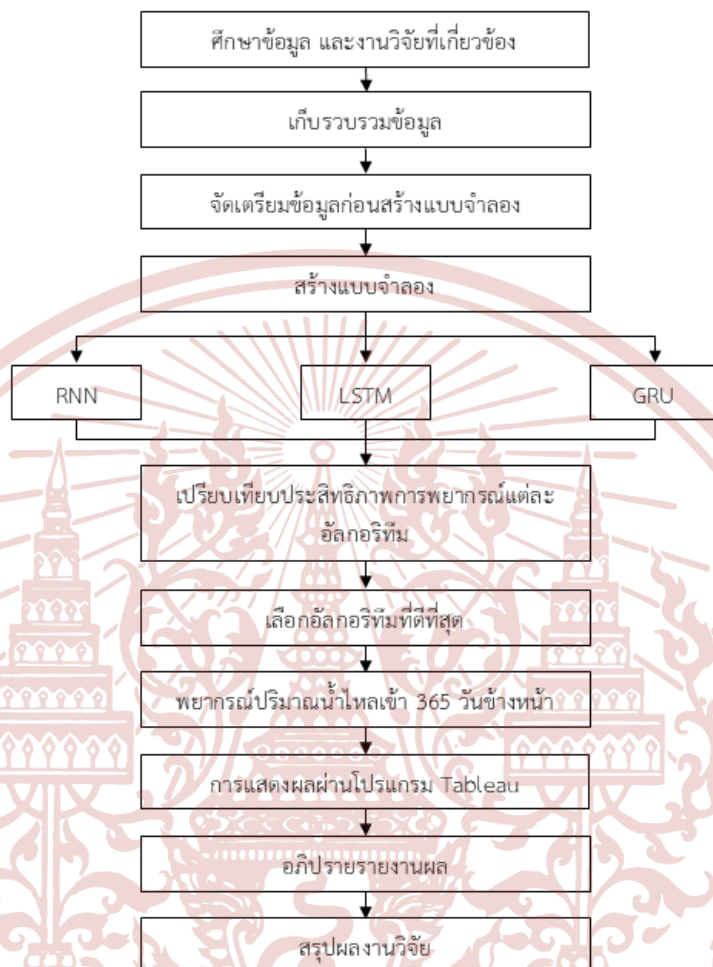
#### 3.1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวกับการพยากรณ์รวมไปถึงกระบวนการรวบรวมข้อมูลที่จะนำมาใช้งานวิจัย โดยมีกระบวนการแสดงดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย

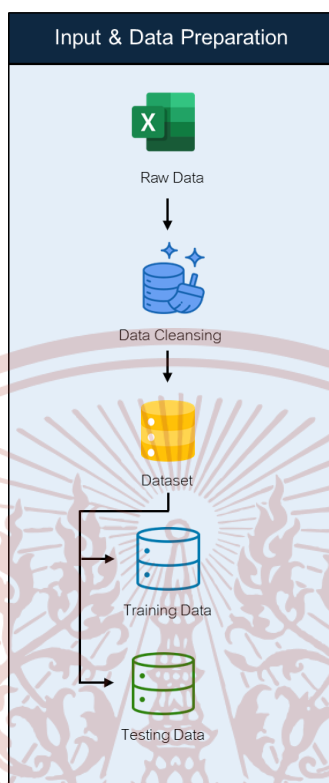
จากภาพที่ 3-1 เป็นกรอบแนวความคิดของงานวิจัยครั้งนี้ กระบวนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล เริ่มจากรวบรวมข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 โดยมีระยะเวลาข้อมูลเป็นรายวัน จำนวน 1,827 ระเบียบประกอบด้วยคุณลักษณะจำนวน 5 คุณลักษณะ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำความสะอาดข้อมูล เช่น การเติมข้อมูลที่สูญหาย (Missing Value) เป็นต้น จากนั้นทำการแบ่งข้อมูลที่สมบูรณ์ ออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Data) และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Data) สำหรับขั้นตอนที่ 2 การสร้างแบบจำลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์ แต่ละอัลกอริทึม โดยทำการเปรียบเทียบอัลกอริทึม 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN) อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) และอัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Unit: GRU) และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Mean Squared Error: MSE) รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error: RMSE) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ที่ต่ำที่สุด เมื่อได้อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด นำไปพยากรณ์ด้วยแบบจำลองที่ดีที่สุดในส่วนสุดท้าย คือ การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และแสดงผลการพยากรณ์ด้วยโปรแกรม Tableau โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.2 ขั้นตอนการรวบรวม และการจัดเตรียมข้อมูล

ขั้นตอนการรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล (Data Preparation) ถือเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นขั้นตอนในการจัดการและปรับแต่งข้อมูลก่อนนำเข้าสู่แบบจำลอง หากการเตรียมข้อมูลไม่มีประสิทธิภาพ อาจส่งผลให้ผลลัพธ์จากแบบจำลองคลาดเคลื่อนหรือไม่ถูกต้อง โดยผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการรวบรวม และการจัดเตรียมข้อมูล แสดงดังภาพที่ 3-3 โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการรวบรวม และเตรียมข้อมูล

3.2.1 รวบรวมข้อมูลเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 โดยมีระยะเวลาข้อมูลเป็นรายวัน จำนวน 1,827 ระเบียบ ประกอบด้วยคุณลักษณะจำนวน 5 คุณลักษณะ ได้แก่ ปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ปริมาณน้ำไหลออก (Outflow) ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) และระดับน้ำในเขื่อน (Water Level)

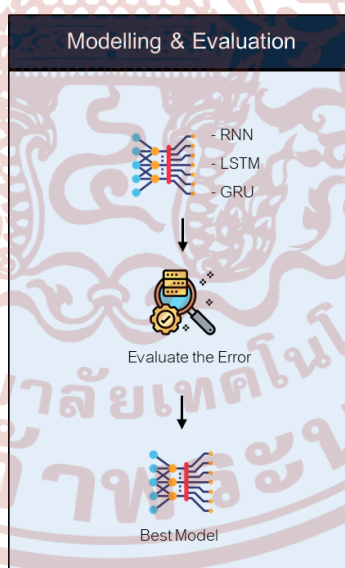
3.2.2 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing) เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการพยากรณ์รายวันจึงต้องตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลให้เป็นรายวัน และการเติมข้อมูลสูญหาย (Missing Value) ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า แปลงข้อมูลจาก 15 นาที/ชั่วโมง เป็นรายวัน โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายวัน ข้อมูลปริมาณน้ำฝน แก้ไขค่าติดลบ ให้เป็น 0 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ แปลงข้อมูลจาก 3 ชั่วโมง/วัน เป็นรายวัน โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายวัน และแก้ไขข้อมูลสูญหาย (Missing Value) โดยการใช้ค่าเฉลี่ยของวันก่อนหน้าและวันถัดไป และข้อมูลระดับน้ำในเขื่อน แปลงจากรายชั่วโมงเป็นรายวัน โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายวัน

3.2.3 จากขั้นตอนการทำความสะอาดข้อมูล ทำให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ (Data Set) ซึ่งในการทำงานวิจัยครั้งนี้ เลือกคุณลักษณะปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ของเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว จากนั้นแปลงหน่วยคุณลักษณะดังกล่าว จากลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นพันลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนต่ำ

3.2.4 จากนั้นแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Data) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2566 และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Data) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2567 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567

### 3.3 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์แต่ละอัลกอริทึม

นำชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Data) ที่ได้จากขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลมาทำการสร้างแบบจำลอง โดยใช้อัลกอริทึมการพยากรณ์ข้อมูลทั้งหมด 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN) อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) และอัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Unit: GRU) จากนั้นทดสอบแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Data) เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองของแต่ละเทคนิค โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MSE) รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSE) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (MAD) และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ที่ต่ำที่สุด จากนั้นนำวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุดไปสร้างเป็นแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยมีขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์แต่ละอัลกอริทึม

ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของแต่ละอัลกอริทึมที่ใช้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพยากรณ์มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ค่าพารามิเตอร์ของแต่ละอัลกอริทึมสำหรับการทดสอบ

| Algorithm | Parameter                                    |
|-----------|----------------------------------------------|
| RNN       | lookbacks = 7,14,30<br>units list = 16,32,64 |
| LSTM      | epochs list = 50,60,70,80,90,100             |
| GRU       | batch sizes = 16,32,64<br>num layers = 1,2,3 |

### 3.4 ขั้นตอนการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และการแสดงผลผ่านโปรแกรม Tableau

เมื่อสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์เรียบร้อยแล้ว ในส่วนนี้จะนำข้อมูลทั้งหมดตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 มาทำการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองที่ดีที่สุด เพื่อการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ในอีก 365 วันข้างหน้า โดยใช้โปรแกรม Tableau ในการแสดงผลข้อมูล โดยมีขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวและการแสดงผลผ่านโปรแกรม Tableau

แบ่งโครงร่างของการแสดงผลออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

#### 3.4.1 แสดงผลภาพรวมข้อมูลของเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

แสดงข้อมูลของเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ปริมาณน้ำไหลออก (Outflow) ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) และระดับน้ำในเขื่อน (Water Level) เป็นข้อมูลรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 - 31 ธันวาคม 2567 โดยโครงร่างการแสดงผลบน Tableau แสดงดังภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 แสดงโครงร่างการแสดงผลภาพรวมข้อมูลของเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

#### 3.4.2 แสดงผลผลลัพธ์ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของแต่ละอัลกอริทึม

แสดงผลประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมภายหลังจากการปรับค่าพารามิเตอร์ จะแสดงจำนวนรูปแบบที่ใช้ในการทดสอบ พร้อมทั้ง ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MSE) รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSE) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (MAD) และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) นอกจากนี้ นำเสนอกกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ โดยโครงร่างการแสดงผลบน Tableau แสดงดังภาพที่ 3-7

| <b>ผลลัพธ์: ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |             |                                                 |          |         |         |          |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                    |  |  |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------|----------|---------|---------|----------|------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|
| Model                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | จำนวนรูปแบบ | ค่า MSE                                         | ค่า RMSE | ค่า MAE | ค่า MAD | ค่า MAPE |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                    |  |  |  |  |
| ผลการทดสอบ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |             | การเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ (Best Model) |          |         |         |          |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                    |  |  |  |  |
| Best Parameter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             | Model                                           |          |         |         |          |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                    |  |  |  |  |
| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 40%;">Parameter</th> <th style="width: 10%;">MSE</th> <th style="width: 10%;">RMSE</th> <th style="width: 10%;">MAE</th> <th style="width: 10%;">MAD</th> <th style="width: 10%;">MAPE</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table> |             | Parameter                                       | MSE      | RMSE    | MAE     | MAD      | MAPE |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Parameter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | MSE         | RMSE                                            | MAE      | MAD     | MAPE    |          |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                    |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |                                                 |          |         |         |          |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                    |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |                                                 |          |         |         |          |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                    |  |  |  |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |             |                                                 |          |         |         |          |      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                                                                    |  |  |  |  |

**ภาพที่ 3-7** แสดงโครงสร้างการแสดงผลผลลัพธ์ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของแต่ละอัลกอริทึม

#### 3.4.3 แสดงผลการพยากรณ์ 365 วันข้างหน้า

แสดงผลการพยากรณ์ 365 วันข้างหน้า โดยใช้อัลกอริทึมที่ให้ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MSE) รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSE) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (MAD) และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ที่ต่ำที่สุด ซึ่งจะแสดงในรูปแบบกราฟ และตาราง โดยโครงสร้างการแสดงผลบน Tableau แสดงดังภาพที่ 3-8

| <b>Forecast for the next 365 Days (Best Model)</b>  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| ข้อมูลปริมาณน้ำไหลรายวัน ปี 2025                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| กราฟแสดงข้อมูลปริมาณน้ำไหลรายวันที่ได้จากการพยากรณ์ | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Date</th> <th style="width: 50%;">Inflow</th> </tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table> | Date | Inflow |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Date                                                | Inflow                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**ภาพที่ 3-8** แสดงโครงสร้างการแสดงผลการพยากรณ์ 365 วันข้างหน้า

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

ในส่วนนี้จะทำการแสดงผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว มีผลการดำเนินงานวิจัยดังนี้

- 4.1 ผลการรวบรวม และเตรียมข้อมูล
- 4.2 ผลการการคัดเลือก และทดสอบประสิทธิภาพอัลกอริทึม
- 4.3 ผลการพยากรณ์ และการแสดงผลผ่าน Tableau

#### 4.1 ผลการรวบรวม และเตรียมข้อมูล

4.1.1 ทำการรวบรวมข้อมูลเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 โดยมีระยะเวลาข้อมูลเป็นรายวัน จำนวน 1,827 ระเบียบ ประกอบด้วยคุณลักษณะจำนวน 5 คุณลักษณะ ได้แก่ ปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ปริมาณน้ำไหลออก (Outflow) ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) และระดับน้ำในเขื่อน (Water Level) ตัวอย่างข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4-1 ถึงตาราง 4-5

ตารางที่ 4-1 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า จากการรวบรวมจำนวน 10 ระเบียบ

| Date     | Time  | Zone | Inflow (ลบ.ม./วินาที) |
|----------|-------|------|-----------------------|
| 01-01-20 | 12:00 | AM   | 1,833.69              |
| 01-01-20 | 12:15 | AM   | 1,834.32              |
| 01-01-20 | 12:30 | AM   | 1,834.94              |
| 01-01-20 | 12:45 | AM   | 1,857.10              |
| 01-01-20 | 01:00 | AM   | 1,857.72              |
| 01-01-20 | 01:15 | AM   | 1,856.48              |
| 01-01-20 | 01:30 | AM   | 1,855.24              |
| 01-01-20 | 01:45 | AM   | 1,854.00              |
| 01-01-20 | 02:00 | AM   | 1,874.31              |
| 01-01-20 | 02:15 | AM   | 1,864.72              |

ตารางที่ 4-2 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำไหลออก จากการรวบรวมจำนวน 10 ระเบียบ

| Date     | Time  | Zone | Outflow (ลบ.ม./วินาที) |
|----------|-------|------|------------------------|
| 01-01-20 | 12:00 | AM   | 1,784.23               |
| 02-01-20 | 12:00 | AM   | 2,099.42               |
| 03-01-20 | 12:00 | AM   | 2,145.07               |
| 04-01-20 | 12:00 | AM   | 1,929.34               |
| 05-01-20 | 12:00 | AM   | 2,088.24               |
| 06-01-20 | 12:00 | AM   | 2,298.56               |
| 07-01-20 | 12:00 | AM   | 2,218.00               |
| 08-01-20 | 12:00 | AM   | 1,720.64               |
| 09-01-20 | 12:00 | AM   | 1,313.30               |
| 10-01-20 | 12:00 | AM   | 1,320.26               |

ตารางที่ 4-3 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝน จากการรวบรวมจำนวน 10 ระเบียบ

| Date     | Time  | Zone | Rainfall |
|----------|-------|------|----------|
| 01-01-20 | 12:00 | AM   | -4000    |
| 02-01-20 | 12:00 | AM   | -4000    |
| 03-01-20 | 12:00 | AM   | -4000    |
| 04-01-20 | 12:00 | AM   | -4000    |
| 05-01-20 | 12:00 | AM   | -4000    |
| 06-01-20 | 12:00 | AM   | -4000    |
| 07-01-20 | 12:00 | AM   | 0        |
| 08-01-20 | 12:00 | AM   | 0        |
| 09-01-20 | 12:00 | AM   | 0        |
| 10-01-20 | 12:00 | AM   | 0        |

ตารางที่ 4-4 ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิอากาศ จากการรวบรวมจำนวน 10 ระเบียบ

| Date     | Time  | Zone | Air temperature |
|----------|-------|------|-----------------|
| 01-01-20 | 12:00 | AM   | 15.50           |
| 01-01-20 | 03:00 | AM   | 22.50           |
| 01-01-20 | 06:00 | AM   | 29.10           |
| 01-01-20 | 09:00 | AM   | 30.30           |
| 01-01-20 | 12:00 | PM   | 26.00           |
| 01-01-20 | 09:00 | PM   | 20.00           |
| 02-01-20 | 12:00 | AM   | 16.50           |

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

| Date     | Time  | Zone | Air temperature |
|----------|-------|------|-----------------|
| 02-01-20 | 03:00 | AM   | 23.00           |
| 02-01-20 | 06:00 | AM   | 29.50           |
| 02-01-20 | 09:00 | AM   | 33.00           |

ตารางที่ 4-5 ตัวอย่างข้อมูลระดับน้ำในเขื่อน จากการรวบรวมจำนวน 10 ระเบียบ

| Date     | Time  | Zone | Water Level |
|----------|-------|------|-------------|
| 01-01-20 | 12:00 | AM   | 275.17      |
| 01-01-20 | 01:00 | AM   | 275.19      |
| 01-01-20 | 02:00 | AM   | 275.22      |
| 01-01-20 | 03:00 | AM   | 275.22      |
| 01-01-20 | 04:00 | AM   | 275.26      |
| 01-01-20 | 05:00 | AM   | 275.27      |
| 01-01-20 | 06:00 | AM   | 275.28      |
| 01-01-20 | 07:00 | AM   | 275.30      |
| 01-01-20 | 08:00 | AM   | 275.31      |
| 01-01-20 | 09:00 | AM   | 275.35      |

จากตารางที่ 4-1 ถึงตารางที่ 4-5 แสดงตัวอย่างข้อมูลในแต่ละคุณลักษณะ ได้แก่ ปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ปริมาณน้ำไหลออก (Outflow) ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) และระดับน้ำในเขื่อน (Water Level) จำนวน 10 ระเบียบ พบว่า ข้อมูลปริมาณน้ำไหลออกมีความสมบูรณ์พร้อมใช้งานแล้ว ขณะที่ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิอากาศ และระดับน้ำในเขื่อน ยังมีความไม่สมบูรณ์ เนื่องจากไม่ได้อยู่ในรูปแบบรายวัน และมีค่าข้อมูลบางส่วนสูญหาย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล ได้แก่ การทำความสะอาดข้อมูลด้วยวิธีการเติมข้อมูลสูญหาย และการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบรายวัน

4.1.2 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing) ด้วยวิธีการเติมข้อมูลสูญหาย และแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบรายวัน ตัวอย่างข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4-6 ถึงตาราง 4-9

ตารางที่ 4-6 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า ที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล จำนวน 10 ระเบียบ

| Date     | Inflow (ลบ.ม./วินาที) |
|----------|-----------------------|
| 01-01-20 | 1,981.49              |
| 02-01-20 | 2,088.59              |
| 03-01-20 | 1,995.79              |
| 04-01-20 | 2,015.77              |

ตารางที่ 4-6 (ต่อ)

| Date     | Inflow (ลบ.ม./วินาที) |
|----------|-----------------------|
| 05-01-20 | 2,183.21              |
| 06-01-20 | 2,318.53              |
| 07-01-20 | 2,051.84              |
| 08-01-20 | 1,476.65              |
| 09-01-20 | 1,324.67              |
| 10-01-20 | 1,419.18              |

ตารางที่ 4-7 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝน ที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล จำนวน 10 ระเบียบ

| Date     | Rainfall |
|----------|----------|
| 01-01-20 | 0        |
| 02-01-20 | 0        |
| 03-01-20 | 0        |
| 04-01-20 | 0        |
| 05-01-20 | 0        |
| 06-01-20 | 0        |
| 07-01-20 | 0        |
| 08-01-20 | 0        |
| 09-01-20 | 0        |
| 10-01-20 | 0        |

ตารางที่ 4-8 ตัวอย่างข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล จำนวน 10 ระเบียบ

| Date     | Air temperature |
|----------|-----------------|
| 01-01-20 | 23.90           |
| 02-01-20 | 25.42           |
| 03-01-20 | 23.28           |
| 04-01-20 | 25.50           |
| 05-01-20 | 25.30           |
| 06-01-20 | 24.44           |
| 07-01-20 | 23.80           |
| 08-01-20 | 25.13           |
| 09-01-20 | 22.19           |
| 10-01-20 | 24.65           |

ตารางที่ 4-9 ตัวอย่างระดับน้ำในเขื่อน ที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูล จำนวน 10 ระเบียบ

| Date     | Water Level |
|----------|-------------|
| 01-01-20 | 275.34      |
| 02-01-20 | 275.33      |
| 03-01-20 | 275.10      |
| 04-01-20 | 275.11      |
| 05-01-20 | 275.25      |
| 06-01-20 | 275.29      |
| 07-01-20 | 275.05      |
| 08-01-20 | 274.63      |
| 09-01-20 | 274.48      |
| 10-01-20 | 274.63      |

จากตารางที่ 4-6 ถึงตารางที่ 4-9 แสดงตัวอย่างข้อมูลในแต่ละคุณลักษณะที่ผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า แปลงข้อมูลจาก 15 นาที/ชั่วโมง เป็นรายวัน โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายวัน ข้อมูลปริมาณน้ำฝน แก้ไขค่าติดลบ ให้เป็น 0 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ แปลงข้อมูลจาก 3 ชั่วโมง/วัน เป็นรายวัน โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายวัน พร้อมทั้ง แก้ไขข้อมูลสูญหาย (Missing Value) โดยการใช้ค่าเฉลี่ยของวันก่อนหน้าและวันถัดไป และข้อมูลระดับน้ำในเขื่อน แปลงจากรายชั่วโมงเป็นรายวัน โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายวัน

4.1.3 งานวิจัยนี้เป็นการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ของเขื่อนไซยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว จึงเลือกคุณลักษณะปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ในการพยากรณ์ จากนั้น แปลงหน่วยคุณลักษณะดังกล่าว จากลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นพันลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนต่ำ ตัวอย่างข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) หลังจากการแปลงหน่วย จำนวน 10 ระเบียบ

| Date     | Inflow (ลบ.ม./วินาที) | Inflow (พัน ลบ.ม./วินาที) |
|----------|-----------------------|---------------------------|
| 01-01-20 | 1,981.49              | 1.98                      |
| 02-01-20 | 2,088.59              | 2.09                      |
| 03-01-20 | 1,995.79              | 2.00                      |
| 04-01-20 | 2,015.77              | 2.02                      |
| 05-01-20 | 2,183.21              | 2.18                      |
| 06-01-20 | 2,318.53              | 2.32                      |
| 07-01-20 | 2,051.84              | 2.05                      |
| 08-01-20 | 1,476.65              | 1.48                      |
| 09-01-20 | 1,324.67              | 1.32                      |

ตารางที่ 4-10 (ต่อ)

| Date     | Inflow (ลบ.ม./วินาที) | Inflow (พัน ลบ.ม./วินาที) |
|----------|-----------------------|---------------------------|
| 10-01-20 | 1,419.18              | 1.42                      |

4.1.4 ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Data) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2566 และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Data) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2567 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567

## 4.2 ผลการการคัดเลือก และทดสอบประสิทธิภาพอัลกอริทึม

นำชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Data) ที่ได้จากขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลมาทำการสร้างแบบจำลอง โดยใช้อัลกอริทึมการพยากรณ์ข้อมูลทั้งหมด 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึม RNN อัลกอริทึม LSTM และอัลกอริทึม GRU จากนั้นทดสอบแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Data) เพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองของแต่ละเทคนิค โดยพิจารณาจากค่า MSE ค่า RMSE ค่า MAE ค่า MAD และค่า MAPE ที่ต่ำที่สุด ผลการทดสอบแต่ละอัลกอริทึมแสดงดังนี้

### 4.2.1 ผลการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม RNN

จากการทดสอบอัลกอริทึม RNN โดยใช้พารามิเตอร์ lookbacks เท่ากับ 7,17,30 units list เท่ากับ 16,32,64 epochs list เท่ากับ 50,60,70,80,90,100 batch sizes เท่ากับ 16,32,64 และ num layers เท่ากับ 1,2,3 ได้จำนวนรูปแบบในการทดสอบจำนวน 486 รูปแบบ ซึ่งได้ค่า MSE ค่า RMSE ค่า MAE ค่า MAD และค่า MAPE แสดงดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 ผลการทดสอบด้วยอัลกอริทึม RNN

| Parameter  |            |             |             |            | Performance |        |        |        |        |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look backs | units list | epochs list | batch sizes | Num layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7          | 16         | 50          | 16          | 1          | 0.7746      | 0.8801 | 0.2817 | 0.0648 | 4.7615 |
| 7          | 16         | 50          | 32          | 1          | 1.6498      | 1.2845 | 0.4202 | 0.0828 | 6.6622 |
| 7          | 16         | 50          | 64          | 1          | 2.8236      | 1.6803 | 0.5505 | 0.0924 | 8.1844 |
| 7          | 16         | 60          | 16          | 1          | 0.9164      | 0.9573 | 0.2994 | 0.0610 | 4.8433 |
| 7          | 16         | 60          | 32          | 1          | 1.9367      | 1.3917 | 0.4349 | 0.0721 | 6.3312 |
| 7          | 16         | 60          | 64          | 1          | 1.5957      | 1.2632 | 0.3924 | 0.0668 | 5.8042 |
| 7          | 16         | 70          | 16          | 1          | 0.7501      | 0.8661 | 0.2808 | 0.0705 | 5.0408 |
| 7          | 16         | 70          | 32          | 1          | 1.4965      | 1.2233 | 0.3854 | 0.0673 | 5.7345 |
| 7          | 16         | 70          | 64          | 1          | 2.4828      | 1.5757 | 0.5008 | 0.0728 | 7.0847 |
| 7          | 16         | 80          | 16          | 1          | 0.7690      | 0.8769 | 0.2827 | 0.0673 | 4.9924 |
| 7          | 16         | 80          | 32          | 1          | 1.0953      | 1.0466 | 0.3288 | 0.0662 | 5.0898 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 16            | 80             | 64             | 1             | 1.9142      | 1.3835 | 0.4298 | 0.0661 | 6.1248 |
| 7             | 16            | 90             | 16             | 1             | 0.6229      | 0.7892 | 0.2662 | 0.0724 | 4.9291 |
| 7             | 16            | 90             | 32             | 1             | 0.8200      | 0.9056 | 0.2849 | 0.0634 | 4.7331 |
| 7             | 16            | 90             | 64             | 1             | 1.6595      | 1.2882 | 0.4094 | 0.0786 | 6.1660 |
| 7             | 16            | 100            | 16             | 1             | 0.5751      | 0.7584 | 0.2842 | 0.1172 | 6.5814 |
| 7             | 16            | 100            | 32             | 1             | 1.0709      | 1.0348 | 0.3233 | 0.0626 | 5.0936 |
| 7             | 16            | 100            | 64             | 1             | 1.4706      | 1.2127 | 0.3772 | 0.0701 | 5.6780 |
| 7             | 32            | 50             | 16             | 1             | 0.7004      | 0.8369 | 0.2715 | 0.0627 | 4.7463 |
| 7             | 32            | 50             | 32             | 1             | 0.7840      | 0.8854 | 0.2840 | 0.0591 | 4.7535 |
| 7             | 32            | 50             | 64             | 1             | 1.8265      | 1.3515 | 0.4410 | 0.0856 | 6.7147 |
| 7             | 32            | 60             | 16             | 1             | 0.5907      | 0.7686 | 0.2623 | 0.0644 | 4.9724 |
| 7             | 32            | 60             | 32             | 1             | 0.8712      | 0.9334 | 0.2943 | 0.0607 | 4.7921 |
| 7             | 32            | 60             | 64             | 1             | 1.3751      | 1.1726 | 0.3895 | 0.0785 | 6.3014 |
| 7             | 32            | 70             | 16             | 1             | 0.5722      | 0.7564 | 0.2575 | 0.0676 | 4.7164 |
| 7             | 32            | 70             | 32             | 1             | 0.8185      | 0.9047 | 0.2895 | 0.0624 | 4.8274 |
| 7             | 32            | 70             | 64             | 1             | 1.2124      | 1.1011 | 0.3458 | 0.0651 | 5.2684 |
| 7             | 32            | 80             | 16             | 1             | 0.5506      | 0.7420 | 0.2545 | 0.0825 | 5.2939 |
| 7             | 32            | 80             | 32             | 1             | 0.6398      | 0.7999 | 0.2759 | 0.0890 | 5.4611 |
| 7             | 32            | 80             | 64             | 1             | 0.8454      | 0.9195 | 0.2942 | 0.0630 | 4.8748 |
| 7             | 32            | 90             | 16             | 1             | 0.4924      | 0.7017 | 0.2387 | 0.0664 | 4.5546 |
| 7             | 32            | 90             | 32             | 1             | 0.7351      | 0.8574 | 0.2730 | 0.0630 | 4.6808 |
| 7             | 32            | 90             | 64             | 1             | 0.7630      | 0.8735 | 0.2817 | 0.0641 | 4.8691 |
| 7             | 32            | 100            | 16             | 1             | 0.5292      | 0.7275 | 0.2448 | 0.0638 | 4.7688 |
| 7             | 32            | 100            | 32             | 1             | 0.6079      | 0.7797 | 0.2573 | 0.0662 | 4.6935 |
| 7             | 32            | 100            | 64             | 1             | 0.7622      | 0.8730 | 0.2776 | 0.0597 | 4.6266 |
| 7             | 64            | 50             | 16             | 1             | 0.4608      | 0.6788 | 0.2475 | 0.0880 | 5.1318 |
| 7             | 64            | 50             | 32             | 1             | 0.6275      | 0.7922 | 0.2932 | 0.1110 | 6.5396 |
| 7             | 64            | 50             | 64             | 1             | 0.7584      | 0.8708 | 0.3093 | 0.1000 | 6.1750 |
| 7             | 64            | 60             | 16             | 1             | 0.4738      | 0.6883 | 0.2304 | 0.0623 | 4.3819 |
| 7             | 64            | 60             | 32             | 1             | 0.5589      | 0.7476 | 0.2453 | 0.0572 | 4.4592 |
| 7             | 64            | 60             | 64             | 1             | 0.7380      | 0.8591 | 0.2933 | 0.0828 | 5.5995 |
| 7             | 64            | 70             | 16             | 1             | 0.5801      | 0.7616 | 0.2709 | 0.0799 | 5.5237 |
| 7             | 64            | 70             | 32             | 1             | 0.5712      | 0.7558 | 0.2493 | 0.0624 | 4.6440 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 64            | 70             | 64             | 1             | 0.6590      | 0.8118 | 0.2693 | 0.0711 | 4.8557 |
| 7             | 64            | 80             | 16             | 1             | 0.4754      | 0.6895 | 0.2396 | 0.0674 | 4.6855 |
| 7             | 64            | 80             | 32             | 1             | 0.4910      | 0.7007 | 0.2542 | 0.0881 | 5.4529 |
| 7             | 64            | 80             | 64             | 1             | 0.5511      | 0.7424 | 0.2458 | 0.0564 | 4.4914 |
| 7             | 64            | 90             | 16             | 1             | 0.4588      | 0.6773 | 0.2355 | 0.0623 | 4.4005 |
| 7             | 64            | 90             | 32             | 1             | 0.5547      | 0.7448 | 0.2448 | 0.0561 | 4.4097 |
| 7             | 64            | 90             | 64             | 1             | 0.6414      | 0.8009 | 0.2683 | 0.0669 | 5.0461 |
| 7             | 64            | 100            | 16             | 1             | 0.5543      | 0.7445 | 0.2744 | 0.0877 | 5.7242 |
| 7             | 64            | 100            | 32             | 1             | 0.4675      | 0.6838 | 0.2526 | 0.0871 | 5.2847 |
| 7             | 64            | 100            | 64             | 1             | 0.5410      | 0.7355 | 0.2487 | 0.0636 | 4.7449 |
| 14            | 16            | 50             | 16             | 1             | 0.9987      | 0.9994 | 0.3134 | 0.0623 | 4.9472 |
| 14            | 16            | 50             | 32             | 1             | 1.5684      | 1.2524 | 0.3901 | 0.0660 | 5.6019 |
| 14            | 16            | 50             | 64             | 1             | 2.3887      | 1.5455 | 0.4861 | 0.0803 | 6.7106 |
| 14            | 16            | 60             | 16             | 1             | 0.9157      | 0.9569 | 0.3097 | 0.0698 | 5.1113 |
| 14            | 16            | 60             | 32             | 1             | 1.3682      | 1.1697 | 0.3684 | 0.0667 | 5.6224 |
| 14            | 16            | 60             | 64             | 1             | 3.0035      | 1.7331 | 0.5685 | 0.0914 | 8.1849 |
| 14            | 16            | 70             | 16             | 1             | 0.7710      | 0.8781 | 0.2868 | 0.0674 | 4.9253 |
| 14            | 16            | 70             | 32             | 1             | 1.5086      | 1.2282 | 0.3862 | 0.0644 | 5.6679 |
| 14            | 16            | 70             | 64             | 1             | 2.2947      | 1.5148 | 0.4727 | 0.0636 | 6.4510 |
| 14            | 16            | 80             | 16             | 1             | 0.7308      | 0.8549 | 0.2793 | 0.0752 | 4.9315 |
| 14            | 16            | 80             | 32             | 1             | 1.0907      | 1.0444 | 0.3331 | 0.0620 | 5.2315 |
| 14            | 16            | 80             | 64             | 1             | 3.2683      | 1.8078 | 0.6093 | 0.1042 | 9.0535 |
| 14            | 16            | 90             | 16             | 1             | 0.7400      | 0.8602 | 0.2882 | 0.0821 | 5.5674 |
| 14            | 16            | 90             | 32             | 1             | 0.8255      | 0.9086 | 0.3006 | 0.0736 | 5.2005 |
| 14            | 16            | 90             | 64             | 1             | 1.6395      | 1.2804 | 0.4011 | 0.0671 | 5.7489 |
| 14            | 16            | 100            | 16             | 1             | 0.6178      | 0.7860 | 0.2755 | 0.0859 | 5.3335 |
| 14            | 16            | 100            | 32             | 1             | 1.1451      | 1.0701 | 0.3384 | 0.0651 | 5.2399 |
| 14            | 16            | 100            | 64             | 1             | 1.5557      | 1.2473 | 0.3943 | 0.0684 | 5.7707 |
| 14            | 32            | 50             | 16             | 1             | 0.6025      | 0.7762 | 0.2561 | 0.0680 | 4.6198 |
| 14            | 32            | 50             | 32             | 1             | 0.7749      | 0.8803 | 0.2911 | 0.0659 | 5.0520 |
| 14            | 32            | 50             | 64             | 1             | 1.5906      | 1.2612 | 0.4082 | 0.0706 | 6.1601 |
| 14            | 32            | 60             | 16             | 1             | 0.6279      | 0.7924 | 0.2684 | 0.0722 | 5.1406 |
| 14            | 32            | 60             | 32             | 1             | 0.8509      | 0.9225 | 0.3047 | 0.0752 | 5.4071 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 32            | 60             | 64             | 1             | 1.5767      | 1.2557 | 0.3972 | 0.0660 | 5.9185 |
| 14            | 32            | 70             | 16             | 1             | 0.5282      | 0.7268 | 0.2507 | 0.0783 | 4.8351 |
| 14            | 32            | 70             | 32             | 1             | 0.7451      | 0.8632 | 0.2792 | 0.0615 | 4.7542 |
| 14            | 32            | 70             | 64             | 1             | 1.3972      | 1.1821 | 0.4016 | 0.0954 | 6.6253 |
| 14            | 32            | 80             | 16             | 1             | 0.4950      | 0.7036 | 0.2400 | 0.0686 | 4.5710 |
| 14            | 32            | 80             | 32             | 1             | 0.7290      | 0.8538 | 0.2988 | 0.0969 | 6.1846 |
| 14            | 32            | 80             | 64             | 1             | 0.8990      | 0.9482 | 0.3049 | 0.0618 | 4.9859 |
| 14            | 32            | 90             | 16             | 1             | 0.4581      | 0.6768 | 0.2289 | 0.0632 | 4.4035 |
| 14            | 32            | 90             | 32             | 1             | 0.5939      | 0.7707 | 0.2609 | 0.0753 | 4.8285 |
| 14            | 32            | 90             | 64             | 1             | 0.9414      | 0.9702 | 0.3094 | 0.0625 | 4.9461 |
| 14            | 32            | 100            | 16             | 1             | 0.4386      | 0.6622 | 0.2394 | 0.0848 | 5.2192 |
| 14            | 32            | 100            | 32             | 1             | 0.5929      | 0.7700 | 0.2641 | 0.0800 | 5.2024 |
| 14            | 32            | 100            | 64             | 1             | 0.9831      | 0.9915 | 0.3153 | 0.0656 | 5.0177 |
| 14            | 64            | 50             | 16             | 1             | 0.4209      | 0.6488 | 0.2350 | 0.0753 | 4.9288 |
| 14            | 64            | 50             | 32             | 1             | 0.5837      | 0.7640 | 0.2549 | 0.0653 | 4.6558 |
| 14            | 64            | 50             | 64             | 1             | 0.8816      | 0.9389 | 0.3078 | 0.0653 | 5.0815 |
| 14            | 64            | 60             | 16             | 1             | 0.4567      | 0.6758 | 0.2908 | 0.1486 | 7.6128 |
| 14            | 64            | 60             | 32             | 1             | 0.5163      | 0.7185 | 0.2432 | 0.0665 | 4.5397 |
| 14            | 64            | 60             | 64             | 1             | 0.7121      | 0.8439 | 0.2779 | 0.0687 | 4.8021 |
| 14            | 64            | 70             | 16             | 1             | 0.4180      | 0.6465 | 0.2529 | 0.1129 | 6.1950 |
| 14            | 64            | 70             | 32             | 1             | 0.4842      | 0.6958 | 0.2638 | 0.1012 | 5.8807 |
| 14            | 64            | 70             | 64             | 1             | 0.6276      | 0.7922 | 0.2609 | 0.0628 | 4.6247 |
| 14            | 64            | 80             | 16             | 1             | 0.4478      | 0.6692 | 0.2287 | 0.0630 | 4.4147 |
| 14            | 64            | 80             | 32             | 1             | 0.4462      | 0.6680 | 0.2308 | 0.0655 | 4.5312 |
| 14            | 64            | 80             | 64             | 1             | 0.6007      | 0.7751 | 0.2653 | 0.0749 | 4.8276 |
| 14            | 64            | 90             | 16             | 1             | 0.4351      | 0.6596 | 0.2433 | 0.0692 | 4.7563 |
| 14            | 64            | 90             | 32             | 1             | 0.6323      | 0.7951 | 0.2663 | 0.0624 | 4.7022 |
| 14            | 64            | 90             | 64             | 1             | 0.6946      | 0.8334 | 0.2814 | 0.0732 | 4.9648 |
| 14            | 64            | 100            | 16             | 1             | 0.4517      | 0.6721 | 0.2418 | 0.0719 | 4.9977 |
| 14            | 64            | 100            | 32             | 1             | 0.4168      | 0.6456 | 0.2195 | 0.0637 | 4.3866 |
| 14            | 64            | 100            | 64             | 1             | 0.5158      | 0.7182 | 0.2601 | 0.0724 | 5.2087 |
| 30            | 16            | 50             | 16             | 1             | 0.9753      | 0.9876 | 0.3257 | 0.0771 | 5.2937 |
| 30            | 16            | 50             | 32             | 1             | 1.8914      | 1.3753 | 0.4344 | 0.0630 | 5.8840 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 16            | 50             | 64             | 1             | 3.0273      | 1.7399 | 0.5910 | 0.1120 | 8.3324 |
| 30            | 16            | 60             | 16             | 1             | 0.8211      | 0.9061 | 0.3018 | 0.0755 | 5.2809 |
| 30            | 16            | 60             | 32             | 1             | 1.4106      | 1.1877 | 0.3856 | 0.0735 | 5.9561 |
| 30            | 16            | 60             | 64             | 1             | 2.9207      | 1.7090 | 0.5795 | 0.1001 | 8.3707 |
| 30            | 16            | 70             | 16             | 1             | 0.8146      | 0.9026 | 0.3088 | 0.0863 | 5.6507 |
| 30            | 16            | 70             | 32             | 1             | 1.1039      | 1.0507 | 0.3460 | 0.0734 | 5.5405 |
| 30            | 16            | 70             | 64             | 1             | 2.7988      | 1.6730 | 0.5642 | 0.1031 | 8.2612 |
| 30            | 16            | 80             | 16             | 1             | 0.7987      | 0.8937 | 0.2905 | 0.0625 | 4.8169 |
| 30            | 16            | 80             | 32             | 1             | 1.2393      | 1.1132 | 0.3684 | 0.0693 | 5.7867 |
| 30            | 16            | 80             | 64             | 1             | 1.7625      | 1.3276 | 0.4246 | 0.0680 | 6.0211 |
| 30            | 16            | 90             | 16             | 1             | 0.6117      | 0.7821 | 0.2636 | 0.0698 | 4.7926 |
| 30            | 16            | 90             | 32             | 1             | 1.0380      | 1.0188 | 0.3261 | 0.0661 | 5.0432 |
| 30            | 16            | 90             | 64             | 1             | 1.8037      | 1.3430 | 0.4267 | 0.0656 | 5.9918 |
| 30            | 16            | 100            | 16             | 1             | 0.6321      | 0.7950 | 0.2976 | 0.1086 | 6.0001 |
| 30            | 16            | 100            | 32             | 1             | 0.8952      | 0.9461 | 0.3151 | 0.0741 | 5.1854 |
| 30            | 16            | 100            | 64             | 1             | 1.8714      | 1.3680 | 0.4366 | 0.0712 | 6.1567 |
| 30            | 32            | 50             | 16             | 1             | 0.7055      | 0.8400 | 0.2932 | 0.0887 | 5.6073 |
| 30            | 32            | 50             | 32             | 1             | 0.8018      | 0.8954 | 0.2949 | 0.0652 | 4.8690 |
| 30            | 32            | 50             | 64             | 1             | 1.6457      | 1.2828 | 0.4275 | 0.0750 | 6.4013 |
| 30            | 32            | 60             | 16             | 1             | 0.7601      | 0.8718 | 0.2930 | 0.0649 | 4.8808 |
| 30            | 32            | 60             | 32             | 1             | 0.8804      | 0.9383 | 0.3087 | 0.0685 | 5.1205 |
| 30            | 32            | 60             | 64             | 1             | 1.1736      | 1.0833 | 0.3511 | 0.0665 | 5.3149 |
| 30            | 32            | 70             | 16             | 1             | 0.5918      | 0.7693 | 0.2675 | 0.0754 | 5.1046 |
| 30            | 32            | 70             | 32             | 1             | 0.8139      | 0.9022 | 0.3041 | 0.0831 | 5.3483 |
| 30            | 32            | 70             | 64             | 1             | 1.0332      | 1.0164 | 0.3277 | 0.0646 | 5.0607 |
| 30            | 32            | 80             | 16             | 1             | 0.5271      | 0.7261 | 0.2587 | 0.0777 | 4.8295 |
| 30            | 32            | 80             | 32             | 1             | 0.8861      | 0.9413 | 0.3135 | 0.0789 | 5.3211 |
| 30            | 32            | 80             | 64             | 1             | 1.2238      | 1.1063 | 0.3569 | 0.0668 | 5.4152 |
| 30            | 32            | 90             | 16             | 1             | 0.5350      | 0.7314 | 0.2576 | 0.0661 | 4.8077 |
| 30            | 32            | 90             | 32             | 1             | 0.7081      | 0.8415 | 0.2790 | 0.0639 | 4.7496 |
| 30            | 32            | 90             | 64             | 1             | 1.0623      | 1.0307 | 0.3323 | 0.0655 | 5.1459 |
| 30            | 32            | 100            | 16             | 1             | 0.4955      | 0.7039 | 0.2443 | 0.0719 | 4.6502 |
| 30            | 32            | 100            | 32             | 1             | 0.5702      | 0.7551 | 0.2536 | 0.0679 | 4.7180 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 32            | 100            | 64             | 1             | 1.1255      | 1.0609 | 0.3379 | 0.0582 | 5.1176 |
| 30            | 64            | 50             | 16             | 1             | 0.4727      | 0.6875 | 0.2436 | 0.0688 | 4.8432 |
| 30            | 64            | 50             | 32             | 1             | 0.5228      | 0.7231 | 0.2548 | 0.0707 | 4.9000 |
| 30            | 64            | 50             | 64             | 1             | 0.9003      | 0.9488 | 0.3123 | 0.0654 | 5.1184 |
| 30            | 64            | 60             | 16             | 1             | 0.5112      | 0.7149 | 0.2544 | 0.0737 | 4.7284 |
| 30            | 64            | 60             | 32             | 1             | 0.6113      | 0.7819 | 0.2861 | 0.0969 | 6.0108 |
| 30            | 64            | 60             | 64             | 1             | 0.6862      | 0.8284 | 0.2887 | 0.0788 | 5.4559 |
| 30            | 64            | 70             | 16             | 1             | 0.4669      | 0.6833 | 0.3078 | 0.1539 | 7.6030 |
| 30            | 64            | 70             | 32             | 1             | 0.5304      | 0.7283 | 0.2582 | 0.0712 | 4.8341 |
| 30            | 64            | 70             | 64             | 1             | 0.7119      | 0.8438 | 0.2944 | 0.0806 | 5.5044 |
| 30            | 64            | 80             | 16             | 1             | 0.5428      | 0.7367 | 0.2698 | 0.0688 | 4.8655 |
| 30            | 64            | 80             | 32             | 1             | 0.5363      | 0.7323 | 0.2607 | 0.0667 | 4.7288 |
| 30            | 64            | 80             | 64             | 1             | 0.6331      | 0.7957 | 0.2670 | 0.0647 | 4.6354 |
| 30            | 64            | 90             | 16             | 1             | 0.4775      | 0.6910 | 0.2679 | 0.1069 | 5.8287 |
| 30            | 64            | 90             | 32             | 1             | 0.4715      | 0.6867 | 0.2724 | 0.1122 | 6.0625 |
| 30            | 64            | 90             | 64             | 1             | 0.5249      | 0.7245 | 0.2823 | 0.1140 | 6.1589 |
| 30            | 64            | 100            | 16             | 1             | 0.5094      | 0.7137 | 0.2878 | 0.0990 | 5.9007 |
| 30            | 64            | 100            | 32             | 1             | 0.5187      | 0.7202 | 0.2629 | 0.0813 | 5.3159 |
| 30            | 64            | 100            | 64             | 1             | 0.5956      | 0.7718 | 0.2635 | 0.0684 | 4.7365 |
| 7             | 16            | 50             | 16             | 2             | 0.9390      | 0.9690 | 0.3259 | 0.0906 | 6.1162 |
| 7             | 16            | 50             | 32             | 2             | 1.3813      | 1.1753 | 0.3843 | 0.0829 | 6.1381 |
| 7             | 16            | 50             | 64             | 2             | 1.8164      | 1.3477 | 0.4311 | 0.0706 | 6.3953 |
| 7             | 16            | 60             | 16             | 2             | 1.1127      | 1.0548 | 0.3371 | 0.0528 | 5.4058 |
| 7             | 16            | 60             | 32             | 2             | 1.1515      | 1.0731 | 0.3686 | 0.1043 | 7.0353 |
| 7             | 16            | 60             | 64             | 2             | 1.6741      | 1.2939 | 0.4027 | 0.0652 | 5.7791 |
| 7             | 16            | 70             | 16             | 2             | 1.0456      | 1.0226 | 0.3232 | 0.0571 | 5.0722 |
| 7             | 16            | 70             | 32             | 2             | 1.1361      | 1.0659 | 0.3461 | 0.0769 | 5.9096 |
| 7             | 16            | 70             | 64             | 2             | 1.7824      | 1.3351 | 0.4139 | 0.0618 | 5.7883 |
| 7             | 16            | 80             | 16             | 2             | 1.0621      | 1.0306 | 0.3318 | 0.0668 | 5.3798 |
| 7             | 16            | 80             | 32             | 2             | 0.9852      | 0.9926 | 0.3158 | 0.0615 | 5.0162 |
| 7             | 16            | 80             | 64             | 2             | 1.7032      | 1.3051 | 0.3997 | 0.0656 | 5.6702 |
| 7             | 16            | 90             | 16             | 2             | 0.8098      | 0.8999 | 0.2913 | 0.0669 | 5.1497 |
| 7             | 16            | 90             | 32             | 2             | 0.9505      | 0.9749 | 0.3328 | 0.1006 | 6.3995 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 16            | 90             | 64             | 2             | 1.4199      | 1.1916 | 0.3809 | 0.0881 | 6.1856 |
| 7             | 16            | 100            | 16             | 2             | 0.6588      | 0.8117 | 0.2960 | 0.1168 | 6.5477 |
| 7             | 16            | 100            | 32             | 2             | 0.9156      | 0.9569 | 0.3109 | 0.0692 | 5.1811 |
| 7             | 16            | 100            | 64             | 2             | 1.3503      | 1.1620 | 0.3673 | 0.0631 | 5.6489 |
| 7             | 32            | 50             | 16             | 2             | 0.6604      | 0.8126 | 0.2719 | 0.0857 | 5.4780 |
| 7             | 32            | 50             | 32             | 2             | 0.8725      | 0.9341 | 0.2932 | 0.0589 | 4.7884 |
| 7             | 32            | 50             | 64             | 2             | 1.2479      | 1.1171 | 0.3501 | 0.0699 | 5.3231 |
| 7             | 32            | 60             | 16             | 2             | 0.7256      | 0.8518 | 0.2840 | 0.0654 | 4.8528 |
| 7             | 32            | 60             | 32             | 2             | 0.8797      | 0.9379 | 0.2955 | 0.0560 | 4.8070 |
| 7             | 32            | 60             | 64             | 2             | 1.1836      | 1.0879 | 0.3402 | 0.0656 | 5.2469 |
| 7             | 32            | 70             | 16             | 2             | 0.6048      | 0.7777 | 0.2664 | 0.0822 | 5.4110 |
| 7             | 32            | 70             | 32             | 2             | 0.7993      | 0.8940 | 0.2944 | 0.0779 | 5.3641 |
| 7             | 32            | 70             | 64             | 2             | 1.0985      | 1.0481 | 0.3372 | 0.0766 | 5.6532 |
| 7             | 32            | 80             | 16             | 2             | 0.6132      | 0.7831 | 0.2586 | 0.0630 | 4.8216 |
| 7             | 32            | 80             | 32             | 2             | 0.6588      | 0.8117 | 0.2813 | 0.0901 | 5.5828 |
| 7             | 32            | 80             | 64             | 2             | 0.8368      | 0.9148 | 0.2995 | 0.0792 | 5.4271 |
| 7             | 32            | 90             | 16             | 2             | 0.7675      | 0.8761 | 0.2761 | 0.0599 | 4.6402 |
| 7             | 32            | 90             | 32             | 2             | 0.7276      | 0.8530 | 0.2773 | 0.0656 | 4.8472 |
| 7             | 32            | 90             | 64             | 2             | 1.0094      | 1.0047 | 0.3151 | 0.0599 | 4.9020 |
| 7             | 32            | 100            | 16             | 2             | 0.5913      | 0.7690 | 0.2558 | 0.0645 | 4.6880 |
| 7             | 32            | 100            | 32             | 2             | 0.8231      | 0.9072 | 0.2937 | 0.0704 | 4.9434 |
| 7             | 32            | 100            | 64             | 2             | 0.8424      | 0.9178 | 0.2954 | 0.0656 | 4.9325 |
| 7             | 64            | 50             | 16             | 2             | 0.6423      | 0.8014 | 0.2670 | 0.0608 | 4.6551 |
| 7             | 64            | 50             | 32             | 2             | 0.7463      | 0.8639 | 0.2835 | 0.0656 | 4.9509 |
| 7             | 64            | 50             | 64             | 2             | 0.7873      | 0.8873 | 0.2888 | 0.0633 | 4.9783 |
| 7             | 64            | 60             | 16             | 2             | 0.6563      | 0.8101 | 0.2686 | 0.0635 | 4.9067 |
| 7             | 64            | 60             | 32             | 2             | 0.6233      | 0.7895 | 0.2644 | 0.0667 | 4.9760 |
| 7             | 64            | 60             | 64             | 2             | 0.6782      | 0.8235 | 0.2892 | 0.0947 | 5.7673 |
| 7             | 64            | 70             | 16             | 2             | 0.6214      | 0.7883 | 0.2615 | 0.0784 | 5.3061 |
| 7             | 64            | 70             | 32             | 2             | 0.7012      | 0.8374 | 0.2863 | 0.0833 | 5.5259 |
| 7             | 64            | 70             | 64             | 2             | 0.7329      | 0.8561 | 0.2889 | 0.0785 | 5.1180 |
| 7             | 64            | 80             | 16             | 2             | 0.6472      | 0.8045 | 0.2794 | 0.0670 | 5.1432 |
| 7             | 64            | 80             | 32             | 2             | 0.6245      | 0.7903 | 0.2848 | 0.1029 | 5.7849 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 64            | 80             | 64             | 2             | 0.7079      | 0.8414 | 0.2788 | 0.0669 | 5.1055 |
| 7             | 64            | 90             | 16             | 2             | 0.7537      | 0.8682 | 0.3053 | 0.1002 | 6.2759 |
| 7             | 64            | 90             | 32             | 2             | 0.7992      | 0.8940 | 0.3109 | 0.0917 | 5.9056 |
| 7             | 64            | 90             | 64             | 2             | 0.6347      | 0.7967 | 0.2651 | 0.0647 | 4.8055 |
| 7             | 64            | 100            | 16             | 2             | 0.7719      | 0.8786 | 0.3034 | 0.0760 | 5.1276 |
| 7             | 64            | 100            | 32             | 2             | 0.6595      | 0.8121 | 0.2684 | 0.0592 | 4.6374 |
| 7             | 64            | 100            | 64             | 2             | 0.7333      | 0.8563 | 0.2881 | 0.0665 | 4.9571 |
| 14            | 16            | 50             | 16             | 2             | 0.8459      | 0.9197 | 0.3320 | 0.1042 | 5.9353 |
| 14            | 16            | 50             | 32             | 2             | 1.4612      | 1.2088 | 0.3795 | 0.0672 | 5.5117 |
| 14            | 16            | 50             | 64             | 2             | 2.0299      | 1.4247 | 0.4489 | 0.0705 | 6.3820 |
| 14            | 16            | 60             | 16             | 2             | 0.7692      | 0.8771 | 0.2826 | 0.0613 | 4.8152 |
| 14            | 16            | 60             | 32             | 2             | 1.4314      | 1.1964 | 0.3786 | 0.0643 | 5.5128 |
| 14            | 16            | 60             | 64             | 2             | 2.1301      | 1.4595 | 0.4844 | 0.1035 | 7.5119 |
| 14            | 16            | 70             | 16             | 2             | 0.7650      | 0.8747 | 0.3287 | 0.1339 | 6.7966 |
| 14            | 16            | 70             | 32             | 2             | 0.9816      | 0.9907 | 0.3250 | 0.0817 | 5.5518 |
| 14            | 16            | 70             | 64             | 2             | 2.1770      | 1.4755 | 0.4638 | 0.0750 | 6.6423 |
| 14            | 16            | 80             | 16             | 2             | 0.7241      | 0.8510 | 0.2900 | 0.0686 | 5.2412 |
| 14            | 16            | 80             | 32             | 2             | 1.0421      | 1.0208 | 0.3254 | 0.0750 | 5.3877 |
| 14            | 16            | 80             | 64             | 2             | 1.4786      | 1.2160 | 0.4100 | 0.0781 | 6.4777 |
| 14            | 16            | 90             | 16             | 2             | 0.8048      | 0.8971 | 0.2859 | 0.0713 | 4.9574 |
| 14            | 16            | 90             | 32             | 2             | 1.0928      | 1.0453 | 0.3638 | 0.1067 | 6.5112 |
| 14            | 16            | 90             | 64             | 2             | 1.6972      | 1.3028 | 0.4200 | 0.0875 | 6.5093 |
| 14            | 16            | 100            | 16             | 2             | 0.6394      | 0.7996 | 0.2657 | 0.0679 | 4.8372 |
| 14            | 16            | 100            | 32             | 2             | 0.8374      | 0.9151 | 0.2903 | 0.0622 | 4.7877 |
| 14            | 16            | 100            | 64             | 2             | 1.6558      | 1.2868 | 0.4012 | 0.0630 | 5.6502 |
| 14            | 32            | 50             | 16             | 2             | 0.6229      | 0.7893 | 0.2674 | 0.0676 | 4.9542 |
| 14            | 32            | 50             | 32             | 2             | 0.7267      | 0.8525 | 0.2995 | 0.1008 | 6.0917 |
| 14            | 32            | 50             | 64             | 2             | 1.2111      | 1.1005 | 0.3578 | 0.0807 | 5.9197 |
| 14            | 32            | 60             | 16             | 2             | 0.7959      | 0.8922 | 0.3355 | 0.1251 | 7.3044 |
| 14            | 32            | 60             | 32             | 2             | 0.8162      | 0.9034 | 0.2898 | 0.0663 | 4.8406 |
| 14            | 32            | 60             | 64             | 2             | 1.2250      | 1.1068 | 0.3526 | 0.0672 | 5.5311 |
| 14            | 32            | 70             | 16             | 2             | 0.6331      | 0.7957 | 0.2660 | 0.0646 | 4.7125 |
| 14            | 32            | 70             | 32             | 2             | 0.8288      | 0.9104 | 0.3637 | 0.1700 | 8.7153 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 32            | 70             | 64             | 2             | 1.0305      | 1.0151 | 0.3284 | 0.0660 | 5.4768 |
| 14            | 32            | 80             | 16             | 2             | 0.5757      | 0.7588 | 0.2569 | 0.0749 | 4.9065 |
| 14            | 32            | 80             | 32             | 2             | 0.8545      | 0.9244 | 0.3317 | 0.1179 | 6.9118 |
| 14            | 32            | 80             | 64             | 2             | 0.7700      | 0.8775 | 0.3039 | 0.0879 | 5.7631 |
| 14            | 32            | 90             | 16             | 2             | 0.6460      | 0.8037 | 0.2787 | 0.0743 | 5.0582 |
| 14            | 32            | 90             | 32             | 2             | 0.7512      | 0.8667 | 0.3037 | 0.0994 | 6.0796 |
| 14            | 32            | 90             | 64             | 2             | 0.8256      | 0.9086 | 0.3039 | 0.0839 | 5.2166 |
| 14            | 32            | 100            | 16             | 2             | 0.5781      | 0.7603 | 0.2543 | 0.0621 | 4.6222 |
| 14            | 32            | 100            | 32             | 2             | 0.8044      | 0.8969 | 0.3050 | 0.0899 | 5.7274 |
| 14            | 32            | 100            | 64             | 2             | 0.7795      | 0.8829 | 0.2873 | 0.0629 | 4.9474 |
| 14            | 64            | 50             | 16             | 2             | 0.9141      | 0.9561 | 0.3767 | 0.1608 | 9.4109 |
| 14            | 64            | 50             | 32             | 2             | 0.6735      | 0.8207 | 0.2793 | 0.0722 | 5.0776 |
| 14            | 64            | 50             | 64             | 2             | 0.8847      | 0.9406 | 0.3129 | 0.0852 | 5.6977 |
| 14            | 64            | 60             | 16             | 2             | 0.5694      | 0.7546 | 0.2701 | 0.0732 | 5.1526 |
| 14            | 64            | 60             | 32             | 2             | 0.6265      | 0.7915 | 0.2627 | 0.0678 | 4.8094 |
| 14            | 64            | 60             | 64             | 2             | 0.7611      | 0.8724 | 0.3105 | 0.0993 | 5.9330 |
| 14            | 64            | 70             | 16             | 2             | 0.6461      | 0.8038 | 0.2931 | 0.0898 | 5.7030 |
| 14            | 64            | 70             | 32             | 2             | 0.6652      | 0.8156 | 0.2925 | 0.0919 | 5.7647 |
| 14            | 64            | 70             | 64             | 2             | 0.7063      | 0.8404 | 0.2799 | 0.0700 | 5.0783 |
| 14            | 64            | 80             | 16             | 2             | 0.5853      | 0.7651 | 0.3001 | 0.1302 | 6.8250 |
| 14            | 64            | 80             | 32             | 2             | 0.6485      | 0.8053 | 0.2665 | 0.0694 | 4.7420 |
| 14            | 64            | 80             | 64             | 2             | 0.6470      | 0.8043 | 0.2762 | 0.0817 | 5.0196 |
| 14            | 64            | 90             | 16             | 2             | 0.6253      | 0.7907 | 0.2757 | 0.0768 | 5.0994 |
| 14            | 64            | 90             | 32             | 2             | 0.6138      | 0.7834 | 0.2917 | 0.1030 | 5.8997 |
| 14            | 64            | 90             | 64             | 2             | 0.7035      | 0.8387 | 0.2781 | 0.0660 | 4.8825 |
| 14            | 64            | 100            | 16             | 2             | 0.7018      | 0.8378 | 0.2867 | 0.0636 | 4.9242 |
| 14            | 64            | 100            | 32             | 2             | 0.9140      | 0.9560 | 0.3324 | 0.0811 | 5.5268 |
| 14            | 64            | 100            | 64             | 2             | 0.6811      | 0.8253 | 0.3159 | 0.1265 | 7.0770 |
| 30            | 16            | 50             | 16             | 2             | 1.0471      | 1.0233 | 0.3358 | 0.0771 | 5.6190 |
| 30            | 16            | 50             | 32             | 2             | 1.4400      | 1.2000 | 0.3868 | 0.0754 | 5.8612 |
| 30            | 16            | 50             | 64             | 2             | 2.4520      | 1.5659 | 0.4991 | 0.0723 | 6.7694 |
| 30            | 16            | 60             | 16             | 2             | 0.9002      | 0.9488 | 0.3124 | 0.0671 | 5.0691 |
| 30            | 16            | 60             | 32             | 2             | 1.3225      | 1.1500 | 0.3665 | 0.0643 | 5.3687 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 16            | 60             | 64             | 2             | 2.0125      | 1.4186 | 0.4501 | 0.0698 | 6.0664 |
| 30            | 16            | 70             | 16             | 2             | 0.8270      | 0.9094 | 0.3181 | 0.0866 | 5.8088 |
| 30            | 16            | 70             | 32             | 2             | 1.1647      | 1.0792 | 0.3873 | 0.1246 | 7.0304 |
| 30            | 16            | 70             | 64             | 2             | 2.0062      | 1.4164 | 0.4470 | 0.0606 | 5.8911 |
| 30            | 16            | 80             | 16             | 2             | 0.8237      | 0.9076 | 0.3458 | 0.1203 | 6.5498 |
| 30            | 16            | 80             | 32             | 2             | 0.9469      | 0.9731 | 0.3176 | 0.0627 | 5.0753 |
| 30            | 16            | 80             | 64             | 2             | 1.3810      | 1.1751 | 0.3799 | 0.0733 | 5.7653 |
| 30            | 16            | 90             | 16             | 2             | 0.7807      | 0.8836 | 0.3053 | 0.0976 | 5.9061 |
| 30            | 16            | 90             | 32             | 2             | 0.8698      | 0.9327 | 0.3092 | 0.0743 | 5.2060 |
| 30            | 16            | 90             | 64             | 2             | 1.3666      | 1.1690 | 0.3948 | 0.0942 | 6.6771 |
| 30            | 16            | 100            | 16             | 2             | 0.7377      | 0.8589 | 0.2974 | 0.0767 | 5.3901 |
| 30            | 16            | 100            | 32             | 2             | 0.8374      | 0.9151 | 0.3268 | 0.1143 | 6.5680 |
| 30            | 16            | 100            | 64             | 2             | 1.3066      | 1.1431 | 0.3835 | 0.0923 | 6.4607 |
| 30            | 32            | 50             | 16             | 2             | 0.7704      | 0.8777 | 0.2912 | 0.0715 | 4.9200 |
| 30            | 32            | 50             | 32             | 2             | 0.9171      | 0.9576 | 0.3171 | 0.0695 | 5.2713 |
| 30            | 32            | 50             | 64             | 2             | 1.3497      | 1.1618 | 0.3750 | 0.0686 | 5.6154 |
| 30            | 32            | 60             | 16             | 2             | 0.8701      | 0.9328 | 0.3239 | 0.0916 | 5.8793 |
| 30            | 32            | 60             | 32             | 2             | 0.8057      | 0.8976 | 0.3026 | 0.0698 | 5.0219 |
| 30            | 32            | 60             | 64             | 2             | 1.3295      | 1.1530 | 0.4139 | 0.1251 | 7.7933 |
| 30            | 32            | 70             | 16             | 2             | 0.8326      | 0.9125 | 0.3221 | 0.0909 | 5.8511 |
| 30            | 32            | 70             | 32             | 2             | 0.8033      | 0.8963 | 0.3076 | 0.0659 | 5.0389 |
| 30            | 32            | 70             | 64             | 2             | 0.9291      | 0.9639 | 0.3498 | 0.1170 | 6.9846 |
| 30            | 32            | 80             | 16             | 2             | 0.5787      | 0.7607 | 0.2586 | 0.0643 | 4.7299 |
| 30            | 32            | 80             | 32             | 2             | 0.7168      | 0.8466 | 0.2839 | 0.0763 | 5.0696 |
| 30            | 32            | 80             | 64             | 2             | 1.0114      | 1.0057 | 0.3290 | 0.0670 | 5.3645 |
| 30            | 32            | 90             | 16             | 2             | 0.5558      | 0.7455 | 0.2750 | 0.0758 | 5.2022 |
| 30            | 32            | 90             | 32             | 2             | 0.7092      | 0.8421 | 0.3505 | 0.1748 | 8.9268 |
| 30            | 32            | 90             | 64             | 2             | 0.8911      | 0.9440 | 0.3155 | 0.0751 | 5.3459 |
| 30            | 32            | 100            | 16             | 2             | 0.6043      | 0.7774 | 0.2691 | 0.0794 | 5.1675 |
| 30            | 32            | 100            | 32             | 2             | 0.6122      | 0.7824 | 0.2732 | 0.0727 | 4.8767 |
| 30            | 32            | 100            | 64             | 2             | 0.9042      | 0.9509 | 0.3130 | 0.0714 | 5.2504 |
| 30            | 64            | 50             | 16             | 2             | 0.6356      | 0.7972 | 0.3439 | 0.1763 | 8.8392 |
| 30            | 64            | 50             | 32             | 2             | 0.9017      | 0.9496 | 0.3423 | 0.0985 | 6.6014 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |         |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE    |
| 30            | 64            | 50             | 64             | 2             | 0.9064      | 0.9521 | 0.3243 | 0.0700 | 5.2342  |
| 30            | 64            | 60             | 16             | 2             | 0.6264      | 0.7914 | 0.3854 | 0.2359 | 11.0948 |
| 30            | 64            | 60             | 32             | 2             | 0.5828      | 0.7634 | 0.2724 | 0.0846 | 5.2471  |
| 30            | 64            | 60             | 64             | 2             | 0.7105      | 0.8429 | 0.3042 | 0.0953 | 5.4948  |
| 30            | 64            | 70             | 16             | 2             | 0.5415      | 0.7359 | 0.2750 | 0.0914 | 5.7153  |
| 30            | 64            | 70             | 32             | 2             | 0.7497      | 0.8659 | 0.2873 | 0.0675 | 4.8924  |
| 30            | 64            | 70             | 64             | 2             | 0.7512      | 0.8667 | 0.3199 | 0.1066 | 6.3126  |
| 30            | 64            | 80             | 16             | 2             | 0.6986      | 0.8358 | 0.2933 | 0.0878 | 5.4149  |
| 30            | 64            | 80             | 32             | 2             | 0.8207      | 0.9059 | 0.3501 | 0.1200 | 7.2716  |
| 30            | 64            | 80             | 64             | 2             | 0.6287      | 0.7929 | 0.2830 | 0.0747 | 5.2598  |
| 30            | 64            | 90             | 16             | 2             | 0.7285      | 0.8535 | 0.3068 | 0.1008 | 5.7948  |
| 30            | 64            | 90             | 32             | 2             | 0.6190      | 0.7868 | 0.2747 | 0.0806 | 5.3429  |
| 30            | 64            | 90             | 64             | 2             | 0.8027      | 0.8959 | 0.3024 | 0.0745 | 5.3345  |
| 30            | 64            | 100            | 16             | 2             | 0.7146      | 0.8453 | 0.3050 | 0.1018 | 6.0330  |
| 30            | 64            | 100            | 32             | 2             | 0.7061      | 0.8403 | 0.2814 | 0.0649 | 4.7911  |
| 30            | 64            | 100            | 64             | 2             | 0.6381      | 0.7988 | 0.2843 | 0.0735 | 5.3430  |
| 7             | 16            | 50             | 16             | 3             | 0.9380      | 0.9685 | 0.3275 | 0.0918 | 6.0244  |
| 7             | 16            | 50             | 32             | 3             | 1.2517      | 1.1188 | 0.3744 | 0.0980 | 6.8079  |
| 7             | 16            | 50             | 64             | 3             | 1.6108      | 1.2692 | 0.3983 | 0.0723 | 5.9627  |
| 7             | 16            | 60             | 16             | 3             | 1.2722      | 1.1279 | 0.3667 | 0.0827 | 5.8399  |
| 7             | 16            | 60             | 32             | 3             | 1.3668      | 1.1691 | 0.3902 | 0.0860 | 6.2325  |
| 7             | 16            | 60             | 64             | 3             | 1.9321      | 1.3900 | 0.4508 | 0.1009 | 7.1538  |
| 7             | 16            | 70             | 16             | 3             | 1.0912      | 1.0446 | 0.3469 | 0.0757 | 5.5537  |
| 7             | 16            | 70             | 32             | 3             | 1.2815      | 1.1321 | 0.3743 | 0.0817 | 6.2631  |
| 7             | 16            | 70             | 64             | 3             | 1.5439      | 1.2425 | 0.3915 | 0.0744 | 6.0229  |
| 7             | 16            | 80             | 16             | 3             | 0.8899      | 0.9434 | 0.3046 | 0.0683 | 5.2710  |
| 7             | 16            | 80             | 32             | 3             | 1.0434      | 1.0215 | 0.3371 | 0.0742 | 5.7320  |
| 7             | 16            | 80             | 64             | 3             | 1.7603      | 1.3267 | 0.4126 | 0.0627 | 5.7712  |
| 7             | 16            | 90             | 16             | 3             | 1.2393      | 1.1132 | 0.3504 | 0.0684 | 5.5263  |
| 7             | 16            | 90             | 32             | 3             | 0.9563      | 0.9779 | 0.3552 | 0.1329 | 8.0293  |
| 7             | 16            | 90             | 64             | 3             | 1.5610      | 1.2494 | 0.3919 | 0.0675 | 5.7763  |
| 7             | 16            | 100            | 16             | 3             | 0.8028      | 0.8960 | 0.2853 | 0.0664 | 4.9925  |
| 7             | 16            | 100            | 32             | 3             | 1.1337      | 1.0648 | 0.3367 | 0.0705 | 5.4670  |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 16            | 100            | 64             | 3             | 1.6709      | 1.2926 | 0.4287 | 0.0998 | 7.1000 |
| 7             | 32            | 50             | 16             | 3             | 0.8128      | 0.9016 | 0.3084 | 0.0731 | 5.3449 |
| 7             | 32            | 50             | 32             | 3             | 1.2720      | 1.1278 | 0.3721 | 0.1059 | 6.9414 |
| 7             | 32            | 50             | 64             | 3             | 1.4425      | 1.2010 | 0.4165 | 0.1216 | 8.0677 |
| 7             | 32            | 60             | 16             | 3             | 0.8622      | 0.9286 | 0.2967 | 0.0579 | 4.8676 |
| 7             | 32            | 60             | 32             | 3             | 0.9369      | 0.9679 | 0.3088 | 0.0560 | 4.9168 |
| 7             | 32            | 60             | 64             | 3             | 1.2466      | 1.1165 | 0.3821 | 0.1125 | 7.0045 |
| 7             | 32            | 70             | 16             | 3             | 0.7176      | 0.8471 | 0.2867 | 0.0882 | 5.7855 |
| 7             | 32            | 70             | 32             | 3             | 0.9154      | 0.9568 | 0.3114 | 0.0765 | 5.4983 |
| 7             | 32            | 70             | 64             | 3             | 1.2327      | 1.1103 | 0.3501 | 0.0651 | 5.2887 |
| 7             | 32            | 80             | 16             | 3             | 1.5325      | 1.2379 | 0.3753 | 0.0610 | 5.8150 |
| 7             | 32            | 80             | 32             | 3             | 0.6918      | 0.8317 | 0.2655 | 0.0603 | 4.6334 |
| 7             | 32            | 80             | 64             | 3             | 0.9524      | 0.9759 | 0.3106 | 0.0580 | 4.8799 |
| 7             | 32            | 90             | 16             | 3             | 0.7939      | 0.8910 | 0.3630 | 0.1602 | 8.2200 |
| 7             | 32            | 90             | 32             | 3             | 0.7876      | 0.8875 | 0.3528 | 0.1626 | 8.5836 |
| 7             | 32            | 90             | 64             | 3             | 1.2245      | 1.1066 | 0.3511 | 0.0694 | 5.3745 |
| 7             | 32            | 100            | 16             | 3             | 0.8117      | 0.9010 | 0.3286 | 0.1110 | 6.6262 |
| 7             | 32            | 100            | 32             | 3             | 1.1666      | 1.0801 | 0.3472 | 0.0651 | 5.4423 |
| 7             | 32            | 100            | 64             | 3             | 0.7843      | 0.8856 | 0.3081 | 0.1048 | 6.0978 |
| 7             | 64            | 50             | 16             | 3             | 0.8140      | 0.9022 | 0.3337 | 0.1174 | 7.0721 |
| 7             | 64            | 50             | 32             | 3             | 0.9848      | 0.9924 | 0.3527 | 0.1004 | 6.0295 |
| 7             | 64            | 50             | 64             | 3             | 1.0747      | 1.0367 | 0.3657 | 0.1106 | 6.9142 |
| 7             | 64            | 60             | 16             | 3             | 0.8354      | 0.9140 | 0.3196 | 0.0792 | 5.4746 |
| 7             | 64            | 60             | 32             | 3             | 0.6617      | 0.8135 | 0.3012 | 0.1123 | 6.2318 |
| 7             | 64            | 60             | 64             | 3             | 0.8140      | 0.9022 | 0.2878 | 0.0570 | 4.7444 |
| 7             | 64            | 70             | 16             | 3             | 1.0470      | 1.0232 | 0.4108 | 0.1718 | 8.6135 |
| 7             | 64            | 70             | 32             | 3             | 0.8230      | 0.9072 | 0.3052 | 0.0596 | 4.9328 |
| 7             | 64            | 70             | 64             | 3             | 0.8088      | 0.8993 | 0.2947 | 0.0712 | 4.9371 |
| 7             | 64            | 80             | 16             | 3             | 0.7203      | 0.8487 | 0.2749 | 0.0615 | 4.8931 |
| 7             | 64            | 80             | 32             | 3             | 0.6994      | 0.8363 | 0.2783 | 0.0718 | 4.9225 |
| 7             | 64            | 80             | 64             | 3             | 0.9293      | 0.9640 | 0.3180 | 0.0746 | 5.2113 |
| 7             | 64            | 90             | 16             | 3             | 0.8894      | 0.9431 | 0.3285 | 0.1266 | 7.5313 |
| 7             | 64            | 90             | 32             | 3             | 0.8597      | 0.9272 | 0.3166 | 0.1129 | 6.7602 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 64            | 90             | 64             | 3             | 0.8988      | 0.9481 | 0.3016 | 0.0573 | 4.8489 |
| 7             | 64            | 100            | 16             | 3             | 0.9649      | 0.9823 | 0.3265 | 0.0672 | 5.4821 |
| 7             | 64            | 100            | 32             | 3             | 1.0777      | 1.0381 | 0.3490 | 0.0672 | 5.5975 |
| 7             | 64            | 100            | 64             | 3             | 1.0293      | 1.0145 | 0.3342 | 0.0786 | 5.7546 |
| 14            | 16            | 50             | 16             | 3             | 0.8996      | 0.9485 | 0.3064 | 0.0745 | 5.1449 |
| 14            | 16            | 50             | 32             | 3             | 1.3250      | 1.1511 | 0.3737 | 0.0762 | 5.7684 |
| 14            | 16            | 50             | 64             | 3             | 1.9551      | 1.3982 | 0.4612 | 0.0999 | 7.5473 |
| 14            | 16            | 60             | 16             | 3             | 0.9077      | 0.9527 | 0.3262 | 0.1019 | 6.4827 |
| 14            | 16            | 60             | 32             | 3             | 1.1233      | 1.0598 | 0.4089 | 0.1700 | 9.5406 |
| 14            | 16            | 60             | 64             | 3             | 1.7035      | 1.3052 | 0.4322 | 0.0994 | 7.2626 |
| 14            | 16            | 70             | 16             | 3             | 0.8076      | 0.8986 | 0.2915 | 0.0751 | 5.3351 |
| 14            | 16            | 70             | 32             | 3             | 0.9654      | 0.9826 | 0.3167 | 0.0628 | 5.2220 |
| 14            | 16            | 70             | 64             | 3             | 2.0796      | 1.4421 | 0.4572 | 0.0658 | 6.2466 |
| 14            | 16            | 80             | 16             | 3             | 0.7179      | 0.8473 | 0.2818 | 0.0753 | 5.3298 |
| 14            | 16            | 80             | 32             | 3             | 1.0734      | 1.0361 | 0.3694 | 0.1103 | 6.7820 |
| 14            | 16            | 80             | 64             | 3             | 1.3410      | 1.1580 | 0.3733 | 0.0697 | 5.6222 |
| 14            | 16            | 90             | 16             | 3             | 0.7879      | 0.8877 | 0.2984 | 0.0785 | 5.1434 |
| 14            | 16            | 90             | 32             | 3             | 0.9217      | 0.9600 | 0.3161 | 0.0804 | 5.4109 |
| 14            | 16            | 90             | 64             | 3             | 1.3388      | 1.1571 | 0.3847 | 0.0980 | 6.5818 |
| 14            | 16            | 100            | 16             | 3             | 0.7556      | 0.8692 | 0.2693 | 0.0625 | 4.5937 |
| 14            | 16            | 100            | 32             | 3             | 0.8838      | 0.9401 | 0.3093 | 0.0663 | 5.2918 |
| 14            | 16            | 100            | 64             | 3             | 1.5352      | 1.2390 | 0.3904 | 0.0651 | 5.7211 |
| 14            | 32            | 50             | 16             | 3             | 0.7031      | 0.8385 | 0.2814 | 0.0694 | 5.0524 |
| 14            | 32            | 50             | 32             | 3             | 1.0277      | 1.0138 | 0.3378 | 0.0762 | 5.6885 |
| 14            | 32            | 50             | 64             | 3             | 1.3743      | 1.1723 | 0.3778 | 0.0699 | 5.9833 |
| 14            | 32            | 60             | 16             | 3             | 0.6957      | 0.8341 | 0.2969 | 0.1107 | 6.4206 |
| 14            | 32            | 60             | 32             | 3             | 0.8808      | 0.9385 | 0.3006 | 0.0690 | 5.1284 |
| 14            | 32            | 60             | 64             | 3             | 1.0538      | 1.0265 | 0.3432 | 0.0870 | 5.8570 |
| 14            | 32            | 70             | 16             | 3             | 0.7210      | 0.8491 | 0.2945 | 0.0847 | 5.3149 |
| 14            | 32            | 70             | 32             | 3             | 0.7867      | 0.8870 | 0.3001 | 0.0815 | 5.3018 |
| 14            | 32            | 70             | 64             | 3             | 0.9925      | 0.9962 | 0.3161 | 0.0627 | 4.9592 |
| 14            | 32            | 80             | 16             | 3             | 0.7388      | 0.8596 | 0.3030 | 0.0794 | 5.4233 |
| 14            | 32            | 80             | 32             | 3             | 0.8327      | 0.9125 | 0.2928 | 0.0645 | 4.8792 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 32            | 80             | 64             | 3             | 0.9403      | 0.9697 | 0.3651 | 0.1497 | 8.5533 |
| 14            | 32            | 90             | 16             | 3             | 0.6135      | 0.7833 | 0.2626 | 0.0722 | 4.9351 |
| 14            | 32            | 90             | 32             | 3             | 0.6397      | 0.7998 | 0.2648 | 0.0724 | 4.9054 |
| 14            | 32            | 90             | 64             | 3             | 0.9156      | 0.9569 | 0.3164 | 0.0650 | 5.1884 |
| 14            | 32            | 100            | 16             | 3             | 0.6621      | 0.8137 | 0.2745 | 0.0760 | 5.2189 |
| 14            | 32            | 100            | 32             | 3             | 0.7565      | 0.8698 | 0.2979 | 0.0928 | 5.8660 |
| 14            | 32            | 100            | 64             | 3             | 0.8399      | 0.9164 | 0.3043 | 0.0730 | 5.3492 |
| 14            | 64            | 50             | 16             | 3             | 0.7368      | 0.8584 | 0.3006 | 0.0861 | 5.5345 |
| 14            | 64            | 50             | 32             | 3             | 0.8371      | 0.9150 | 0.3035 | 0.0843 | 5.5931 |
| 14            | 64            | 50             | 64             | 3             | 0.7432      | 0.8621 | 0.2898 | 0.0718 | 5.0974 |
| 14            | 64            | 60             | 16             | 3             | 0.6575      | 0.8109 | 0.2751 | 0.0672 | 5.1332 |
| 14            | 64            | 60             | 32             | 3             | 0.7514      | 0.8668 | 0.2955 | 0.0781 | 5.3027 |
| 14            | 64            | 60             | 64             | 3             | 0.6964      | 0.8345 | 0.2757 | 0.0625 | 4.7742 |
| 14            | 64            | 70             | 16             | 3             | 0.6302      | 0.7939 | 0.2883 | 0.1099 | 6.6750 |
| 14            | 64            | 70             | 32             | 3             | 0.7242      | 0.8510 | 0.2993 | 0.0942 | 5.5404 |
| 14            | 64            | 70             | 64             | 3             | 0.9668      | 0.9833 | 0.3257 | 0.0670 | 5.3989 |
| 14            | 64            | 80             | 16             | 3             | 0.6897      | 0.8305 | 0.2885 | 0.0808 | 5.4617 |
| 14            | 64            | 80             | 32             | 3             | 0.6064      | 0.7787 | 0.2681 | 0.0793 | 5.2391 |
| 14            | 64            | 80             | 64             | 3             | 0.8268      | 0.9093 | 0.3043 | 0.0796 | 5.3164 |
| 14            | 64            | 90             | 16             | 3             | 0.9374      | 0.9682 | 0.3890 | 0.1795 | 9.4885 |
| 14            | 64            | 90             | 32             | 3             | 0.6911      | 0.8313 | 0.2828 | 0.0748 | 5.3290 |
| 14            | 64            | 90             | 64             | 3             | 0.6762      | 0.8223 | 0.3069 | 0.1155 | 6.7614 |
| 14            | 64            | 100            | 16             | 3             | 0.7382      | 0.8592 | 0.3577 | 0.1765 | 8.7129 |
| 14            | 64            | 100            | 32             | 3             | 0.6440      | 0.8025 | 0.2748 | 0.0652 | 5.0044 |
| 14            | 64            | 100            | 64             | 3             | 0.9342      | 0.9665 | 0.3602 | 0.1348 | 7.7746 |
| 30            | 16            | 50             | 16             | 3             | 0.9543      | 0.9769 | 0.3197 | 0.0697 | 5.2963 |
| 30            | 16            | 50             | 32             | 3             | 1.6488      | 1.2840 | 0.4121 | 0.0691 | 5.7990 |
| 30            | 16            | 50             | 64             | 3             | 1.8010      | 1.3420 | 0.4233 | 0.0612 | 5.7956 |
| 30            | 16            | 60             | 16             | 3             | 0.9433      | 0.9712 | 0.3206 | 0.0633 | 5.0550 |
| 30            | 16            | 60             | 32             | 3             | 1.4961      | 1.2232 | 0.4053 | 0.0848 | 6.3614 |
| 30            | 16            | 60             | 64             | 3             | 2.0210      | 1.4216 | 0.4570 | 0.0750 | 6.1732 |
| 30            | 16            | 70             | 16             | 3             | 0.8400      | 0.9165 | 0.3111 | 0.0866 | 5.7588 |
| 30            | 16            | 70             | 32             | 3             | 1.1282      | 1.0622 | 0.3496 | 0.0744 | 5.6367 |

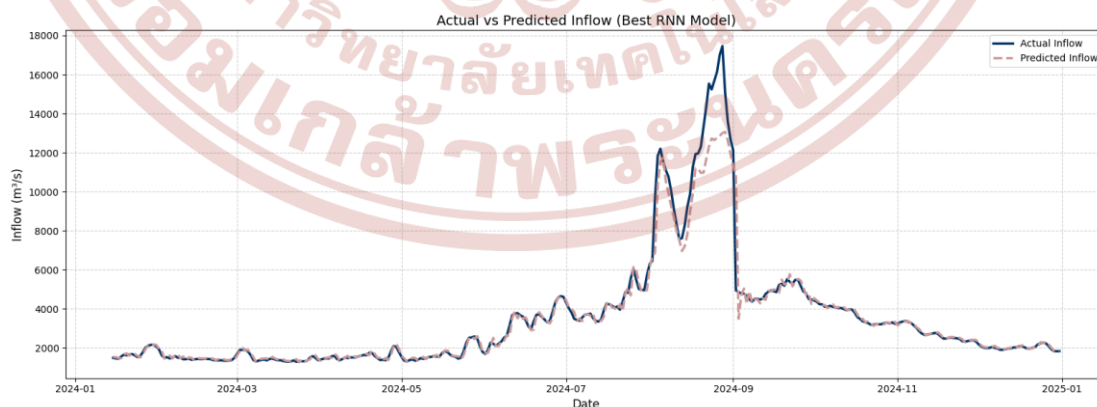
ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 16            | 70             | 64             | 3             | 1.4258      | 1.1941 | 0.3998 | 0.0895 | 6.2769 |
| 30            | 16            | 80             | 16             | 3             | 0.7422      | 0.8615 | 0.3075 | 0.1151 | 7.0162 |
| 30            | 16            | 80             | 32             | 3             | 0.9895      | 0.9947 | 0.3283 | 0.0668 | 5.2505 |
| 30            | 16            | 80             | 64             | 3             | 1.6849      | 1.2980 | 0.4180 | 0.0713 | 6.0840 |
| 30            | 16            | 90             | 16             | 3             | 0.8694      | 0.9324 | 0.3130 | 0.0720 | 5.2193 |
| 30            | 16            | 90             | 32             | 3             | 1.0650      | 1.0320 | 0.3380 | 0.0658 | 5.2234 |
| 30            | 16            | 90             | 64             | 3             | 1.5729      | 1.2541 | 0.4048 | 0.0791 | 6.1324 |
| 30            | 16            | 100            | 16             | 3             | 0.8804      | 0.9383 | 0.3145 | 0.0752 | 5.3903 |
| 30            | 16            | 100            | 32             | 3             | 1.0142      | 1.0071 | 0.3551 | 0.1103 | 6.9074 |
| 30            | 16            | 100            | 64             | 3             | 1.6000      | 1.2649 | 0.4032 | 0.0674 | 5.7070 |
| 30            | 32            | 50             | 16             | 3             | 0.7340      | 0.8567 | 0.2741 | 0.0603 | 4.7431 |
| 30            | 32            | 50             | 32             | 3             | 0.8987      | 0.9480 | 0.3084 | 0.0665 | 5.1240 |
| 30            | 32            | 50             | 64             | 3             | 1.4573      | 1.2072 | 0.3972 | 0.0732 | 5.9060 |
| 30            | 32            | 60             | 16             | 3             | 0.7458      | 0.8636 | 0.3151 | 0.1099 | 6.7055 |
| 30            | 32            | 60             | 32             | 3             | 0.9044      | 0.9510 | 0.3304 | 0.0919 | 5.9322 |
| 30            | 32            | 60             | 64             | 3             | 1.0950      | 1.0464 | 0.3356 | 0.0646 | 5.1167 |
| 30            | 32            | 70             | 16             | 3             | 0.7516      | 0.8669 | 0.2982 | 0.0713 | 5.2599 |
| 30            | 32            | 70             | 32             | 3             | 0.8043      | 0.8968 | 0.3361 | 0.1256 | 7.5263 |
| 30            | 32            | 70             | 64             | 3             | 1.0165      | 1.0082 | 0.3548 | 0.1031 | 6.1977 |
| 30            | 32            | 80             | 16             | 3             | 0.8909      | 0.9439 | 0.3691 | 0.1530 | 8.6817 |
| 30            | 32            | 80             | 32             | 3             | 0.9343      | 0.9666 | 0.3558 | 0.1081 | 6.2288 |
| 30            | 32            | 80             | 64             | 3             | 0.9436      | 0.9714 | 0.3210 | 0.0705 | 5.3506 |
| 30            | 32            | 90             | 16             | 3             | 0.8434      | 0.9184 | 0.3133 | 0.0749 | 5.3358 |
| 30            | 32            | 90             | 32             | 3             | 0.7744      | 0.8800 | 0.2991 | 0.0679 | 5.0188 |
| 30            | 32            | 90             | 64             | 3             | 1.0776      | 1.0381 | 0.3401 | 0.0650 | 5.3342 |
| 30            | 32            | 100            | 16             | 3             | 0.7154      | 0.8458 | 0.2974 | 0.0755 | 5.4586 |
| 30            | 32            | 100            | 32             | 3             | 0.6671      | 0.8168 | 0.2782 | 0.0682 | 4.9885 |
| 30            | 32            | 100            | 64             | 3             | 0.9400      | 0.9695 | 0.3221 | 0.0730 | 5.3320 |
| 30            | 64            | 50             | 16             | 3             | 0.8381      | 0.9155 | 0.3482 | 0.1154 | 6.2852 |
| 30            | 64            | 50             | 32             | 3             | 0.7502      | 0.8661 | 0.3465 | 0.1509 | 8.2900 |
| 30            | 64            | 50             | 64             | 3             | 1.0097      | 1.0048 | 0.3271 | 0.0663 | 5.0928 |
| 30            | 64            | 60             | 16             | 3             | 1.0557      | 1.0275 | 0.3520 | 0.0858 | 5.6239 |
| 30            | 64            | 60             | 32             | 3             | 0.5922      | 0.7695 | 0.2678 | 0.0871 | 5.2021 |

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

| Parameter  |            |             |             |            | Performance |        |        |        |        |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look backs | units list | epochs list | batch sizes | Num layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30         | 64         | 60          | 64          | 3          | 0.8203      | 0.9057 | 0.3098 | 0.0648 | 4.9931 |
| 30         | 64         | 70          | 16          | 3          | 0.7920      | 0.8899 | 0.3535 | 0.1393 | 7.7324 |
| 30         | 64         | 70          | 32          | 3          | 0.6595      | 0.8121 | 0.2958 | 0.0992 | 5.7303 |
| 30         | 64         | 70          | 64          | 3          | 0.7999      | 0.8944 | 0.3518 | 0.1432 | 7.7769 |
| 30         | 64         | 80          | 16          | 3          | 0.8046      | 0.8970 | 0.3377 | 0.0991 | 6.2834 |
| 30         | 64         | 80          | 32          | 3          | 0.7021      | 0.8379 | 0.3123 | 0.1147 | 6.7494 |
| 30         | 64         | 80          | 64          | 3          | 0.7358      | 0.8578 | 0.3135 | 0.1126 | 6.6362 |
| 30         | 64         | 90          | 16          | 3          | 0.6222      | 0.7888 | 0.2890 | 0.1080 | 5.8160 |
| 30         | 64         | 90          | 32          | 3          | 0.6491      | 0.8057 | 0.2851 | 0.0728 | 5.1162 |
| 30         | 64         | 90          | 64          | 3          | 0.7598      | 0.8716 | 0.3032 | 0.0697 | 5.2088 |
| 30         | 64         | 100         | 16          | 3          | 0.6838      | 0.8269 | 0.3571 | 0.1877 | 9.3469 |
| 30         | 64         | 100         | 32          | 3          | 0.6973      | 0.8350 | 0.2968 | 0.0743 | 5.3523 |
| 30         | 64         | 100         | 64          | 3          | 0.8827      | 0.9395 | 0.3076 | 0.0566 | 4.9731 |

จากตารางที่ 4-11 พบว่า การทดสอบด้วยอัลกอริทึม RNN ด้วยพารามิเตอร์ค่า lookbacks เท่ากับ 14 ค่า units list เท่ากับ 64 ค่า epochs list เท่ากับ 100 ค่า batch sizes เท่ากับ 32 และ ค่า num layers เท่ากับ 1 ให้ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่า MSE เท่ากับ 0.4168 ค่า RMSE เท่ากับ 0.6456 ค่า MAE เท่ากับ 0.2195 ค่า MAD เท่ากับ 0.0637 และค่า MAPE เท่ากับ 4.3866 ผลการพยากรณ์แสดงดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 ผลการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม RNN

#### 4.2.2 ผลการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM

จากการทดสอบอัลกอริทึม LSTM โดยใช้พารามิเตอร์ lookbacks เท่ากับ 7,17,30 units list เท่ากับ 16,32,64 epochs list เท่ากับ 50,60,70,80,90,100 batch sizes เท่ากับ 16,32,64 และ num layers เท่ากับ 1,2,3 ได้จำนวนรูปแบบในการทดสอบจำนวน 486 รูปแบบ ซึ่งได้ค่า MSE ค่า RMSE ค่า MAE ค่า MAD และค่า MAPE แสดงดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 ผลการทดสอบด้วยอัลกอริทึม LSTM

| Parameter  |            |             |             |            | Performance |        |        |        |        |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look backs | units list | epochs list | batch sizes | Num layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7          | 16         | 50          | 16          | 1          | 0.8861      | 0.9413 | 0.3265 | 0.0952 | 6.2898 |
| 7          | 16         | 50          | 32          | 1          | 1.3183      | 1.1482 | 0.3724 | 0.0707 | 5.8470 |
| 7          | 16         | 50          | 64          | 1          | 2.2570      | 1.5023 | 0.5070 | 0.0868 | 7.9610 |
| 7          | 16         | 60          | 16          | 1          | 0.6524      | 0.8077 | 0.2599 | 0.0629 | 4.6399 |
| 7          | 16         | 60          | 32          | 1          | 1.0716      | 1.0352 | 0.3283 | 0.0600 | 5.1657 |
| 7          | 16         | 60          | 64          | 1          | 1.9500      | 1.3964 | 0.4516 | 0.0659 | 6.6201 |
| 7          | 16         | 70          | 16          | 1          | 0.6025      | 0.7762 | 0.2524 | 0.0614 | 4.6094 |
| 7          | 16         | 70          | 32          | 1          | 0.9738      | 0.9868 | 0.3289 | 0.0839 | 5.5701 |
| 7          | 16         | 70          | 64          | 1          | 1.8259      | 1.3513 | 0.4410 | 0.0727 | 6.6606 |
| 7          | 16         | 80          | 16          | 1          | 0.5478      | 0.7402 | 0.2403 | 0.0673 | 4.4873 |
| 7          | 16         | 80          | 32          | 1          | 0.9949      | 0.9975 | 0.3253 | 0.0732 | 5.4176 |
| 7          | 16         | 80          | 64          | 1          | 1.5222      | 1.2338 | 0.3935 | 0.0673 | 5.8768 |
| 7          | 16         | 90          | 16          | 1          | 0.5673      | 0.7532 | 0.2457 | 0.0668 | 4.6241 |
| 7          | 16         | 90          | 32          | 1          | 0.8495      | 0.9217 | 0.2927 | 0.0570 | 4.7846 |
| 7          | 16         | 90          | 64          | 1          | 1.3414      | 1.1582 | 0.3758 | 0.0713 | 5.8819 |
| 7          | 16         | 100         | 16          | 1          | 0.5623      | 0.7499 | 0.2394 | 0.0579 | 4.4053 |
| 7          | 16         | 100         | 32          | 1          | 0.6615      | 0.8133 | 0.2638 | 0.0603 | 4.6263 |
| 7          | 16         | 100         | 64          | 1          | 1.3690      | 1.1700 | 0.3765 | 0.0737 | 5.8271 |
| 7          | 32         | 50          | 16          | 1          | 0.5549      | 0.7449 | 0.2459 | 0.0782 | 4.8149 |
| 7          | 32         | 50          | 32          | 1          | 0.7225      | 0.8500 | 0.2843 | 0.0670 | 5.2517 |
| 7          | 32         | 50          | 64          | 1          | 1.4402      | 1.2001 | 0.4203 | 0.1028 | 7.3704 |
| 7          | 32         | 60          | 16          | 1          | 0.4738      | 0.6884 | 0.2218 | 0.0574 | 4.3129 |
| 7          | 32         | 60          | 32          | 1          | 0.5939      | 0.7706 | 0.2539 | 0.0687 | 4.9205 |
| 7          | 32         | 60          | 64          | 1          | 1.0822      | 1.0403 | 0.3499 | 0.0805 | 5.9860 |
| 7          | 32         | 70          | 16          | 1          | 0.4775      | 0.6910 | 0.2334 | 0.0569 | 4.4572 |
| 7          | 32         | 70          | 32          | 1          | 0.5488      | 0.7408 | 0.2406 | 0.0590 | 4.5070 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 32            | 70             | 64             | 1             | 0.8229      | 0.9072 | 0.2988 | 0.0593 | 5.1539 |
| 7             | 32            | 80             | 16             | 1             | 0.4189      | 0.6472 | 0.2295 | 0.0767 | 4.7990 |
| 7             | 32            | 80             | 32             | 1             | 0.5121      | 0.7156 | 0.2328 | 0.0571 | 4.3674 |
| 7             | 32            | 80             | 64             | 1             | 0.7708      | 0.8780 | 0.2917 | 0.0745 | 5.2650 |
| 7             | 32            | 90             | 16             | 1             | 0.4938      | 0.7027 | 0.2365 | 0.0705 | 4.6688 |
| 7             | 32            | 90             | 32             | 1             | 0.5205      | 0.7214 | 0.2392 | 0.0714 | 4.7045 |
| 7             | 32            | 90             | 64             | 1             | 0.7033      | 0.8386 | 0.3000 | 0.1046 | 6.0482 |
| 7             | 32            | 100            | 16             | 1             | 0.4341      | 0.6589 | 0.2297 | 0.0730 | 4.9272 |
| 7             | 32            | 100            | 32             | 1             | 0.5254      | 0.7249 | 0.2352 | 0.0552 | 4.3737 |
| 7             | 32            | 100            | 64             | 1             | 0.6056      | 0.7782 | 0.2535 | 0.0591 | 4.6250 |
| 7             | 64            | 50             | 16             | 1             | 0.3583      | 0.5986 | 0.2165 | 0.0741 | 4.7522 |
| 7             | 64            | 50             | 32             | 1             | 0.4246      | 0.6516 | 0.2284 | 0.0758 | 4.9998 |
| 7             | 64            | 50             | 64             | 1             | 0.5055      | 0.7110 | 0.2443 | 0.0603 | 4.7771 |
| 7             | 64            | 60             | 16             | 1             | 0.3566      | 0.5972 | 0.1996 | 0.0618 | 4.2533 |
| 7             | 64            | 60             | 32             | 1             | 0.3947      | 0.6283 | 0.2166 | 0.0726 | 4.5240 |
| 7             | 64            | 60             | 64             | 1             | 0.5665      | 0.7527 | 0.2597 | 0.0617 | 4.9514 |
| 7             | 64            | 70             | 16             | 1             | 0.4359      | 0.6602 | 0.2305 | 0.0637 | 4.4956 |
| 7             | 64            | 70             | 32             | 1             | 0.3904      | 0.6248 | 0.2358 | 0.0855 | 5.2387 |
| 7             | 64            | 70             | 64             | 1             | 0.4431      | 0.6657 | 0.2227 | 0.0598 | 4.4451 |
| 7             | 64            | 80             | 16             | 1             | 0.4069      | 0.6379 | 0.2225 | 0.0568 | 4.3010 |
| 7             | 64            | 80             | 32             | 1             | 0.3581      | 0.5984 | 0.2018 | 0.0597 | 4.1738 |
| 7             | 64            | 80             | 64             | 1             | 0.4422      | 0.6650 | 0.2396 | 0.0830 | 5.2295 |
| 7             | 64            | 90             | 16             | 1             | 0.4537      | 0.6736 | 0.2372 | 0.0552 | 4.4307 |
| 7             | 64            | 90             | 32             | 1             | 0.3448      | 0.5872 | 0.1981 | 0.0608 | 4.3236 |
| 7             | 64            | 90             | 64             | 1             | 0.4312      | 0.6567 | 0.2311 | 0.0863 | 5.1344 |
| 7             | 64            | 100            | 16             | 1             | 0.4713      | 0.6865 | 0.2403 | 0.0563 | 4.4694 |
| 7             | 64            | 100            | 32             | 1             | 0.3843      | 0.6200 | 0.2163 | 0.0556 | 4.2284 |
| 7             | 64            | 100            | 64             | 1             | 0.3913      | 0.6255 | 0.2059 | 0.0606 | 4.2041 |
| 14            | 16            | 50             | 16             | 1             | 0.8263      | 0.9090 | 0.2992 | 0.0596 | 5.0081 |
| 14            | 16            | 50             | 32             | 1             | 1.2524      | 1.1191 | 0.3650 | 0.0612 | 5.6764 |
| 14            | 16            | 50             | 64             | 1             | 2.3865      | 1.5448 | 0.5335 | 0.0984 | 8.2724 |
| 14            | 16            | 60             | 16             | 1             | 0.7730      | 0.8792 | 0.2797 | 0.0571 | 4.7076 |
| 14            | 16            | 60             | 32             | 1             | 1.0132      | 1.0066 | 0.3360 | 0.0689 | 5.5650 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 16            | 60             | 64             | 1             | 2.0702      | 1.4388 | 0.4688 | 0.0705 | 6.8086 |
| 14            | 16            | 70             | 16             | 1             | 0.6840      | 0.8270 | 0.2718 | 0.0574 | 4.7617 |
| 14            | 16            | 70             | 32             | 1             | 1.0404      | 1.0200 | 0.3280 | 0.0623 | 5.1970 |
| 14            | 16            | 70             | 64             | 1             | 1.4416      | 1.2007 | 0.3918 | 0.0702 | 6.0068 |
| 14            | 16            | 80             | 16             | 1             | 0.6874      | 0.8291 | 0.2827 | 0.0712 | 5.1841 |
| 14            | 16            | 80             | 32             | 1             | 0.9199      | 0.9591 | 0.3176 | 0.0645 | 5.2833 |
| 14            | 16            | 80             | 64             | 1             | 1.2650      | 1.1247 | 0.3668 | 0.0602 | 5.7124 |
| 14            | 16            | 90             | 16             | 1             | 0.6377      | 0.7986 | 0.2633 | 0.0569 | 4.7449 |
| 14            | 16            | 90             | 32             | 1             | 0.7956      | 0.8920 | 0.2978 | 0.0765 | 5.2445 |
| 14            | 16            | 90             | 64             | 1             | 1.3826      | 1.1758 | 0.3864 | 0.0724 | 6.0957 |
| 14            | 16            | 100            | 16             | 1             | 0.6310      | 0.7944 | 0.2796 | 0.0850 | 5.6638 |
| 14            | 16            | 100            | 32             | 1             | 0.8338      | 0.9131 | 0.2940 | 0.0614 | 4.9059 |
| 14            | 16            | 100            | 64             | 1             | 1.6188      | 1.2723 | 0.4283 | 0.0890 | 6.9026 |
| 14            | 32            | 50             | 16             | 1             | 0.4835      | 0.6953 | 0.2287 | 0.0602 | 4.3364 |
| 14            | 32            | 50             | 32             | 1             | 0.7459      | 0.8636 | 0.2866 | 0.0604 | 5.0454 |
| 14            | 32            | 50             | 64             | 1             | 1.4041      | 1.1849 | 0.4161 | 0.1070 | 7.2476 |
| 14            | 32            | 60             | 16             | 1             | 0.5642      | 0.7511 | 0.2594 | 0.0682 | 4.8476 |
| 14            | 32            | 60             | 32             | 1             | 0.6945      | 0.8333 | 0.2732 | 0.0656 | 4.8031 |
| 14            | 32            | 60             | 64             | 1             | 0.9389      | 0.9690 | 0.3540 | 0.1137 | 6.9125 |
| 14            | 32            | 70             | 16             | 1             | 0.4921      | 0.7015 | 0.2440 | 0.0582 | 4.5259 |
| 14            | 32            | 70             | 32             | 1             | 0.5543      | 0.7445 | 0.2449 | 0.0615 | 4.6206 |
| 14            | 32            | 70             | 64             | 1             | 0.9638      | 0.9817 | 0.3404 | 0.0921 | 6.0593 |
| 14            | 32            | 80             | 16             | 1             | 0.5368      | 0.7326 | 0.2512 | 0.0756 | 4.8157 |
| 14            | 32            | 80             | 32             | 1             | 0.6832      | 0.8265 | 0.2745 | 0.0553 | 4.8404 |
| 14            | 32            | 80             | 64             | 1             | 0.9401      | 0.9696 | 0.3353 | 0.0787 | 5.7726 |
| 14            | 32            | 90             | 16             | 1             | 0.5611      | 0.7491 | 0.2615 | 0.0681 | 4.9677 |
| 14            | 32            | 90             | 32             | 1             | 0.6537      | 0.8085 | 0.2719 | 0.0666 | 5.0753 |
| 14            | 32            | 90             | 64             | 1             | 0.8755      | 0.9357 | 0.3124 | 0.0628 | 5.3143 |
| 14            | 32            | 100            | 16             | 1             | 0.5607      | 0.7488 | 0.2594 | 0.0729 | 4.8727 |
| 14            | 32            | 100            | 32             | 1             | 0.5543      | 0.7445 | 0.2767 | 0.0772 | 5.6119 |
| 14            | 32            | 100            | 64             | 1             | 0.7275      | 0.8529 | 0.2768 | 0.0611 | 4.7983 |
| 14            | 64            | 50             | 16             | 1             | 0.4095      | 0.6399 | 0.2394 | 0.1031 | 5.7749 |
| 14            | 64            | 50             | 32             | 1             | 0.5020      | 0.7085 | 0.2537 | 0.0580 | 4.6029 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 64            | 50             | 64             | 1             | 0.6748      | 0.8215 | 0.3071 | 0.0969 | 5.9971 |
| 14            | 64            | 60             | 16             | 1             | 0.4443      | 0.6666 | 0.2386 | 0.0603 | 4.5604 |
| 14            | 64            | 60             | 32             | 1             | 0.4145      | 0.6438 | 0.2561 | 0.1161 | 6.2490 |
| 14            | 64            | 60             | 64             | 1             | 0.6306      | 0.7941 | 0.2735 | 0.0609 | 5.0487 |
| 14            | 64            | 70             | 16             | 1             | 0.4050      | 0.6364 | 0.2354 | 0.0805 | 4.8548 |
| 14            | 64            | 70             | 32             | 1             | 0.4553      | 0.6748 | 0.2365 | 0.0636 | 4.5794 |
| 14            | 64            | 70             | 64             | 1             | 0.4884      | 0.6988 | 0.2396 | 0.0581 | 4.4828 |
| 14            | 64            | 80             | 16             | 1             | 0.5832      | 0.7637 | 0.2694 | 0.0595 | 5.0270 |
| 14            | 64            | 80             | 32             | 1             | 0.4508      | 0.6715 | 0.2315 | 0.0591 | 4.5883 |
| 14            | 64            | 80             | 64             | 1             | 0.4716      | 0.6867 | 0.2353 | 0.0584 | 4.4157 |
| 14            | 64            | 90             | 16             | 1             | 0.4522      | 0.6724 | 0.2580 | 0.0978 | 5.8660 |
| 14            | 64            | 90             | 32             | 1             | 0.5725      | 0.7566 | 0.2846 | 0.0965 | 6.0744 |
| 14            | 64            | 90             | 64             | 1             | 0.5338      | 0.7306 | 0.2487 | 0.0628 | 4.7739 |
| 14            | 64            | 100            | 16             | 1             | 0.4830      | 0.6950 | 0.2557 | 0.0743 | 5.2093 |
| 14            | 64            | 100            | 32             | 1             | 0.4723      | 0.6872 | 0.2470 | 0.0655 | 5.0092 |
| 14            | 64            | 100            | 64             | 1             | 0.5868      | 0.7660 | 0.2606 | 0.0584 | 4.7210 |
| 30            | 16            | 50             | 16             | 1             | 0.8261      | 0.9089 | 0.3019 | 0.0652 | 5.0132 |
| 30            | 16            | 50             | 32             | 1             | 1.5497      | 1.2449 | 0.4206 | 0.0856 | 6.5910 |
| 30            | 16            | 50             | 64             | 1             | 2.2256      | 1.4918 | 0.5069 | 0.0815 | 7.4769 |
| 30            | 16            | 60             | 16             | 1             | 0.7778      | 0.8819 | 0.3027 | 0.0830 | 5.5327 |
| 30            | 16            | 60             | 32             | 1             | 1.5136      | 1.2303 | 0.4079 | 0.0646 | 6.0287 |
| 30            | 16            | 60             | 64             | 1             | 2.2410      | 1.4970 | 0.4957 | 0.0738 | 7.0138 |
| 30            | 16            | 70             | 16             | 1             | 0.6865      | 0.8286 | 0.2784 | 0.0679 | 4.9532 |
| 30            | 16            | 70             | 32             | 1             | 0.8786      | 0.9373 | 0.3129 | 0.0703 | 5.2162 |
| 30            | 16            | 70             | 64             | 1             | 1.8735      | 1.3687 | 0.4615 | 0.0704 | 6.8629 |
| 30            | 16            | 80             | 16             | 1             | 0.7785      | 0.8823 | 0.3195 | 0.0931 | 5.9204 |
| 30            | 16            | 80             | 32             | 1             | 1.0829      | 1.0406 | 0.3393 | 0.0596 | 5.2078 |
| 30            | 16            | 80             | 64             | 1             | 1.8107      | 1.3456 | 0.4466 | 0.0777 | 6.5437 |
| 30            | 16            | 90             | 16             | 1             | 0.6440      | 0.8025 | 0.2738 | 0.0652 | 5.0349 |
| 30            | 16            | 90             | 32             | 1             | 0.9197      | 0.9590 | 0.3121 | 0.0578 | 5.0253 |
| 30            | 16            | 90             | 64             | 1             | 1.5326      | 1.2380 | 0.4269 | 0.0992 | 6.8867 |
| 30            | 16            | 100            | 16             | 1             | 0.6295      | 0.7934 | 0.2713 | 0.0695 | 4.9914 |
| 30            | 16            | 100            | 32             | 1             | 0.8411      | 0.9171 | 0.3045 | 0.0597 | 5.0451 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 16            | 100            | 64             | 1             | 1.3601      | 1.1662 | 0.3832 | 0.0658 | 5.6872 |
| 30            | 32            | 50             | 16             | 1             | 0.5658      | 0.7522 | 0.2647 | 0.0748 | 5.0762 |
| 30            | 32            | 50             | 32             | 1             | 0.8075      | 0.8986 | 0.3040 | 0.0675 | 5.2383 |
| 30            | 32            | 50             | 64             | 1             | 1.3850      | 1.1769 | 0.4152 | 0.0963 | 6.7799 |
| 30            | 32            | 60             | 16             | 1             | 0.5397      | 0.7346 | 0.2625 | 0.0900 | 5.3134 |
| 30            | 32            | 60             | 32             | 1             | 0.7695      | 0.8772 | 0.2965 | 0.0562 | 4.9580 |
| 30            | 32            | 60             | 64             | 1             | 1.1378      | 1.0667 | 0.3600 | 0.0673 | 5.7889 |
| 30            | 32            | 70             | 16             | 1             | 0.4832      | 0.6951 | 0.2395 | 0.0612 | 4.5101 |
| 30            | 32            | 70             | 32             | 1             | 0.7438      | 0.8624 | 0.2864 | 0.0590 | 4.7916 |
| 30            | 32            | 70             | 64             | 1             | 1.0485      | 1.0240 | 0.3500 | 0.0690 | 5.7544 |
| 30            | 32            | 80             | 16             | 1             | 0.6065      | 0.7788 | 0.2802 | 0.0767 | 5.2312 |
| 30            | 32            | 80             | 32             | 1             | 0.7139      | 0.8449 | 0.3014 | 0.0858 | 5.6383 |
| 30            | 32            | 80             | 64             | 1             | 0.9274      | 0.9630 | 0.3368 | 0.0890 | 6.0001 |
| 30            | 32            | 90             | 16             | 1             | 0.4940      | 0.7029 | 0.2535 | 0.0692 | 4.9491 |
| 30            | 32            | 90             | 32             | 1             | 0.5703      | 0.7552 | 0.2601 | 0.0637 | 4.8976 |
| 30            | 32            | 90             | 64             | 1             | 0.7614      | 0.8726 | 0.2923 | 0.0597 | 4.9523 |
| 30            | 32            | 100            | 16             | 1             | 0.4506      | 0.6713 | 0.2694 | 0.1025 | 6.1017 |
| 30            | 32            | 100            | 32             | 1             | 0.6439      | 0.8024 | 0.3035 | 0.1081 | 6.4404 |
| 30            | 32            | 100            | 64             | 1             | 0.7329      | 0.8561 | 0.2903 | 0.0642 | 5.0731 |
| 30            | 64            | 50             | 16             | 1             | 0.4163      | 0.6452 | 0.2602 | 0.1109 | 6.3005 |
| 30            | 64            | 50             | 32             | 1             | 0.4522      | 0.6725 | 0.2348 | 0.0627 | 4.4339 |
| 30            | 64            | 50             | 64             | 1             | 0.8061      | 0.8978 | 0.3472 | 0.1230 | 6.9612 |
| 30            | 64            | 60             | 16             | 1             | 0.4144      | 0.6437 | 0.2285 | 0.0625 | 4.4540 |
| 30            | 64            | 60             | 32             | 1             | 0.4165      | 0.6454 | 0.2240 | 0.0598 | 4.2885 |
| 30            | 64            | 60             | 64             | 1             | 0.5526      | 0.7434 | 0.2653 | 0.0761 | 4.9699 |
| 30            | 64            | 70             | 16             | 1             | 0.4043      | 0.6358 | 0.2179 | 0.0608 | 4.4665 |
| 30            | 64            | 70             | 32             | 1             | 0.4653      | 0.6821 | 0.2435 | 0.0669 | 4.9552 |
| 30            | 64            | 70             | 64             | 1             | 0.5165      | 0.7187 | 0.2501 | 0.0603 | 4.6612 |
| 30            | 64            | 80             | 16             | 1             | 0.4018      | 0.6339 | 0.2238 | 0.0613 | 4.3485 |
| 30            | 64            | 80             | 32             | 1             | 0.4090      | 0.6395 | 0.2282 | 0.0594 | 4.4237 |
| 30            | 64            | 80             | 64             | 1             | 0.4899      | 0.7000 | 0.2458 | 0.0623 | 4.5834 |
| 30            | 64            | 90             | 16             | 1             | 0.4383      | 0.6620 | 0.2386 | 0.0598 | 4.5785 |
| 30            | 64            | 90             | 32             | 1             | 0.5374      | 0.7331 | 0.2624 | 0.0675 | 5.0376 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 64            | 90             | 64             | 1             | 0.5137      | 0.7168 | 0.2534 | 0.0718 | 4.9090 |
| 30            | 64            | 100            | 16             | 1             | 0.4213      | 0.6491 | 0.2381 | 0.0801 | 5.0551 |
| 30            | 64            | 100            | 32             | 1             | 0.4466      | 0.6683 | 0.2343 | 0.0576 | 4.4620 |
| 30            | 64            | 100            | 64             | 1             | 0.4361      | 0.6604 | 0.2287 | 0.0585 | 4.3931 |
| 7             | 16            | 50             | 16             | 2             | 0.7512      | 0.8667 | 0.2810 | 0.0602 | 4.7907 |
| 7             | 16            | 50             | 32             | 2             | 1.0809      | 1.0397 | 0.3352 | 0.0629 | 5.3654 |
| 7             | 16            | 50             | 64             | 2             | 1.5728      | 1.2541 | 0.4191 | 0.0696 | 6.6705 |
| 7             | 16            | 60             | 16             | 2             | 0.7555      | 0.8692 | 0.2940 | 0.0896 | 5.7269 |
| 7             | 16            | 60             | 32             | 2             | 1.0992      | 1.0484 | 0.3329 | 0.0575 | 5.2488 |
| 7             | 16            | 60             | 64             | 2             | 1.3131      | 1.1459 | 0.3857 | 0.0775 | 6.5253 |
| 7             | 16            | 70             | 16             | 2             | 0.6877      | 0.8293 | 0.3184 | 0.1258 | 7.0398 |
| 7             | 16            | 70             | 32             | 2             | 0.8639      | 0.9295 | 0.3038 | 0.0672 | 5.1469 |
| 7             | 16            | 70             | 64             | 2             | 1.3067      | 1.1431 | 0.3696 | 0.0616 | 5.8938 |
| 7             | 16            | 80             | 16             | 2             | 0.8494      | 0.9216 | 0.3061 | 0.0668 | 5.3681 |
| 7             | 16            | 80             | 32             | 2             | 0.7741      | 0.8799 | 0.3102 | 0.0990 | 6.1541 |
| 7             | 16            | 80             | 64             | 2             | 1.3279      | 1.1523 | 0.3665 | 0.0584 | 5.5434 |
| 7             | 16            | 90             | 16             | 2             | 0.6788      | 0.8239 | 0.2853 | 0.0695 | 5.1545 |
| 7             | 16            | 90             | 32             | 2             | 0.7948      | 0.8915 | 0.2959 | 0.0772 | 5.3733 |
| 7             | 16            | 90             | 64             | 2             | 0.9825      | 0.9912 | 0.3202 | 0.0636 | 5.2538 |
| 7             | 16            | 100            | 16             | 2             | 0.5452      | 0.7384 | 0.2372 | 0.0531 | 4.4295 |
| 7             | 16            | 100            | 32             | 2             | 0.7807      | 0.8835 | 0.3119 | 0.0947 | 6.0570 |
| 7             | 16            | 100            | 64             | 2             | 0.9527      | 0.9761 | 0.3240 | 0.0767 | 5.4729 |
| 7             | 32            | 50             | 16             | 2             | 0.6243      | 0.7902 | 0.2615 | 0.0661 | 4.9683 |
| 7             | 32            | 50             | 32             | 2             | 0.6878      | 0.8293 | 0.2692 | 0.0642 | 4.8770 |
| 7             | 32            | 50             | 64             | 2             | 0.8872      | 0.9419 | 0.3148 | 0.0778 | 5.6967 |
| 7             | 32            | 60             | 16             | 2             | 0.5287      | 0.7271 | 0.2363 | 0.0618 | 4.5517 |
| 7             | 32            | 60             | 32             | 2             | 0.6620      | 0.8136 | 0.2636 | 0.0574 | 4.7018 |
| 7             | 32            | 60             | 64             | 2             | 0.7910      | 0.8894 | 0.2929 | 0.0589 | 5.1139 |
| 7             | 32            | 70             | 16             | 2             | 0.5339      | 0.7307 | 0.2579 | 0.0689 | 4.9696 |
| 7             | 32            | 70             | 32             | 2             | 0.6395      | 0.7997 | 0.2813 | 0.0864 | 5.4787 |
| 7             | 32            | 70             | 64             | 2             | 0.8512      | 0.9226 | 0.2968 | 0.0619 | 5.0405 |
| 7             | 32            | 80             | 16             | 2             | 0.5292      | 0.7275 | 0.2490 | 0.0581 | 4.6567 |
| 7             | 32            | 80             | 32             | 2             | 0.5883      | 0.7670 | 0.2690 | 0.0849 | 5.4018 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 32            | 80             | 64             | 2             | 0.6746      | 0.8214 | 0.2735 | 0.0745 | 5.1361 |
| 7             | 32            | 90             | 16             | 2             | 0.5583      | 0.7472 | 0.2446 | 0.0654 | 4.7255 |
| 7             | 32            | 90             | 32             | 2             | 0.5579      | 0.7469 | 0.2572 | 0.0585 | 4.7908 |
| 7             | 32            | 90             | 64             | 2             | 0.6062      | 0.7786 | 0.2585 | 0.0583 | 4.7502 |
| 7             | 32            | 100            | 16             | 2             | 0.5962      | 0.7721 | 0.2693 | 0.0767 | 5.3261 |
| 7             | 32            | 100            | 32             | 2             | 0.5993      | 0.7741 | 0.2519 | 0.0618 | 4.6885 |
| 7             | 32            | 100            | 64             | 2             | 0.5912      | 0.7689 | 0.2520 | 0.0562 | 4.5571 |
| 7             | 64            | 50             | 16             | 2             | 0.4400      | 0.6633 | 0.2514 | 0.1021 | 5.8693 |
| 7             | 64            | 50             | 32             | 2             | 0.5069      | 0.7120 | 0.2511 | 0.0613 | 4.7104 |
| 7             | 64            | 50             | 64             | 2             | 0.5111      | 0.7149 | 0.2452 | 0.0677 | 4.7304 |
| 7             | 64            | 60             | 16             | 2             | 0.5543      | 0.7445 | 0.2583 | 0.0579 | 4.5935 |
| 7             | 64            | 60             | 32             | 2             | 0.4346      | 0.6592 | 0.2245 | 0.0716 | 4.6872 |
| 7             | 64            | 60             | 64             | 2             | 0.4816      | 0.6940 | 0.2309 | 0.0575 | 4.5755 |
| 7             | 64            | 70             | 16             | 2             | 0.6231      | 0.7894 | 0.2956 | 0.0916 | 6.0075 |
| 7             | 64            | 70             | 32             | 2             | 0.5554      | 0.7453 | 0.2742 | 0.0848 | 5.2348 |
| 7             | 64            | 70             | 64             | 2             | 0.5329      | 0.7300 | 0.2548 | 0.0853 | 5.3445 |
| 7             | 64            | 80             | 16             | 2             | 0.4498      | 0.6707 | 0.2637 | 0.1184 | 6.7054 |
| 7             | 64            | 80             | 32             | 2             | 0.5035      | 0.7096 | 0.2874 | 0.1249 | 6.5197 |
| 7             | 64            | 80             | 64             | 2             | 0.5010      | 0.7078 | 0.2554 | 0.0769 | 4.9819 |
| 7             | 64            | 90             | 16             | 2             | 0.3864      | 0.6216 | 0.2496 | 0.1059 | 5.8594 |
| 7             | 64            | 90             | 32             | 2             | 0.5635      | 0.7507 | 0.2717 | 0.0893 | 5.4129 |
| 7             | 64            | 90             | 64             | 2             | 0.5368      | 0.7327 | 0.2525 | 0.0585 | 4.6658 |
| 7             | 64            | 100            | 16             | 2             | 0.6604      | 0.8127 | 0.3028 | 0.1005 | 6.1406 |
| 7             | 64            | 100            | 32             | 2             | 0.5010      | 0.7078 | 0.2768 | 0.1027 | 5.8526 |
| 7             | 64            | 100            | 64             | 2             | 0.4750      | 0.6892 | 0.2462 | 0.0773 | 4.9484 |
| 14            | 16            | 50             | 16             | 2             | 0.7688      | 0.8768 | 0.3087 | 0.1001 | 6.2609 |
| 14            | 16            | 50             | 32             | 2             | 1.0468      | 1.0231 | 0.3391 | 0.0664 | 5.4089 |
| 14            | 16            | 50             | 64             | 2             | 1.4475      | 1.2031 | 0.4238 | 0.1035 | 7.5870 |
| 14            | 16            | 60             | 16             | 2             | 0.8916      | 0.9442 | 0.3547 | 0.1138 | 7.1592 |
| 14            | 16            | 60             | 32             | 2             | 1.0037      | 1.0018 | 0.3216 | 0.0624 | 5.1412 |
| 14            | 16            | 60             | 64             | 2             | 1.6759      | 1.2946 | 0.4293 | 0.0706 | 6.5645 |
| 14            | 16            | 70             | 16             | 2             | 0.8747      | 0.9353 | 0.3074 | 0.0589 | 5.1244 |
| 14            | 16            | 70             | 32             | 2             | 0.9673      | 0.9835 | 0.3229 | 0.0638 | 5.3945 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 16            | 70             | 64             | 2             | 1.2222      | 1.1055 | 0.3629 | 0.0734 | 5.8285 |
| 14            | 16            | 80             | 16             | 2             | 0.7490      | 0.8654 | 0.2994 | 0.0838 | 5.9003 |
| 14            | 16            | 80             | 32             | 2             | 1.0057      | 1.0029 | 0.3440 | 0.0883 | 5.9037 |
| 14            | 16            | 80             | 64             | 2             | 1.2468      | 1.1166 | 0.3704 | 0.0708 | 6.0134 |
| 14            | 16            | 90             | 16             | 2             | 0.8148      | 0.9026 | 0.3086 | 0.0812 | 5.8677 |
| 14            | 16            | 90             | 32             | 2             | 0.9232      | 0.9608 | 0.3349 | 0.0921 | 6.3039 |
| 14            | 16            | 90             | 64             | 2             | 1.3407      | 1.1579 | 0.3852 | 0.0758 | 6.0050 |
| 14            | 16            | 100            | 16             | 2             | 0.8161      | 0.9034 | 0.3675 | 0.1598 | 8.6211 |
| 14            | 16            | 100            | 32             | 2             | 0.8410      | 0.9171 | 0.3114 | 0.0621 | 5.2661 |
| 14            | 16            | 100            | 64             | 2             | 0.9858      | 0.9929 | 0.3250 | 0.0663 | 5.5131 |
| 14            | 32            | 50             | 16             | 2             | 0.9050      | 0.9513 | 0.3515 | 0.1063 | 6.3165 |
| 14            | 32            | 50             | 32             | 2             | 0.8379      | 0.9154 | 0.3124 | 0.0602 | 5.3055 |
| 14            | 32            | 50             | 64             | 2             | 1.1063      | 1.0518 | 0.3873 | 0.1320 | 7.5071 |
| 14            | 32            | 60             | 16             | 2             | 0.7948      | 0.8915 | 0.3310 | 0.0780 | 5.4825 |
| 14            | 32            | 60             | 32             | 2             | 0.8144      | 0.9024 | 0.3166 | 0.0817 | 5.8750 |
| 14            | 32            | 60             | 64             | 2             | 0.8507      | 0.9223 | 0.3131 | 0.0622 | 5.3359 |
| 14            | 32            | 70             | 16             | 2             | 0.6883      | 0.8296 | 0.2916 | 0.0659 | 5.2376 |
| 14            | 32            | 70             | 32             | 2             | 0.7619      | 0.8729 | 0.3001 | 0.0698 | 5.4019 |
| 14            | 32            | 70             | 64             | 2             | 0.7547      | 0.8688 | 0.2905 | 0.0602 | 4.9935 |
| 14            | 32            | 80             | 16             | 2             | 0.6328      | 0.7955 | 0.2736 | 0.0841 | 5.4698 |
| 14            | 32            | 80             | 32             | 2             | 0.7947      | 0.8915 | 0.3033 | 0.0581 | 5.0255 |
| 14            | 32            | 80             | 64             | 2             | 0.8496      | 0.9218 | 0.3103 | 0.0596 | 5.1488 |
| 14            | 32            | 90             | 16             | 2             | 0.5985      | 0.7737 | 0.2577 | 0.0625 | 4.7991 |
| 14            | 32            | 90             | 32             | 2             | 0.7956      | 0.8920 | 0.3073 | 0.0637 | 5.2887 |
| 14            | 32            | 90             | 64             | 2             | 0.8417      | 0.9175 | 0.3151 | 0.0691 | 5.4324 |
| 14            | 32            | 100            | 16             | 2             | 0.7124      | 0.8440 | 0.2902 | 0.0723 | 5.2220 |
| 14            | 32            | 100            | 32             | 2             | 0.7341      | 0.8568 | 0.3045 | 0.0847 | 5.7541 |
| 14            | 32            | 100            | 64             | 2             | 0.7914      | 0.8896 | 0.2995 | 0.0568 | 5.0798 |
| 14            | 64            | 50             | 16             | 2             | 0.4757      | 0.6897 | 0.2331 | 0.0608 | 4.5690 |
| 14            | 64            | 50             | 32             | 2             | 0.5598      | 0.7482 | 0.2938 | 0.1087 | 6.1038 |
| 14            | 64            | 50             | 64             | 2             | 0.5895      | 0.7678 | 0.2623 | 0.0680 | 4.8841 |
| 14            | 64            | 60             | 16             | 2             | 0.5736      | 0.7573 | 0.2804 | 0.0808 | 5.5406 |
| 14            | 64            | 60             | 32             | 2             | 0.5257      | 0.7251 | 0.2473 | 0.0694 | 4.8969 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 64            | 60             | 64             | 2             | 0.5874      | 0.7664 | 0.3000 | 0.1165 | 6.6382 |
| 14            | 64            | 70             | 16             | 2             | 0.4803      | 0.6931 | 0.3064 | 0.1643 | 7.8291 |
| 14            | 64            | 70             | 32             | 2             | 0.5624      | 0.7499 | 0.2726 | 0.0879 | 5.4752 |
| 14            | 64            | 70             | 64             | 2             | 0.6122      | 0.7824 | 0.2724 | 0.0802 | 5.3469 |
| 14            | 64            | 80             | 16             | 2             | 0.5519      | 0.7429 | 0.2746 | 0.0826 | 5.3139 |
| 14            | 64            | 80             | 32             | 2             | 0.5748      | 0.7581 | 0.2621 | 0.0587 | 4.7588 |
| 14            | 64            | 80             | 64             | 2             | 0.6343      | 0.7964 | 0.2818 | 0.0684 | 5.1844 |
| 14            | 64            | 90             | 16             | 2             | 0.6716      | 0.8195 | 0.2841 | 0.0639 | 4.9079 |
| 14            | 64            | 90             | 32             | 2             | 0.5584      | 0.7473 | 0.2636 | 0.0626 | 4.7840 |
| 14            | 64            | 90             | 64             | 2             | 0.6412      | 0.8007 | 0.3017 | 0.1073 | 6.2996 |
| 14            | 64            | 100            | 16             | 2             | 0.6769      | 0.8227 | 0.3027 | 0.0994 | 6.2098 |
| 14            | 64            | 100            | 32             | 2             | 0.5081      | 0.7128 | 0.2484 | 0.0679 | 4.8483 |
| 14            | 64            | 100            | 64             | 2             | 0.6281      | 0.7925 | 0.2711 | 0.0582 | 4.9082 |
| 30            | 16            | 50             | 16             | 2             | 0.8491      | 0.9215 | 0.3094 | 0.0616 | 5.1680 |
| 30            | 16            | 50             | 32             | 2             | 1.3022      | 1.1411 | 0.3788 | 0.0614 | 5.7557 |
| 30            | 16            | 50             | 64             | 2             | 2.0861      | 1.4443 | 0.4968 | 0.0962 | 7.7271 |
| 30            | 16            | 60             | 16             | 2             | 0.9081      | 0.9529 | 0.3191 | 0.0600 | 5.3027 |
| 30            | 16            | 60             | 32             | 2             | 1.0792      | 1.0388 | 0.3932 | 0.1336 | 7.5794 |
| 30            | 16            | 60             | 64             | 2             | 1.7203      | 1.3116 | 0.4349 | 0.0725 | 6.4212 |
| 30            | 16            | 70             | 16             | 2             | 0.8770      | 0.9365 | 0.3194 | 0.0584 | 5.3261 |
| 30            | 16            | 70             | 32             | 2             | 0.9175      | 0.9579 | 0.3285 | 0.0766 | 5.5850 |
| 30            | 16            | 70             | 64             | 2             | 1.5985      | 1.2643 | 0.4264 | 0.0746 | 6.5385 |
| 30            | 16            | 80             | 16             | 2             | 0.8087      | 0.8993 | 0.3045 | 0.0700 | 5.1860 |
| 30            | 16            | 80             | 32             | 2             | 1.0501      | 1.0247 | 0.3597 | 0.0649 | 5.9316 |
| 30            | 16            | 80             | 64             | 2             | 1.3256      | 1.1513 | 0.4200 | 0.1154 | 7.7461 |
| 30            | 16            | 90             | 16             | 2             | 0.8117      | 0.9010 | 0.3436 | 0.0923 | 6.3896 |
| 30            | 16            | 90             | 32             | 2             | 0.9531      | 0.9763 | 0.3467 | 0.0785 | 6.0333 |
| 30            | 16            | 90             | 64             | 2             | 1.3354      | 1.1556 | 0.3807 | 0.0647 | 5.8473 |
| 30            | 16            | 100            | 16             | 2             | 0.8066      | 0.8981 | 0.3165 | 0.1025 | 6.3968 |
| 30            | 16            | 100            | 32             | 2             | 0.8397      | 0.9164 | 0.3297 | 0.0877 | 5.8694 |
| 30            | 16            | 100            | 64             | 2             | 1.1549      | 1.0747 | 0.3533 | 0.0637 | 5.4335 |
| 30            | 32            | 50             | 16             | 2             | 0.6642      | 0.8150 | 0.3001 | 0.0828 | 5.3359 |
| 30            | 32            | 50             | 32             | 2             | 0.8076      | 0.8987 | 0.3024 | 0.0761 | 5.4465 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 32            | 50             | 64             | 2             | 0.9203      | 0.9593 | 0.3325 | 0.0796 | 5.8624 |
| 30            | 32            | 60             | 16             | 2             | 0.6859      | 0.8282 | 0.2837 | 0.0606 | 4.8794 |
| 30            | 32            | 60             | 32             | 2             | 0.9876      | 0.9938 | 0.4095 | 0.1568 | 8.9458 |
| 30            | 32            | 60             | 64             | 2             | 0.9584      | 0.9790 | 0.3293 | 0.0673 | 5.3950 |
| 30            | 32            | 70             | 16             | 2             | 0.6389      | 0.7993 | 0.2855 | 0.0804 | 5.3124 |
| 30            | 32            | 70             | 32             | 2             | 0.8059      | 0.8977 | 0.3222 | 0.0924 | 5.9704 |
| 30            | 32            | 70             | 64             | 2             | 0.8981      | 0.9477 | 0.3700 | 0.1429 | 8.0500 |
| 30            | 32            | 80             | 16             | 2             | 0.7758      | 0.8808 | 0.3167 | 0.0780 | 5.3398 |
| 30            | 32            | 80             | 32             | 2             | 0.6448      | 0.8030 | 0.2863 | 0.0646 | 5.0515 |
| 30            | 32            | 80             | 64             | 2             | 0.8337      | 0.9131 | 0.3132 | 0.0678 | 5.4238 |
| 30            | 32            | 90             | 16             | 2             | 0.6645      | 0.8152 | 0.3294 | 0.1407 | 7.7526 |
| 30            | 32            | 90             | 32             | 2             | 0.7670      | 0.8758 | 0.2963 | 0.0615 | 5.1297 |
| 30            | 32            | 90             | 64             | 2             | 0.8515      | 0.9228 | 0.3395 | 0.1067 | 6.6306 |
| 30            | 32            | 100            | 16             | 2             | 0.6811      | 0.8253 | 0.3004 | 0.0902 | 5.7111 |
| 30            | 32            | 100            | 32             | 2             | 0.7447      | 0.8630 | 0.3227 | 0.0969 | 6.0578 |
| 30            | 32            | 100            | 64             | 2             | 0.8019      | 0.8955 | 0.3096 | 0.0603 | 5.1167 |
| 30            | 64            | 50             | 16             | 2             | 0.5405      | 0.7352 | 0.2812 | 0.0695 | 5.0904 |
| 30            | 64            | 50             | 32             | 2             | 0.5754      | 0.7585 | 0.3343 | 0.1582 | 8.0026 |
| 30            | 64            | 50             | 64             | 2             | 0.6127      | 0.7827 | 0.2997 | 0.0862 | 5.7483 |
| 30            | 64            | 60             | 16             | 2             | 0.8091      | 0.8995 | 0.3301 | 0.0743 | 5.4911 |
| 30            | 64            | 60             | 32             | 2             | 0.6578      | 0.8110 | 0.2891 | 0.0611 | 5.2053 |
| 30            | 64            | 60             | 64             | 2             | 0.7086      | 0.8418 | 0.2987 | 0.0776 | 5.3784 |
| 30            | 64            | 70             | 16             | 2             | 0.4955      | 0.7039 | 0.2546 | 0.0658 | 4.7690 |
| 30            | 64            | 70             | 32             | 2             | 0.6437      | 0.8023 | 0.3111 | 0.1020 | 6.2444 |
| 30            | 64            | 70             | 64             | 2             | 0.6077      | 0.7796 | 0.2782 | 0.0739 | 5.1329 |
| 30            | 64            | 80             | 16             | 2             | 0.5177      | 0.7195 | 0.2880 | 0.1034 | 6.2667 |
| 30            | 64            | 80             | 32             | 2             | 0.6056      | 0.7782 | 0.2637 | 0.0655 | 4.8153 |
| 30            | 64            | 80             | 64             | 2             | 0.7010      | 0.8373 | 0.3043 | 0.0711 | 5.4351 |
| 30            | 64            | 90             | 16             | 2             | 0.7121      | 0.8439 | 0.3359 | 0.1206 | 7.2017 |
| 30            | 64            | 90             | 32             | 2             | 0.6154      | 0.7845 | 0.2693 | 0.0647 | 4.9929 |
| 30            | 64            | 90             | 64             | 2             | 0.6206      | 0.7878 | 0.2776 | 0.0598 | 4.8496 |
| 30            | 64            | 100            | 16             | 2             | 0.5282      | 0.7268 | 0.2702 | 0.0701 | 5.0228 |
| 30            | 64            | 100            | 32             | 2             | 0.5436      | 0.7373 | 0.2532 | 0.0630 | 4.6614 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 64            | 100            | 64             | 2             | 0.6772      | 0.8229 | 0.2904 | 0.0628 | 5.0987 |
| 7             | 16            | 50             | 16             | 3             | 0.8006      | 0.8948 | 0.2917 | 0.0662 | 4.9862 |
| 7             | 16            | 50             | 32             | 3             | 1.1757      | 1.0843 | 0.3637 | 0.0857 | 6.2198 |
| 7             | 16            | 50             | 64             | 3             | 1.4583      | 1.2076 | 0.3917 | 0.0684 | 6.2323 |
| 7             | 16            | 60             | 16             | 3             | 0.7519      | 0.8671 | 0.2917 | 0.0771 | 5.3701 |
| 7             | 16            | 60             | 32             | 3             | 1.0674      | 1.0331 | 0.3378 | 0.0737 | 5.7585 |
| 7             | 16            | 60             | 64             | 3             | 1.4088      | 1.1869 | 0.3844 | 0.0684 | 6.1244 |
| 7             | 16            | 70             | 16             | 3             | 0.9095      | 0.9537 | 0.3174 | 0.0774 | 5.6230 |
| 7             | 16            | 70             | 32             | 3             | 0.9005      | 0.9489 | 0.3433 | 0.1232 | 7.1797 |
| 7             | 16            | 70             | 64             | 3             | 1.3544      | 1.1638 | 0.3781 | 0.0758 | 6.0988 |
| 7             | 16            | 80             | 16             | 3             | 1.0813      | 1.0399 | 0.3381 | 0.0651 | 5.4411 |
| 7             | 16            | 80             | 32             | 3             | 0.8010      | 0.8950 | 0.3172 | 0.1003 | 6.1550 |
| 7             | 16            | 80             | 64             | 3             | 1.2140      | 1.1018 | 0.3581 | 0.0716 | 5.8064 |
| 7             | 16            | 90             | 16             | 3             | 0.7294      | 0.8540 | 0.2817 | 0.0759 | 5.2373 |
| 7             | 16            | 90             | 32             | 3             | 0.8181      | 0.9045 | 0.3063 | 0.0749 | 5.5233 |
| 7             | 16            | 90             | 64             | 3             | 1.3463      | 1.1603 | 0.3718 | 0.0670 | 5.6489 |
| 7             | 16            | 100            | 16             | 3             | 0.7728      | 0.8791 | 0.2989 | 0.0724 | 5.3695 |
| 7             | 16            | 100            | 32             | 3             | 0.7580      | 0.8706 | 0.3051 | 0.0943 | 6.0476 |
| 7             | 16            | 100            | 64             | 3             | 1.0484      | 1.0239 | 0.3342 | 0.0695 | 5.4071 |
| 7             | 32            | 50             | 16             | 3             | 0.6277      | 0.7923 | 0.2759 | 0.0740 | 5.1552 |
| 7             | 32            | 50             | 32             | 3             | 0.8136      | 0.9020 | 0.2928 | 0.0620 | 4.9384 |
| 7             | 32            | 50             | 64             | 3             | 0.8792      | 0.9376 | 0.3109 | 0.0735 | 5.5072 |
| 7             | 32            | 60             | 16             | 3             | 0.7328      | 0.8561 | 0.3034 | 0.1000 | 6.2089 |
| 7             | 32            | 60             | 32             | 3             | 0.6984      | 0.8357 | 0.2897 | 0.0942 | 6.0418 |
| 7             | 32            | 60             | 64             | 3             | 0.8761      | 0.9360 | 0.3077 | 0.0658 | 5.4454 |
| 7             | 32            | 70             | 16             | 3             | 0.8242      | 0.9078 | 0.2926 | 0.0610 | 5.0182 |
| 7             | 32            | 70             | 32             | 3             | 0.7907      | 0.8892 | 0.2954 | 0.0743 | 5.4184 |
| 7             | 32            | 70             | 64             | 3             | 0.8681      | 0.9317 | 0.3132 | 0.0916 | 6.1760 |
| 7             | 32            | 80             | 16             | 3             | 0.6689      | 0.8179 | 0.3267 | 0.1411 | 7.4854 |
| 7             | 32            | 80             | 32             | 3             | 0.6406      | 0.8004 | 0.2706 | 0.0630 | 5.0091 |
| 7             | 32            | 80             | 64             | 3             | 0.7811      | 0.8838 | 0.2931 | 0.0592 | 5.0033 |
| 7             | 32            | 90             | 16             | 3             | 0.6616      | 0.8134 | 0.3156 | 0.1253 | 7.0288 |
| 7             | 32            | 90             | 32             | 3             | 0.6646      | 0.8152 | 0.2675 | 0.0733 | 5.1112 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |         |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE    |
| 7             | 32            | 90             | 64             | 3             | 0.8029      | 0.8961 | 0.3072 | 0.0752 | 5.6140  |
| 7             | 32            | 100            | 16             | 3             | 0.6878      | 0.8293 | 0.3982 | 0.2292 | 11.1200 |
| 7             | 32            | 100            | 32             | 3             | 0.8474      | 0.9205 | 0.3252 | 0.1034 | 6.4255  |
| 7             | 32            | 100            | 64             | 3             | 0.7301      | 0.8545 | 0.2831 | 0.0637 | 4.8839  |
| 7             | 64            | 50             | 16             | 3             | 0.9060      | 0.9518 | 0.3283 | 0.0650 | 5.3356  |
| 7             | 64            | 50             | 32             | 3             | 0.5262      | 0.7254 | 0.2502 | 0.0759 | 4.8794  |
| 7             | 64            | 50             | 64             | 3             | 0.5813      | 0.7624 | 0.3007 | 0.1227 | 6.7523  |
| 7             | 64            | 60             | 16             | 3             | 0.6796      | 0.8244 | 0.3041 | 0.0923 | 5.7737  |
| 7             | 64            | 60             | 32             | 3             | 0.5051      | 0.7107 | 0.2407 | 0.0731 | 4.8792  |
| 7             | 64            | 60             | 64             | 3             | 0.5606      | 0.7487 | 0.2574 | 0.0772 | 5.1350  |
| 7             | 64            | 70             | 16             | 3             | 0.4115      | 0.6415 | 0.2106 | 0.0622 | 4.2510  |
| 7             | 64            | 70             | 32             | 3             | 0.5385      | 0.7338 | 0.2527 | 0.0784 | 5.1359  |
| 7             | 64            | 70             | 64             | 3             | 0.6251      | 0.7906 | 0.2626 | 0.0559 | 4.7246  |
| 7             | 64            | 80             | 16             | 3             | 0.6468      | 0.8043 | 0.2924 | 0.0827 | 5.3239  |
| 7             | 64            | 80             | 32             | 3             | 0.5395      | 0.7345 | 0.2893 | 0.1069 | 6.0333  |
| 7             | 64            | 80             | 64             | 3             | 0.6278      | 0.7923 | 0.2821 | 0.0815 | 5.5369  |
| 7             | 64            | 90             | 16             | 3             | 0.6176      | 0.7858 | 0.2683 | 0.0577 | 4.7407  |
| 7             | 64            | 90             | 32             | 3             | 0.5954      | 0.7716 | 0.2682 | 0.0608 | 4.8451  |
| 7             | 64            | 90             | 64             | 3             | 0.6268      | 0.7917 | 0.3002 | 0.1097 | 6.3990  |
| 7             | 64            | 100            | 16             | 3             | 0.6283      | 0.7926 | 0.3208 | 0.1312 | 7.1356  |
| 7             | 64            | 100            | 32             | 3             | 0.5216      | 0.7222 | 0.2784 | 0.1147 | 6.4653  |
| 7             | 64            | 100            | 64             | 3             | 0.6043      | 0.7773 | 0.2671 | 0.0792 | 5.1497  |
| 14            | 16            | 50             | 16             | 3             | 0.9531      | 0.9763 | 0.3185 | 0.0630 | 5.1423  |
| 14            | 16            | 50             | 32             | 3             | 1.3042      | 1.1420 | 0.3881 | 0.0996 | 6.8856  |
| 14            | 16            | 50             | 64             | 3             | 1.7677      | 1.3296 | 0.4488 | 0.0933 | 6.9323  |
| 14            | 16            | 60             | 16             | 3             | 0.9216      | 0.9600 | 0.3235 | 0.0729 | 5.3241  |
| 14            | 16            | 60             | 32             | 3             | 1.1296      | 1.0628 | 0.3535 | 0.0693 | 5.8120  |
| 14            | 16            | 60             | 64             | 3             | 1.6650      | 1.2904 | 0.4225 | 0.0721 | 6.4932  |
| 14            | 16            | 70             | 16             | 3             | 1.0145      | 1.0072 | 0.3301 | 0.0663 | 5.4586  |
| 14            | 16            | 70             | 32             | 3             | 1.2065      | 1.0984 | 0.3578 | 0.0642 | 5.5183  |
| 14            | 16            | 70             | 64             | 3             | 1.4454      | 1.2022 | 0.3941 | 0.0739 | 6.1474  |
| 14            | 16            | 80             | 16             | 3             | 0.8929      | 0.9449 | 0.3337 | 0.0848 | 5.9467  |
| 14            | 16            | 80             | 32             | 3             | 0.9955      | 0.9978 | 0.3344 | 0.0602 | 5.3435  |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 16            | 80             | 64             | 3             | 1.4897      | 1.2205 | 0.4005 | 0.0752 | 6.3510 |
| 14            | 16            | 90             | 16             | 3             | 0.8802      | 0.9382 | 0.3369 | 0.0979 | 6.3458 |
| 14            | 16            | 90             | 32             | 3             | 1.0073      | 1.0036 | 0.3623 | 0.0921 | 6.5010 |
| 14            | 16            | 90             | 64             | 3             | 1.1661      | 1.0799 | 0.3498 | 0.0658 | 5.5723 |
| 14            | 16            | 100            | 16             | 3             | 0.7951      | 0.8917 | 0.3057 | 0.0677 | 5.3362 |
| 14            | 16            | 100            | 32             | 3             | 1.0246      | 1.0122 | 0.3363 | 0.0564 | 5.3551 |
| 14            | 16            | 100            | 64             | 3             | 1.0645      | 1.0318 | 0.3383 | 0.0621 | 5.5141 |
| 14            | 32            | 50             | 16             | 3             | 0.8454      | 0.9195 | 0.3195 | 0.0646 | 5.2532 |
| 14            | 32            | 50             | 32             | 3             | 0.9177      | 0.9580 | 0.3326 | 0.0823 | 5.9988 |
| 14            | 32            | 50             | 64             | 3             | 1.1039      | 1.0507 | 0.3840 | 0.1348 | 7.9373 |
| 14            | 32            | 60             | 16             | 3             | 0.8048      | 0.8971 | 0.3089 | 0.0684 | 5.2721 |
| 14            | 32            | 60             | 32             | 3             | 0.8817      | 0.9390 | 0.3560 | 0.1224 | 7.0710 |
| 14            | 32            | 60             | 64             | 3             | 1.0128      | 1.0064 | 0.3344 | 0.0621 | 5.3660 |
| 14            | 32            | 70             | 16             | 3             | 1.0502      | 1.0248 | 0.3471 | 0.0762 | 5.8426 |
| 14            | 32            | 70             | 32             | 3             | 0.9448      | 0.9720 | 0.3245 | 0.0683 | 5.3322 |
| 14            | 32            | 70             | 64             | 3             | 1.1139      | 1.0554 | 0.3595 | 0.0722 | 5.8557 |
| 14            | 32            | 80             | 16             | 3             | 1.1507      | 1.0727 | 0.3880 | 0.0901 | 6.4858 |
| 14            | 32            | 80             | 32             | 3             | 0.8591      | 0.9269 | 0.3161 | 0.0716 | 5.6083 |
| 14            | 32            | 80             | 64             | 3             | 0.9085      | 0.9532 | 0.3355 | 0.0885 | 5.9805 |
| 14            | 32            | 90             | 16             | 3             | 0.7434      | 0.8622 | 0.2926 | 0.0677 | 5.3158 |
| 14            | 32            | 90             | 32             | 3             | 0.8492      | 0.9215 | 0.3511 | 0.1010 | 6.6270 |
| 14            | 32            | 90             | 64             | 3             | 0.9440      | 0.9716 | 0.3281 | 0.0670 | 5.3235 |
| 14            | 32            | 100            | 16             | 3             | 0.9136      | 0.9558 | 0.3540 | 0.1072 | 6.5293 |
| 14            | 32            | 100            | 32             | 3             | 1.5205      | 1.2331 | 0.3912 | 0.0611 | 5.7083 |
| 14            | 32            | 100            | 64             | 3             | 1.1052      | 1.0513 | 0.3504 | 0.0660 | 5.7371 |
| 14            | 64            | 50             | 16             | 3             | 0.5446      | 0.7379 | 0.2593 | 0.0660 | 4.9027 |
| 14            | 64            | 50             | 32             | 3             | 0.7140      | 0.8450 | 0.3014 | 0.0645 | 5.0729 |
| 14            | 64            | 50             | 64             | 3             | 0.7580      | 0.8706 | 0.2979 | 0.0661 | 5.2602 |
| 14            | 64            | 60             | 16             | 3             | 0.6798      | 0.8245 | 0.3171 | 0.0966 | 5.9817 |
| 14            | 64            | 60             | 32             | 3             | 0.5635      | 0.7507 | 0.2653 | 0.0719 | 5.0857 |
| 14            | 64            | 60             | 64             | 3             | 0.7957      | 0.8920 | 0.3144 | 0.0802 | 5.7057 |
| 14            | 64            | 70             | 16             | 3             | 0.7051      | 0.8397 | 0.2961 | 0.0621 | 5.1076 |
| 14            | 64            | 70             | 32             | 3             | 0.6762      | 0.8223 | 0.3861 | 0.2040 | 9.9900 |

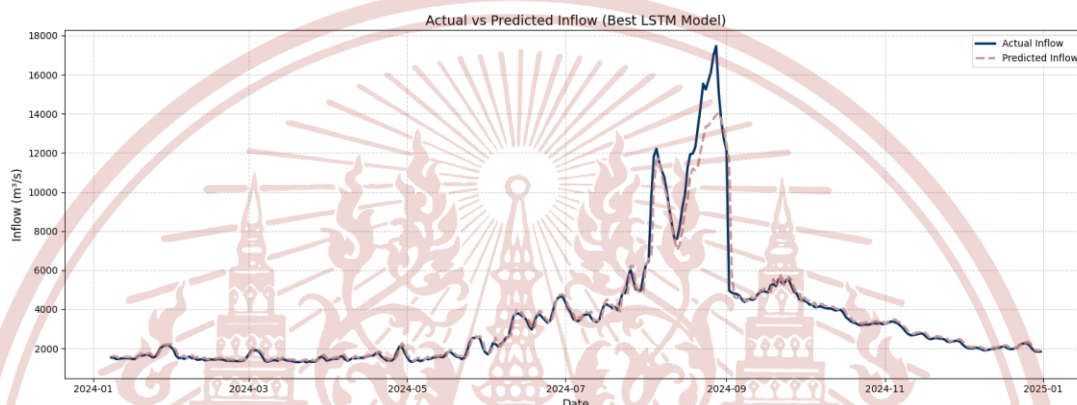
ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 64            | 70             | 64             | 3             | 0.6326      | 0.7953 | 0.3082 | 0.1239 | 6.7617 |
| 14            | 64            | 80             | 16             | 3             | 0.5338      | 0.7306 | 0.3236 | 0.1558 | 7.8613 |
| 14            | 64            | 80             | 32             | 3             | 0.5635      | 0.7507 | 0.2753 | 0.0974 | 5.6248 |
| 14            | 64            | 80             | 64             | 3             | 0.7105      | 0.8429 | 0.2916 | 0.0623 | 5.0886 |
| 14            | 64            | 90             | 16             | 3             | 0.8483      | 0.9210 | 0.3574 | 0.1163 | 7.1322 |
| 14            | 64            | 90             | 32             | 3             | 0.6524      | 0.8077 | 0.2693 | 0.0650 | 5.0796 |
| 14            | 64            | 90             | 64             | 3             | 0.6188      | 0.7866 | 0.2708 | 0.0681 | 5.0464 |
| 14            | 64            | 100            | 16             | 3             | 0.7542      | 0.8684 | 0.3055 | 0.0577 | 5.1268 |
| 14            | 64            | 100            | 32             | 3             | 0.7767      | 0.8813 | 0.3090 | 0.0703 | 5.2887 |
| 14            | 64            | 100            | 64             | 3             | 0.7785      | 0.8823 | 0.3362 | 0.1082 | 6.7311 |
| 30            | 16            | 50             | 16             | 3             | 0.9897      | 0.9948 | 0.3562 | 0.0907 | 6.3983 |
| 30            | 16            | 50             | 32             | 3             | 1.3051      | 1.1424 | 0.3735 | 0.0642 | 5.7010 |
| 30            | 16            | 50             | 64             | 3             | 2.3160      | 1.5218 | 0.5248 | 0.1043 | 7.7748 |
| 30            | 16            | 60             | 16             | 3             | 0.9042      | 0.9509 | 0.3581 | 0.1275 | 7.6826 |
| 30            | 16            | 60             | 32             | 3             | 1.2852      | 1.1337 | 0.4067 | 0.1058 | 7.0341 |
| 30            | 16            | 60             | 64             | 3             | 1.8818      | 1.3718 | 0.5016 | 0.1443 | 8.9680 |
| 30            | 16            | 70             | 16             | 3             | 0.9245      | 0.9615 | 0.3439 | 0.0864 | 6.1842 |
| 30            | 16            | 70             | 32             | 3             | 1.0443      | 1.0219 | 0.3414 | 0.0713 | 5.6159 |
| 30            | 16            | 70             | 64             | 3             | 1.4939      | 1.2222 | 0.4034 | 0.0685 | 6.1441 |
| 30            | 16            | 80             | 16             | 3             | 0.8970      | 0.9471 | 0.3259 | 0.0720 | 5.6941 |
| 30            | 16            | 80             | 32             | 3             | 1.1881      | 1.0900 | 0.3847 | 0.0964 | 6.4300 |
| 30            | 16            | 80             | 64             | 3             | 1.1917      | 1.0916 | 0.3753 | 0.0889 | 6.4625 |
| 30            | 16            | 90             | 16             | 3             | 0.8104      | 0.9002 | 0.3131 | 0.0812 | 5.6110 |
| 30            | 16            | 90             | 32             | 3             | 1.0434      | 1.0215 | 0.3495 | 0.0606 | 5.4711 |
| 30            | 16            | 90             | 64             | 3             | 1.3156      | 1.1470 | 0.3791 | 0.0608 | 5.6455 |
| 30            | 16            | 100            | 16             | 3             | 0.8955      | 0.9463 | 0.3157 | 0.0639 | 5.1059 |
| 30            | 16            | 100            | 32             | 3             | 0.8838      | 0.9401 | 0.3403 | 0.0997 | 6.1561 |
| 30            | 16            | 100            | 64             | 3             | 1.4340      | 1.1975 | 0.4044 | 0.0884 | 6.5011 |
| 30            | 32            | 50             | 16             | 3             | 0.9556      | 0.9775 | 0.3466 | 0.0951 | 6.5940 |
| 30            | 32            | 50             | 32             | 3             | 1.0375      | 1.0186 | 0.3589 | 0.0865 | 6.0394 |
| 30            | 32            | 50             | 64             | 3             | 1.1007      | 1.0491 | 0.3691 | 0.0950 | 6.7032 |
| 30            | 32            | 60             | 16             | 3             | 0.8350      | 0.9138 | 0.3215 | 0.0644 | 5.3708 |
| 30            | 32            | 60             | 32             | 3             | 0.7682      | 0.8765 | 0.3025 | 0.0657 | 5.3395 |

ตารางที่ 4-12 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 32            | 60             | 64             | 3             | 1.0073      | 1.0036 | 0.3271 | 0.0568 | 5.1198 |
| 30            | 32            | 70             | 16             | 3             | 0.8234      | 0.9074 | 0.3352 | 0.1039 | 6.7696 |
| 30            | 32            | 70             | 32             | 3             | 0.8421      | 0.9176 | 0.3245 | 0.0786 | 5.6786 |
| 30            | 32            | 70             | 64             | 3             | 1.0719      | 1.0353 | 0.3617 | 0.0854 | 5.9446 |
| 30            | 32            | 80             | 16             | 3             | 1.0263      | 1.0131 | 0.3613 | 0.0915 | 6.2040 |
| 30            | 32            | 80             | 32             | 3             | 0.8664      | 0.9308 | 0.3650 | 0.1221 | 7.0657 |
| 30            | 32            | 80             | 64             | 3             | 0.9991      | 0.9995 | 0.3352 | 0.0596 | 5.3022 |
| 30            | 32            | 90             | 16             | 3             | 0.6818      | 0.8257 | 0.3393 | 0.1354 | 7.5671 |
| 30            | 32            | 90             | 32             | 3             | 0.8822      | 0.9392 | 0.3576 | 0.1088 | 6.8798 |
| 30            | 32            | 90             | 64             | 3             | 0.9248      | 0.9617 | 0.3320 | 0.0745 | 5.5152 |
| 30            | 32            | 100            | 16             | 3             | 0.8014      | 0.8952 | 0.3064 | 0.0651 | 5.3653 |
| 30            | 32            | 100            | 32             | 3             | 0.9001      | 0.9487 | 0.3307 | 0.0728 | 5.4443 |
| 30            | 32            | 100            | 64             | 3             | 0.9863      | 0.9932 | 0.3502 | 0.0825 | 5.8193 |
| 30            | 64            | 50             | 16             | 3             | 0.5006      | 0.7075 | 0.2682 | 0.0983 | 5.8335 |
| 30            | 64            | 50             | 32             | 3             | 0.6987      | 0.8359 | 0.3647 | 0.1594 | 8.1876 |
| 30            | 64            | 50             | 64             | 3             | 0.8102      | 0.9001 | 0.3430 | 0.1168 | 7.0715 |
| 30            | 64            | 60             | 16             | 3             | 0.8048      | 0.8971 | 0.3300 | 0.0740 | 5.4790 |
| 30            | 64            | 60             | 32             | 3             | 0.7628      | 0.8734 | 0.3304 | 0.0867 | 5.9897 |
| 30            | 64            | 60             | 64             | 3             | 0.8377      | 0.9153 | 0.3420 | 0.0984 | 6.4058 |
| 30            | 64            | 70             | 16             | 3             | 0.5898      | 0.7680 | 0.3285 | 0.1540 | 8.1975 |
| 30            | 64            | 70             | 32             | 3             | 0.6854      | 0.8279 | 0.2915 | 0.0656 | 5.1840 |
| 30            | 64            | 70             | 64             | 3             | 0.7573      | 0.8702 | 0.3126 | 0.0845 | 5.4984 |
| 30            | 64            | 80             | 16             | 3             | 0.7107      | 0.8430 | 0.3157 | 0.0894 | 5.7020 |
| 30            | 64            | 80             | 32             | 3             | 0.8347      | 0.9136 | 0.3189 | 0.0735 | 5.5614 |
| 30            | 64            | 80             | 64             | 3             | 0.8151      | 0.9028 | 0.3235 | 0.0900 | 5.8099 |
| 30            | 64            | 90             | 16             | 3             | 0.8543      | 0.9243 | 0.3435 | 0.0809 | 5.7584 |
| 30            | 64            | 90             | 32             | 3             | 0.6656      | 0.8159 | 0.3019 | 0.0859 | 5.5178 |
| 30            | 64            | 90             | 64             | 3             | 0.8407      | 0.9169 | 0.3207 | 0.0696 | 5.2939 |
| 30            | 64            | 100            | 16             | 3             | 0.6960      | 0.8343 | 0.3026 | 0.0646 | 5.2646 |
| 30            | 64            | 100            | 32             | 3             | 0.6314      | 0.7946 | 0.2900 | 0.0707 | 5.1983 |
| 30            | 64            | 100            | 64             | 3             | 0.7379      | 0.8590 | 0.3125 | 0.0971 | 6.2726 |

จากตารางที่ 4-12 พบว่า การทดสอบด้วยอัลกอริทึม LSTM ด้วยพารามิเตอร์ค่า lookbacks เท่ากับ 7 ค่า units list เท่ากับ 64 ค่า epochs list เท่ากับ 90 ค่า batch sizes เท่ากับ 32 และ ค่า num layers เท่ากับ 1 ให้ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่า MSE เท่ากับ 0.3448 ค่า RMSE เท่ากับ 0.5872 ค่า MAE เท่ากับ 0.1981 ค่า MAD เท่ากับ 0.0608 และค่า MAPE เท่ากับ 4.3236 ผลการพยากรณ์แสดงดังภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-2 ผลการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM

#### 4.2.3 ผลการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม GRU

จากการทดสอบอัลกอริทึม GRU โดยใช้พารามิเตอร์ lookbacks เท่ากับ 7,17,30 units list เท่ากับ 16,32,64 epochs list เท่ากับ 50,60,70,80,90,100 batch sizes เท่ากับ 16,32,64 และ num layers เท่ากับ 1,2,3 ได้จำนวนรูปแบบในการทดสอบจำนวน 486 รูปแบบ ซึ่งได้ค่า MSE ค่า RMSE ค่า MAE ค่า MAD และค่า MAPE แสดงดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ผลการทดสอบด้วยอัลกอริทึม GRU

| Parameter  |            |             |             |            | Performance |        |        |        |        |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look backs | units list | epochs list | batch sizes | Num layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7          | 16         | 50          | 16          | 1          | 1.1047      | 1.0510 | 0.3313 | 0.0657 | 5.3869 |
| 7          | 16         | 50          | 32          | 1          | 1.2709      | 1.1273 | 0.3537 | 0.0572 | 5.4019 |
| 7          | 16         | 50          | 64          | 1          | 2.6799      | 1.6371 | 0.5338 | 0.0936 | 7.7162 |
| 7          | 16         | 60          | 16          | 1          | 0.7501      | 0.8661 | 0.2807 | 0.0668 | 4.8460 |
| 7          | 16         | 60          | 32          | 1          | 1.2512      | 1.1186 | 0.3504 | 0.0665 | 5.3436 |
| 7          | 16         | 60          | 64          | 1          | 1.8714      | 1.3680 | 0.4380 | 0.0783 | 6.6386 |
| 7          | 16         | 70          | 16          | 1          | 0.6734      | 0.8206 | 0.2660 | 0.0615 | 4.7764 |
| 7          | 16         | 70          | 32          | 1          | 1.0282      | 1.0140 | 0.3136 | 0.0615 | 5.0116 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 16            | 70             | 64             | 1             | 1.8202      | 1.3491 | 0.4284 | 0.0774 | 6.2537 |
| 7             | 16            | 80             | 16             | 1             | 0.6744      | 0.8212 | 0.2616 | 0.0602 | 4.5107 |
| 7             | 16            | 80             | 32             | 1             | 0.9325      | 0.9657 | 0.3040 | 0.0611 | 4.8917 |
| 7             | 16            | 80             | 64             | 1             | 1.6666      | 1.2910 | 0.4018 | 0.0645 | 5.8178 |
| 7             | 16            | 90             | 16             | 1             | 0.5815      | 0.7626 | 0.2447 | 0.0611 | 4.4002 |
| 7             | 16            | 90             | 32             | 1             | 0.9046      | 0.9511 | 0.2986 | 0.0667 | 4.9548 |
| 7             | 16            | 90             | 64             | 1             | 1.4101      | 1.1875 | 0.3739 | 0.0708 | 5.7347 |
| 7             | 16            | 100            | 16             | 1             | 0.5634      | 0.7506 | 0.2468 | 0.0653 | 4.6138 |
| 7             | 16            | 100            | 32             | 1             | 0.7592      | 0.8713 | 0.2804 | 0.0711 | 4.9010 |
| 7             | 16            | 100            | 64             | 1             | 1.4132      | 1.1888 | 0.3798 | 0.0711 | 5.8726 |
| 7             | 32            | 50             | 16             | 1             | 0.6156      | 0.7846 | 0.2752 | 0.0843 | 5.3110 |
| 7             | 32            | 50             | 32             | 1             | 0.9382      | 0.9686 | 0.3183 | 0.0664 | 5.3920 |
| 7             | 32            | 50             | 64             | 1             | 1.3457      | 1.1600 | 0.3757 | 0.0674 | 5.8984 |
| 7             | 32            | 60             | 16             | 1             | 0.5680      | 0.7536 | 0.2476 | 0.0597 | 4.4370 |
| 7             | 32            | 60             | 32             | 1             | 0.6443      | 0.8027 | 0.2620 | 0.0633 | 4.7478 |
| 7             | 32            | 60             | 64             | 1             | 1.1762      | 1.0845 | 0.3572 | 0.0862 | 5.9457 |
| 7             | 32            | 70             | 16             | 1             | 0.5603      | 0.7485 | 0.2694 | 0.0820 | 5.4726 |
| 7             | 32            | 70             | 32             | 1             | 0.6218      | 0.7886 | 0.2530 | 0.0559 | 4.4880 |
| 7             | 32            | 70             | 64             | 1             | 0.9449      | 0.9721 | 0.3250 | 0.0851 | 5.6690 |
| 7             | 32            | 80             | 16             | 1             | 0.5180      | 0.7197 | 0.2349 | 0.0607 | 4.4044 |
| 7             | 32            | 80             | 32             | 1             | 0.6870      | 0.8288 | 0.2655 | 0.0583 | 4.5996 |
| 7             | 32            | 80             | 64             | 1             | 0.8451      | 0.9193 | 0.3047 | 0.0761 | 5.4310 |
| 7             | 32            | 90             | 16             | 1             | 0.4742      | 0.6886 | 0.2300 | 0.0613 | 4.4158 |
| 7             | 32            | 90             | 32             | 1             | 0.6029      | 0.7765 | 0.2520 | 0.0584 | 4.5265 |
| 7             | 32            | 90             | 64             | 1             | 0.8957      | 0.9464 | 0.3015 | 0.0618 | 5.0200 |
| 7             | 32            | 100            | 16             | 1             | 0.5358      | 0.7320 | 0.2349 | 0.0595 | 4.4042 |
| 7             | 32            | 100            | 32             | 1             | 0.5287      | 0.7271 | 0.2489 | 0.0638 | 4.6508 |
| 7             | 32            | 100            | 64             | 1             | 0.6659      | 0.8160 | 0.2611 | 0.0593 | 4.5906 |
| 7             | 64            | 50             | 16             | 1             | 0.4667      | 0.6832 | 0.2455 | 0.0626 | 4.7427 |
| 7             | 64            | 50             | 32             | 1             | 0.4586      | 0.6772 | 0.2393 | 0.0783 | 4.9551 |
| 7             | 64            | 50             | 64             | 1             | 0.6176      | 0.7859 | 0.2834 | 0.0885 | 5.7504 |
| 7             | 64            | 60             | 16             | 1             | 0.5252      | 0.7247 | 0.2509 | 0.0619 | 4.8085 |
| 7             | 64            | 60             | 32             | 1             | 0.4429      | 0.6655 | 0.2273 | 0.0694 | 4.4863 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter  |            |             |             |            | Performance |        |        |        |        |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look backs | units list | epochs list | batch sizes | Num layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7          | 64         | 60          | 64          | 1          | 0.6005      | 0.7749 | 0.2587 | 0.0590 | 4.7869 |
| 7          | 64         | 70          | 16          | 1          | 0.3879      | 0.6228 | 0.2625 | 0.1309 | 6.4654 |
| 7          | 64         | 70          | 32          | 1          | 0.4223      | 0.6498 | 0.2231 | 0.0554 | 4.3206 |
| 7          | 64         | 70          | 64          | 1          | 0.5374      | 0.7331 | 0.2480 | 0.0600 | 4.6576 |
| 7          | 64         | 80          | 16          | 1          | 0.3781      | 0.6149 | 0.2139 | 0.0619 | 4.5070 |
| 7          | 64         | 80          | 32          | 1          | 0.4367      | 0.6608 | 0.2296 | 0.0623 | 4.4209 |
| 7          | 64         | 80          | 64          | 1          | 0.5173      | 0.7192 | 0.2557 | 0.0795 | 5.1777 |
| 7          | 64         | 90          | 16          | 1          | 0.4259      | 0.6526 | 0.2304 | 0.0569 | 4.3409 |
| 7          | 64         | 90          | 32          | 1          | 0.4217      | 0.6494 | 0.2229 | 0.0546 | 4.2469 |
| 7          | 64         | 90          | 64          | 1          | 0.5139      | 0.7168 | 0.2530 | 0.0768 | 5.1403 |
| 7          | 64         | 100         | 16          | 1          | 0.4060      | 0.6372 | 0.2447 | 0.0861 | 5.2644 |
| 7          | 64         | 100         | 32          | 1          | 0.3757      | 0.6129 | 0.2252 | 0.0824 | 4.9454 |
| 7          | 64         | 100         | 64          | 1          | 0.4515      | 0.6719 | 0.2249 | 0.0644 | 4.3598 |
| 14         | 16         | 50          | 16          | 1          | 0.9945      | 0.9973 | 0.3226 | 0.0772 | 5.5180 |
| 14         | 16         | 50          | 32          | 1          | 1.3840      | 1.1764 | 0.3831 | 0.0882 | 6.0397 |
| 14         | 16         | 50          | 64          | 1          | 2.6057      | 1.6142 | 0.5451 | 0.1036 | 8.1456 |
| 14         | 16         | 60          | 16          | 1          | 0.7976      | 0.8931 | 0.2862 | 0.0680 | 4.8741 |
| 14         | 16         | 60          | 32          | 1          | 1.2079      | 1.0990 | 0.3592 | 0.0813 | 5.8479 |
| 14         | 16         | 60          | 64          | 1          | 2.1281      | 1.4588 | 0.4714 | 0.0699 | 6.8137 |
| 14         | 16         | 70          | 16          | 1          | 0.6924      | 0.8321 | 0.2700 | 0.0639 | 4.8249 |
| 14         | 16         | 70          | 32          | 1          | 1.2778      | 1.1304 | 0.3561 | 0.0757 | 5.4727 |
| 14         | 16         | 70          | 64          | 1          | 1.8185      | 1.3485 | 0.4315 | 0.0674 | 6.3139 |
| 14         | 16         | 80          | 16          | 1          | 0.6755      | 0.8219 | 0.2691 | 0.0663 | 4.8995 |
| 14         | 16         | 80          | 32          | 1          | 0.9061      | 0.9519 | 0.3002 | 0.0633 | 4.8524 |
| 14         | 16         | 80          | 64          | 1          | 2.4575      | 1.5676 | 0.5147 | 0.0905 | 7.4981 |
| 14         | 16         | 90          | 16          | 1          | 0.6055      | 0.7781 | 0.2763 | 0.0986 | 5.8218 |
| 14         | 16         | 90          | 32          | 1          | 0.8819      | 0.9391 | 0.3002 | 0.0645 | 4.9977 |
| 14         | 16         | 90          | 64          | 1          | 1.5491      | 1.2446 | 0.3910 | 0.0712 | 5.7495 |
| 14         | 16         | 100         | 16          | 1          | 0.6002      | 0.7747 | 0.2523 | 0.0677 | 4.6872 |
| 14         | 16         | 100         | 32          | 1          | 1.0169      | 1.0084 | 0.3230 | 0.0637 | 5.1373 |
| 14         | 16         | 100         | 64          | 1          | 1.4024      | 1.1842 | 0.3674 | 0.0640 | 5.4161 |
| 14         | 32         | 50          | 16          | 1          | 0.5603      | 0.7485 | 0.2534 | 0.0757 | 4.7859 |
| 14         | 32         | 50          | 32          | 1          | 0.8025      | 0.8958 | 0.2867 | 0.0634 | 4.8954 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 32            | 50             | 64             | 1             | 0.9533      | 0.9764 | 0.3290 | 0.0788 | 5.6106 |
| 14            | 32            | 60             | 16             | 1             | 0.5782      | 0.7604 | 0.2559 | 0.0638 | 4.5828 |
| 14            | 32            | 60             | 32             | 1             | 0.8351      | 0.9138 | 0.2915 | 0.0648 | 4.8862 |
| 14            | 32            | 60             | 64             | 1             | 0.8924      | 0.9447 | 0.3118 | 0.0624 | 5.2258 |
| 14            | 32            | 70             | 16             | 1             | 0.6442      | 0.8026 | 0.2691 | 0.0640 | 4.9693 |
| 14            | 32            | 70             | 32             | 1             | 0.7334      | 0.8564 | 0.2766 | 0.0626 | 4.7225 |
| 14            | 32            | 70             | 64             | 1             | 0.9095      | 0.9537 | 0.3184 | 0.0797 | 5.3918 |
| 14            | 32            | 80             | 16             | 1             | 0.5887      | 0.7673 | 0.2651 | 0.0881 | 5.6872 |
| 14            | 32            | 80             | 32             | 1             | 0.5990      | 0.7740 | 0.2533 | 0.0603 | 4.5838 |
| 14            | 32            | 80             | 64             | 1             | 0.7986      | 0.8936 | 0.2874 | 0.0648 | 4.8605 |
| 14            | 32            | 90             | 16             | 1             | 0.4959      | 0.7042 | 0.2472 | 0.0812 | 5.0153 |
| 14            | 32            | 90             | 32             | 1             | 0.6461      | 0.8038 | 0.2618 | 0.0627 | 4.5665 |
| 14            | 32            | 90             | 64             | 1             | 0.8278      | 0.9099 | 0.3027 | 0.0815 | 5.4024 |
| 14            | 32            | 100            | 16             | 1             | 0.4532      | 0.6732 | 0.2368 | 0.0698 | 4.6022 |
| 14            | 32            | 100            | 32             | 1             | 0.5651      | 0.7517 | 0.2513 | 0.0759 | 4.7254 |
| 14            | 32            | 100            | 64             | 1             | 0.8233      | 0.9074 | 0.2976 | 0.0720 | 5.1630 |
| 14            | 64            | 50             | 16             | 1             | 0.5496      | 0.7413 | 0.2648 | 0.0647 | 4.6802 |
| 14            | 64            | 50             | 32             | 1             | 0.4831      | 0.6950 | 0.2387 | 0.0704 | 4.6223 |
| 14            | 64            | 50             | 64             | 1             | 0.6184      | 0.7864 | 0.2749 | 0.0763 | 5.1667 |
| 14            | 64            | 60             | 16             | 1             | 0.4091      | 0.6396 | 0.2651 | 0.1277 | 6.1447 |
| 14            | 64            | 60             | 32             | 1             | 0.5286      | 0.7270 | 0.2543 | 0.0752 | 4.9880 |
| 14            | 64            | 60             | 64             | 1             | 0.6124      | 0.7826 | 0.2773 | 0.0860 | 5.4369 |
| 14            | 64            | 70             | 16             | 1             | 0.4161      | 0.6450 | 0.2311 | 0.0658 | 4.4641 |
| 14            | 64            | 70             | 32             | 1             | 0.4849      | 0.6964 | 0.2451 | 0.0647 | 4.7195 |
| 14            | 64            | 70             | 64             | 1             | 0.4949      | 0.7035 | 0.2470 | 0.0647 | 4.8409 |
| 14            | 64            | 80             | 16             | 1             | 0.4570      | 0.6760 | 0.2421 | 0.0633 | 4.5155 |
| 14            | 64            | 80             | 32             | 1             | 0.3851      | 0.6206 | 0.2264 | 0.0810 | 4.7728 |
| 14            | 64            | 80             | 64             | 1             | 0.5144      | 0.7172 | 0.2425 | 0.0689 | 4.6344 |
| 14            | 64            | 90             | 16             | 1             | 0.4212      | 0.6490 | 0.2385 | 0.0769 | 4.9267 |
| 14            | 64            | 90             | 32             | 1             | 0.4418      | 0.6647 | 0.2339 | 0.0656 | 4.4252 |
| 14            | 64            | 90             | 64             | 1             | 0.5694      | 0.7546 | 0.2550 | 0.0766 | 4.8084 |
| 14            | 64            | 100            | 16             | 1             | 0.4141      | 0.6435 | 0.2366 | 0.0666 | 4.6604 |
| 14            | 64            | 100            | 32             | 1             | 0.4186      | 0.6470 | 0.2341 | 0.0779 | 4.7349 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 64            | 100            | 64             | 1             | 0.4744      | 0.6888 | 0.2385 | 0.0610 | 4.5255 |
| 30            | 16            | 50             | 16             | 1             | 1.0028      | 1.0014 | 0.3266 | 0.0723 | 5.2098 |
| 30            | 16            | 50             | 32             | 1             | 1.6989      | 1.3034 | 0.4109 | 0.0615 | 5.7023 |
| 30            | 16            | 50             | 64             | 1             | 2.6656      | 1.6327 | 0.5525 | 0.0909 | 7.9519 |
| 30            | 16            | 60             | 16             | 1             | 0.8847      | 0.9406 | 0.3041 | 0.0657 | 5.1227 |
| 30            | 16            | 60             | 32             | 1             | 1.1785      | 1.0856 | 0.3557 | 0.0775 | 5.7011 |
| 30            | 16            | 60             | 64             | 1             | 1.9882      | 1.4100 | 0.4566 | 0.0802 | 6.4678 |
| 30            | 16            | 70             | 16             | 1             | 0.7312      | 0.8551 | 0.2877 | 0.0709 | 5.3640 |
| 30            | 16            | 70             | 32             | 1             | 1.0336      | 1.0166 | 0.3332 | 0.0714 | 5.2592 |
| 30            | 16            | 70             | 64             | 1             | 1.8938      | 1.3762 | 0.4355 | 0.0706 | 6.0111 |
| 30            | 16            | 80             | 16             | 1             | 0.6891      | 0.8301 | 0.2748 | 0.0747 | 4.8832 |
| 30            | 16            | 80             | 32             | 1             | 1.0467      | 1.0231 | 0.3289 | 0.0674 | 5.1557 |
| 30            | 16            | 80             | 64             | 1             | 1.6087      | 1.2683 | 0.4042 | 0.0649 | 5.7955 |
| 30            | 16            | 90             | 16             | 1             | 0.6445      | 0.8028 | 0.2625 | 0.0689 | 4.6717 |
| 30            | 16            | 90             | 32             | 1             | 0.9819      | 0.9909 | 0.3187 | 0.0674 | 5.0430 |
| 30            | 16            | 90             | 64             | 1             | 1.6574      | 1.2874 | 0.4087 | 0.0747 | 5.7935 |
| 30            | 16            | 100            | 16             | 1             | 0.5675      | 0.7533 | 0.2621 | 0.0885 | 5.6065 |
| 30            | 16            | 100            | 32             | 1             | 0.9062      | 0.9520 | 0.3040 | 0.0643 | 4.9105 |
| 30            | 16            | 100            | 64             | 1             | 1.7291      | 1.3150 | 0.4146 | 0.0641 | 5.7093 |
| 30            | 32            | 50             | 16             | 1             | 0.6220      | 0.7886 | 0.2792 | 0.0910 | 5.3329 |
| 30            | 32            | 50             | 32             | 1             | 0.7801      | 0.8832 | 0.3003 | 0.0714 | 5.2738 |
| 30            | 32            | 50             | 64             | 1             | 1.3041      | 1.1420 | 0.3719 | 0.0656 | 5.6763 |
| 30            | 32            | 60             | 16             | 1             | 0.6017      | 0.7757 | 0.2609 | 0.0694 | 4.7473 |
| 30            | 32            | 60             | 32             | 1             | 0.8513      | 0.9226 | 0.2996 | 0.0664 | 4.9010 |
| 30            | 32            | 60             | 64             | 1             | 0.8877      | 0.9422 | 0.3107 | 0.0646 | 5.0480 |
| 30            | 32            | 70             | 16             | 1             | 0.5132      | 0.7163 | 0.2459 | 0.0677 | 4.7968 |
| 30            | 32            | 70             | 32             | 1             | 0.7859      | 0.8865 | 0.2886 | 0.0662 | 5.0098 |
| 30            | 32            | 70             | 64             | 1             | 1.0009      | 1.0005 | 0.3272 | 0.0655 | 5.1753 |
| 30            | 32            | 80             | 16             | 1             | 0.5427      | 0.7367 | 0.2604 | 0.0767 | 5.2413 |
| 30            | 32            | 80             | 32             | 1             | 0.6057      | 0.7783 | 0.2560 | 0.0617 | 4.5422 |
| 30            | 32            | 80             | 64             | 1             | 0.8377      | 0.9153 | 0.3024 | 0.0671 | 4.9851 |
| 30            | 32            | 90             | 16             | 1             | 0.5307      | 0.7285 | 0.2502 | 0.0614 | 4.5922 |
| 30            | 32            | 90             | 32             | 1             | 0.6817      | 0.8257 | 0.2665 | 0.0618 | 4.5844 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 32            | 90             | 64             | 1             | 0.8629      | 0.9289 | 0.3052 | 0.0634 | 5.0489 |
| 30            | 32            | 100            | 16             | 1             | 0.5059      | 0.7113 | 0.2572 | 0.0838 | 5.3181 |
| 30            | 32            | 100            | 32             | 1             | 0.6439      | 0.8024 | 0.2677 | 0.0648 | 4.9168 |
| 30            | 32            | 100            | 64             | 1             | 0.7746      | 0.8801 | 0.2892 | 0.0603 | 4.8214 |
| 30            | 64            | 50             | 16             | 1             | 0.5490      | 0.7410 | 0.2806 | 0.0806 | 5.3453 |
| 30            | 64            | 50             | 32             | 1             | 0.5560      | 0.7456 | 0.2595 | 0.0659 | 4.7779 |
| 30            | 64            | 50             | 64             | 1             | 0.6708      | 0.8190 | 0.3174 | 0.1269 | 6.6823 |
| 30            | 64            | 60             | 16             | 1             | 0.4459      | 0.6678 | 0.2453 | 0.0655 | 4.5745 |
| 30            | 64            | 60             | 32             | 1             | 0.4807      | 0.6933 | 0.2435 | 0.0634 | 4.6079 |
| 30            | 64            | 60             | 64             | 1             | 0.6007      | 0.7750 | 0.2693 | 0.0733 | 4.9538 |
| 30            | 64            | 70             | 16             | 1             | 0.5324      | 0.7297 | 0.2556 | 0.0650 | 4.5892 |
| 30            | 64            | 70             | 32             | 1             | 0.5182      | 0.7199 | 0.2481 | 0.0608 | 4.5854 |
| 30            | 64            | 70             | 64             | 1             | 0.6314      | 0.7946 | 0.2722 | 0.0666 | 4.8747 |
| 30            | 64            | 80             | 16             | 1             | 0.5038      | 0.7098 | 0.2565 | 0.0644 | 4.6880 |
| 30            | 64            | 80             | 32             | 1             | 0.4548      | 0.6744 | 0.2407 | 0.0634 | 4.4797 |
| 30            | 64            | 80             | 64             | 1             | 0.5519      | 0.7429 | 0.2612 | 0.0777 | 4.9438 |
| 30            | 64            | 90             | 16             | 1             | 0.4677      | 0.6839 | 0.2449 | 0.0633 | 4.5703 |
| 30            | 64            | 90             | 32             | 1             | 0.4140      | 0.6434 | 0.2264 | 0.0659 | 4.5496 |
| 30            | 64            | 90             | 64             | 1             | 0.5238      | 0.7238 | 0.2491 | 0.0667 | 4.5625 |
| 30            | 64            | 100            | 16             | 1             | 0.5865      | 0.7658 | 0.2772 | 0.0636 | 4.8740 |
| 30            | 64            | 100            | 32             | 1             | 0.4196      | 0.6478 | 0.2243 | 0.0693 | 4.4894 |
| 30            | 64            | 100            | 64             | 1             | 0.4880      | 0.6986 | 0.2631 | 0.0943 | 5.5509 |
| 7             | 16            | 50             | 16             | 2             | 0.8412      | 0.9171 | 0.3053 | 0.0822 | 5.6858 |
| 7             | 16            | 50             | 32             | 2             | 1.1374      | 1.0665 | 0.3384 | 0.0668 | 5.3567 |
| 7             | 16            | 50             | 64             | 2             | 2.0632      | 1.4364 | 0.4815 | 0.1228 | 7.7278 |
| 7             | 16            | 60             | 16             | 2             | 0.7594      | 0.8714 | 0.2886 | 0.0679 | 5.1632 |
| 7             | 16            | 60             | 32             | 2             | 1.1035      | 1.0505 | 0.3360 | 0.0708 | 5.3582 |
| 7             | 16            | 60             | 64             | 2             | 1.8346      | 1.3545 | 0.4207 | 0.0722 | 5.9667 |
| 7             | 16            | 70             | 16             | 2             | 0.6635      | 0.8145 | 0.2729 | 0.0673 | 4.8239 |
| 7             | 16            | 70             | 32             | 2             | 0.9580      | 0.9788 | 0.3112 | 0.0659 | 5.2466 |
| 7             | 16            | 70             | 64             | 2             | 1.4286      | 1.1953 | 0.3654 | 0.0573 | 5.2404 |
| 7             | 16            | 80             | 16             | 2             | 0.6413      | 0.8008 | 0.2577 | 0.0674 | 4.6746 |
| 7             | 16            | 80             | 32             | 2             | 0.8806      | 0.9384 | 0.2998 | 0.0618 | 4.8425 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 16            | 80             | 64             | 2             | 1.4634      | 1.2097 | 0.3819 | 0.0693 | 5.8547 |
| 7             | 16            | 90             | 16             | 2             | 0.6426      | 0.8016 | 0.2669 | 0.0709 | 5.0684 |
| 7             | 16            | 90             | 32             | 2             | 0.8209      | 0.9060 | 0.2874 | 0.0603 | 4.8265 |
| 7             | 16            | 90             | 64             | 2             | 1.1497      | 1.0722 | 0.3331 | 0.0575 | 5.0928 |
| 7             | 16            | 100            | 16             | 2             | 0.5554      | 0.7453 | 0.2407 | 0.0681 | 4.5781 |
| 7             | 16            | 100            | 32             | 2             | 0.7934      | 0.8907 | 0.2893 | 0.0773 | 5.1953 |
| 7             | 16            | 100            | 64             | 2             | 1.2830      | 1.1327 | 0.3523 | 0.0610 | 5.2667 |
| 7             | 32            | 50             | 16             | 2             | 0.6217      | 0.7885 | 0.2648 | 0.0635 | 4.8264 |
| 7             | 32            | 50             | 32             | 2             | 0.6778      | 0.8233 | 0.2654 | 0.0588 | 4.6287 |
| 7             | 32            | 50             | 64             | 2             | 0.9634      | 0.9816 | 0.3354 | 0.0913 | 5.8452 |
| 7             | 32            | 60             | 16             | 2             | 0.5505      | 0.7420 | 0.2454 | 0.0683 | 4.6191 |
| 7             | 32            | 60             | 32             | 2             | 0.6946      | 0.8334 | 0.2732 | 0.0787 | 5.0059 |
| 7             | 32            | 60             | 64             | 2             | 0.8571      | 0.9258 | 0.3013 | 0.0638 | 5.0818 |
| 7             | 32            | 70             | 16             | 2             | 0.5337      | 0.7305 | 0.2409 | 0.0655 | 4.7012 |
| 7             | 32            | 70             | 32             | 2             | 0.6331      | 0.7957 | 0.2602 | 0.0659 | 4.8486 |
| 7             | 32            | 70             | 64             | 2             | 0.9491      | 0.9742 | 0.3209 | 0.0751 | 5.6557 |
| 7             | 32            | 80             | 16             | 2             | 0.5534      | 0.7439 | 0.2681 | 0.1020 | 5.8864 |
| 7             | 32            | 80             | 32             | 2             | 0.5901      | 0.7682 | 0.2528 | 0.0634 | 4.6229 |
| 7             | 32            | 80             | 64             | 2             | 0.7083      | 0.8416 | 0.2770 | 0.0731 | 5.0467 |
| 7             | 32            | 90             | 16             | 2             | 0.5562      | 0.7458 | 0.2433 | 0.0651 | 4.5460 |
| 7             | 32            | 90             | 32             | 2             | 0.5731      | 0.7570 | 0.2525 | 0.0653 | 4.7433 |
| 7             | 32            | 90             | 64             | 2             | 0.7962      | 0.8923 | 0.2851 | 0.0619 | 4.7825 |
| 7             | 32            | 100            | 16             | 2             | 0.6359      | 0.7974 | 0.2734 | 0.0683 | 4.8662 |
| 7             | 32            | 100            | 32             | 2             | 0.6468      | 0.8042 | 0.2588 | 0.0643 | 4.7051 |
| 7             | 32            | 100            | 64             | 2             | 0.7335      | 0.8565 | 0.2826 | 0.0762 | 5.1394 |
| 7             | 64            | 50             | 16             | 2             | 0.5475      | 0.7399 | 0.2693 | 0.0751 | 5.2340 |
| 7             | 64            | 50             | 32             | 2             | 0.5577      | 0.7468 | 0.2411 | 0.0634 | 4.5599 |
| 7             | 64            | 50             | 64             | 2             | 0.6693      | 0.8181 | 0.2693 | 0.0603 | 4.7491 |
| 7             | 64            | 60             | 16             | 2             | 0.4809      | 0.6935 | 0.2855 | 0.1140 | 6.2347 |
| 7             | 64            | 60             | 32             | 2             | 0.5057      | 0.7111 | 0.2476 | 0.0763 | 4.8874 |
| 7             | 64            | 60             | 64             | 2             | 0.7678      | 0.8762 | 0.2930 | 0.0680 | 5.2219 |
| 7             | 64            | 70             | 16             | 2             | 0.7028      | 0.8383 | 0.2821 | 0.0596 | 5.0201 |
| 7             | 64            | 70             | 32             | 2             | 0.5638      | 0.7509 | 0.2701 | 0.0893 | 5.4686 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 64            | 70             | 64             | 2             | 0.5818      | 0.7627 | 0.2634 | 0.0677 | 4.9231 |
| 7             | 64            | 80             | 16             | 2             | 0.5355      | 0.7318 | 0.2578 | 0.0633 | 4.7115 |
| 7             | 64            | 80             | 32             | 2             | 0.5176      | 0.7194 | 0.2407 | 0.0584 | 4.4678 |
| 7             | 64            | 80             | 64             | 2             | 0.5179      | 0.7197 | 0.2578 | 0.0815 | 5.2293 |
| 7             | 64            | 90             | 16             | 2             | 0.5685      | 0.7540 | 0.2674 | 0.0601 | 4.7824 |
| 7             | 64            | 90             | 32             | 2             | 0.6004      | 0.7749 | 0.2713 | 0.0628 | 4.9726 |
| 7             | 64            | 90             | 64             | 2             | 0.5437      | 0.7373 | 0.2586 | 0.0725 | 4.9959 |
| 7             | 64            | 100            | 16             | 2             | 0.4935      | 0.7025 | 0.2425 | 0.0653 | 4.6358 |
| 7             | 64            | 100            | 32             | 2             | 0.4714      | 0.6866 | 0.2367 | 0.0657 | 4.7466 |
| 7             | 64            | 100            | 64             | 2             | 0.6465      | 0.8040 | 0.2755 | 0.0747 | 5.1010 |
| 14            | 16            | 50             | 16             | 2             | 0.9342      | 0.9665 | 0.3230 | 0.0888 | 5.7613 |
| 14            | 16            | 50             | 32             | 2             | 1.2925      | 1.1369 | 0.3771 | 0.0972 | 6.3118 |
| 14            | 16            | 50             | 64             | 2             | 1.7115      | 1.3082 | 0.4167 | 0.0675 | 6.1874 |
| 14            | 16            | 60             | 16             | 2             | 0.7744      | 0.8800 | 0.3056 | 0.0837 | 5.8362 |
| 14            | 16            | 60             | 32             | 2             | 1.0432      | 1.0214 | 0.3440 | 0.1007 | 6.4534 |
| 14            | 16            | 60             | 64             | 2             | 1.9938      | 1.4120 | 0.4393 | 0.0635 | 6.0819 |
| 14            | 16            | 70             | 16             | 2             | 0.7506      | 0.8664 | 0.3031 | 0.0905 | 5.5397 |
| 14            | 16            | 70             | 32             | 2             | 0.8700      | 0.9327 | 0.3026 | 0.0764 | 5.1915 |
| 14            | 16            | 70             | 64             | 2             | 1.4231      | 1.1929 | 0.3752 | 0.0628 | 5.5970 |
| 14            | 16            | 80             | 16             | 2             | 0.6816      | 0.8256 | 0.2788 | 0.0712 | 5.1497 |
| 14            | 16            | 80             | 32             | 2             | 0.7591      | 0.8713 | 0.2856 | 0.0704 | 5.1051 |
| 14            | 16            | 80             | 64             | 2             | 1.1974      | 1.0942 | 0.3428 | 0.0611 | 5.2495 |
| 14            | 16            | 90             | 16             | 2             | 0.5700      | 0.7550 | 0.2483 | 0.0715 | 4.7109 |
| 14            | 16            | 90             | 32             | 2             | 0.9024      | 0.9499 | 0.3223 | 0.0904 | 5.7446 |
| 14            | 16            | 90             | 64             | 2             | 1.2175      | 1.1034 | 0.3409 | 0.0611 | 5.0589 |
| 14            | 16            | 100            | 16             | 2             | 0.6519      | 0.8074 | 0.2709 | 0.0780 | 5.3826 |
| 14            | 16            | 100            | 32             | 2             | 0.7659      | 0.8752 | 0.3006 | 0.0883 | 5.7860 |
| 14            | 16            | 100            | 64             | 2             | 1.1529      | 1.0737 | 0.3405 | 0.0694 | 5.2819 |
| 14            | 32            | 50             | 16             | 2             | 0.6943      | 0.8332 | 0.2814 | 0.0643 | 5.0310 |
| 14            | 32            | 50             | 32             | 2             | 0.7233      | 0.8504 | 0.2830 | 0.0674 | 4.9387 |
| 14            | 32            | 50             | 64             | 2             | 1.0106      | 1.0053 | 0.3252 | 0.0666 | 5.2056 |
| 14            | 32            | 60             | 16             | 2             | 0.5423      | 0.7364 | 0.2556 | 0.0870 | 5.1139 |
| 14            | 32            | 60             | 32             | 2             | 0.6581      | 0.8112 | 0.2615 | 0.0652 | 4.7425 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 32            | 60             | 64             | 2             | 0.9866      | 0.9933 | 0.3178 | 0.0624 | 5.0658 |
| 14            | 32            | 70             | 16             | 2             | 0.5153      | 0.7178 | 0.2654 | 0.1056 | 5.6905 |
| 14            | 32            | 70             | 32             | 2             | 0.9159      | 0.9570 | 0.3204 | 0.0731 | 5.5711 |
| 14            | 32            | 70             | 64             | 2             | 0.8648      | 0.9299 | 0.3274 | 0.1045 | 6.2749 |
| 14            | 32            | 80             | 16             | 2             | 0.7388      | 0.8595 | 0.2949 | 0.0772 | 5.4961 |
| 14            | 32            | 80             | 32             | 2             | 0.6048      | 0.7777 | 0.2515 | 0.0618 | 4.6210 |
| 14            | 32            | 80             | 64             | 2             | 0.7757      | 0.8807 | 0.2844 | 0.0609 | 4.8707 |
| 14            | 32            | 90             | 16             | 2             | 0.6208      | 0.7879 | 0.2627 | 0.0692 | 4.8769 |
| 14            | 32            | 90             | 32             | 2             | 0.6229      | 0.7893 | 0.2596 | 0.0626 | 4.6378 |
| 14            | 32            | 90             | 64             | 2             | 0.8345      | 0.9135 | 0.3063 | 0.0660 | 5.1951 |
| 14            | 32            | 100            | 16             | 2             | 0.6732      | 0.8205 | 0.2774 | 0.0714 | 5.2507 |
| 14            | 32            | 100            | 32             | 2             | 0.6116      | 0.7820 | 0.2670 | 0.0622 | 4.7527 |
| 14            | 32            | 100            | 64             | 2             | 0.7809      | 0.8837 | 0.2990 | 0.0850 | 5.4646 |
| 14            | 64            | 50             | 16             | 2             | 0.7349      | 0.8573 | 0.2966 | 0.0820 | 5.6298 |
| 14            | 64            | 50             | 32             | 2             | 0.6140      | 0.7836 | 0.2865 | 0.0937 | 5.7231 |
| 14            | 64            | 50             | 64             | 2             | 0.6517      | 0.8073 | 0.2709 | 0.0623 | 4.8713 |
| 14            | 64            | 60             | 16             | 2             | 0.6490      | 0.8056 | 0.2721 | 0.0622 | 4.8601 |
| 14            | 64            | 60             | 32             | 2             | 0.7713      | 0.8782 | 0.2943 | 0.0621 | 5.1661 |
| 14            | 64            | 60             | 64             | 2             | 0.6328      | 0.7955 | 0.2701 | 0.0629 | 4.9483 |
| 14            | 64            | 70             | 16             | 2             | 0.5580      | 0.7470 | 0.2790 | 0.0873 | 5.6212 |
| 14            | 64            | 70             | 32             | 2             | 0.8775      | 0.9368 | 0.3097 | 0.0590 | 5.1652 |
| 14            | 64            | 70             | 64             | 2             | 0.8033      | 0.8963 | 0.3026 | 0.0621 | 5.2824 |
| 14            | 64            | 80             | 16             | 2             | 0.7258      | 0.8519 | 0.3399 | 0.1433 | 7.5318 |
| 14            | 64            | 80             | 32             | 2             | 0.7033      | 0.8387 | 0.3196 | 0.1060 | 6.6920 |
| 14            | 64            | 80             | 64             | 2             | 0.5660      | 0.7523 | 0.2502 | 0.0592 | 4.6114 |
| 14            | 64            | 90             | 16             | 2             | 0.8282      | 0.9101 | 0.3129 | 0.0811 | 5.8323 |
| 14            | 64            | 90             | 32             | 2             | 0.7385      | 0.8593 | 0.2878 | 0.0593 | 4.9794 |
| 14            | 64            | 90             | 64             | 2             | 0.6584      | 0.8114 | 0.2718 | 0.0682 | 4.8471 |
| 14            | 64            | 100            | 16             | 2             | 0.6014      | 0.7755 | 0.2699 | 0.0637 | 4.8924 |
| 14            | 64            | 100            | 32             | 2             | 0.6531      | 0.8082 | 0.2814 | 0.0682 | 5.2572 |
| 14            | 64            | 100            | 64             | 2             | 0.5052      | 0.7108 | 0.2425 | 0.0629 | 4.5069 |
| 30            | 16            | 50             | 16             | 2             | 0.9049      | 0.9513 | 0.3119 | 0.0698 | 5.0516 |
| 30            | 16            | 50             | 32             | 2             | 1.3964      | 1.1817 | 0.3949 | 0.0865 | 6.0783 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 16            | 50             | 64             | 2             | 1.9471      | 1.3954 | 0.4377 | 0.0658 | 5.9212 |
| 30            | 16            | 60             | 16             | 2             | 0.7716      | 0.8784 | 0.3030 | 0.0834 | 5.7354 |
| 30            | 16            | 60             | 32             | 2             | 1.3330      | 1.1546 | 0.3684 | 0.0675 | 5.4414 |
| 30            | 16            | 60             | 64             | 2             | 1.8045      | 1.3433 | 0.4435 | 0.0848 | 6.5064 |
| 30            | 16            | 70             | 16             | 2             | 0.7310      | 0.8550 | 0.2862 | 0.0628 | 4.8506 |
| 30            | 16            | 70             | 32             | 2             | 1.0289      | 1.0143 | 0.3232 | 0.0628 | 4.9918 |
| 30            | 16            | 70             | 64             | 2             | 2.0092      | 1.4175 | 0.4513 | 0.0776 | 6.1816 |
| 30            | 16            | 80             | 16             | 2             | 0.7209      | 0.8490 | 0.3033 | 0.0857 | 5.3739 |
| 30            | 16            | 80             | 32             | 2             | 0.8659      | 0.9306 | 0.3008 | 0.0690 | 5.0557 |
| 30            | 16            | 80             | 64             | 2             | 1.3996      | 1.1831 | 0.3791 | 0.0676 | 5.7008 |
| 30            | 16            | 90             | 16             | 2             | 0.6413      | 0.8008 | 0.2784 | 0.0854 | 5.6699 |
| 30            | 16            | 90             | 32             | 2             | 0.8480      | 0.9209 | 0.3201 | 0.0981 | 5.8231 |
| 30            | 16            | 90             | 64             | 2             | 1.3212      | 1.1494 | 0.3708 | 0.0681 | 5.5358 |
| 30            | 16            | 100            | 16             | 2             | 0.6193      | 0.7870 | 0.2587 | 0.0709 | 5.0009 |
| 30            | 16            | 100            | 32             | 2             | 0.8611      | 0.9279 | 0.3171 | 0.0830 | 5.4703 |
| 30            | 16            | 100            | 64             | 2             | 1.2958      | 1.1383 | 0.3621 | 0.0601 | 5.3064 |
| 30            | 32            | 50             | 16             | 2             | 0.6167      | 0.7853 | 0.2681 | 0.0737 | 4.9677 |
| 30            | 32            | 50             | 32             | 2             | 0.8323      | 0.9123 | 0.3142 | 0.0842 | 5.4289 |
| 30            | 32            | 50             | 64             | 2             | 1.1136      | 1.0553 | 0.3375 | 0.0613 | 5.1258 |
| 30            | 32            | 60             | 16             | 2             | 0.5655      | 0.7520 | 0.2670 | 0.0828 | 5.0554 |
| 30            | 32            | 60             | 32             | 2             | 0.7208      | 0.8490 | 0.2892 | 0.0709 | 5.0412 |
| 30            | 32            | 60             | 64             | 2             | 0.8855      | 0.9410 | 0.3084 | 0.0638 | 4.9961 |
| 30            | 32            | 70             | 16             | 2             | 0.5881      | 0.7669 | 0.2577 | 0.0751 | 4.8543 |
| 30            | 32            | 70             | 32             | 2             | 0.9338      | 0.9663 | 0.3264 | 0.0696 | 5.6136 |
| 30            | 32            | 70             | 64             | 2             | 0.8463      | 0.9199 | 0.3295 | 0.1020 | 6.0737 |
| 30            | 32            | 80             | 16             | 2             | 0.5691      | 0.7544 | 0.2709 | 0.0793 | 5.2639 |
| 30            | 32            | 80             | 32             | 2             | 1.0409      | 1.0202 | 0.3393 | 0.0749 | 5.3811 |
| 30            | 32            | 80             | 64             | 2             | 0.8700      | 0.9328 | 0.3040 | 0.0619 | 4.9895 |
| 30            | 32            | 90             | 16             | 2             | 0.5567      | 0.7461 | 0.2627 | 0.0704 | 4.8048 |
| 30            | 32            | 90             | 32             | 2             | 0.7772      | 0.8816 | 0.2975 | 0.0736 | 5.2408 |
| 30            | 32            | 90             | 64             | 2             | 0.8254      | 0.9085 | 0.2990 | 0.0638 | 4.9809 |
| 30            | 32            | 100            | 16             | 2             | 0.5830      | 0.7636 | 0.2549 | 0.0684 | 4.9140 |
| 30            | 32            | 100            | 32             | 2             | 0.6640      | 0.8149 | 0.2747 | 0.0717 | 5.0183 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 32            | 100            | 64             | 2             | 0.8005      | 0.8947 | 0.2966 | 0.0671 | 4.9192 |
| 30            | 64            | 50             | 16             | 2             | 0.7719      | 0.8786 | 0.3052 | 0.0778 | 5.5150 |
| 30            | 64            | 50             | 32             | 2             | 0.6201      | 0.7875 | 0.2871 | 0.0840 | 5.5041 |
| 30            | 64            | 50             | 64             | 2             | 0.7148      | 0.8455 | 0.2891 | 0.0629 | 4.9777 |
| 30            | 64            | 60             | 16             | 2             | 0.8308      | 0.9115 | 0.3141 | 0.0739 | 5.4566 |
| 30            | 64            | 60             | 32             | 2             | 0.7799      | 0.8831 | 0.3114 | 0.0593 | 4.9789 |
| 30            | 64            | 60             | 64             | 2             | 0.8335      | 0.9130 | 0.3105 | 0.0633 | 5.3068 |
| 30            | 64            | 70             | 16             | 2             | 0.6276      | 0.7922 | 0.2918 | 0.0691 | 5.0539 |
| 30            | 64            | 70             | 32             | 2             | 0.8107      | 0.9004 | 0.3108 | 0.0646 | 5.2134 |
| 30            | 64            | 70             | 64             | 2             | 0.6440      | 0.8025 | 0.2903 | 0.0801 | 5.4140 |
| 30            | 64            | 80             | 16             | 2             | 0.6569      | 0.8105 | 0.3098 | 0.1038 | 6.4770 |
| 30            | 64            | 80             | 32             | 2             | 0.7934      | 0.8907 | 0.3051 | 0.0678 | 5.4137 |
| 30            | 64            | 80             | 64             | 2             | 0.7825      | 0.8846 | 0.3086 | 0.0817 | 5.3658 |
| 30            | 64            | 90             | 16             | 2             | 0.5815      | 0.7626 | 0.3389 | 0.1752 | 8.2745 |
| 30            | 64            | 90             | 32             | 2             | 0.7563      | 0.8696 | 0.3052 | 0.0810 | 5.5722 |
| 30            | 64            | 90             | 64             | 2             | 0.6630      | 0.8143 | 0.2714 | 0.0633 | 4.7394 |
| 30            | 64            | 100            | 16             | 2             | 0.6709      | 0.8191 | 0.3023 | 0.0795 | 5.4434 |
| 30            | 64            | 100            | 32             | 2             | 0.5836      | 0.7639 | 0.2839 | 0.0831 | 5.5104 |
| 30            | 64            | 100            | 64             | 2             | 0.6219      | 0.7886 | 0.2963 | 0.1043 | 5.9563 |
| 7             | 16            | 50             | 16             | 3             | 0.8476      | 0.9206 | 0.3094 | 0.0850 | 5.5150 |
| 7             | 16            | 50             | 32             | 3             | 1.2924      | 1.1369 | 0.4089 | 0.1383 | 8.1056 |
| 7             | 16            | 50             | 64             | 3             | 1.5201      | 1.2329 | 0.4181 | 0.1088 | 7.3014 |
| 7             | 16            | 60             | 16             | 3             | 0.9093      | 0.9536 | 0.3396 | 0.1198 | 7.2548 |
| 7             | 16            | 60             | 32             | 3             | 1.0907      | 1.0444 | 0.3327 | 0.0693 | 5.2740 |
| 7             | 16            | 60             | 64             | 3             | 1.4348      | 1.1978 | 0.3721 | 0.0559 | 5.4524 |
| 7             | 16            | 70             | 16             | 3             | 0.7107      | 0.8431 | 0.2728 | 0.0699 | 5.1642 |
| 7             | 16            | 70             | 32             | 3             | 0.8748      | 0.9353 | 0.2934 | 0.0571 | 4.7622 |
| 7             | 16            | 70             | 64             | 3             | 1.2548      | 1.1202 | 0.3690 | 0.0924 | 6.1274 |
| 7             | 16            | 80             | 16             | 3             | 0.6877      | 0.8293 | 0.2989 | 0.1114 | 6.7178 |
| 7             | 16            | 80             | 32             | 3             | 0.9408      | 0.9699 | 0.3779 | 0.1621 | 8.6680 |
| 7             | 16            | 80             | 64             | 3             | 1.3078      | 1.1436 | 0.3576 | 0.0614 | 5.2971 |
| 7             | 16            | 90             | 16             | 3             | 0.7539      | 0.8683 | 0.3192 | 0.1169 | 6.3677 |
| 7             | 16            | 90             | 32             | 3             | 0.9897      | 0.9949 | 0.3409 | 0.0917 | 6.3833 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 16            | 90             | 64             | 3             | 1.1309      | 1.0634 | 0.3287 | 0.0611 | 5.0106 |
| 7             | 16            | 100            | 16             | 3             | 0.7976      | 0.8931 | 0.3143 | 0.0974 | 5.7887 |
| 7             | 16            | 100            | 32             | 3             | 0.8085      | 0.8992 | 0.3294 | 0.1356 | 7.5610 |
| 7             | 16            | 100            | 64             | 3             | 0.9810      | 0.9905 | 0.3131 | 0.0598 | 5.1204 |
| 7             | 32            | 50             | 16             | 3             | 0.8032      | 0.8962 | 0.3013 | 0.0762 | 5.5146 |
| 7             | 32            | 50             | 32             | 3             | 0.7826      | 0.8846 | 0.3116 | 0.1101 | 6.6655 |
| 7             | 32            | 50             | 64             | 3             | 0.9640      | 0.9818 | 0.3340 | 0.0936 | 6.1289 |
| 7             | 32            | 60             | 16             | 3             | 0.7851      | 0.8861 | 0.2891 | 0.0583 | 4.8863 |
| 7             | 32            | 60             | 32             | 3             | 0.8293      | 0.9107 | 0.3557 | 0.1543 | 8.4473 |
| 7             | 32            | 60             | 64             | 3             | 0.8739      | 0.9348 | 0.3348 | 0.1108 | 6.4390 |
| 7             | 32            | 70             | 16             | 3             | 0.8402      | 0.9166 | 0.3216 | 0.0884 | 6.2138 |
| 7             | 32            | 70             | 32             | 3             | 0.7114      | 0.8434 | 0.3019 | 0.1080 | 6.2738 |
| 7             | 32            | 70             | 64             | 3             | 0.8498      | 0.9218 | 0.3253 | 0.1019 | 6.5372 |
| 7             | 32            | 80             | 16             | 3             | 0.5877      | 0.7666 | 0.2548 | 0.0576 | 4.6454 |
| 7             | 32            | 80             | 32             | 3             | 0.6669      | 0.8166 | 0.2919 | 0.1069 | 5.9204 |
| 7             | 32            | 80             | 64             | 3             | 0.7781      | 0.8821 | 0.2967 | 0.0831 | 5.3225 |
| 7             | 32            | 90             | 16             | 3             | 0.6999      | 0.8366 | 0.2991 | 0.0903 | 5.9399 |
| 7             | 32            | 90             | 32             | 3             | 0.8706      | 0.9330 | 0.3168 | 0.0794 | 5.4682 |
| 7             | 32            | 90             | 64             | 3             | 0.7784      | 0.8823 | 0.2861 | 0.0635 | 4.9034 |
| 7             | 32            | 100            | 16             | 3             | 0.6636      | 0.8146 | 0.2634 | 0.0597 | 4.7590 |
| 7             | 32            | 100            | 32             | 3             | 0.8186      | 0.9047 | 0.2930 | 0.0649 | 5.0316 |
| 7             | 32            | 100            | 64             | 3             | 0.8981      | 0.9477 | 0.3142 | 0.0786 | 5.3498 |
| 7             | 64            | 50             | 16             | 3             | 0.5023      | 0.7087 | 0.3079 | 0.1466 | 7.2878 |
| 7             | 64            | 50             | 32             | 3             | 0.6581      | 0.8113 | 0.3241 | 0.1113 | 6.4038 |
| 7             | 64            | 50             | 64             | 3             | 0.7790      | 0.8826 | 0.3129 | 0.0756 | 5.3880 |
| 7             | 64            | 60             | 16             | 3             | 0.5104      | 0.7144 | 0.2486 | 0.0651 | 4.7519 |
| 7             | 64            | 60             | 32             | 3             | 0.6073      | 0.7793 | 0.2659 | 0.0550 | 4.6851 |
| 7             | 64            | 60             | 64             | 3             | 0.6779      | 0.8233 | 0.3178 | 0.1206 | 6.8574 |
| 7             | 64            | 70             | 16             | 3             | 0.5387      | 0.7340 | 0.2677 | 0.0873 | 5.7303 |
| 7             | 64            | 70             | 32             | 3             | 0.7473      | 0.8645 | 0.2851 | 0.0568 | 4.9578 |
| 7             | 64            | 70             | 64             | 3             | 0.8019      | 0.8955 | 0.2961 | 0.0616 | 5.0969 |
| 7             | 64            | 80             | 16             | 3             | 0.5976      | 0.7731 | 0.3379 | 0.1583 | 8.5459 |
| 7             | 64            | 80             | 32             | 3             | 0.6934      | 0.8327 | 0.3151 | 0.1119 | 6.3753 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 7             | 64            | 80             | 64             | 3             | 0.7120      | 0.8438 | 0.2793 | 0.0564 | 4.8916 |
| 7             | 64            | 90             | 16             | 3             | 0.8123      | 0.9013 | 0.3043 | 0.0817 | 5.6228 |
| 7             | 64            | 90             | 32             | 3             | 0.5771      | 0.7597 | 0.2648 | 0.0659 | 4.9996 |
| 7             | 64            | 90             | 64             | 3             | 0.7503      | 0.8662 | 0.3112 | 0.0985 | 6.1385 |
| 7             | 64            | 100            | 16             | 3             | 0.6067      | 0.7789 | 0.2702 | 0.0644 | 4.7233 |
| 7             | 64            | 100            | 32             | 3             | 0.6262      | 0.7913 | 0.2778 | 0.0770 | 5.2059 |
| 7             | 64            | 100            | 64             | 3             | 0.6144      | 0.7838 | 0.2638 | 0.0569 | 4.7071 |
| 14            | 16            | 50             | 16             | 3             | 0.9258      | 0.9622 | 0.3288 | 0.0811 | 5.5493 |
| 14            | 16            | 50             | 32             | 3             | 1.2104      | 1.1002 | 0.3969 | 0.1328 | 7.6310 |
| 14            | 16            | 50             | 64             | 3             | 1.6780      | 1.2954 | 0.4030 | 0.0635 | 5.6604 |
| 14            | 16            | 60             | 16             | 3             | 0.7851      | 0.8861 | 0.3115 | 0.0865 | 5.8098 |
| 14            | 16            | 60             | 32             | 3             | 1.2248      | 1.1067 | 0.3973 | 0.1343 | 7.4874 |
| 14            | 16            | 60             | 64             | 3             | 1.5779      | 1.2561 | 0.3977 | 0.0658 | 5.8136 |
| 14            | 16            | 70             | 16             | 3             | 0.8587      | 0.9266 | 0.3082 | 0.0756 | 5.4675 |
| 14            | 16            | 70             | 32             | 3             | 0.9535      | 0.9765 | 0.3074 | 0.0594 | 4.8875 |
| 14            | 16            | 70             | 64             | 3             | 1.4320      | 1.1966 | 0.3717 | 0.0584 | 5.3472 |
| 14            | 16            | 80             | 16             | 3             | 0.9853      | 0.9926 | 0.3242 | 0.0596 | 5.1797 |
| 14            | 16            | 80             | 32             | 3             | 0.9299      | 0.9643 | 0.3094 | 0.0708 | 5.1675 |
| 14            | 16            | 80             | 64             | 3             | 1.5037      | 1.2262 | 0.3888 | 0.0650 | 5.7801 |
| 14            | 16            | 90             | 16             | 3             | 0.9542      | 0.9768 | 0.3262 | 0.0833 | 6.0516 |
| 14            | 16            | 90             | 32             | 3             | 0.9083      | 0.9530 | 0.3079 | 0.0640 | 5.1196 |
| 14            | 16            | 90             | 64             | 3             | 1.1728      | 1.0830 | 0.3522 | 0.0793 | 5.8811 |
| 14            | 16            | 100            | 16             | 3             | 0.6048      | 0.7777 | 0.2815 | 0.1037 | 6.2242 |
| 14            | 16            | 100            | 32             | 3             | 0.8936      | 0.9453 | 0.3046 | 0.0631 | 5.0279 |
| 14            | 16            | 100            | 64             | 3             | 1.1133      | 1.0552 | 0.3375 | 0.0683 | 5.4185 |
| 14            | 32            | 50             | 16             | 3             | 0.8607      | 0.9277 | 0.3180 | 0.0634 | 5.1528 |
| 14            | 32            | 50             | 32             | 3             | 0.8012      | 0.8951 | 0.3173 | 0.0850 | 5.6641 |
| 14            | 32            | 50             | 64             | 3             | 1.1269      | 1.0615 | 0.3431 | 0.0572 | 5.3672 |
| 14            | 32            | 60             | 16             | 3             | 0.7556      | 0.8693 | 0.2982 | 0.0798 | 5.6333 |
| 14            | 32            | 60             | 32             | 3             | 0.7674      | 0.8760 | 0.2934 | 0.0625 | 4.9655 |
| 14            | 32            | 60             | 64             | 3             | 0.8592      | 0.9269 | 0.3006 | 0.0566 | 4.9160 |
| 14            | 32            | 70             | 16             | 3             | 0.6950      | 0.8336 | 0.3308 | 0.1381 | 6.8517 |
| 14            | 32            | 70             | 32             | 3             | 0.6597      | 0.8122 | 0.2720 | 0.0659 | 4.9507 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 14            | 32            | 70             | 64             | 3             | 0.9323      | 0.9655 | 0.3108 | 0.0563 | 5.0238 |
| 14            | 32            | 80             | 16             | 3             | 0.6366      | 0.7979 | 0.2903 | 0.0811 | 5.5982 |
| 14            | 32            | 80             | 32             | 3             | 0.9757      | 0.9878 | 0.3557 | 0.1175 | 6.8770 |
| 14            | 32            | 80             | 64             | 3             | 0.7780      | 0.8821 | 0.2985 | 0.0635 | 5.0543 |
| 14            | 32            | 90             | 16             | 3             | 0.9419      | 0.9705 | 0.3208 | 0.0669 | 5.3512 |
| 14            | 32            | 90             | 32             | 3             | 0.7264      | 0.8523 | 0.2964 | 0.0811 | 5.7476 |
| 14            | 32            | 90             | 64             | 3             | 0.7869      | 0.8871 | 0.2981 | 0.0715 | 5.3420 |
| 14            | 32            | 100            | 16             | 3             | 0.8951      | 0.9461 | 0.3132 | 0.0647 | 5.3608 |
| 14            | 32            | 100            | 32             | 3             | 0.8201      | 0.9056 | 0.2982 | 0.0586 | 4.9817 |
| 14            | 32            | 100            | 64             | 3             | 0.7298      | 0.8543 | 0.2849 | 0.0732 | 5.4913 |
| 14            | 64            | 50             | 16             | 3             | 0.6555      | 0.8096 | 0.3119 | 0.1033 | 5.9148 |
| 14            | 64            | 50             | 32             | 3             | 0.8751      | 0.9354 | 0.3073 | 0.0577 | 5.1546 |
| 14            | 64            | 50             | 64             | 3             | 0.8554      | 0.9249 | 0.3067 | 0.0599 | 5.2144 |
| 14            | 64            | 60             | 16             | 3             | 0.5241      | 0.7240 | 0.2657 | 0.0758 | 5.0981 |
| 14            | 64            | 60             | 32             | 3             | 0.5753      | 0.7585 | 0.2632 | 0.0695 | 5.0545 |
| 14            | 64            | 60             | 64             | 3             | 0.7453      | 0.8633 | 0.3209 | 0.1078 | 6.3566 |
| 14            | 64            | 70             | 16             | 3             | 0.5565      | 0.7460 | 0.2707 | 0.0897 | 5.3943 |
| 14            | 64            | 70             | 32             | 3             | 0.8989      | 0.9481 | 0.3117 | 0.0586 | 5.2819 |
| 14            | 64            | 70             | 64             | 3             | 0.6453      | 0.8033 | 0.2855 | 0.0793 | 5.4507 |
| 14            | 64            | 80             | 16             | 3             | 0.6061      | 0.7785 | 0.2818 | 0.0773 | 5.1547 |
| 14            | 64            | 80             | 32             | 3             | 0.9366      | 0.9678 | 0.3190 | 0.0621 | 5.3921 |
| 14            | 64            | 80             | 64             | 3             | 0.7244      | 0.8511 | 0.2820 | 0.0584 | 4.8749 |
| 14            | 64            | 90             | 16             | 3             | 0.9736      | 0.9867 | 0.3293 | 0.0649 | 5.5655 |
| 14            | 64            | 90             | 32             | 3             | 0.9128      | 0.9554 | 0.3192 | 0.0768 | 5.5608 |
| 14            | 64            | 90             | 64             | 3             | 0.9224      | 0.9604 | 0.3438 | 0.1042 | 6.6175 |
| 14            | 64            | 100            | 16             | 3             | 0.8201      | 0.9056 | 0.3016 | 0.0574 | 5.1230 |
| 14            | 64            | 100            | 32             | 3             | 0.9568      | 0.9782 | 0.3436 | 0.1012 | 6.4409 |
| 14            | 64            | 100            | 64             | 3             | 0.7948      | 0.8915 | 0.3360 | 0.1183 | 6.4058 |
| 30            | 16            | 50             | 16             | 3             | 0.9180      | 0.9581 | 0.3300 | 0.0932 | 6.1676 |
| 30            | 16            | 50             | 32             | 3             | 1.2076      | 1.0989 | 0.3712 | 0.0906 | 6.0323 |
| 30            | 16            | 50             | 64             | 3             | 1.7545      | 1.3246 | 0.4251 | 0.0656 | 5.9850 |
| 30            | 16            | 60             | 16             | 3             | 0.8158      | 0.9032 | 0.2972 | 0.0674 | 5.0962 |
| 30            | 16            | 60             | 32             | 3             | 1.0363      | 1.0180 | 0.3317 | 0.0678 | 5.3410 |

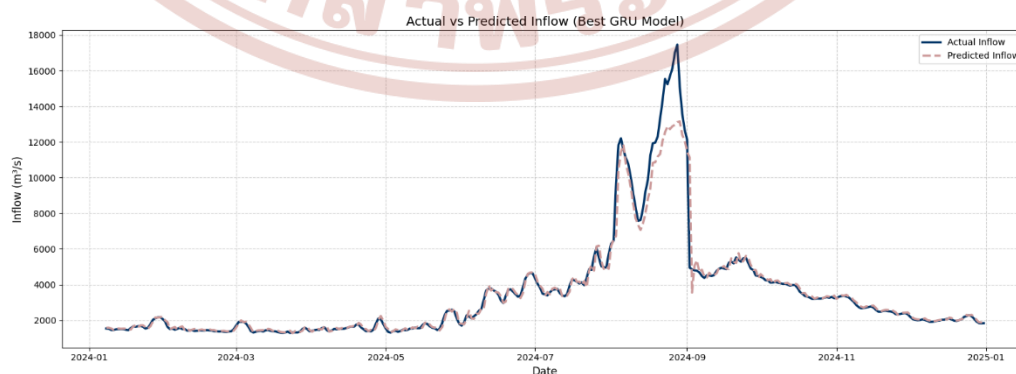
ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter     |               |                |                |               | Performance |        |        |        |        |
|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
| look<br>backs | units<br>list | epochs<br>list | batch<br>sizes | Num<br>layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| 30            | 16            | 60             | 64             | 3             | 1.6208      | 1.2731 | 0.4050 | 0.0646 | 5.6301 |
| 30            | 16            | 70             | 16             | 3             | 0.7231      | 0.8504 | 0.2770 | 0.0634 | 4.8198 |
| 30            | 16            | 70             | 32             | 3             | 0.9931      | 0.9965 | 0.3196 | 0.0618 | 5.0270 |
| 30            | 16            | 70             | 64             | 3             | 1.5429      | 1.2421 | 0.4041 | 0.0675 | 5.9084 |
| 30            | 16            | 80             | 16             | 3             | 0.6615      | 0.8133 | 0.2642 | 0.0685 | 4.7962 |
| 30            | 16            | 80             | 32             | 3             | 1.1576      | 1.0759 | 0.3502 | 0.0739 | 5.5673 |
| 30            | 16            | 80             | 64             | 3             | 1.2512      | 1.1186 | 0.3572 | 0.0595 | 5.2602 |
| 30            | 16            | 90             | 16             | 3             | 0.8530      | 0.9236 | 0.3142 | 0.0796 | 5.7317 |
| 30            | 16            | 90             | 32             | 3             | 1.1198      | 1.0582 | 0.3415 | 0.0728 | 5.4460 |
| 30            | 16            | 90             | 64             | 3             | 1.2205      | 1.1047 | 0.3553 | 0.0690 | 5.3767 |
| 30            | 16            | 100            | 16             | 3             | 0.7334      | 0.8564 | 0.2828 | 0.0692 | 4.9645 |
| 30            | 16            | 100            | 32             | 3             | 0.8540      | 0.9241 | 0.3181 | 0.0926 | 5.5962 |
| 30            | 16            | 100            | 64             | 3             | 1.1619      | 1.0779 | 0.3603 | 0.0841 | 5.8668 |
| 30            | 32            | 50             | 16             | 3             | 0.6310      | 0.7944 | 0.2567 | 0.0672 | 4.6566 |
| 30            | 32            | 50             | 32             | 3             | 0.8551      | 0.9247 | 0.3163 | 0.0855 | 5.7509 |
| 30            | 32            | 50             | 64             | 3             | 1.1965      | 1.0939 | 0.3562 | 0.0613 | 5.3139 |
| 30            | 32            | 60             | 16             | 3             | 0.6300      | 0.7938 | 0.3174 | 0.1075 | 6.3108 |
| 30            | 32            | 60             | 32             | 3             | 0.8236      | 0.9075 | 0.3000 | 0.0679 | 5.1843 |
| 30            | 32            | 60             | 64             | 3             | 0.9919      | 0.9959 | 0.3306 | 0.0590 | 5.2487 |
| 30            | 32            | 70             | 16             | 3             | 0.7269      | 0.8526 | 0.2773 | 0.0610 | 4.6879 |
| 30            | 32            | 70             | 32             | 3             | 0.8050      | 0.8972 | 0.3041 | 0.0629 | 4.9431 |
| 30            | 32            | 70             | 64             | 3             | 0.9847      | 0.9923 | 0.3306 | 0.0730 | 5.5130 |
| 30            | 32            | 80             | 16             | 3             | 0.6841      | 0.8271 | 0.2774 | 0.0658 | 4.8720 |
| 30            | 32            | 80             | 32             | 3             | 0.9410      | 0.9700 | 0.3427 | 0.0991 | 6.3897 |
| 30            | 32            | 80             | 64             | 3             | 0.8953      | 0.9462 | 0.3276 | 0.0883 | 5.6187 |
| 30            | 32            | 90             | 16             | 3             | 0.7142      | 0.8451 | 0.2967 | 0.0901 | 5.4662 |
| 30            | 32            | 90             | 32             | 3             | 0.8802      | 0.9382 | 0.3098 | 0.0617 | 5.0779 |
| 30            | 32            | 90             | 64             | 3             | 0.8660      | 0.9306 | 0.3188 | 0.0851 | 5.5957 |
| 30            | 32            | 100            | 16             | 3             | 1.0026      | 1.0013 | 0.3452 | 0.0837 | 6.1801 |
| 30            | 32            | 100            | 32             | 3             | 0.6783      | 0.8236 | 0.2726 | 0.0730 | 4.9118 |
| 30            | 32            | 100            | 64             | 3             | 0.8202      | 0.9057 | 0.2965 | 0.0639 | 4.8394 |
| 30            | 64            | 50             | 16             | 3             | 0.5550      | 0.7450 | 0.2756 | 0.0825 | 5.2355 |
| 30            | 64            | 50             | 32             | 3             | 0.7853      | 0.8862 | 0.3230 | 0.0974 | 5.8884 |

ตารางที่ 4-13 (ต่อ)

| Parameter  |            |             |             |            | Performance |        |        |        |         |
|------------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| look backs | units list | epochs list | batch sizes | Num layers | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE    |
| 30         | 64         | 50          | 64          | 3          | 0.9538      | 0.9766 | 0.3396 | 0.0798 | 5.9612  |
| 30         | 64         | 60          | 16          | 3          | 0.6530      | 0.8081 | 0.2868 | 0.0755 | 5.4376  |
| 30         | 64         | 60          | 32          | 3          | 0.9454      | 0.9723 | 0.3251 | 0.0649 | 5.2856  |
| 30         | 64         | 60          | 64          | 3          | 0.7195      | 0.8482 | 0.2959 | 0.0721 | 5.2417  |
| 30         | 64         | 70          | 16          | 3          | 0.5630      | 0.7503 | 0.3049 | 0.1076 | 5.9750  |
| 30         | 64         | 70          | 32          | 3          | 0.7904      | 0.8890 | 0.3309 | 0.1070 | 6.1409  |
| 30         | 64         | 70          | 64          | 3          | 0.9626      | 0.9811 | 0.4247 | 0.1948 | 9.4033  |
| 30         | 64         | 80          | 16          | 3          | 0.7259      | 0.8520 | 0.3407 | 0.1101 | 6.5345  |
| 30         | 64         | 80          | 32          | 3          | 0.6382      | 0.7989 | 0.3207 | 0.1237 | 7.0561  |
| 30         | 64         | 80          | 64          | 3          | 0.8115      | 0.9008 | 0.3370 | 0.1065 | 6.6161  |
| 30         | 64         | 90          | 16          | 3          | 0.9913      | 0.9956 | 0.3567 | 0.1060 | 6.9274  |
| 30         | 64         | 90          | 32          | 3          | 0.6758      | 0.8220 | 0.2955 | 0.0742 | 5.2031  |
| 30         | 64         | 90          | 64          | 3          | 0.6827      | 0.8263 | 0.2922 | 0.0628 | 4.9713  |
| 30         | 64         | 100         | 16          | 3          | 0.6316      | 0.7947 | 0.4132 | 0.2465 | 10.7867 |
| 30         | 64         | 100         | 32          | 3          | 0.8423      | 0.9178 | 0.3387 | 0.1080 | 6.6592  |
| 30         | 64         | 100         | 64          | 3          | 0.9999      | 1.0000 | 0.3431 | 0.0718 | 5.7638  |

จากตารางที่ 4-13 พบว่า การทดสอบด้วยอัลกอริทึม GRU ด้วยพารามิเตอร์ค่า lookbacks เท่ากับ 7 ค่า units list เท่ากับ 64 ค่า epochs list เท่ากับ 100 ค่า batch sizes เท่ากับ 32 และ ค่า num layers เท่ากับ 1 ให้ค่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่า MSE เท่ากับ 0.3757 ค่า RMSE เท่ากับ 0.6129 ค่า MAE เท่ากับ 0.2252 ค่า MAD เท่ากับ 0.0824 และค่า MAPE เท่ากับ 4.9454 ผลการพยากรณ์แสดงดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 ผลการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม GRU

เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมเรียบร้อยแล้ว ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของทั้ง 3 อัลกอริทึมแสดงในตารางที่ 4-14

**ตารางที่ 4-14** ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์

| Algorithms | Performance |        |        |        |        |
|------------|-------------|--------|--------|--------|--------|
|            | MSE         | RMSE   | MAE    | MAD    | MAPE   |
| RNN        | 0.4168      | 0.6456 | 0.2195 | 0.0637 | 4.3866 |
| LSTM       | 0.3448      | 0.5872 | 0.1981 | 0.0608 | 4.3236 |
| GRU        | 0.3757      | 0.6129 | 0.2252 | 0.0824 | 4.9454 |

จากตารางที่ 4-14 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของทั้ง 3 อัลกอริทึมสรุปว่า อัลกอริทึม LSTM ให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่ดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.3448 รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.5872 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เท่ากับ 0.1981 ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ เท่ากับ 0.0608 และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เท่ากับ 4.3236 รองลงมา คือ อัลกอริทึม RNN โดยมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.4168 รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.6456 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เท่ากับ 0.2195 ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ เท่ากับ 0.0637 และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เท่ากับ 4.3866 และอัลกอริทึม GRU โดยมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.3757 รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.6129 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เท่ากับ 0.2252 ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ เท่ากับ 0.0824 และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เท่ากับ 4.9454

#### 4.3 ผลการพยากรณ์ และการแสดงผลผ่าน Tableau

เมื่อสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์เรียบร้อยแล้ว ในส่วนนี้จะนำข้อมูลทั้งหมดตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 มาทำการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองที่ดีที่สุด เพื่อการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไซยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ในอีก 365 วันข้างหน้า (1 มกราคม 2568 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2568) ซึ่งตัวอย่างผลลัพธ์การพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM จำนวน 30 ระเบียบ แสดงผลดังตารางที่ 4-15

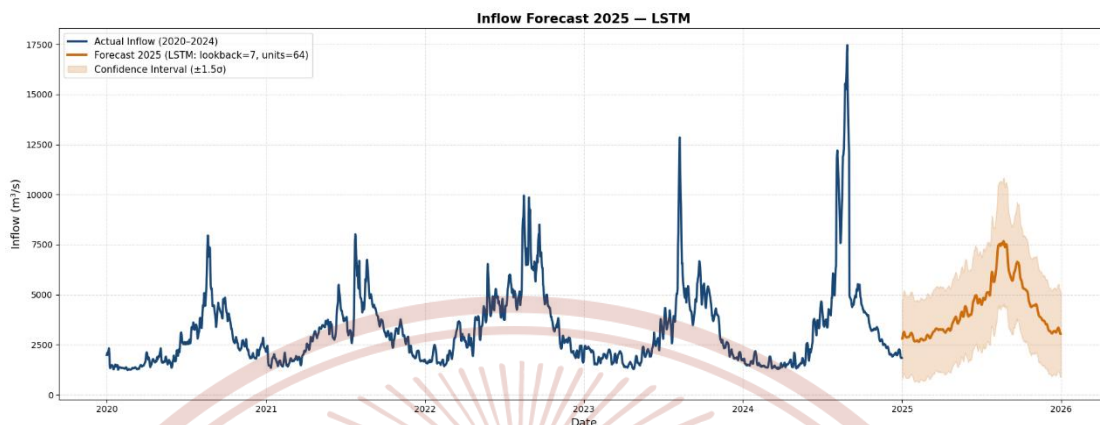
**ตารางที่ 4-15** แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM จำนวน 30 ระเบียบ

| Date                | Inflow (ลบ.ม./วินาที) |
|---------------------|-----------------------|
| 2025-01-01 00:00:00 | 2,809.56              |
| 2025-01-02 00:00:00 | 2,809.56              |
| 2025-01-03 00:00:00 | 2,999.04              |

ตารางที่ 4-15 (ต่อ)

| Date                | Inflow (ลบ.ม./วินาที) |
|---------------------|-----------------------|
| 2025-01-04 00:00:00 | 3,107.16              |
| 2025-01-05 00:00:00 | 3,137.28              |
| 2025-01-06 00:00:00 | 3,102.20              |
| 2025-01-07 00:00:00 | 3,027.85              |
| 2025-01-08 00:00:00 | 2,951.52              |
| 2025-01-09 00:00:00 | 2,894.75              |
| 2025-01-10 00:00:00 | 2,869.60              |
| 2025-01-11 00:00:00 | 2,857.83              |
| 2025-01-12 00:00:00 | 2,859.17              |
| 2025-01-13 00:00:00 | 2,867.45              |
| 2025-01-14 00:00:00 | 2,881.62              |
| 2025-01-15 00:00:00 | 2,888.70              |
| 2025-01-16 00:00:00 | 2,891.20              |
| 2025-01-17 00:00:00 | 2,902.49              |
| 2025-01-18 00:00:00 | 2,941.04              |
| 2025-01-19 00:00:00 | 2,992.69              |
| 2025-01-20 00:00:00 | 3,048.14              |
| 2025-01-21 00:00:00 | 3,081.10              |
| 2025-01-22 00:00:00 | 3,092.56              |
| 2025-01-23 00:00:00 | 3,064.38              |
| 2025-01-24 00:00:00 | 3,011.44              |
| 2025-01-25 00:00:00 | 2,942.05              |
| 2025-01-26 00:00:00 | 2,864.05              |
| 2025-01-27 00:00:00 | 2,777.74              |
| 2025-01-28 00:00:00 | 2,703.94              |
| 2025-01-29 00:00:00 | 2,667.76              |
| 2025-01-30 00:00:00 | 2,663.46              |

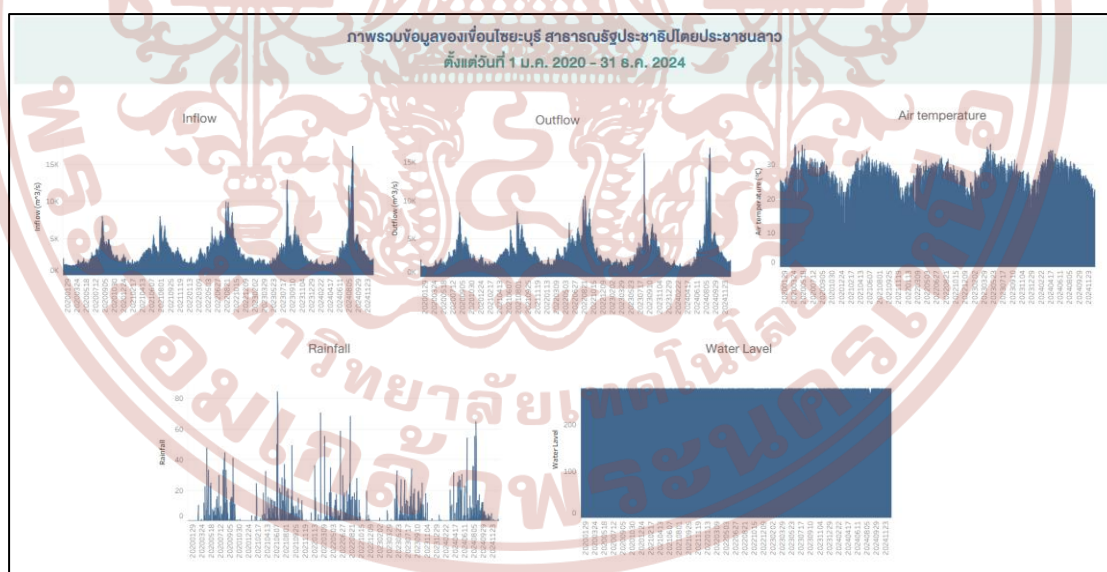
จากตารางที่ 4-15 เมื่อนำผลลัพธ์จากการพยากรณ์ของ 1 มกราคม 2568 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2568 มาทำการสร้างกราฟรวมกับข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 จะแสดงดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 กราฟผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหล 365 วันข้างหน้า ด้วยอัลกอริทึม LSTM

จากผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไซยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบรายงานโดยใช้โปรแกรม Tableau เพื่อแสดงผลดังนี้

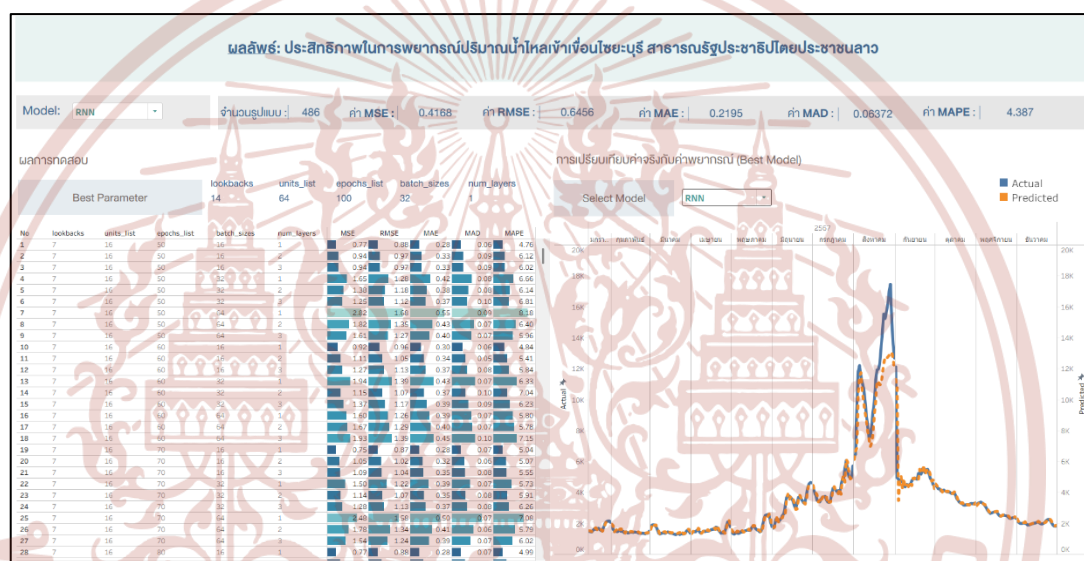
4.3.1 แสดงภาพรวมข้อมูลของเขื่อนไซยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ก่อนนำไปทำการสร้างแบบจำลองเพื่อวัดประสิทธิภาพในการพยากรณ์แสดงดังภาพที่ 4-5



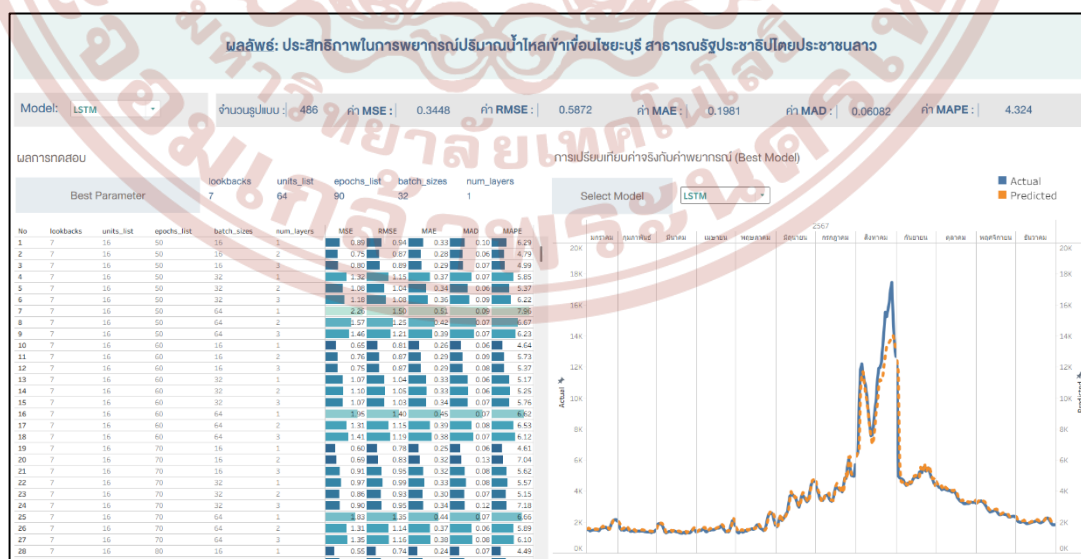
ภาพที่ 4-5 แสดงผลข้อมูลภาพรวมข้อมูลของเขื่อนไซยะบุรี

จากภาพที่ 4-5 แสดงข้อมูลของเขื่อนไซยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ในแต่ละคุณลักษณะจำนวน 5 คุณลักษณะ ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ปริมาณน้ำไหลออก (Outflow) ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) และระดับน้ำในเขื่อน (Water Level) เป็นข้อมูลรายวัน ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 - 31 ธันวาคม 2567

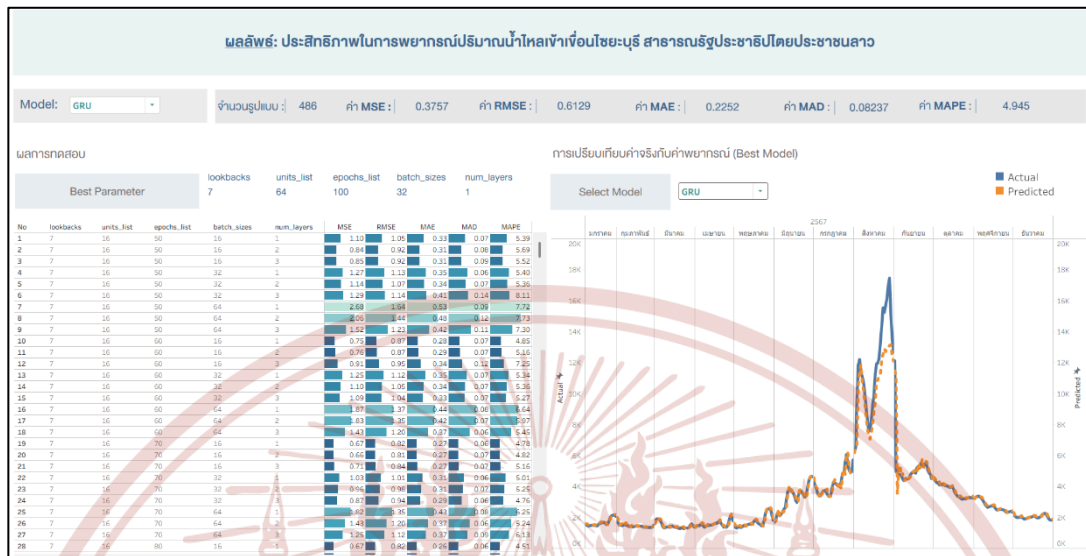
4.3.2 แสดงผลลัพธ์ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยแสดงผลประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมภายหลังจากการปรับค่าพารามิเตอร์ จะแสดงจำนวนรูปแบบที่ใช้ในการทดสอบ พร้อมทั้ง ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (MSE) รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSE) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAE) ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ (MAD) และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) นอกจากนี้ นำเสนอกราฟเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำไหลเข้าจริงกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ แสดงดังภาพที่ 4-6 ถึง 4-8



ภาพที่ 4-6 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม RNN



ภาพที่ 4-7 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM

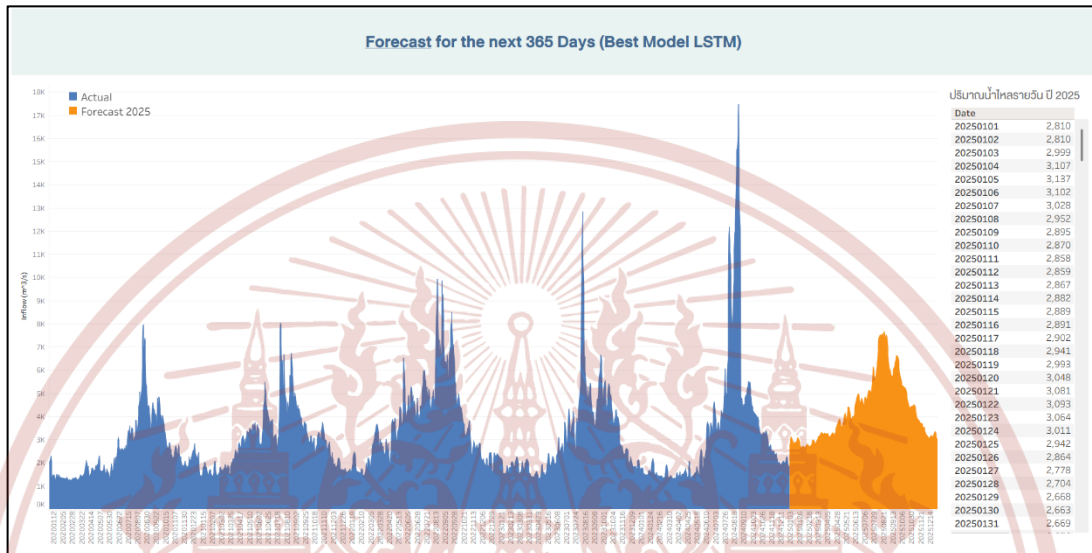


ภาพที่ 4-8 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม GRU

จากภาพที่ 4-6 ถึง 4-8 แสดงให้เห็นผลลัพธ์ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของแต่ละอัลกอริทึม โดยอัลกอริทึม LSTM ให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ดีที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.3448 รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.5872 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ เท่ากับ 0.1981 ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ เท่ากับ 0.0608 และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ เท่ากับ 4.3236 รองลงมา คือ อัลกอริทึม RNN โดยมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.4168 รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.6456 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ เท่ากับ 0.2195 ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ เท่ากับ 0.0637 และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ เท่ากับ 4.3866 และอัลกอริทึม GRU โดยมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.3757 รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.6129 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ เท่ากับ 0.2252 ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสมบูรณ์ เท่ากับ 0.0824 และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ เท่ากับ 4.9454 รวมทั้ง จากกราฟการเปรียบเทียบค่าจริง (Actual) กับค่าพยากรณ์ (Predicted) ในแต่ละอัลกอริทึม พบว่า เส้นกราฟของค่าพยากรณ์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาเดียวกับค่าจริง เนื่องจากอัลกอริทึม RNN LSTM และ GRU สามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูลตามลำดับเวลา (Temporal Dependency) จากข้อมูลในอดีตได้ เมื่อข้อมูลในช่วงก่อนหน้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อัลกอริทึมจึงสามารถพยากรณ์ค่าที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันได้ นอกจากนี้ ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนยังมีลักษณะเป็นรูปแบบตามฤดูกาล (Seasonal Pattern) โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่ปริมาณน้ำจะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าพยากรณ์มีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าจริงและทำให้กราฟของทั้งสองเส้นเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน

4.3.3 แสดงผลการพยากรณ์ 365 วันข้างหน้า ของการพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม LSTM เนื่องจากอัลกอริทึมดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลัง

สองของความคลาดเคลื่อน ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงผลดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 ผลการพยากรณ์ 365 วันข้างหน้าด้วยอัลกอริทึม LSTM

จากภาพที่ 4-9 พบว่า ผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าในช่วงปี 2568 มีแนวโน้มลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปในช่วงต้นปี ก่อนจะปรับตัวสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดในช่วงกลางปี จากนั้นค่าพยากรณ์มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ รูปแบบดังกล่าวสะท้อนลักษณะความแปรผันตามฤดูกาลของปริมาณน้ำไหลเข้า ซึ่งมีช่วงเพิ่มสูงและช่วงลดต่ำสลับกันอย่างชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงในช่วงเวลาก่อนหน้า พบว่า แนวโน้มของค่าพยากรณ์มีรูปแบบสอดคล้องกับพฤติกรรมของข้อมูลจริงในอดีต แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองสามารถเรียนรู้รูปแบบฤดูกาล และลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำไหลเข้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการเตรียมข้อมูลเขื่อนไซยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เปรียบเทียบ อัลกอริทึม และการออกแบบรายงานการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไซยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สามารถสรุปได้ดังนี้

- 5.1 สรุปผล
- 5.2 อภิปรายผล
- 5.3 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

#### 5.1 สรุปผล

งานวิจัยเรื่อง การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไซยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สามารถแบ่งการดำเนินงานการวิจัยได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

5.1.1 ขั้นตอนการรวบรวม และเตรียมข้อมูล เพื่อดำเนินการทดสอบและเปรียบเทียบ อัลกอริทึม ซึ่งใช้ข้อมูลเขื่อนไซยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 โดยมีระยะเวลาข้อมูลเป็นรายวัน จำนวน 1,827 ระเบียบ ประกอบด้วย คุณลักษณะจำนวน 5 คุณลักษณะ ได้แก่ ปริมาณน้ำไหลเข้า (Inflow) ปริมาณน้ำไหลออก (Outflow) ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) และระดับน้ำในเขื่อน (Water Level) หลังจากเข้าสู่กระบวนการเตรียมข้อมูลทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing) ด้วยวิธีการเติมข้อมูลสูญหาย และแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบรายวัน จากนั้นเลือกคุณลักษณะปริมาณน้ำไหลเข้า ในการพยากรณ์ และแปลงหน่วยจากลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็นพันลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนต่ำ จากนั้นแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2566 และชุดข้อมูล สำหรับการทดสอบ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2567 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567

5.1.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์แต่ละ อัลกอริทึม การสร้างแบบจำลอง ใช้อัลกอริทึม 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม แบบวนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN) อัลกอริทึมหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) และอัลกอริทึมหน่วยเวียนกลับแบบมีประตู (Gated Recurrent Unit: GRU) ซึ่งทั้ง 3 อัลกอริทึมกำหนดพารามิเตอร์ lookbacks เท่ากับ 7,17,30 units list เท่ากับ 16,32,64 epochs list เท่ากับ 50,60,70,80,90,100 batch sizes เท่ากับ 16,32,64 และ num layers เท่ากับ 1,2,3 วัดประสิทธิภาพของแบบจำลองของแต่ละอัลกอริทึม โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Mean Squared Error: MSE)

รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Squared Error: RMSE) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) พบว่า อัลกอริทึม LSTM มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.3448 รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.5872 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เท่ากับ 0.1981 ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ เท่ากับ 0.0608 และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เท่ากับ 4.3236 ทั้งนี้ อัลกอริทึม LSTM มีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงกว่าอัลกอริทึม RNN และ GRU เนื่องจากอัลกอริทึม LSTM มีโครงสร้างแบบมีประตู (gated structure) และสถานะเซลล์ (cell state) ที่ช่วยรักษาความสัมพันธ์ระยะยาวของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดปัญหาการเลือนหายของค่าความชัน (vanishing gradient problem) ดังนั้น จึงมีความเหมาะสมกับการเรียนรู้ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีความซับซ้อนซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี

5.1.3 ขั้นตอนการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และการแสดงผลผ่านโปรแกรม Tableau นำข้อมูลทั้งหมดตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 มาทำการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองที่ดีที่สุด เพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ในอีก 365 วันข้างหน้า (1 มกราคม 2568 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2568) และแสดงผลการพยากรณ์ผ่าน Tableau ในรูปกราฟข้อมูล เพื่อสนับสนุนการวางแผน การตัดสินใจ และการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

## 5.2 อภิปรายผล

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ด้วยอัลกอริทึม 3 อัลกอริทึม ได้แก่ อัลกอริทึม Recurrent Neural Network อัลกอริทึม Long Short-Term Memory และอัลกอริทึม Gated Recurrent Unit ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าของเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2563 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567 มีระยะเวลาข้อมูลเป็นรายวันจำนวน 1,827 ระเบียบ ซึ่งข้อมูลนี้ผู้วิจัยได้หลังจากผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลเรียบร้อยแล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมที่ใช้ในพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สรุปผลได้ว่า อัลกอริทึม Long Short-Term Memory ให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์แม่นยำที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.3448 ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.5872 ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 0.1981 ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เท่ากับ 0.0608 และร้อยละค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 4.3236 จากนั้นนำแบบจำลองที่ดีที่สุดพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ในอีก 365 วันข้างหน้า และแสดงผลการพยากรณ์ด้วยโปรแกรม Tableau ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้อัลกอริทึมดังกล่าวมาทำ

การพยากรณ์ เช่น จิตราภรณ์ [14] ศึกษาเกี่ยวกับการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนเพื่อวิเคราะห์ภัยแล้ง  
ในกลุ่มน้ำน่าน และฐิติวัฒน์ [15] ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์น้ำฝนเพื่อวิเคราะห์  
ภัยแล้งในกลุ่มน้ำมูล เป็นต้น

### 5.3 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

จากการการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว  
ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อเสนอแนะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 ควรพัฒนาแบบจำลองโดยเพิ่มปัจจัยนำเข้าอื่นที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำไหลเข้า เช่น ความชื้น  
สัมพัทธ์ ความเร็วลม ปริมาณน้ำสะสมในลุ่มน้ำ ข้อมูลภูมิประเทศ เป็นต้น รวมทั้ง พิจารณาช่วงข้อมูล  
ย้อนหลังให้ยาวขึ้น นอกจากนี้ ควรทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอัลกอริทึมขั้นสูง หรือ  
แบบจำลองเชิงผสมเพิ่มเติม เพื่อให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น

5.3.2 นำแบบจำลองใช้งานจริงร่วมกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบริหารจัดการน้ำ  
และใช้ผลการพยากรณ์ประกอบการวางแผนบริหารจัดการน้ำ การผลิตไฟฟ้า รวมถึงการเตรียมรับมือ  
อุทกภัยและภัยแล้ง พร้อมทั้ง พัฒนาระบบแสดงผลแบบเรียลไทม์ และประเมินความแม่นยำของ  
แบบจำลอง เพื่อให้การพยากรณ์มีประสิทธิภาพและทันต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

## บรรณานุกรม

1. Mahdi, N., et al. (2567). "Comparative Evaluation of Deep Learning Techniques in Streamflow Monthly Prediction of the Zarrine River Basin." Water. Vol.16:208 : 1-21.
2. George, F. and Alfred, K. (2567). "IMPLEMENTING A GRU NEURAL NETWORK FOR FLOOD PREDICTION IN ASHLAND CITY, TENNESSEE" arXiv. Vol.2405:10375 : 1-13.
3. Wani, O., et al. (2567). " Predicting rainfall using machine learning, deep learning, and time series models across an altitudinal gradient in the North-Western Himalayas." Scientific Reports. Vol.14:27876 : 1-18
4. Hyndman, R. J. and Athanasopoulos, G. (2564). Forecasting: Principles and Practice. OTexts.
5. Montgomery, D. C., Jennings, C. L., and Kulahci, M. (2558). Introduction to Time Series Analysis and Forecasting. 2nd ed. Wiley.
6. Lipton, Z. C., Berkowitz, J., and Elkan, C. (2558). "A critical review of recurrent neural networks for sequence learning." arXiv. 1506.00019 : 1-38.
7. Krichen, M. and Mihoub, A. (2568). "Long short-term memory networks: a comprehensive survey." Vol.6: 215.
8. Dey, D., Mridha, M. F., Saha, A., and Babu, N. R. (2563). "A review of gated recurrent units in deep learning." IEEE Access. Vol.8: 174006-174021.
9. Mahmood, O., Sulaima, S., and Jumeily, D., (2567). "Forecasting for Haditha reservoir inflow in the West of Iraq using Support Vector Machine (SVM)." PLOS ONE. Vol. 19(9): e0308266. : 1-21.
10. Shi, J., et al. (2567). "Time series prediction model using LSTM Transformer neural network for mine water inflow." Scientific Reports. Vol.14:18284 : 1-16.
11. Luo, J. and Gong, Y. (2566). "Air pollutant prediction based on ARIMA-WOA-LSTM model." Atmospheric Pollution Research. Vol.14:101761. : 1-12.
12. Ameri, R., et al. (2566). "Forecasting PM 2.5 concentration based on integrating of CEEMDAN decomposition method with SVM and LSTM." Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol.266:115572 : 1-11.
13. Wen, T., et al. (2566). "Modeling and forecasting CO2 emissions in China and its regions using a novel ARIMA-LSTM model." Heliyon. Vol.9:e21241 : 1-14.
14. จิตราภรณ์ สงเคราะห์. (2566). การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนเพื่อวิเคราะห์ภัยแล้งในลุ่มน้ำน่าน. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

15. จิตติวัฒน์ กล่ำศิริ. (2566). การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์น้ำฝนเพื่อวิเคราะห์ภัยแล้งในลุ่มน้ำมูล. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
16. ลักษณะณ์ สวัสดิผล. (2565). การพยากรณ์ระดับความชื้นในอากาศ ณ สถานีรายงานดอยอินทนนท์ เพื่อสนับสนุนการวางแผนภารกิจการเฝ้าระวังทางอวกาศของกองทัพอากาศ. สาขาวิชาการแปรรูปธุรกิจทางดิจิทัล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
17. กรอภิชิต เห่งพันธ์ และ สมพร ปันโกษา. (2565). “การพยากรณ์ความผันผวนของตลาดหลักทรัพย์โดยใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน.” บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
18. Essam, Y., et al. (2565). “Predicting streamflow in Peninsular Malaysia using support vector machine and deep learning algorithms.” Scientific Reports. Vol.12:3883 : 1-26.
19. Rahman, S., Chowdhury, A., and Amrin, M., (2565). “Accuracy comparison of ARIMA and XGBoost forecasting models in predicting the incidence of COVID-19 in Bangladesh.” PLOS Global Public Health. Vol. 2(5):e0000495. : 1-13.
20. กมลชนก ปราบนคร, ธนวัฒน์ เรืองสมุทร และเดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย. (2565). “การพัฒนาแบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนแม่สะงาเพื่อประยุกต์ใช้การควบคุมเชิงทำนายแบบจำลองไม่เชิงเส้นกับระบบจัดการพลังงานในเมืองแม่ฮ่องสอน.” วารสารงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์โดยสมาคม ECTI. ปีที่ 2 ฉบับที่ 3 (2565) : 32-38.
21. รักษ์คณา ภูสีเชียว. (2564). การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนระยะสั้นในบริเวณพื้นที่สนามบินสุวรรณภูมิด้วยโครงข่ายระบบประสาทแบบย้อนกลับ. สาขาวิชาสถิติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
22. พิรภัทร วัสแสง. (2564). การพยากรณ์ราคาขายทรัพย์สินรอการขายประเภทที่อยู่อาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานครโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง. สาขาวิชานวัตกรรมการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
23. Zarei, M., et al. (2564). “Machine-learning algorithms for forecast-informed reservoir operation (FIRO) to reduce food damages.” Scientific Reports. Vol.11:24295 : 1-21.
24. พชรพล กิตติโกคิน. (2563). การพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากร น้ำในจังหวัดระยอง. สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
25. Dehghani, R. and Poudeh, H. (2563). " Application of Support Vector Machine for River flow Estimation." International journal of Engineering, Business and Management (IJEEM). Vol.4:ISSN:2456-7817. : 1-10.

## ประวัติผู้เขียน

|                     |                                                                                                                         |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ                | นายเฉลิมชาติ ให้มาท                                                                                                     |
| ชื่อการค้นคว้าอิสระ | การพยากรณ์การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนไชยะบุรี<br>สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้<br>เชิงลึก |
| สาขาวิชา            | ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ                                                                                              |
| ประวัติ             | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ                                                                              |

