



การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าโดยอาศัยแบบจำลองการเรียนรู้ด้วยเครื่อง
PERSONALIZED BLOOD GLUCOSE LEVEL FORECASTING WITH MACHINE LEARNING
MODELS



ณัฐพร กิจชัยนุกูล

การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าโดยอาศัยแบบจำลองการเรียนรู้ด้วยเครื่อง



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูล
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

PERSONALIZED BLOOD GLUCOSE LEVEL FORECASTING WITH MACHINE LEARNING
MODELS



NATTAPORN KITCHAINUKOON

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Data Science)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2023

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง

การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าโดยอาศัยแบบจำลองการเรียนรู้ด้วยเครื่อง

ของ

ณัฐพร กิจชัยนุกูล

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูล

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภา แซ่เบ๊)

(อาจารย์ ดร.นิตาชาติวัฒนศิริ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ วิทยานนท์)

ชื่อเรื่อง	การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าโดยอาศัยแบบจำลองการเรียนรู้ด้วยเครื่อง
ผู้วิจัย	ณัฐพร กิจชัยนุกูล
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภา แซ่เบ๊

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการจัดทำแบบจำลองการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้า จากชุดข้อมูล OhioT1DM ที่มีการเก็บข้อมูลจากผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 1 จำนวน 12 ราย ในปี 2018 และ 2020 โดยข้อมูลประกอบไปด้วย 22 คุณลักษณะ ซึ่งจัดเก็บด้วยเครื่อง CGM, ตัวรับข้อมูลแบบสวมใส่ (Sensor band) และการระบุข้อมูลจากการประมาณค่าของผู้ป่วย มีคุณลักษณะ เช่น ปริมาณอาหาร การเต้นของหัวใจ อุณหภูมิผิวหนัง โดยใช้แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง Long Short-Term Memory (LSTM) และ Support Vector Regression (SVR) ในการทำนาย มีการกำหนดการใช้ข้อมูล 5, 10, 15, และ 20 ลำดับย้อนหลัง เพื่อการทำนายล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 และ 60 นาที มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยใช้การวัดประสิทธิภาพแบบจำลองด้วย MAE, MSE, MAPE และ RMSE ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครื่องเป็นข้อมูลชุดเรียนรู้ (Training set) เพื่อให้เกิดการเปรียบเทียบของข้อมูลจึงมีการแบ่งข้อมูลชุดเรียนรู้ ให้เป็นข้อมูลชุดตรวจสอบ (Validation set) ในปริมาณ 25% จากข้อมูลทั้งหมด โดยนำมาเปรียบเทียบกับชุดทดสอบจริง (Test set) จากต้นฉบับ มีผลการทำนายที่ดีที่สุด ที่การทำนายล่วงหน้าระยะเวลา 30 นาที แบบจำลอง SVR มีผลการทำนายดีกว่า LSTM ทั้งจาก 2 ชุดการทดสอบ ที่ ID596 มีค่า 10.41 MAE, 229.59 MSE, 15.15 RMSE ที่ ID570 มีค่า 7 % MAPE ใช้ข้อมูล 5 ลำดับย้อนหลัง เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ ที่ ID570 มีค่า 12.09 MAE, 297.81 MSE, 6 % MAPE, 17.26 RMSE ใช้ข้อมูล 10 ลำดับย้อนหลัง เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง ที่การทำนายล่วงหน้าทีละระยะเวลา 60 นาที แบบจำลอง SVR มีผลการทำนายดีกว่า LSTM ที่ ID596 มีค่า 18.26 MAE, 624.42 MSE, 13 % MAPE, 24.99 RMSE ใช้ข้อมูล 10 ลำดับย้อนหลัง เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ แบบจำลอง LSTM มีผลการทำนายดีกว่า SVR ที่ ID570 มีค่า 21.08 MAE, 807.38 MSE, 11 % MAPE, 28.41 RMSE ใช้ข้อมูล 20 ลำดับย้อนหลัง เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง ซึ่งความถี่ในการใช้ข้อมูลย้อนหลังของแบบจำลอง SVR จะใช้ที่ 5 ลำดับย้อนหลัง มากที่สุดเป็นจำนวน 31 ครั้ง ที่ระยะเวลาการทำนาย 30 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ แบบจำลอง LSTM มีความถี่ในการใช้ข้อมูลย้อนหลังใกล้เคียงกัน มีการใช้ 5 ลำดับย้อนหลัง มากที่สุดเป็นจำนวน 12 ครั้ง ที่ระยะเวลาการทำนาย 30 นาที เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง โดยมีคุณลักษณะ Meal carbs, Skin temperature, Heart rate เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดมากที่สุด

คำสำคัญ : การทำนายระดับน้ำตาลในเลือด, การทำนายข้อมูลอนุกรมเวลา, แบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง, LSTM, SVR

Title	PERSONALIZED BLOOD GLUCOSE LEVEL FORECASTING WITH MACHINE LEARNING MODELS
Author	NATTAPORN KITCHAINUKOON
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Napa Sae-Bae

This study aims to develop predictive models for forecasting blood glucose levels in advance, leveraging individual patient characteristics from the OhioT1DM dataset. The dataset consists of data from 12 individuals with Type 1 Diabetes from 2018 and 2020. The data on each patient consisted of a comprehensive set of 22 features collected from CGM devices, wearable sensors, and self-reported information, encompassing various lifestyle and physiological aspects such as meal carbs, heart rate, steps, and skin temperature. Specifically, Long Short-Term Memory (LSTM) and Support Vector Regression (SVR) models, were utilized to create models for forecasting blood glucose levels at 30 and 60 minutes into the future. These models considered historical data from 5, 10, 15, and 20 time steps. The accuracy of the forecasting compares the performance of LSTM and SVR models for each patient using metrics such as MAE, MSE, MAPE, and RMSE. To train the model, the training set was split into a validation set, with 25% of the total data. The models are then evaluated on a validation set and test set derived from the original dataset. The best predictive performance is observed with the SVR model for the 30-minute forecasting, outperforming LSTM in both evaluation sets. Among the patients, ID596 shows 10.41 MAE, 229.59 MSE, and 15.15 RMSE, while ID570 shows 7% MAPE using 5 historical time steps. In the 60-minute forecasting, SVR continues to outperform LSTM in the validation set, with ID596 achieving 18.26 MAE, 624.42 MSE, 13% MAPE, and 24.99 RMSE using 10 historical time steps. However, LSTM outperforms SVR in the test set, with ID570 showing 21.08 MAE, 807.38 MSE, 11% MAPE, and 28.41 RMSE using 20 historical time steps. The highest frequency of using historical data in the SVR model was 5 time steps, occurring 31 times at the 30-minute forecasting in the validation set. In contrast, the LSTM model demonstrated a similar frequency of using 5 historical time steps, occurring 12 times at the 30-minute forecasting in the test set. The features included meal carbs, skin temperature, and heart rate are identified as the most influential factors in forecasting blood glucose levels.

Keyword : Blood glucose forecasting, Time series forecasting, Diabetes, LSTM, SVR

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.นภา แซ่เบ๊ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสมบูรณ์ รวมถึงการให้คำแนะนำ ให้การสนับสนุนข้อมูลการทำงานทางวิชาการ ข้อมูลสำหรับการทำปริญญาานิพนธ์ และการตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยของการเรียบเรียงปริญญาานิพนธ์ในทุกขั้นตอน

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์และคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ทุกท่านที่ให้ความรู้ รวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงปริญญาานิพนธ์ให้ดียิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สำหรับการสนับสนุนทุนการศึกษาและทุนการนำเสนอผลงานสำหรับงานประชุมวิชาการจนได้รับรางวัลจากการนำเสนอผลงาน ทำให้ได้รับประสบการณ์ที่ดี ได้ความรู้ในการแลกเปลี่ยนกับผู้นำเสนอผลงานท่านอื่น

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่เป็นกำลังใจเป็นอย่างดี รวมถึงเพื่อนร่วมรุ่น และรุ่นพี่ในสาขาวิชา ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาอย่างเต็มที่ ตลอดช่วงระยะเวลาที่เรียน และการทำปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงอย่างมีประสิทธิภาพ

ณัฐพร กิจชัยนุกูล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4.1 ขอบเขตประชากรที่ใช้ในงานวิจัย	2
1.4.2 ขอบเขตด้านตัวแปรที่ศึกษา	2
1.4.3 ขอบเขตด้านเวลา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 กรอบแนวคิดในงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดโรคเบาหวานและสถิติที่เกี่ยวข้อง (Diabetes Factors and Statistics)...	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review).....	6
2.3 แบบจำลองที่เลือกใช้และการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง (Model Selection and Evaluation)	14

2.3.1	โครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้น-ยาว (Long short-term memory)	14
2.3.2	ซีฟพอร์ตเวกเตอร์แบบถดถอย (Support Vector Regression)	16
2.3.3	การวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง (Model Evaluation).....	18
บทที่ 3	ระเบียบวิธีวิจัย.....	19
3.1	การสำรวจข้อมูล (Data Exploration).....	19
3.1.1	การนำเข้าข้อมูล (Load data).....	21
3.1.2	ปริมาณข้อมูลในแต่ละคุณลักษณะ (Data Volume)	26
3.2	การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)	31
3.2.1	การเชื่อมโยงข้อมูล (Merging time-series data).....	31
3.2.2	การคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature selection)	32
1)	การหาความสัมพันธ์ข้อมูลในเชิงสถิติ (Statistics).....	32
2)	การหาความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ (Feature Correlation)	38
3)	การคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection)	40
4)	การจัดกลุ่มข้อมูล (Data Resampling).....	44
3.2.3	การจัดการข้อมูลที่ขาดหาย (Missing Data)	44
3.3	อัลกอริทึมและแบบจำลองของการทำนาย (Algorithm and Model).....	48
บทที่ 4	ผลการวิจัย	50
4.1	ผลลัพธ์ของการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM	50
4.2	ผลลัพธ์การเปรียบเทียบการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดระหว่างแบบจำลอง SVR และ LSTM จากชุดข้อมูลทดสอบที่แตกต่างกัน	57
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	70
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	70
5.2	อภิปรายผลการวิจัย	74

5.3 ข้อเสนอแนะ.....	75
บรรณานุกรม.....	76
ภาคผนวก.....	79
ประวัติผู้เขียน.....	96



สารบัญตาราง

ตาราง 1 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
ตาราง 2 คำอธิบายข้อมูลคุณลักษณะ	20
ตาราง 3 เปรียบเทียบปริมาณข้อมูล Glucose และ Fingerstick.....	23
ตาราง 4 ปริมาณข้อมูลคุณลักษณะ Illness	24
ตาราง 5 ปริมาณข้อมูลคุณลักษณะ Hypoglycemia	24
ตาราง 6 ปริมาณข้อมูลคุณลักษณะ Stressors	25
ตาราง 7 แสดงปริมาณข้อมูลแต่ละคุณลักษณะของผู้ป่วยทั้งหมด	26
ตาราง 8 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID559 และ ID563	33
ตาราง 9 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID570 และ ID575	33
ตาราง 10 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID588 และ ID591	34
ตาราง 11 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID540 และ ID544	35
ตาราง 12 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID552 และ ID567	36
ตาราง 13 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID584 และ ID596	36
ตาราง 14 ตัวอย่างการคัดเลือกคุณลักษณะที่มีปริมาณน้อยกว่า 0.5% ของผู้ป่วยปี 2018.....	40
ตาราง 15 ตัวอย่างการคัดเลือกคุณลักษณะที่มีปริมาณน้อยกว่า 0.5% ของผู้ป่วยปี 2020.....	41
ตาราง 16 ปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วยในปี 2018	45
ตาราง 17 ปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วยในปี 2020	46
ตาราง 18 ผลการทำนายของ SVR ที่ระยะเวลา 30 นาที	52
ตาราง 19 ผลการทำนายของ SVR ที่ระยะเวลา 60 นาที	53
ตาราง 20 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 30 นาที	54
ตาราง 21 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 60 นาที	55
ตาราง 22 เปรียบเทียบการใช้ข้อมูลย้อนหลังของแบบจำลอง LSTM และ SVR.....	57

ตาราง 23 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) ที่ระยะเวลา 30 นาที	58
ตาราง 24 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set) ที่ระยะเวลา 30 นาที	60
ตาราง 25 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) ระยะเวลา 60 นาที	62
ตาราง 26 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set) ระยะเวลา 60 นาที	64
ตาราง 27 ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การทำนายของผู้ป่วยทุกรายที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set).....	66
ตาราง 28 ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การทำนายของผู้ป่วยทุกรายที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set).....	66
ตาราง 29 เปรียบเทียบผลงานวิจัยการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยในปี 2018	67
ตาราง 30 เปรียบเทียบผลงานวิจัยการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยในปี 2020	68
ตาราง 31 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ข้อมูลย้อนหลังของแบบจำลอง SVR และ LSTM โดยเฉลี่ยระหว่างการใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set)	71
ตาราง 32 คุณลักษณะที่มีผลในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด ที่ระยะเวลา 30 นาที.....	72
ตาราง 33 คุณลักษณะที่มีผลในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด ที่ระยะเวลา 60 นาที.....	73

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย	4
ภาพประกอบ 2 แสดงการทำงานของ LSTM	15
ภาพประกอบ 3 แสดงลำดับการทำงานของ Gate.....	15
ภาพประกอบ 4 การทำงานของ SVR.....	16
ภาพประกอบ 5 ความแตกต่างของ SVR ในแต่ละ Kernels	17
ภาพประกอบ 6 ข้อมูลต้นฉบับ XML แยก Training Set และ Test Set	22
ภาพประกอบ 7 ตัวอย่างข้อมูลในรูปแบบ XML	22
ภาพประกอบ 8 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะที่ขาดความต่อเนื่อง	22
ภาพประกอบ 9 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะที่มีวันที่เริ่มต้นและสิ้นสุดเป็นเวลาเดียวกัน	23
ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างข้อมูลผู้ป่วยที่ได้รับการปรับเปลี่ยนเป็นวันที่ในอนาคต	23
ภาพประกอบ 11 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะ Illness จากข้อมูลต้นฉบับในแบบ XML.....	24
ภาพประกอบ 12 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะ Hypoglycemia จากข้อมูลต้นฉบับในแบบ XML..	25
ภาพประกอบ 13 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะ Stressors จากข้อมูลต้นฉบับในแบบ XML	25
ภาพประกอบ 14 แสดงปริมาณข้อมูลของผู้ป่วยในปี 2018 ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง	27
ภาพประกอบ 15 แสดงปริมาณข้อมูลของผู้ป่วยในปี 2020 ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง	28
ภาพประกอบ 16 แสดงปริมาณของคุณลักษณะ Glucose ในรูปแบบอนุกรมเวลาของผู้ป่วย ในปี 2018.....	29
ภาพประกอบ 17 แสดงปริมาณของคุณลักษณะ Glucose ในรูปแบบอนุกรมเวลาของผู้ป่วย ในปี 2020	30
ภาพประกอบ 18 ตัวอย่างตารางการรวมข้อมูลของผู้ป่วย	32
ภาพประกอบ 19 ตัวอย่างค่าทางสถิติแบบ boxplot ของผู้ป่วย ID559.....	38

ภาพประกอบ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคุณลักษณะของทุก ID ในรูปแบบ Heatmap	39
ภาพประกอบ 21 การหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ ของผู้ป่วย ID559	42
ภาพประกอบ 22 ตัวอย่างปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วย ID559 ในปี 2018 ในรูปแบบ แผนภูมิแท่ง	45
ภาพประกอบ 23 ตัวอย่างปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วย ID540 ในปี 2020 ในรูปแบบ แผนภูมิแท่ง	46
ภาพประกอบ 24 ค่าสถิติของแต่ละคุณลักษณะ ของผู้ป่วย ID559	47
ภาพประกอบ 25 ตัวอย่างข้อมูลที่ไม่สามารถเติมได้ด้วย Interpolate แบบ forward	48
ภาพประกอบ 26 ช่วงเวลาของข้อมูลชุดตรวจสอบ (Validation set)	51
ภาพประกอบ 27 ช่วงเวลาของข้อมูลชุดทดสอบจริง (Test set)	51
ภาพประกอบ 28 แสดงผลการทำนายด้วย SVR ที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set).....	59
ภาพประกอบ 29 แสดงผลการทำนายด้วย LSTM ที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set).....	59
ภาพประกอบ 30 แสดงผลการทำนายด้วย SVR ที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set)	61
ภาพประกอบ 31 แสดงผลการทำนายด้วย LSTM ที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set).....	61
ภาพประกอบ 32 แสดงผลการทำนายด้วย SVR ที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set).....	63
ภาพประกอบ 33 แสดงผลการทำนายด้วย LSTM ที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set).....	63
ภาพประกอบ 34 แสดงผลการทำนายด้วย SVR ที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set).....	65

ภาพประกอบ 35 แสดงผลการทำนายด้วย LSTM ที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง
(Test set)..... 65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

“เบาหวาน” เป็นหนึ่งในโรคที่ไม่ติดต่อเรื้อรัง แต่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้มีผู้เสียชีวิตถึงร้อยละ 75 ของผู้เสียชีวิตทั้งหมด หรือ ประมาณ 320,000 คนต่อปี ซึ่งโรคเบาหวานส่งผลให้เกิดภาวะแทรกซ้อน โดยเฉพาะโรคไตวาย (ทองคำ, 2022) สาเหตุของการเกิดโรคเบาหวานเกิดจากการทำงานผิดปกติของฮอร์โมนที่ชื่อ “อินซูลิน (Insulin)” ซึ่งอินซูลินนี้เป็นฮอร์โมนที่ตับอ่อนสร้างขึ้น มีหน้าที่นำน้ำตาลในกระแสเลือดไปเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย แต่ในภาวะที่อินซูลินมีความผิดปกติย่อมส่งผลให้ร่างกายไม่สามารถนำน้ำตาลที่มีอยู่ไปใช้ได้เต็มที่ ทำให้ปริมาณน้ำตาลในกระแสเลือดมีมากกว่าปกติ (ช้อนทอง, 2021)

คุณลักษณะที่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานได้มีนักวิชาการให้ข้อมูลไว้หลายประเด็น คือ การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดในผู้ป่วยเบาหวานให้ใกล้เคียงกับค่าระดับน้ำตาลในเลือดในคนปกติเป็นการยากสำหรับผู้ป่วยเพียงคนเดียวในการบริหารจัดการ (พวยพุ่ง, 2019) ทำให้ผู้ป่วยจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตการรับประทานอาหาร การออกกำลังกาย รวมถึงการลดน้ำหนักหากมีน้ำหนักเกินกว่าปกติ หากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ชีวิตยังไม่ได้ผล แพทย์จะสั่งยาเพื่อช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งจะมีทั้งแบบที่รับประทานและแบบฉีดเข้าผิวหนัง (โรงพยาบาล BNH, 2022) โดยสาเหตุของการเป็นโรคเบาหวานเกิดได้หลายกรณี เช่น กรรมพันธุ์ โรคอ้วน อายุที่สูงขึ้น ความเครียด เกิดจากโรคติดเชื้อ การตั้งครรภ์ ภาวะแทรกซ้อนจากการใช้ยา และการเสพติดสุรา เมื่อป่วยเป็นโรคเบาหวานแล้วสิ่งที่เกิดตามมาคือภาวะแทรกซ้อน ได้แก่ โรคเบาหวานเฉียบพลัน โรคเบาหวานแบบเรื้อรัง โรคไตเสื่อม โรคหลอดเลือดแดงเสื่อม รวมถึงโรคทางระบบหายใจและสมอง ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถป้องกันได้ด้วยการปฏิบัติตน เช่น การทานอาหาร การควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด การออกกำลังกาย เป็นต้น (งานบริการเทคนิคการแพทย์ ชุมชน, 2019) ซึ่งปัจจุบันมีเครื่องตรวจน้ำตาลในเลือดแบบต่อเนื่อง แต่เมื่อตรวจพบผู้ป่วยมักจะอยู่ในสถานะที่อันตรายแล้ว เนื่องจากเครื่องตรวจปัจจุบันยังไม่สามารถบอกล่วงหน้าและยังไม่สามารถประเมินสถานะแวดล้อมที่อาจส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดได้

การวิจัยเรื่อง “การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าโดยอาศัยแบบจำลองการเรียนรู้ด้วยเครื่อง” เป็นการสร้างแบบจำลองการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้า โดยจะทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ช่วงเวลาการทำนายล่วงหน้า (Lead time) ที่แตกต่างกัน โดยแบบจำลองการทำนายดังกล่าวจะนำไปสู่การทำนายน้ำตาลในเลือด ก่อนที่ผู้ป่วยจะเข้าสู่ภาวะ

อันตราย ทั้งนี้ ผลการวิจัยในครั้งนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการประเมินสภาวะแวดล้อมของผู้ป่วยที่ นอกเหนือจากการตรวจวัดระดับน้ำตาลเพียงอย่างเดียว และสามารถนำไปสู่การพัฒนาเครื่องมือที่ สามารถประเมินสภาวะแวดล้อมของผู้ป่วยก่อนที่ระดับน้ำตาลในเลือดจะเข้าสู่สภาวะอันตรายได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างแบบจำลองการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของ เครื่อง

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการใช้งานการเรียนรู้ของเครื่องกับข้อมูลระดับ น้ำตาลในเลือด

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ความสำคัญของคุณลักษณะที่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดของ ผู้ป่วยเบาหวานเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง

1.3 สมมติฐานในการวิจัย

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพและพฤติกรรมนอกเหนือจากระดับน้ำตาลที่สามารถวัดได้บ้าง ประการ สามารถใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตประชากรที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลที่เก็บจากผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน จำนวน 12 คน ซึ่งเก็บข้อมูลใน ปี 2018 และ ปี 2020 โดยจัดเก็บข้อมูลผู้ป่วย จำนวน 6 คน ในปี 2018 มีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, basal_value, tbasal_value, bolus_dose, bwz_carb_input, meal_type, meal_carbs, sleep_quality, work_intensity, stress_type, symptom_name, ill_type, exercise_intensity, exercise_duration, heart_value, gsr_value, skint_value, airt_value, steps_value, bsleep_quality และจัดเก็บข้อมูลในปี 2020 จำนวน 6 คน มีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, basal_value, tbasal_value, bolus_dose, meal_type, meal_carbs, sleep_quality, work_intensity, stress_type, symptom_name, ill_type, exercise_intensity, exercise_duration, gsr_value, skint_value, bsleep_quality

1.4.2 ขอบเขตด้านตัวแปรที่ศึกษา

1) ระดับน้ำตาลในเลือดที่วัดด้วยเครื่องวัดระดับน้ำตาล CGM (Continuous Glucose Monitoring) แบบอัตโนมัติ

- 2) ระดับน้ำตาลในเลือดที่วัดด้วยเครื่องวัดแบบเจาะปลายนิ้ว
- 3) ปริมาณอินซูลินที่ฉีดเข้าสู่ร่างกาย เพื่อรักษาระดับน้ำตาลในเลือด ทำหน้าที่ทดแทนการทำงานของตับอ่อน
- 4) ปริมาณอินซูลินเพิ่มเติมที่ฉีดเข้าสู่ร่างกายก่อนมื้ออาหาร
- 5) ปริมาณอินซูลินที่ใช้ในช่วงเวลาที่สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดที่ขึ้นหรือลงชั่วคราวได้
- 6) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ก่อนรับประทานอาหาร
- 7) ชนิดมื้ออาหาร
- 8) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่รับประทาน
- 9) คุณภาพในการนอนหลับ
- 10) ระยะเวลาและการใช้กำลังกายในการทำงาน
- 11) อาการป่วยที่เกิดจากความเครียด
- 12) อาการป่วยที่เกิดจากระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ
- 13) อาการป่วยทั่วไป
- 14) ช่วงเวลาในการออกกำลังกาย
- 15) ระยะเวลาในการออกกำลังกาย
- 16) อัตราการเต้นของหัวใจ เก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที
- 17) ปฏิกริยาเหนือที่ผิวหนัง
- 18) คุณหมุมที่ผิวหนัง
- 19) คุณหมุมของอากาศภายในบริเวณที่อยู่
- 20) ปริมาณก้าวเดิน
- 21) เวลาในการนอนหลับ และคุณภาพในการนอนหลับ
- 22) การเปลี่ยนแปลงการเต้นของหัวใจแบบจับพลัน

1.4.3 ขอบเขตด้านเวลา

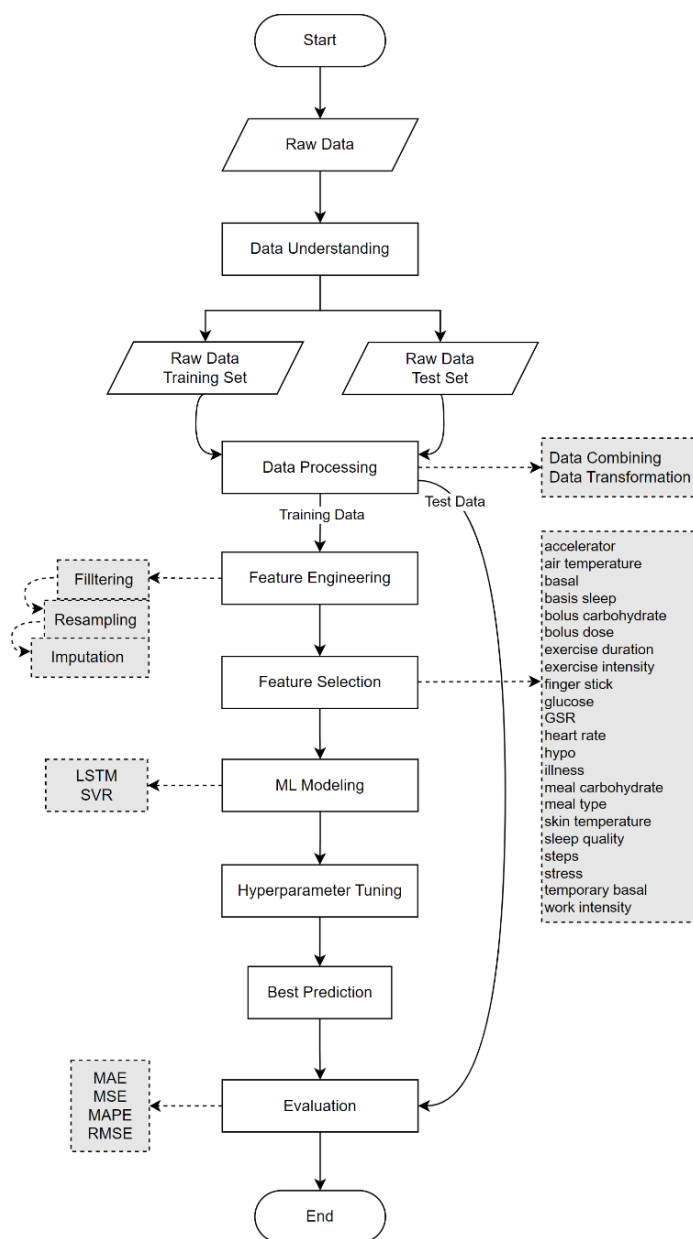
ทำการศึกษาข้อมูลและสร้างแบบจำลองของข้อมูลจากฐานข้อมูล OhioT1DM ที่มีการเก็บบันทึกในปี 2018 และปี 2020

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ต้นแบบของแบบจำลองที่สามารถใช้ในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด เพื่อช่วยลดความเสี่ยงในการที่ผู้ป่วยจะมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงหรือต่ำจนสร้างผลกระทบหรือโรคแทรกซ้อนในร่างกาย

1.5.2 ผลการวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องของปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด

1.6 กรอบแนวคิดในงานวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง “การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าโดยอาศัยแบบจำลองการเรียนรู้ด้วยเครื่อง” ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ปัจจัยที่ทำให้เกิดโรคเบาหวานและสถิติที่เกี่ยวข้อง (Diabetes Factors and Statistics)
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)
3. แบบจำลองที่เลือกใช้และการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง (Model Selection and Evaluation)

2.1 ปัจจัยที่ทำให้เกิดโรคเบาหวานและสถิติที่เกี่ยวข้อง (Diabetes Factors and Statistics)

โรคเบาหวาน คือ โรคที่เกิดจากการทำงานผิดปกติของร่างกาย ซึ่งมีผลมาจากการที่ร่างกายไม่สามารถผลิตฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin) ได้หรือผลิตได้น้อยกว่าปริมาณที่ร่างกายต้องการ ทำให้การนำน้ำตาลในเลือดไปหล่อเลี้ยงอวัยวะต่างๆ ในร่างกายไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่ออวัยวะต่างๆ ไม่ได้รับน้ำตาลไปหล่อเลี้ยงทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนหรือทำให้เกิดการทำงานผิดปกติขึ้นในร่างกาย โรคเบาหวานโดยทั่วไป จะแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

ชนิดที่ 1 โรคเบาหวานที่เกิดจากร่างกายไม่สามารถผลิตอินซูลิน (Insulin) ได้

ชนิดที่ 2 โรคเบาหวานที่เกิดจากร่างกายผลิตอินซูลินได้น้อย ไม่เพียงพอต่อการใช้งานของร่างกาย ร่วมกับภาวะดื้ออินซูลินหรือจากกรรมพันธุ์

ชนิดที่ 3 โรคเบาหวานที่พบระหว่างตั้งครรภ์ ซึ่งจะหายไปตัวเองหลังจากคลอดบุตร

ชนิดที่ 4 โรคเบาหวานที่มีสาเหตุเฉพาะ เช่น เกิดจากโรคของตับอ่อน เกิดจากโรคต่อมไร้ท่อ เกิดจากการติดเชื้อ เกิดจากยาหรือภูมิคุ้มกันผิดปกติ หรือเกิดจากพันธุกรรม

ปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคเบาหวาน อาจมาจากหลายสาเหตุ โรคเบาหวานชนิดที่ 1 จะเกิดขึ้นในเด็กและผู้ป่วยอายุน้อยกว่า 40 ปี ซึ่งปัจจัยเสี่ยงมาจากความผิดปกติของร่างกายในการผลิตฮอร์โมน โรคเบาหวานชนิดที่ 2 เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในผู้ใหญ่ ปัจจัยเสี่ยงอาจมาจากโรคอ้วน โรคความดันโลหิตสูง การมีระดับไขมันในเลือดสูงผิดปกติ หรือมีคนในครอบครัวเป็นเบาหวาน (กิติวัฒน์, 2016; จงกลาง & ทิพย์แก้ว บัณฑิตสุวรรณ, 2021; ดำรงพิพัฒน์กุล, 2021; บุญเกียรติ et al., 2021; โรงพยาบาลศิริราช, 2021)

สาเหตุสำคัญในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยโรคเบาหวาน เพื่อหลีกเลี่ยงภาวะอันตรายต่ออวัยวะต่างๆ ในร่างกาย ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยหากไม่สามารถควบคุมภาวะระดับน้ำตาลในเลือดได้ ซึ่งภาวะระดับน้ำตาลในเลือด จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (Hypoglycemia) คือ มีระดับน้ำตาลในเลือดต่ำกว่า 70 มิลลิกรัม/เดซิลิตร (mg/dL) เมื่อมีภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ จะทำให้เกิดอาการสั่น อ่อนเพลีย ไม่มีแรงหรือหมดสติ (ไชยพันธุ์, 2018; มยุระสาคร, 2019; โรงพยาบาลกรุงเทพ, 2021; โรงพยาบาลเพชรเวช, 2022)

ภาวะน้ำตาลในเลือดสูง (Hyperglycemia) คือ มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่า 100 มิลลิกรัม/เดซิลิตร (mg/dL) หลังงดอาหาร 8 ชั่วโมง หรือมีระดับน้ำตาลในเลือดสูงกว่า 180 มิลลิกรัม/เดซิลิตร หลังรับประทานอาหาร ไม่เกิน 2 ชั่วโมง เมื่อมีภาวะน้ำตาลในเลือดสูง จะทำให้เกิดอาการปัสสาวะบ่อย หิวน้ำบ่อย คลื่นไส้ หอบเหนื่อย ชักหรือหมดสติ หากมีภาวะน้ำตาลในเลือดสูงเป็นระยะเวลานาน อาจเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวาน รวมถึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของหัวใจ หลอดเลือด ดวงตา ฯ (โรงพยาบาลเปาโล, 2021; โรงพยาบาลศิริรินทร์, 2022)

จากรายงานผู้ป่วยโรคเบาหวานขององค์การอนามัยโลก พบว่า ผู้ที่เป็นโรคเบาหวานชนิดที่ 2 มีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งการเพิ่มขึ้น เกิดขึ้นในทุกประเทศและทุกระดับรายได้ โดยมีผู้ป่วยโรคเบาหวานประมาณ 422 ล้านคนทั่วโลก ส่วนใหญ่จะอาศัยอยู่ในประเทศที่มีรายได้ต่ำและรายได้ปานกลาง ในแต่ละปีจะมีผู้เสียชีวิตประมาณ 1.5 ล้านคน ที่มีสาเหตุโดยตรงจากโรคเบาหวาน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 20-30 ปีที่ผ่านมา และหนึ่งในสาเหตุของโรคเบาหวานมาจากโรคอ้วน สถิติโรคเบาหวานในประเทศไทย จากการเก็บข้อมูลการคัดกรองโรคเบาหวาน โดยกรมควบคุมโรค พบว่า ในปี 2563 จากการคัดกรองประชากรอายุ 35 ปี ขึ้นไป ทั้งหมด 19,923,256 คน พบกลุ่มเสี่ยง 1,828,534 คน และกลุ่มสงสัยป่วย 169,681 คน และในปี 2564 จากการคัดกรองประชากรอายุ 35 ปี ขึ้นไป ทั้งหมด 19,623,070 คน พบกลุ่มเสี่ยง 1,870,526 คน และกลุ่มสงสัยป่วย 220,532 คน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

การวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียดดังนี้

1. งานวิจัยเรื่อง Predicting Quality of Overnight Glycemic Control in Type 1 Diabetes Using Binary Classifiers.(Guemes et al., 2020) งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง

Random Forest Classification (RFC), Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Machine (SVM), Linear Logistic Regression (LLR), Extended Tree Classifier (ETC) ในการทำนายผลภาวะระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ (Hypoglycemic) ในช่วงเวลากลางคืน โดยใช้ชุดข้อมูลของ OhioT1DM ปี 2018 มีการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยการสุ่มทำซ้ำข้อมูล 10 ชุด (10-fold stratified cross-validation) จากข้อมูลทั้งหมด มีการใช้สถิติ ANOVA เพื่อวัดค่าความแปรปรวนของผลที่ได้ โดยจะแบ่งข้อมูลเป็นช่วงเวลากลางวัน 1 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง 5 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมง ผลการทำนายภาวะระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ พบว่า ในช่วงข้อมูล 18 ชั่วโมง มีค่า AUC_ROC และ GMEAN มากที่สุด มีค่า 0.65 จากการวัดของแบบจำลอง ETC และ SVM แต่ค่าที่ได้ ไม่แตกต่างกับค่า SPEC และ SENS อย่างมีนัยสำคัญ

2. งานวิจัยเรื่อง Predicting Glycemia in Type 1 Diabetes Patients: Experiments with XGBoost (Midroni et al., 2018) งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง XGBoost เป็นแบบจำลองหลักในการทำนายผลของระดับน้ำตาลในเลือด โดยเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Random Forest Regressor (RF) และ Long Short-Term Memory (LSTM) ชุดข้อมูลที่นำมาใช้เป็นชุดข้อมูลของ OhioT1DM ปี 2018 ที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลของผู้ป่วยทั้งหมด 6 คน มีการใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหาความแม่นยำระดับน้ำตาลในเลือด โดยการทำนายจะใช้คุณลักษณะ Glucose เป็นหลักและอีก 18 คุณลักษณะในการทำนาย มีการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 นาที จากผลการเปรียบเทียบการทำนายความแม่นยำของแต่ละแบบจำลอง พบว่า แบบจำลอง XGBoost ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับแบบจำลอง RF และ LSTM โดยมีค่าเฉลี่ยแบบ Linear Unfiltered มีค่า 18.54 แบบ Linear Collected มีค่า 16.110 แบบ ffill collected มีค่า 16.23 และแบบ No interpolation มีค่า 16.21

3. งานวิจัยเรื่อง Deep Learning Algorithm for Personalized Blood Glucose Prediction (Zhu et al., 2018) งานวิจัยนี้มีการพัฒนาแบบจำลองขึ้น โดยใช้พื้นฐานของ Deep Learning ที่ใช้ WaveNet เพื่อให้สามารถใช้เทคนิค ReLU ที่มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลแบบ Time series แบบมี Noise และเพื่อช่วยทำให้ได้ผลการทำนายที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีการวัด Loss Function แบบ RMSE ซึ่งใช้คุณลักษณะ Glucose เป็นหลักและอีก 3 คุณลักษณะในการทำนาย มีการทำนายค่าระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 นาที ผลการทำนายความแม่นยำจากการพัฒนาแบบจำลองและทดสอบด้วย WaveNet พบว่า ค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุดของ RMSE จากผู้ป่วยทั้ง 6 คน มีค่า 21.72 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่า 2.52 และพบความสัมพันธ์ของค่า Glucose การจากทดสอบ

4. งานวิจัยเรื่อง Personalised Glucose Prediction via Deep Multitask Networks (Daniels et al., 2020) งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลอง Convolutional recurrent neural networks (CRNN) และ Long Short-Term Memory (LSTM) โดยทำงานเปรียบเทียบระหว่าง Single Task และ Multitask approach ซึ่งมีการปรับค่า Hyperparameter ด้วย Adaptive Moment Estimation (Adam) ในแต่ละชั้นทำงานของ Convolutional โดยใช้ตัวชี้วัด 2 แบบ คือ RMSE และ MAE ในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดด้วยคุณลักษณะ Glucose เป็นหลักและอีก 12 คุณลักษณะในการทำนาย มีการทำนายค่าระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 นาที และ 60 นาที ผลการทำนายความแม่นยำจากการเปรียบเทียบการทำงานแบบจำลอง พบว่า ผลการทำนายค่าระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 นาที ของการทำงานแบบ Single Task มีค่าเฉลี่ย 14.28 MAE, 20.97 RMSE การทำงานแบบ Multitask approach มีค่าเฉลี่ย 13.62 MAE, 19.79 RMSE และผลการทำนายค่าระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 60 นาที ของการทำงานแบบ Single Task มีค่าเฉลี่ย 24.67 MAE, 34.40 RMSE การทำงานแบบ Multitask approach มีค่าเฉลี่ย 24.54 MAE, 33.73 RMSE

5. งานวิจัยเรื่อง Blood Glucose Prediction with Deep Neural Networks Using Weighted Decision-Level Fusion (Dudukcu et al., 2021a) งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Units (GRU) และ WaveNet เพื่อทำนายระดับน้ำตาลในเลือด โดยมีการใช้ตัวชี้วัด (Evaluation Metrics) เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลอง โดยการทำนายใช้คุณลักษณะ Glucose ชนิดเดียว เพื่อทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 นาที 45 นาที และ 60 นาที ผลการเปรียบเทียบการทำนายความแม่นยำของแต่ละแบบจำลอง พบว่า การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 นาที ตัวชี้วัด RSME เมื่อใช้แบบจำลอง LSTM, GRU และ WaveNet ทำงานพร้อมกัน มีค่าเฉลี่ยสูงสุด มีค่า 21.90 การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 45 นาที ตัวชี้วัด RSME เมื่อใช้แบบจำลอง LSTM, GRU และ WaveNet ทำงานพร้อมกัน มีค่าสูงสุดมีค่า 29.12 การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 60 นาที ตัวชี้วัด RSME เมื่อใช้แบบจำลอง LSTM, GRU และ WaveNet ทำงานพร้อมกัน ได้ผลการทำนายสูงสุด มีค่า 35.10

6. งานวิจัย Deep Residual Time-Series Forecasting: Application to Blood Glucose Prediction (Rubin-Falcone et al., 2020) ใช้สถาปัตยกรรม ของ Neural Network ที่ประกอบด้วย Network blocks ที่ส่งออกข้อมูล Forecasting และ Backcasting เพื่อใช้ในการทำซ้ำของข้อมูลนำเข้า โดยมี Long Short-Term Memory (LSTM) เป็น Blocks layers ภายใน

โดยใช้ข้อมูล OhioT1DM ของปี 2018 และ 2020 รวมถึงข้อมูล Tidepool ในการเรียนรู้ข้อมูล (Training) แบบจำลอง มีการกำหนดข้อมูลเพื่อใช้ในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 และ 60 นาที มีตัวชี้วัดที่ใช้ คือ MAE และ RMSE โดยมีผลการทำนายที่ได้ คือ ทีละระยะเวลาการทำนายล่วงหน้า 30 นาที มีผลการทำนายได้ค่าสูงสุดที่ ID544 มีค่า 11.20 MAE, 15.97 RMSE และทีละระยะเวลาการทำนายล่วงหน้า 60 นาที มีผลการทำนายได้ค่าสูงสุดที่ ID544 มีค่า 19.01 MAE, 26.01 RMSE

7. งานวิจัย Multi-Scale Long Short-Term Memory Network with Multi-Lag Structure for Blood Glucose Prediction (Yang et al., 2020) ใช้ Long Short-Term Memory (LSTM) แบบหลายชั้น (Multi-Scale) เพื่อให้สามารถทำนายระดับน้ำตาลในเลือดในมิติที่สูงขึ้นได้ทีละระยะเวลาในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละ 30 และ 60 นาที โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพแบบจำลอง คือ MAE และ RMSE มีผลการทำนายที่ได้ คือ ทีละระยะเวลาการทำนายล่วงหน้า 60 นาที มีผลการทำนายได้ค่าสูงสุดที่ ID596 มีค่า 11.26 MAE, 15.87 RMSE และทีละระยะเวลาการทำนายล่วงหน้า 60 นาที มีผลการทำนายได้ค่าสูงสุดที่ ID596 มีค่า 18.78 MAE, 25.36 RMSE

8. งานวิจัย Deep Multitask Learning by Stacked Long Short-Term Memory for Predicting Personalized Blood Glucose Concentration (Shuvo et al., 2023) ใช้ Long Short-Term Memory (LSTM) แบบกำหนดจำนวนชั้น (Layers) มีค่า 16, 32 และ 128 ชั้น เพื่อทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30, 60, 90 และ 120 นาที โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพแบบจำลอง คือ MAE และ RMSE มีผลการทำนายที่ได้ คือ ทีละระยะเวลาการทำนายล่วงหน้า 30 นาที มีผลการทำนายได้ค่าสูงสุดที่ ID570 มีค่า 8.85 MAE, และที่ ID596 มีค่า 13.00 RMSE ทีละระยะเวลาการทำนายล่วงหน้า 60 นาที มีผลการทำนายได้ค่าสูงสุดที่ ID596 มีค่า 18.03 MAE, 25.26 RMSE ทีละระยะเวลาการทำนายล่วงหน้า 90 นาที มีผลการทำนายได้ค่าสูงสุดที่ ID596 มีค่า 24.89 MAE, 34.11 RMSE และ ทีละระยะเวลาการทำนายล่วงหน้า 120 นาที มีผลการทำนายได้ค่าสูงสุดที่ ID588 มีค่า 31.68 MAE, และที่ ID552 มีค่า 41.28 RMSE

9. งานวิจัย Blood Glucose Prediction with Variance Estimation Using Recurrent Neural Networks (Martinsson et al., 2020) ใช้ Long Short-Term Memory (LSTM) โดยมีการกำหนด Hidden Layers เป็น 512 และ 256 neurons มีการกำหนดข้อมูลนำออก (Output) เป็น 2 Neurons คือ Linear activation และ Exponential activation เพื่อทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 และ 60 นาที โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพแบบจำลอง คือ RMSE มีผลการ

ทำนายที่ได้ คือ ที่ระยะเวลาการทำนายล่วงหน้า 30 นาที มีผลการทำนายได้ค่าสูงสุดที่ ID563 มีค่า 17.96 RMSE ที่ระยะเวลาการทำนายล่วงหน้า 60 นาที มีผลการทำนายได้ค่าสูงสุดที่ ID570 มีค่า 28.47 RMSE

10. งานวิจัย Consolidated or Individual Training: Which One is Better for Blood Glucose Prediction (Dudukcu et al., 2021b) ใช้ Long Short-Term Memory (LSTM) ซึ่งจะมีการเรียนรู้ข้อมูล (Training) แบบจำลองเป็น 3 รูปแบบ คือ 1) แบ่งตามแต่ละผู้ป่วย 2) แบ่งตามเพศชาย-หญิง 3) รวมทุกผู้ป่วย โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพแบบจำลอง คือ RMSE, MAE, MAPE และ RMSPE มีผลการทำนายรูปแบบที่ 1 ผลการทำนายมีค่าสูงสุดที่ ID570 มีค่า 19.39 RMSE, 14.26 MAE, 7.2% MAPE และ 10% RMSPE ผลการทำนายรูปแบบที่ 2 สำหรับเพศชายมีค่าสูงสุดที่ ID570 มีค่า 18.01 RMSE, 12.81 MAE, 6.6% MAPE และ 9.7% RMSPE สำหรับเพศหญิงมีค่าสูงสุดที่ ID588 มีค่า 21.58 RMSE, 9.1% MAPE, 12.4% RMSPE ที่ ID559 มีค่า 15.62 MAE ผลการทำนายรูปแบบที่ 3 ผลการทำนายมีค่าสูงสุดที่ ID552 มีค่า 18.74 RMSE, ID552 มีค่า 13.522 MAE, ID563 มีค่า 8.8% MAPE และ ID570 มีค่า 9.4% RMSPE

ตาราง 1 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลำดับ	ชื่องานวิจัย	คุณลักษณะ	แบบจำลอง	ตัวชี้วัด	ผลการทำงานที่ดีที่สุด
1.	Predicting Quality of Overnight Glycaemic Control in Type 1 Diabetes Using Binary Classifiers	ใช้ 5 คุณลักษณะ Glucose, Basal, Bolus, Meal, Hypoglycemic	RFC, ANN, SVM, LLR, ETC	ANOVA	ความแม่นยำสูงสุดที่แบบจำลอง ETC และ SVM มีค่า AUC_ROC และ GMEAN มากที่สุด มีค่า 0.65
2.	Predicting Glycemia in Type 1 Diabetes Patients: Experiments with XGBoost	ใช้ 19 คุณลักษณะ แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ 1.) Meals, Fingertick, Illness, Stress, Exercise, Work 2.) Heart rate, GSR, Skin and air temperature, Steps, and Sleep 3.) Basal and temporary Basal, Bolus dose 4.) CGM (G) Glucose	XGBoost, LSTM, RF	MAE, RSME	ความแม่นยำสูงสุดที่แบบจำลอง XGBoost ในแบบ linear unfiltered มีค่า 18.540 RSME
3.	Deep Learning Algorithm for Personalized Blood Glucose Prediction	ใช้ 3 คุณลักษณะ Glucose, Meal, bolus	WaveNet	RMSE	ความแม่นยำสูงสุดที่แบบจำลอง WaveNet มีค่า 21.72 RSME
4.	Personalised Glucose Prediction via Deep Multitask Networks	ใช้ 4 คุณลักษณะ Glucose, Bolus dose, Exercise, Meal	CRNN, LSTM	MAE, RMSE	ความแม่นยำสูงสุดที่ระยะเวลา 60 นาที - Single Task มีค่า 34.40 RSME - Multitask มีค่า 33.73 RSME

ตาราง 1 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ลำดับ	ชื่องานวิจัย	คุณลักษณะ	แบบจำลอง	ตัวชี้วัด	ผลการทำงานที่ดีที่สุด
5.	Blood Glucose Prediction with Deep Neural Networks Using Weighted Decision-Level Fusion	ใช้ 1 คุณลักษณะ Glucose	LSTM, GRU, WaveNet	MAE, RMSE, MAPE, RMSPE	ความแม่นยำสูงสุดด้วยแบบจำลอง LSTM, GRU และ WaveNet ทำงานพร้อมกันที่ระยะเวลา 30 นาที มีค่า 21.90 RSME ที่ 45 นาที มีค่า 29.12 RSME ที่ 60 นาที มีค่า 35.10 RSME
6	Deep Residual Time-Series Forecasting: Application to Blood Glucose Prediction	ใช้ 4 คุณลักษณะ Glucose, Fingertstick, Bolus dose, Meal	LSTM	MAE, RMSE	ความแม่นยำสูงสุดที่ระยะเวลา 30 นาที มีค่า 11.51 MAE, 15.75 RMSE ที่ระยะเวลา 60 นาที มีค่า 26.01 MAE, 19.01 RMSE
7.	Multi-Scale Long Short-Term Memory Network with Multi-Lag Structure for Blood Glucose Prediction	ใช้ 4 คุณลักษณะ Glucose, Basal, Bolus dose, Meal	LSTM	MAE, RMSE	ความแม่นยำสูงสุดที่ระยะเวลา 30 นาที มีค่า 11.26 MAE, 15.87 RMSE ที่ระยะเวลา 60 นาที มีค่า 18.78 MAE, 25.36 RMSE

ตาราง 1 สรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ลำดับ	ชื่องานวิจัย	คุณลักษณะ	แบบจำลอง	ตัวชี้วัด	ผลการทำงานที่ดีที่สุด
8.	Deep Multitask Learning by Stacked Long Short-Term Memory for Predicting Personalized Blood Glucose Concentration	ใช้ 4 คุณลักษณะ Glucose, Fingertick, Bolus dose, Meal	LSTM	MAE, RMSE	ความแม่นยำสูงสุดที่ระยะเวลา 30 นาที มีค่า 8.85 MAE, 13.0 RSME ที่ 60 นาที มีค่า 18.03 MAE, 25.26 RSME ที่ 90 นาที มีค่า 24.89 MAE, 34.11 RSME ที่ 120 นาที มีค่า 31.68 MAE, 41.28 RSME
9.	Blood Glucose Prediction with Variance Estimation Using Recurrent Neural Networks	ใช้ 1 คุณลักษณะ Glucose	LSTM	RMSE	ความแม่นยำสูงสุดที่ระยะเวลา 30 นาที มีค่า 21.90 RSME, 60 นาที มีค่า 35.10 RSME
10.	Consolidated or Individual Training: Which One is Better for Blood Glucose Prediction	ใช้ 1 คุณลักษณะ Glucose	LSTM	MAE, RMSE, MAPE, RMSPE	ความแม่นยำสูงสุดของผลแบบแยกตามผู้ป่วย มีค่า 14.26 MAE, 19.39 RMSE, 7.2% MAPE, 10% RMSPE, แบบรวมทุกผู้ป่วย มีค่า 13.52 MAE, 18.74 RMSE, 8.8% MAPE, 9.4% RMSPE, แบ่งตามเพศชาย มีค่า 12.81 MAE, 18.01 RMSE, 6.6% MAPE, 9.7% RMSPE, แบ่งตามเพศหญิง มีค่า 15.50 MAE, 21.58 RMSE, 9.1% MAPE, 12.4% RMSPE

2.3 แบบจำลองที่เลือกใช้และการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง (Model Selection and Evaluation)

2.3.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้น-ยาว (Long short-term memory)

Long Short-Term Memory (LSTM) เป็น Artificial Neural Network (ANN) รูปแบบหนึ่ง ซึ่งถูกพัฒนาต่อมาจาก Recurrent Neural Network (RNN) ที่เป็นแบบจำลองเหมาะกับการใช้งานกับข้อมูลแบบลำดับ เช่น ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series) แต่จะไม่เหมาะกับข้อมูลแบบลำดับที่มีจำนวนมาก โดยการทำงานของ RNN คือ การนำเข้าข้อมูล (Input) เมื่อทำงานและได้ผลลัพธ์ (Output) ออกมาแล้ว จะนำผลลัพธ์ (Output) ที่ได้ กลับไปเป็นข้อมูลนำเข้า (Input) ของลำดับถัดไป เพื่อให้สามารถใช้งานกับข้อมูลแบบลำดับที่มีจำนวนมากได้ จึงได้มีการพัฒนา LSTM ขึ้นมา (Hochreiter & Schmidhuber, 1997) เพื่อแก้ปัญหาเดิมของ RNN โดยหลักการการทำงานของ LSTM จะควบคุมการทำงานด้วย Gate ซึ่ง Gate จะทำหน้าที่พิจารณาว่า ข้อมูลนั้นๆ จะใช้งานหรือละทิ้ง หรือจะปรับค่าก่อนนำส่งข้อมูลไปใช้อีกครั้ง โดย Gate จะประกอบด้วย Input Gate, Output Gate, Forget Gate

Input Gate

มีหน้าที่รับข้อมูลและบันทึกข้อมูล โดยจะเลือกได้ว่าจะรับข้อมูลนั้นหรือไม่ หากรับข้อมูลเข้ามาแล้ว จะตัดสินใจว่าจะบันทึกข้อมูลเพื่อเปลี่ยนแปลงค่านั้นหรือไม่ จากนั้นจะตัดสินใจเปลี่ยนแปลงค่าใหม่ด้วย Activation (Sigmoid) function

$$x_t = \sigma(w_i[h_t - 1, f_t] + b_i)$$

x_t = ข้อมูลนำเข้า (Input)

h_t, c_t = Hidden layer

f_t = ข้อมูลนำเข้า (Input) ที่ช่วงเวลา t

b_i = ค่าความคลาดเคลื่อน (bias)

w_i = ค่าน้ำหนัก parameter

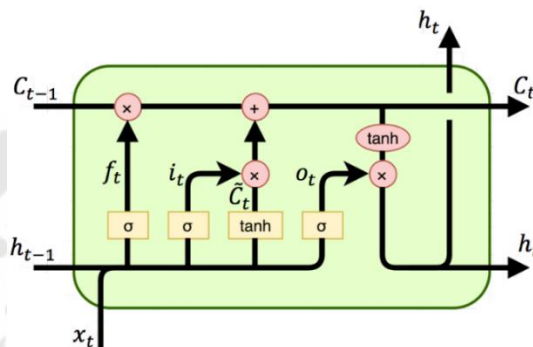
σ, \tanh = Activation (Sigmoid) functions.

Output Gate

มีหน้าที่นำออกข้อมูลที่ผ่านมาการคำนวณด้วย Sigmoid function แล้วนำมาแสดงผล นอกจากข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ (Output) แล้ว จะมีข้อมูลในส่วนที่เป็น Hidden State ออกมา เพื่อใช้ในการคำนวณครั้งถัดไป

Forget Gate

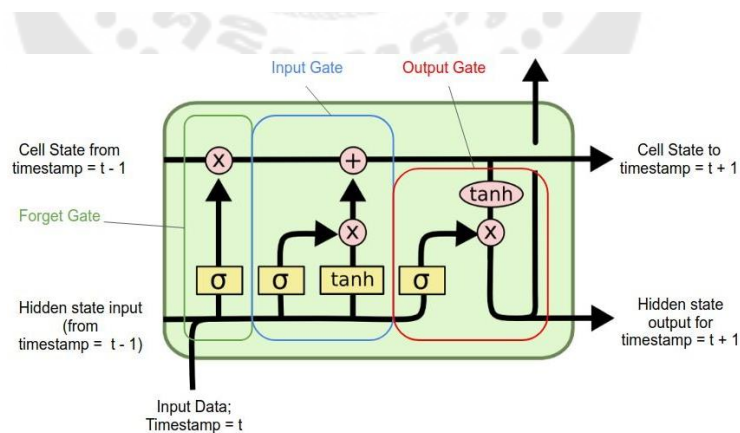
มีหน้าที่ตัดสินใจว่าจะให้ข้อมูลนั้นๆ กลายเป็นข้อมูลนำออก (Output) หรือละทิ้ง โดยจะตัดสินใจจากข้อมูลนำเข้า (Input) และข้อมูลที่ผ่านมา Activation (Sigmoid) functions



ภาพประกอบ 2 แสดงการทำงานของ LSTM

ที่มา : (RNN, LSTM & GRU, 2019): Retrieved from <http://dprogrammer.org/rnn-lstm-gru>

lstm-gru



ภาพประกอบ 3 แสดงลำดับการทำงานของ Gate

ที่มา : (Comprehensive guide to LSTM & RNNs., 2022): Retrieved from <https://www.turing.com/kb/comprehensive-guide-to-lstm-rnn>

2.3.2 ซัพพอร์ตเวกเตอร์แบบถดถอย (Support Vector Regression)

Support Vector Regression (SVR) แบบจำลองที่มีแนวคิดพื้นฐานมาจาก Support Vector Machine (SVM) ที่ไม่เหมาะกับข้อมูลอนุกรมเวลา ซึ่ง SVR สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอยของข้อมูลอนุกรมเวลา เพื่อค้นหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลนำเข้า (Input) และข้อมูลส่งออก (Output) โดยมีสมการ (Ma et al., 2003)

$$f(x) = w^T x + b$$

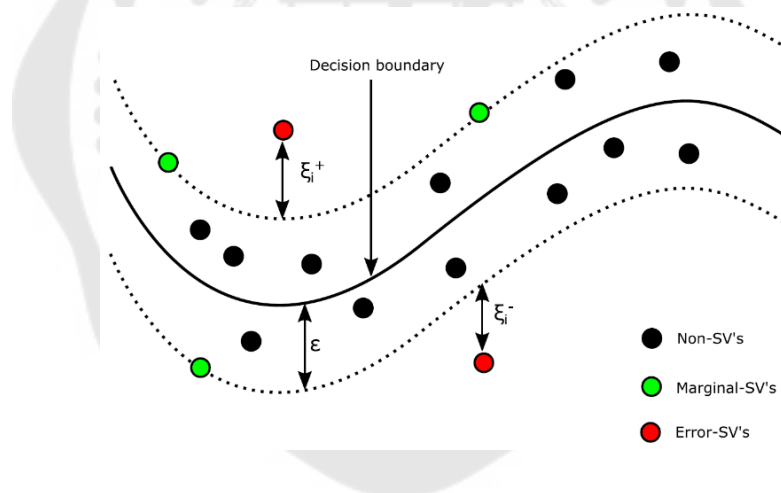
$f(x)$ = ค่าการทำนาย

w = ค่าน้ำหนัก parameter

T = ช่วงเวลา

x = ข้อมูลนำเข้า (Input)

b = ค่าความคลาดเคลื่อน (bias)



ภาพประกอบ 4 การทำงานของ SVR

ที่มา : (Singh et al., 2020): A Machine Learning Approach to Predict the Average Localization Error with Applications to Wireless Sensor Networks.

โดยการทำงานของ SVR มี Kernel ที่สามารถเลือกใช้ 4 ชนิด คือ Linear, Polynomial, RBF, และ Sigmoid สำหรับ Kernel แต่ละชนิดจะมีตัวแปร (Parameter) ที่สามารถเลือกปรับเพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลได้ โดยมีสมการ ดังนี้

Kernel Polynomial

$$k(x, x') = (x^T x' + c)^d$$

Kernel Exponential RBF

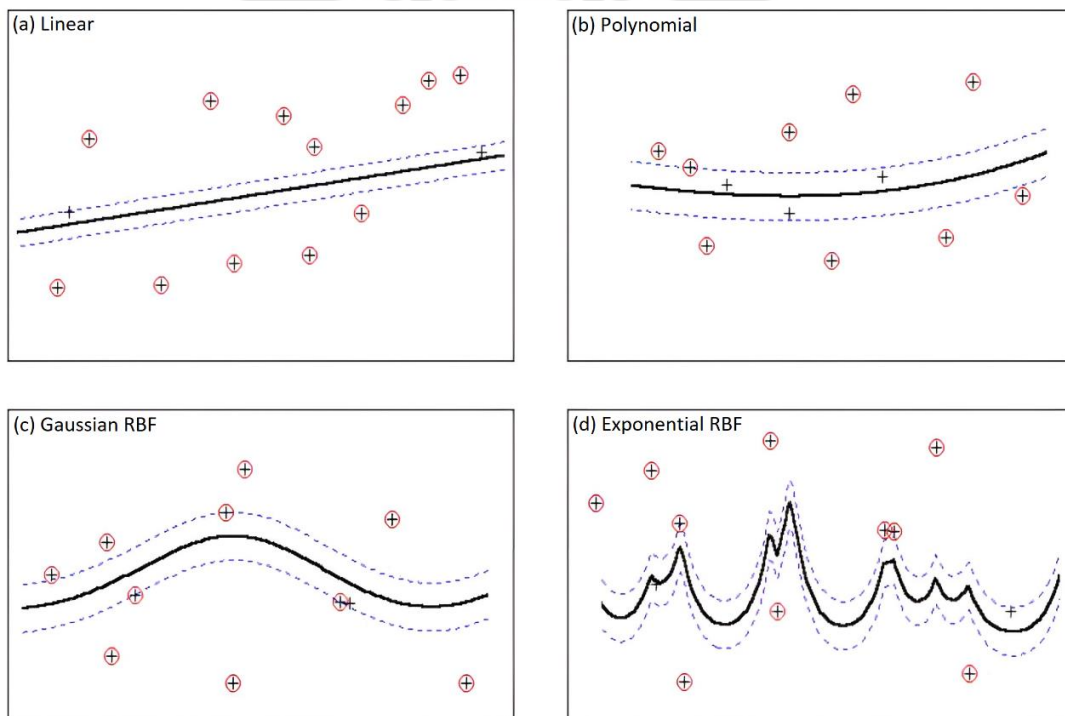
$$k(x, x') = \exp\left(-\frac{\|x-x'\|}{2\sigma^2}\right), \sigma$$

Kernel Gaussian RBF

$$k(x, x') = \exp\left(-\frac{\|x-x'\|^2}{2\sigma^2}\right), \sigma$$

Kernel Sigmoid

$$k(x, x') = \tanh(k \cdot (x^T x') + b)$$



ภาพประกอบ 5 ความแตกต่างของ SVR ในแต่ละ Kernels

ที่มา : (Gani et al., 2010) : Support vector regression based residual control charts.

2.3.3 การวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง (Model Evaluation)

การวัดค่าประสิทธิภาพแบบจำลองเพื่อบ่งบอกความแม่นยำของแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยการหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error) จากค่าที่แท้จริงกับค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลอง

$$error = y_i - \hat{y}_i$$

y_i = ค่าที่แท้จริง (Actual value)

\hat{y}_i = ค่าที่ได้จากการทำนาย (Prediction value)

ซึ่งโดยทั่วไปมีหลากหลายวิธี การจะเลือกวิธีใดมาใช้ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลอง วิธีการที่นิยมใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายในงานวิจัยที่มีข้อมูลแบบต่อเนื่อง จะมี 4 วิธี คือ

- 1) ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |error|$$

- 2) ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง Mean Squared Error (MSE)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (error)^2$$

- 3) ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{error}{y_i} \right|$$

- 4) ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย Root Mean Squared Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (error)^2}$$

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ทำการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าโดยใช้การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) และสร้างแบบจำลองการทำนายด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งระเบียบวิธีวิจัย มีดังนี้

1. การสำรวจข้อมูล (Data Exploration)
2. การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)
3. อัลกอริทึมและแบบจำลองของการทำนาย (Algorithm and Model)

3.1 การสำรวจข้อมูล (Data Exploration)

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลของ OhioT1DM เป็นข้อมูลจากผู้ป่วยเบาหวาน ประเภทที่ 1 โดยข้อมูลจะเก็บจากผู้ป่วยทั้งหมด 12 คน แบ่งเป็นข้อมูลที่เก็บในปี 2018 จำนวน 6 คน และข้อมูลที่เก็บในปี 2020 จำนวน 6 คน โดยข้อมูลจะมีวิธีการจัดเก็บ 3 รูปแบบ ดังนี้

3.1.1 ข้อมูลที่จัดเก็บด้วยเครื่องจัดเก็บอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง แบ่งเป็น 1) เครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือด CGM (Continuous Glucose Monitoring) จัดเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที 2) เครื่อง Self-monitoring โดยใช้วัดระดับน้ำตาลในที่ปลายนิ้ว (Fingerstick) 3) เครื่อง Insulin pump ใช้จัดเก็บข้อมูล Basal, Bolus dose, Bolus carb และ Temporary basal

3.1.2 ข้อมูลที่จัดเก็บด้วยตัวรับข้อมูลแบบสวมใส่ (Sensor band) แบ่งเป็น 2 ยี่ห้อ คือ Empatica Band จัดเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที และ Basis Peak จัดเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที มีทั้งหมด 7 คุณลักษณะ ได้แก่ 1) Steps 2) Heart rate 3) Skin temperature 4) Air temperature 5) GSR 6) Basis sleep และ 7) Accelerometer

3.1.3 ข้อมูลที่ระบุข้อมูลเองจากการประมาณค่าของผู้ป่วย มีทั้งหมด 9 คุณลักษณะ ได้แก่ 1) Meal type 2) Meal carb 3) Sleep quality 4) Work intensity 5) Exercise intensity 6) Exercise duration 7) Hypo 8) Illness และ 9) Stressor

ตาราง 2 คำอธิบายข้อมูลคุณลักษณะ

ลำดับ	คุณลักษณะ	คำอธิบาย
1	timestamp	ช่วงเวลาที่วัดระดับน้ำตาลในเลือดและเวลาที่ทำกิจกรรมต่างๆ
2	glucose_value	ระดับน้ำตาลในเลือดที่วัดด้วยเครื่องวัดระดับน้ำตาลแบบอัตโนมัติ CGM (Continuous Glucose Monitoring) ที่ติดไว้ที่ร่างกาย จะทำการวัดทุกๆ 5 นาที มีหน่วยเป็น มิลลิกรัม/เดซิลิตร (mg/dL)
3	finger_value	Finger blood test (Fingerstick) ระดับน้ำตาลในเลือดที่วัดด้วยเครื่องวัดระดับน้ำตาลแบบเจาะปลายนิ้ว
4	basal_value	ปริมาณอินซูลินที่ฉีดเข้าสู่ร่างกาย เพื่อรักษาระดับน้ำตาลในเลือด ทำหน้าที่ทดแทนการผลิตอินซูลินของตับอ่อน
5	tbasal_value	Temporary Basal ปริมาณอินซูลินที่ใช้ในช่วงเวลาที่สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดที่ขึ้นหรือลงชั่วคราวได้
6	bolus_dose	ปริมาณอินซูลินเพิ่มเติมที่ฉีดเข้าสู่ร่างกายก่อนมื้ออาหาร เพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด หลังการรับประทานอาหารในแต่ละมื้อ โดยปริมาณที่ฉีดจะสัมพันธ์กับปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่รับประทานต่อมื้อ
7	bwz_carb_input	Bolus wizard carbohydrate input ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ก่อนรับประทาน อาหาร วัดด้วยอุปกรณ์ Empatica Embrace
8	meal_type	ชนิดมื้ออาหาร ระบุเป็น อาหารเช้า กลางวัน เย็น อาหารว่าง
9	meal_carbs	Meal carbohydrate intake ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่รับประทานในแต่ละมื้ออาหารโดยประมาณ
10	sleep_quality	คุณภาพในการนอนหลับ วัดเป็นระดับ 1 (ไม่ดี), 2 (ปานกลาง), 3 (ดี)
11	work_intensity	ระยะเวลาและการใช้กำลังกายในการทำงาน วัดเป็นระดับ 1-10 น้อยถึงมากที่สุด
12	stress_type	ประเภทหรืออาการป่วยที่เกิดจากความเครียด
13	hypo_type	อาการป่วยที่เกิดจากระดับน้ำตาลในเลือดต่ำ (ต่ำกว่า 70 mg/dL)
14	ill_type	อาการป่วยทั่วไปที่เกิดขึ้น
15	exercise_intensity	ช่วงเวลาในการออกกำลังกายนับเป็นนาที วัดเป็นระดับการใช้กำลังกาย 1-10 น้อยถึงมากที่สุด
16	exercise_duration	ระยะเวลาในการออกกำลังกายนับเป็นนาที วัดเป็นระดับการใช้กำลังกาย 1-10 น้อยถึงมากที่สุด

ตาราง 2 คำอธิบายข้อมูลคุณลักษณะ (ต่อ)

ลำดับ	คุณลักษณะ	คำอธิบาย
17	heart_value	Heart rate อัตราการเต้นของหัวใจ วัดทุกๆ 5 นาที สำหรับผู้ป่วยที่ใช้อุปกรณ์ Basis Peak sensor
18	gsr_value	Galvanic Skin Response ปฏิกริยาเหงื่อที่ผิวหนัง โดยวัดจากอัตราการนำไฟฟ้าของผิวหนัง สำหรับผู้ป่วยที่ใช้อุปกรณ์ Basis Peak sensor วัดทุก 5 นาที, สำหรับผู้ป่วยที่ใช้อุปกรณ์ Empatica Embrace วัดทุก 1 นาที
19	skint_value	Skin Temperature อุณหภูมิที่ผิวหนัง หน่วยเป็น Fahrenheit สำหรับผู้ป่วยที่ใช้อุปกรณ์ Basis Peak sensor วัดทุก 5 นาที, สำหรับผู้ป่วยที่ใช้อุปกรณ์ Empatica Embrace วัดทุก 1 นาที
20	airt_value	Air Temperature อุณหภูมิของอากาศภายในบริเวณที่อยู่
21	steps_value	ปริมาณก้าวเดิน วัดทุกๆ 5 นาที ด้วยอุปกรณ์ Basis Peak sensor
22	bsleep_quality	Basis Sleep ระยะเวลาในการนอนหลับและคุณภาพในการนอนหลับ วัดด้วยอุปกรณ์ Basis Peak sensor
23	acce_value	Acceleration การเปลี่ยนแปลงการเต้นของหัวใจแบบจับพลัน

3.1.1 การนำเข้าข้อมูล (Load data)

การนำเข้าข้อมูล OhioT1DM ซึ่งในรูปแบบ XML เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และการทำงานระดับน้ำตาลในเลือดโดยใช้แบบจำลอง จำเป็นต้องมีการแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อการนำไปใช้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ข้อมูลดิบ (Raw Data)

จากชุดข้อมูลต้นฉบับในรูปแบบ XML มีการนำเข้าข้อมูลด้วยการใช้ Python มีการกำหนดชื่อของคุณลักษณะและจัดแบ่งข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบตาราง ด้วย Library Pandas โดยมีการสำรวจข้อมูล ดังนี้

559-ws-testing.xml	559-ws-training.xml
563-ws-testing.xml	563-ws-training.xml
570-ws-testing.xml	570-ws-training.xml
575-ws-testing.xml	575-ws-training.xml
588-ws-testing.xml	588-ws-training.xml
591-ws-testing.xml	591-ws-training.xml
540-ws-testing.xml	540-ws-training.xml
544-ws-testing.xml	544-ws-training.xml
552-ws-testing.xml	552-ws-training.xml
567-ws-testing.xml	567-ws-training.xml
584-ws-testing.xml	584-ws-training.xml
596-ws-testing.xml	596-ws-training.xml

ภาพประกอบ 6 ข้อมูลต้นฉบับ XML แยก Training Set และ Test Set

จากภาพประกอบ 6 ข้อมูลต้นฉบับ XML แยก Training Set และ Test Set พบว่า ข้อมูลของผู้ป่วยแต่ละราย มีการแบ่งข้อมูลชุดเรียนรู้ (Training set) และ ชุดทดสอบจริง (Test set) จากต้นฉบับ

```
<glucose_level>
  <event ts="28-12-2026 00:04:30" value="72"/>
  <event ts="28-12-2026 00:09:31" value="71"/>
  <event ts="28-12-2026 00:14:31" value="71"/>
</glucose_level>
<meal>
  <event ts="28-12-2026 12:40:00" type="Lunch" carbs="80"/>
  <event ts="30-12-2026 19:35:00" type="Dinner" carbs="80"/>
  <event ts="31-12-2026 08:11:00" type="Breakfast" carbs="86"/>
</meal>
```

ภาพประกอบ 7 ตัวอย่างข้อมูลในรูปแบบ XML

จากภาพประกอบ 7 ตัวอย่างข้อมูลในรูปแบบ XML พบว่า จากการสำรวจข้อมูลบางส่วน มีน้อยมากจนถึงไม่มีเลยหรือมีข้อมูลเฉพาะวันที่และเวลา รวมถึงมีการปรับแก้ไขข้อมูลบางส่วน

```
<work>
  <event ts_begin="23-04-2025 06:15:00" ts_end="23-04-2025 16:00:00" intensity="3"/>
  <event ts_begin="24-04-2025 05:45:00" ts_end="24-04-2025 15:36:00" intensity="2"/>
  <event ts_begin="29-04-2025 06:50:00" ts_end="29-04-2025 16:30:00" intensity="2"/>
  <event ts_begin="30-04-2025 05:45:00" ts_end="30-04-2025 15:30:00" intensity="2"/>
  <event ts_begin="13-05-2025 07:15:00" ts_end="13-05-2025 15:40:00" intensity="2"/>
  <event ts_begin="16-05-2025 07:35:00" ts_end="16-05-2025 15:35:00" intensity="1"/>
</work>
```

ภาพประกอบ 8 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะที่ขาดความต่อเนื่อง

จากภาพประกอบ 8 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะที่ขาดความต่อเนื่อง พบว่า ข้อมูลบางประเภท มีการขาดหายไปเป็นระยะเวลาสั้นๆ ทำให้ไม่มีความต่อเนื่อง เช่น work_intensity จะมีข้อมูลบางวัน ซึ่งไม่ต่อเนื่องและขาดหายไป

```
<bolus>
<event ts_begin="28-12-2026 08:22:50" ts_end="28-12-2026 08:22:50" type="normal" dose="7.1"/>
<event ts_begin="28-12-2026 10:55:20" ts_end="28-12-2026 10:55:20" type="normal" dose="15.0"/>
<event ts_begin="28-12-2026 15:25:42" ts_end="28-12-2026 15:25:42" type="normal" dose="13.3"/>
<event ts_begin="28-12-2026 16:15:36" ts_end="28-12-2026 16:15:36" type="normal" dose="3.2"/>
<event ts_begin="28-12-2026 19:20:46" ts_end="28-12-2026 19:20:46" type="normal" dose="17.2"/>
```

ภาพประกอบ 9 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะที่มีวันที่เริ่มต้นและสิ้นสุดเป็นเวลาเดียวกัน

จากภาพประกอบ 9 ตัวอย่างคุณลักษณะที่มีวันที่เริ่มต้นและสิ้นสุดเป็นเวลาเดียวกัน พบว่า มีคุณลักษณะที่มีเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดเป็นวันที่และเวลาเดียวกัน

```
<glucose_level>
<event ts="14-05-2025 00:03:00" value="48"/>
<event ts="14-05-2025 00:08:00" value="48"/>
<event ts="14-05-2025 00:13:00" value="53"/>
```

ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างข้อมูลผู้ป่วยที่ได้รับการปรับเปลี่ยนเป็นวันที่ในอนาคต

จากภาพประกอบ 10 ตัวอย่างข้อมูลผู้ป่วยที่ได้รับการปรับเปลี่ยนเป็นวันที่ในอนาคต พบว่า ข้อมูลในแต่ละคุณลักษณะที่แสดงวันและเวลาของผู้ป่วย มีการปรับแก้ให้เป็นวันที่ในอนาคต แต่ข้อมูล Day of week และ Time ใน Timestamp ยังคงเดิม ไม่ได้แก้ไข

ตาราง 3 เปรียบเทียบปริมาณข้อมูล Glucose และ Fingerstick

name	ID559	ID563	ID570	ID575	ID588	ID591	ID540	ID544	ID552	ID567	ID584	ID596
glucose_value	10796	12124	10982	11866	12640	10847	11947	10623	9080	10858	12150	10877
finger_value	178	540	248	268	592	427	577	210	178	411	137	178

จากตาราง 3 เปรียบเทียบปริมาณข้อมูล Glucose และ Fingerstick พบว่า ข้อมูลคุณลักษณะ Fingerstick จะมีปริมาณน้อยกว่ามาก เมื่อเทียบกับคุณลักษณะ Glucose

ตาราง 4 ปริมาณข้อมูลคุณลักษณะ Illness

name	ID559	ID563	ID570	ID575	ID588	ID591	ID540	ID544	ID552	ID567	ID584	ID596
ill_type	4	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1

จากตาราง 4 ปริมาณข้อมูลคุณลักษณะ Illness พบว่า ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะไม่มีข้อมูล illness หรือข้อมูลมีปริมาณน้อยมาก

```
<illness>
  <event ts_begin="12-12-2021 10:12:00" ts_end="" type="" description="" />
  <event ts_begin="15-12-2021 06:41:00" ts_end="" type="" description="" />
  <event ts_begin="25-12-2021 14:30:00" ts_end="" type="" description="" />
  <event ts_begin="25-12-2021 14:40:00" ts_end="" type="" description="" />
</illness>
```

ภาพประกอบ 11 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะ Illness จากข้อมูลต้นฉบับในรูปแบบ XML

จากภาพประกอบ 11 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะ Illness จากข้อมูลต้นฉบับในรูปแบบ XML พบว่า ข้อมูลคุณลักษณะ Illness มีข้อมูลเฉพาะวันที่และเวลา แต่ไม่มีการระบุข้อมูลของอาการป่วย

ตาราง 5 ปริมาณข้อมูลคุณลักษณะ Hypoglycemia

name	ID559	ID563	ID570	ID575	ID588	ID591	ID540	ID544	ID552	ID567	ID584	ID596
hypo_type	7.0	9.0	1.0	37.0	13.0	7.0	0.0	9.0	8.0	0.0	0.0	28.0

จากตาราง 5 ปริมาณข้อมูลคุณลักษณะ Hypoglycemia พบว่า ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะไม่มีข้อมูล Hypoglycemia หรือข้อมูลมีปริมาณน้อยมาก

```

<hypo_event>
  <event ts="19-04-2025 08:35:00">
    <symptom name=""/>
  </event>
  <event ts="19-04-2025 16:30:00">
    <symptom name=""/>
  </event>
  <event ts="23-04-2025 05:20:00">
    <symptom name=""/>
  </event>

```

ภาพประกอบ 12 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะ Hypoglycemia จากข้อมูลต้นฉบับใน
แบบ XML

จากภาพประกอบ 12 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะ Hypoglycemia จากข้อมูลต้นฉบับใน
แบบ XML พบว่า ข้อมูลคุณลักษณะ Hypoglycemia มีข้อมูลเฉพาะวันที่และเวลา แต่ไม่มีการระบุ
ข้อมูลของอาการป่วย

ตาราง 6 ปริมาณข้อมูลคุณลักษณะ Stressors

name	ID559	ID563	ID570	ID575	ID588	ID591	ID540	ID544	ID552	ID567	ID584	ID596
stress_type	1.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0

จากตาราง 6 ปริมาณข้อมูลคุณลักษณะ Stressors พบว่า ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะไม่มีข้อมูล
Stressors หรือมีปริมาณน้อยมาก

```

<stressors>
  <event ts="22-12-2021 17:03:00" type=" " description=" "/>
</stressors>

```

ภาพประกอบ 13 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะ Stressors จากข้อมูลต้นฉบับในแบบ
XML

จากภาพประกอบ 13 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะ Stressors จากข้อมูลต้นฉบับในแบบ
XML พบว่า ข้อมูลคุณลักษณะ Stressors มีข้อมูลเฉพาะวันที่และเวลา แต่ไม่มีการระบุข้อมูลของ
อาการป่วย

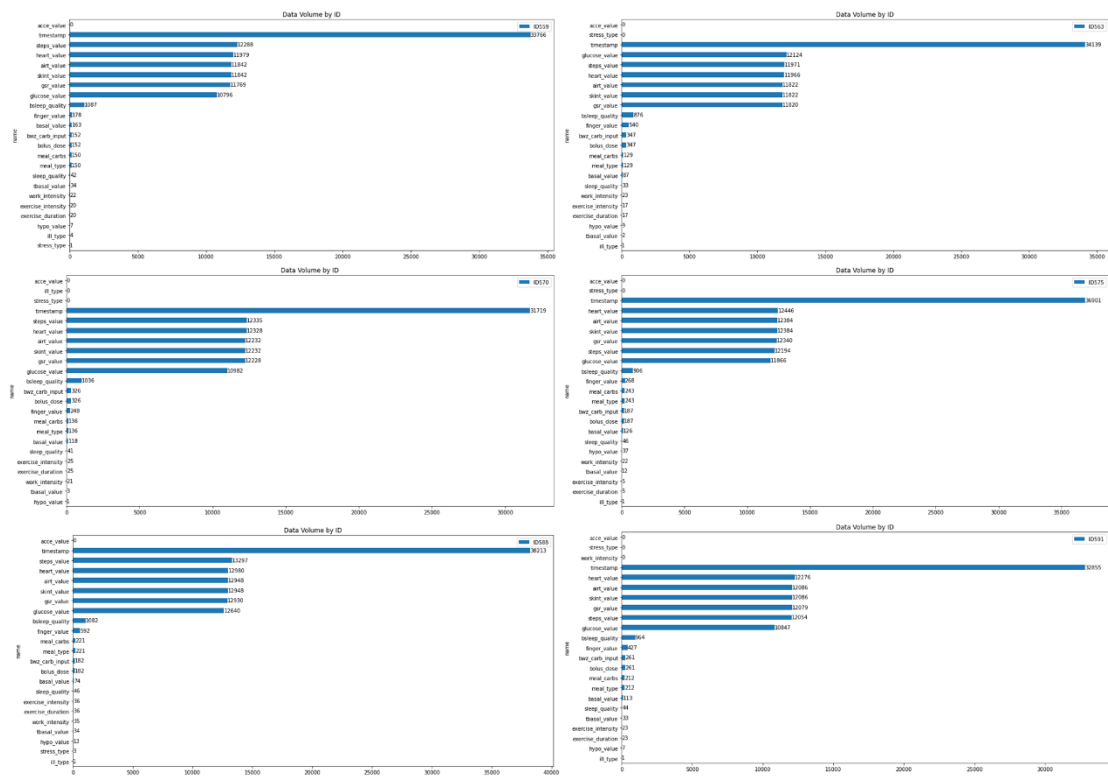
3.1.2 ปริมาณข้อมูลในแต่ละคุณลักษณะ (Data Volume)

จากรายละเอียดการสำรวจข้อมูลดิบ จะพบว่าข้อมูลมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละคุณลักษณะ มีคุณลักษณะที่มีข้อมูลไม่ต่อเนื่องหรือไม่ได้อยู่เลยในผู้ป่วยบางราย โดยรายละเอียดปริมาณข้อมูล แสดงดังนี้

ตาราง 7 แสดงปริมาณข้อมูลแต่ละคุณลักษณะของผู้ป่วยทั้งหมด

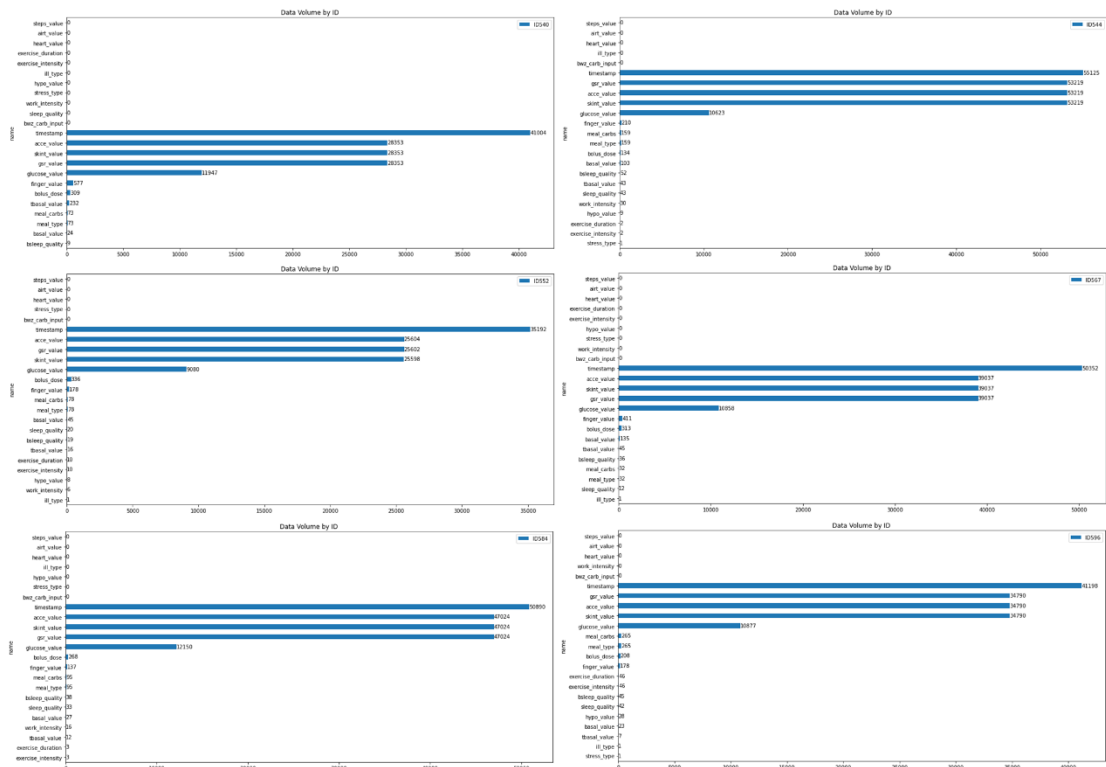
name	ID559	ID563	ID570	ID575	ID588	ID591	ID540	ID544	ID552	ID567	ID584	ID596
timestamp	33766	34139	31719	36901	38213	32855	41004	55125	35192	50352	50890	41198
glucose_value	10796	12124	10982	11866	12640	10847	11947	10623	9080	10858	12150	10877
finger_value	178	540	248	268	592	427	577	210	178	411	137	178
basal_value	163	87	118	126	74	113	24	103	45	135	27	23
tbasal_value	34	2	3	12	34	33	232	43	16	45	12	7
bolus_dose	152	347	326	187	182	261	309	134	336	313	268	208
bwz_carb_input	152	347	326	187	182	261	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
meal_type	150	129	136	243	221	212	73	159	78	32	95	265
meal_carbs	150	129	136	243	221	212	73	159	78	32	95	265
sleep_quality	42	33	41	46	46	44	0	43	20	12	33	42
work_intensity	22	23	21	22	35	0	0	30	6	0	16	0
stress_type	1	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	1
hypo_type	7	9	1	37	13	7	0	9	8	0	0	28
ill_type	4	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1
exercise_intensity	20	17	25	5	36	23	NaN	2	10	NaN	3	46
exercise_duration	20	17	25	5	36	23	NaN	2	10	NaN	3	46
heart_value	11979	11966	12328	12446	12980	12276	0	0	0	0	0	0
gsr_value	11769	11820	12228	12340	12930	12079	28353	53219	25602	39037	47024	34790
skint_value	11842	11822	12232	12384	12948	12086	28353	53219	25598	39037	47024	34790
airt_value	11842	11822	12232	12384	12948	12086	0	0	0	0	0	NaN
steps_value	12288	11971	12335	12194	13297	12054	0	0	0	0	0	NaN
bsleep_quality	1087	876	1036	906	1082	964	9	52	19	36	38	45
acce_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	28353	53219	25604	39037	47024	34790

จากตาราง 7 แสดงปริมาณข้อมูลแต่ละคุณลักษณะของผู้ป่วยทั้งหมด พบว่า ข้อมูลในแต่ละคุณลักษณะจะมีปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับข้อมูลคุณลักษณะ Glucose และมีคุณลักษณะที่ไม่มีข้อมูลอยู่เลยในชุดข้อมูลที่เก็บข้อมูลในปี 2018 และปี 2020



ภาพประกอบ 14 แสดงปริมาณข้อมูลของผู้ป่วยในปี 2018 ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง

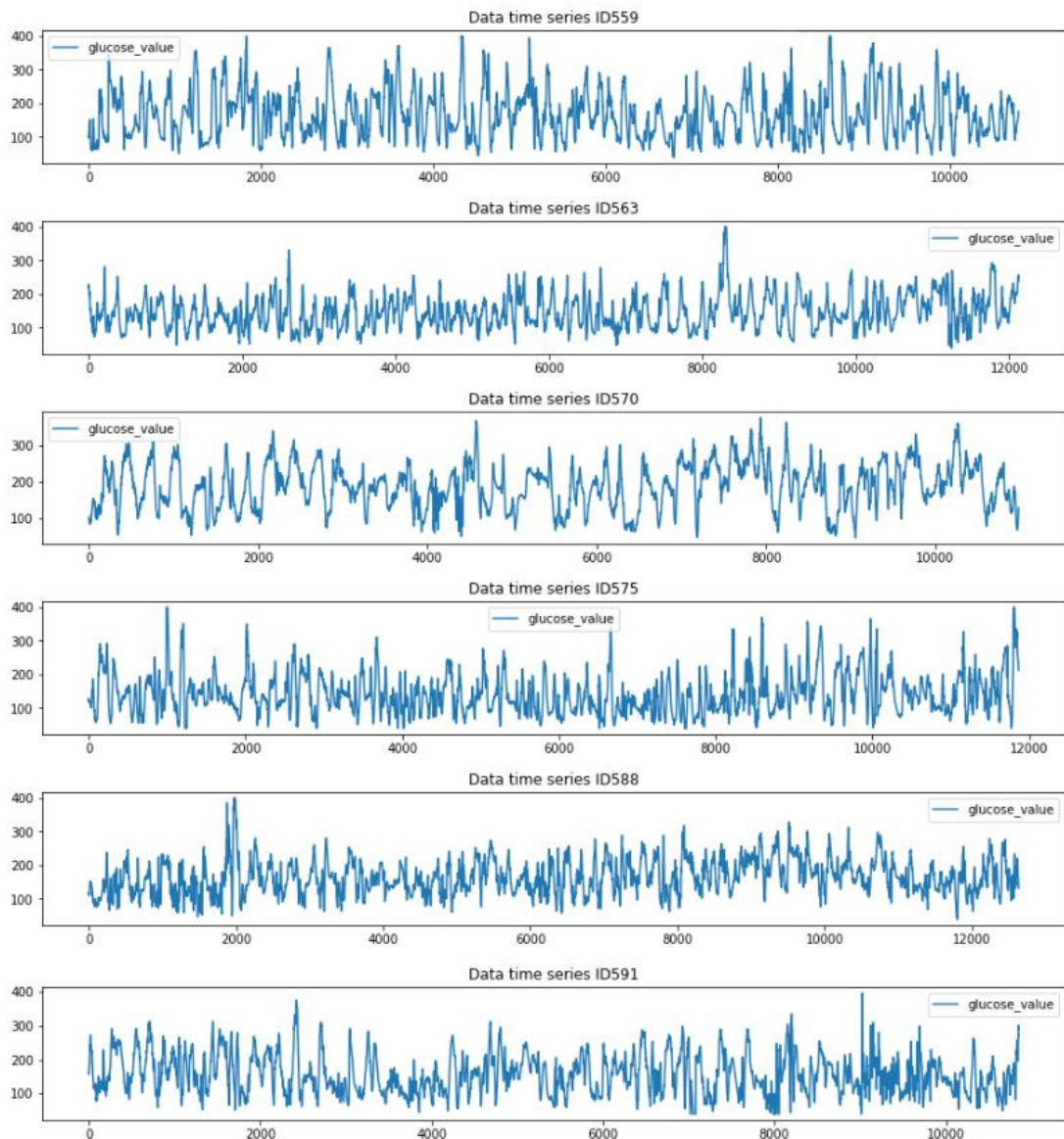
จากภาพประกอบ 14 แสดงปริมาณข้อมูลของผู้ป่วยในปี 2018 ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง โดยแสดงข้อมูลแต่ละ ID ผู้ป่วยจากซ้ายไปขวา ผู้ป่วย ID559 , ID563 แถวที่ 2 ผู้ป่วย ID570 , ID575 แถวที่ 3 ผู้ป่วย ID588 , ID591 จะเห็นได้ว่า ในแต่ละ ID จะมีปริมาณข้อมูลแตกต่างกัน จากแผนภูมิแท่งจะแสดงข้อมูลคุณลักษณะที่ไม่มีอยู่เลยจากด้านบน จากนั้นจะแสดงข้อมูลที่มีมากที่สุด คือ timestamp และข้อมูลที่มีปริมาณน้อยกว่าในลำดับถัดมา จนถึงข้อมูลที่มีอยู่น้อยมาก เช่น ID563 แผนภูมิแท่งแสดงข้อมูลคุณลักษณะที่ไม่มีข้อมูลเลย คือ acc_value และ stress_type อยู่เลย จากนั้นแสดงข้อมูลที่มีมากที่สุดและข้อมูลที่มีปริมาณน้อยกว่าในลำดับถัดมา คือ timestamp เป็น 34139 ถัดมา คือ glucose_value จำนวน 12124 ข้อมูล steps_value จำนวน 11971 ข้อมูล ตามลำดับ และแสดงข้อมูลที่มีน้อยที่สุด คือ ill_type จำนวน 1 ข้อมูล



ภาพประกอบ 15 แสดงปริมาณข้อมูลของผู้ป่วยในปี 2020 ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง

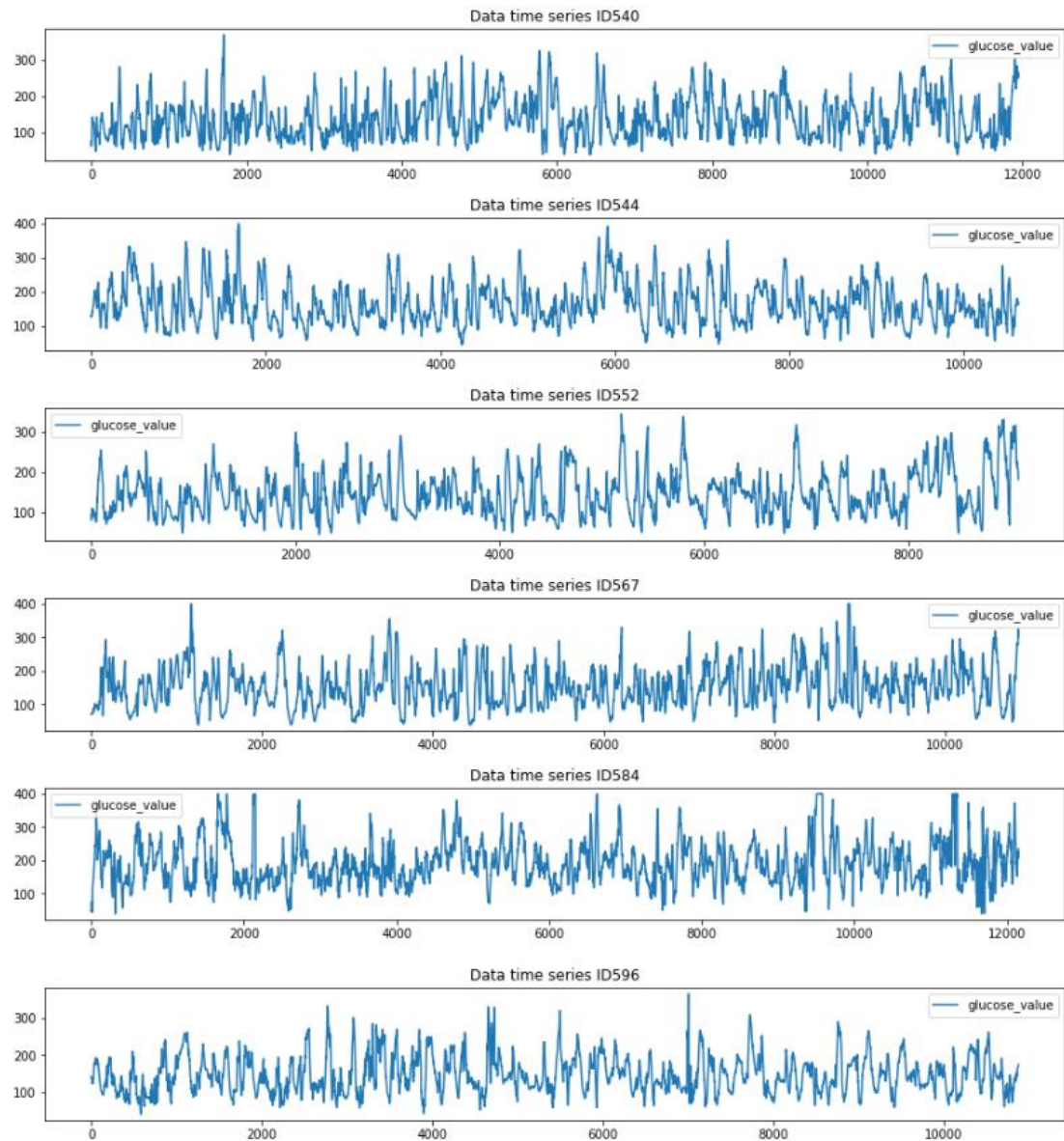
จากภาพประกอบ 15 แสดงปริมาณข้อมูลของผู้ป่วยในปี 2020 ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง โดยแสดงข้อมูลแต่ละ ID ผู้ป่วยจากซ้ายไปขวา ผู้ป่วย ID540 , ID544 แถวที่ 2 ผู้ป่วย ID552 , ID567 แถวที่ 3 ผู้ป่วย ID584 , ID569 จะเห็นได้ว่า ในแต่ละ ID จะมีปริมาณข้อมูลแตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลที่เก็บในปีนี้จะเก็บข้อมูลคุณลักษณะที่แตกต่างจากข้อมูลในปี 2018 ทำให้ในปี 2020 จะไม่ข้อมูลคุณลักษณะ `bwz_carb_input`, `heart_value`, `airt_value`, `steps_value` โดยการแสดงผลจากแผนภูมิแท่งจะแสดงข้อมูลคุณลักษณะที่ไม่มีอยู่เลย คือ `bwz_carb_input`, `heart_value`, `airt_value`, `steps_value` รวมถึงข้อมูลคุณลักษณะอื่นๆ ที่ไม่มีข้อมูล จากนั้นจะแสดงข้อมูลที่มีมากที่สุด คือ `timestamp` และข้อมูลที่มีปริมาณน้อยกว่าในลำดับถัดมา จนถึงข้อมูลที่มีอยู่น้อยมาก เช่น ID567 แผนภูมิแท่งแสดงข้อมูลคุณลักษณะที่ไม่มีข้อมูลเลย คือ `heart_value`, `airt_value`, `steps_value`, `exercise_duration`, `exercise_intensity`, `hypo_type`, `work_intensity` และ `bwz_carb_input` จากนั้นแสดงข้อมูลที่มีมากที่สุดและข้อมูลที่มีปริมาณน้อยกว่าในลำดับถัดมา คือ `timestamp` เป็น 34139 ถัดมา คือ `glucose_value` จำนวน 12124 ข้อมูล `steps_value` จำนวน 11971 ข้อมูล ตามลำดับ และแสดงข้อมูลที่น้อยที่สุด คือ `ill_type` จำนวน 1 ข้อมูล

จากภาพประกอบแสดงปริมาณข้อมูลของผู้ป่วยในปี 2018 และ ปี2020 จะเห็นได้ว่า ข้อมูล timestamp มีปริมาณมากที่สุด เนื่องมาจากการรวมข้อมูลทุกคุณลักษณะเข้าด้วยกัน โดยแต่ละคุณลักษณะมีช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน ทำให้ข้อมูล timestamp มีปริมาณมากกว่าข้อมูลคุณลักษณะต่างๆ



ภาพประกอบ 16 แสดงปริมาณของคุณลักษณะ Glucose ในรูปแบบอนุกรมเวลาของผู้ป่วย ในปี 2018

จากภาพประกอบ 16 แสดงปริมาณของคุณลักษณะ Glucose ในรูปแบบอนุกรมเวลาของผู้ป่วย ในปี 2018 พบว่า โดยปริมาณ Glucose ของผู้ป่วยแต่ละ ID มีความแตกต่างกันเล็กน้อย รวมถึงค่าข้อมูลของคุณลักษณะ glucose_value ก็มีความต่างกัน



ภาพประกอบ 17 แสดงปริมาณของคุณลักษณะ Glucose ในรูปแบบอนุกรมเวลาของผู้ป่วย ในปี 2020

จากภาพประกอบ 17 แสดงปริมาณของคุณลักษณะ Glucose ในรูปแบบอนุกรมเวลาของผู้ป่วย ในปี 2020 พบว่า ปริมาณ Glucose ของผู้ป่วยแต่ละราย มีความแตกต่างกันเล็กน้อย รวมถึงค่าข้อมูลของคุณลักษณะ glucose_value ก็มีความต่างกัน

จากปริมาณข้อมูลของผู้ป่วยในแต่ละคุณลักษณะ ข้อมูลที่มีปริมาณมากจะได้มาจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ ตามคุณลักษณะ ดังนี้ Glucose (glucose_value), Bolus wizard carbohydrate input (bwz_carb_input), Heart rate (heart_value), Galvanic Skin Response (gsr_value), Air Temperature (airt_value), Steps (steps_value), Sleep (bsleep_quality), Acceleration (acce_value) ในส่วนของข้อมูลที่ผู้ป่วยเป็นผู้ระบุเองและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอินซูลิน ซึ่งเก็บข้อมูลด้วยเครื่องอัตโนมัติ จะมีปริมาณค่อนข้างน้อย ตามคุณลักษณะ ดังนี้ Fingertick (finger_value), Basal (basal_value), Temporary Basal (tbasal_value), Bolus (bolus_dose), Meal Type (meal_type), Meal Carbohydrate (meal_carbs), Work (work_intensity), Stress (stress_type), Hypoglycemic symptom (hypo_type), Ill symptom (ill_type), Exercise (exercise_intensity), (exercise_duration)

นอกจากความแตกต่างในด้านปริมาณของแต่ละคุณลักษณะ ยังพบว่าข้อมูลบางคุณลักษณะเก็บในปี 2018 แต่ไม่มีการเก็บในปี 2020 เช่น bolus wizard carbohydrate input (bwz_carb_input), heart rate (heart_value), air temperature (airt_value), steps (steps_value) หรือ ข้อมูลที่มีการเก็บในปี 2020 แต่ไม่มีการเก็บในปี 2018 เช่น acceleration (acce_value) รวมถึงข้อมูลบางคุณลักษณะ มีในข้อมูลชุดเรียนรู้ (Training set) แต่ไม่มีในชุดทดสอบจริง (Test set) เช่น ผู้ป่วย ID575 ในข้อมูลชุดเรียนรู้ (Training set) มีข้อมูลคุณลักษณะ Heart rate (heart_value) แต่ในชุดทดสอบจริง (Test set) ไม่มีข้อมูลคุณลักษณะดังกล่าว

3.2 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

3.2.1 การเชื่อมโยงข้อมูล (Merging time-series data)

จากการสำรวจข้อมูลในรูปแบบ XML พบว่า ข้อมูลมีการกำหนดชนิดและระบุนค่าของแต่ละคุณลักษณะแยกกัน ผู้วิจัยจึงใช้ Python โดยการดึงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบตารางสำหรับข้อมูลแต่ละคุณลักษณะ โดยจะใช้ timestamp เป็นหลักในการวางและจัดเรียงข้อมูล โดยการจัดการข้อมูลทั้งหมด จะใช้ Full Outer Join ในการรวมข้อมูลซึ่งจะทำให้ไม่มีการลบข้อมูลใดๆ

เมื่อจัดการข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบตารางแล้ว จะนำทั้งหมดมาจัดเรียงโดยอ้างอิงตาม timestamp โดยจะใช้ข้อมูลที่มีมากที่สุดของชุดข้อมูลเป็นข้อมูลเริ่มต้น คือ Glucose จากนั้นเพิ่มแถวข้อมูลเป็นคุณลักษณะ PID ขึ้นมา เพื่อบอก ID ของผู้ป่วยและทำให้สามารถแยกข้อมูลของแต่ละ

ละรายได้ ก่อนที่จะนำข้อมูลทั้งหมดรวมเข้าด้วยกัน เมื่อนำข้อมูลคุณลักษณะต่างๆ มารวมเข้าด้วยกัน หากคุณลักษณะมีค่า timestamp ตรงกันจะระบุค่าข้อมูลลงไปในช่วงเวลาเดียวกัน ถ้าหาก timestamp ไม่ตรงกัน ในเบื้องต้นจะใช้ timestamp ของคุณลักษณะนั้นๆ ซึ่งจะทำให้คุณลักษณะอื่นๆ มีค่าเป็น NaN คือไม่มีข้อมูล ตามรูปแบบการทำงานของ Full Outer Join

เมื่อรวมข้อมูลเข้าด้วยกันแล้วจะทำการแปลงข้อมูล (Data Transformation) ที่ได้ โดยการใช้ Python เพื่อแปลงชนิดข้อมูลของ timestamp ให้เป็น Datetime โดยการกำหนดรูปแบบเวลาให้เป็น ปี เดือน วัน จากนั้นทำการแปลงข้อมูลคุณลักษณะต่างๆ ให้เป็นตัวเลข เพื่อใช้ในการการคำนวณในขั้นต่อไป

index	timestamp	glucose_value	finger_value	basal_value	tbasal_value	bolus_dose	bwz_carb_input	meal_type	meal_carbs
0	13227	2021-08-30 00:00:00	NaN	NaN	0.83	NaN	NaN	NaN	NaN
1	13228	2021-08-30 04:00:00	NaN	NaN	1.4	NaN	NaN	NaN	NaN
2	12640	2021-08-30 06:01:28	NaN	167	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
3	12641	2021-08-30 06:46:08	NaN	169	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
4	12642	2021-08-30 06:47:44	NaN	169	NaN	NaN	3.0	8.0	NaN
...
481349	11942	2027-07-03 23:36:44	255	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

ภาพประกอบ 18 ตัวอย่างตารางการรวมข้อมูลของผู้ป่วย

จากภาพประกอบ 18 ตัวอย่างตารางการรวมข้อมูลของผู้ป่วย พบว่า เมื่อรวมข้อมูลของผู้ป่วยเข้าด้วยกัน จะได้ข้อมูลแบบที่สามารถอ้างอิง timestamp ข้อมูลคุณลักษณะเพื่อการนำไปใช้

3.2.2 การคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature selection)

1) การหาความสัมพันธ์ข้อมูลในเชิงสถิติ (Statistics)

เมื่อรวมข้อมูลเข้าด้วยกันแล้ว จากนั้นหาค่าในเชิงสถิติของข้อมูล คือ ค่าต่ำสุด (min) ค่าสูงสุด (max) ค่าเฉลี่ย (mean) และค่ามัธยฐาน (median) เพื่อการสำรวจและหาความผิดปกติของข้อมูล

ตาราง 8 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID559 และ ID563

Feature	559				563			
	Min	Max	Mean	Median	Min	Max	Mean	Median
glucose_value	40.00	400.00	166.69	157.00	40.00	400.00	146.08	140.00
finger_value	46.00	586.00	189.94	182.00	40.00	465.00	160.12	155.00
basal_value	0.65	1.25	0.92	0.88	0.60	1.60	1.09	1.10
tbasal_value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
bolus_dose	0.10	9.30	3.70	3.50	0.05	24.70	7.61	7.50
bwz_carb_input	0.00	70.00	27.62	30.00	0.00	84.00	15.92	0.00
meal_carbs	8.00	75.00	35.92	30.00	5.00	75.00	28.37	25.00
sleep_quality	1.00	3.00	2.24	2.00	2.00	3.00	2.52	3.00
work_intensity	2.00	6.00	4.18	4.00	2.00	5.00	3.22	3.00
exercise_intensity	2.00	6.00	4.85	5.00	3.00	8.00	4.71	5.00
exercise_duration	25.00	150.00	54.70	45.00	0.00	300.00	117.47	80.00
heart_value	46.00	189.00	73.59	69.00	65.00	167.00	95.94	96.00
gsr_value	0.00	21.60	0.37	0.00	0.00	21.98	0.37	0.00
skint_value	72.32	95.90	87.62	87.44	66.20	97.52	87.85	88.16
airt_value	63.86	96.98	84.26	83.66	57.02	98.78	83.94	84.20
steps_value	0.00	127.00	3.15	0.00	0.00	101.00	4.75	0.00
bsleep_quality	86.00	97.00	92.72	93.00	80.00	97.00	88.09	88.00
acce_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

ตาราง 9 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID570 และ ID575

Feature	570				575			
	Min	Max	Mean	Median	Min	Max	Mean	Median
glucose_value	46.00	377.00	187.49	189.00	40.00	400.00	141.77	132.00
finger_value	31.00	349.00	193.88	200.00	39.00	428.00	157.00	132.00
basal_value	0.70	1.45	1.08	1.05	0.45	1.10	0.74	0.73
tbasal_value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
bolus_dose	0.00	17.30	6.34	6.30	0.20	12.80	5.08	4.90
bwz_carb_input	0.00	175.00	40.68	0.00	0.00	102.00	41.88	45.00

ตาราง 9 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID570 และ ID575 (ต่อ)

Feature	570				575			
	Min	Max	Mean	Median	Min	Max	Mean	Median
meal_carbs	5.00	200.00	102.61	100.00	0.00	102.00	39.81	40.00
sleep_quality	1.00	3.00	2.15	2.00	1.00	3.00	2.67	3.00
work_intensity	1.00	3.00	1.81	2.00	2.00	6.00	4.23	4.00
exercise_intensity	3.00	6.00	4.92	5.00	4.00	7.00	5.60	6.00
exercise_duration	36.00	613.00	192.96	170.00	2.00	140.00	56.40	45.00
heart_value	58.00	144.00	83.26	82.00	56.00	176.00	81.47	81.00
gsr_value	0.00	29.42	0.74	0.00	0.00	21.08	0.29	0.00
skint_value	72.50	100.22	86.72	87.08	72.86	97.52	87.31	86.90
airt_value	68.90	102.02	82.83	82.76	65.66	98.24	83.78	83.12
steps_value	0.00	110.00	2.78	0.00	0.00	97.00	2.91	0.00
bsleep_quality	88.00	97.00	91.86	91.00	90.00	97.00	95.47	96.00
acce_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

ตาราง 10 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID588 และ ID591

Feature	588				591			
	Min	Max	Mean	Median	Min	Max	Mean	Median
glucose_value	40.00	400.00	164.99	161.00	40.00	397.00	156.02	149.00
finger_value	54.00	413.00	152.35	149.00	40.00	422.00	166.00	154.00
basal_value	0.83	1.40	1.17	1.20	0.90	1.25	1.02	0.98
tbasal_value	0.00	0.96	0.05	0.00	0.00	0.46	0.16	0.00
bolus_dose	0.40	10.00	4.18	3.50	0.10	9.40	3.13	2.80
meal_carbs	2.00	450.00	32.21	29.00	3.00	77.00	31.12	28.00
sleep_quality	2.00	3.00	2.74	3.00	1.00	3.00	2.66	3.00
work_intensity	4.00	6.00	4.69	5.00	NaN	NaN	NaN	NaN
exercise_intensity	4.00	6.00	5.25	5.00	3.00	9.00	5.22	5.00
exercise_duration	16.00	57.00	36.14	35.00	14.00	105.00	49.30	42.00
heart_value	45.00	153.00	77.01	76.00	45.00	151.00	67.48	66.00
gsr_value	0.00	23.60	0.05	0.00	0.00	28.46	2.47	0.01

ตาราง 10 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID588 และ ID591 (ต่อ)

Feature	588				591			
	Min	Max	Mean	Median	Min	Max	Mean	Median
skint_value	56.48	110.66	90.24	90.50	76.10	102.20	87.90	87.80
airt_value	50.23	119.48	87.81	87.98	71.60	105.98	84.99	84.74
steps_value	0.00	160.00	2.29	0.00	0.00	127.00	3.26	0.00
bsleep_quality	89.00	97.00	92.90	93.00	87.00	97.00	93.18	94.00
acce_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

ตาราง 11 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID540 และ ID544

Feature	540				544			
	Min	Max	Mean	Median	Min	Max	Mean	Median
glucose_value	40.00	369.00	137.10	127.00	48.00	400.00	165.22	157.00
finger_value	0.00	315.00	109.33	103.00	54.00	331.00	140.97	129.50
basal_value	0.40	1.05	0.80	0.88	1.00	1.80	1.43	1.50
tbasal_value	0.00	2.10	0.66	0.70	0.00	2.34	0.21	0.00
bolus_dose	0.10	11.40	3.98	3.10	0.70	20.00	9.80	9.05
bwz_carb_input	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
meal_carbs	1.00	100.00	59.18	57.00	1.00	162.00	69.00	60.00
sleep_quality	NaN	NaN	NaN	NaN	1.00	3.00	1.93	2.00
work_intensity	NaN	NaN	NaN	NaN	2.00	5.00	3.27	3.00
exercise_intensity	NaN	NaN	NaN	NaN	6.00	7.00	6.50	6.50
exercise_duration	NaN	NaN	NaN	NaN	30.00	150.00	90.00	90.00
heart_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
gsr_value	0.00	71.92	0.89	0.08	0.00	73.75	1.14	0.29
skint_value	0.00	94.89	86.64	87.84	0.00	95.45	87.39	87.98
airt_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
steps_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
bsleep_quality	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
acce_value	0.00	2.26	1.01	1.00	0.00	16.06	1.76	1.02

ตาราง 12 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID552 และ ID567

Feature	552				567			
	Min	Max	Mean	Median	Min	Max	Mean	Median
glucose_value	45.00	345.00	146.69	139.00	40.00	400.00	153.82	148.00
finger_value	41.00	361.00	156.28	139.00	39.00	462.00	182.36	183.00
basal_value	1.10	1.40	1.25	1.25	0.85	1.75	1.21	1.15
tbasal_value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
bolus_dose	0.10	16.00	3.87	2.80	0.15	25.00	11.85	11.10
bwz_carb_input	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
meal_carbs	1.00	140.00	54.82	45.00	30.00	140.00	75.44	80.00
sleep_quality	1.00	3.00	2.45	3.00	1.00	3.00	2.00	2.00
work_intensity	1.00	3.00	2.00	2.00	NaN	NaN	NaN	NaN
exercise_intensity	5.00	9.00	7.20	7.00	NaN	NaN	NaN	NaN
exercise_duration	40.00	75.00	50.30	45.00	NaN	NaN	NaN	NaN
heart_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
gsr_value	0.00	9.17	0.22	0.09	0.00	62.07	0.91	0.09
skint_value	0.00	91.53	83.73	84.15	0.00	96.57	88.75	89.15
airt_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
steps_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
bsleep_quality	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
acce_value	0.00	2.99	1.04	1.06	0.00	1.56	0.99	0.98

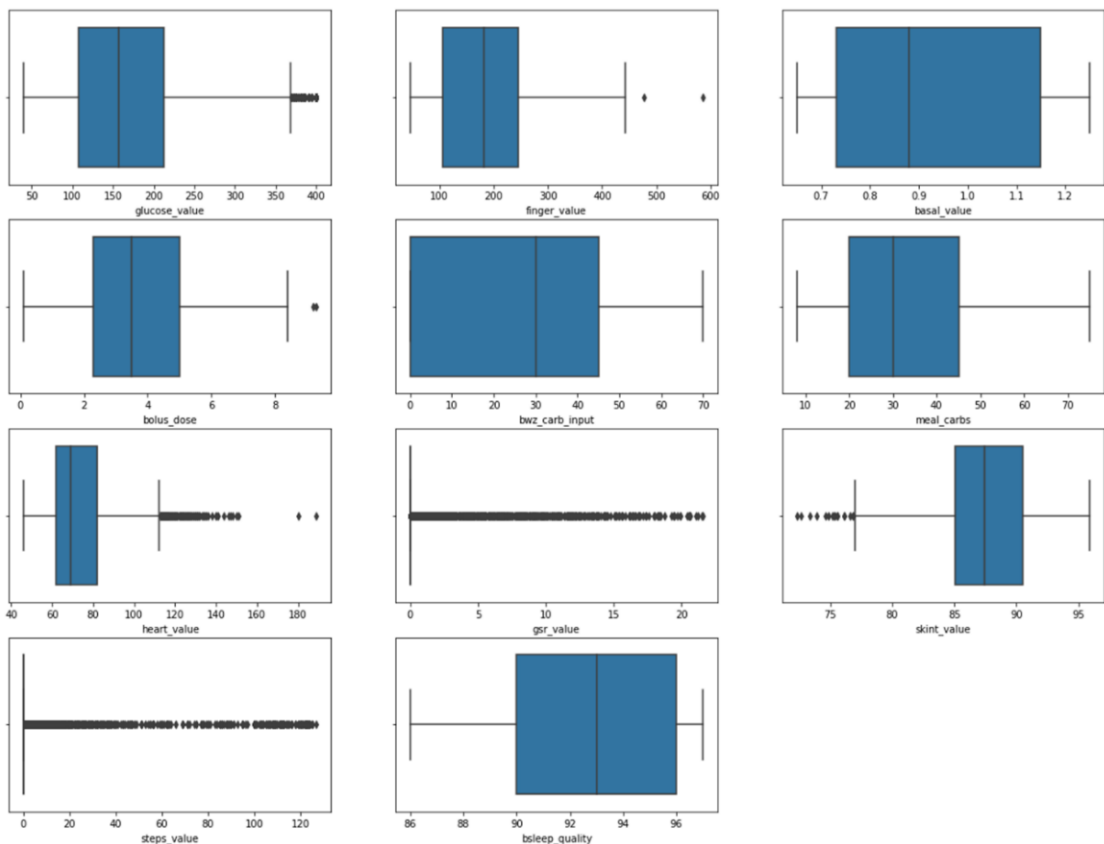
ตาราง 13 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID584 และ ID596

Feature	584				596			
	Min	Max	Mean	Median	Min	Max	Mean	Median
glucose_value	40.00	400.00	192.48	183.00	40.00	367.00	147.19	140.00
finger_value	83.00	371.00	211.09	208.00	49.00	266.00	140.20	137.00
basal_value	1.65	2.00	1.83	1.90	0.40	0.60	0.49	0.45
tbasal_value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.30	0.24	0.20
bolus_dose	0.10	16.20	7.12	8.75	0.20	7.60	2.93	3.25

ตาราง 13 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ ID584 และ ID596 (ต่อ)

Feature	584				596			
	Min	Max	Mean	Median	Min	Max	Mean	Median
bwz_carb_input	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
meal_carbs	15.00	61.00	54.22	60.00	1.00	64.00	24.33	24.00
sleep_quality	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	3.00	2.71	3.00
work_intensity	5.00	6.00	5.06	5.00	NaN	NaN	NaN	NaN
exercise_intensity	10.00	10.00	10.00	10.00	3.00	7.00	4.85	5.00
exercise_duration	60.00	87.00	69.33	61.00	0.00	301.00	104.91	74.50
heart_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
gsr_value	0.00	75.07	2.77	0.62	0.00	71.47	0.25	0.02
skint_value	0.00	93.82	84.44	84.94	0.00	94.58	86.23	87.51
airt_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
steps_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
bsleep_quality	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
acce_value	0.00	3.66	0.97	0.96	0.00	1.55	1.02	1.04

จากตาราง 8-13 แสดงข้อมูลเชิงสถิติ พบว่า แสดงข้อมูลจากซ้ายไปขวา ข้อมูลเชิงสถิติ คือ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่ามัธยฐาน และค่าเฉลี่ย ของแต่ละคุณลักษณะ โดย ศูนย์ หมายถึง มีค่าที่เป็น ศูนย์ และ NaN หมายถึง ไม่มีข้อมูลจากข้อมูลต้นฉบับ XML โดยคุณลักษณะที่มีค่าทางสถิติทั้งหมด เป็นศูนย์หรือ NaN จะถูกตัดออกในขั้นตอน Feature selection

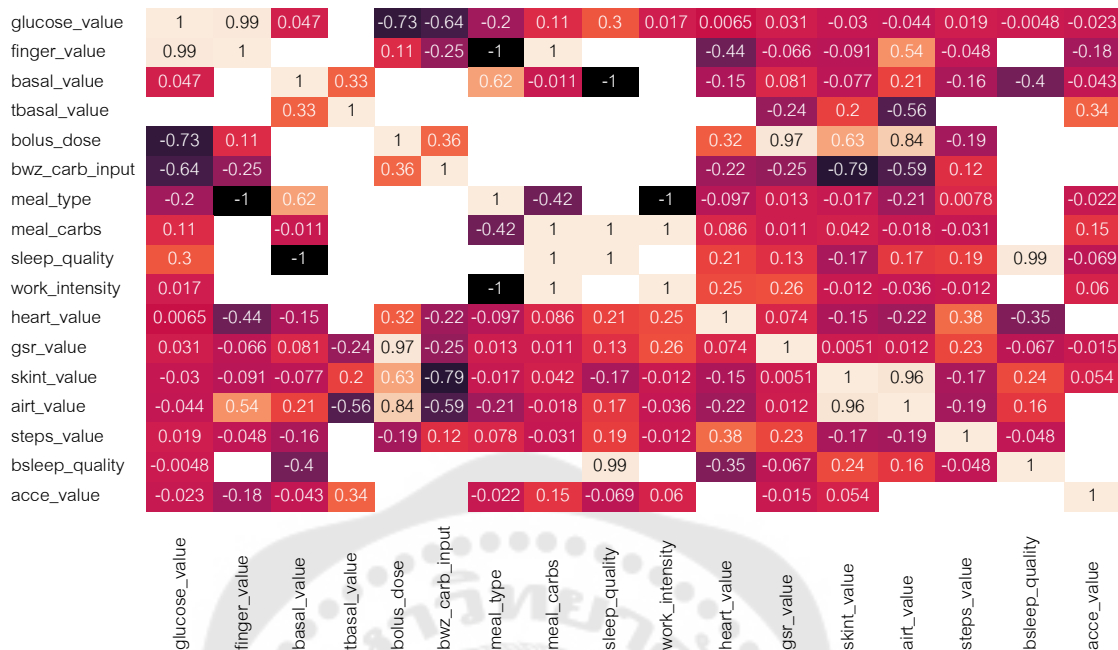


ภาพประกอบ 19 ตัวอย่างค่าทางสถิติแบบ boxplot ของผู้ป่วย ID559

จากภาพประกอบ 19 ตัวอย่างค่าทางสถิติแบบ boxplot ของผู้ป่วย ID559 พบว่า มีค่าที่ผิดปกติ (Outlier) ในบางคุณลักษณะ เช่น finger_value, bolus_dose และพบคุณลักษณะที่ไม่มีค่ามัธยฐาน (Median) และค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (Interquartile range (IQR)) เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายตัวและมีค่าศูนย์เป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลต่อการแสดงค่าของ Boxplot ให้เกิดความไม่ชัดเจน เช่น คุณลักษณะ gsr_value และ steps_value

2) การหาความสัมพันธ์ของคุณลักษณะ (Feature Correlation)

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ glucose_value กับคุณลักษณะอื่นๆ เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ของคุณลักษณะโดยภาพรวมก่อนการคัดเลือกคุณลักษณะ



ภาพประกอบ 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคุณลักษณะของทุก ID ในรูปแบบ Heatmap

จากภาพประกอบ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคุณลักษณะในภาพรวมของผู้ป่วย โดยจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะต่างๆ เป็นได้ทั้งในทางลบและทางบวก เมื่อเทียบคุณลักษณะ glucose_value กับคุณลักษณะอื่นๆ จะพบว่า glucose_value กับ finger_value มีความสัมพันธ์กันในทางบวกสูงที่สุด เนื่องจากเป็นข้อมูลประเภทเดียวกัน คือการวัดระดับน้ำตาลในเลือด แต่จะมีความแตกต่างกันที่วิธีการวัด ถัดมาจะเป็น glucose_value กับ sleep_quality มีความสัมพันธ์กันในทางบวกรองลงมา และ glucose_value กับ heart_value มีความสัมพันธ์กันในทางบวกต่ำที่สุด เมื่อเทียบคุณลักษณะ glucose_value กับคุณลักษณะอื่นๆ ที่เป็นไปในทางลบ พบว่า glucose_value กับ bolus_dose มีความสัมพันธ์กันในทางลบสูงที่สุด ถัดมาจะเป็น glucose_value กับ bwz_carb_input มีความสัมพันธ์กันในทางลบรองลงมา และ glucose_value กับ bsleep_quality มีความสัมพันธ์กันในทางลบต่ำที่สุด

จากตาราง 14 ตัวอย่างการคัดเลือกคุณลักษณะที่มีปริมาณน้อยกว่า 0.5% ผู้ป่วยปี 2018 พบว่า การเปรียบเทียบข้อมูลคุณลักษณะ จะเปรียบเทียบปริมาณของข้อมูลในแต่ละคุณลักษณะ กับปริมาณของข้อมูลของคุณลักษณะ glucose_value ของผู้ป่วยแต่ละรายโดยเฉพาะ โดยจากการเปรียบเทียบข้อมูลคุณลักษณะของผู้ป่วยในปี 2018 จะมีคุณลักษณะที่มีปริมาณน้อยกว่า 0.5% เหมือนกัน คือ tbasal_value, sleep_quality, work_intensity, stress_type, hypo_type, ill_type, exercise_intensity, exercise_duration และมีค่า NaN ที่คุณลักษณะ acce_value

ตาราง 15 ตัวอย่างการคัดเลือกคุณลักษณะที่มีปริมาณน้อยกว่า 0.5% ของผู้ป่วยปี 2020

Feature	540			544			567		
	Data	Missing	Percent	Data	Missing	Percent	Data	Missing	Percent
timestamp	41004.00	0.00	343.22	55125.00	0.00	518.92	50352.00	0.00	463.73
glucose_value	11947.00	29057.00	100.00	10623.00	44502.00	100.00	10858.00	39494.00	100.00
finger_value	577.00	40427.00	4.83	210.00	54915.00	1.98	411.00	49941.00	3.79
basal_value	24.00	40980.00	0.20	103.00	55022.00	0.97	135.00	50217.00	1.24
tbasal_value	232.00	40772.00	1.94	43.00	55082.00	0.40	45.00	50307.00	0.41
bolus_dose	309.00	40695.00	2.59	134.00	54991.00	1.26	313.00	50039.00	2.88
bwz_carb_input	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
meal_type	73.00	40931.00	0.61	159.00	54966.00	1.50	32.00	50320.00	0.29
meal_carbs	73.00	40931.00	0.61	159.00	54966.00	1.50	32.00	50320.00	0.29
sleep_quality	NaN	NaN	NaN	43.00	55082.00	0.40	12.00	50340.00	0.11
work_intensity	NaN	NaN	NaN	30.00	55095.00	0.28	NaN	NaN	NaN
stress_type	NaN	NaN	NaN	1.00	55124.00	0.01	NaN	NaN	NaN
hypo_type	NaN	NaN	NaN	9.00	55116.00	0.08	NaN	NaN	NaN
ill_type	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1.00	50351.00	0.01
exercise_intensity	NaN	NaN	NaN	2.00	55123.00	0.02	NaN	NaN	NaN
exercise_duration	NaN	NaN	NaN	2.00	55123.00	0.02	NaN	NaN	NaN
heart_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
gsr_value	28353.00	12651.00	237.32	53219.00	1906.00	500.98	39037.00	11315.00	359.52
skint_value	28353.00	12651.00	237.32	53219.00	1906.00	500.98	39037.00	11315.00	359.52
airt_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
steps_value	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
bsleep_quality	9.00	40995.00	0.08	52.00	55073.00	0.49	36.00	50316.00	0.33
acce_value	28353.00	12651.00	237.32	53219.00	1906.00	500.98	39037.00	11315.00	359.52

จากตาราง 15 ตัวอย่างการคัดเลือกคุณลักษณะที่มีปริมาณน้อยกว่า 0.5% ของผู้ป่วยปี 2020 พบว่า การเปรียบเทียบข้อมูลคุณลักษณะ จะเปรียบเทียบปริมาณของข้อมูลในแต่ละคุณลักษณะกับปริมาณของข้อมูลคุณลักษณะ glucose_value ของผู้ป่วยแต่ละรายโดยเฉพาะ โดยจากการเปรียบเทียบข้อมูลคุณลักษณะของผู้ป่วยในปี 2020 จะมีคุณลักษณะที่มีปริมาณน้อยกว่า 0.5% เหมือนกัน คือ sleep_quality, work_intensity, stress_type, hypo_type, ill_type, exercise_intensity, exercise_duration, bsleep_quality และมีค่า NaN ที่คุณลักษณะ bwz_carb_input, heart_value, airt_value, steps_value และมีคุณลักษณะ basal_value, tbasal_value ที่มีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละผู้ป่วย

หลังจากการคัดเลือกคุณลักษณะที่มีปริมาณน้อยกว่า 0.5% ออก คุณลักษณะส่วนที่เหลือจะนำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ (Feature Correlation) เพื่อหาข้อมูลที่มีความซ้ำซ้อนหรือใกล้เคียงกันมากเกินไปกว่า 0.7 หรือเป็นคุณลักษณะที่อธิบายข้อมูลให้กับอีกคุณลักษณะ จะพิจารณาตัดออก เพื่อลดความซ้ำซ้อนของคุณลักษณะซึ่งจะมีผลทำให้การสร้างแบบจำลองไม่มีประสิทธิภาพ

	glucose_value	finger_value	basal_value	bolus_dose	bwz_carb_input	meal_carbs	heart_value	gsr_value	skint_value	airt_value	steps_value	bsleep_quality
glucose_value	1		0.16			0.022	0.2	0.02	-0.21	-0.22	0.11	0.2
finger_value		1		0.56	-0.31							
basal_value	0.16		1			-0.15	0.24	-0.15	-0.31	-0.44	0.12	-0.2
bolus_dose		0.56		1	0.69							
bwz_carb_input		-0.31		0.69	1		-1					
meal_carbs	0.022		-0.15			1	-0.093	-0.26	0.11	0.015	-0.22	
heart_value	0.2		0.24	-1	-1	-0.093	1	0.39	-0.51	-0.53	0.42	0.19
gsr_value	0.02		-0.15			-0.26	0.39	1	-0.18	-0.18	0.59	-0.028
skint_value	-0.21		-0.31			0.11	-0.51	-0.18	1	0.97	-0.19	0.074
airt_value	-0.22		-0.44			0.015	-0.53	-0.18	0.97	1	-0.21	0.09
steps_value	0.11		0.12			-0.22	0.42	0.59	-0.19	-0.21	1	-0.11
bsleep_quality	0.2		-0.2			0.19	-0.028	0.074	0.09	-0.11	-0.11	1

ภาพประกอบ 21 การหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ ของผู้ป่วย ID559

จากภาพประกอบ 21 การหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ พบว่า คุณลักษณะที่ได้จะแตกต่างกันไปในแต่ละราย จากตัวอย่างความสัมพันธ์ของแต่ละคุณลักษณะของผู้ป่วย ID559 คุณลักษณะ skint_value กับ airt_value มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน มีค่า 0.97 ซึ่งเกินจากเกณฑ์ที่

กำหนด 0.7 จึงพิจารณาตัดออก 1 คุณลักษณะ โดยเลือกตัดคุณลักษณะ airt_value เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับ glucose_value น้อยกว่าคุณลักษณะ skint_value

โดยเมื่อผ่านการคัดเลือกคุณลักษณะและตัดคุณลักษณะที่ซ้ำซ้อนกันออก จะได้คุณลักษณะของผู้ป่วยแต่ละราย ที่นำไปใช้ในการเรียนรู้ของแบบจำลอง ดังนี้

ผู้ป่วย ID559 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, basal_value, bolus_dose, bwz_carb_input, meal_carbs, heart_value, gsr_value, skint_value, steps_value, bsleep_quality

ผู้ป่วย ID563 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, basal_value, bolus_dose, bwz_carb_input, meal_carbs, heart_value, gsr_value, skint_value, steps_value, bsleep_quality

ผู้ป่วย ID570 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, basal_value, bolus_dose, bwz_carb_input, meal_carbs, heart_value, gsr_value, skint_value, steps_value, bsleep_quality

ผู้ป่วย ID575 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, basal_value, bolus_dose, bwz_carb_input, meal_carbs, heart_value, gsr_value, skint_value, steps_value, bsleep_quality

ผู้ป่วย ID588 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, basal_value, bolus_dose, meal_carbs, heart_value, gsr_value, skint_value, steps_value, bsleep_quality

ผู้ป่วย ID591 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, basal_value, bolus_dose, meal_carbs, heart_value, gsr_value, skint_value, steps_value, bsleep_quality

ผู้ป่วย ID540 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, tbasal_value, bolus_dose, meal_carbs, gsr_value, skint_value, acce_value

ผู้ป่วย ID544 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, basal_value, bolus_dose, bwz_carb_input, meal_carbs, heart_value, gsr_value, skint_value, steps_value, bsleep_quality

ผู้ป่วย ID552 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, bolus_dose, meal_carbs, gsr_value, skint_value, acce_value

ผู้ป่วย ID567 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, bolus_dose, meal_carbs, gsr_value, skint_value, acce_value

ผู้ป่วย ID584 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, bolus_dose, meal_carbs, gsr_value, skint_value, acce_value

ผู้ป่วย ID596 จะมีคุณลักษณะ timestamp, glucose_value, finger_value, bolus_dose, meal_carbs, gsr_value, skint_value, acce_value

4) การจัดกลุ่มข้อมูล (Data Resampling)

เมื่อการจัดเก็บข้อมูลส่วนใหญ่เป็นรูปแบบการจัดเป็นแบบอัตโนมัติ ทำให้ได้ข้อมูลเวลาในรูปแบบ [วัน:เดือน:ปี:ชั่วโมง:นาที:วินาที] ซึ่งการเก็บข้อมูลจะมีความแตกต่างกัน คือ อุปกรณ์เก็บค่าระดับน้ำตาลในเลือด CGM จะจัดเก็บข้อมูลทุก 5 นาที แต่ในส่วนอุปกรณ์ Empatica Embrace ที่ใช้ในการเก็บค่าข้อมูลอื่นๆ จะจัดเก็บข้อมูลทุก 1 นาที ทำให้ข้อมูลที่ได้อยู่ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงทำการจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้ timestamp ของ Glucose เป็นหลักในการจัดกลุ่ม ซึ่งข้อมูลที่ได้จะลดความซ้ำซ้อนและลดความเหลื่อมล้ำในด้านระยะเวลาของข้อมูล รวมถึงลดความผิดพลาดและประสิทธิภาพที่ลดลงของแบบจำลองเนื่องมาจากการเติมข้อมูลที่มากเกินไป โดยรูปแบบของข้อมูลที่ได้จะเป็น [วัน:เดือน:ปี:ชั่วโมง:นาที] คือ เวลาในรูปแบบวินาที จะเป็นศูนย์โดยที่รูปแบบข้อมูลอ้างอิงมาจากการเก็บข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือด

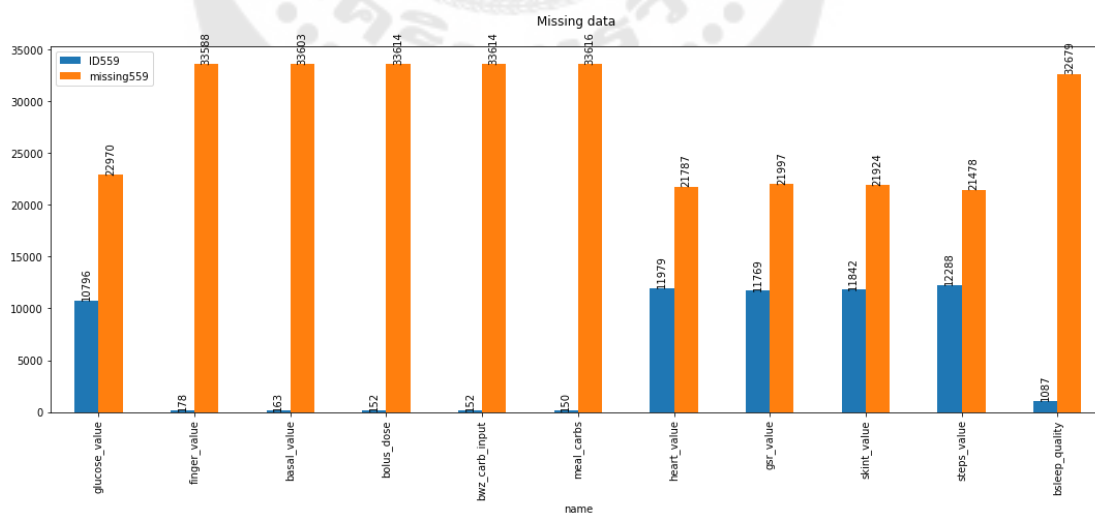
3.2.3 การจัดการข้อมูลที่ขาดหาย (Missing Data)

จากการคัดเลือกคุณลักษณะ พบข้อมูลที่ขาดหายเป็นจำนวนมากในแต่ละคุณลักษณะ ทำให้ชุดข้อมูลไม่เหมาะสมต่อการนำเข้าแบบจำลอง ผู้วิจัยจึงได้ทำการเติมข้อมูลในแต่ละคุณลักษณะของผู้ป่วยแต่ละรายให้เหมาะสมกับคุณลักษณะนั้นๆ ที่มีความแตกต่างกันอย่างเฉพาะเจาะจง โดยแสดงปริมาณข้อมูลที่ขาดหาย ดังนี้

ตาราง 16 ปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วยในปี 2018

Feature Name	ID559	ID563	ID570	ID575	ID588	ID591
glucose_value	22970	22015	20737	25035	25573	22008
finger_value	33588	33599	31471	36633	37621	32428
basal_value	33603	34052	31601	36775	38139	32742
bolus_dose	33614	33792	31393	36714	38031	32594
bwz_carb_input	33614	33792	31393	36714	-	-
meal_carbs	33616	34010	31583	36658	37992	32643
sleep_quality	33724	34106	31678	36855	38167	32811
heart_value	21787	22173	19391	24455	25233	20579
gsr_value	21997	22319	19491	24561	25283	20776
skint_value	21924	22317	19487	24517	25265	20769
steps_value	21478	22168	19384	24707	24916	20801
bsleep_quality	32679	33263	30683	35995	37131	31891

จากตาราง 16 ปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วยในปี 2018 พบว่า ในข้อมูลของผู้ป่วยแต่ละรายมีข้อมูลที่ขาดหายในคุณลักษณะที่ผ่านการคัดเลือกแล้วเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละคุณลักษณะของผู้ป่วยแต่ละราย

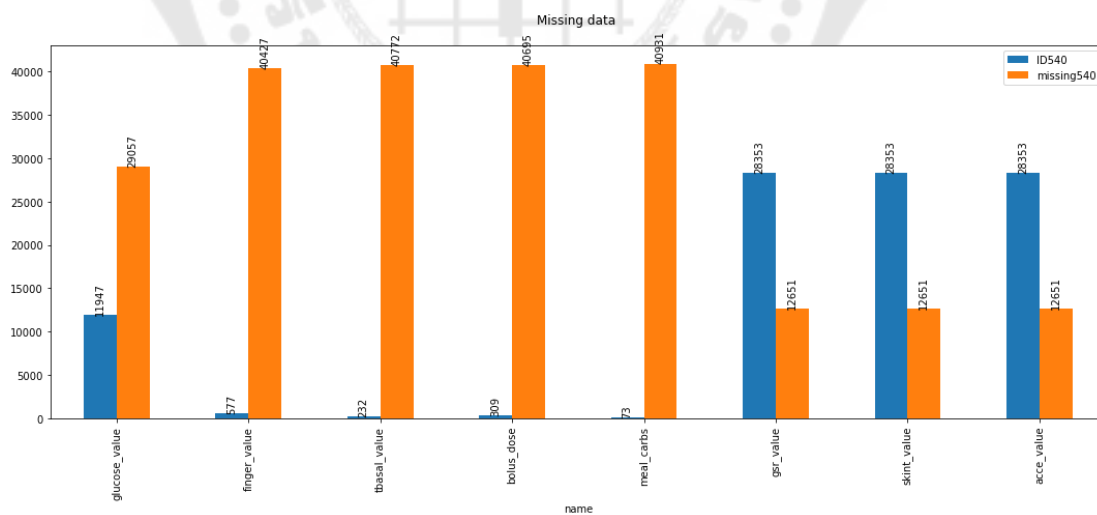


ภาพประกอบ 22 ตัวอย่างปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วย ID559 ในปี 2018 ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง

ตาราง 17 ปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วยในปี 2020

Feature Name	ID540	ID544	ID552	ID567	ID584	ID596
glucose_value	29057	44502	26112	39494	38740	30321
finger_value	40427	54915	35014	49941	50753	41020
basal_value	-	-	-	50217	-	-
tbasal_value	40772	55082	-	-	-	-
bolus_dose	40695	54991	34856	50039	50622	40990
meal_carbs	40931	54966	35114	-	50795	40933
gsr_value	12651	1906	9590	11315	3866	6408
skint_value	12651	1906	9594	11315	3866	6408
acce_value	12651	1906	9588	11315	3866	-

จากตาราง 17 ปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วยในปี 2020 พบว่า ในข้อมูลของผู้ป่วยแต่ละรายมีข้อมูลที่ขาดหายในคุณลักษณะที่ผ่านการคัดเลือกแล้วเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละคุณลักษณะของผู้ป่วยแต่ละราย



ภาพประกอบ 23 ตัวอย่างปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วย ID540 ในปี 2020 ในรูปแบบแผนภูมิแท่ง

จากภาพประกอบ 23 ตัวอย่างปริมาณข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วย ID540 ในปี 2020 พบว่ามีข้อมูลที่ขาดหาย(สีส้ม)ในแต่ละคุณลักษณะจำนวนมากเมื่อเทียบกับข้อมูลที่เก็บได้จริง และยังพบบางคุณลักษณะ เช่น sleep_quality ที่จำนวนข้อมูลเป็นศูนย์ คือไม่มีข้อมูลอยู่เลย

จากตัวอย่างข้อมูลที่ขาดหายของผู้ป่วยในปี 2018 และ 2020 จะมีบางคุณลักษณะที่เก็บข้อมูลแตกต่างกัน คือ ในปี 2018 มีการเก็บข้อมูล ในปี 2020 ไม่มีการเก็บข้อมูล โดยข้อมูลที่ขาดหายจะเป็นคุณลักษณะที่คล้ายกันในแต่ละผู้ป่วยในแต่ละปี ซึ่งทำให้การเติมข้อมูลที่ขาดหายจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางสถิติ คือ Min, Max, Mean และ Median ประกอบเพื่อการเติมข้อมูลที่ขาดหายในแต่ละคุณลักษณะของผู้ป่วย โดยจะใช้ข้อมูลทางสถิติที่ได้มีการหาไว้แล้วของแต่ละคุณลักษณะเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดในการเติมข้อมูล ซึ่งจะดูเฉพาะคุณลักษณะที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว

name	min	max	mean	median
glucose_value	40.00	400.00	166.69	157.00
finger_value	46.00	586.00	189.94	182.00
basal_value	0.65	1.25	0.92	0.88
bolus_dose	0.10	9.30	3.70	3.50
bwz_carb_input	0.00	70.00	27.62	30.00
meal_carbs	8.00	75.00	35.92	30.00
heart_value	46.00	189.00	73.59	69.00
gsr_value	0.00	21.60	0.37	0.00
skint_value	72.32	95.90	87.62	87.44
steps_value	0.00	127.00	3.15	0.00
bsleep_quality	86.00	97.00	92.72	93.00

ภาพประกอบ 24 ค่าสถิติของแต่ละคุณลักษณะ ของผู้ป่วย ID559

จากภาพประกอบ 24 ค่าสถิติของแต่ละคุณลักษณะ หลังจากการคัดเลือกคุณลักษณะแล้ว จะได้คุณลักษณะที่จะนำมาใช้ในการเรียนรู้ของแบบจำลอง ซึ่งจะพิจารณาค่าทางสถิติ Min, Max, Mean และ Median ก่อนการเติมข้อมูล เพื่อให้สามารถเติมข้อมูลได้โดยหลีกเลี่ยงค่าศูนย์ ซึ่งอาจจะพบได้ในบางคุณลักษณะ

เมื่อพิจารณาปริมาณข้อมูลที่ขาดหายในแต่ละคุณลักษณะ การเติมข้อมูลที่ขาดหาย จะเติมด้วย Interpolate แบบ forward เนื่องจากข้อมูลก่อนหน้าจะมีผลกับข้อมูลที่ตามมา กล่าวคือ

ข้อมูลจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาเปลี่ยนไป จากนั้นข้อมูลจะเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากปัจจัยบางอย่าง เช่น อาหารที่รับประทาน

timestamp	glucose_value	hour	finger_value	basal_value	bolus_dose	bwz_carb_input
2021-12-07 01:17:00	101.0	1.0	NaN	NaN	NaN	NaN
2021-12-07 01:22:00	98.0	1.0	NaN	NaN	NaN	NaN
2021-12-07 01:27:00	104.0	1.0	NaN	NaN	NaN	NaN
2021-12-07 01:32:00	112.0	1.0	NaN	NaN	NaN	NaN
2021-12-07 01:37:00	120.0	1.0	NaN	NaN	NaN	NaN
...
2022-01-17 23:36:00	161.0	23.0	136.0	1.25	2.4	36.0
2022-01-17 23:41:00	164.0	23.0	136.0	1.25	2.4	36.0
2022-01-17 23:46:00	168.0	23.0	136.0	1.25	2.4	36.0
2022-01-17 23:51:00	172.0	23.0	136.0	1.25	2.4	36.0
2022-01-17 23:56:00	176.0	23.0	136.0	1.25	2.4	36.0

ภาพประกอบ 25 ตัวอย่างข้อมูลที่ไม่สามารถเติมได้ด้วย Interpolate แบบ forward

จากภาพประกอบ 25 ตัวอย่างข้อมูลที่ไม่สามารถเติมได้ด้วย Interpolate แบบ forward พบว่า หลังจากการเติมข้อมูลในครั้งแรกจะยังคงมีข้อมูลบางส่วนที่ไม่สามารถเติมได้ เนื่องจากไม่มีข้อมูลก่อนหน้า

การเติมข้อมูลส่วนที่ไม่สามารถเติมได้ด้วย Interpolate แบบ forward จะใช้การเติมข้อมูลด้วยค่ามัธยฐาน (Median) เพื่อหลีกเลี่ยงการให้ความสำคัญกับค่าข้อมูลที่ผิดปกติ โดยเมื่อพิจารณาข้อมูลจากค่าข้อมูลทางสถิติ จะพบว่า ในบางคุณลักษณะจะมีค่ามัธยฐาน (Median) เป็นศูนย์ ทำให้ไม่สามารถเติมข้อมูลได้ โดยคุณลักษณะที่มีค่ามัธยฐาน (Median) เป็นศูนย์ เช่น คุณลักษณะ gsr_value และ steps_value ดังที่แสดงในภาพประกอบ 24 ทั้งสองคุณลักษณะของผู้ป่วย ID559 จะใช้การเติมข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) เพื่อไม่ให้เกิดการเติมข้อมูลมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองในการทำนายผล

3.3 อัลกอริทึมและแบบจำลองของการทำนาย (Algorithm and Model)

งานวิจัยนี้ เลือกใช้แบบจำลอง Long Short-Term Memory (LSTM) และ Support Vector Regression (SVR) เพื่อการทำนายผลระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้า โดยใช้การวัด

ประสิทธิภาพแบบจำลองด้วย MAE , MSE, MAPE และ RMSE เป็นตัวชี้วัดของแบบจำลอง โดยชุดข้อมูลที่นำมาใช้กับแบบจำลองเป็นข้อมูลแบบอนุกรมเวลา เพื่อการสร้างแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับข้อมูล และเพื่อให้สามารถการเลือกคุณลักษณะที่มีความเกี่ยวข้องกับข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือดมากที่สุด โดยการสร้างแบบจำลองทำนายระดับน้ำตาลในเลือด จะใช้แบบจำลอง SVR และ LSTM ทำนายผลล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 นาที และ 60 นาที โดยใช้ข้อมูล 5, 10, 15 และ 20 ลำดับย้อนหลัง สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลอง ให้กับผู้ป่วยแต่ละราย เป็นจำนวนทั้งหมด 12 คน โดยการแยกสร้างแบบจำลองสำหรับผู้ป่วยแต่ละรายเพื่อลดการคลาดเคลื่อนจากตัวแปรอื่นๆ ของผู้ป่วย ที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น เพศ อายุ น้ำหนัก โรคประจำตัวอื่นๆ



บทที่ 4

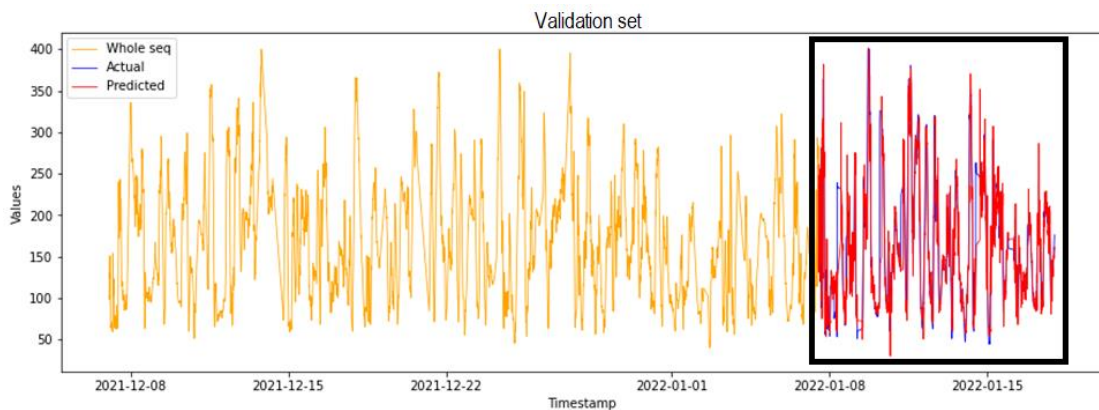
ผลการวิจัย

การวิจัยการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 และ 60 นาที จากชุดข้อมูล OhioT1DM โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนต่าง ๆ รวมถึงการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง เพื่อให้สามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งได้ผลการวิจัย ดังนี้

1. ผลลัพธ์ของการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM
2. ผลลัพธ์การเปรียบเทียบการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดระหว่างแบบจำลอง SVR และ LSTM จากชุดทดสอบที่แตกต่างกัน

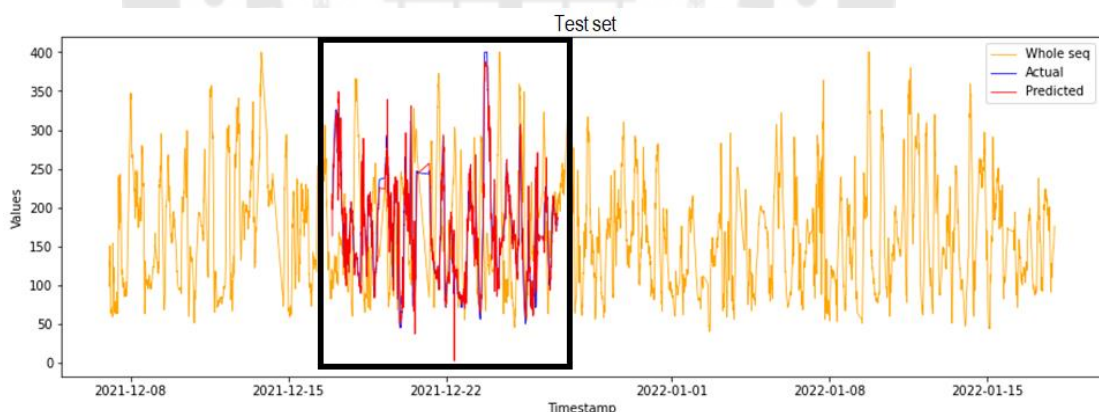
4.1 ผลลัพธ์ของการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM

การสร้างแบบจำลองด้วยอัลกอริทึม SVR และ LSTM จากชุดข้อมูลต้นฉบับ OhioT1DM ที่มีการแบ่งข้อมูลชุดเรียนรู้ (Training set) และ ชุดทดสอบจริง (Test set) มาแล้ว โดยมีการแบ่งข้อมูลให้เป็นข้อมูลชุดตรวจสอบ (Validation set) เป็นจำนวน 25% จากข้อมูลของข้อมูลชุดเรียนรู้ในผู้ป่วยแต่ละราย เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลของการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อใช้ ชุดตรวจสอบ และ ชุดทดสอบจริง ที่มีความแตกต่างกันในช่วงเวลาของข้อมูลสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยการใช้ข้อมูล 5, 10, 15 และ 20 ลำดับย้อนหลัง เพื่อทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 และ 60 นาที ด้วยการจับคู่คุณลักษณะ Glucose กับคุณลักษณะอื่นๆ ที่มีอยู่ ซึ่งจะแตกต่างกันไปในผู้ป่วยแต่ละราย จากนั้นใช้แบบจำลอง SVR เพื่อทำนายสำหรับแต่ละคู่คุณลักษณะ ซึ่งจะได้เป็นการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดด้วย 2 คุณลักษณะในการเรียนรู้ของเครื่อง เมื่อได้ผลการทำนายของคุณลักษณะที่สามารถทำนายได้ดีที่สุดแล้ว จะนำมาจับคู่คุณลักษณะที่เหลือ เพื่อให้ได้ 3 คุณลักษณะในการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด เมื่อได้ผลการทำนายด้วยแบบจำลอง ด้วยการหาคุณลักษณะที่เหมาะสมกับแบบจำลองและเหมาะสมกับข้อมูลของผู้ป่วยแต่ละราย ผลของการทำงานที่ได้จะนำมาวัดประสิทธิภาพด้วย MAE , MSE, MAPE และ RMSE



ภาพประกอบ 26 ช่วงเวลาของข้อมูลชุดตรวจสอบ (Validation set)

จากภาพประกอบ 26 ช่วงเวลาของข้อมูลชุดตรวจสอบ (Validation set) พบว่า ข้อมูลจะอยู่ในช่วงท้าย ซึ่งได้มาจากผู้วิจัยทำการตัดแบ่งข้อมูล 25% ของข้อมูลชุดเรียนรู้ (Training set) ทั้งหมด โดยมีการตัดแบ่งที่ปริมาณเท่ากันในผู้ป่วยแต่ละราย เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการทำนาย เมื่อข้อมูลทดสอบมีความแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 27 ช่วงเวลาของข้อมูลชุดทดสอบจริง (Test set)

จากภาพประกอบ 27 ช่วงเวลาของข้อมูลชุดทดสอบจริง (Test set) พบว่า ข้อมูลจะอยู่ในช่วงต้นก่อนไปช่วงกลางของข้อมูลชุดเรียนรู้ (Training set) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการแบ่งมาแล้วจากต้นฉบับ ปริมาณของข้อมูลจะอยู่ที่ 21% - 26% ของข้อมูลชุดเรียนรู้ทั้งหมด มีปริมาณแตกต่างกันในผู้ป่วยแต่ละราย ข้อมูลที่ได้นำไปใช้ในการเปรียบเทียบผลการทำนาย เมื่อข้อมูลทดสอบมีความแตกต่างกัน

ตาราง 18 ผลการทำนายของ SVR ที่ระยะเวลา 30 นาที

SVR 30 Minute												
PID	Validation set						Test set					
	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name
559	5	18.96	886.09	0.12	29.77	BG	5	14.20	484.99	0.09	22.02	BG
	20	20.04	986.83	0.13	31.41	BG + FB	5	15.19	527.12	0.10	22.96	BG + FB
	5	21.56	1051.3	0.14	32.42	BG + FB + H	5	16.53	579.30	0.10	24.07	BG + FB + H
563	5	12.46	338.88	0.09	18.41	BG	5	13.50	438.02	0.08	20.93	BG
	5	12.94	435.77	0.09	20.88	BG + FB	5	13.37	386.09	0.08	19.65	BG + FB
	5	13.65	467.86	0.10	21.63	BG + FB + BC	5	15.14	425.00	0.10	20.62	BG + FB + BC
570	5	12.53	326.98	0.07	18.08	BG	5	12.11	307.77	0.06	17.54	BG
	5	12.90	340.32	0.07	18.45	BG + FB	10	12.09	297.81	0.06	17.26	BG + FB
	5	15.43	447.19	0.09	21.15	BG + FB + BL	5	15.86	466.74	0.09	21.60	BG + FB + GSR
575	5	16.51	674.24	0.11	25.97	BG	20	15.78	617.53	0.11	24.85	BG
	5	17.51	794.15	0.12	28.18	BG + FB	5	16.65	654.44	0.11	25.58	BG + FB
	5	17.93	746.77	0.13	27.33	BG + FB + H	20	47.26	3497.7	0.35	59.14	BG + FB + STP
588	5	14.45	407.15	0.09	20.18	BG	10	13.87	367.86	0.08	19.18	BG
	5	14.45	406.67	0.09	20.17	BG + FB	5	14.00	372.95	0.08	19.31	BG + FB
	5	17.36	580.35	0.11	24.09	BG + FB + H	10	16.05	491.82	0.10	22.18	BG + FB + MC
591	5	22.74	1375.17	0.16	37.08	BG	5	15.87	497.81	0.12	22.31	BG
	5	23.30	1363.75	0.17	36.93	BG + FB	10	17.38	551.45	0.13	23.48	BG + FB
	10	25.47	1450.54	0.17	38.09	BG + FB + SKT	5	20.08	678.61	0.16	26.05	BG + FB + SKT
540	15	15.21	470.26	0.12	21.69	BG	10	17.47	604.91	0.12	24.59	BG
	5	16.21	491.00	0.13	22.16	BG + SKT	5	18.64	638.62	0.13	25.27	BG + FB
	5	16.83	2477.83	0.13	23.21	BG + FB + GSR	5	19.66	698.48	0.14	26.43	BG + FB + GSR
544	5	13.78	405.73	0.10	20.14	BG	15	12.86	346.97	0.08	18.63	BG
	5	13.89	404.94	0.10	20.12	BG + FB	5	13.04	356.36	0.09	18.88	BG + FB
	5	40.90	4546.2	0.29	46.84	BG + BL + AC	5	13.68	363.88	0.09	19.08	BG + FB + MC
552	5	16.09	519.6	0.11	22.79	BG	20	12.72	304.97	0.10	17.46	BG
	5	16.13	510.14	0.11	22.59	BG + FB	5	12.98	316.39	0.10	17.79	BG + FB
	5	17.15	562.14	0.11	23.71	BG + FB + MC	10	15.85	468.52	0.12	21.65	BG + FB + MC
567	5	19.35	928.15	0.12	30.47	BG	15	16.19	696.45	0.11	26.39	BG
	5	19.69	931.54	0.12	30.52	BG + FB	5	17.15	725.61	0.12	26.94	BG + FB
	5	33.37	3956.75	0.21	44.56	BG + SKT + BL	5	21.65	990.66	0.14	31.47	BG + FB + GSR
584	5	24.41	1430.24	0.14	37.82	BG	5	17.13	742.35	0.11	27.25	BG
	10	25.52	1617.08	0.14	40.21	BG + FB	5	17.53	765.86	0.11	27.67	BG + FB
	5	27.90	1645.54	0.17	40.57	BG + FB + MC	10	23.95	1166.7	0.16	34.16	BG + SKT + GSR
596	5	10.41	229.59	0.08	15.15	BG	5	12.35	319.36	0.09	17.87	BG
	10	11.99	278.88	0.09	16.70	BG + FB	5	13.76	405.94	0.10	20.15	BG + SKT
	5	11.65	263.83	0.09	16.24	BG + SKT + MC	5	13.37	379.98	0.10	19.49	BG + SKT + FB

*Accelerator = AC, Basal = BS, Bolus Carb = BC, Bolus Dose = BL, Fingertick = FB, Glucose = BG, GSR = GSR, Heart Rate = H, Meal Carb = MC, Skin Temperature = SKT, Steps = STP, Temporary Basal = TB

จากตาราง 18 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง SVR ที่ระยะเวลา 30 นาที พบว่าแบบจำลอง SVR จะใช้ข้อมูลที่ 5 ลำดับย้อนหลังเป็นส่วนใหญ่ ผลลัพธ์การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชุดทดสอบความแม่นยำจะพบว่าชุดตรวจสอบ (Validation set) มี

ผลลัพธ์การทำนายที่แม่นยำกว่า ได้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีที่สุดที่ ID596 มีค่า 10.41 MAE, 229.59 MSE, 15.15 RMSE ที่ ID570 มีค่า 7% MAPE และ ชุดทดสอบจริง (Test set) ได้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีที่สุดที่ ID570 มีค่า 12.09 MAE, 297.81 MSE, 6% MAPE, 17.26 RMSE

ตาราง 19 ผลการทำนายของ SVR ที่ระยะเวลา 60 นาที

SVR 60 Minute												
PID	Validation set						Test set					
	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name
559	5	33.35	2375.81	0.22	48.74	BG	10	26.50	1401.05	0.18	37.43	BG
	15	34.44	2427.51	0.23	49.27	BG + FB	5	27.33	1392.68	0.18	37.32	BG + FB
	5	36.21	2541.18	0.25	50.41	BG + FB + H	5	28.90	1526.35	0.19	39.07	BG + FB + H
563	5	22.59	990.04	0.16	31.47	BG	5	23.32	1233.02	0.14	35.11	BG
	5	23.20	1062.28	0.16	32.59	BG + FB	5	22.59	966.59	0.14	31.09	BG + FB
	5	26.04	1327.90	0.20	36.44	BG + FB + BC	5	24.30	1053.08	0.15	32.45	BG + FB + BC
570	5	22.10	912.04	0.13	30.20	BG	10	21.31	866.28	0.11	29.43	BG
	5	22.69	933.58	0.14	30.55	BG + FB	20	21.46	846.93	0.11	29.10	BG + FB
	15	27.61	1227.26	0.16	35.03	BG + FB + H	5	25.55	1143.10	0.14	33.81	BG + FB + GSR
575	10	31.39	1915.47	0.21	43.77	BG	5	26.97	1450.33	0.19	38.08	BG
	5	33.04	2218.08	0.22	47.10	BG + FB	5	27.93	1468.81	0.20	38.33	BG + FB
	10	33.53	2157.21	0.25	46.45	BG + FB + H	20	47.75	3566.82	0.36	59.72	BG + FB + STP
588	5	23.07	986.29	0.14	31.41	BG	10	23.68	1036.62	0.14	32.20	BG
	10	23.22	1004.33	0.14	31.69	BG + FB	5	24.14	1078.22	0.14	32.84	BG + FB
	20	24.92	1114.26	0.16	33.38	BG + FB + H	10	25.29	1178.71	0.15	34.33	BG + FB + MC
591	5	33.49	2415.25	0.24	49.15	BG	5	25.93	1191.72	0.21	34.52	BG
	5	33.80	2273.39	0.25	47.68	BG + FB	20	28.04	1265.90	0.23	35.58	BG + FB
	5	34.33	2171.99	0.26	46.61	BG + FB + SKT	5	31.30	1559.08	0.27	39.49	BG + FB + SKT
540	15	27.45	1331.30	0.23	36.49	BG	5	32.61	1924.25	0.22	43.87	BG
	10	28.06	1349.42	0.23	36.73	BG + SKT	20	33.68	1960.85	0.23	44.28	BG + FB
	5	30.27	2683.80	0.23	40.01	BG + FB + GSR	5	34.83	2076.04	0.24	45.56	BG + FB + SKT
544	5	24.28	1114.28	0.17	33.38	BG	15	23.51	1068.91	0.15	32.69	BG
	5	24.57	1139.52	0.17	33.76	BG + FB	5	23.77	1075.61	0.16	32.80	BG + FB
	20	43.97	2843.02	0.32	53.32	BG + BL + GSR	5	24.96	1092.52	0.17	33.05	BG + FB + MC
552	5	27.32	1399.32	0.18	37.41	BG	20	22.97	958.61	0.18	30.96	BG
	5	27.85	1452.32	0.18	38.11	BG + FB	5	23.35	976.95	0.18	31.26	BG + FB
	5	27.95	1427.60	0.18	37.78	BG + FB + MC	10	25.81	1123.24	0.20	33.51	BG + FB + MC
567	5	32.21	2176.16	0.19	46.65	BG	15	29.17	1754.31	0.21	41.88	BG
	5	33.14	2190.97	0.2	46.81	BG + FB	10	30.52	1761.29	0.23	41.97	BG + FB
	15	73.02	8888.44	0.39	94.28	BG + SKT+ AC	5	33.21	1995.9	0.24	44.68	BG + FB + GSR
584	5	39.07	2886.67	0.22	53.73	BG	10	29.11	1715.16	0.20	41.41	BG
	10	39.48	3064.34	0.23	55.36	BG + FB	5	29.69	1763.48	0.20	41.99	BG + FB
	20	53.29	4850.74	0.34	69.65	BG + SKT+ GSR	20	44.17	3379.17	0.30	58.13	BG + FB + SKT
596	10	18.26	624.42	0.13	24.99	BG	5	21.33	862.69	0.16	29.37	BG
	5	20.76	779.04	0.16	27.91	BG + MC	5	22.86	1008.57	0.16	31.76	BG + SKT
	5	21.73	839.85	0.17	28.98	BG + MC + SKT	5	25.38	1282.69	0.18	35.81	BG + SKT + FB

จากตาราง 19 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง SVR ที่ระยะเวลา 60 นาที พบว่าแบบจำลอง SVR จะใช้ข้อมูลที่ 5 ลำดับย้อนหลังเป็นส่วนใหญ่ ผลลัพธ์การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ชุดทดสอบความแม่นยำจะพบว่าชุดตรวจสอบ (Validation set) มีผลลัพธ์การทำนายที่แม่นยำกว่า ได้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีที่สุดที่ ID596 มีค่า 18.26 MAE, 624.42 MSE, 13% MAPE, 24.99 RMSE และ ชุดทดสอบจริง (Test set) ได้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีที่สุดที่ ID570 เป็น 21.31 MAE, 846.93 MSE, 11% MAPE, 29.1 RMSE

ตาราง 20 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 30 นาที

LSTM 30 Minute												
PID	Validation set						Test set					
	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name
559	20	20.78	956.59	0.14	30.93	BG	10	16.15	555.87	0.10	23.58	BG
	10	20.88	1016.04	0.13	31.88	BG + H	15	16.98	558.82	0.12	23.64	BG + FB
	15	35.89	2885.89	0.28	53.72	BG + SQ + BC	5	17.01	550.99	0.12	23.47	BG + FB + H
563	20	13.08	452.91	0.09	21.28	BG	5	13.25	356.15	0.08	18.87	BG
	5	13.03	446.17	0.09	21.12	BG + H	15	13.12	351.68	0.08	18.75	BG + FB
	15	13.11	453.29	0.09	21.29	BG + FB + BC	5	13.46	382.95	0.08	19.57	BG + FB + BC
570	15	13.35	364.16	0.08	19.08	BG	15	12.25	302.74	0.06	17.40	BG
	5	13.48	369.04	0.08	19.21	BG + FB	15	12.60	315.57	0.06	17.76	BG + FB
	15	13.88	382.75	0.08	19.56	BG + FB + BC	10	24.66	952.26	0.14	30.86	BG + FB + BL
575	15	18.71	750.92	0.12	27.4	BG	5	16.61	587.81	0.12	24.24	BG
	20	17.55	725.62	0.12	26.94	BG + H	10	16.50	606.04	0.11	24.62	BG + FB
	5	18.99	801.22	0.13	28.31	BG + FB + MC	20	21.73	924.86	0.15	30.41	BG + FB + H
588	10	14.81	420.72	0.10	20.51	BG	15	14.50	378.64	0.09	19.46	BG
	10	14.79	426.43	0.09	20.65	BG + FB	15	14.34	383.84	0.09	19.59	BG + FB
	10	15.11	435.13	0.10	20.86	BG + FB + MC	5	15.31	417.64	0.10	20.44	BG + FB + MC
591	20	22.11	1255.82	0.16	35.44	BG	10	17.61	535.42	0.15	23.14	BG
	5	23.13	1384.74	0.16	37.21	BG + FB	5	16.83	521.19	0.13	22.83	BG + FB
	5	24.05	1316.92	0.17	36.29	BG + FB + H	5	22.83	875.86	0.17	29.59	BG + FB + SKT
540	10	15.65	508.02	0.12	22.54	BG	15	18.33	644.53	0.13	25.39	BG
	5	17.10	517.96	0.14	22.76	BG + FB	5	18.89	736.75	0.12	27.14	BG + FB
	15	15.88	502.93	0.13	22.43	BG + FB + MC	15	19.05	727.83	0.13	26.98	BG + FB + MC
544	5	14.39	405.47	0.10	20.14	BG	10	13.74	355.50	0.09	18.85	BG
	5	14.43	403.89	0.10	20.10	BG + FB	5	13.20	372.07	0.08	19.29	BG + FB
	20	48.00	6937.9	0.37	57.93	BG + BL + SKT	10	14.12	365.87	0.10	19.13	BG + FB + MC
552	15	16.56	528.44	0.11	22.99	BG	20	13.42	325.38	0.10	18.04	BG
	20	16.76	517.75	0.11	22.75	BG + FB	5	13.90	342.36	0.10	18.5	BG + MC
	10	16.68	526.47	0.11	22.94	BG + FB + MC	10	14.22	332.97	0.11	18.25	BG + MC + FB

ตาราง 20 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 30 นาที (ต่อ)

LSTM 30 Minute												
PID	Validation set						Test set					
	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name
567	20	19.59	883.01	0.12	29.72	BG	15	17.69	744.97	0.13	27.29	BG
	5	20.23	897.62	0.13	29.96	BG + FB	5	17.63	727.42	0.13	26.97	BG + FB
584	20	28.90	1438.41	0.22	37.93	BG + SKT + BL	5	84.66	12036.3	0.51	109.71	BG + FB + SKT
	15	25.01	1547.95	0.14	39.34	BG	10	18.07	743.21	0.12	27.26	BG
596	15	25.27	1538.93	0.14	39.23	BG + FB	15	21.86	1109.95	0.17	33.32	BG + FB
	20	28.16	1711.03	0.16	41.36	BG + SKT + MC	20	22.53	975.35	0.15	31.23	BG + SKT + MC
596	15	12.07	264.40	0.09	16.26	BG	20	13.45	356.36	0.10	18.88	BG
	10	12.11	272.37	0.09	16.50	BG + FB	20	13.45	355.90	0.10	18.87	BG + FB
	5	32.48	2926.30	0.25	40.99	BG + FB + BL	20	17.30	554.09	0.12	23.54	BG + FB + MC

จากตาราง 20 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 30 นาที พบว่าแบบจำลอง LSTM จะใช้ข้อมูลที่ 5 และ 15 ลำดับย้อนหลังเป็นส่วนใหญ่ ผลลัพธ์การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ชุดทดสอบความแม่นยำจะพบว่าชุดตรวจสอบ (Validation set) มีผลลัพธ์การทำนายที่แม่นยำกว่า ได้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีที่สุดที่ ID596 มีค่า 12.07 MAE, 264.4 MSE, 16.26 RMSE ที่ ID570 มีค่า 8% MAPE และ ชุดทดสอบจริง (Test set) ได้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีที่สุดที่ ID570 มีค่า 12.25 MAE, 302.74 MSE, 6% MAPE, 17.4 RMSE

ตาราง 21 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 60 นาที

LSTM 60 Minute												
PID	Validation set						Test set					
	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name
559	10	34.62	2312.69	0.24	48.09	BG	15	26.98	1350.39	0.19	36.75	BG
	5	34.81	2428.09	0.23	49.28	BG + FB	20	26.68	1318.76	0.19	36.31	BG + FB
563	15	62.96	7794.20	0.50	88.28	BG + SQ + BC	15	27.66	1392.62	0.20	37.32	BG + FB + H
	15	22.51	1068.90	0.16	32.69	BG	10	21.96	908.36	0.14	30.14	BG
570	5	23.27	1099.00	0.17	33.15	BG + BC	10	21.91	887.21	0.14	29.79	BG + FB
	15	23.37	1061.02	0.18	32.57	BG + MC + FB	5	25.72	1152.66	0.16	33.95	BG + FB + MC
575	5	23.06	967.12	0.15	31.10	BG	20	21.08	807.38	0.11	28.41	BG
	10	23.05	981.22	0.14	31.32	BG + FB	20	21.16	822.02	0.11	28.67	BG + FB
	5	28.27	1255.92	0.16	35.44	BG + FB + BC	20	36.40	2108.44	0.18	45.92	BG + FB + BL
575	20	31.70	1909.14	0.22	43.69	BG	15	27.83	1378.54	0.20	37.13	BG
	20	31.51	1939.22	0.23	44.04	BG + H	10	28.28	1445.12	0.20	38.01	BG + FB
575	10	34.11	2217.55	0.22	47.09	BG + FB + MC	15	37.78	2434.00	0.31	49.34	BG + FB + SKT

ตาราง 21 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 60 นาที (ต่อ)

LSTM 60 Minute												
PID	Validation set						Test set					
	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name
588	20	23.23	988.49	0.15	31.44	BG	20	23.80	1025.97	0.15	32.03	BG
	10	22.88	971.38	0.15	31.17	BG + FB	20	23.56	1013.25	0.14	31.83	BG + FB
	15	23.42	1010.97	0.15	31.80	BG + FB + H	10	27.60	1333.62	0.16	36.52	BG + FB + H
591	15	31.95	2084.29	0.23	45.65	BG	20	26.75	1186.46	0.22	34.44	BG
	20	32.41	2158.98	0.23	46.47	BG + FB	10	26.85	1210.26	0.22	34.79	BG + FB
	10	32.80	2149.49	0.23	46.36	BG + FB + STP	5	35.73	2342.03	0.27	48.39	BG + FB + SKT
540	5	28.43	1356.38	0.23	36.83	BG	10	32.36	1851.99	0.23	43.03	BG
	5	28.96	1450.63	0.23	38.09	BG + FB	10	32.81	1833.85	0.24	42.82	BG + MC
	20	27.47	1350.89	0.22	36.75	BG + FB + TB	20	37.03	2260.66	0.27	47.55	BG + MC + FB
544	5	25.01	1089.82	0.18	33.01	BG	10	24.35	1064.39	0.16	32.63	BG
	20	25.60	1120.24	0.19	33.47	BG + FB	5	24.19	1041.27	0.17	32.27	BG + FB
	15	41.69	26341.59	0.32	50.76	BG + BL + SKT	10	26.00	1132.29	0.18	33.65	BG + FB + MC
552	10	26.86	1296.79	0.19	36.01	BG	5	24.31	988.96	0.19	31.45	BG
	20	27.08	1320.73	0.19	36.34	BG + FB	15	24.55	1069.26	0.18	32.70	BG + FB
	5	30.54	1601.08	0.20	40.01	BG + FB + MC	5	27.01	1140.74	0.22	33.77	BG + FB + MC
567	15	32.83	2132.41	0.20	46.18	BG	5	30.20	1769.25	0.22	42.06	BG
	10	34.45	2176.52	0.24	46.65	BG + FB	5	32.19	1796.15	0.26	42.38	BG + FB
	10	43.34	3230.61	0.33	56.84	BG + SKT + BL	15	47.05	3622.97	0.45	60.19	BG + SKT + BL
584	20	38.94	2867.44	0.23	53.55	BG	15	30.35	1726.40	0.20	41.55	BG
	10	39.04	2962.45	0.22	54.43	BG + FB	20	34.74	2242.08	0.24	47.35	BG + FB
	20	40.31	3237.32	0.23	56.90	BG + FB + SKT	20	37.58	2659.98	0.25	51.58	BG + SKT + MC
596	20	20.78	720.52	0.16	26.84	BG	20	22.61	927.82	0.16	30.46	BG
	10	20.54	720.55	0.16	26.84	BG + FB	15	22.70	969.89	0.17	31.14	BG + SKT
	20	30.95	1484.92	0.24	38.53	BG + FB + BL	5	25.04	1148.69	0.19	33.89	BG + FB + GSR

จากตาราง 21 ผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 60 นาที พบว่าแบบจำลอง LSTM จะใช้ข้อมูลที่ 20 ลำดับย้อนหลังเป็นส่วนใหญ่ ผลลัพธ์การทำนายระดับน้ำตาลในเลือดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ชุดทดสอบความแม่นยำจะพบว่าชุดตรวจสอบ (Validation set) ได้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีที่สุดที่ ID596 มีค่า 20.54 MAE, 720.52 MSE, 26.84 RMSE ที่ ID570 มีค่า 14% MAPE และชุดทดสอบจริง (Test set) มีผลลัพธ์การทำนายที่แม่นยำกว่า ได้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีที่สุดที่ ID570 มีค่า 21.08 MAE, 807.38 MSE, 11% MAPE, 28.41 RMSE

4.2 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดระหว่างแบบจำลอง SVR และ LSTM จากชุดข้อมูลทดสอบที่แตกต่างกัน

ผลการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM ที่มีความแตกต่างกันในด้านจำนวนข้อมูลย้อนหลังที่ใช้และความแม่นยำ โดยแบบจำลอง SVR จะใช้ปริมาณข้อมูลย้อนหลังที่น้อยกว่า เพื่อใช้ในการทำนายที่แม่นยำกว่าที่ระยะเวลา 30 นาที แบบจำลอง LSTM ที่ใช้ปริมาณข้อมูลย้อนหลังที่มากกว่า เพื่อใช้ในการทำนายที่แม่นยำกว่าที่ระยะเวลา 60 นาที โดยมีผลการทำนายของแต่ละแบบจำลองที่มีความแม่นยำที่แตกต่างกันเมื่อใช้ชุดทดสอบความแม่นยำที่ต่างกัน เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกันได้ ดังนี้

ตาราง 22 เปรียบเทียบการใช้ข้อมูลย้อนหลังของแบบจำลอง LSTM และ SVR

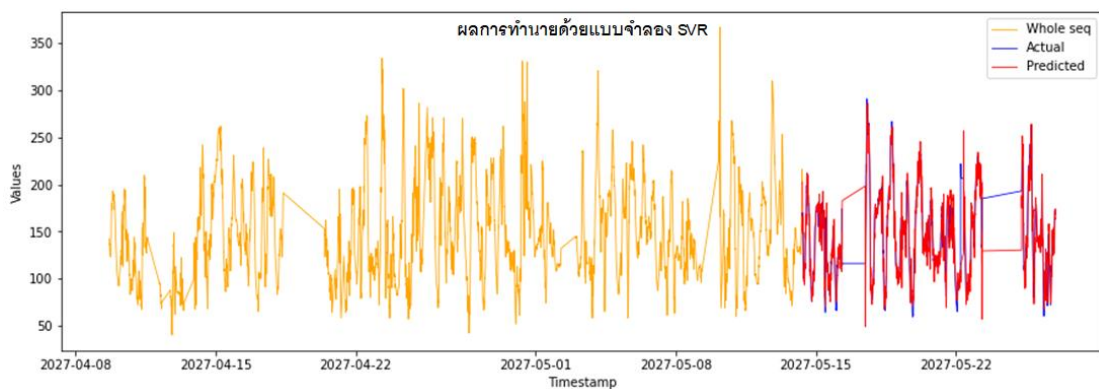
Prev	30M				60M			
	Validate set		Test set		Validate set		Test set	
	SVR	LSTM	SVR	LSTM	SVR	LSTM	SVR	LSTM
5	31	10	24	12	23	8	21	8
10	3	7	7	8	6	10	7	9
15	1	10	2	10	4	7	2	8
20	1	9	3	6	3	11	6	11

จากตาราง 22 เปรียบเทียบการใช้ข้อมูลย้อนหลังของแบบจำลอง SVR และ LSTM พบว่า ความถี่ในการใช้ข้อมูล 5 ลำดับย้อนหลัง มากที่สุด คือ แบบจำลอง SVR ที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อทดสอบด้วยชุดตรวจสอบ (Validation set) เป็นจำนวน 31 ครั้ง ความถี่ในการใช้ข้อมูล 10 ลำดับย้อนหลัง มากที่สุดคือแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set) เป็นจำนวน 9 ครั้ง ความถี่ในการใช้ข้อมูล 15 ลำดับย้อนหลัง มากที่สุดคือแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set) เป็นจำนวน 10 ครั้ง ความถี่ในการใช้ข้อมูล 20 ลำดับย้อนหลัง มากที่สุดคือแบบจำลอง LSTM ที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set) เป็นจำนวน 11 ครั้ง

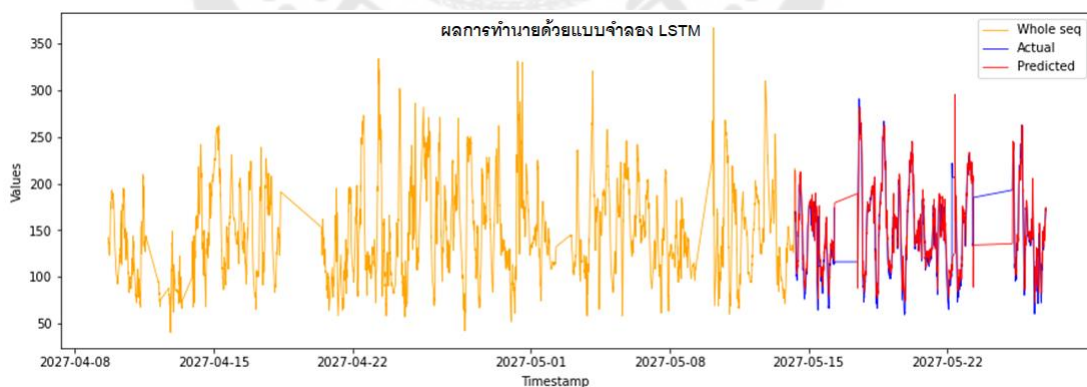
ตาราง 23 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) ที่ระยะเวลา 30 นาที

30 Minute												
Validation set												
PID	SVR						LSTM					
	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name
559	5	18.96	886.09	0.12	29.77	BG	20	20.78	956.59	0.14	30.93	BG
	20	20.04	986.83	0.13	31.41	BG + FB	10	20.88	1016.04	0.13	31.88	BG + H
	5	21.56	1051.3	0.14	32.42	BG + FB + H	15	35.89	2885.89	0.28	53.72	BG + SQ + BC
563	5	12.46	338.88	0.09	18.41	BG	20	13.08	452.91	0.09	21.28	BG
	5	12.94	435.77	0.09	20.88	BG + FB	5	13.03	446.17	0.09	21.12	BG + H
	5	13.65	467.86	0.10	21.63	BG + FB + BC	15	13.11	453.29	0.09	21.29	BG + FB + BC
570	5	12.53	326.98	0.07	18.08	BG	15	13.35	364.16	0.08	19.08	BG
	5	12.90	340.32	0.07	18.45	BG + FB	5	13.48	369.04	0.08	19.21	BG + FB
	5	15.43	447.19	0.09	21.15	BG + FB + BL	15	13.88	382.75	0.08	19.56	BG + FB + BC
575	5	16.51	674.24	0.11	25.97	BG	15	18.71	750.92	0.12	27.40	BG
	5	17.51	794.15	0.12	28.18	BG + FB	20	17.55	725.62	0.12	26.94	BG + H
	5	17.93	746.77	0.13	27.33	BG + FB + H	5	18.99	801.22	0.13	28.31	BG + FB + MC
588	5	14.45	407.15	0.09	20.18	BG	10	14.81	420.72	0.10	20.51	BG
	5	14.45	406.67	0.09	20.17	BG + FB	10	14.79	426.43	0.09	20.65	BG + FB
	5	17.36	580.35	0.11	24.09	BG + FB + H	10	15.11	435.13	0.10	20.86	BG + FB + MC
591	5	22.74	1375.17	0.16	37.08	BG	20	22.11	1255.82	0.16	35.44	BG
	5	23.30	1363.75	0.17	36.93	BG + FB	5	23.13	1384.74	0.16	37.21	BG + FB
	10	25.47	1450.54	0.17	38.09	BG + FB + SKT	5	24.05	1316.92	0.17	36.29	BG + FB + H
540	15	15.21	470.26	0.12	21.69	BG	10	15.65	508.02	0.12	22.54	BG
	5	16.21	491.00	0.13	22.16	BG + SKT	5	17.10	517.96	0.14	22.76	BG + FB
	5	16.83	2477.83	0.13	23.21	BG + FB + GSR	15	15.88	502.93	0.13	22.43	BG + FB + MC
544	5	13.78	405.73	0.10	20.14	BG	5	14.39	405.47	0.10	20.14	BG
	5	13.89	404.94	0.10	20.12	BG + FB	5	14.43	403.89	0.10	20.10	BG + FB
	5	40.90	4546.2	0.29	46.84	BG + BL + AC	20	48.00	6937.9	0.37	57.93	BG + BL + SKT
552	5	16.09	519.6	0.11	22.79	BG	15	16.56	528.44	0.11	22.99	BG
	5	16.13	510.14	0.11	22.59	BG + FB	20	16.76	517.75	0.11	22.75	BG + FB
	5	17.15	562.14	0.11	23.71	BG + FB + MC	10	16.68	526.47	0.11	22.94	BG + FB + MC
567	5	19.35	928.15	0.12	30.47	BG	20	19.59	883.01	0.12	29.72	BG
	5	19.69	931.54	0.12	30.52	BG + FB	5	20.23	897.62	0.13	29.96	BG + FB
	5	33.37	3956.75	0.21	44.56	BG + SKT + BL	20	28.90	1438.41	0.22	37.93	BG + SKT + BL
584	5	24.41	1430.24	0.14	37.82	BG	15	25.01	1547.95	0.14	39.34	BG
	10	25.52	1617.08	0.14	40.21	BG + FB	15	25.27	1538.93	0.14	39.23	BG + FB
	5	27.90	1645.54	0.17	40.57	BG + FB + MC	20	28.16	1711.03	0.16	41.36	BG + SKT + MC
596	5	10.41	229.59	0.08	15.15	BG	15	12.07	264.40	0.09	16.26	BG
	10	11.99	278.88	0.09	16.70	BG + FB	10	12.11	272.37	0.09	16.50	BG + FB
	5	11.65	263.83	0.09	16.24	BG + SKT + MC	5	32.48	2926.30	0.25	40.99	BG + FB + BL

จากตาราง 23 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) ที่ระยะเวลา 30 นาที พบว่า แบบจำลอง SVR สามารถทำนายได้แม่นยำกว่า LSTM โดยมีผลการทำนายที่ดีที่สุดของแบบจำลอง SVR ที่ ID596 มีค่า 10.41 MAE, 15.15 RMSE โดยใช้ข้อมูล 5 ลำดับย้อนหลัง มีผลการทำนายที่ดีที่สุดของแบบจำลอง LSTM ที่ ID596 มีค่า 12.11 MAE, 16.50 RMSE โดยใช้ข้อมูล 10 ลำดับย้อนหลัง



ภาพประกอบ 28 แสดงผลการทำนายด้วย SVR ที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set)

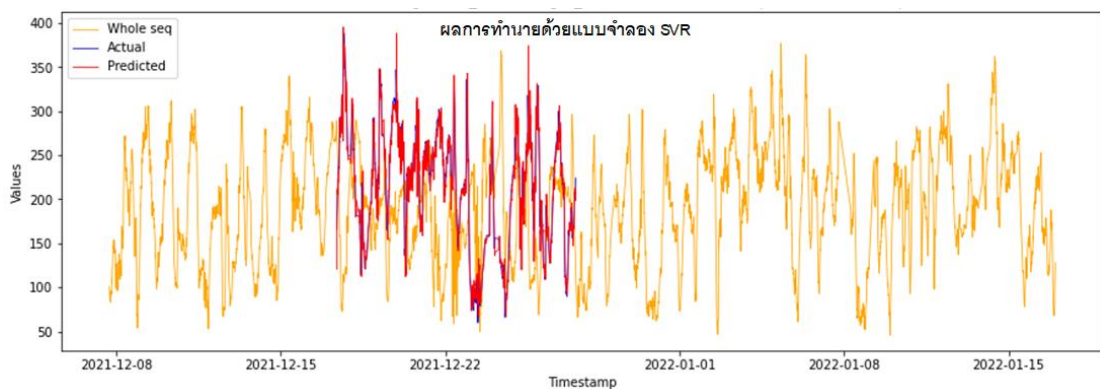


ภาพประกอบ 29 แสดงผลการทำนายด้วย LSTM ที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set)

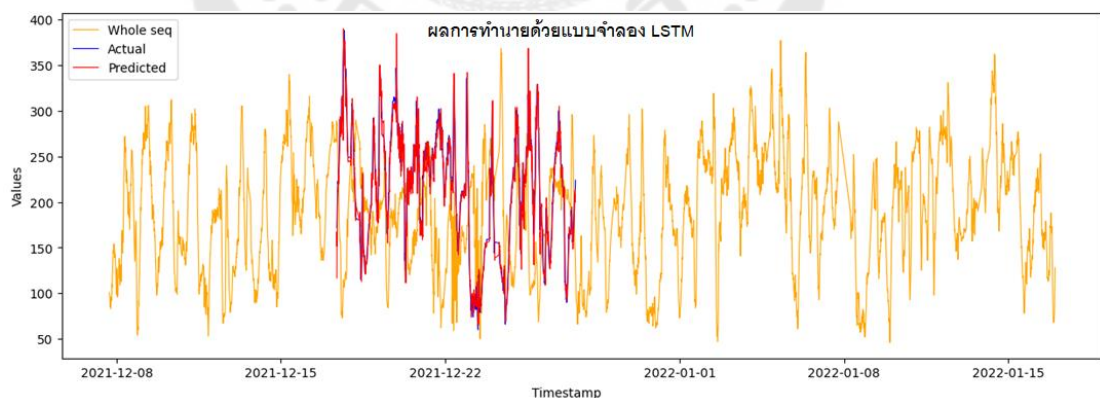
ตาราง 24 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set) ที่ระยะเวลา 30 นาที

30 Minute												
Test set												
PID	SVR						LSTM					
	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name
559	5	14.20	484.99	0.09	22.02	BG	10	16.15	555.87	0.10	23.58	BG
	5	15.19	527.12	0.10	22.96	BG + FB	15	16.98	558.82	0.12	23.64	BG + FB
	5	16.53	579.30	0.10	24.07	BG + FB + H	5	17.01	550.99	0.12	23.47	BG + FB + H
563	5	13.50	438.02	0.08	20.93	BG	5	13.25	356.15	0.08	18.87	BG
	5	13.37	386.09	0.08	19.65	BG + FB	15	13.12	351.68	0.08	18.75	BG + FB
	5	15.14	425.00	0.10	20.62	BG + FB + BC	5	13.46	382.95	0.08	19.57	BG + FB + BC
570	5	12.11	307.77	0.06	17.54	BG	15	12.25	302.74	0.06	17.40	BG
	10	12.09	297.81	0.06	17.26	BG + FB	15	12.60	315.57	0.06	17.76	BG + FB
	5	15.86	466.74	0.09	21.60	BG + FB + GSR	10	24.66	952.26	0.14	30.86	BG + FB + BL
575	20	15.78	617.53	0.11	24.85	BG	5	16.61	587.81	0.12	24.24	BG
	5	16.65	654.44	0.11	25.58	BG + FB	10	16.50	606.04	0.11	24.62	BG + FB
	20	47.26	3497.70	0.35	59.14	BG + FB + STP	20	21.73	924.86	0.15	30.41	BG + FB + H
588	10	13.87	367.86	0.08	19.18	BG	15	14.5	378.64	0.09	19.46	BG
	5	14.00	372.95	0.08	19.31	BG + FB	15	14.34	383.84	0.09	19.59	BG + FB
	10	16.05	491.82	0.10	22.18	BG + FB + MC	5	15.31	417.64	0.10	20.44	BG + FB + MC
591	5	15.87	497.81	0.12	22.31	BG	10	17.61	535.42	0.15	23.14	BG
	10	17.38	551.45	0.13	23.48	BG + FB	5	16.83	521.19	0.13	22.83	BG + FB
	5	20.08	678.61	0.16	26.05	BG + FB + SKT	5	22.83	875.86	0.17	29.59	BG + FB + SKT
540	10	17.47	604.91	0.12	24.59	BG	15	18.33	644.53	0.13	25.39	BG
	5	18.64	638.62	0.13	25.27	BG + FB	5	18.89	736.75	0.12	27.14	BG + FB
	5	19.66	698.48	0.14	26.43	BG + FB + GSR	5	35.69	2302.76	0.21	47.99	BG + FB + SKT
544	15	12.86	346.97	0.08	18.63	BG	10	13.74	372.07	0.08	18.85	BG
	5	13.04	356.36	0.09	18.88	BG + FB	5	13.20	727.83	0.13	19.29	BG + FB
	5	13.68	363.88	0.09	19.08	BG + FB + MC	15	19.05	355.50	0.09	26.98	BG + FB + MC
552	20	12.72	304.97	0.10	17.46	BG	20	13.42	342.36	0.10	18.04	BG
	5	12.98	316.39	0.10	17.79	BG + FB	5	13.90	365.87	0.10	18.5	BG + MC
	10	15.85	468.52	0.12	21.65	BG + FB + MC	10	14.12	325.38	0.10	19.13	BG + MC + FB
567	15	16.19	696.45	0.11	26.39	BG	15	17.69	727.42	0.13	27.29	BG
	5	17.15	725.61	0.12	26.94	BG + FB	5	17.63	332.97	0.11	26.97	BG + FB
	5	21.65	990.66	0.14	31.47	BG + FB + GSR	10	14.22	744.97	0.13	18.25	BG + FB + MC
584	5	17.13	742.35	0.11	27.25	BG	10	18.07	743.21	0.12	27.26	BG
	5	17.53	765.86	0.11	27.67	BG + FB	15	21.86	1109.95	0.17	33.32	BG + FB
	10	23.95	1166.70	0.16	34.16	BG + SKT + GSR	20	22.53	975.35	0.15	31.23	BG + SKT + MC
596	5	12.35	319.36	0.09	17.87	BG	20	13.45	356.36	0.10	18.88	BG
	5	13.76	405.94	0.10	20.15	BG + SKT	20	13.45	355.90	0.10	18.87	BG + FB
	5	13.37	379.98	0.10	19.49	BG + SKT + FB	20	17.30	554.09	0.12	23.54	BG + FB + MC

จากตาราง 24 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ทดสอบจริง (Test set) ที่ระยะเวลา 30 นาที พบว่า แบบจำลอง SVR สามารถทำนายได้แม่นยำกว่า LSTM โดยมีผลการทำนายดีที่สุดของแบบจำลอง SVR ที่ ID570 มีค่า 12.09 MAE, 17.26 RMSE โดยใช้ข้อมูลที่ 10 ลำดับย้อนหลัง มีผลการทำนายดีที่สุดของแบบจำลอง LSTM ที่ ID570 มีค่า 12.25 MAE, 17.40 RMSE โดยใช้ข้อมูลที่ 15 ลำดับย้อนหลัง



ภาพประกอบ 30 แสดงผลการทำนายด้วย SVR ที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set)

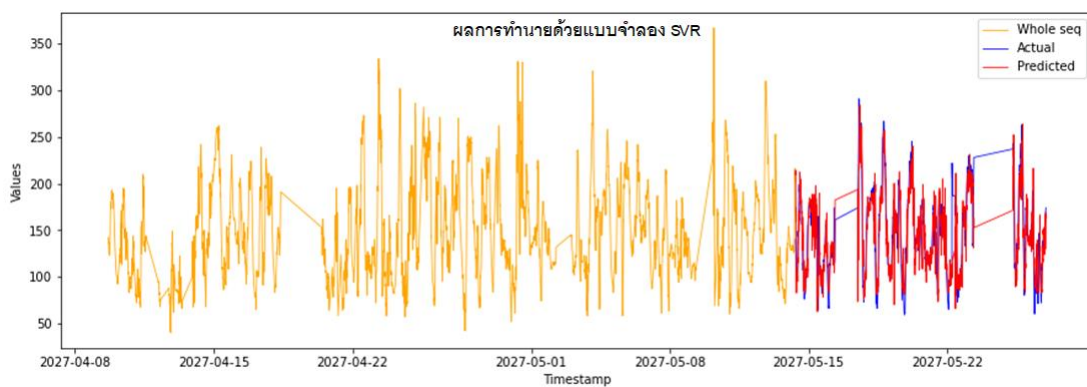


ภาพประกอบ 31 แสดงผลการทำนายด้วย LSTM ที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set)

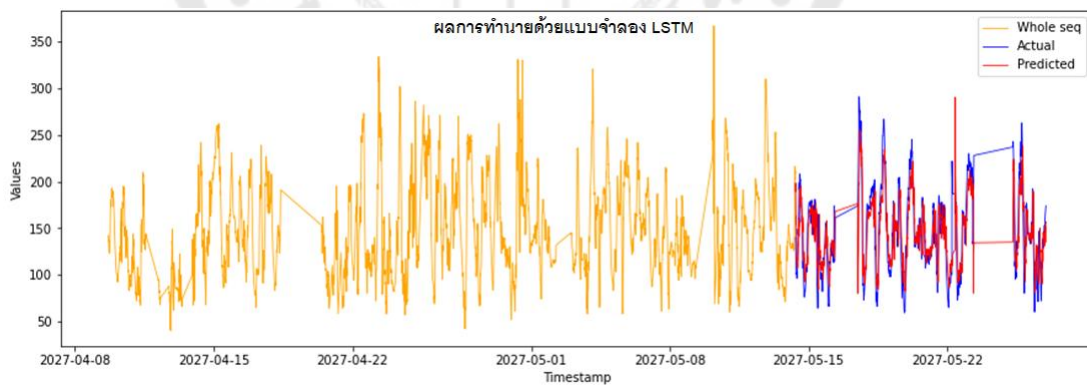
ตาราง 25 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) ระยะเวลา 60 นาที

60 Minute												
Validation set												
PID	SVR						LSTM					
	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name
559	5	33.35	2375.81	0.22	48.74	BG	10	34.62	2312.69	0.24	48.09	BG
	15	34.44	2427.51	0.23	49.27	BG + FB	5	34.81	2428.09	0.23	49.28	BG + FB
	5	36.21	2541.18	0.25	50.41	BG + FB + H	15	62.96	7794.20	0.50	88.28	BG + SQ + BC
563	5	22.59	990.04	0.16	31.47	BG	15	22.51	1068.90	0.16	32.69	BG
	5	23.20	1062.28	0.16	32.59	BG + FB	5	23.27	1099.00	0.17	33.15	BG + BC
	5	26.04	1327.90	0.20	36.44	BG + FB + BC	15	23.37	1061.02	0.18	32.57	BG + FB + MC
570	5	22.10	912.04	0.13	30.20	BG	5	23.06	967.12	0.15	31.1	BG
	5	22.69	933.58	0.14	30.55	BG + FB	10	23.05	981.22	0.14	31.32	BG + FB
	15	27.61	1227.26	0.16	35.03	BG + FB + H	5	28.27	1255.92	0.16	35.44	BG + FB + BC
575	10	31.39	1915.47	0.21	43.77	BG	20	31.70	1909.14	0.22	43.69	BG
	5	33.04	2218.08	0.22	47.10	BG + FB	20	31.51	1939.22	0.23	44.04	BG + H
	10	33.53	2157.21	0.25	46.45	BG + FB + H	10	34.11	2217.55	0.22	47.09	BG + FB + MC
588	5	23.07	986.29	0.14	31.41	BG	20	23.23	988.49	0.15	31.44	BG
	10	23.22	1004.33	0.14	31.69	BG + FB	10	22.88	971.38	0.15	31.17	BG + FB
	20	24.92	1114.26	0.16	33.38	BG + FB + H	15	23.42	1010.97	0.15	31.8	BG + FB + H
591	5	33.49	2415.25	0.24	49.15	BG	15	31.95	2084.29	0.23	45.65	BG
	5	33.80	2273.39	0.25	47.68	BG + FB	20	32.41	2158.98	0.23	46.47	BG + FB
	5	34.33	2171.99	0.26	46.61	BG + FB + SKT	10	32.80	2149.49	0.23	46.36	BG + FB + STP
540	15	27.45	1331.30	0.23	36.49	BG	5	28.43	1356.38	0.23	36.83	BG
	10	28.06	1349.42	0.23	36.73	BG + SKT	5	28.96	1450.63	0.23	38.09	BG + FB
	5	30.27	2683.80	0.23	40.01	BG + FB + GSR	20	27.47	1350.89	0.22	36.75	BG + FB + TB
544	5	24.28	1114.28	0.17	33.38	BG	5	25.01	1089.82	0.18	33.01	BG
	5	24.57	1139.52	0.17	33.76	BG + FB	20	25.60	1120.24	0.19	33.47	BG + FB
	20	43.97	2843.02	0.32	53.32	BG + BL + GSR	15	41.69	26341.59	0.32	50.76	BG + BL + SKT
552	5	27.32	1399.32	0.18	37.41	BG	10	26.86	1296.79	0.19	36.01	BG
	5	27.85	1452.32	0.18	38.11	BG + FB	20	27.08	1320.73	0.19	36.34	BG + FB
	5	27.95	1427.60	0.18	37.78	BG + FB + MC	5	30.54	1601.08	0.20	40.01	BG + FB + MC
567	5	32.21	2176.16	0.19	46.65	BG	15	32.83	2132.41	0.20	46.18	BG
	5	33.14	2190.97	0.20	46.81	BG + FB	10	34.45	2176.52	0.24	46.65	BG + FB
	15	73.02	8888.44	0.39	94.28	BG + SKT+ AC	10	43.34	3230.61	0.33	56.84	BG + SKT + BL
584	5	39.07	2886.67	0.22	53.73	BG	20	38.94	2867.44	0.23	53.55	BG
	10	39.48	3064.34	0.23	55.36	BG + FB	10	39.04	2962.45	0.22	54.43	BG + FB
	20	53.29	4850.74	0.34	69.65	BG + SKT + GSR	20	40.31	3237.32	0.23	56.9	BG + FB + SKT
596	10	18.26	624.42	0.13	24.99	BG	20	20.78	720.52	0.16	26.84	BG
	5	20.76	779.04	0.16	27.91	BG + MC	10	20.54	720.55	0.16	26.84	BG + FB
	5	21.73	839.85	0.17	28.98	BG + MC + SKT	20	30.95	1484.92	0.24	38.53	BG + FB + BL

จากตาราง 25 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) ที่ระยะเวลา 60 นาที พบว่า แบบจำลอง SVR สามารถทำนายได้แม่นยำกว่า LSTM โดยมีผลการทำนายที่ดีที่สุดของแบบจำลอง SVR ที่ ID596 มีค่า 18.26 MAE, 24.99 RMSE โดยใช้ข้อมูลที่ 10 ลำดับย้อนหลัง มีผลการทำนายที่ดีที่สุดของแบบจำลอง LSTM ที่ ID596 มีค่า 20.54 MAE, 26.84 RMSE โดยใช้ข้อมูลที่ 10 ลำดับย้อนหลัง



ภาพประกอบ 32 แสดงผลการทำนายด้วย SVR ที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set)

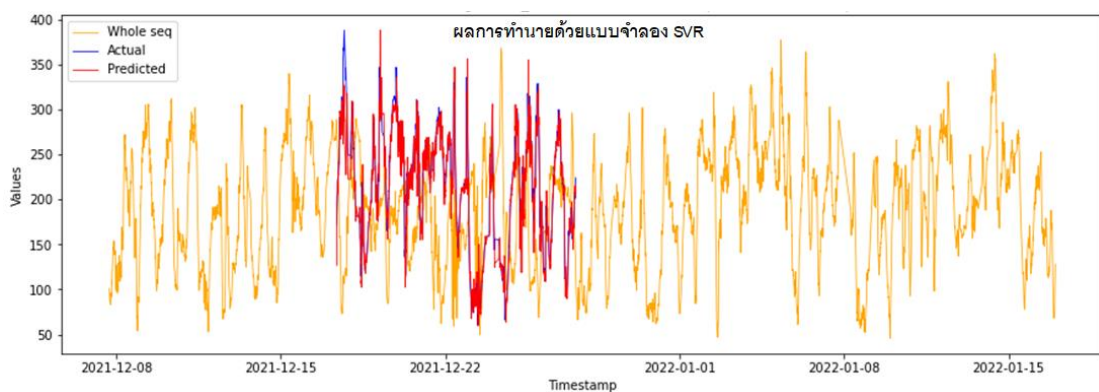


ภาพประกอบ 33 แสดงผลการทำนายด้วย LSTM ที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set)

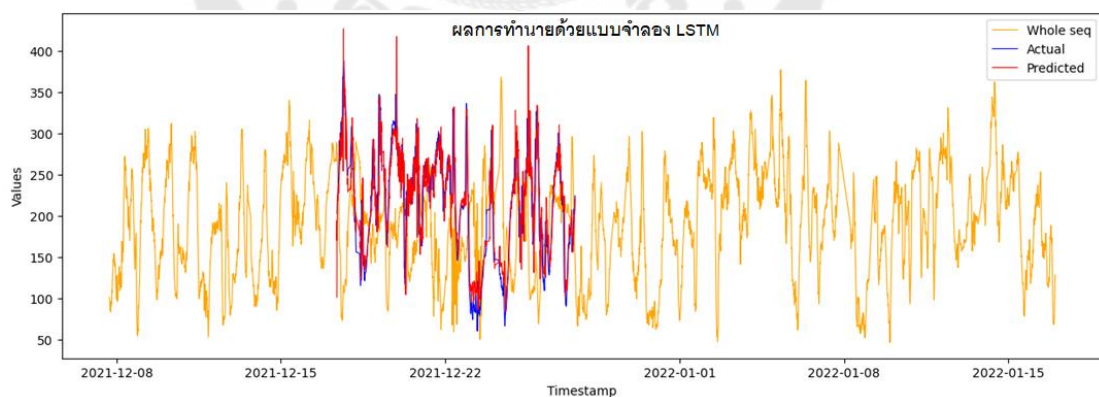
ตาราง 26 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set) ระยะเวลา 60 นาที

60 Minute												
Test set												
PID	SVR						LSTM					
	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature Name
559	10	26.50	1401.05	0.18	37.43	BG	15	26.98	1350.39	0.19	36.75	BG
	5	27.33	1392.68	0.18	37.32	BG + FB	20	26.68	1318.76	0.19	36.31	BG + FB
	5	28.90	1526.35	0.19	39.07	BG + FB + H	15	27.66	1392.62	0.20	37.32	BG + FB + H
563	5	23.32	1233.02	0.14	35.11	BG	10	21.96	908.36	0.14	30.14	BG
	5	22.59	966.59	0.14	31.09	BG + FB	10	21.91	887.21	0.14	29.79	BG + FB
	5	24.30	1053.08	0.15	32.45	BG + FB + BC	5	25.72	1152.66	0.16	33.95	BG + FB + MC
570	10	21.31	866.28	0.11	29.43	BG	20	21.08	807.38	0.11	28.41	BG
	20	21.46	846.93	0.11	29.10	BG + FB	20	21.16	822.02	0.11	28.67	BG + FB
	5	25.55	1143.10	0.14	33.81	BG + FB + GSR	20	36.40	2108.44	0.18	45.92	BG + FB + BL
575	5	26.97	1450.33	0.19	38.08	BG	15	27.83	1378.54	0.20	37.13	BG
	5	27.93	1468.81	0.20	38.33	BG + FB	10	28.28	1445.12	0.20	38.01	BG + FB
	20	47.75	3566.82	0.36	59.72	BG + FB + STP	15	37.78	2434.00	0.31	49.34	BG + FB + SKT
588	10	23.68	1036.62	0.14	32.20	BG	20	23.80	1025.97	0.15	32.03	BG
	5	24.14	1078.22	0.14	32.84	BG + FB	20	23.56	1013.25	0.14	31.83	BG + FB
	10	25.29	1178.71	0.15	34.33	BG + FB + MC	10	27.60	1333.62	0.16	36.52	BG + FB + H
591	5	25.93	1191.72	0.21	34.52	BG	20	26.75	1186.46	0.22	34.44	BG
	20	28.04	1265.90	0.23	35.58	BG + FB	10	26.85	1210.26	0.22	34.79	BG + FB
	5	31.30	1559.08	0.27	39.49	BG + FB + SKT	5	35.73	2342.03	0.27	48.39	BG + FB + SKT
540	5	32.61	1924.25	0.22	43.87	BG	10	32.36	1851.99	0.23	43.03	BG
	20	33.68	1960.85	0.23	44.28	BG + FB	10	32.81	1833.85	0.24	42.82	BG + MC
	5	34.83	2076.04	0.24	45.56	BG + FB + SKT	20	37.03	2260.66	0.27	47.55	BG + MC + FB
544	15	23.51	1068.91	0.15	32.69	BG	10	24.35	1064.39	0.16	32.63	BG
	5	23.77	1075.61	0.16	32.80	BG + FB	5	24.19	1041.27	0.17	32.27	BG + FB
	5	24.96	1092.52	0.17	33.05	BG + FB + MC	10	26.00	1132.29	0.18	33.65	BG + FB + MC
552	20	22.97	958.61	0.18	30.96	BG	5	24.31	988.96	0.19	31.45	BG
	5	23.35	976.95	0.18	31.26	BG + FB	15	24.55	1069.26	0.18	32.7	BG + FB
	10	25.81	1123.24	0.20	33.51	BG + FB + MC	5	27.01	1140.74	0.22	33.77	BG + FB + MC
567	15	29.17	1754.31	0.21	41.88	BG	5	30.20	1769.25	0.22	42.06	BG
	10	30.52	1761.29	0.23	41.97	BG + FB	5	32.19	1796.15	0.26	42.38	BG + FB
	5	33.21	1995.90	0.24	44.68	BG + FB + GSR	15	47.05	3622.97	0.45	60.19	BG + SKT + BL
584	10	29.11	1715.16	0.20	41.41	BG	15	30.35	1726.4	0.20	41.55	BG
	5	29.69	1763.48	0.20	41.99	BG + FB	20	34.74	2242.08	0.24	47.35	BG + FB
	20	44.17	3379.17	0.30	58.13	BG + FB + SKT	20	37.58	2659.98	0.25	51.58	BG + SKT + MC
596	5	21.33	862.69	0.16	29.37	BG	20	22.61	927.82	0.16	30.46	BG
	5	22.86	1008.57	0.16	31.76	BG + SKT	15	22.70	969.89	0.17	31.14	BG + SKT
	5	25.38	1282.69	0.18	35.81	BG + SKT + FB	5	25.04	1148.69	0.19	33.89	BG + GSR + FB

จากตาราง 26 เปรียบเทียบความแม่นยำของผลการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR และ LSTM เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set) ที่ระยะเวลา 60 นาที พบว่า แบบจำลอง LSTM สามารถทำนายได้แม่นยำกว่า SVR โดยมีผลการทำนายดีที่สุดของแบบจำลอง LSTM ที่ ID570 มีค่า 21.08 MAE, 28.41 RMSE โดยใช้ข้อมูลที่ 20 ลำดับย้อนหลัง มีผลการทำนายดีที่สุดของแบบจำลอง SVR ที่ ID570 มีค่า 21.31 MAE โดยใช้ข้อมูลที่ 10 ลำดับย้อนหลัง และ 29.10 RMSE โดยใช้ข้อมูลที่ 20 ลำดับย้อนหลัง



ภาพประกอบ 34 แสดงผลการทำนายด้วย SVR ที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set)



ภาพประกอบ 35 แสดงผลการทำนายด้วย LSTM ที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดทดสอบจริง (Test set)

ตาราง 27 ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การทำนายของผู้ป่วยทุกรายที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set)

30 Minute								
No. of Feature	SVR				LSTM			
	MAE	MSE	MAPE	RMSE	MAE	MSE	MAPE	RMSE
1	14.50	477.42	0.10	21.59	15.42	490.55	0.11	21.87
2	15.15	499.89	0.10	22.08	15.78	531.80	0.11	22.61
3	17.91	638.00	0.12	24.80	19.83	780.29	0.13	26.79

จากตาราง 27 ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การทำนายของผู้ป่วยทุกรายที่ระยะเวลา 30 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set) พบว่า แบบจำลอง SVR มีค่าเฉลี่ยของการทำนายที่ดีที่สุดด้วยการใช้ 1 คุณลักษณะในการเรียนรู้ข้อมูล มีค่า 14.50 MAE, 477.42 MSE, 10% MAPE และ 21.59 RMSE รองลงมาเป็นแบบจำลอง SVR มีค่าเฉลี่ยของการทำนายที่ดีที่สุดด้วยการใช้ 2 คุณลักษณะในการเรียนรู้ข้อมูล มีค่า 15.15 MAE, 499.89 MSE, 10% MAPE และ 22.08 RMSE และแบบจำลอง LSTM มีค่าเฉลี่ยของการทำนายน้อยที่สุดด้วยการใช้ 3 คุณลักษณะในการเรียนรู้ข้อมูล มีค่า 19.83 MAE, 780.29 MSE, 13% MAPE และ 26.79 RMSE

ตาราง 28 ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การทำนายของผู้ป่วยทุกรายที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set)

60 Minute								
No. of Feature	SVR				LSTM			
	MAE	MSE	MAPE	RMSE	MAE	MSE	MAPE	RMSE
1	25.53	25.53	25.53	25.53	26.05	1248.82	0.18	35.01
2	26.28	26.28	26.28	26.28	26.64	1304.09	0.19	35.67
3	29.88	29.88	29.88	29.88	32.55	1894.06	0.24	42.67

ตาราง 28 ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์การทำนายของผู้ป่วยทุกรายที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set) พบว่า แบบจำลอง SVR มีค่าเฉลี่ยของการทำนายที่ดีที่สุดด้วยการใช้ 1 คุณลักษณะในการเรียนรู้ข้อมูล มีค่า 25.53 MAE, 1288.58

MSE, 17% MAPE และ 35.58 RMSE รองลงมาเป็นแบบจำลอง LSTM มีค่าเฉลี่ยของการทำนายที่ดีที่สุดด้วยการใช้ 1 คุณลักษณะในการเรียนรู้ข้อมูล มีค่า 26.05 MAE, 1248.82MSE, 18% MAPE และ 35.01RMSE และแบบจำลอง LSTM มีค่าเฉลี่ยของการทำนายน้อยที่สุดด้วยการใช้ 3 คุณลักษณะในการเรียนรู้ข้อมูล มีค่า 32.55 MAE, 1894.06 MSE, 24% MAPE และ 42.67 RMSE

ตาราง 29 เปรียบเทียบผลงานวิจัยการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยในปี 2018

		2018						
Method	Research	559	563	570	575	588	591	
MAE	LSTM (This work)	16.15	13.25	12.25	16.61	14.50	17.61	
	SVR (This work)	14.20	13.50	12.11	15.78	13.87	15.87	
	Shuvo et al.	22.63	19.76	19.34	22.90	20.08	23.47	
	Dudukcu et al.	16.23	14.78	14.26	18.11	16.24	17.98	
MAPE	LSTM (This work)	0.10	0.08	0.06	0.12	0.09	0.15	
	SVR (This work)	0.09	0.08	0.06	0.11	0.08	0.12	
	Dudukcu et al.	0.10	0.92	0.72	0.13	0.97	0.14	
30 Minute	LSTM (This work)	23.58	18.87	17.40	24.24	19.46	23.14	
	SVR (This work)	22.02	20.93	17.54	24.85	19.18	22.31	
	Shuvo et al.	16.89	14.89	13.27	18.52	13.77	17.01	
	RMSE	Martinsson et al.	18.77	15.96	18.54	17.96	21.68	20.29
	Dudukcu et al.	22.86	21.89	19.39	27.18	22.17	24.18	
	Zhu et al.	21.72	20.17	18.03	24.80	21.42	24.22	
	Zhu et al.	23.50	18.30	20.40	23.60	20.60	23.50	
60 Minute	LSTM (This work)	26.98	21.96	21.08	27.83	23.80	26.75	
	MAE	SVR (This work)	26.50	23.32	21.31	26.97	23.68	25.93
	Shuvo et al.	22.63	19.76	19.34	22.90	20.08	23.47	
	LSTM (This work)	36.75	30.14	28.41	37.13	32.03	34.44	
	RMSE	SVR (This work)	37.43	35.11	29.43	38.08	32.20	34.52
Shuvo et al.	33.11	27.84	27.62	32.93	27.19	31.35		
Martinsson et al.	33.70	28.47	31.34	29.01	33.82	32.08		

จากตาราง 29 เปรียบเทียบผลงานวิจัยการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยในปี 2018 ผลการทำนายล่วงหน้าระยะเวลา 30 นาที ด้วยการวัดประสิทธิภาพแบบจำลองโดยการหาค่าความคลาดเคลื่อน พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทำนายกับงานวิจัยอื่น ด้วยการวัดประสิทธิภาพแบบ MAE งานวิจัยฉบับนี้ โดยการทำนายด้วยแบบจำลอง SVR มีผลการทำนายดี

ที่ดีที่สุดที่ ID570 มีค่า 12.11 MAE การวัดประสิทธิภาพแบบ MAPE งานวิจัยนี้ โดยการทำนายผล ด้วยแบบจำลอง SVR มีผลการทำนายดีที่สุดในทุกผู้ป่วย โดยมีผลการทำนายดีที่สุดที่ ID563 เป็น 8% MAPE การวัดประสิทธิภาพแบบ RMSE งานวิจัย Shuvo et al. (2023) มีผลการทำนายดีที่สุดที่ ID570 มีค่า 13.27 RMSE ที่ระยะเวลา 60 นาที ด้วยการวัดผลแบบ MAE งานวิจัย Shuvo et al. (2023) มีผลการทำนายดีที่สุดในทุกผู้ป่วย โดยมีผลการทำนายดีที่สุดที่ ID570 มีค่า 19.76 MAE การวัดประสิทธิภาพแบบ RMSE งานวิจัย Shuvo et al. (2023) มีผลการทำนายดีที่สุดที่ ID570 มีค่า 27.62 RMSE

ตาราง 30 เปรียบเทียบผลงานวิจัยการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยในปี 2020

		2020						
Method	Research	540	544	552	567	584	596	
MAE	LSTM (This work)	18.33	13.74	13.42	17.69	18.07	13.45	
	SVR (This work)	17.47	12.86	12.72	16.19	17.13	12.35	
	Yang et al.	15.24	11.68	12.73	14.70	15.42	11.26	
	Shuvo et al.	12.06	9.59	9.52	11.97	12.99	9.00	
	Dudukcu et al.	18.99	15.75	15.89	17.60	18.73	14.62	
	Rubin-Falcone et al.	14.77	11.20	11.51	13.78	14.47	11.26	
30 Minute	MAPE							
	LSTM (This work)	0.13	0.08	0.10	0.13	0.12	0.10	
	SVR (This work)	0.12	0.08	0.10	0.11	0.11	0.09	
RMSE	Dudukcu et al.	0.13	0.98	0.12	0.13	0.12	0.11	
	LSTM (This work)	25.39	18.85	18.04	27.29	27.26	18.88	
	SVR (This work)	24.59	18.63	17.46	26.39	27.25	17.87	
	Yang et al.	21.00	16.69	16.92	21.93	21.88	15.87	
	Shuvo et al.	17.35	14.07	13.17	20.17	20.56	13.00	
	Dudukcu et al.	25.89	21.11	19.93	24.63	25.42	20.10	
60 Minute	Rubin-Falcone et al.	20.10	15.97	15.74	20.70	20.57	16.24	
	MAE							
	LSTM (This work)	32.36	24.35	24.31	30.20	30.35	22.61	
	SVR (This work)	32.61	23.51	22.97	29.17	29.11	21.33	
	Yang et al.	28.68	19.52	23.34	27.32	25.36	18.78	
	Shuvo et al.	26.87	19.35	20.77	26.06	25.54	18.03	
RMSE	Rubin-Falcone et al.	29.51	19.01	22.78	25.84	24.72	19.73	
	LSTM (This work)	43.03	32.63	31.45	42.06	41.55	30.46	
	SVR (This work)	43.87	32.69	30.96	41.88	41.41	29.37	
	Yang et al.	38.22	27.42	30.11	37.16	33.91	25.36	
	Shuvo et al.	36.13	27.25	27.71	37.69	36.64	25.26	
	Rubin-Falcone et al.	38.43	26.01	29.17	35.99	33.26	27.11	

จากตาราง 30 เปรียบเทียบผลงานวิจัยการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยในปี 2020 ผลการทำนายที่ระยะเวลา 30 นาที ด้วยการวัดประสิทธิภาพแบบจำลองหาค่าความคลาดเคลื่อน พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทำนายกับงานวิจัยอื่น ด้วยการวัดประสิทธิภาพแบบ MAE งานวิจัย Shuvo et al. (2023) มีผลการทำนายดีที่สุดในทุกผู้ป่วย โดยมีผลการทำนายดีที่สุดที่ ID596 มีค่า 9.00 MAE การวัดประสิทธิภาพแบบ MAPE งานวิจัยนี้ โดยการทำนายผลด้วยแบบจำลอง SVR มีผลการทำนายดีที่สุดในทุกผู้ป่วย โดยมีผลการทำนายดีที่สุดที่ ID544 เป็น 8% MAPE การวัดประสิทธิภาพแบบ RMSE งานวิจัย Shuvo et al. (2023) มีผลการทำนายดีที่สุดในทุกผู้ป่วย โดยมีผลการทำนายดีที่สุดที่ ID596 มีค่า 13.00 RMSE ที่ระยะเวลา 60 นาที ด้วยการวัดผลแบบ MAE งานวิจัย Shuvo et al. (2023) มีผลการทำนายดีที่สุดที่ ID596 มีค่า 18.03 MAE การวัดประสิทธิภาพแบบ RMSE งานวิจัย Rubin-Falcone et al. (2020) มีผลการทำนายดีที่สุดที่ ID544 เป็น 26.01 RMSE

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 1 จากชุดข้อมูล OhioT1DM โดยใช้ข้อมูลที่ 5, 10, 15 และ 20 ลำดับย้อนหลัง เพื่อการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 และ 60 นาที ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ผู้วิจัยได้วัดประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลอง SVR และ LSTM ด้วยชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set) เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลลัพธ์ในแต่ละแบบจำลองและแต่ละแบบของชุดการทดสอบประสิทธิภาพ ซึ่งได้สรุปผลโดยแบ่งเป็นหัวข้อ ดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษากการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดจากชุดข้อมูล OhioT1DM ที่เก็บข้อมูลจากผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 1 จำนวน 12 คน ในปี 2018 และปี 2020 โดยมีข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือดที่เก็บข้อมูลด้วยเครื่อง CGM (Continuous Glucose Monitoring) ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง โดยผู้ป่วยแต่ละรายจะมีข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือดที่มีปริมาณหนึ่งหมื่นรายการโดยเฉลี่ยและข้อมูลคุณลักษณะอื่นๆ ที่มีปริมาณแตกต่างกันในผู้ป่วยแต่ละราย คุณลักษณะนอกเหนือจากระดับน้ำตาลในเลือดที่นำมาใช้ในการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อหาความสำคัญของคุณลักษณะที่มีผลต่อการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดให้ได้ผลการทำนายที่ดีที่สุด ผลของการทำนายที่ได้มีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล เนื่องมาจากความแตกต่างในด้านปริมาณของข้อมูลคุณลักษณะอื่นๆ นอกเหนือจากระดับน้ำตาลในเลือด (Glucose) ที่มีปริมาณน้อยในบางราย รวมถึงความแตกต่างกันในด้านของเพศสภาพและสภาวะสุขภาพที่มีความเฉพาะตัวของแต่ละบุคคล ผลการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าทีละระยะเวลา 30 และ 60 นาที เมื่อใช้ข้อมูล 5, 10, 15 และ 20 ลำดับย้อนหลัง โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องด้วยแบบจำลองที่สร้างจากอัลกอริทึม Long-Short Term Memory (LSTM) และ Support Vector Regression (SVR) ที่มีความเหมาะสมในการทำงานกับข้อมูลแบบอนุกรมเวลา ในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดและการเปรียบเทียบผลลัพธ์การทำงานระหว่างแบบจำลองพร้อมทั้งการวิเคราะห์ความสำคัญของคุณลักษณะที่มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด จากข้อมูลที่ได้จะมีการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ

ตารางซึ่งเหมาะสมกับการวิเคราะห์ข้อมูล การสำรวจการกระจายตัวและปริมาณของข้อมูลเพื่อการคัดเลือกคุณลักษณะที่ซ้ำซ้อนและมีปริมาณน้อยออก และการหาค่าทางสถิติเพื่อใช้ในเติมข้อมูลที่ขาดหาย โดยชุดข้อมูล OhioT1DM จะมีการแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Data) และ ชุดทดสอบจริง (Test set) ที่ใช้สำหรับการทดสอบมาแล้วจากต้นฉบับ โดยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบที่ได้มีการจัดแบ่งไว้มีปริมาณ 21%-25% เมื่อเทียบกับชุดข้อมูลการเรียนรู้ และในการทดลองในรายงานฉบับนี้ได้มีการนำข้อมูลที่ผ่านการจัดการข้อมูลแล้วเพื่อนำเข้าแบบจำลองมาทำการแบ่งข้อมูลในปริมาณ 25% จากชุดข้อมูลการเรียนรู้ เพื่อให้เป็นชุดตรวจสอบ (Validation set) เพื่อการเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลองก่อนนำแบบจำลองไปทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบจริง (Test set) โดยแบบจำลองที่ได้มีการวัดประสิทธิภาพด้วย MAE, MSE, MAPE และ RMSE จากผลลัพธ์การทำนาย พบว่า แบบจำลอง SVR จะใช้ข้อมูลที่ 5 ลำดับย้อนหลังเป็นส่วนใหญ่ เพื่อทำนายล่วงหน้าทีระยะเวลา 30 นาที ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด มีค่า 10.41 MAE, 229.59 MSE, 8% MAPE และ 15.15 RMSE แบบจำลอง LSTM จะใช้ข้อมูล 5 ลำดับย้อนหลัง เพื่อทำนายล่วงหน้าทีระยะเวลา 30 นาทีและใช้ข้อมูล 15 ลำดับย้อนหลัง เพื่อทำนายล่วงหน้าทีระยะเวลา 60 นาที ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด มีค่า 12.07 MAE, 264.40 MSE, 9% MAPE และ 16.26 RMSE แสดงปริมาณการใช้ข้อมูลย้อนหลังโดยเฉลี่ยระหว่างการใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set) ของแต่ละแบบจำลอง ดังนี้

ตาราง 31 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ข้อมูลย้อนหลังของแบบจำลอง SVR และ LSTM โดยเฉลี่ยระหว่างการใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set)

Previous steps	30 Minute		60 Minute	
	SVR	LSTM	SVR	LSTM
5	27.5	11	22	8
10	5	7.5	6.5	9.5
15	1.5	10	3	7.5
20	2	7.5	4.5	11

จากตาราง 31 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ข้อมูลย้อนหลังของแบบจำลอง SVR และ LSTM โดยเฉลี่ยระหว่างการใช้ชุดตรวจสอบ (Validation set) และชุดทดสอบจริง (Test set) พบว่า ความถี่ในการใช้ปริมาณข้อมูลย้อนหลังที่แบบจำลอง SVR ใช้มากที่สุดในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดทีระยะเวลา 30 นาที คือ ใช้ข้อมูล 5 ลำดับย้อนหลัง เป็นจำนวน 27.5 ครั้ง และทีระยะเวลา 60 นาทีเป็นจำนวน 22 ครั้ง ความถี่ในการใช้ปริมาณข้อมูลย้อนหลังที่แบบจำลอง

LSTM ใช้มากที่สุดในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดที่ระยะเวลา 30 นาที คือ ข้อมูล 5 ลำดับย้อนหลัง เป็นจำนวน 11 ครั้ง และที่ระยะเวลา 60 นาทีใช้ ข้อมูล 10 ลำดับย้อนหลัง เป็นจำนวน 9.5 ครั้ง

การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลอง เมื่อนำผลการทำนายที่ดีที่สุดของแต่ละจำนวนคุณลักษณะมาวิเคราะห์ พบว่า คุณลักษณะที่มีความเกี่ยวข้องกับระดับน้ำตาลในเลือดมากที่สุด คือ คุณลักษณะ finger_value ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการเจาะวัดระดับน้ำตาลในเลือดจากปลายนิ้ว ซึ่งทำให้ผลที่ได้มีความเกี่ยวข้องกันมากกว่าคุณลักษณะอื่นๆ เนื่องจากเป็นข้อมูลประเภทเดียวกัน เมื่อวิเคราะห์คุณลักษณะที่มีความเกี่ยวข้องรองลงมา พบว่าแต่ละแบบจำลองและการใช้ชุดการทดสอบมีคุณลักษณะที่มีผลต่อการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดแตกต่างกัน โดยคุณลักษณะที่มีผลต่อระดับน้ำตาลมากที่สุดโดยภาพรวม คือ คุณลักษณะ Meal carbs รองลงมาเป็นคุณลักษณะ Skin temperature, Heart rate, Bolus dose, GSR, Bolus carbs, Steps, Sleep Quality, Accelerator และน้อยที่สุด Temporary Basal

ตาราง 32 คุณลักษณะที่มีผลในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด ที่ระยะเวลา 30 นาที

Prediction 30 Minute					
LSTM			SVR		
Feature	Validation set	Test set	Feature	Validation set	Test set
Glucose	36	36	Glucose	36	36
Fingerstick	17	22	Fingerstick	20	22
Meal carbs	5	7	Skin temperature	4	4
Heart rate	4	2	Bolus dose	3	-
Skin temperature	3	3	Heart rate	3	1
Bolus carbs	3	1	Meal carbs	3	3
Bolus dose	3	1	Accelerator	1	-
Sleep quality	1	-	Bolus carbs	1	1
			GSR	1	4
			Steps	-	1

จากตาราง 32 คุณลักษณะที่มีผลในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด ที่ระยะเวลา 30 นาที โดยคุณลักษณะที่มีความถี่สูงที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครื่องนอกเหนือจาก Glucose และ Fingerstick ซึ่งเป็นข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือด จะส่งผลให้ได้ผลการทำนายที่ดีกว่าการใช้คุณลักษณะอื่น โดยการวัดผลด้วยชุดตรวจสอบ (Validation set) แบบจำลอง LSTM ได้

คุณลักษณะที่มีผลต่อการทำนายมากที่สุด คือ คุณลักษณะ Meal carb, Heart rate, Skin temperature, Bolus carbs, Bolus dose และ Sleep Quality ตามลำดับ แบบจำลอง SVR ได้คุณลักษณะที่มีผลต่อการทำนายมากที่สุด คือ คุณลักษณะ Skin temperature, Bolus dose , Heart rate, Meal carbs, Accelerator, Bolus carbs และ GSR ตามลำดับ เมื่อใช้การวัดผลด้วยชุดทดสอบจริง (Test set) แบบจำลอง LSTM ได้คุณลักษณะที่มีผลต่อการทำนายมากที่สุด คือ คุณลักษณะ Meal carb, Skin temperature, Heart rate, Bolus carb และ Bolus dose ตามลำดับ แบบจำลอง SVR ได้คุณลักษณะที่มีผลต่อการทำนายมากที่สุด คือ คุณลักษณะ Skin temperature, GSR, Meal carb, Heart rate, Bolus carb, Step ตามลำดับ

ตาราง 33 คุณลักษณะที่มีผลในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด ที่ระยะเวลา 60 นาที

Prediction 60 Minute					
Feature	LSTM		Feature	SVR	
	Validation set	Test set		Validation set	Test set
Glucose	36	36	Glucose	36	36
Fingerstick	23	20	Fingerstick	18	19
Skin temperature	5	5	Skin temperature	5	3
Meal carbs	3	6	Heart rate	4	2
GSR	2	1	Meal carbs	3	3
Bolus carbs	1	-	GSR	3	-
Heart rate	1	2	Accelerator	1	-
Steps	1	-	Bolus carbs	1	3
Bolus dose	-	2	Bolus dose	1	3
			Sleep Quality	-	1
			Steps	-	1
			Temporary Basal	-	1

จากตาราง 33 คุณลักษณะที่มีผลในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด ที่ระยะเวลา 60 นาที โดยคุณลักษณะที่มีความถี่สูงที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครื่องนอกเหนือจาก Glucose และ Fingerstick ซึ่งเป็นข้อมูลระดับน้ำตาลในเลือด จะส่งผลให้ได้ผลการทำนายที่ดีกว่าการใช้คุณลักษณะอื่นๆ โดยการวัดผลด้วยชุดตรวจสอบ (Validation set) แบบจำลอง LSTM ได้คุณลักษณะที่มีผลต่อการทำนายมากที่สุด คือ คุณลักษณะ Skin temperature, Meal carbs, GSR, Bolus carbs, Heart rate และ Steps ตามลำดับ แบบจำลอง SVR ได้คุณลักษณะที่มีผลต่อการทำนายมากที่สุด คือ คุณลักษณะ Skin temperature, Heart rate, Meal carbs, GSR, Accelerator, Bolus carbs และ Bolus dose ตามลำดับ โดยการวัดผลด้วยชุดทดสอบจริง (Test set) แบบจำลอง LSTM ได้

คุณลักษณะที่มีผลต่อการทำนายมากที่สุด คือ คุณลักษณะ Meal carb, Skin temperature, Heart rate, Bolus dose และ GSR ตามลำดับ แบบจำลอง SVR ได้คุณลักษณะที่มีผลต่อการทำนายมากที่สุด คือ คุณลักษณะ Skin temperature, Meal carbs, Bolus carbs, Bolus dose, Heart rate, Sleep Quality, Steps และ Temporary basal ตามลำดับ

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้าที่ระยะเวลา 30 และ 60 นาที เมื่อใช้ข้อมูลที่ 5, 10, 15 และ 20 ลำดับย้อนหลัง โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ด้วยแบบจำลอง Long-Short Term Memory (LSTM) และ Support Vector Regression (SVR) เพื่อเปรียบเทียบผลการทำนายและวิเคราะห์ว่าคุณลักษณะที่มีผลกับระดับน้ำตาลในเลือดพบว่านอกจากคุณลักษณะ Fingerstick ที่มีผลกับการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดมากที่สุดเนื่องจากเป็นข้อมูลชนิดเดียวกันแต่มีวิธีการเก็บข้อมูลต่างกันแล้ว จะมีคุณลักษณะ Meal carbs ที่มีผลรองลงมา ตามด้วย Skin temperature, Heart rate, GSR, Bolus carbs, Bolus dose, Sleep Quality, Steps, Accelerator, Temporary Basal ตามลำดับ กล่าวคือเมื่อใช้คุณลักษณะข้างต้น ที่มีผลกับการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดจะได้ผลลัพธ์การทำนายที่ดีกว่า โดยส่วนใหญ่ผลลัพธ์การทำนายที่ดีที่สุดจะใช้คุณลักษณะ Glucose เพียงอย่างเดียวในการเรียนรู้ข้อมูลของแบบจำลอง เพื่อการทำนายผล เมื่อเพิ่มคุณลักษณะในการเรียนรู้ของเครื่อง พบว่าผลลัพธ์การทำนายที่ได้มีความแม่นยำลดลง แต่ยังคงมีผลลัพธ์การทำนายที่ดีที่สุดที่ใช้คุณลักษณะ Fingerstick เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำนาย โดยในการเรียนรู้ข้อมูลของแบบจำลอง SVR จะใช้ข้อมูลย้อนหลังที่มีปริมาณน้อยกว่าในการทำนายผล โดยระยะเวลาในการทำนายล่วงหน้าที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความแตกต่างสำหรับแบบจำลอง SVR ในด้านของปริมาณข้อมูลย้อนหลังที่ใช้ในการเรียนรู้ ในขณะที่แบบจำลอง LSTM จะใช้ปริมาณข้อมูลย้อนหลังมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทำนายนานขึ้น กล่าวคือ LSTM ใช้ข้อมูลที่ 5 ลำดับย้อนหลังเป็นส่วนใหญ่เมื่อทำนายผลที่ระยะเวลา 30 นาที และใช้ข้อมูลที่ 15 ลำดับย้อนหลังเป็นส่วนใหญ่เมื่อทำนายผลที่ระยะเวลา 60 นาที แต่ในด้านการใช้ปริมาณข้อมูลเพื่อการเรียนรู้ของแบบจำลอง LSTM ไม่ได้มีความแตกต่างที่ชัดเจนเมื่อเทียบกับแบบจำลอง SVR ซึ่งผลลัพธ์การทำนายของแบบจำลอง SVR จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าในทุกรูปแบบของการวัดประสิทธิภาพเมื่อทำนายผลที่ระยะเวลา 30 นาที แต่จะมีความแตกต่างกันที่ผลลัพธ์ของการทำนายที่ระยะเวลา 60 นาที เมื่อวัดด้วย RMSE ซึ่งแบบจำลอง LSTM จะสามารถทำนายผลล่วงหน้าระยะเวลาที่นานได้ดีกว่า โดยมีข้อสังเกตในส่วนของคุณลักษณะการทำนายที่ดีที่สุดจะอยู่ที่ ID570 และ ID596 โดยไม่มีผลเมื่อมีความแตกต่างในเรื่องของแบบจำลองและแบบชุดการ

ทดสอบประสิทธิภาพ ซึ่งอาจอุปมาได้ว่าข้อมูลของผู้ป่วย ID570 และ ID596 มีประสิทธิภาพกว่าผู้ป่วยรายอื่นที่มีการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ชุดข้อมูลที่นำมาใช้มีหลายคุณลักษณะที่มีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับคุณลักษณะ Glucose ที่ใช้เป็นหลักในการเรียนรู้ข้อมูลและเป็นเป้าหมายของการทำนาย ซึ่งเมื่อข้อมูลมีปริมาณน้อยเกินไป ทำให้ผู้วิจัยจำเป็นต้องตัดบางคุณลักษณะออกเพื่อหลีกเลี่ยงการเติมข้อมูลที่มากเกินไปจนทำให้เกิดความผิดพลาดเมื่อนำข้อมูลมาใช้งานกับแบบจำลอง เมื่อดูจากผลลัพธ์ของการทำนายและการใช้ข้อมูลปริมาณข้อมูลย้อนหลัง ในงานวิจัยต่อไปอาจสามารถปรับลดข้อมูล Glucose เพื่อให้มีปริมาณที่สมดุลกับคุณลักษณะทั้งหมด เพื่อให้สามารถนำคุณลักษณะที่ถูกตัดออกในงานวิจัยนี้ ไปใช้ในการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด ซึ่งอาจนำไปสู่การค้นพบคุณลักษณะใหม่ที่ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด

2. จากผลลัพธ์ของการทำนายระดับน้ำตาลในเลือด มีผู้ป่วย 2 รายจากปี 2018 ราย 1 คือ ID570 และ ปี 2020 ราย 1 คือ ID596 ที่มีผลการทำนายดีที่สุดในแต่ละปีในทุกระยะเวลาการทำนายทุกแบบจำลองและทุกชุดการทดสอบ อาจสามารถนำข้อมูลคุณลักษณะของผู้ป่วยทั้ง 2 รายนี้ ใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ที่คล้ายกันที่สามารถทำให้มีผลลัพธ์การทำนายที่ดีกว่าผู้ป่วยรายอื่นๆ

3. การใช้ผลลัพธ์การทำนายเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการพัฒนา Sensor band หรือ การสร้างแอปพลิเคชันในโทรศัพท์ที่สามารถรับข้อมูลจากเครื่องวัดระดับน้ำตาลในเลือด CGM และนำข้อมูลที่ได้มาทำนายระดับน้ำตาลในเลือดล่วงหน้า รวมถึงสามารถเตือนเมื่อได้ผลการทำนายที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูงหรือต่ำเกินกว่าค่าที่ปลอดภัยต่อร่างกายของผู้ป่วย ให้นำไปใช้กับผู้ป่วยเบาหวานได้โดยไม่ต้องเจาะปลายนิ้วมือเพื่อวัดระดับน้ำตาลในเลือดบ่อย จนทำให้ผู้ป่วยเกิดความเจ็บปวด

บรรณานุกรม

Comprehensive guide to LSTM & RNNs. (2022).

<https://www.turing.com/kb/comprehensive-guide-to-lstm-rnn>

Daniels, J., Herrero, P., & Georgiou, P. (2020). Personalised Glucose Prediction via Deep Multitask Networks. In (pp. 110-114): KDH@ ECAI.

Dudukcu, H. V., Taskiran, M., & Yildirim, T. (2021a). Blood glucose prediction with deep neural networks using weighted decision-level fusion. In (Vol. 41, pp. 1208-1223): Elsevier.

Dudukcu, H. V., Taskiran, M., & Yildirim, T. (2021b). Consolidated or individual training: Which one is better for blood glucose prediction? In (pp. 1-6): IEEE.

Gani, W., Taleb, H., & Limam, M. (2010). Support vector regression based residual control charts. In (Vol. 37, pp. 309-324): Journal of Applied Statistics.

Guemes, A., Cappon, G., Hernandez, B., Reddy, M., Oliver, N., Georgiou, P., Herrero, P., & (2020). Predicting Quality of Overnight Glycaemic Control in Type 1 Diabetes Using Binary Classifiers. In (Vol. 24, pp. 1439-1446): IEEE.

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). LONG SHORT-TERM MEMORY. In (Vol. 9, pp. 1735-1780): Neural computation.

Ma, J., Theiler, J., & Perkins, S. (2003). Accurate On-line Support Vector Regression. In (Vol. 15, pp. 2683-2703): Neural computation.

Martinsson, J., Schliep, A., Björk, B., Eliasson, B., & Olof Mogren. (2020). Blood Glucose Prediction with Variance Estimation Using Recurrent Neural Networks. In (Vol. 4, pp. 1-18): Journal of Healthcare Informatics Research.

Midroni, C., Leimbiger, P. J., Baruah, G., Kolla, M., Whitehead, A. J., Fossat, Y., & (2018). Predicting Glycemia in Type 1 Diabetes Patients: Experiments with XGBoost. In (pp. 120): heart 60.

RNN, LSTM & GRU. (2019). <http://dprogrammer.org/rnn-lstm-gru>

Rubin-Falcone, H., Fox, I., & Wiens, J. (2020). Deep Residual Time-Series Forecasting: Application to Blood Glucose Prediction. In (pp. 105-109): KDH@ ECAI.

- Shuvo, M. M. H., Islam, S. K., & (2023). Deep Multitask Learning by Stacked Long Short-Term Memory for Predicting Personalized Blood Glucose Concentration. In (Vol. 27, pp. 1612-1623): IEEE.
- Singh, A., Kotiyal, V., Sharma, S., Nagar, J., & Lee, C. C. (2020). A Machine Learning Approach to Predict the Average Localization Error with Applications to Wireless Sensor Networks. In (Vol. 8, pp. 208253-208263): IEEE.
- Yang, T., Wu, R., Tao, R., Wen, S., Ma, N., Zhao, Y., Yu, X., & Li, H. (2020). Multi-Scale Long Short-Term Memory Network with Multi-Lag Structure for Blood Glucose Prediction. In (Vol. 45, pp. 136-140): KDH@ ECAI.
- Zhu, T., Li, K., Herrero, P., Chen, J., Georgiou, P., & (2018). A Deep Learning Algorithm For Personalized Blood Glucose Prediction. In (pp. 64-78): KHD@ IJCAI.
- กิติวัฒน์, น. (2016). เบาหวาน เรื่องหวานๆ ที่ไม่ควรเสี่ยง | โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์. <https://www.bumrungrad.com/th/health-blog/May-2016/diabetes-risk-prevention-treatment>
- งานบริการเทคนิคการแพทย์ชุมชน. (2019). โรคเบาหวาน. <https://mt.mahidol.ac.th/wp-content/uploads/home/main/health-brochure/2019/pdf/6.pdf>
- จงกลาง, ว., & หีบแก้ว ปัตตชาสุวรรณ, น. (2021). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มเสี่ยงโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ของกลุ่มวัยทำงาน อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา. In (Vol. 14, pp. 71-82): วารสาร วิจัย และ พัฒนา ระบบ สุขภาพ.
- ช้อนทอง, ศ. (2021). โรคเบาหวาน (*Diabetes*): สาเหตุ อาการและวิธีรักษา. <https://www.medparkhospital.com/disease-and-treatment/diabetes-mellitus>
- ไชยพันธุ์, ภ. (2018). อันตรายจากภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (*Hypoglycemia*). <https://www.samitivejhospitals.com/th/article/detail/ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ>
- ดำรงพิพัฒน์กุล, อ. (2021). โรงพยาบาลกรุงเทพเชียงใหม่ | โรคเบาหวาน... รู้จักเพื่อป้องกัน รู้ทันเพื่อควบคุม. <https://www.bangkokhospital-chiangmai.com/สาระสุขภาพและกิจกรรม/โรคเบาหวาน>
- ทองคำ, ร. (2022). ประสิทธิภาพของการส่งเสริมความรอบรู้ด้านสุขภาพต่อพฤติกรรมการดูแลตนเองในผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 จังหวัดลพบุรี. In (Vol. 30, pp. 86-99): Singburi Hospital Journal.

- บุญเกียรติ, พ., ฟ่วงแก้ว, อ., ประภาศิลป์, อ., & เกื้อกุล, พ. (2021). ปัจจัยทำนายพฤติกรรมการจัดการโรคเบาหวานด้วยตนเอง. In (Vol. 39, pp. 13-23): Nursing Science Journal of Thailand.
- พวยพุ่ง, พ. (2019). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ของผู้ป่วยเบาหวาน ชนิดที่ 2 ที่มารับการตรวจติดตาม ระดับน้ำตาลที่ กองการแพทย์ เทศบาลนครเชียงราย. In (Vol. 20, pp. 83-94): Journal of Nursing, Public Health, and Education.
- มยุระสาคร, ณ. (2019). ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ - Praram 9 Hospital.
<https://www.praram9.com/ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ/>
- โรงพยาบาล BNH. (2022). โรคเบาหวาน น้ำตาลในเลือดสูง สาเหตุ วิธีป้องกัน การรักษา.
<https://mbrace.bnhhospital.com/โรคเบาหวาน/>
- โรงพยาบาลกรุงเทพ. (2021). ภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ.
<https://www.bangkokhospital.com/content/hypoglycemia>
- โรงพยาบาลเปาโล. (2021). ภาวะน้ำตาลในเลือด สูง. <https://www.paolohospital.com/th-TH/phahol/Article/Details/บทความ-เบาหวาน-ความดัน/ภาวะน้ำตาลในเลือด-สูง>
- โรงพยาบาลเพชรเวช. (2022). น้ำตาลในเลือดต่ำ ภาวะที่ร่างกายไม่สมดุล โดยเฉพาะผู้ป่วยโรคเบาหวาน.
https://www.petcharavejhospital.com/th/Article/article_detail/Hypoglycemia-Imbalance-Body-especially-Diabetic-Patients
- โรงพยาบาลศิริรินทร์. (2022). ระดับน้ำตาลในเลือดดูอย่างไร? - โรงพยาบาลศิริรินทร์.
<https://www.sikarin.com/health/ระดับน้ำตาลในเลือดดูอยู่>
- โรงพยาบาลศิริราช. (2021). เบาหวาน รู้ทันป้องกันได้.
<https://www.siphospital.com/th/news/article/share/448>



ภาคผนวก

ผลการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดด้วยแบบจำลอง SVR

30 Min							
PID	No. Feature	SVR					Feature
		Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	
559	1	5	14.20	484.99	0.09	22.02	BG
	2	5	15.19	527.12	0.10	22.96	BG + FB
	3	5	16.53	579.30	0.10	24.07	BG + H + FB
	4	5	18.20	648.25	0.12	25.46	BG + H + SQ + FB
	5	10	20.92	816.02	0.14	28.57	BG + H + SQ + STP + FB
	6	5	20.95	822.43	0.14	28.68	BG + H + SQ + STP + FB + BC
	7	5	21.07	835.10	0.14	28.90	BG + H + SQ + STP + FB + BC + MC
	8	5	45.12	4243.83	0.25	65.14	BG + H + SQ + STP + FB + BC + GSR + BS
	9	5	43.99	4107.58	0.24	64.09	BG + H + SQ + STP + FB + BC + GSR + BS + MC
	10	15	52.20	5223.17	0.31	72.27	BG + H + SQ + STP + FB + BC + GSR + BS + MC + BL
563	1	5	13.50	438.02	0.08	20.93	BG
	2	5	13.37	386.09	0.08	19.65	BG + FB
	3	5	15.14	425.00	0.10	20.62	BG + FB + BC
	4	5	14.87	401.49	0.09	20.04	BG + FB + BC + MC
	5	5	17.59	534.77	0.11	23.13	BG + FB + BC + SKT + H
	6	5	16.38	475.49	0.10	21.81	BG + FB + BC + SKT + MC + BL
	7	10	16.81	502.73	0.10	22.42	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + H
	8	10	16.14	471.78	0.10	21.72	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + H + STP
	9	5	18.16	581.57	0.12	24.12	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + H + STP + SQ
	10	20	34.90	1974.86	0.22	44.44	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + H + STP + SQ + BS
570	1	5	12.11	307.77	0.06	17.54	BG
	2	10	12.09	297.81	0.06	17.26	BG + FB
	3	5	15.86	466.74	0.09	21.60	BG + FB + GSR
	4	5	16.22	469.27	0.08	21.66	BG + FB + GSR + BL
	5	5	20.92	700.73	0.11	26.47	BG + FB + GSR + BL + SKT
	6	5	17.91	556.58	0.09	23.59	BG + FB + GSR + BL + SKT + H
	7	10	15.21	451.94	0.08	21.26	BG + FB + GSR + BL + SKT + H + BC
	8	5	15.58	457.25	0.08	21.38	BG + FB + GSR + BL + SKT + H + BC + SQ
	9	10	20.43	729.08	0.10	27.00	BG + FB + GSR + BL + SKT + H + BC + SQ + MC
	10	10	18.35	649.28	0.09	25.48	BG + FB + GSR + BL + SKT + H + BC + SQ + MC + STP

		30 Minute						
PID	No. Feature	SVR					Feature	
		Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE		
575	1	20	15.78	617.53	0.11	24.85	BG	
	2	5	16.65	654.44	0.11	25.58	BG + FB	
	3	5	23.04	946.34	0.17	30.76	BG + FB + H	
	4	5	21.09	819.11	0.16	28.62	BG + FB + H + SKT	
	5	10	31.38	1478.31	0.27	38.45	BG + FB + H + SKT + STP	
	6	5	22.04	839.64	0.17	28.98	BG + FB + H + SKT + STP + BC	
	7	5	19.85	721.10	0.15	26.85	BG + FB + H + SKT + STP + BC + MC	
	8	5	20.63	787.47	0.15	28.06	BG + FB + H + SKT + STP + BC + MC + GSR	
	9	5	22.88	951.88	0.17	30.85	BG + FB + H + SKT + STP + BC + MC + GSR + SQ	
	10	15	50.08	3550.68	0.43	59.59	BG + FB + H + SKT + STP + BC + MC + GSR + SQ + BS	
588	1	10	13.87	367.86	0.08	19.18	BG	
	2	5	14.00	372.95	0.08	19.31	BG + FB	
	3	10	16.05	491.82	0.10	22.18	BG + FB + MC	
	4	10	18.14	585.80	0.11	24.20	BG + FB + BC + SKT	
	5	10	17.45	561.50	0.11	23.70	BG + FB + BC + SKT + MC	
	6	10	17.32	567.63	0.10	23.82	BG + FB + BC + SKT + MC + H	
	7	5	19.34	697.90	0.12	26.42	BG + FB + BC + SKT + MC + H + STP	
	8	5	19.26	693.25	0.12	26.33	BG + FB + BC + SKT + MC + H + STP + GSR	
	9	5	38.21	2385.19	0.24	48.84	BG + FB + BC + SKT + MC + H + STP + SQ + BS	
	10	5	38.22	2386.56	0.24	48.85	BG + FB + BC + SKT + MC + H + STP + SQ + BS + GSR	
591	1	5	15.87	497.81	0.12	22.31	BG	
	2	10	17.38	551.45	0.13	23.48	BG + FB	
	3	5	20.08	678.61	0.16	26.05	BG + FB + SKT	
	4	5	17.80	567.45	0.14	23.82	BG + FB + SKT + MC	
	5	5	18.63	657.76	0.14	25.65	BG + FB + SKT + MC + STP	
	6	5	18.86	662.79	0.14	25.74	BG + FB + SKT + MC + STP + H	
	7	5	32.82	1606.37	0.26	40.08	BG + FB + SKT + MC + STP + H + BS	
	8	10	42.69	2639.13	0.33	51.37	BG + FB + SKT + SQ + STP + H + BS + BL	
	9	5	51.95	3869.88	0.50	62.21	BG + FB + SKT + SQ + STP + H + BS + BL + MC	
	10	5	55.47	4423.94	0.54	66.51	BG + FB + SKT + SQ + STP + H + BS + BL + MC + GSR	

30 Minute							
PID	No. Feature	SVR					
		Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature
540	1	10	17.47	604.91	0.12	24.59	BG
	2	5	18.64	638.62	0.13	25.27	BG + FB
	3	5	19.66	698.48	0.14	26.43	BG + FB + GSR
	4	10	21.51	845.67	0.15	29.08	BG + FB + GSR + MC
	5	10	20.17	755.77	0.14	27.49	BG + FB + GSR + MC + SKT
	6	5	45.78	4088.75	0.27	63.94	BG + FB + GSR + MC + SKT + AC
	7	5	54.12	4403.38	0.42	66.36	BG + FB + TB + MC + SKT + BL + AC
	8	5	54.18	4417.38	0.42	66.46	BG + FB + TB + MC + SKT + BL + GSR + AC
544	1	15	12.86	346.97	0.08	18.63	BG
	2	5	13.04	356.36	0.09	18.88	BG + FB
	3	5	13.68	363.88	0.09	19.08	BG + FB + MC
	4	10	17.86	591.90	0.12	24.33	BG + FB + SKT + GSR
	5	5	21.08	890.19	0.12	29.84	BG + FB + MC + GSR + SKT
	6	20	38.91	2499.82	0.26	50.00	BG + FB + MC + GSR + SKT + BS
	7	10	38.49	2487.82	0.27	49.88	BG + FB + MC + GSR + SKT + BS + BL
	8	10	48.03	4309.92	0.37	65.65	BG + FB + MC + GSR + SKT + BS + BL + AC
552	1	20	12.72	304.97	0.10	17.46	BG
	2	5	12.98	316.39	0.10	17.79	BG + FB
	3	10	15.85	468.52	0.12	21.65	BG + FB + MC
	4	5	15.87	434.09	0.12	20.83	BG + FB + MC + BL
	5	5	19.85	665.58	0.14	25.80	BG + FB + MC + BL + SKT
	6	5	26.55	1109.31	0.20	33.31	BG + FB + MC + BL + SKT + GSR
	7	5	49.72	3459.17	0.45	58.81	BG + FB + MC + BL + SKT + GSR + AC

30 Minute							
PID	No. Feature	SVR					Feature
		Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	
567	1	15	16.19	696.45	0.11	26.39	BG
	2	5	17.15	725.61	0.12	26.94	BG + FB
	3	5	21.65	990.66	0.14	31.47	BG + FB + GSR
	4	10	20.81	913.23	0.15	30.22	BG + FB + GSR + BL
	5	5	33.16	2121.02	0.22	46.05	BG + FB + GSR + BL + BS
	6	10	37.66	2592.00	0.24	50.91	BG + FB + GSR + BL + BS + SKT
	7	10	38.27	2536.26	0.29	50.36	BG + FB + GSR + BL + BS + SKT + AC
584	1	5	17.13	742.35	0.11	27.25	BG
	2	5	17.53	765.86	0.11	27.67	BG + FB
	3	10	23.95	1166.70	0.16	34.16	BG + SKT + GSR
	4	10	21.48	987.68	0.13	31.43	BG + SKT + GSR + MC
	5	5	22.11	1019.58	0.14	31.93	BG + SKT + GSR + MC + FB
	6	20	50.71	3855.62	0.37	62.09	BG + SKT + GSR + MC + BL + AC
	7	5	52.40	4830.54	0.28	69.50	BG + SKT + GSR + MC + BL + AC + FB
596	1	5	12.35	319.36	0.09	17.87	BG
	2	5	13.76	405.94	0.10	20.15	BG + SKT
	3	5	13.37	379.98	0.10	19.49	BG + SKT + FB
	4	20	15.04	490.30	0.11	22.14	BG + SKT + FB + BL
	5	10	18.93	566.24	0.15	23.80	BG + SKT + FB + MC + GSR
	6	10	39.55	2299.30	0.33	47.95	BG + SKT + FB + MC + GSR + BL
	7	10	41.63	2898.98	0.32	53.84	BG + SKT + FB + MC + GSR + BL + AC

Accelerator = AC, Air Temperature = AT, Basal = BS, Bolus Carb = BC, Bolus Dose = BL, Fingerstick = FB, Glucose = BG, GSR = GSR, Heart Rate = H, Meal Carb = MC, Skin Temperature = SKT, Sleep quality = SQ, Steps = STP, Temporary Basal = TB

60 Minute							
PID	No.	SVR					Feature
	Feature	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	
559	1	10	26.50	1401.05	0.18	37.43	BG
	2	5	27.33	1392.68	0.18	37.32	BG + FB
	3	5	28.90	1526.35	0.19	39.07	BG + H + FB
	4	5	33.04	1949.43	0.22	44.15	BG + H + SQ + STP
	5	5	30.88	1759.80	0.19	41.95	BG + H + SQ + STP + FB
	6	10	35.93	2189.62	0.25	46.79	BG + H + SQ + STP + FB + BC
	7	10	34.22	2114.84	0.22	45.99	BG + H + SQ + STP + FB + BC + GSR
	8	10	57.34	5942.60	0.32	77.09	BG + H + SQ + STP + FB + BC + GSR + BS
	9	10	55.40	5666.09	0.31	75.27	BG + H + SQ + STP + FB + BC + GSR + BS + MC
	10	15	59.38	6508.81	0.35	80.68	BG + H + SQ + STP + FB + BC + GSR + BS + MC + BL
563	1	5	23.32	1233.02	0.14	35.11	BG
	2	5	22.59	966.59	0.14	31.09	BG + FB
	3	5	24.30	1053.08	0.15	32.45	BG + FB + BC
	4	5	23.22	964.32	0.15	31.05	BG + FB + BC + MC
	5	5	27.64	1315.40	0.18	36.27	BG + FB + BC + SKT + H
	6	5	25.40	1147.24	0.16	33.87	BG + FB + BC + SKT + MC + BL
	7	5	25.93	1181.60	0.16	34.37	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + H
	8	20	27.66	1295.21	0.18	35.99	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + H + STP
	9	10	38.21	2309.07	0.24	48.05	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + H + STP + BS
	10	20	36.89	2197.45	0.24	46.88	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + H + STP + BS + SQ
570	1	10	21.31	866.28	0.11	29.43	BG
	2	20	21.46	846.93	0.11	29.10	BG + FB
	3	5	25.55	1143.10	0.14	33.81	BG + FB + GSR
	4	5	24.62	1055.68	0.13	32.49	BG + FB + GSR + BC
	5	5	29.80	1501.59	0.15	38.75	BG + FB + GSR + BL + SKT
	6	5	24.79	1053.90	0.13	32.46	BG + FB + GSR + BL + SKT + STP
	7	10	31.04	1526.61	0.16	39.07	BG + FB + GSR + BL + SKT + STP + H
	8	5	33.73	1877.35	0.17	43.33	BG + FB + GSR + BL + SKT + STP + H + SQ
	9	10	25.17	1152.79	0.13	33.95	BG + FB + GSR + BL + SKT + SQ + H + BC + MC
	10	10	27.70	1289.43	0.15	35.91	BG + FB + GSR + BL + SKT + SQ + H + BC + MC + STP

60 Minute								
PID	No.	SVR						Feature
	Feature	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE		
575	1	5	26.97	1450.33	0.19	38.08	BG	
	2	5	27.93	1468.81	0.20	38.33	BG + FB	
	3	5	34.90	2064.70	0.28	45.44	BG + FB + H	
	4	20	35.77	2324.26	0.27	48.21	BG + FB + H + SKT	
	5	20	37.14	2075.44	0.33	45.56	BG + FB + H + SKT + STP	
	6	5	45.83	3340.34	0.37	57.80	BG + FB + H + SKT + STP + BC	
	7	5	33.39	1903.63	0.27	43.63	BG + FB + H + SKT + STP + BC + MC	
	8	5	30.63	1721.88	0.23	41.50	BG + FB + H + SKT + STP + BC + MC + GSR	
	9	5	50.16	4484.19	0.37	66.96	BG + FB + H + SKT + STP + BC + MC + GSR + SQ	
	10	15	50.71	3768.87	0.43	61.39	BG + FB + H + SKT + STP + BC + MC + GSR + SQ + BS	
588	1	10	23.68	1036.62	0.14	32.20	BG	
	2	5	24.14	1078.22	0.14	32.84	BG + FB	
	3	10	25.29	1178.71	0.15	34.33	BG + FB + MC	
	4	5	26.76	1291.92	0.16	35.94	BG + FB + BC + SKT	
	5	10	26.89	1302.63	0.16	36.09	BG + FB + BC + SKT + MC	
	6	10	25.87	1230.12	0.16	35.07	BG + FB + BC + SKT + MC + H	
	7	5	27.56	1391.85	0.16	37.31	BG + FB + BC + SKT + MC + H + STP	
	8	5	30.68	1534.41	0.20	39.17	BG + FB + BC + SKT + MC + H + STP + GSR	
	9	5	38.00	2362.94	0.25	48.61	BG + FB + BC + SKT + BS + H + STP + GSR + SQ	
	10	15	55.10	4785.44	0.30	69.18	BG + FB + BC + SKT + BS + H + STP + GSR + SQ + MC	
591	1	5	25.93	1191.72	0.21	34.52	BG	
	2	20	28.04	1265.90	0.23	35.58	BG + FB	
	3	5	31.30	1559.08	0.27	39.49	BG + FB + SKT	
	4	5	30.01	1413.80	0.24	37.60	BG + FB + SKT + STP	
	5	15	42.81	2544.99	0.38	50.45	BG + FB + SKT + SQ + BL	
	6	20	43.48	2616.02	0.37	51.15	BG + FB + SKT + SQ + BL + H	
	7	5	46.60	3033.36	0.43	55.08	BG + FB + SKT + SQ + BL + H + BS	
	8	20	45.64	3085.90	0.34	55.55	BG + FB + SKT + SQ + BL + H + MC	
	9	5	60.83	5260.79	0.60	72.53	BG + FB + SKT + SQ + BL + H + MC + STP + BS	
	10	5	65.86	6060.77	0.65	77.85	BG + FB + SKT + SQ + BL + H + MC + STP + BS + GSR	

60 Minute							
PID	No. Feature	SVR					Feature
		Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	
540	1	5	32.61	1924.25	0.22	43.87	BG
	2	20	33.68	1960.85	0.23	44.28	BG + FB
	3	5	34.83	2076.04	0.24	45.56	BG + FB + SKT
	4	5	36.32	2099.28	0.27	45.82	BG + FB + SKT + GSR
	5	5	36.50	2110.49	0.28	45.94	BG + FB + SKT + GSR + MC
	6	20	54.66	5482.07	0.33	74.04	BG + FB + TB + MC + SKT + AC
	7	15	53.60	4505.57	0.40	67.12	BG + FB + TB + MC + SKT + AC + BL
	8	15	54.30	4494.79	0.42	67.04	BG + FB + TB + MC + SKT + AC + BL + GSR
544	1	15	23.51	1068.91	0.15	32.69	BG
	2	5	23.77	1075.61	0.16	32.80	BG + FB
	3	5	24.96	1092.52	0.17	33.05	BG + FB + MC
	4	5	28.50	1433.96	0.18	37.87	BG + FB + MC + GSR
	5	5	29.31	1488.34	0.19	38.58	BG + FB + MC + GSR + SKT
	6	10	37.74	2480.85	0.24	49.81	BG + FB + MC + GSR + SKT + BS
	7	10	37.83	2541.65	0.23	50.41	BG + FB + MC + GSR + SKT + BS + AC
	8	10	61.04	6470.35	0.47	80.44	BG + FB + MC + GSR + SKT + BS + AC + BL
552	1	20	22.97	958.61	0.18	30.96	BG
	2	5	23.35	976.95	0.18	31.26	BG + FB
	3	10	25.81	1123.24	0.20	33.51	BG + FB + MC
	4	10	25.26	1118.49	0.19	33.44	BG + FB + MC + BL
	5	5	27.98	1374.66	0.21	37.08	BG + FB + MC + BL + SKT
	6	5	43.53	3189.00	0.32	56.47	BG + FB + MC + BL + SKT + GSR
	7	5	72.87	6683.97	0.69	81.76	BG + FB + MC + BL + SKT + GSR + AC

60 Minute							
PID	No. Feature	SVR					Feature
		Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	
567	1	15	29.17	1754.31	0.21	41.88	BG
	2	10	30.52	1761.29	0.23	41.97	BG + FB
	3	5	33.21	1995.90	0.24	44.68	BG + FB + GSR
	4	5	34.40	2015.15	0.27	44.89	BG + FB + GSR + BL
	5	10	45.12	3088.57	0.40	55.57	BG + FB + GSR + BL + BS
	6	15	41.98	2825.71	0.35	53.16	BG + FB + GSR + BL + BS + AC
	7	10	40.24	2806.31	0.31	52.97	BG + FB + GSR + BL + BS + AC + SKT
584	1	10	29.11	1715.16	0.20	41.41	BG
	2	5	29.69	1763.48	0.20	41.99	BG + FB
	3	20	44.17	3379.17	0.30	58.13	BG + FB + SKT
	4	5	30.05	1621.35	0.20	40.27	BG + FB + SKT + GSR
	5	5	34.43	2031.42	0.23	45.07	BG + FB + SKT + GSR + MC
	6	20	50.63	3845.77	0.37	62.01	BG + SKT + GSR + MC + BL + AC
	7	5	54.45	5244.73	0.29	72.42	BG + SKT + GSR + MC + BL + AC + FB
596	1	5	21.33	862.69	0.16	29.37	BG
	2	5	22.86	1008.57	0.16	31.76	BG + SKT
	3	5	25.38	1282.69	0.18	35.81	BG + SKT + FB
	4	20	23.32	1040.90	0.17	32.26	BG + SKT + FB + BL
	5	5	25.68	1124.70	0.19	33.54	BG + SKT + FB + MC + GSR
	6	5	31.99	1890.46	0.22	43.48	BG + SKT + FB + MC + GSR + BL
	7	20	40.79	2705.83	0.31	52.02	BG + SKT + FB + MC + GSR + BL + AC

Accelerator = AC, Air Temperature = AT, Basal = BS, Bolus Carb = BC, Bolus Dose = BL, Fingerstick = FB, Glucose = BG, GSR = GSR, Heart Rate = H, Meal Carb = MC, Skin Temperature = SKT, Sleep quality = SQ, Steps = STP, Temporary Basal = TB

ผลการทำนายระดับน้ำตาลในเลือดด้วยแบบจำลอง LSTM

30 Minute									
PID	No.	LSTM						Feature	
		Feature	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE		
559	1	10	16.15	555.87	0.10	23.58	BG		
	2	15	16.98	558.82	0.12	23.64	BG + FB		
	3	5	17.01	550.99	0.12	23.47	BG + FB + H		
	4	10	58.31	6139.83	0.32	78.36	BG + FB + SQ + H		
	5	20	28.58	1893.87	0.18	43.52	BG + H + SQ + STP + BC		
	6	15	26.73	1179.61	0.20	34.35	BG + FB + SQ + STP + H + GSR		
	7	20	51.72	3329.21	0.34	57.70	BG + FB + SQ + STP + H + GSR + MC		
	8	20	45.39	3969.74	0.36	63.01	BG + FB + SQ + STP + H + BL + GSR + MC		
	9	10	50.33	4195.25	0.40	64.77	BG + FB + SQ + STP + H + BL + GSR + MC + BS		
	10	5	54.55	4100.25	0.47	64.03	BG + FB + SQ + STP + H + BL + GSR + MC + SKT + BC		
563	1	5	13.25	356.15	0.08	18.87	BG		
	2	15	13.12	351.68	0.08	18.75	BG + FB		
	3	5	13.46	382.95	0.08	19.57	BG + FB + BC		
	4	5	13.97	377.26	0.09	19.42	BG + FB + BC + MC		
	5	10	16.16	556.49	0.10	23.59	BG + FB + BC + SKT + H		
	6	20	28.47	1369.40	0.16	37.01	BG + FB + BC + SKT + MC + BL		
	7	15	42.37	2367.10	0.29	48.65	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + H		
	8	10	19.68	705.87	0.13	26.57	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + STP + SQ		
	9	20	64.46	5474.65	0.40	73.99	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + STP + GSR + H		
	10	20	41.18	2702.26	0.27	51.98	BG + FB + BC + SKT + MC + BL + STP + GSR + BS + SQ		
570	1	15	12.25	302.74	0.06	17.40	BG		
	2	15	12.60	315.57	0.06	17.76	BG + FB		
	3	10	24.66	952.26	0.14	30.86	BG + FB + BL		
	4	5	23.04	825.08	0.14	28.72	BG + FB + GSR + BC		
	5	15	25.02	1215.57	0.16	34.87	BG + FB + GSR + BL + SKT		
	6	5	26.68	1189.65	0.17	34.49	BG + FB + GSR + BL + SKT + H		
	7	20	37.16	2134.60	0.21	46.20	BG + FB + GSR + BL + SKT + STP + MC		
	8	20	71.87	6793.16	0.34	82.42	BG + FB + GSR + BL + SKT + STP + H + SQ		
	9	15	61.91	5204.11	0.36	72.14	BG + FB + GSR + BL + SKT + H + SQ + BC + BS		
	10	5	31.97	1579.38	0.20	39.74	BG + FB + GSR + BL + SKT + H + SQ + BC + MC + STP		

30 Minute							
PID	No.	LSTM					
	Feature	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature
575	1	5	16.61	587.81	0.12	24.24	BG
	2	10	16.50	606.04	0.11	24.62	BG + FB
	3	20	21.73	924.86	0.15	30.41	BG + FB + H
	4	15	23.70	893.21	0.18	29.89	BG + FB + H + STP
	5	20	27.49	1472.79	0.20	38.38	BG + FB + H + SKT + BC
	6	10	30.61	1863.51	0.23	43.17	BG + FB + H + SKT + BC + SQ
	7	10	28.84	1531.39	0.25	39.13	BG + FB + H + SKT + BC + SQ + MC
	8	5	31.29	1906.66	0.25	43.67	BG + FB + H + SKT + BC + SQ + MC + STP
	9	15	55.95	4947.26	0.43	70.34	BG + FB + H + SKT + BC + SQ + MC + STP + GSR
	10	15	37.82	2561.58	0.26	50.61	BG + FB + H + SKT + BC + SQ + MC + STP + BS + BL
588	1	15	14.50	378.64	0.09	19.46	BG
	2	15	14.34	383.84	0.09	19.59	BG + FB
	3	5	15.31	417.64	0.10	20.44	BG + FB + MC
	4	20	75.72	7350.47	0.40	85.73	BG + FB + BC + SKT
	5	20	47.86	3834.83	0.24	61.93	BG + FB + BC + SKT + H
	6	15	77.25	8508.91	0.40	92.24	BG + FB + BC + SKT + H + BS
	7	20	45.12	3312.78	0.32	57.56	BG + FB + BC + SKT + H + BS + STP
	8	15	34.57	2060.16	0.22	45.39	BG + FB + BC + SKT + H + BS + STP + GSR
	9	20	33.54	1896.20	0.22	43.55	BG + FB + BC + SKT + H + BS + STP + MC + SQ
	10	20	41.96	2908.19	0.25	53.93	BG + FB + BC + SKT + H + BS + STP + MC + SQ + GSR
591	1	10	17.61	535.42	0.15	23.14	BG
	2	5	16.83	521.19	0.13	22.83	BG + FB
	3	5	22.83	875.86	0.17	29.59	BG + FB + SKT
	4	10	26.07	1091.88	0.19	33.04	BG + FB + SKT + H
	5	10	27.73	1302.88	0.22	36.10	BG + FB + SKT + H + SQ
	6	5	30.82	1607.24	0.25	40.09	BG + FB + SKT + H + SQ + MC
	7	5	23.62	997.59	0.19	31.58	BG + FB + SKT + H + SQ + STP + MC
	8	10	42.69	2639.13	0.33	51.37	BG + FB + SKT + H + SQ + STP + BL + BS
	9	20	29.27	1551.44	0.25	39.39	BG + FB + SKT + H + SQ + STP + MC + GSR + BL
	10	15	43.41	2628.84	0.36	51.27	BG + FB + SKT + H + SQ + STP + MC + GSR + BL + BS

30 Minute							
PID	No.	LSTM					
	Feature	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature
540	1	15	18.33	644.53	0.13	25.39	BG
	2	5	18.89	736.75	0.12	27.14	BG + FB
	3	5	35.69	2302.76	0.21	47.99	BG + FB + SKT
	4	15	22.45	948.12	0.17	30.79	BG + FB + MC + SKT
	5	20	42.41	3325.04	0.28	57.66	BG + FB + MC + SKT + GSR
	6	15	62.08	7009.15	0.34	83.72	BG + FB + MC + TB + GSR + BL
	7	15	126.52	19535.09	1.13	139.77	BG + FB + MC + TB + AC + BL + SKT
	8	20	91.05	12715.10	0.50	112.76	BG + FB + MC + TB + AC + BL + SKT + GSR
544	1	10	13.74	355.50	0.09	18.85	BG
	2	5	13.20	372.07	0.08	19.29	BG + FB
	3	15	19.05	727.83	0.13	26.98	BG + FB + MC
	4	15	44.72	2336.92	0.34	48.34	BG + FB + MC + GSR
	5	15	38.25	1972.18	0.27	44.41	BG + FB + MC + GSR + SKT
	6	10	25.34	1343.13	0.18	36.65	BG + FB + MC + GSR + SKT + AC
	7	5	39.86	2903.92	0.23	53.89	BG + FB + MC + SKT + AC + BL + BS
	8	15	106.09	13932.09	0.90	118.03	BG + FB + MC + SKT + AC + BL + BS + GSR
552	1	20	13.42	325.38	0.10	18.04	BG
	2	5	13.90	342.36	0.10	18.50	BG + MC
	3	10	14.12	365.87	0.10	19.13	BG + FB + MC
	4	15	18.89	605.65	0.15	24.61	BG + FB + MC + SKT
	5	5	38.08	2119.57	0.31	46.04	BG + FB + MC + SKT + GSR
	6	10	43.53	3247.45	0.31	56.99	BG + FB + MC + SKT + AC + BL
	7	15	51.90	5016.09	0.31	70.82	BG + FB + MC + SKT + AC + BL + GSR

30 Minute							
PID	No. Feature	Prev	LSTM				Feature
			MAE	MSE	MAPE	RMSE	
567	1	15	17.69	744.97	0.13	27.29	BG
	2	5	17.63	727.42	0.13	26.97	BG + FB
	3	10	14.22	332.97	0.11	18.25	BG + FB + MC
	4	5	21.17	914.95	0.15	30.25	BG + FB + SKT + GSR
	5	15	32.49	1862.05	0.23	43.15	BG + FB + SKT + GSR + BL
	6	20	48.24	3697.12	0.37	60.80	BG + FB + SKT + GSR + BL + BS
	7	15	34.58	1837.74	0.29	42.87	BG + FB + SKT + GSR + BL + BS + AC
584	1	10	18.07	743.21	0.12	27.26	BG
	2	15	21.86	1109.95	0.17	33.32	BG + FB
	3	20	22.53	975.35	0.15	31.23	BG + SKT + MC
	4	5	27.93	1339.96	0.17	36.61	BG + SKT + MC + GSR
	5	15	22.65	992.43	0.15	31.50	BG + SKT + MC + GSR + BL
	6	15	48.69	4401.33	0.25	66.34	BG + SKT + MC + GSR + FB + AC
	7	20	41.92	3341.14	0.21	57.80	BG + SKT + MC + GSR + FB + AC + BL
596	1	20	13.45	356.36	0.10	18.88	BG
	2	20	13.45	355.90	0.10	18.87	BG + FB
	3	20	17.30	554.09	0.12	23.54	BG + FB + MC
	4	10	21.89	779.17	0.16	27.91	BG + FB + MC + SKT
	5	10	62.25	5203.88	0.39	72.14	BG + FB + MC + SKT + BL
	6	5	39.18	2300.15	0.33	47.96	BG + FB + MC + SKT + BL + AC
	7	5	43.03	2766.38	0.36	52.60	BG + FB + MC + SKT + BL + AC + GSR

Accelerator = AC, Air Temperature = AT, Basal = BS, Bolus Carb = BC, Bolus Dose = BL, Fingerstick = FB, Glucose = BG, GSR = GSR, Heart Rate = H, Meal Carb = MC, Skin Temperature = SKT, Sleep quality = SQ, Steps = STP, Temporary Basal = TB

60 Minute							
PID	No.	LSTM					
		Feature	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE
559	1	15	26.98	1350.39	0.19	36.75	BG
	2	20	26.68	1318.76	0.19	36.31	BG + FB
	3	15	27.66	1392.62	0.20	37.32	BG + FB + H
	4	20	57.71	6240.95	0.34	79.00	BG + FB + SQ + H
	5	20	61.05	8641.41	0.36	92.96	BG + BC + SQ + STP + H
	6	15	55.14	4746.56	0.42	68.90	BG + FB + SQ + STP + H + BL
	7	20	47.21	4209.59	0.30	64.88	BG + FB + SQ + STP + H + BL + BS
	8	20	54.09	5291.75	0.34	72.74	BG + FB + SQ + STP + H + BL + BS + BC
	9	15	58.43	5356.72	0.34	73.19	BG + FB + SQ + STP + H + BL + GSR + MC + SKT
	10	20	56.29	6304.56	0.30	79.40	BG + FB + SQ + STP + H + BL + GSR + MC + SKT + BC
563	1	10	21.96	908.36	0.14	30.14	BG
	2	10	21.91	887.21	0.14	29.79	BG + FB
	3	5	25.72	1152.66	0.16	33.95	BG + FB + MC
	4	5	22.34	914.68	0.14	30.24	BG + FB + BC + MC
	5	15	24.82	1116.08	0.16	33.41	BG + FB + BC + MC + SKT
	6	15	22.21	928.78	0.14	30.48	BG + FB + BC + MC + SKT + BL
	7	20	39.66	2691.95	0.22	51.88	BG + FB + BC + MC + SKT + BL + H
	8	15	46.91	3334.76	0.28	57.75	BG + FB + BC + MC + SKT + BL + H + STP
	9	10	34.78	1881.01	0.24	43.37	BG + FB + BC + MC + SKT + BL + H + STP + GSR
	10	15	59.51	5082.11	0.43	71.29	BG + FB + BC + MC + SKT + BL + H + STP + GSR + SQ
570	1	20	21.08	807.38	0.11	28.41	BG
	2	20	21.16	822.02	0.11	28.67	BG + FB
	3	20	36.40	2108.44	0.18	45.92	BG + FB + BL
	4	15	45.80	3336.83	0.20	57.77	BG + FB + GSR + BL
	5	10	50.86	3595.15	0.32	59.96	BG + FB + GSR + BL + H
	6	20	61.74	5494.10	0.31	74.12	BG + FB + GSR + BL + SKT + STP
	7	10	44.26	2901.01	0.29	53.86	BG + FB + GSR + BL + SKT + H + MC
	8	10	84.69	12122.36	0.46	110.10	BG + FB + GSR + BL + SKT + H + STP + SQ
	9	10	54.18	4186.45	0.28	64.70	BG + FB + GSR + BL + SKT + H + MC + SQ + BC
	10	15	62.20	5458.31	0.34	73.88	BG + FB + GSR + BL + SKT + H + MC + SQ + BC + STP

60 Minute							
PID	No.	LSTM					Feature
		Feature	Prev	MAE	MSE	MAPE	
575	1	15	27.83	1378.54	0.20	37.13	BG
	2	10	28.28	1445.12	0.20	38.01	BG + FB
	3	15	37.78	2434.00	0.31	49.34	BG + FB + SKT
	4	15	39.69	2741.60	0.29	52.36	BG + FB + H + STP
	5	15	48.69	3661.68	0.33	60.51	BG + FB + H + SKT + SQ
	6	20	42.39	3205.91	0.30	56.62	BG + FB + H + SKT + BC + MC
	7	5	46.07	3725.31	0.34	61.04	BG + FB + H + SKT + BC + SQ + MC
	8	10	51.16	4963.55	0.50	70.45	BG + FB + H + SKT + BC + SQ + MC + STP
	9	15	79.02	9224.53	0.70	96.04	BG + FB + H + SKT + BC + SQ + MC + STP + BS
	10	5	60.36	5467.82	0.53	73.94	BG + FB + H + SKT + BC + SQ + MC + STP + BS + BL
588	1	20	23.80	1025.97	0.15	32.03	BG
	2	20	23.56	1013.25	0.14	31.83	BG + FB
	3	10	27.60	1333.62	0.16	36.52	BG + FB + H
	4	10	44.52	2867.73	0.30	53.55	BG + FB + BC + SKT
	5	10	40.84	2827.39	0.22	53.17	BG + FB + BC + SKT + H
	6	15	38.54	2470.63	0.25	49.71	BG + FB + BC + SKT + H + BS
	7	5	36.09	2215.09	0.21	47.06	BG + FB + BC + SKT + BS + STP + GSR
	8	10	38.17	2408.51	0.25	49.08	BG + FB + BC + SKT + H + BS + STP + MC
	9	20	39.89	2389.54	0.27	48.88	BG + FB + BC + SKT + H + BS + STP + MC + GSR
	10	20	45.61	3372.77	0.25	58.08	BG + FB + BC + SKT + H + BS + STP + MC + SQ + GSR
591	1	20	26.75	1186.46	0.22	34.44	BG
	2	10	26.85	1210.26	0.22	34.79	BG + FB
	3	5	35.73	2342.03	0.27	48.39	BG + FB + SKT
	4	15	33.87	1804.53	0.26	42.48	BG + FB + SKT + H
	5	20	49.53	4197.13	0.42	64.79	BG + FB + SKT + H + GSR
	6	5	39.31	2297.62	0.37	47.93	BG + FB + SKT + H + SQ + STP
	7	15	39.85	2514.29	0.37	50.14	BG + FB + SKT + H + SQ + STP + BL
	8	20	45.64	3085.90	0.34	55.55	BG + FB + SKT + H + SQ + STP + MC + BS
	9	15	47.38	3189.79	0.45	56.48	BG + FB + SKT + H + SQ + STP + MC + BS + BL
	10	20	58.70	5583.10	0.37	74.72	BG + FB + SKT + H + SQ + STP + MC + BS + BL + GSR

60 Minute							
PID	No.	LSTM					
	Feature	Prev	MAE	MSE	MAPE	RMSE	Feature
540	1	10	32.36	1851.99	0.23	43.03	BG
	2	10	32.81	1833.85	0.24	42.82	BG + MC
	3	20	37.03	2260.66	0.27	47.55	BG + FB + MC
	4	20	53.72	4846.22	0.32	69.61	BG + FB + MC + SKT
	5	15	45.82	3308.80	0.34	57.52	BG + FB + MC + TB + AC
	6	5	38.40	2404.35	0.28	49.03	BG + FB + MC + TB + GSR + AC
	7	20	58.83	6483.06	0.33	80.52	BG + FB + MC + TB + GSR + BL + SKT
	8	5	61.89	5462.40	0.52	73.91	BG + FB + MC + TB + GSR + BL + SKT + AC
544	1	10	24.35	1064.39	0.16	32.63	BG
	2	5	24.19	1041.27	0.17	32.27	BG + FB
	3	10	26.00	1132.29	0.18	33.65	BG + FB + MC
	4	10	60.87	5278.62	0.50	72.65	BG + FB + MC + GSR
	5	10	62.86	6200.16	0.51	78.74	BG + FB + MC + GSR + AC
	6	20	44.38	3263.96	0.28	57.13	BG + FB + MC + GSR + AC + BL
	7	15	54.64	5150.97	0.30	71.77	BG + FB + MC + GSR + AC + SKT + BS
	8	10	86.29	10505.90	0.49	102.50	BG + FB + MC + GSR + AC + SKT + BS + BL
552	1	5	24.31	988.96	0.19	31.45	BG
	2	15	24.55	1069.26	0.18	32.70	BG + FB
	3	5	27.01	1140.74	0.22	33.77	BG + FB + MC
	4	15	31.48	1726.09	0.25	41.55	BG + FB + MC + SKT
	5	5	41.05	3009.56	0.28	54.86	BG + FB + MC + SKT + GSR
	6	20	45.07	3574.28	0.30	59.79	BG + FB + MC + SKT + GSR + AC
	7	10	46.89	3713.45	0.34	60.94	BG + FB + MC + SKT + GSR + AC + BL

60 Minute							
PID	No. Feature	Prev	LSTM				Feature
			MAE	MSE	MAPE	RMSE	
567	1	5	30.20	1769.25	0.22	42.06	BG
	2	5	32.19	1796.15	0.26	42.38	BG + FB
	3	15	47.05	3622.97	0.45	60.19	BG + SKT + BL
	4	10	49.59	3533.66	0.42	59.44	BG + SKT + FB + GSR
	5	5	80.94	9102.49	0.53	95.41	BG + SKT + FB + GSR + AC
	6	10	45.73	3493.51	0.36	59.11	BG + SKT + FB + AC + BL + BS
	7	20	46.90	3916.10	0.31	62.58	BG + SKT + FB + GSR + BL + BS + AC
584	1	15	30.35	1726.40	0.20	41.55	BG
	2	20	34.74	2242.08	0.24	47.35	BG + FB
	3	20	37.58	2659.98	0.25	51.58	BG + SKT + MC
	4	15	33.69	2132.90	0.22	46.18	BG + SKT + MC + BL
	5	10	38.60	2609.09	0.23	51.08	BG + SKT + MC + BL + AC
	6	10	32.21	1933.62	0.20	43.97	BG + SKT + MC + GSR + FB + BL
	7	20	48.21	3652.24	0.35	60.43	BG + SKT + MC + GSR + FB + BL + AC
596	1	20	22.61	927.82	0.16	30.46	BG
	2	15	22.70	969.89	0.17	31.14	BG + SKT
	3	5	25.04	1148.69	0.19	33.89	BG + FB + GSR
	4	5	33.26	1866.40	0.25	43.20	BG + FB + MC + BL
	5	10	38.91	2748.48	0.25	52.43	BG + FB + MC + SKT + BL
	6	10	30.53	1559.35	0.23	39.49	BG + FB + MC + SKT + BL + AC
	7	20	38.68	2557.25	0.28	50.57	BG + FB + MC + SKT + BL + AC + GSR

Accelerator = AC, Air Temperature = AT, Basal = BS, Bolus Carb = BC, Bolus Dose = BL, Fingerstick = FB, Glucose = BG, GSR = GSR, Heart Rate = H, Meal Carb = MC, Skin Temperature = SKT, Sleep quality = SQ, Steps = STP, Temporary Basal = TB

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐพร กิจชัยนุกูล
วัน เดือน ปี เกิด	29 ตุลาคม 2532
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	2554 วิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รางวัลที่ได้รับ	Best Conference Paper Award

