



การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรอ่างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร

อาณาจักร

นายคิระพันธ์ มหาคิระ

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตรข้อมูลเพือนวัตกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรอ่างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาลัทธิ

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปีการศึกษา 2568

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานบริการรับรอง
ของสหราชอาณาจักร

โดย นายคิตะพันธ์ มหาคิตะ

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม

..... คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันทา สดสี)

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธาน

(ดร.ภัทราวดี แสงศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผุสดี บุญรอด)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิพาณิชย์ นุชิตประสิทธิ์ชัย)

ชื่อ : นายคิตะพันธ์ มหาคิตะ
ชื่อการค้นคว้าอิสระ : การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักร
อ้างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร
สาขาวิชา : วิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ผุสดี บุญรอด
ปีการศึกษา : 2568

บทคัดย่อ

การบำรุงรักษาเครื่องจักรซึ่งมีความสำคัญต่อความถูกต้องของการวัด และการควบคุมคุณภาพ การผลิตของอุตสาหกรรมเกษตรกรรม การค้นคว้าอิสระนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับ การบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยใช้ข้อมูลผลการสอบเทียบย้อนหลัง 9 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2559 ถึง 2567 จำนวน 127,118 รายการ ภายใต้กรอบมาตรฐาน UKAS LAB 14:2015 หลังจากทำความเข้าใจข้อมูล และจำแนกข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่มตามประเภท การทดสอบ จากนั้นทำการกำหนดระดับความเสี่ยงตรง และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ที่ยอมรับได้ โดยได้กำหนดเกณฑ์การแจ้งเตือนเป็น 4 ระดับ ได้แก่ Normal, Warning Limits, Action Limits และ Over Limits เพื่อระบุสถานะ และจัดลำดับความเร่งด่วนในการบำรุงรักษา จากนั้นได้นำเกณฑ์การแจ้งเตือนไปต่อยอดเพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับ การบำรุงรักษาเครื่องจักรที่สามารถแสดงข้อมูลสรุปสถานะ รายงานการบำรุงรักษา และการคำนวณค่าปรับแก้ต้นทุน จากผลการวิจัย พบว่า เครื่องจักรที่มีสถานะเกินเกณฑ์ยอมรับทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 22.68 ซึ่งบ่งชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการจัดลำดับความสำคัญในการบำรุงรักษา จากผลการประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีเยี่ยม ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นช่วยสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเครื่องจักร รองรับ ความต้องการของผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้อง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงในองค์กรที่ดำเนินการสอบเทียบ เครื่องจักรในอุตสาหกรรมเกษตรกรรมได้

(มีจำนวนทั้งสิ้น 116 หน้า)

คำสำคัญ : เครื่องจักร การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การถดถอยพหุนาม มาตรฐานบริการรับรอง
ของสหราชอาณาจักร

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระหลัก

Name : Mr. Kheetaphan Mahakheeta
Independent Study Title : Enhancing Preventive Maintenance Efficiency for
Reference Weighing Scales Based on United Kingdom
Accreditation Service Standards
Major Field : Data Science for Innovation
King Mongkut's University of Technology North
Bangkok
Independent Study Advisor : Assistant Professor Dr. Pudsadee Boonrawd
Academic Year : 2025

ABSTRACT

Weighing scale maintenance is essential for measurement accuracy and production quality control in the pharmaceutical industry. This independent study had the objective of developing a decision-support system for weighing scale maintenance using 9 years of retrospective calibration data from 2016 to 2024, totaling 127,118 records, within the framework of the UKAS LAB 14:2015 standard. After data cleaning, the records were classified into 3 groups according to test type. Subsequently, the accuracy class determination and calculation of maximum permissible errors are performed. A four-level alert, including Normal, Warning Limits, Action Limits, and Over Limits, has been established to identify instrument status and prioritize maintenance. These criteria were developed into a decision-support system capable of showing status summaries, maintenance reports, and weight-correction calculations. Scales exceeding thresholds made up 22.68% of the total, indicating prioritized maintenance needs. Experts rated the information system excellent. In conclusion, the developed system supports weighing scale maintenance decisions, meets user needs, and can be applied in organizations performing pharmaceutical weighing scale calibration.

(Total 116 Pages)

Keywords: Weighing Scale, Preventive Maintenance, Polynomial Regression,
United Kingdom Accreditation Service

Advisor

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความรู้และการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่าน ข้าพเจ้าขอแสดงความกตัญญูต่องานที่ต่อผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุสดี บุญรอด อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้สละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำ ถ่ายทอดองค์ความรู้ และชี้แนะแนวทางการวิจัยตลอดระยะเวลาของการจัดทำงานชิ้นนี้ ความเอาใจใส่และความทุ่มเทของท่านเป็นรากฐานสำคัญที่ทำให้การค้นคว้าอิสระนี้มีคุณค่าทางวิชาการ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบทุกท่านที่ประกอบด้วย ดร.ภัทรารุณี แสงศิริ ประธานกรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิพาณี นุชิตประสิทธิ์ชัย กรรมการ สำหรับข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ซึ่งช่วยให้งานการค้นคว้าอิสระมีความสมบูรณ์และครอบคลุมยิ่งขึ้น รวมทั้งขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่กรุณาสละเวลาในการประเมินคุณภาพระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการยืนยันความถูกต้องและความพร้อมใช้งานของระบบ

ขอขอบคุณองค์การเภสัชกรรมที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาในการศึกษาครั้งนี้ รวมถึงขอขอบคุณ นายปรัชญา ชาดินกรบ รองผู้อำนวยการฝ่ายวิจัยพัฒนาและนวัตกรรม และนางสาวประภาพรพันธ์ บุชสาย ผู้อำนวยการกองสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องฝ่ายวิศวกรรม องค์การเภสัชกรรม ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องชั่ง ซึ่งเป็นฐานข้อมูลสำคัญต่อการวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลองในการค้นคว้าอิสระนี้ รวมถึงบุคลากรของหน่วยงานดังกล่าวที่ให้คำแนะนำด้านมาตรฐานการสอบเทียบและข้อมูลเชิงปฏิบัติอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของการค้นคว้าอิสระ

ท้ายที่สุด ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณอย่างสุดซึ้งแก่ครอบครัวและมิตรสหายทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุน และส่งเสริมให้ข้าพเจ้าก้าวผ่านอุปสรรคต่าง ๆ จนบรรลุเป้าหมายได้ในที่สุด ความสำเร็จในครั้งนี้เป็นของทุกท่านเช่นเดียวกัน

ศิตะพันธ์ มหาศิตะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การบำรุงรักษาเครื่องจักร	6
2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	9
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	20
3.1 การศึกษาและออกแบบกรอบแนวคิดการวิจัย	20
3.2 การเตรียมข้อมูล	22
3.3 การกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา	28
3.4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	32
3.5 การพัฒนาระบบสารสนเทศ	32
3.6 การประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศ	57
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	61
4.1 ผลการกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา	61
4.2 ผลการพัฒนาระบบสารสนเทศ	67
4.3 ผลการประเมินคุณภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะการวิจัย	83
5.1 สรุปผลการวิจัย	83
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	84
5.3 ข้อเสนอแนะการวิจัย	85
บรรณานุกรม	87
ภาคผนวก ก	90
ภาคผนวก ข	95
ภาคผนวก ค	102
ภาคผนวก ง	104
ประวัติผู้เขียน	116



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	การเปรียบเทียบแนวทางและวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบและการวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องชั่ง	17
3-1	องค์ประกอบข้อมูลข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องชั่ง	22
3-2	ตารางสรุปผลการทำความสะอาดข้อมูล	26
3-3	ข้อมูลที่ใช้การช่วยตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง	26
3-4	ข้อมูลที่ใช้ปรับค่าจากการชั่งค่าน้ำหนัก	27
3-5	เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการจำแนกระดับความแม่นยำของเครื่องชั่ง	28
3-6	เกณฑ์ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Permissible Errors: MPE) จำแนกตามระดับความแม่นยำและน้ำหนักทดสอบ	29
3-7	รายละเอียดยูสเคสของระบบสารสนเทศ	35
3-8	รายละเอียดยูสเคสจัดการข้อมูลการสอบเทียบ	36
3-9	รายละเอียดยูสเคสการประเมินสถานะเครื่องชั่งและแจ้งเตือนการบำรุงรักษา	38
3-10	รายละเอียดยูสเคสวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	40
3-11	รายละเอียดยูสเคสการคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อน	42
3-12	รายละเอียดยูสเคสแสดงผลกระดานข้อมูล	43
3-13	โครงสร้างข้อมูลเครื่องชั่ง	46
3-14	โครงสร้างข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องชั่ง	47
3-15	โครงสร้างข้อมูลการประเมินสถานะเครื่องชั่ง	48
3-16	โครงสร้างข้อมูลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	49
3-17	โครงสร้างข้อมูลจำเพาะจากผู้ผลิตเครื่องชั่ง	51
3-18	เกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศ	59
3-19	เกณฑ์การแปลความหมายค่าเฉลี่ยผลการประเมินคุณภาพ	60
4-1	แนวทางการตัดสินใจบำรุงรักษาตามสถานะจาก Threshold Score	63
4-2	ผลการกระจายสถานะที่รุนแรงที่สุดรวมทั้งชุดข้อมูล	63
4-3	สถานะที่รุนแรงที่สุดแยกตาม Accuracy Class	64
4-4	เปรียบเทียบสัดส่วนสถานะระหว่าง Analyte ทั้ง 3 ประเภท	64
4-5	แสดงแนวโน้มสถานการณ์การเฝ้าระวังรายปี	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-6	สัดส่วนสถานะเครื่องมือเร่งด่วน (Action และ Over Limits) จำแนกตาม บริษัทผู้ผลิต	66
4-7	เทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบ	67
4-8	สรุปโมดูลหลักและกรณีใช้งาน	67
4-9	ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความ ต้องการของผู้ใช้งาน	79
4-10	ผลการประเมินความถูกต้องของการทำงานตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ	80
4-11	ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบ สารสนเทศ	81
4-12	สรุปผลการประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ด้าน	82
ข-1	แบบทดสอบประสิทธิภาพด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความ ต้องการของผู้ใช้งาน	98
ข-2	แบบประเมินความถูกต้องของการทำงานตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ	99
ข-3	แบบทดสอบประสิทธิภาพด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบ สารสนเทศ	100
ง-1	เกณฑ์สถานะและแนวทางดำเนินการ	110
ง-2	เงื่อนไขการเลือกแบบจำลอง	115

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	จำนวนเครื่องมือสอบเทียบที่ไม่ผ่านการสอบเทียบ ปี พ.ศ. 2564–2568	2
3-1	กรอบแนวคิดการวิจัยของการเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่อง ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร	21
3-2	กราฟแสดงปริมาณข้อมูลที่รวบรวมได้ในแต่ละปี	24
3-3	กราฟแสดงปริมาณข้อมูล แบ่งตามกลุ่มการสอบเทียบและค่าความละเอียดของ เครื่องมือ	25
3-4	แผนภาพยูสเคสของระบบสารสนเทศ	34
3-5	แผนภาพลำดับการนำเข้าข้อมูล	37
3-6	แผนภาพลำดับการประเมินสถานะเครื่องชั่งและแจ้งเตือนการบำรุงรักษา	39
3-7	แผนภาพลำดับวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	41
3-8	แผนภาพลำดับคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อน	43
3-9	แผนภาพลำดับกระบวนการแสดงผลกระดานข้อมูล	45
3-10	แผนภาพคลาสรระบบสารสนเทศ	46
3-11	การออกแบบหน้าจอ Dashboard สำหรับสรุปสถานะ	52
3-12	การออกแบบหน้าจอ Calibration Analysis ส่วน Calibration Curve	53
3-13	การออกแบบหน้าจอ Calibration Analysis ส่วน Regression Models	53
3-14	การออกแบบหน้าจอ Calibration Analysis ส่วน Eccentricity Radar	54
3-15	การออกแบบหน้าจอ Maintenance Report	55
3-16	การออกแบบหน้าจอ Weighing Adjustment ส่วนข้อมูลเครื่องชั่ง	55
3-17	การออกแบบหน้าจอ Weighing Adjustment ส่วนรายการเครื่องชั่ง	56
3-18	การออกแบบหน้าจอ Weighing Adjustment ส่วนปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อน จากสมการถดถอย	56
3-19	การออกแบบหน้าจอ Data Import	57
4-1	หน้าจอ Dashboard การ์ดสรุปจำนวนเหตุการณ์ในแต่ละสถานะ	69
4-2	หน้าจอ Dashboard กราฟวงแหวนแสดงสัดส่วนโดยรวม	69
4-3	หน้าจอ Dashboard กราฟแนวโน้มรายเดือน	70
4-4	หน้าจอ Dashboard กราฟสรุปตามผู้ผลิต	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-5	หน้าจอ Dashboard กราฟรุ่นที่มีสถานะ Over Limit สูงสุด	71
4-6	ภาพรวมหน้าจอ Dashboard	71
4-7	หน้าจอ Calibration Analysis กราฟ Calibration Curve	72
4-8	หน้าจอ Calibration Analysis ตารางเปรียบเทียบ Regression Models	72
4-9	หน้าจอ Calibration Analysis กราฟ Eccentricity Radar	73
4-10	หน้าจอ Maintenance Report การ์ดจำนวนรายการตามสถานะ	73
4-11	หน้าจอ Maintenance Report ตารางรายการเครื่องชั่ง	74
4-12	หน้าจอ Maintenance Report ตารางผลการสอบเทียบ	74
4-13	ภาพรวมหน้าจอ Maintenance Report	75
4-14	หน้าจอ Weighing Adjustment แสดงข้อมูลเครื่องชั่ง	75
4-15	หน้าจอ Weighing Adjustment รายการเครื่องชั่ง	76
4-16	หน้าจอ Weighing Adjustment ส่วนคำนวณค่าปรับแก้น้ำหนัก	76
4-17	หน้าจอ Weighing Adjustment ผลการสอบเทียบในรูปแบบตาราง	77
4-18	ภาพรวมหน้าจอ Weighing Adjustment	77
4-19	หน้าจอ Data Import การนำเข้าข้อมูลเครื่องชั่ง	78
4-20	หน้าจอ Data Import การนำเข้าข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องชั่ง	78
4-21	ภาพรวมหน้าจอ Data Import	78
4-22	ผลการประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศโดยผู้เชี่ยวชาญในภาพรวมทั้ง 3 ด้าน	82
ง-1	หน้าจอ Login ของระบบ	105
ง-2	การออกจากระบบ	106
ง-3	การนำเข้าไฟล์ equipment.csv	107
ง-4	การนำเข้าไฟล์ results.csv	107
ง-5	หน้าจอ Calibration History การค้นหาใบงาน	108
ง-6	กราฟ Weight และ Correction และโหมดเปรียบเทียบ 2 ใบงาน	108
ง-7	หน้าจอ Weighing Adjustment ปุ่ม Update MPE	109
ง-8	หน้าจอ Maintenance Report การอัปเดตสถานะ	109

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ง-9	หน้าจอ Maintenance Report แสดงรายการสถานะและรายละเอียดใบงาน	110
ง-10	หน้าจอ Monitoring Dashboard แสดง KPI และกราฟสรุปสถานะ	111
ง-11	การกรองสถานะบน Dashboard การกรองและดูรายละเอียดเพิ่มเติม	112
ง-12	หน้าจอ Weighing Adjustment การเลือกโหมดการคำนวณ	113
ง-13	หน้าจอ Weighing Adjustment การคำนวณค่าปรับแก้น้ำหนัก	113
ง-14	กราฟ Calibration Curve	114
ง-15	ภาพตารางเปรียบเทียบ Regression Models	114
ง-16	กราฟ Eccentricity Radar แสดงความคลาดเคลื่อนตามตำแหน่งการวางน้ำหนัก	115

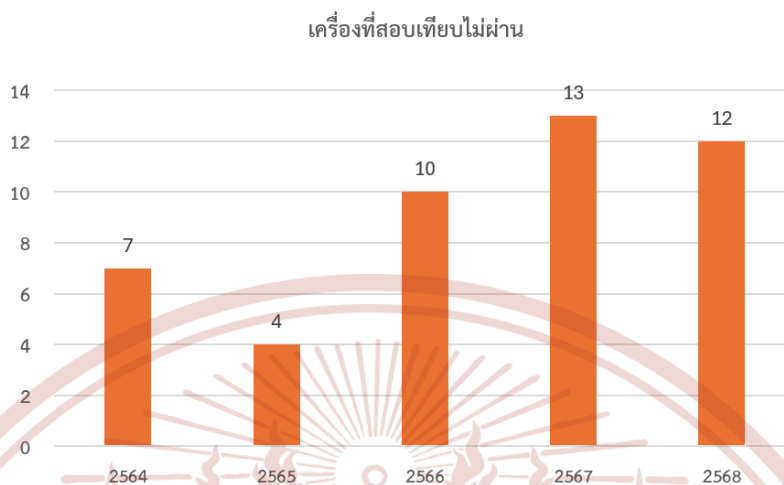
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมเภสัชกรรมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาระบบสาธารณสุขและความมั่นคงทางสุขภาพของประชากรโลก เนื่องจากกระบวนการผลิตยาเกี่ยวข้องโดยตรงกับความปลอดภัยและชีวิตของผู้ป่วย ตลาดยาโลกจึงมีการเติบโตสูงอย่างต่อเนื่อง โดยรายงานของ European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations (EFPIA) ระบุว่าในปี ค.ศ. 2023 ตลาดยาตามใบสั่งแพทย์ทั่วโลกมีมูลค่าสูงถึง 1.4 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐ [1] สอดคล้องกับข้อมูลจาก Grand View Research ที่ประเมินว่าตลาดยาโลกจะเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 6.12 ต่อปี [2] สำหรับประเทศไทย ข้อมูลจากวิจัยกรุงศรีระบุว่าในปี พ.ศ. 2567 ตลาดยาในประเทศไทยมีมูลค่าสูงถึง 2.4 แสนล้านบาท และมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่อง [3] การเติบโตนี้สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นที่อุตสาหกรรมยาต้องรักษามาตรฐานการควบคุมคุณภาพในระดับสากลอย่างเข้มงวด

ในกระบวนการผลิตและควบคุมคุณภาพยา "เครื่องจักร" ถือเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง โดยพบว่ากว่าร้อยละ 70 ของกระบวนการวิเคราะห์คุณภาพต้องอาศัยผลลัพธ์จากเครื่องจักรที่แม่นยำ หากเครื่องจักรมีความคลาดเคลื่อนจากการขาดการบำรุงรักษาที่เหมาะสม จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของยาและความปลอดภัยของผู้บริโภค มีการประเมินว่าความคลาดเคลื่อนในการชั่งน้ำหนักเพียงเล็กน้อย อาจก่อให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจในระดับอุตสาหกรรมได้มากกว่า 5-10 ล้านบาทต่อปี แม้ห้องปฏิบัติการจะมีการกำหนดรอบการสอบเทียบตามมาตรฐานอย่างเคร่งครัด แต่จากข้อมูลสถิติผลการสอบเทียบเครื่องจักรอ้างอิงภายในองค์กรย้อนหลัง 5 ปี พบว่าจำนวนเครื่องจักรที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในช่วง 3 ปีหลังสุด โดยในปี พ.ศ. 2565 พบเครื่องจักรที่ไม่ผ่านเกณฑ์เพียง 4 เครื่อง แต่กลับเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็น 10 เครื่อง ในปี พ.ศ. 2566 และทะยานขึ้นสูงสุดถึง 13 เครื่อง ในปี พ.ศ. 2567 แม้ในปี พ.ศ. 2568 จะลดลงเล็กน้อยเหลือ 12 เครื่อง แต่ก็ยังถือเป็นระดับความเสี่ยงที่สูงเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในอดีต ดังแสดงในภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 จำนวนเครื่องมือสอบเทียบที่ไม่ผ่านการสอบเทียบ ปี พ.ศ. 2564–2568

อัตราความล้มเหลวที่เพิ่มขึ้นนี้ สะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดของระบบการบำรุงรักษาในปัจจุบัน ที่มักพึ่งพาการซ่อมบำรุงเมื่อเกิดการชำรุด (Breakdown Maintenance) หรือการกำหนดรอบเวลาบำรุงรักษาแบบตายตัว เช่น ปีละ 1 ครั้ง ซึ่งไม่สามารถตรวจจับการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นระหว่างรอบการสอบเทียบได้ การปล่อยให้เครื่องจักรทำงานโดยมีความคลาดเคลื่อนเกินขีดจำกัดที่ยอมรับได้ ก่อให้เกิดความเสี่ยงสูงที่ผลิตภัณฑ์ยาจะไม่ได้มาตรฐาน)

เมื่อพิจารณาในบริบทของประเทศไทย องค์การเภสัชกรรม (The Government Pharmaceutical Organization: GPO) ซึ่งเป็นเสาหลักด้านยาของประเทศ มีห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้มาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบจากการปฏิบัติงานจริงคือ ผู้ใช้งานมักใช้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องจักรโดยตรง โดยไม่ได้นำค่าปรับแก้ (Correction Value) จากใบรายงานผลการสอบเทียบมาใช้คำนวณร่วมด้วย ส่งผลให้การชั่งน้ำหนักยังคงมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ แต่ที่ผ่านมามงานวิจัยด้านการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบำรุงรักษาในอุตสาหกรรมยา มักมุ่งเน้นไปที่เครื่องจักรขนาดใหญ่ในสายการผลิต เช่น เครื่องอัดเม็ดยา แต่ยังขาดการศึกษาเจาะจงที่มุ่งแก้ไขปัญหาคความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักรที่มีรูปแบบการเสื่อมสภาพแตกต่างออกไป จากข้อจำกัดดังกล่าว การนำเทคโนโลยีสารสนเทศและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกมาประยุกต์ใช้ จึงเป็นทางออกที่สำคัญ โดยเฉพาะการเปลี่ยนผ่านสู่ "การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์" ที่สามารถประเมินแนวโน้มและแจ้งเตือนก่อนที่เครื่องจักรจะมีความคลาดเคลื่อนเกินมาตรฐาน ช่วยลดเวลาเครื่องจักรหยุดทำงาน และลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดของพนักงาน

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้จึงมุ่งออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างอิง เพื่ออุดช่องว่างทางวิชาการและแก้ไข

ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรม ระบบนี้จะช่วยวิเคราะห์ข้อมูลการสอบเทียบอย่างเป็นระบบ ลดความเสี่ยงจากการชำรุดของเครื่องมือ และช่วยยกระดับมาตรฐานการควบคุมคุณภาพในการผลิต เกสซ์กรรมให้มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศที่สนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเครื่องซึ่ง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องซึ่ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ข้อมูลสำหรับการวิจัยนี้เป็นข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องซึ่งของกองสอบเทียบและ ตรวจสอบความถูกต้อง ฝ่ายวิศวกรรม องค์การเกสซ์กรรม ประกอบด้วย ข้อมูลการสอบเทียบในช่วง ระยะเวลา 9 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 รวมจำนวนทั้งสิ้น 127,118 รายการ ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยข้อมูล วันที่สอบเทียบ ประเภทการสอบเทียบ ค่าน้ำหนักที่สอบเทียบ ค่าน้ำหนักที่ผิดพลาด ผลสอบเทียบผ่านหรือตก สภาวะแวดล้อม อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ รายละเอียดเครื่องซึ่ง ยี่ห้อ รุ่น หมายเลขเครื่อง และเกณฑ์การตัดสินผลสอบเทียบ

1.3.2 การประยุกต์ใช้มาตรฐานการสอบเทียบ ในการศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้มาตรฐาน UKAS LAB 14:2015 ซึ่งกำหนดแนวทางการจัดการและบำรุงรักษาอุปกรณ์การวัดอย่างเป็นระบบ โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลการสอบเทียบในสามด้านหลัก ได้แก่ ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) ความเยื้องศูนย์กลาง (Eccentricity) และความคลาดเคลื่อนของค่าการแสดงผล (Departure of Indication from Nominal Value) ทั้งนี้วิธีการสอบเทียบและการคำนวณผลที่ใช้ในการศึกษาเป็นไปตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 ซึ่งรับประกันความน่าเชื่อถือ และการยอมรับในระดับสากลของผลการสอบเทียบที่นำมาวิเคราะห์

1.3.3 การพัฒนาแนวทางการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องซึ่งอาศัยหลักการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน UKAS LAB 14:2015 โดยเริ่มจากการจำแนกระดับความเที่ยงตรง ตามค่าความสูงสุดและค่าอ่านละเอียดของเครื่องซึ่ง การประเมินสถานะครอบคลุมพารามิเตอร์สำคัญ ได้แก่ ความสามารถในการทำซ้ำ ความเยื้องเบนจากศูนย์กลาง และความคลาดเคลื่อนของค่าการแสดงผล ระบบการตัดสินใจใช้เกณฑ์การแจ้งเตือนแบบหลายระดับตามค่า Threshold ที่เป็นค่าสำหรับตัวบ่งชี้สถานะที่ในการดำเนินการบำรุงรักษา

1.3.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สี่ประเภท ได้แก่ การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) การถดถอยกำลังสอง (Quadratic Regression) การถดถอยกำลังสาม (Cubic Regression) การถดถอยกำลังสี่ (Quartic

Regression) และการสอดแทรกเชิงเส้น (Linear Interpolation) เพื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาวิเคราะห์และปรับแก้ข้อมูลการสอบเทียบเครื่องชั่ง โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของแบบจำลองต่าง ๆ จะใช้เกณฑ์การประเมินทางสถิติ ประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้ว (Adjusted R^2) ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เพื่อคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสนับสนุนการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง แบบเชิงพยากรณ์และการพัฒนาระบบสารสนเทศที่มีประสิทธิภาพ

1.3.5 ขอบเขตด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) มีรายละเอียดขั้นต่ำดังนี้

1.3.5.1 หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU) Ryzen5 7530U
2 กิกะเฮิร์ตซ์ (Gigahertz: GHz)

1.3.5.2 หน่วยความจำหลัก (Random Access Memory: RAM) 24 กิกะไบต์
(Gigabyte : GB)

1.3.5.3 พื้นที่จัดเก็บ (Storage) 512 กิกะไบต์ (Gigabyte)

1.3.6 ขอบเขตด้านซอฟต์แวร์ (Software) มีรายละเอียดดังนี้

1.3.6.1 โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับการจัดการข้อมูล

1.3.6.2 โปรแกรม Google Colab สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

1.3.6.3 โปรแกรม Visual Studio Code สำหรับพัฒนาระบบสารสนเทศ

1.3.6.4 โปรแกรม Node.js ร่วมกับ Express.js ใช้เป็นกรอบงานสำหรับการพัฒนาระบบในส่วน Backend และการให้บริการ API

1.3.6.5 โปรแกรม React ใช้สำหรับการพัฒนาระบบในส่วน Frontend

1.3.6.6 โปรแกรม Tailwind ใช้สำหรับพัฒนา UI ของระบบสารสนเทศ

1.3.6.7 โปรแกรม Chart.js และ react-chartjs-2 ใช้สำหรับการแสดงผลข้อมูลเชิงสถิติและภาพผลการวิเคราะห์ในรูปแบบกราฟิก

1.3.6.8 ระบบจัดการฐานข้อมูล Oracle Database 19c ใช้สำหรับการจัดเก็บและบริหารจัดการข้อมูลทั้งหมดของระบบ

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) หมายถึง การบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลและเทคโนโลยีการตรวจสอบสภาพเพื่อคาดการณ์เมื่อใดที่อุปกรณ์อาจเกิดความเสียหายหรือต้องการบำรุงรักษา ซึ่งช่วยให้สามารถดำเนินการบำรุงรักษาได้อย่างเหมาะสมก่อนที่จะเกิดปัญหา

1.4.2 ข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและห้องปฏิบัติการสอบเทียบ (ISO/IEC 17025) หมายถึง มาตรฐานสากลที่กำหนดข้อกำหนดทั่วไปสำหรับความสามารถ ความเป็นกลาง และการดำเนินงานอย่างสม่ำเสมอของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ มุ่งเน้นการประกันคุณภาพและความสอดคล้องในกระบวนการทดสอบและสอบเทียบ

1.4.3 ยูเนสแล็บ14 (UKAS LAB 14) หมายถึง เอกสารแนวทางที่ออกโดย United Kingdom Accreditation Service ซึ่งเป็นคำแนะนำเกี่ยวกับการสอบเทียบเครื่องชั่งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบและทดสอบ

1.4.4 การปรับแก้ความคลาดเคลื่อน หมายถึง ค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลผลการสอบเทียบ เพื่อนำมาปรับแก้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลาระหว่างการสอบเทียบ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการชั่งน้ำหนัก

1.4.5 เกณฑ์การแจ้งเตือนแบบหลายระดับ (Multi-level Alert Threshold) หมายถึง ระบบการแจ้งเตือนที่แบ่งสถานะของเครื่องชั่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ สถานะปกติ ตัวบ่งชี้การเสื่อมสภาพ สถานะที่ต้องตรวจสอบและบำรุงรักษา และสถานะที่ต้องดำเนินการบำรุงรักษาเร่งด่วน โดยอาศัยการวิเคราะห์พารามิเตอร์จากการสอบเทียบ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ได้ระบบสารสนเทศที่สามารถสนับสนุนการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง และการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนอย่างอัตโนมัติ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในองค์กรอื่น ๆ ที่มีความต้องการในการจัดการเครื่องมือวิเคราะห์ความแม่นยำสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2 ได้แนวทางการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องชั่งที่อาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์ ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงจากการชำรุดของเครื่องมือ เพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และยกระดับมาตรฐานการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตเภสัชกรรม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรอ้างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร ผู้จัดทำการค้นคว้าอิสระได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับงานค้นคว้าอิสระ โดยดำเนินการแบ่งหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 การบำรุงรักษาเครื่องจักร
- 2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำรุงรักษาเครื่องจักร

การบำรุงรักษาเครื่องจักรในบริบทของอุตสาหกรรมเภสัชกรรมได้รับการยอมรับว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญยิ่งต่อการรักษาความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการวัด โดยมีจุดประสงค์หลักในการดูแลรักษาและซ่อมแซมเครื่องมือเชิงป้องกันก่อนที่ความผิดปกติหรือความชำรุดจะเกิดขึ้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวต้องอาศัยข้อมูลเชิงประจักษ์จากการสอบเทียบเป็นฐานในการวิเคราะห์และการตัดสินใจ เพื่อให้สามารถลดความเสี่ยงจากความคลาดเคลื่อนในการชั่งน้ำหนัก ป้องกันความผิดพลาดทางเทคนิคที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ และขยายอายุการใช้งานของเครื่องมือให้ยาวนานขึ้น ทั้งนี้ แนวทางการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องยึดมั่นในมาตรฐานสากล ปฏิบัติตามแนวปฏิบัติที่เป็นที่ยอมรับ และดำเนินการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อย่างเหมาะสม โดยสามารถจำแนกออกเป็นประเด็นสำคัญดังต่อไปนี้

2.1.1 มาตรฐานที่มีความสำคัญต่อการบำรุงรักษาเครื่องจักรในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม

มาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบและการบำรุงรักษาเครื่องจักรในอุตสาหกรรมเภสัชกรรมมีหลายฉบับที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ประกอบด้วย ISO/IEC 17025:2017 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่เป็นกำหนดข้อกำหนดทั่วไปสำหรับความสามารถของห้องปฏิบัติการสอบเทียบและทดสอบ โดยเน้นหลักการความถูกต้อง (Accuracy) ความแม่นยำ (Precision) และความสามารถในการสอบกลับได้ของการวัด (Traceability) [4] ตามลำดับความสำคัญ เพื่อสนับสนุนมาตรฐานดังกล่าว UKAS LAB 14:2015 ถือเป็นมาตรฐานสำคัญที่กำหนดแนวทางเฉพาะสำหรับการสอบเทียบเครื่องจักรในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเอกสารแนวทางของ United Kingdom Accreditation Service นี้ ให้คำแนะนำรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการสอบเทียบ วิธีการประเมิน

ความแม่นยำ และการจัดการข้อมูลการสอบเทียบอย่างเป็นระบบ [5] โดยเฉพาะอย่างยิ่ง UKAS LAB 14 มุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลการสอบเทียบในสามด้านหลัก ประกอบด้วย ความสามารถในการทำซ้ำ ซึ่งเป็นการประเมินความสม่ำเสมอของผลการชั่งในสภาวะเดียวกัน ความเที่ยงจุดศูนย์กลาง ที่เป็นการตรวจสอบความแม่นยำเมื่อวางตัวอย่างในตำแหน่งต่างๆ บนจานชั่ง และความคลาดเคลื่อนของค่าการแสดงผล ที่เป็นการวัดความแตกต่างระหว่างค่าที่แสดงกับค่าที่แท้จริง ตลอดจนแนวทางการบำรุงรักษาและการตรวจสอบคุณภาพที่เหมาะสม

อีกทั้งยังมีมาตรฐาน OIML R76-1 (Organisation Internationale de Métrologie Légale) ซึ่งเป็นข้อกำหนดระดับสากลสำหรับเครื่องชั่งที่ใช้ในการค้า ทำการกำหนดคลาสความแม่นยำ (Accuracy Class) และเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องชั่ง โดยแบ่งเครื่องชั่งออกเป็นคลาสต่างๆ ตามความสามารถในการให้ผลการวัดที่แม่นยำ ทั้งนี้ มาตรฐานนี้มีความสำคัญในการกำหนดเกณฑ์การแจ้งเตือนแบบหลายระดับและการตัดสินใจด้านการบำรุงรักษา และสิ่งสำคัญคือความสำคัญของมาตรฐานเหล่านี้ไม่เพียงแต่อยู่ที่การให้แนวทางปฏิบัติเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการสร้าง ความมั่นใจในความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการวัด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เกณฑ์กรรมและความปลอดภัยของผู้บริโภค โดยเฉพาะในบริบทของการผลิตยาที่ต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์การผลิตยาที่ดี (Good Manufacturing Practice: GMP) ที่มีความเข้มงวดสูง ดังนั้น การนำมาตรฐานเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกันจะสามารถสร้างระบบการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

2.1.2 แนวทางการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง

ในบริบทปัจจุบันสามารถจำแนกออกเป็นสี่รูปแบบหลัก โดยแต่ละรูปแบบมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน รูปแบบแรก คือ การตรวจสอบสภาพเครื่องมือเป็นระยะ (Routine Inspection) ซึ่งประกอบด้วยการตรวจสอบสภาพภายนอกและการทำงานเบื้องต้นของเครื่องชั่ง เพื่อระบุปัญหาที่อาจเกิดขึ้น การตรวจสอบดังกล่าวครอบคลุมการตรวจสอบความสะอาดของจานชั่ง การทำงานของระบบแสดงผล และการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติในลักษณะการทำงาน รูปแบบที่สอง คือ การสอบเทียบตามรอบเวลาที่กำหนด (Scheduled Calibration) ซึ่งเป็นกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของการแสดงผลเมื่อเทียบกับมาตรฐานอ้างอิง โดยใช้น้ำหนักมาตรฐานที่ได้รับการรับรองเพื่อทดสอบความแม่นยำในช่วงการวัดต่าง ๆ และประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด รูปแบบที่สาม ได้แก่ การทำความสะอาดและการปรับแต่งเครื่องชั่ง (Cleaning and Adjustment) ซึ่งรวมถึงการดูแลรักษาส่วนประกอบต่าง ๆ และการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม โดยเฉพาะการปรับค่าศูนย์ การปรับความไว และการตรวจสอบระบบการทำงานของเซนเซอร์ รูปแบบสุดท้าย คือ การวิเคราะห์ข้อมูลการสอบเทียบเพื่อการวินิจฉัยปัญหา (Calibration Data Analysis) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลในอดีตเพื่อคาดการณ์แนวโน้มการเสื่อมสภาพและ

วางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสม โดยการวิเคราะห์นี้เน้นการระบุรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพและการคาดการณ์จุดที่ต้องดำเนินการบำรุงรักษา

ผลสำเร็จของการดำเนินการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพจะสามารถลดความคลาดเคลื่อนระหว่างการใช้งาน (Drift) และรักษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องชั่งให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตลอดระยะเวลาการใช้งาน โดยเฉพาะการป้องกันการสะสมของความคลาดเคลื่อนที่อาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของการวัด อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จของกระบวนการบำรุงรักษาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ทั้งความเหมาะสมของวิธีการที่เลือกใช้ ความสม่ำเสมอในการปฏิบัติ และความเข้าใจในลักษณะเฉพาะของเครื่องชั่งแต่ละประเภท นอกจากนี้ ในการสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการบำรุงรักษาเครื่องชั่งอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีระบบการประเมินสถานะที่ชัดเจนและเป็นมาตรฐาน เช่น การจำแนกระดับความเที่ยงตรง ตามหลักการของ OIML R76-1 เพื่อกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สำหรับเครื่องชั่งแต่ละประเภท ดังนั้น การผสมผสานเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเข้ากับแนวคิดการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์แบบอุตสาหกรรม 4.0 จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการยกระดับความถูกต้องและเพิ่มความยืดหยุ่นในการวางแผนบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6]

2.1.3 การสอบเทียบเครื่องชั่ง

การสอบเทียบเครื่องชั่งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญยิ่งในการสร้างความมั่นใจว่าเครื่องมือสามารถให้ผลการวัดที่มีความถูกต้องและแม่นยำตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยกระบวนการดังกล่าวส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เกษตรกรรมและความปลอดภัยของผู้บริโภค เป้าหมายหลักของกระบวนการสอบเทียบและการปรับตั้งค่า คือ การชดเชยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ ทั้งปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ปัจจัยการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนเครื่องมือ ความถี่ในการใช้งาน และคุณภาพของกระบวนการบำรุงรักษา

การปรับตั้งค่าเครื่องชั่งในทางปฏิบัติสามารถจำแนกออกเป็นหลายลักษณะที่สำคัญ ประการแรก การสอบเทียบค่าศูนย์ (Zero Calibration) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เครื่องชั่งแสดงค่าศูนย์เมื่อไม่มีวัตถุใด ๆ บนจานชั่ง ประการที่สอง การปรับค่าความเป็นเส้นตรง (Linearity Adjustment) ซึ่งมุ่งหมายให้ค่าการวัดมีความสอดคล้องเชิงเส้นตรงกับน้ำหนักที่แท้จริงในทุกช่วงการวัดที่กำหนด และประการสุดท้าย การปรับค่าความไว (Sensitivity Adjustment) เพื่อให้เครื่องมือสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่มีขนาดเล็กที่สุดได้อย่างแม่นยำ การดำเนินการปรับตั้งค่าดังกล่าวอย่างเหมาะสมจะช่วยรับประกันได้ว่าเครื่องชั่งสามารถทำงานได้ในระดับที่เชื่อถือได้และคงความแม่นยำตลอดอายุการใช้งาน

นอกจากการปรับตั้งค่าดังกล่าวแล้ว การศึกษาทางวิชาการล่าสุดได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการลำดับขั้นตอนของการสอบเทียบ (Calibration Sequence) ที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความผิดพลาดและค่าความไม่แน่นอนของการวัด [7] ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการวางแผนและกำหนดขั้นตอนการสอบเทียบที่เป็นระบบและมีความเหมาะสมกับบริบท

การใช้งานจริงของเครื่องจักร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมเกษตรกรรมที่มีข้อกำหนดในการควบคุมคุณภาพในระดับสูงสุดและต้องการความแม่นยำที่เข้มงวด

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์และพยากรณ์พฤติกรรมของระบบต่าง ๆ ในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของการบำรุงรักษาเครื่องจักรและการวิเคราะห์ข้อมูลการสอบเทียบ การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสามารถช่วยให้เข้าใจรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพเครื่องมือตลอดเวลา และสนับสนุนการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการศึกษาครั้งนี้จะมุ่งเน้นไปที่แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ไปจนถึงแบบจำลองการถดถอยกำลังสี่ (Quartic Regression) รวมถึงการแทรกสอดเชิงเส้น (Linear Interpolation) ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและการสร้างแบบจำลองเชิงพยากรณ์

2.2.1 แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression)

แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นเป็นเทคนิคทางสถิติที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent Variable) กับตัวแปรอิสระ (Independent Variable) หนึ่งตัวหรือมากกว่า โดยอาศัยสมมติฐานว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นเส้นตรง แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) สามารถแสดงในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ 2-1 ได้ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2-1)$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม x คือ ตัวแปรอิสระ β_0 คือ ค่าคงที่ (Intercept) ซึ่งแสดงถึงค่าของ y เมื่อ x มีค่าเท่ากับศูนย์ β_1 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของ y เมื่อ x เปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วย และ ε คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Error) ซึ่งแสดงถึงความแปรปรวนของข้อมูลที่แบบจำลองไม่สามารถอธิบายได้

ในบริบทของการบำรุงรักษาเครื่องจักร แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเสื่อมสภาพของเครื่องมือตลอดเวลา โดยที่ตัวแปรอิสระ (x) อาจเป็นเวลา (เดือน หรือปี) และตัวแปรตาม (y) อาจเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการสอบเทียบ หรือค่าดัชนีประสิทธิภาพของเครื่องจักร การใช้แบบจำลองนี้ช่วยให้สามารถคาดการณ์ว่าในอนาคตเครื่องจักรจะมีประสิทธิภาพในระดับใด และควรดำเนินการบำรุงรักษาเมื่อใด [8] ข้อดีของแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นประกอบด้วยความสะดวกง่ายในการตีความ ความรวดเร็วในการคำนวณ และความเสถียรของผลลัพธ์

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้มีข้อจำกัดสำคัญในการจำลองความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งอาจเกิดขึ้นในระบบที่มีการเสื่อมสภาพแบบเร่งตัว (Accelerated Degradation) หรือมีจุดเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในพฤติกรรมการทำงาน

2.2.2 แบบจำลองการถดถอยกำลังสอง (Quadratic Regression)

แบบจำลองการถดถอยกำลังสองเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองการถดถอยพหุนาม (Polynomial Regression) ที่มีความซับซ้อนมากกว่าแบบจำลองเชิงเส้น โดยสามารถจำลองความสัมพันธ์ที่มีลักษณะโค้งหรือไม่เป็นเส้นตรงได้ดีกว่า แบบจำลองการถดถอยกำลังสองสามารถแสดงในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ 2-2 ได้ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon \quad (2-2)$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม x คือ ตัวแปรอิสระ β_0 คือ ค่าคงที่ β_1 คือ สัมประสิทธิ์เชิงเส้น ซึ่งควบคุมความชันของเส้นโค้ง β_2 คือ สัมประสิทธิ์กำลังสอง ซึ่งควบคุมทิศทางและระดับความโค้งของแบบจำลอง และ ε คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม การมีอยู่ของพจน์ x^2 ทำให้แบบจำลองสามารถจับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะโค้งได้ โดยหากค่า β_2 เป็นบวก เส้นโค้งจะมีลักษณะเป็นพาราโบลาเปิดขึ้น (Concave Up) และหากค่า β_2 เป็นลบ เส้นโค้งจะมีลักษณะเป็นพาราโบลาเปิดลง

ในการประยุกต์ใช้กับการบำรุงรักษาเครื่องจักร แบบจำลองการถดถอยกำลังสองมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่แสดงรูปแบบการเสื่อมสภาพแบบไม่เชิงเส้น เช่น การเสื่อมสภาพที่เร่งตัวขึ้นในช่วงท้ายของอายุการใช้งาน หรือการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพที่มีลักษณะเป็นรูปโค้ง แบบจำลองนี้สามารถช่วยระบุจุดเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ (Critical Points) ในพฤติกรรมของเครื่องจักร เช่น จุดที่การเสื่อมสภาพเริ่มเร่งตัว หรือจุดที่ประสิทธิภาพเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยโดย Belim, Meireles, Gonçalves & Pinto (2024) ที่เปรียบเทียบโมเดล Linear และ Polynomial Regression [9] พบว่า Polynomial Regression ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าในกรณีที่รูปแบบเสื่อมสภาพมีลักษณะ non-linear

การประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองการถดถอยกำลังสองสามารถทำได้โดยการพิจารณาเกณฑ์การประเมินทางสถิติหลายประการ ประการแรก ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) ซึ่งสามารถแสดงในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ 2-3 ได้ดังนี้

$$R^2 = 1 - \left(\frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \right) \quad (2-3)$$

โดยที่ SS_{res} คือ ผลรวมของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum of Squares of Residuals) ซึ่งแสดงถึงปริมาณความแปรปรวนที่แบบจำลองไม่สามารถอธิบายได้ และ SS_{tot} คือ ผลรวมของกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Squares) ซึ่งแสดงถึงความแปรปรวนรวมของข้อมูล ค่า R^2 แสดงถึงสัดส่วนของความแปรปรวนในตัวแปรตามที่สามารถถูกอธิบายได้โดยแบบจำลอง โดยมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ยิ่งค่าใกล้เคียง 1 มากเท่าไร แสดงว่าแบบจำลองสามารถอธิบายข้อมูลได้ดีมากเท่านั้น

นอกจาก R^2 แล้ว ยังมีค่า Adjusted R^2 ซึ่งเป็นการปรับค่า R^2 ให้คำนึงถึงจำนวนตัวแปรอิสระในแบบจำลอง โดยค่า Adjusted R^2 จะลงโทษ (Penalize) แบบจำลองที่มีจำนวนตัวแปรอิสระมากเกินไปจนเกินความจำเป็น ทำให้สามารถเปรียบเทียบแบบจำลองที่มีดีกรีของพหุนามแตกต่างกันได้อย่างเป็นธรรมชาติ ซึ่งสามารถแสดงในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ 2-4 ได้ดังนี้

$$R^2_{Adj} = \left[\frac{(n-R^2)(n-1)}{(n-k-1)} \right] \quad (2-4)$$

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์ และ k คือ จำนวนตัวแปรอิสระในแบบจำลอง ซึ่งในกรณีของการถดถอยพหุนาม ค่า k จะเท่ากับดีกรีของพหุนาม เช่น แบบจำลองเชิงเส้นมีค่า $k = 1$ แบบจำลองกำลังสองมีค่า $k = 2$ และแบบจำลองกำลังสามมีค่า $k = 3$ ตามลำดับ

ค่า Adjusted R^2 จะช่วยป้องกันปัญหาการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สูงเกินจริง เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ค่า Adjusted R^2 จะลดลงแทนที่จะเพิ่มขึ้นเหมือนค่า R^2 ทำให้เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการเปรียบเทียบแบบจำลองที่มีความซับซ้อนแตกต่างกัน ในการค้นคว้าอิสระนี้ ค่า Adjusted R^2 ถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์หลักในการเลือกดีกรีของแบบจำลองการถดถอยพหุนามที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายแนวโน้มการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

นอกจากนี้ยังนิยมใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) เพื่อวัดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างค่าที่สังเกตได้ (Observed Values) และค่าที่แบบจำลองคาดการณ์ (Predicted Values) โดย RMSE เป็นตัวชี้วัดที่มีหน่วยเดียวกันกับตัวแปรตาม ทำให้สามารถตีความได้ง่ายในเชิงปฏิบัติ ซึ่งสามารถแสดงในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ 2-5 ได้ดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \times \sum (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2-5)$$

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูล y_i คือ ค่าที่สังเกตได้ และ $\hat{y}$ คือ ค่าที่พยากรณ์ จากแบบจำลอง ค่า RMSE แสดงถึงขนาดของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างค่าที่สังเกตได้และค่าที่พยากรณ์ ยิ่งค่า RMSE ต่ำ แสดงว่าแบบจำลองมีความแม่นยำในการพยากรณ์สูง ในทางกลับกัน ค่า RMSE ที่สูงบ่งชี้ว่าแบบจำลองยังมีความคลาดเคลื่อนมากและอาจต้องพิจารณาปรับปรุงหรือเลือกใช้แบบจำลองอื่นที่เหมาะสมกว่า

ข้อดีของแบบจำลองการถดถอยกำลังสอง ได้แก่ ความสามารถในการจำลองความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนมากขึ้น ความยืดหยุ่นในการปรับให้เข้ากับข้อมูลที่มีรูปแบบโค้ง และความสามารถในการคาดการณ์ที่แม่นยำขึ้นสำหรับระบบที่มีพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้น อย่างไรก็ตาม แบบจำลองนี้มีความซับซ้อนมากกว่าและอาจเกิดปัญหา Overfitting หากข้อมูลมีขนาดเล็กหรือมีสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้น การตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลองการถดถอยกำลังสองจึงควรอาศัยการเปรียบเทียบค่า Adjusted R^2 และค่า RMSE กับแบบจำลองเชิงเส้น เพื่อให้มั่นใจว่าความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลต่อคุณภาพการทำนายอย่างคุ้มค่า

2.2.3 แบบจำลองการถดถอยกำลังสาม (Cubic Regression)

แบบจำลองการถดถอยกำลังสามเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองการถดถอยพหุนามที่มีความซับซ้อนและยืดหยุ่นมากกว่าแบบจำลองเชิงเส้นและกำลังสอง โดยสามารถจำลองความสัมพันธ์ที่มีรูปแบบโค้งที่ซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงหลายระดับได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ แบบจำลองกำลังสามสามารถมีจุดเปลี่ยนทิศทาง (Inflection Point) ได้หนึ่งจุด ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองกำลังสองที่มีเพียงจุดสูงสุดหรือจุดต่ำสุดเพียงจุดเดียว แบบจำลองการถดถอยกำลังสามสามารถแสดงในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ 2-6 ได้ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \varepsilon \quad (2-6)$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม x คือ ตัวแปรอิสระ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับแต่ละพจน์ และ ε คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม พจน์ x^3 ที่เพิ่มขึ้นมาทำให้แบบจำลองสามารถจับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะเป็น S-curve ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งพบได้บ่อยในระบบที่มีช่วงเวลาปรับตัว ช่วงเวลาคงที่ และช่วงเวลาเสื่อมสภาพ

ในบริบทของการสอบเทียบเครื่องชั่ง รูปแบบ S-curve ดังกล่าวสอดคล้องกับวงจรชีวิตของเครื่องมือวัด ที่มักแสดงพฤติกรรมสามระยะ ได้แก่ ระยะแรกที่เครื่องชั่งยังอยู่ในช่วงปรับตัวหลังการติดตั้งหรือซ่อมบำรุง ระยะกลางที่เครื่องชั่งทำงานอย่างเสถียรและมีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างคงที่ และระยะสุดท้ายที่เครื่องชั่งเริ่มเสื่อมสภาพและค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การใช้แบบจำลองกำลังสามจึงช่วยให้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสามารถระบุได้ว่าเครื่องชั่งอยู่ในระยะใด

ของวงจรชีวิต อันจะนำไปสู่การวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม เช่นเดียวกับแบบจำลองกำลังสอง ความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นของแบบจำลองกำลังสามอาจนำไปสู่ปัญหา Overfitting ได้ จึงจำเป็นต้องพิจารณาค่า Adjusted R^2 ประกอบการตัดสินใจเลือกวิธีการของแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด

2.2.4 แบบจำลองการถดถอยกำลังสี่ (Quartic Regression)

แบบจำลองการถดถอยกำลังสี่เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองการถดถอยพหุนามที่มีความซับซ้อนและยืดหยุ่นสูงสุดในกลุ่มแบบจำลองที่พิจารณาในการศึกษานี้ โดยสามารถจำลองความสัมพันธ์ที่มีรูปแบบโค้งที่ซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงหลายระดับได้อย่างละเอียด ทั้งนี้แบบจำลองกำลังสี่สามารถมีจุดเปลี่ยนทิศทางได้สูงสุดถึงสามจุด ซึ่งมากกว่าแบบจำลองกำลังสามที่มีจุดเปลี่ยนทิศทางได้เพียงหนึ่งจุด ทำให้สามารถรองรับพฤติกรรมที่มีความผันผวนสูงได้ แบบจำลองการถดถอยกำลังสี่สามารถแสดงในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ 2-7 ได้ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \beta_4x^4 + \varepsilon \quad (2-7)$$

โดยที่ β_0 ถึง β_4 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยสำหรับแต่ละพจน์ และ ε คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม พจน์ x^4 ที่เพิ่มขึ้นมาทำให้แบบจำลองสามารถจับรูปแบบความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นคลื่น หรือมีการเปลี่ยนทิศทางหลายครั้งภายในช่วงข้อมูลเดียวกัน

ในบริบทของการวิเคราะห์ข้อมูลการสอบเทียบเครื่องชั่ง แบบจำลองกำลังสี่มีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการเสื่อมสภาพของเครื่องมือที่มีลักษณะซับซ้อนมาก เช่น การมีช่วงเวลาปรับตัวเริ่มต้น ตามด้วยช่วงเวลาที่ ช่วงเวลาเสื่อมสภาพช้า และช่วงเวลาเสื่อมสภาพเร่งตัว แบบจำลองนี้สามารถช่วยระบุจุดเปลี่ยนแปลงที่สำคัญหลายจุดในพฤติกรรมของเครื่องชั่ง ทำให้สามารถวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้อย่างละเอียดและแม่นยำมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองกำลังสี่มีข้อจำกัดที่สำคัญหลายประการที่ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ประการแรก ความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างมากทำให้การตีความผลลัพธ์มีความยากและอาจไม่ตรงไปตรงมา ประการที่สอง ความเสี่ยงต่อปัญหา Overfitting ที่สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อข้อมูลมีขนาดเล็กหรือมีสัญญาณรบกวนมาก ซึ่งอาจทำให้แบบจำลองจับรูปแบบของสัญญาณรบกวนแทนที่จะจับรูปแบบที่แท้จริงของข้อมูล ประการที่สาม ความไม่เสถียรในการพยากรณ์นอกช่วงข้อมูลที่รุนแรงมากกว่าแบบจำลองที่มีดีกรีต่ำกว่า เนื่องจากพจน์ x^4 จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ x อยู่นอกช่วงข้อมูล ประการที่สี่ ความต้องการข้อมูลในปริมาณมากเพื่อให้การประมาณค่าพารามิเตอร์ทั้งห้ามีความเชื่อถือได้ทางสถิติ โดยทั่วไปจำนวนข้อมูลควรมีอย่างน้อย 10 ถึง 20 เท่าของจำนวนพารามิเตอร์ เพื่อให้แบบจำลองมีความเสถียรเพียงพอ และประการสุดท้าย

ปัญหา Multicollinearity ที่อาจเกิดขึ้นระหว่างพจน์ต่าง ๆ ในแบบจำลอง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความเสถียรของการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ ดังนั้น การตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลองกำลังจึงต้องอาศัยการเปรียบเทียบค่า Adjusted R^2 อย่างรอบคอบกับแบบจำลองที่มีดีกรีต่ำกว่า เพื่อให้มั่นใจว่าความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อคุณภาพการทำนายอย่างคุ้มค่าจริง

2.2.5 การสอดแทรกเชิงเส้น (Linear Interpolation)

การสอดแทรกเชิงเส้นเป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์เชิงตัวเลขที่มีความสำคัญในการประมาณค่าของข้อมูลที่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน โดยอาศัยข้อมูลที่ทราบค่าสองจุดหรือมากกว่านั้นมาเป็นพื้นฐานในการคำนวณ แนวคิดพื้นฐานของการสอดแทรกเชิงเส้นคือการสร้างเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดข้อมูลที่ทราบค่าสองจุดติดกัน และใช้เส้นตรงดังกล่าวในการประมาณค่าของจุดใด ๆ ที่อยู่ระหว่างจุดข้อมูลทั้งสอง วิธีการนี้มีความแตกต่างจากแบบจำลองการถดถอยอย่างชัดเจน กล่าวคือ การถดถอยมุ่งหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลทั้งหมดโดยยอมให้ความคลาดเคลื่อน ในขณะที่การสอดแทรกเชิงเส้นจะผ่านจุดข้อมูลทุกจุดพอดีและประมาณค่าเฉพาะระหว่างจุดข้อมูลที่ทราบค่า สำหรับบริบทของการวิเคราะห์ข้อมูลการสอบเทียบเครื่องชั่ง การสอดแทรกเชิงเส้นมีบทบาทสำคัญในการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่าการแก้ไขในช่วงระหว่างจุดสอบเทียบ อันส่งผลให้สามารถปรับปรุงความแม่นยำของผลการวัดได้อย่างต่อเนื่อง [10]

การสอดแทรกเชิงเส้นระหว่างสองจุดข้อมูล (x_0, y_0) และ (x_1, y_1) สามารถแสดงในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ 2-8 ได้ดังนี้

$$y = y_0 + (y_1 - y_0) \times \left[\frac{(x - x_0)}{(x_1 - x_0)} \right] \quad (2-8)$$

โดยที่ x คือ ค่าของตัวแปรอิสระที่ต้องการประมาณ y คือ ค่าที่ประมาณได้ของตัวแปรตาม (x_0, y_0) และ (x_1, y_1) คือ จุดข้อมูลที่ทราบค่าสองจุดที่อยู่ข้างเคียงจุดที่ต้องการประมาณ สมการดังกล่าวสามารถเขียนในรูปแบบอื่นได้เป็น $y = y_0 + m(x - x_0)$ โดยที่ $m = \frac{(y_1 - y_0)}{(x_1 - x_0)}$ คือ ความชันของเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างสองจุดข้อมูล

สำหรับกรณีที่มีข้อมูลหลายจุด การสอดแทรกเชิงเส้นจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วง ๆ โดยในแต่ละช่วงจะการใช้การสอดแทรกเชิงเส้นระหว่างสองจุดข้อมูลที่อยู่ขอบของช่วงนั้น ๆ วิธีการนี้เรียกว่า Piecewise Linear Interpolation ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นฟังก์ชันที่ต่อเนื่อง แต่อาจไม่เรียบที่จุดเชื่อมต่อระหว่างช่วง เนื่องจากความชันอาจเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่จุดข้อมูลแต่ละจุด

ในการประยุกต์ใช้การสอดแทรกเชิงเส้นสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง สามารถดำเนินการได้ในหลายลักษณะที่สำคัญ ประการแรก การประมาณค่าการแก้ไข ในช่วงเวลาระหว่างการสอบเทียบ

[11] โดยใช้ผลการสอบเทียบครั้งก่อนและครั้งปัจจุบันเป็นจุดอ้างอิง เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการชั่งในช่วงเวลาที่ไม่มีการสอบเทียบ ประการที่สอง การประมาณค่าพารามิเตอร์ประสิทธิภาพของเครื่องชั่ง เช่น ความเสถียร หรือความทำซ้ำได้ ในช่วงเวลาที่ต้องการทราบแต่ไม่มีการวัดโดยตรง ประการที่สาม การสร้างโปรไฟล์การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพเครื่องชั่งตลอดเวลา โดยการเชื่อมต่อจุดข้อมูลการสอบเทียบในแต่ละครั้งด้วยเส้นตรง ทำให้สามารถมองเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและระบุช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ และประการที่สี่ การประมาณค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในวันที่ต้องการทราบ เพื่อใช้ในการปรับแก้ผลการวัดให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ข้อดีของการสอดแทรกเชิงเส้น ได้แก่ ความเรียบง่ายในการคำนวณ ความเข้าใจง่ายในเชิงแนวคิด และการให้ผลลัพธ์ที่ผ่านจุดข้อมูลทุกจุดพอดี ทำให้เหมาะสมกับการประมาณค่าการแก้ไขสำหรับเครื่องชั่งที่มีจุดสอบเทียบจำกัด อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้มีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ ไม่สามารถใช้พยากรณ์นอกช่วงข้อมูล ได้อย่างน่าเชื่อถือ และไม่สามารถสรุปแนวโน้มการเสื่อมสภาพในภาพรวมได้เหมือนแบบจำลองการถดถอย ดังนั้น ในการค้นคว้าอิสระนี้จึงใช้การสอดแทรกเชิงเส้นเป็นวิธีการเปรียบเทียบกับแบบจำลองการถดถอยพหุนาม เพื่อประเมินว่าแบบจำลองใดให้ความแม่นยำในการทำนายที่ดีกว่าสำหรับข้อมูลการสอบเทียบเครื่องชั่งแต่ละเครื่อง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานค้นคว้าอิสระที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องชั่งอ้างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักรมีดังนี้

การศึกษามาตรฐานการสอบเทียบ สำหรับมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 กำหนดข้อกำหนดทั่วไปสำหรับความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ โดยเน้นการจัดการคุณภาพและความไม่แน่นอนของการวัดในระดับสากล ระบบการจัดการคุณภาพครอบคลุมการควบคุมเอกสาร การสอบเทียบเครื่องมือ การประเมินความไม่แน่นอน และการตรวจสอบความถูกต้องของระเบียบวิธี [4] ควบคู่กับมาตรฐาน UKAS LAB 14:2015 ที่ให้แนวทางการสอบเทียบเครื่องชั่งเฉพาะเจาะจง ครอบคลุมการประเมินค่า repeatability, eccentricity และ departure [5] การศึกษาเปรียบเทียบลำดับการสอบเทียบ 4 แบบพบว่าลำดับที่ใช้การจัดน้ำหนักระหว่างขั้นตอนให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แนวทางเหล่านี้ได้รับการยอมรับในระดับสากลและถูกประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยาที่ต้องการความแม่นยำสูง [3]

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการประเมินโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับการสอบเทียบและการพยากรณ์ แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้โมเดลที่เหมาะสม โดย linear regression เป็นโมเดลพื้นฐานที่เข้าใจง่าย คำนวณรวดเร็ว และเหมาะกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น [6]

ส่วน polynomial regression เช่น quadratic, cubic และ higher-order polynomial มีความยืดหยุ่นมากขึ้นในการอธิบายข้อมูลที่มีความโค้งหรือรูปแบบที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามแบบจำลองลำดับสูงมีความเสี่ยงต่อการเกิด overfitting และควรประเมินร่วมกับตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนและความสามารถในการพยากรณ์ เช่น MSE, RMSE, MAE, PRESS, residual plots และ R^2 [7] สำหรับการประมาณค่าระหว่างจุดสอบเทียบ linear interpolation คำนวณได้ง่ายและเหมาะกับช่วงข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงใกล้เคียงเส้น แต่เมื่อข้อมูลมีความไม่เชิงเส้นมากขึ้น ความคลาดเคลื่อนอาจเพิ่มขึ้น และวิธี FFT interpolation อาจให้ความแม่นยำดีกว่าในบางกรณี [10]

การศึกษาตัวประกอบแก้ไขและเทคนิคการปรับค่า Correction factor เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างรอบการสอบเทียบ ในกรณีของ low-cost sensors การใช้แบบจำลองแก้ไขเชิงสถิติหรือ machine learning สามารถลด bias และลดค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดได้อย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าประสิทธิภาพของโมเดลอาจลดลงเมื่อใช้นอกช่วงข้อมูลที่นำมาฝึก สำหรับเครื่องมือที่ทำงานในช่วงความถี่กว้าง การพัฒนาระเบียบวิธีกำหนด correction factor ช่วยลดอคติและสนับสนุนการเลือกเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อลดความไม่แน่นอนของการวัด [11] นอกจากนี้ การใช้ข้อมูล field calibration เป็นตัวบ่งชี้การเสื่อมสภาพและสร้างแบบจำลองความน่าเชื่อถือยังช่วยสนับสนุนการประเมินความเสี่ยง และการพิจารณาขยายรอบการสอบเทียบได้อย่างมีเหตุผล [8]

การศึกษากการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์และระบบอัจฉริยะ การพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในอุตสาหกรรมได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การประยุกต์ใช้ edge-cloud hybrid model ร่วมกับ Big Data และ Manufacturing Execution System ช่วยเพิ่มความเร็วในการตรวจจับความผิดปกติและสนับสนุนการวางแผนบำรุงรักษาแบบ real-time แต่ต้องการโครงสร้างพื้นฐาน IT ที่ซับซ้อนและค่าใช้จ่ายสูง [12] ขณะเดียวกัน การประเมินแบบจำลองพยากรณ์ เช่น linear/polynomial regression, exponential smoothing, ARIMA และ Prophet แสดงให้เห็นว่าการเลือกโมเดลต้องสอดคล้องกับลักษณะข้อมูล และมีผลต่อความแม่นยำของการคาดการณ์อย่างมาก [9] นอกจากนี้ แนวทาง condition-based maintenance สำหรับระบบหลายองค์ประกอบช่วยให้การวางแผนซ่อมบำรุงสอดคล้องกับข้อมูลสถานะอุปกรณ์และความน่าเชื่อถือมากขึ้น [14] ขณะที่ opportunistic maintenance ช่วยประสานรอบซ่อมบำรุงขององค์ประกอบต่าง ๆ เพื่อลด downtime และต้นทุนรวม [15]

การศึกษากการควบคุมคุณภาพและการจัดการเกณฑ์ การกำหนดขีดจำกัดและเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพเป็นหัวใจสำคัญของระบบการสอบเทียบ โดยรอบ six-sigma methodology สามารถใช้ร่วมกับข้อมูล QC ย้อนหลัง สถิติควบคุมกระบวนการ และดัชนีความสามารถของกระบวนการ เพื่อกำหนด tolerance limit และ action limit ให้เหมาะกับบริบทการใช้งาน [16]

ขณะเดียวกัน แนวคิด Allowable Total Error (ATE) และ Total Allowable Error (TEa) ใช้เป็นเกณฑ์กำหนดข้อผิดพลาดรวมที่ยอมรับได้สำหรับการประเมินวิธีวัด การเปรียบเทียบผล และการออกแบบระบบ QC โดยอ้างอิงผลลัพธ์ทางคลินิก การแปรผันทางชีวภาพ หรือระดับ state-of-the-art [17] นอกจากนี้ sigma scores ยังช่วยสะท้อนการประเมินคุณภาพเมื่อพิจารณาความแปรผันของค่า TEa รวมด้วย [18]

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น ผู้วิจัยได้สรุปการเปรียบเทียบแนวทางและวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบและการวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องชั่งในแต่ละหมวดหมู่ โดยพิจารณาทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละแนวทาง ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบแนวทางและวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบและการวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องชั่ง

หมวดหมู่	แนวทาง/วิธีการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
มาตรฐานและแนวปฏิบัติการสอบเทียบ	ISO/IEC 17025:2017 [4]	เป็นมาตรฐานสากล เน้น Accuracy, Precision และ Traceability	ข้อกำหนดเข้มงวด ต้องใช้ทรัพยากรสูง
	UKAS LAB 14:2015 [5]	ให้แนวทางละเอียดสำหรับ Repeatability, Eccentricity, Departure	ใช้ได้เฉพาะ calibration เครื่องชั่ง
	OIML R76	กำหนดเกณฑ์ MPE ชัดเจนตามระดับความแม่นยำเป็นมาตรฐานอ้างอิงระดับสากล	ไม่ครอบคลุมการวิเคราะห์แนวโน้มการเสื่อมสภาพ
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	Linear Regression [6][9]	เรียบง่าย, คำนวณรวดเร็ว, ใช้คาดการณ์แนวโน้มเชิงเส้น	ไม่เหมาะสมกับความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้น
	Quadratic Regression [6][9]	จำลองความโค้งได้ดี, คำนวณ R^2 และ RMSE	อาจ Overfitting เมื่อข้อมูลน้อย
	Cubic Regression [6]	จำลองพฤติกรรมซับซ้อนและ S-curve	ตีความยาก, ต้องการข้อมูลจำนวนมาก

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

หมวดหมู่	แนวทาง/วิธีการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (ต่อ)	Quartic Regression [6]	ยืดหยุ่นสูง รองรับโค้งหลายช่วง	overfitting ง่าย และตีความยาก
	Linear Interpolation [10]	ใช้ง่าย, ค่าประมาณแม่นยำในช่วงข้อมูล	ใช้ไม่ได้ผลเมื่อมีความไม่เชิงเส้นสูง
ตัวประกอบแก้ไขและเทคนิคการปรับค่า	Correction Factor (Microcalorimeters) [11]	- ช่วยลด bias - ปรับปรุง precision ของการวัด	- ต้องการเครื่องมือเฉพาะ - การประยุกต์ใช้งานจริงซับซ้อน
	Correction Factor (Low-Cost Sensors) [13]	- ลด drift ในการวัดระยะยาว - ปรับปรุงความน่าเชื่อถือ sensor ราคาต่ำ	- ต้อง calibrate บ่อย - ขึ้นกับสภาพแวดล้อม
การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์และระบบอัจฉริยะ	Edge-Cloud Hybrid Model [12]	- ใช้ IoT + Big Data - ช่วยวางแผนบำรุงรักษา real-time ลด downtime	- ลงทุนสูง - ต้องการโครงสร้าง IT ที่ซับซ้อน
	Regression Models (Linear/Polynomial) [9]	- วิเคราะห์แนวโน้มการเสื่อมสภาพ - คาดการณ์ downtime และ maintenance schedule	- สมมติฐานอาจไม่ตรงกับพฤติกรรมจริง - ต้องการ calibration data คุณภาพสูง
	Reliability Modeling (CBM, Opportunistic Maintenance) [14][15]	- เหมาะกับ multi-component systems - ลดความเสี่ยงการหยุดชะงักของระบบใหญ่	- โมเดลซับซ้อน - ต้องการข้อมูลขนาดใหญ่
	TEa (Total Allowable Error) [17]	- มี warning/action limits ชัดเจน - Warning: 70–80% - Action: 90–95%	- ค่า TEa ต่างกันไปในแต่ละการทดสอบ - ต้องมีข้อมูลคุณภาพสูง

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

หมวดหมู่	แนวทาง/วิธีการ	ข้อดี	ข้อจำกัด
การควบคุม คุณภาพและการ จัดการเกณฑ์	Six-Sigma QC [16]	ใช้ข้อมูล QC และดัชนี ความสามารถของ กระบวนการเพื่อกำหนด tolerance	ต้องการข้อมูล ควบคุมคุณ ภาพต่อเนื่อง
	Sigma Score with Variable Tea [17][18]	- ยึดหยุ่นตามประเภทการ ทดสอบ - ใช้ multi-rule QC ได้	- ต้องการความ เข้าใจเชิงลึก - ซับซ้อนกว่าการใช้ TEa แบบคงที่

จากการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม พบว่ามีความจำเป็นในการพัฒนาระบบสารสนเทศที่สามารถสนับสนุนการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการวิจัยนี้มุ่งเน้นการบูรณาการเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ากับกระบวนการสอบเทียบและบำรุงรักษาตามมาตรฐานสากล เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากการใช้แนวทางการบำรุงรักษาแบบระยะเวลาคงที่ที่ไม่สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง และการไม่ปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการใช้งานเครื่อง ผลการศึกษาเบื้องต้นแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการปรับปรุงความแม่นยำของการทำนายค่าปรับแก้ รวมทั้งการพัฒนาระบบแจ้งเตือนแบบหลายระดับที่สามารถช่วยในการตัดสินใจการบำรุงรักษาได้อย่างเหมาะสม คาดว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศดังกล่าวจะสามารถลดเวลาหยุดทำงานที่ไม่จำเป็น เพิ่มความแม่นยำในการควบคุมคุณภาพ และสนับสนุนการปฏิบัติตามมาตรฐานสากลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการยกระดับคุณภาพของกระบวนการผลิตเภสัชกรรมและเสริมสร้างความมั่นใจของผู้บริโภคในความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ยาในระยะยาว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎี มาตรฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งด้านมาตรฐานการสอบเทียบสากล แนวทางการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การค้นคว้าอิสระนี้ได้กำหนดกระบวนการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรอ้างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

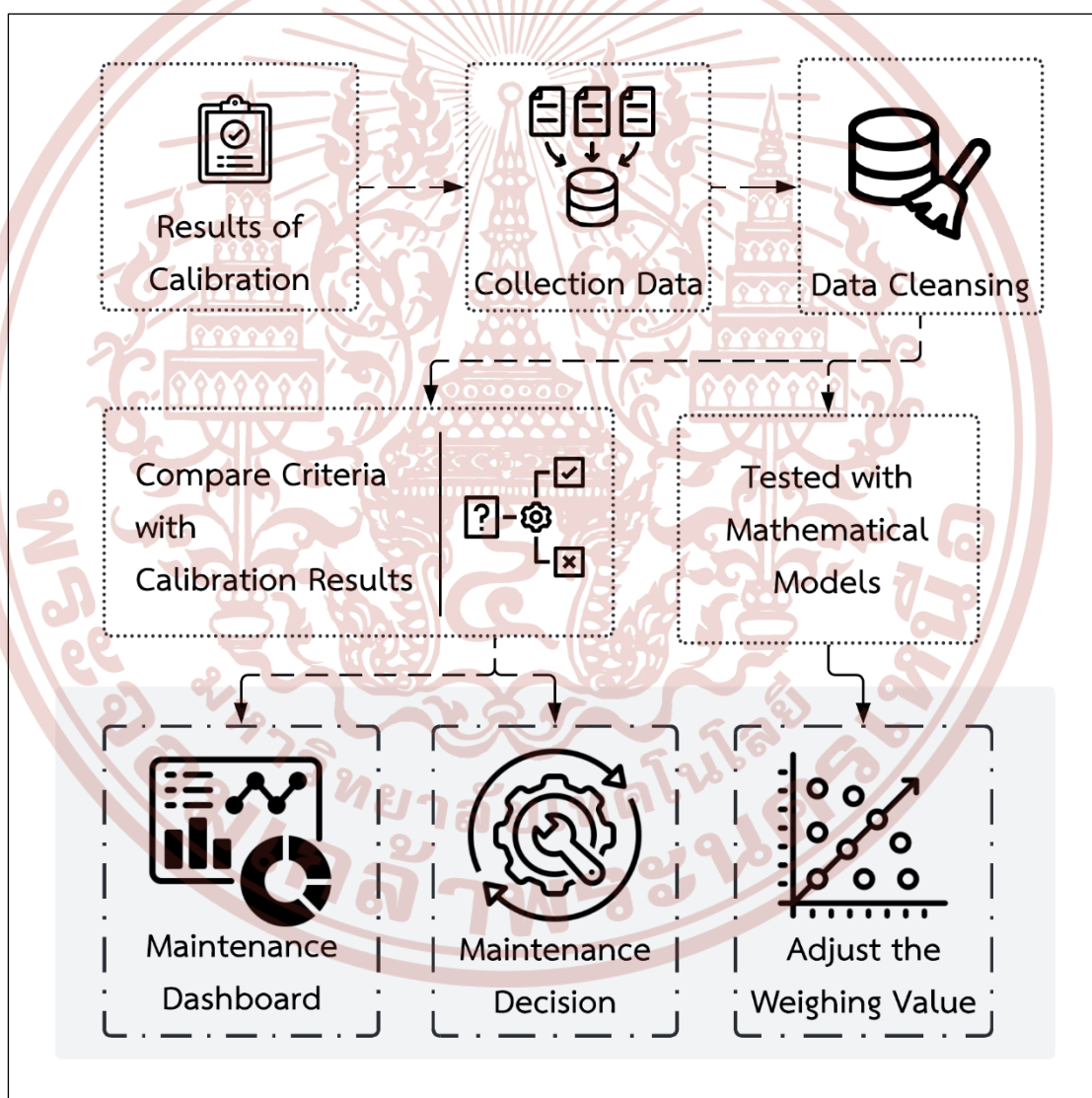
- 3.1 การศึกษาและออกแบบกรอบแนวคิดการวิจัย
- 3.2 การเตรียมข้อมูล
- 3.3 การกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา
- 3.4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 3.5 การพัฒนาระบบสารสนเทศ
- 3.6 การประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศ

3.1 การศึกษาและออกแบบกรอบแนวคิดการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ ใช้แนวทางการวิจัยแบบผสมผสาน โดยผสมผสานการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณและการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องจักรในอุตสาหกรรมกลึงกรรม จากการวิเคราะห์ปัญหาการบำรุงรักษาเครื่องจักรในปัจจุบัน พบปัญหาหลักสองประการ คือ การกำหนดแผนบำรุงรักษาแบบระยะเวลาคงที่ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมการเสื่อมสภาพที่แท้จริง และการไม่ปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงเวลาระหว่างการใช้งานเครื่องจักร ผู้วิจัยจึงออกแบบกรอบแนวคิดการวิจัยที่เริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลการสอบเทียบจากระบบสารสนเทศของกองสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้อง และดำเนินการเตรียมข้อมูลผ่านกระบวนการทำความสะอาดเพื่อลดความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล

กรอบแนวคิดการวิจัย ภาพที่ 3-1 ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อน จากนั้นนำแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน OIML R76-1 และ UKAS LAB 14:2015 เพื่อประเมินสถานะเครื่องจักรและกำหนดความจำเป็นในการบำรุงรักษาผ่านระบบแจ้งเตือนแบบหลายระดับ

ดังนั้นระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการช่วยตัดสินใจการบำรุงรักษาและการปรับค่าความคลาดเคลื่อนจากการชั่งค่าน้ำหนัก โดยออกแบบตามหลักการระบบสารสนเทศสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS) ที่ประกอบด้วยระบบจัดการฐานข้อมูล ระบบจัดการแบบจำลอง และระบบจัดการส่วนติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อให้สามารถลดเวลาหยุดทำงานที่ไม่จำเป็น ช่วยเพิ่มความแม่นยำของการวัด และสนับสนุนการปฏิบัติตามมาตรฐานสากล ในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม



ภาพที่ 3-1 กรอบแนวคิดการวิจัยของการเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องชั่งอ้างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร

จากภาพที่ 3-1 กรอบแนวคิดการวิจัย แสดงให้เห็นถึงกระบวนการที่สมบูรณ์ของการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยเริ่มต้นจากการใช้มาตรฐาน UKAS LAB 14 และ ISO 17025 ในการสอบเทียบเครื่องจักรเพื่อให้ผลการสอบเทียบด้านความสามารถในการทำซ้ำ ความเที่ยงเบนจากศูนย์กลาง และความคลาดเคลื่อนของค่าการแสดงผล จากนั้นข้อมูลจะผ่านกระบวนการทำความสะอาดและจัดเก็บในฐานข้อมูล ก่อนถูกนำเข้าสู่ระบบกฎขั้นสูงที่มีการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบล่าสุดกับขีดจำกัดที่ยอมรับได้และประวัติความผิดพลาดที่ผ่านมาเพื่อสร้างผลลัพธ์ในรูปแบบของการตัดสินใจการบำรุงรักษา การวิเคราะห์เชิงลึกด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการแสดงผลข้อมูลแบบกราฟิก สุดท้ายระบบจะนำเสนอคำแนะนำในการปรับค่าการชั่งน้ำหนัก การเปลี่ยนชิ้นส่วนเครื่องจักร และกระดานภาพรวมที่แสดงข้อมูลการบำรุงรักษาประสิทธิภาพอุปกรณ์ และประวัติการสอบเทียบอย่างครอบคลุม

3.2 การเตรียมข้อมูล

3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องจักรจากระบบสารสนเทศการจัดการห้องปฏิบัติการ (Laboratory Information Management System: LIMS) ของกองสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้อง ครอบคลุมระยะเวลา 9 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 จำนวนทั้งสิ้น 127,118 รายการ และ 22 คอลัมน์ ประกอบด้วยผลการสอบเทียบเครื่องจักรจากหน่วยงานต่างๆ ซึ่งกองสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้อง เป็นหน่วยงานสอบเทียบที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017

ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ประกอบด้วย 22 คุณลักษณะหลัก ตามที่แสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 องค์ประกอบข้อมูลข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องจักร

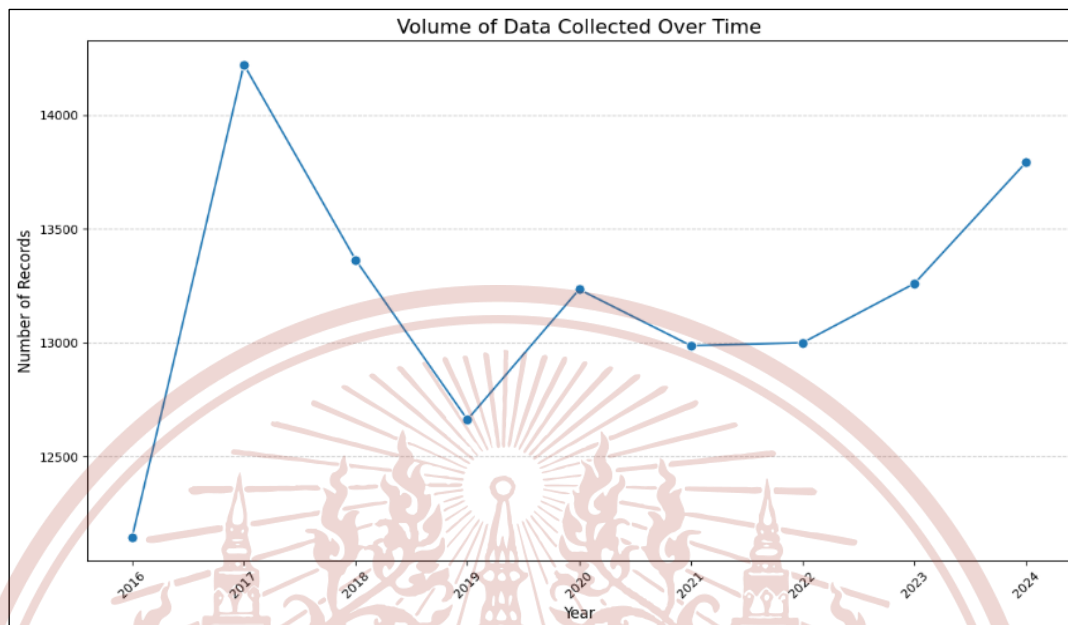
ชื่อคอลัมน์	รายละเอียด	ประเภทข้อมูล
ORDNO	หมายเลขงาน	object
LABNO	รหัสเครื่องมือ	object
MFG	ผู้ผลิตเครื่อง	object
MODELNO	รุ่น	object
READABILITY	ค่าอ่านละเอียด	object
RASCLIENTID	รหัสหน่วยงาน	object
CALPOINT	จุดสอบเทียบ	object
REQUIREDATE	วันที่สอบเทียบ	object

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

ชื่อคอลัมน์	รายละเอียด	ประเภทข้อมูล
ANALYTE	หัวข้อสอบเทียบ	object
REP	หมายเลขครั้งของการทำซ้ำในแต่ละหัวข้อสอบเทียบ	int64
NOMINAL	ค่าน้ำหนักสอบเทียบ	float64
CORRECTION	ค่าแก้จากการสอบเทียบ	float64
K_FACTOR	ค่าขยายค่าความไม่แน่นอนรวม	float64
UNCERTAINTY	ค่าความไม่แน่นอนในการวัด	float64
SD	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	float64
MAX_DIFF	ค่าความแตกต่างที่มากที่สุดจากการทำซ้ำ	float64
VALUE_POSITION2	ค่าน้ำหนักตำแหน่งที่2	float64
VALUE_POSITION3	ค่าน้ำหนักตำแหน่งที่3	float64
VALUE_POSITION4	ค่าน้ำหนักตำแหน่งที่4	float64
VALUE_POSITION5	ค่าน้ำหนักตำแหน่งที่5	float64
MAX_OFF_CENTER_LOAD	ค่าความแตกต่างที่มากที่สุดจากจุดกึ่งกลาง	float64
STATUS	สถานะของการสอบเทียบ	object

โดยสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้ ข้อมูลการระบุตัวตน ได้แก่ หมายเลขงาน รหัสเครื่องมือ ผู้ผลิตเครื่อง รุ่น และรหัสหน่วยงาน ข้อมูลการสอบเทียบ ได้แก่ วันที่สอบเทียบ หัวข้อสอบเทียบ จุดสอบเทียบ ค่าน้ำหนักสอบเทียบ และสถานะการสอบเทียบ และข้อมูลผลการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าแก้จากการสอบเทียบ ค่าความไม่แน่นอนในการวัด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องชั่ง

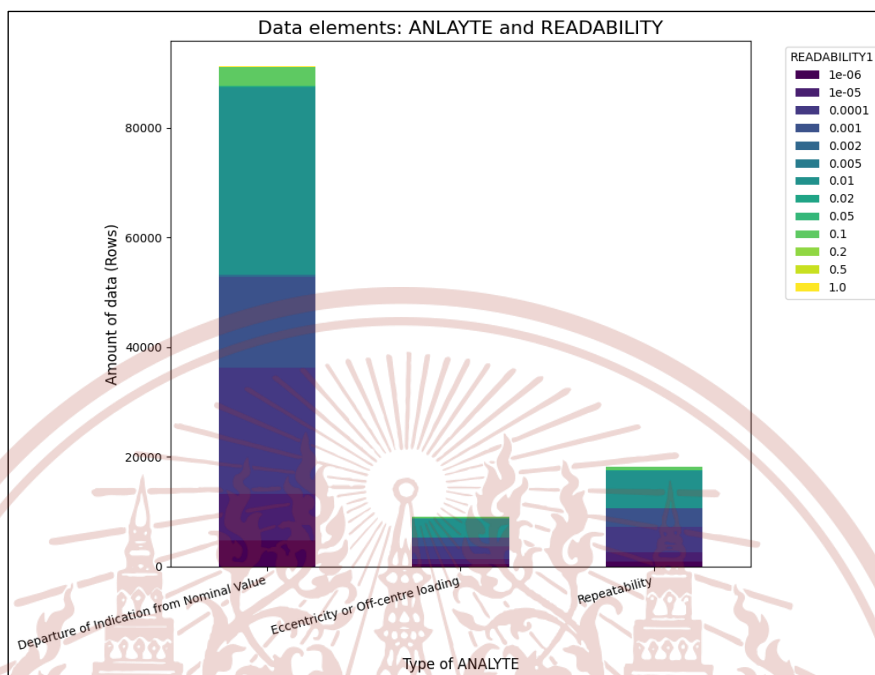
จากข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องชั่งที่รวบรวมได้ตลอดระยะเวลา 9 ปี จำนวนทั้งสิ้น 127,118 รายการ เมื่อพิจารณาปริมาณข้อมูลในแต่ละปี พบว่าปี พ.ศ. 2559 มีจำนวนข้อมูลน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นปีแรกที่เริ่มจัดเก็บข้อมูลในระบบ หลังจากนั้นปริมาณข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในปี พ.ศ. 2560 และมีแนวโน้มผันผวนเล็กน้อยในช่วงปี พ.ศ. 2561 ถึง 2565 ก่อนจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในปี พ.ศ. 2567 ดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 กราฟแสดงปริมาณข้อมูลที่รวบรวมได้ในแต่ละปี

3.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลและข้อมูลสูญหาย

เมื่อจำแนกข้อมูลตามกลุ่มการสอบเทียบและค่าความละเอียดในการอ่าน พบว่ากลุ่ม Departure of Indication from Nominal Value มีปริมาณข้อมูลมากที่สุดจำนวน 91,280 รายการ คิดเป็นร้อยละ 71.81 ของข้อมูลทั้งหมด รองลงมาคือกลุ่ม Repeatability จำนวน 18,215 รายการ คิดเป็นร้อยละ 14.33 และกลุ่ม Eccentricity จำนวน 9,128 รายการ คิดเป็นร้อยละ 7.18 ทั้งนี้ ในแต่ละกลุ่มการสอบเทียบยังมีการกระจายตัวตามค่าความละเอียดในการอ่านที่หลากหลาย ตั้งแต่ 0.000001 กรัม จนถึง 1.0 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับระดับความเที่ยงตรงของเครื่องชั่งที่แตกต่างกันตั้งแต่ Class I จนถึง Class III ดังภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 กราฟแสดงปริมาณข้อมูล แบ่งตามกลุ่มการสอบเทียบและค่าความละเอียดของเครื่องมือ

จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อมูลในแต่ละกลุ่ม พบว่าข้อมูลมีค่าว่างที่แตกต่างกันตามประเภทของการสอบเทียบ กล่าวคือ กลุ่ม Departure จะไม่มีค่า SD, MAX DIFF และพารามิเตอร์ Eccentricity เนื่องจากการสอบเทียบที่มุ่งเน้นตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่แสดงผลเทียบกับค่าที่แท้จริง กลุ่ม Eccentricity จะไม่มีค่า CORRECTION, K FACTOR, UNCERTAINTY, SD และ MAX DIFF เนื่องจากการทดสอบเฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับการกระจายน้ำหนักในตำแหน่งต่าง ๆ บนจานซึ่ง และกลุ่ม Repeatability จะไม่มีค่า CORRECTION, K_FACTOR, UNCERTAINTY และพารามิเตอร์ Eccentricity แต่จะมีค่า SD และ MAX DIFF สำหรับการประเมินความสามารถในการทำซ้ำ ลักษณะค่าว่างเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติของการสอบเทียบแต่ละประเภทจึงไม่ถือเป็นข้อมูลที่บกพร่อง อย่างไรก็ตาม พบข้อมูลสูญหายที่แท้จริงจำนวน 45 รายการในกลุ่ม Repeatability เฉพาะฟิลด์ NOMINAL, SD และ MAX DIFF ซึ่งเป็นข้อมูลจากปี พ.ศ. 2559 ถึง 2560 ที่มีปัญหาในระบบการบันทึกข้อมูลเหล่านี้จะถูกแยกออกจากชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.2.3 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning)

การจัดการข้อมูลสูญหาย ข้อมูลที่สูญหายส่วนใหญ่เป็นไปตามลักษณะของการสอบเทียบแต่ละประเภท ดังนั้นจึงไม่ถือเป็นข้อมูลที่บกพร่อง สำหรับข้อมูลที่สูญหายที่แท้จริงคือ 45 รายการในกลุ่ม Repeatability ซึ่งเป็นข้อมูลจากปี พ.ศ. 2559-2560 ที่มีปัญหาในระบบการบันทึกข้อมูล

ข้อมูลเหล่านี้จะถูกแยกออกจากชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ผลลัพธ์ของกระบวนการทำความสะอาดข้อมูลทั้งหมดสรุปไว้ในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ตารางสรุปผลการทำความสะอาดข้อมูล

ขั้นตอน	จำนวนที่ตรวจพบ	การดำเนินการ	คงเหลือ
ข้อมูลดิบเริ่มต้น	127,118	-	127,118
ข้อมูลสูญหายจริง (Repeatability ปี 2559-2560)	45	ตัดออก	127,073
ค่า Outlier (IQR Method แยกตาม Readability)	6,248	ตัดออก	120,825
ข้อมูลไม่สมบูรณ์ตามเกณฑ์	2,202	ตัดออก	118,623
ข้อมูลสุดท้ายที่ใช้วิเคราะห์			118,623

การตรวจจับและจัดการค่า Outliers ดำเนินการโดยใช้วิธี Interquartile Range (IQR) ในการระบุค่าผิดปกติสำหรับแต่ละกลุ่มค่าอ่านละเอียดแยกต่างหาก โดยกำหนดเกณฑ์ค่า Outliers เป็น ค่าที่น้อยกว่า $Q1 - 1.5 \times IQR$ หรือมากกว่า $Q3 + 1.5 \times IQR$ ส่วนการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลนั้น ให้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการตรวจสอบช่วงค่าที่เหมาะสมของแต่ละฟิลด์ ความสอดคล้องระหว่างประเภทการสอบเทียบกับพารามิเตอร์ที่มีข้อมูล และความสมเหตุสมผลของค่าต่างๆ เมื่อเทียบกับข้อกำหนดทางเทคนิคของการสอบเทียบเครื่องชั่ง

ข้อมูลที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วจำนวน 118,623 รายการ ถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุดตามวัตถุประสงค์การใช้งาน กล่าวคือ ชุดที่ 1 จำนวน 118,623 รายการ ครอบคลุมข้อมูลทั้ง 3 ประเภทการสอบเทียบสำหรับใช้ในการกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา ดังรายละเอียดโครงสร้างข้อมูลในตารางที่ 3-3 และชุดที่ 2 จำนวน 91,280 รายการ ซึ่งเป็นข้อมูล Departure of Indication เพียงกลุ่มเดียว เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีค่า CORRECTION สำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อน ดังรายละเอียดโครงสร้างข้อมูลในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลที่ใช้การช่วยตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง

ชื่อคอลัมน์	รายละเอียด
ORDNO	หมายเลขงาน
LABNO	รหัสเครื่องมือ

ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

ชื่อคอลัมน์	รายละเอียด
READABILITY	ค่าอ่านละเอียด
REQUIREDATE	วันที่สอบเทียบ
ANALYTE	หัวข้อสอบเทียบ
CORRECTION	ค่าแก้จากการสอบเทียบ
SD	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทำซ้ำ
MAX_DIFF	ค่าความแตกต่างที่มากที่สุดจากการทำซ้ำ
MAX_OFF_CENTER_LOAD	ค่าความแตกต่างที่มากที่สุดจากจุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 3-4 ข้อมูลที่ใช้ปรับค่าจากการชั่งน้ำหนัก

ชื่อคอลัมน์	รายละเอียด
ORDNO	หมายเลขงาน
LABNO	รหัสเครื่องมือ
READABILITY	ค่าอ่านละเอียด
REQUIREDATE	วันที่สอบเทียบ
ANALYTE	หัวข้อสอบเทียบ
REP	หมายเลขครั้งของการทำซ้ำในแต่ละหัวข้อสอบเทียบ
NOMINAL	ค่าน้ำหนักสอบเทียบ
CORRECTION	ค่าแก้จากการสอบเทียบ

3.2.4 การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วได้รับการจัดกลุ่มตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ตามตารางที่ 3-2 และ 3-3 กลุ่มแรกคือข้อมูลสำหรับการช่วยตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง ซึ่งใช้ข้อมูลจากทั้ง 3 กลุ่มการสอบเทียบ แต่จะคัดเลือกเฉพาะพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสถานะของเครื่องชั่งในแต่ละกลุ่ม กลุ่มที่สองคือข้อมูลสำหรับการปรับค่าจากการชั่งน้ำหนัก ซึ่งใช้เฉพาะข้อมูลจากกลุ่ม Departure of Indication from Nominal Value เนื่องจากเป็นเพียงกลุ่มเดียวที่มีค่า CORRECTION ที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ข้อมูลสุดท้ายที่ได้จึงประกอบด้วย ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจการบำรุงรักษา จำนวน 118,623 รายการ และข้อมูลสำหรับการปรับค่าความคลาดเคลื่อน จำนวน 91,280 รายการ ข้อมูลเหล่านี้ถูกจัดเก็บในฐานข้อมูล Oracle Database 19c Standard Edition พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.3 การกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา

การกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษาเป็นกระบวนการสำคัญที่แปลงผลการสอบเทียบเครื่องชั่งให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ตัดสินใจได้อย่างเป็นระบบ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบกระบวนการคำนวณและประเมินสถานะเครื่องชั่งบนหลักการของมาตรฐาน OIML R76-1 สำหรับเครื่องชั่งไม่อัตโนมัติ และแนวทางปฏิบัติของ UKAS LAB 14:2015 ผ่านสามขั้นตอนหลักที่เชื่อมโยงกันอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ การจำแนกระดับความเที่ยงตรงของเครื่องชั่ง การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้โดยเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของผู้ผลิต การคำนวณคะแนนเกณฑ์ และการพัฒนาระบบแจ้งเตือนแบบหลายระดับดังนี้

3.3.1 การจำแนกระดับความเที่ยงตรงของเครื่องชั่ง

ขั้นตอนแรกของกระบวนการกำหนดเกณฑ์คือการจำแนกระดับความเที่ยงตรงของเครื่องชั่งแต่ละเครื่อง โดยอาศัยค่าความละเอียดในการอ่าน (Resolution หรือ Readability: e) เป็นเกณฑ์หลัก ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน OIML R76-1 ที่กำหนดให้จำแนกเครื่องชั่งออกเป็น 4 ระดับความเที่ยงตรง ได้แก่ Class I (Special Accuracy) สำหรับเครื่องชั่งความแม่นยำพิเศษ Class II (High Accuracy) สำหรับเครื่องชั่งความแม่นยำสูง Class III (Medium Accuracy) สำหรับเครื่องชั่งความแม่นยำปานกลาง และ Class IIII (Ordinary Accuracy) สำหรับเครื่องชั่งความแม่นยำทั่วไป โดยใช้ค่า e ร่วมกับช่วงจำนวน Verification Scale Interval ($n = \text{Max}/e$) เป็นเงื่อนไขการจำแนกตามทีแสดงในตารางที่ 3-5 และตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-5 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการจำแนกระดับความแม่นยำของเครื่องชั่ง

Accuracy Class	Verification Scale interval, e	Number of verifications scale intervals, $n = \text{Max}/e$	
		minimum	maximum
Special (I)	$0.001 \text{ g} \leq e$	50 000	-

ตารางที่ 3-5 (ต่อ)

Accuracy Class	Verification Scale interval, e	Number of verifications scale intervals, $n = \text{Max}/e$	
		minimum	maximum
High (II)	$0.001 \text{ g} \leq e \leq 0.05 \text{ g}$	100	100 000
	$0.1 \text{ g} \leq e$	5 000	100 000
Medium (III)	$0.1 \text{ g} \leq e \leq 2 \text{ g}$	100	10 000
	$5 \text{ g} \leq e$	500	10 000
Ordinary (IIII)	$5 \text{ g} \leq e$	100	1 000

ตารางที่ 3-6 เกณฑ์ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Permissible Errors: MPE)
จำแนกตามระดับความแม่นยำและน้ำหนักทดสอบ

For loads, m , expressed in verification scale intervals, e	Maximum permissible errors on initial verification (MPE)
Class I, $0 \leq m \leq 50\,000$	$0.5 e$
Class I, $50\,000 < m \leq 200\,000$	$1.0 e$
Class I, $200\,000 < m$	$1.5 e$
Class II, $0 \leq m \leq 5000$	$0.5 e$
Class II, $5000 < m \leq 20\,000$	$1.0 e$
Class II, $20\,000 < m \leq 100\,000$	$1.5 e$
Class III, $0 \leq m \leq 500$	$0.5 e$
Class III, $500 < m \leq 2000$	$1.0 e$
Class III, $2000 < m \leq 10\,000$	$1.5 e$
Class IIII, $0 \leq m \leq 50$	$0.5 e$
Class IIII, $50 < m \leq 200$	$1.0 e$
Class IIII, $200 < m \leq 1\,000$	$1.5 e$

ดำเนินการคำนวณ Load Range โดยค่าอ่านละเอียดเครื่องชั่ง แล้วนำไปเทียบกับเงื่อนไขที่กำหนดในมาตรฐาน เพื่อกำหนดระดับ Class ให้กับเครื่องชั่งแต่ละรายการก่อนดำเนินการคำนวณในขั้นตอนต่อไป ผลการจำแนกนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นพื้นฐานในการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ที่แตกต่างกันตามระดับความแม่นยำของเครื่องชั่งแต่ละประเภท

3.3.2 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้

เมื่อทราบระดับความเที่ยงตรงของเครื่องชั่งแล้ว การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Permissible Error: MPE) จะดำเนินการสำหรับเครื่องชั่งแต่ละเครื่อง โดยยึดหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน OIML R76-1 ซึ่งระบุว่าเครื่องชั่งที่อยู่ในสถานะใช้งานมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ เป็นสองเท่าของค่าที่กำหนด การปรับเพิ่มดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อรองรับการเสื่อมสภาพของส่วนประกอบ ตามระยะเวลา โดยกำหนดให้มาตรฐาน OIML R76-1 เป็นแหล่งอ้างอิงเริ่มต้นของเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเครื่องชั่งบางรุ่นที่ใช้งานในห้องปฏิบัติการ อาจมีข้อกำหนดความเที่ยงตรงจากผู้ผลิต (Manufacturer Specification) ผู้ผลิตกำหนดค่าจากโรงงานมากกว่าค่าที่คำนวณตามมาตรฐานดังกล่าว จึงได้กำหนดกลไกการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดจากสองแหล่งก่อนนำไปใช้ประเมินสถานะ โดยค้นหาข้อกำหนดของผู้ผลิตจากฐานข้อมูลจำเพาะด้วยการจับคู่ตามรหัสผู้ผลิตและรุ่นเครื่องชั่งที่ตรงกัน แล้วดึงค่าข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องตามประเภทการสอบเทียบแต่ละประเภท ได้แก่ ค่าความเป็นเส้นตรงของผู้ผลิตสำหรับการทดสอบความคลาดเคลื่อนของค่าแสดงผล และค่าความสามารถในการทำซ้ำของผู้ผลิตสำหรับการทดสอบความสามารถในการทำซ้ำและการทดสอบความเที่ยงจุดศูนย์กลาง

การเปรียบเทียบดำเนินการโดยนำค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ได้จากข้อกำหนดของผู้ผลิตมาเทียบกับค่าที่คำนวณตามมาตรฐาน OIML R76-1 หากค่าจากข้อกำหนดของผู้ผลิตมีค่าน้อยกว่ากล่าวคือ มีความเข้มงวดกว่า ค่าดังกล่าวจะถูกเลือกใช้แทนและบันทึกแหล่งที่มาของเกณฑ์ให้สอดคล้องกัน แนวทางนี้ทำให้การประเมินสถานะเครื่องชั่งดำเนินการบนพื้นฐานของเกณฑ์ที่เข้มงวดที่สุดเท่าที่มีสำหรับเครื่องชั่งแต่ละรุ่น ซึ่งสอดคล้องกับหลักการควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม ที่ให้ความสำคัญกับความปลอดภัยในการวัดเป็นลำดับแรก ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้และข้อมูลแหล่งที่มาของเกณฑ์ที่ได้จะถูกบันทึกลงในฐานข้อมูลเพื่อใช้เป็นเกณฑ์อ้างอิงในการประเมินผลการสอบเทียบในขั้นตอนต่อไป

3.3.3 การคำนวณคะแนนเกณฑ์และจำแนกสถานะ

เมื่อได้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องชั่งแต่ละเครื่องแล้ว การคำนวณคะแนนเกณฑ์ (Threshold Score) จะดำเนินการต่อในลำดับถัดไป โดยคะแนนเกณฑ์เป็นค่าที่แสดงระดับความใกล้เคียงของผลการสอบเทียบกับขีดจำกัดที่ยอมรับได้ในรูปแบบร้อยละ

คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้กับค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ของเครื่องชั่งนั้น ทั้งนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนที่นำมาคำนวณแตกต่างกันตามประเภทการสอบเทียบ กล่าวคือ ใช้ค่าสัมบูรณ์ของค่าแก็จากการสอบเทียบสำหรับการทดสอบความคลาดเคลื่อนของค่าแสดงผล ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับการทดสอบความสามารถในการทำซ้ำ และใช้ค่าความแตกต่างสูงสุดจากการวางน้ำหนักนอกศูนย์กลางสำหรับการทดสอบความเยื้องศูนย์กลาง ผลการคำนวณที่ได้จะถูกนำไปใช้กำหนดระดับสถานะในขั้นตอนต่อไป

3.3.4 การพัฒนาระบบแจ้งเตือนแบบหลายระดับ

การพัฒนาระบบแจ้งเตือนแบบหลายระดับมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถสนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพและนำไปปฏิบัติได้จริงในบริบทของห้องปฏิบัติการเภสัชกรรม ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การแจ้งเตือนแบบหลายระดับโดยอาศัยคะแนนเกณฑ์เป็นตัวจำแนก แบ่งออกเป็นสี่ระดับที่มีนิยามและแนวทางการดำเนินการที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนี้

3.3.4.1 ระดับที่ 1 สถานะปกติ (Normal Status)

เครื่องชั่งที่มีคะแนนเกณฑ์น้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ จัดอยู่ในสถานะปกติ ซึ่งบ่งชี้ว่าเครื่องชั่งยังคงมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี ไม่จำเป็นต้องดำเนินการบำรุงรักษาใด ๆ เพิ่มเติม นอกเหนือจากการบำรุงรักษาตามแผนปกติ

3.3.4.2 ระดับที่ 2 ตัวบ่งชี้การเสื่อมสภาพ (Warning Limits)

เครื่องชั่งที่มีคะแนนเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 80 แต่ไม่ถึงร้อยละ 95 จัดอยู่ในระดับเฝ้าระวัง ซึ่งเป็นสัญญาณเริ่มต้นของการเสื่อมสภาพ แนวทางที่เหมาะสมคือการเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบและเตรียมความพร้อมสำหรับการบำรุงรักษาในระยะอันใกล้

3.3.4.3 ระดับที่ 3 จำเป็นต้องตรวจสอบและบำรุงรักษา (Action Limits)

เครื่องชั่งที่มีคะแนนเกณฑ์ตั้งแต่ร้อยละ 95 แต่ไม่เกินร้อยละ 100 จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบและบำรุงรักษาภายในระยะเวลาที่กำหนด เนื่องจากสมรรถนะของเครื่องชั่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญและกำลังเข้าใกล้ขีดจำกัดที่ยอมรับได้

3.3.4.4 ระดับที่ 4 ต้องบำรุงรักษาเร่งด่วน (Over Limits)

เครื่องชั่งที่มีคะแนนเกณฑ์เกินร้อยละ 100 ต้องหยุดใช้งานทันทีและดำเนินการแก้ไขโดยเร่งด่วน เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้เกินกว่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของผลการวัด

เกณฑ์การแจ้งเตือนแบบหลายระดับนี้ได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับหลักการของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ที่มุ่งตรวจจับสัญญาณการเสื่อมสภาพก่อนที่เครื่องชั่งจะเกินขีดจำกัดที่ยอมรับได้ เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้รับผิดชอบมีเวลาเพียงพอในการวางแผนและดำเนินการบำรุงรักษาอย่างเป็น

ระบบ นอกจากนี้ ระบบยังกำหนดให้สถานะที่รุนแรงที่สุดจากผลการประเมินทั้งสามประเภท การสอบเทียบ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนของค่าแสดงผล ความสามารถในการทำซ้ำ และความเยื้องจุด ศูนย์กลาง เป็นตัวแทนสถานะรวมของเครื่องซึ่ง ณ รอบการสอบเทียบนั้น เพื่อให้เป็นข้อมูลนำเข้าหลัก ของกระบวนการสนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษาเชิงป้องกันต่อไป

3.4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาค้างนี้ทดสอบและเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 4 ประเภท ได้แก่ Linear Regression, Quadratic Regression, Cubic Regression และ Quartic Regression โดยใช้ข้อมูล จากกลุ่ม Departure of Indication from Nominal Value ย้อนหลัง 9 ปี (พ.ศ. 2559–2567) เพื่อ คัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประมาณค่าปรับแก้ ของเครื่องซึ่ง แบบจำลองทั้ง 4 ประเภท มีระดับความซับซ้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ ตั้งแต่ Linear ที่มีความง่ายและมีความเสี่ยงต่อ Overfitting ต่ำ ไปจนถึง Quartic ที่จับรูปแบบความสัมพันธ์ซับซ้อนได้มากที่สุดแต่มีความเสี่ยงต่อ Overfitting สูงขึ้นตามจำนวนพารามิเตอร์

3.4.1 การเปรียบเทียบดำเนินการอย่างเป็นระบบ 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเปรียบเทียบ Linear กับ Quadratic โดยใช้ค่า R^2 และ RMSE เป็นตัวชี้วัดหลัก ขั้นตอนที่สองทดสอบแบบจำลองดีกรี สูงขึ้น (Quadratic, Cubic, Quartic) โดยใช้ Adjusted R^2 ร่วมกับการพิจารณาค่าส่วนต่าง ระหว่าง R^2 กับ Adjusted R^2 เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อ Overfitting และขั้นตอนที่สามเปรียบเทียบ แบบจำลองทั้ง 4 ประเภทพร้อมกันในหลายมิติ ทั้งระดับภาพรวม ระดับค่าอ่านละเอียด และระดับผู้ผลิต

3.4.2 ตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วย ค่า R^2 ซึ่งแสดงสัดส่วนความแปรปรวน ที่แบบจำลองอธิบายได้ ค่า Adjusted R^2 ซึ่งปรับให้คำนึงถึงจำนวนพารามิเตอร์เพื่อควบคุมปัญหา Overfitting และค่า RMSE ซึ่งแสดงขนาดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยกรัม โดยกำหนดเกณฑ์ คัดเลือกแบบจำลองสำหรับนำไปใช้คำนวณค่าปรับแก้ในระบบไว้ที่ Adjusted $R^2 \geq 0.95$ และเลือก แบบจำลองที่ให้ค่า Adjusted R^2 สูงสุดภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว กรณีที่มีแบบจำลองหลายประเภทผ่าน เกณฑ์ ระบบจะเลือกแบบจำลองที่ให้ค่า Adjusted R^2 สูงสุด สำหรับกรณีที่ไม่มีแบบจำลองใดผ่าน เกณฑ์ ระบบจะเลือกใช้การแก้ค่าระหว่างจุดด้วยการแทรกสอดเล็งเชิงเส้นแทน ซึ่งไม่สมมติรูปแบบล่วงหน้า แต่ใช้ค่าที่วัดได้จริงเป็นฐานในการประมาณค่าแทน เพื่อรักษาความน่าเชื่อถือของผลการตัดสินใจ

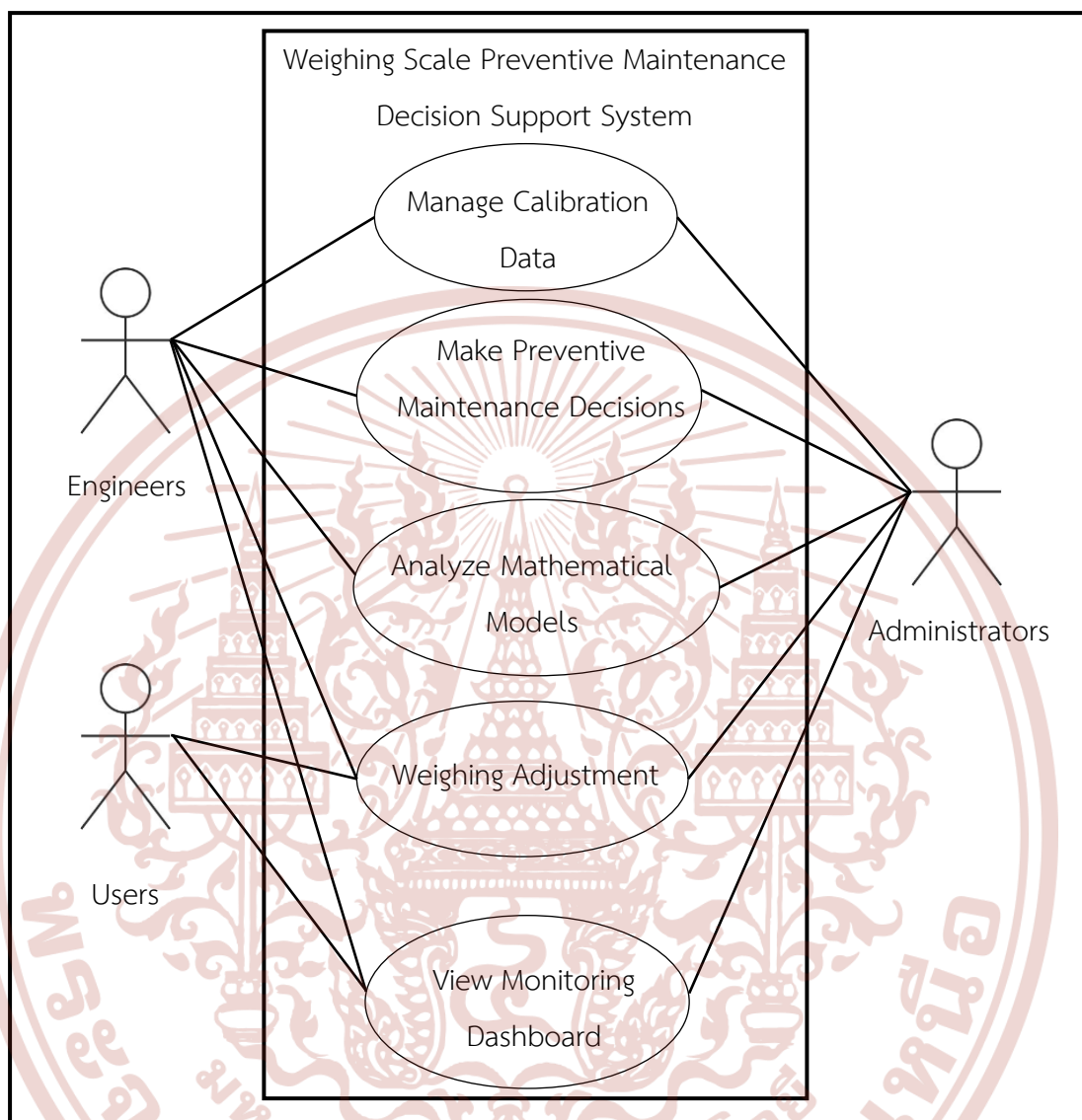
3.5 การพัฒนาระบบสารสนเทศ

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องซึ่งอ้างอิงตาม มาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร (UKAS LAB 14:2015) เป็นขั้นตอนสำคัญที่ต้องอาศัย การบูรณาการแนวทางการสอบเทียบเครื่องซึ่งเฉพาะเจาะจงในสามด้านหลัก ประกอบด้วย

ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) ความเยื้องจุดศูนย์กลาง (Eccentricity) และความคลาดเคลื่อนของการแสดงผล (Departure of Indication from Nominal Value) เข้ากับมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 และ OIML R76-1 อย่างสมบูรณ์แบบ ระบบที่พัฒนาขึ้นจะต้องมีความสามารถในการจัดการข้อมูลที่สามารถ วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งประเมินสถานะเครื่องชั่งตามเกณฑ์มาตรฐานสากล และคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนได้อย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ ในการออกแบบระบบจึงครอบคลุมตั้งแต่การกำหนดสถาปัตยกรรมระบบ การวิเคราะห์ยูสเคสของผู้ใช้งาน การสร้างโมเดลฐานข้อมูล ไปจนถึงการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ที่ตอบสนองความต้องการของบุคลากรในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม

3.5.1 การออกแบบระบบสารสนเทศ

การออกแบบการใช้งานของระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบำรุงรักษาเครื่องชั่งในครั้งนี้ เป็นกระบวนการกำหนดขอบเขตความสามารถและหน้าที่ของระบบอย่างชัดเจนตามมาตรฐาน UKAS LAB 14:2015 เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อวัตถุประสงค์การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องชั่งและความต้องการของผู้ใช้งานในอุตสาหกรรมเภสัชกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในขั้นตอนนี้จะนำเสนอผ่านแผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานทั้งสามกลุ่มหลัก ประกอบด้วย กลุ่มวิศวกรรม กลุ่มผู้ใช้งานทั่วไป และกลุ่มผู้ดูแลระบบ กับฟังก์ชันหลักทำส่วนของระบบสารสนเทศอย่างเป็นระบบ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 แผนภาพยูสเคสของระบบสารสนเทศ

จากภาพที่ 3-4 แสดงแผนภาพยูสเคสของระบบสารสนเทศซึ่งออกแบบมาเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง ครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้งานทั้งสามกลุ่มหลัก ได้แก่ วิศวกร ผู้ใช้งานทั่วไป และผู้ดูแลระบบ โดยฟังก์ชันหลักถูกกำหนดให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล และสามารถเชื่อมโยงกระบวนการประมวลผลข้อมูลเข้ากับการปฏิบัติงานจริง รายละเอียดของยูสเคสแต่ละรายการแสดงดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 รายละเอียดยูสเคสของระบบสารสนเทศ

ยูสเคส	ผู้ใช้งาน	วัตถุประสงค์	ข้อมูลนำเข้า	ผลลัพธ์
จัดการข้อมูล การสอบเทียบ	Engineers, Administrators	นำเข้าและจัดการ ข้อมูลผลการสอบ เทียบเครื่องชั่ง	ไฟล์ CSV จาก LIMS, ข้อมูล เครื่องชั่ง	ข้อมูลการสอบ เทียบในฐานข้อมูล
การประเมิน สถานะเครื่อง ชั่งและแจ้ง เตือนการ บำรุงรักษา	Engineers, Administrators	ประเมินสถานะและ ความจำเป็นในการ บำรุงรักษาตาม มาตรฐาน OIML R76-1	ข้อมูลสถานะ เครื่องชั่ง, เกณฑ์การแจ้ง เตือน	ค่า Threshold และระดับการแจ้ง เตือนแบบหลาย ระดับ
วิเคราะห์ แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์	Engineers, Administrators	เปรียบเทียบ ประสิทธิภาพ แบบจำลองและเลือก แบบจำลองที่ เหมาะสม	ข้อมูลการ สอบเทียบ, พารามิเตอร์ แบบจำลอง	ค่า R^2 , Adjusted R^2 , RMSE และ แบบจำลองที่ แนะนำ
คำนวณค่าปรับ แก้ความ คลาดเคลื่อน	Engineers, Users, Administrators	คำนวณค่าปรับแก้ สำหรับการชั่ง น้ำหนักในช่วงเวลา ระหว่างการสอบ เทียบ	รหัสเครื่องชั่ง, น้ำหนักที่ ต้องการชั่ง	ปรับแก้ค่าการชั่ง จากการ เปรียบเทียบค่า R^2 , Adjusted R^2 , RMSE และ แบบจำลองที่ แนะนำ
การแสดงผล กระดานข้อมูล	Engineers, Users, Administrators	ติดตามสถานะเครื่อง ชั่งและข้อมูลสำคัญ แบบ Real-time	ข้อมูลสถานะ เครื่องชั่ง, ข้อมูลการ สอบเทียบ	กระดานข้อมูล แสดงสถิติและ แนวโน้ม

รายละเอียดในตารางที่ 3-7 สรุปยูสเคสของระบบสารสนเทศที่สะท้อนถึงขอบเขตการทำงาน และปฏิสัมพันธ์ของผู้ใช้งานแต่ละกลุ่ม โดยมุ่งเน้นวัตถุประสงค์ ข้อมูลนำเข้า และผลลัพธ์ที่ชัดเจน

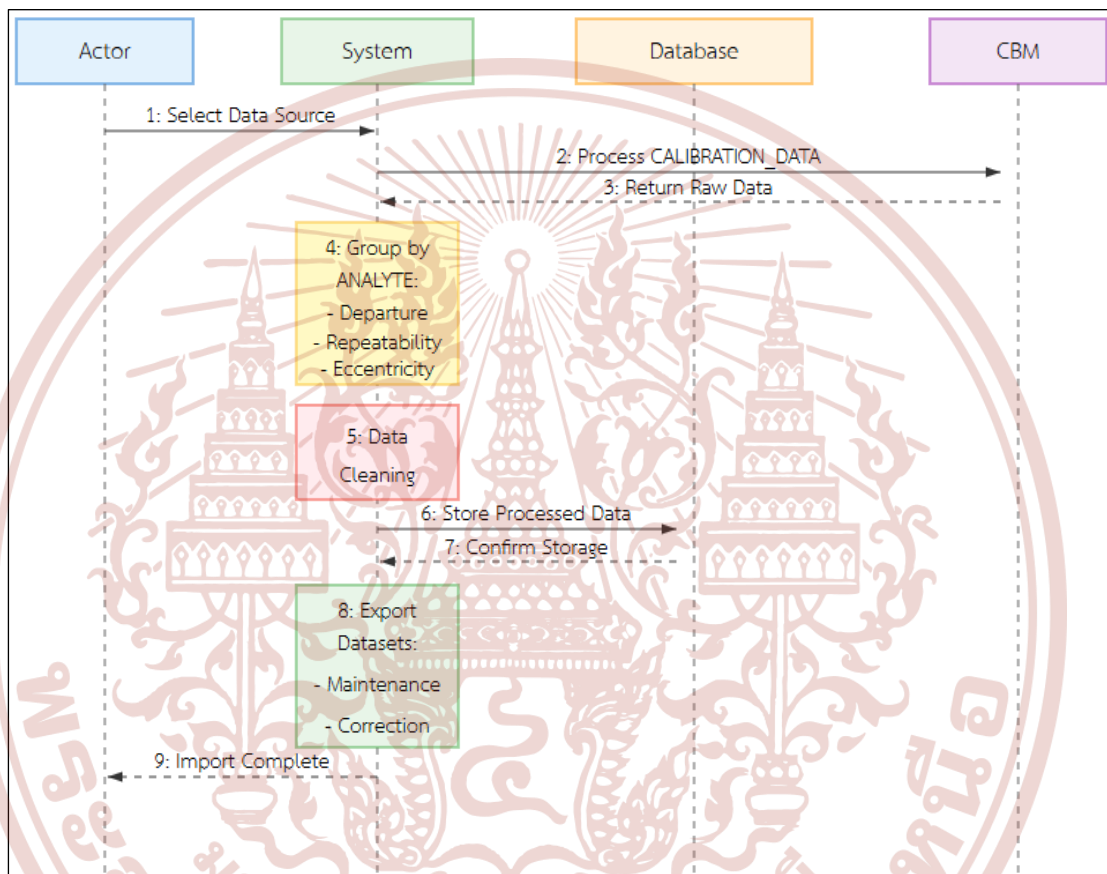
เพื่อให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของฟังก์ชันต่าง ๆ และการสนับสนุนกระบวนการบำรุงรักษาเครื่องซึ่ง
อย่างเป็นระบบ สามารถอธิบายเป็นยูสเคส ได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.5.1.1 ยูสเคสจัดการข้อมูลการสอบเทียบถือเป็นฟังก์ชันพื้นฐานที่สำคัญที่สุดของระบบ
ซึ่งรับผิดชอบการนำเข้า ประมวลผล และทำความสะอาดข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องซึ่งจากระบบ
LIMS หรือไฟล์ภายนอกให้มีคุณภาพตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 โดยระบบจะ
ดำเนินการจัดกลุ่มข้อมูลตามประเภทการสอบเทียบทั้งสามกลุ่มหลัก ได้แก่ Departure of
Indication, Repeatability และ Eccentricity พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์
ของข้อมูล รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 รายละเอียดยูสเคสจัดการข้อมูลการสอบเทียบ

ชื่อยูสเคส	จัดการข้อมูลการสอบเทียบ
ผู้เกี่ยวข้อง	กลุ่มวิศวกรรม (Engineering) และผู้ดูแลระบบ (Administrators)
วัตถุประสงค์	ผู้ใช้และระบบสามารถนำเข้าข้อมูลการสอบเทียบเครื่องซึ่งจากระบบ LIMS หรือ ไฟล์ภายนอก ดำเนินการทำความสะอาดข้อมูลและตรวจสอบคุณภาพตาม มาตรฐาน ISO/IEC 17025:2017 เพื่อให้ระบบสามารถนำข้อมูลไปประมวลผลใน ขั้นตอนต่อไป
รายละเอียด	ผู้ใช้และระบบสามารถเลือกแหล่งข้อมูลและกำหนดพารามิเตอร์การนำเข้าจาก แหล่งข้อมูลของระบบ LIMS หรือไฟล์ CSV ของข้อมูล และผ่านการนำเข้าข้อมูลสู่ ฐานข้อมูลหลัก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่างๆ ในขั้นตอนต่อไป
ขั้นตอนการ ดำเนินงาน	1. ผู้ใช้และระบบเลือกนำเข้าข้อมูลการสอบเทียบ 2. ระบบประมวลผลข้อมูลจากตาราง CALIBRATION_DATA • ข้อมูลระบุตัวตน: ORDNO, LABNO, MFG, MODELNO • ข้อมูลการสอบเทียบ: REQUIREDATE, ANALYTE, NOMINAL, STATUS • ข้อมูลผลการวิเคราะห์: CORRECTION, UNCERTAINTY, SD, MAX_DIFF • ข้อมูลการทดสอบพิเศษ: VALUE_POSITION2-5, MAX_OFF_CENTER_LOAD 3. ระบบจัดกลุ่มข้อมูลตามประเภทการสอบเทียบ (ANALYTE) 4. ระบบดำเนินการทำความสะอาดข้อมูล 5. ระบบส่งออกข้อมูลสำหรับการใช้งาน
ผลลัพธ์	ระบบนำเข้าข้อมูล พร้อมใช้งาน

จากตารางที่ 3-8 สามารถนำข้อมูลที่ระบุขั้นตอนการทำงานและปฏิสัมพันธ์ของผู้ใช้งานกับระบบ มาสร้างเป็นแผนภาพลำดับ (Sequence Diagram) เพื่อแสดงลำดับการดำเนินการและการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างองค์ประกอบของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 แผนภาพลำดับการนำเข้าข้อมูล

3.5.1.2 ยูสเคสประเมินสถานะเครื่องซึ่งมุ่งเน้นการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องซึ่งตามมาตรฐาน OIML R76-1 โดยระบบจะเปรียบเทียบผลการสอบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้และคำนวณ Threshold เพื่อจำแนกระดับการแจ้งเตือนหลายระดับ ซึ่งช่วยให้สามารถวางแผนการบำรุงรักษาและจัดการความเสี่ยงได้อย่างทันทั่วทั้งที่เป็นระบบรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-9

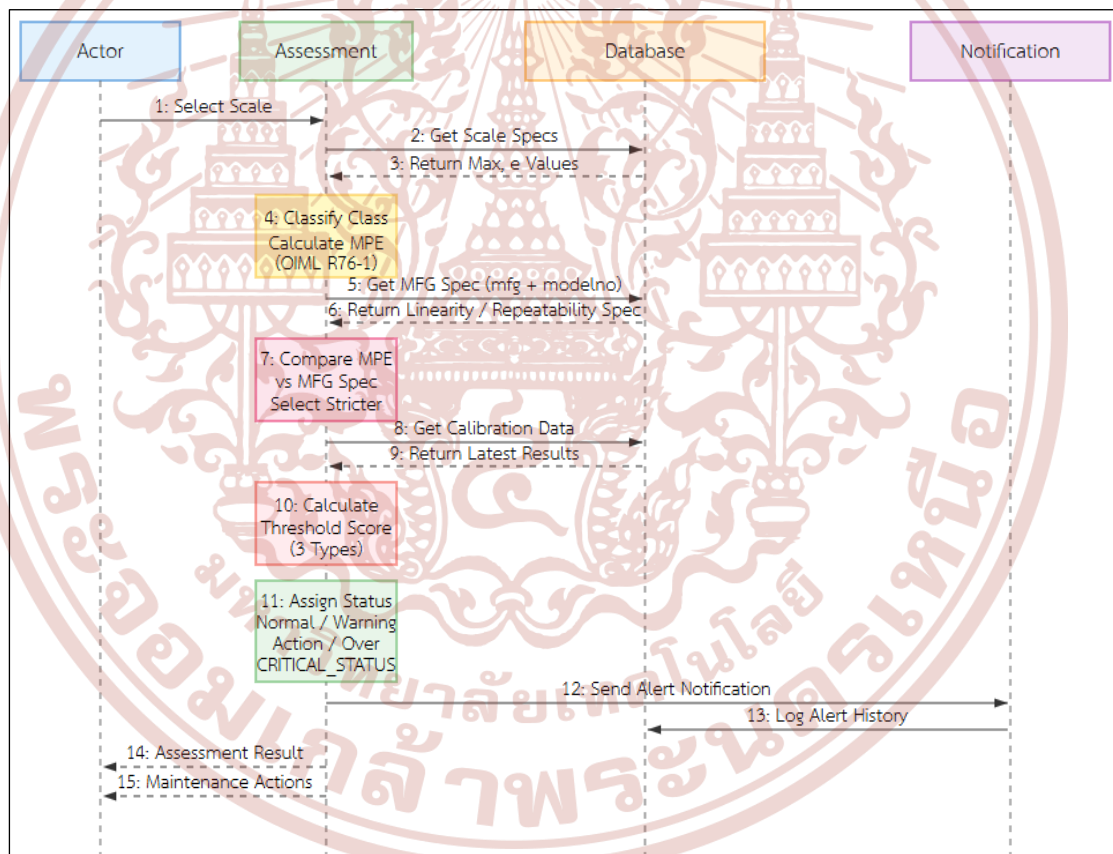
ตารางที่ 3-9 รายละเอียดยูสเคสการประเมินสถานะเครื่องชั่งและแจ้งเตือนการบำรุงรักษา

ชื่อยูสเคส :	การประเมินสถานะเครื่องชั่งและแจ้งเตือนการบำรุงรักษา
ผู้เกี่ยวข้อง :	กลุ่มวิศวกรรม (Engineering)
วัตถุประสงค์ :	ผู้ใช้และระบบสามารถประเมินสถานะเครื่องชั่งตามมาตรฐาน OIML R76-1 และส่งการแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อต้องการการบำรุงรักษา โดยการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบจากทั้ง 3 กลุ่มการทดสอบกับค่า Maximum Permissible Error (MPE) คำนวณค่า Threshold และกำหนดระดับการแจ้งเตือนแบบ 4 ระดับ เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถดำเนินการได้ทันเวลาที่
รายละเอียด :	ระบบจะดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอน คือ การประเมินสถานะและการแจ้งเตือน ในขั้นแรกระบบจะจำแนกระดับความเที่ยงตรง คำนวณ MPE และประเมินข้อมูลการสอบเทียบเพื่อกำหนด Threshold และในขั้นสองระบบจะส่งการแจ้งเตือนตามระดับที่ประเมินได้ พร้อมบันทึกประวัติและติดตามผลการดำเนินการ
ขั้นตอนการดำเนินงาน :	ขั้นตอนที่ 1: การประเมินสถานะเครื่องชั่ง 1. ผู้ใช้เลือกเครื่องชั่งสำหรับการประเมินสถานะ 2. ระบบจำแนกระดับความเที่ยงตรง (Accuracy Class) จำแนกเป็น Class I, II, III, IIII ตามมาตรฐาน OIML R76-1 3. ระบบคำนวณค่า Maximum Permissible Error (MPE) • คำนวณตามระดับความเที่ยงตรงและช่วงน้ำหนัก • ปรับค่า MPE เป็น 2 เท่าสำหรับเครื่องชั่งในสถานะใช้งาน • เปรียบเทียบค่า MPE กับข้อกำหนดของผู้ผลิต 4. ระบบประเมินข้อมูลการสอบเทียบจาก 3 กลุ่มหลัก Departure of Indication, Repeatability, Eccentricity 5. ระบบคำนวณ Threshold และกำหนดระดับการประเมิน Normal Status, Warning Limits, Action Limits, Over Limits ขั้นตอนที่ 2: การแจ้งเตือนการบำรุงรักษา 6. ระบบตรวจสอบและส่งการแจ้งเตือนอัตโนมัติ • Normal: ไม่แจ้งเตือน, บำรุงรักษาตามแผนปกติ • Warning: แจ้งเตือนเบื้องต้น, ติดตามและเฝ้าระวังเครื่องชั่ง • Action: แจ้งเตือนการดำเนินการ, ตรวจสอบและบำรุงรักษา • Over Limits: แจ้งเตือนเร่งด่วน, หยุดใช้งานและบำรุงรักษาทันที

ตารางที่ 3-9 (ต่อ)

ชื่อยูสเคส :	การประเมินสถานะเครื่องชั่งและแจ้งเตือนการบำรุงรักษา
ผลลัพธ์	ระบบประเมินสถานะเครื่องชั่ง คำนวณ MPE และเปรียบเทียบผลการสอบเทียบกับเกณฑ์

จากตารางที่ 3-9 สามารถนำรายละเอียดการประเมินสถานะเครื่องชั่ง มาสร้างเป็นแผนภาพลำดับ (Sequence Diagram) เพื่ออธิบายลำดับขั้นตอนการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณ Threshold และการแจ้งเตือนระดับต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ ดังแสดงในภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 แผนภาพลำดับการประเมินสถานะเครื่องชั่งและแจ้งเตือนการบำรุงรักษา

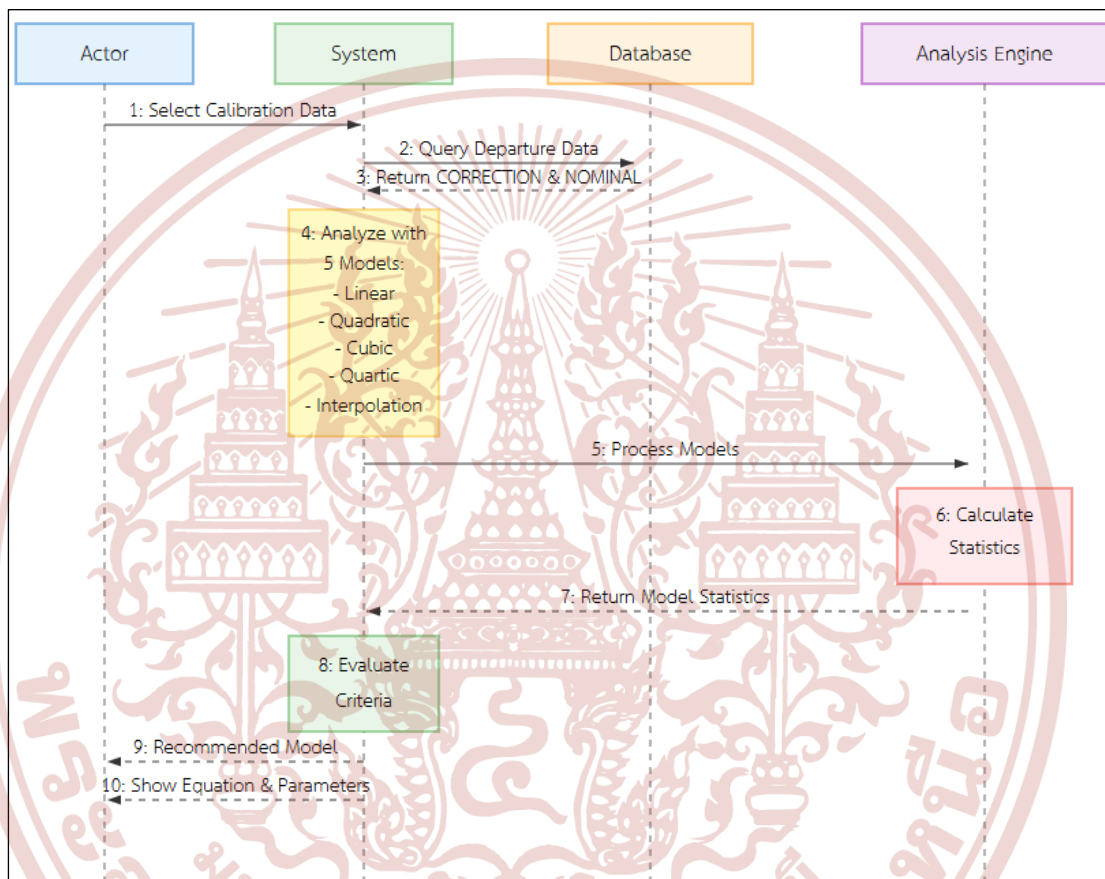
3.5.1.3 ยูสเคสวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มุ่งเน้นการเปรียบเทียบและคัดเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้ในการคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของเครื่องชั่ง โดยอาศัยข้อมูลการสอบเทียบและเกณฑ์ทางสถิติ เช่น R^2 , Adjusted R^2

และ RMSE เพื่อให้ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือและรองรับการประยุกต์ใช้จริงในกระบวนการบำรุงรักษา
รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10 รายละเอียดยูสเคสวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ชื่อยูสเคส	วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ผู้เกี่ยวข้อง	กลุ่มวิศวกรรม (Engineering) และผู้ดูแลระบบ (Administrators)
วัตถุประสงค์	ผู้ใช้งานสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร โดยใช้ข้อมูลจากกลุ่ม Departure of Indication from Nominal Value และอ้างอิงจากค่าสถิติ R^2 , Adjusted R^2 , และ RMSE ตามเกณฑ์ที่กำหนด
รายละเอียด	ผู้ใช้งานสามารถเลือกข้อมูลการสอบเทียบจากเครื่องจักรเฉพาะเครื่องหรือกลุ่มเครื่องจักร และระบบจะดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นขั้นตอนตามระเบียบวิธีที่กำหนด เพื่อหาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดตามเกณฑ์การประเมินทางสถิติและความเหมาะสมในการใช้งานจริง
ขั้นตอนการดำเนินงาน	1. ผู้ใช้เลือกข้อมูลการสอบเทียบสำหรับการวิเคราะห์ เลือกจากข้อมูลกลุ่ม Departure of Indication 2. ระบบวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 4 แบบจำลองหลัก • Linear Regression • Quadratic Regression • Cubic Regression • Quartic Regression • Linear Interpolation 3. ระบบคำนวณค่าสถิติการประเมินสำหรับแต่ละแบบจำลอง 4. ระบบประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนด 5. ระบบแนะนำแบบจำลองที่เหมาะสมพร้อมเหตุผล
ผลลัพธ์	ระบบสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองคณิตศาสตร์

จากตารางที่ 3-10 สามารถนำรายละเอียดกระบวนการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาสร้างเป็นแผนภาพลำดับ (Sequence Diagram) เพื่อแสดงขั้นตอนการประมวลผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง และการคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 3-7



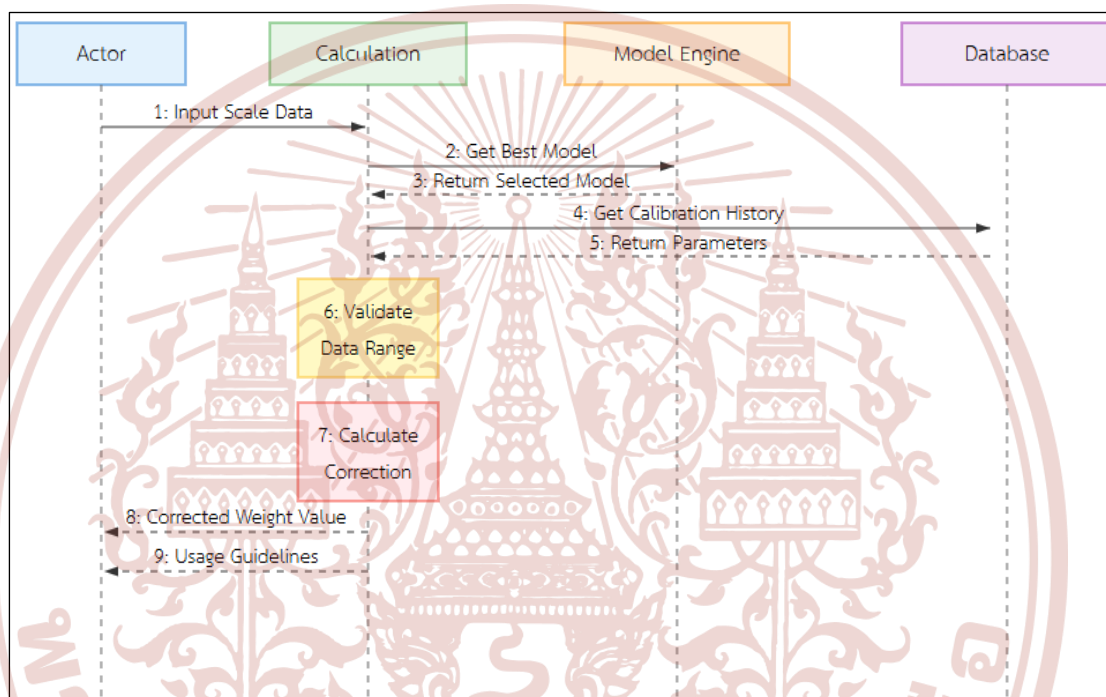
ภาพที่ 3-7 แผนภาพลำดับวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.5.1.4 ยูสเคสคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการชั่งน้ำหนักในช่วงระหว่าง การสอบเทียบ โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการคัดเลือกจากกระบวนการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ ระบบสามารถนำข้อมูลเครื่องชั่งและค่าน้ำหนักที่ต้องการมาประมวลผล เพื่อให้ได้ค่าปรับแก้ที่เหมาะสมและรองรับการใช้งานจริงในกระบวนการผลิต รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-11

ตารางที่ 3-11 รายละเอียดยูสเคสการคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อน

ชื่อยูสเคส :	การคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อน
ผู้เกี่ยวข้อง :	กลุ่มวิศวกรรม (Engineering) และกลุ่มผู้ใช้งานทั่วไป (Users)
วัตถุประสงค์ :	ผู้ใช้งานสามารถคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนสำหรับการชั่งน้ำหนักในช่วงเวลาระหว่างการสอบเทียบ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการคัดเลือกแล้วจากยูสเคส วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการชั่งน้ำหนักและลดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการผลิตเภสัชกรรม
รายละเอียด :	ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลรหัสเครื่องชั่ง น้ำหนักที่ต้องการชั่ง และวันที่ ระบบจะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการประเมินว่าเหมาะสมที่สุดจากยูสเคส ค) มาใช้ในการคำนวณค่าปรับแก้พร้อมช่วงความไม่แน่นอน เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการชั่งน้ำหนัก
ขั้นตอนการดำเนินงาน :	1. ผู้ใช้ป้อนข้อมูลสำหรับการคำนวณ • รหัสเครื่องชั่ง (LABNO) • น้ำหนักที่ต้องการชั่ง (Target Weight) • ค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากการชั่ง (Reading value) 2. ระบบเลือกแบบจำลองจากผลการวิเคราะห์ยูสเคส ค) • ดึงผลการเปรียบเทียบแบบจำลองจากยูสเคส ค) • เลือกแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับเครื่องชั่งที่เลือก • ตรวจสอบเกณฑ์คุณภาพ 3. ระบบดึงข้อมูลการสอบเทียบและพารามิเตอร์แบบจำลอง • รับข้อมูลจากน้ำหนักที่ต้องการชั่งหรือค่าน้ำหนักที่อ่านได้ที่เลือก • นำพารามิเตอร์แบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ยูสเคส ค) • ตรวจสอบความเหมาะสมของช่วงข้อมูลที่ต้องการคำนวณ 4. ระบบคำนวณค่าปรับแก้ด้วยแบบจำลองที่เลือก • ใช้แบบจำลองที่ได้รับการคัดเลือกจากยูสเคส ค) • นำค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณแล้วมาใช้
ผลลัพธ์	ระบบคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการคัดเลือก

จากตารางที่ 3-11 สามารถนำรายละเอียดการคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อน มาสร้างเป็นแผนภาพลำดับ (Sequence Diagram) เพื่อแสดงขั้นตอนการรับข้อมูลจากเครื่องซึ่งการประมวลผลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการให้ผลลัพธ์เป็นค่าปรับแก้ที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 แผนภาพลำดับคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อน

3.5.1.5 ยูสเคสการแสดงผลกระดานข้อมูลมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงสถานะเครื่องซึ่งและข้อมูลสำคัญแบบ ผ่านการประมวลผลเชิงสถิติและแนวโน้มที่แสดงในรูปแบบกราฟและแผนภูมิ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบำรุงรักษาและการใช้งานเครื่องซึ่งอย่างมีประสิทธิภาพ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-12

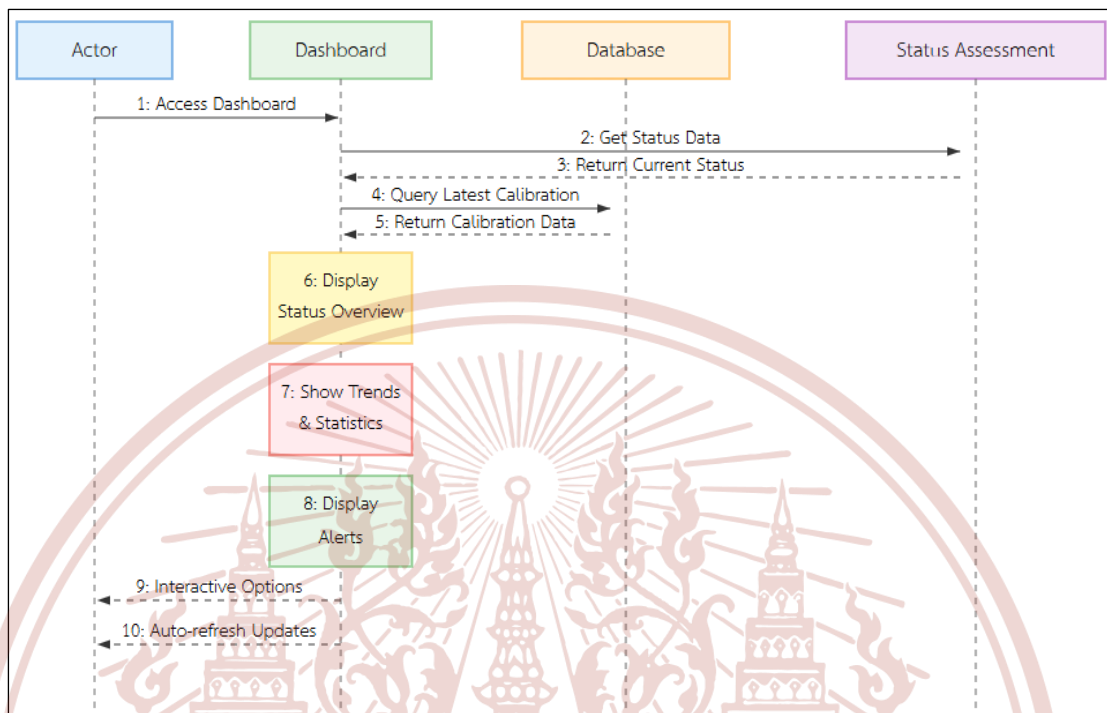
ตารางที่ 3-12 รายละเอียดยูสเคสแสดงผลกระดานข้อมูล

ชื่อยูสเคส	การแสดงผลกระดานข้อมูล
ผู้เกี่ยวข้อง	กลุ่มวิศวกรรม (Engineering) ผู้ใช้งาน (User) และผู้ดูแลระบบ (Administrators)

ตารางที่ 3-12 (ต่อ)

ชื่อยูสเคส	การแสดงผลกระดานข้อมูล
วัตถุประสงค์	ผู้ใช้งานสามารถติดตามสถานะเครื่องจักรและข้อมูลสำคัญ ผ่าน Dashboard ที่แสดงสถิติ แนวโน้ม และการแจ้งเตือนต่างๆ เพื่อให้สามารถตัดสินใจในการบำรุงรักษาและการใช้งานเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ
รายละเอียด	ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงกระดานข้อมูลที่แสดงภาพรวมสถานะเครื่องจักรทั้งหมด รวมถึงข้อมูลการสอบเทียบล่าสุด ระดับการแจ้งเตือนตามผลการประเมินสถานะ และสถิติการใช้งานในรูปแบบกราฟและแผนภูมิที่อัปเดต
ขั้นตอนการดำเนินงาน	1. ผู้ใช้เข้าสู่ระบบเลือกการแสดงผลกระดานข้อมูล 2. ระบบดึงข้อมูลสถานะเครื่องจักรแบบ 3. ระบบแสดงภาพรวมสถานะเครื่องจักร สรุปสถานะตามระดับ
ขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)	4. ระบบแสดงข้อมูลการสอบเทียบ • อัตราการผ่าน/ไม่ผ่าน การสอบเทียบย้อนหลัง 5. ระบบแสดงการแจ้งเตือนและกิจกรรมล่าสุด • การแจ้งเตือนที่ยังไม่ได้ดำเนินการ • กิจกรรมการบำรุงรักษา ที่เสร็จสิ้นล่าสุด 6. ระบบให้ตัวเลือกการโต้ตอบ ดูรายละเอียด เครื่องจักรแต่ละเครื่อง • กรองข้อมูลตามเกณฑ์ (ช่วงเวลา, สถานะ, ประเภทเครื่องจักร) • ส่งออกรายงาน สรุปสถานะในรูปแบบ Excel
ผลลัพธ์	ระบบแสดงกระดานข้อมูลแบบ Real-time ที่รวมสถานะเครื่องจักร

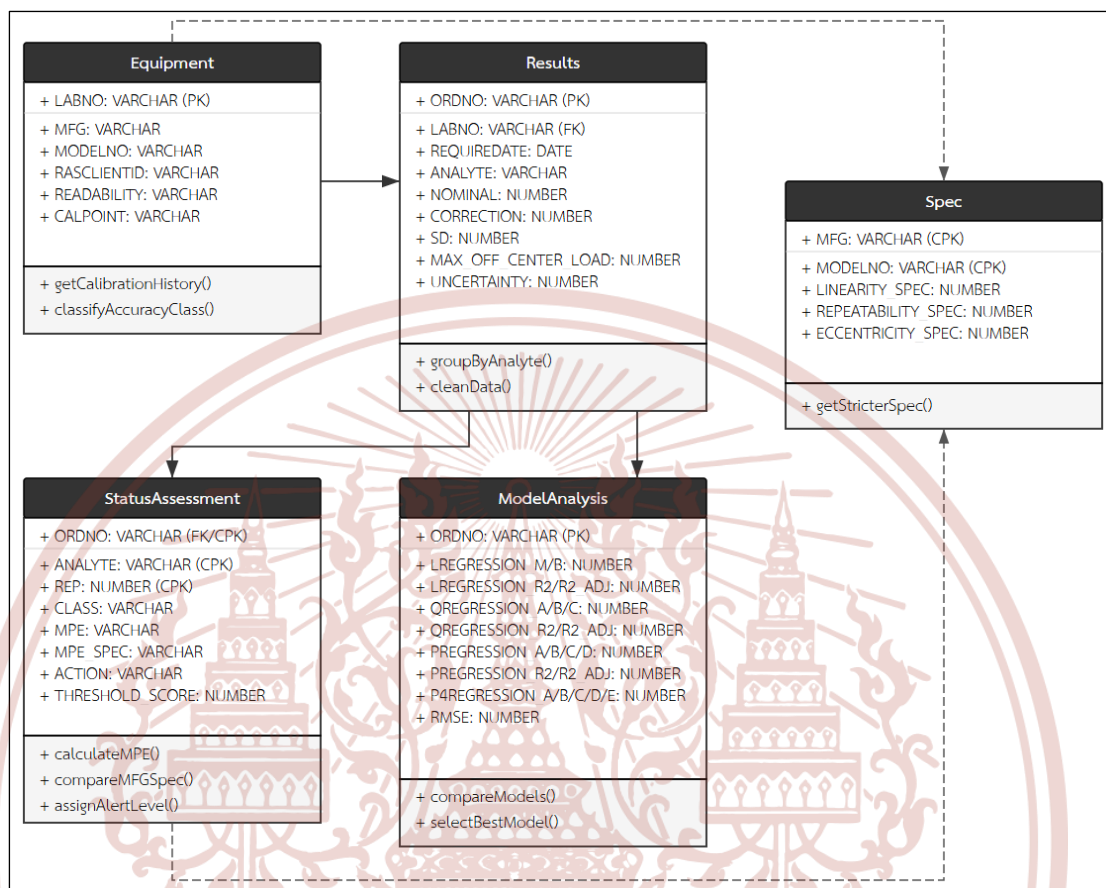
จากตารางที่ 3-12 สามารถนำรายละเอียดการทำงานของยูสเคสการแสดงผลกระดานข้อมูล มาสร้างเป็นแผนภาพลำดับ (Sequence Diagram) เพื่อแสดงลำดับการเรียกใช้งาน การดึงข้อมูลสถานะเครื่องจักร และการนำเสนอผลในรูปแบบกราฟและสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 แผนภาพลำดับกระบวนการแสดงผลกระดานข้อมูล

3.5.2 แผนภาพคลาสระบบสารสนเทศ

แผนภาพคลาสระบบสารสนเทศถูกออกแบบขึ้นเพื่อสะท้อนโครงสร้างเชิงตรรกะของระบบ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลาส ข้อมูล และการทำงานที่เกี่ยวข้องกันอย่างเป็นระบบ ซึ่งช่วยให้เห็นความเชื่อมโยงขององค์ประกอบหลักทั้งด้านการจัดการข้อมูล การประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบำรุงรักษาเครื่องซึ่งได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 แผนภาพคลาสระบบสารสนเทศ

3.5.3 การสร้างฐานข้อมูลของระบบสารสนเทศ

ทำการสร้างฐานข้อมูลของระบบสารสนเทศโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเก็บและเชื่อมโยงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบ การประเมินสถานะ และการบำรุงรักษาเครื่องชั่งอย่างเป็นระบบ โดยโครงสร้างฐานข้อมูลถูกออกแบบให้รองรับการเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ครอบคลุมทั้งข้อมูลผู้ใช้งาน ข้อมูลเครื่องชั่ง ผลการสอบเทียบ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อน ซึ่งช่วยให้การจัดการข้อมูลมีความถูกต้อง ปลอดภัย และสามารถสนับสนุนการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3-13 ถึง 3-17

ตารางที่ 3-13 โครงสร้างข้อมูลเครื่องชั่ง

ชื่อคอลัมน์	ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
LABNO	VARCHAR (10) (PK)	รหัสเครื่องชั่ง
MFG	VARCHAR (400)	ยี่ห้อเครื่องชั่ง

ตารางที่ 3-13 (ต่อ)

ชื่อคอลัมน์	ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
MODELNO	VARCHAR (400)	รุ่นเครื่องมือ
RASCLIENTID	VARCHAR (15)	รหัสหน่วยงานเจ้าของเครื่องชั่ง
READABILITY	VARCHAR2 (20 CHAR)	ค่าอ่านละเอียดเครื่องชั่ง
CALPOINT	VARCHAR (1000)	ช่วงสอบเทียบเครื่องชั่ง

ตารางที่ 3-13 แสดงโครงสร้างข้อมูลเครื่องชั่ง โดยกำหนดคุณลักษณะสำคัญ เช่น รหัสเครื่องชั่ง ยี่ห้อ รุ่น และค่าความละเอียด เพื่อรองรับการจัดเก็บข้อมูลเชิงอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถเชื่อมโยงกับข้อมูลการสอบเทียบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 3-14 โครงสร้างข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องชั่ง

ชื่อคอลัมน์	ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
ORDNO	VARCHAR2 (255 CHAR) (PK)	หมายเลขงาน
LABNO	VARCHAR (20) (FK)	รหัสเครื่องมือ
READABILITY	VARCHAR (8)	ค่าอ่านละเอียด
REQUIREDATE	DATE	วันที่สอบเทียบ
ANALYTE	VARCHAR2 (50 CHAR)	หัวข้อสอบเทียบ
REP	NUMBER (22,0)	หมายเลขครั้งของการทำซ้ำในแต่ละหัวข้อสอบเทียบ
NOMINAL	VARCHAR2 (255 CHAR)	ค่าน้ำหนักสอบเทียบ
CORRECTION	VARCHAR2 (255 CHAR)	ค่าแก้จากการสอบเทียบ
SD	VARCHAR2 (255 CHAR)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
MAX_DIFF	VARCHAR2 (255 CHAR)	ค่าความแตกต่างที่มากที่สุดจากการทำซ้ำ
VALUE_POSITION2	VARCHAR2 (255 CHAR)	ค่าน้ำหนักตำแหน่งที่2
VALUE_POSITION3	VARCHAR2 (255 CHAR)	ค่าน้ำหนักตำแหน่งที่3
VALUE_POSITION4	VARCHAR2 (255 CHAR)	ค่าน้ำหนักตำแหน่งที่4
VALUE_POSITION5	VARCHAR2 (255 CHAR)	ค่าน้ำหนักตำแหน่งที่5

ตารางที่ 3-14 (ต่อ)

ชื่อคอลัมน์	ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
MAX_OFF_CENTER_LOAD	VARCHAR2 (255 CHAR)	ค่าความแตกต่างที่มากที่สุดจากจุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 3-14 แสดงโครงสร้างข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องชั่ง โดยเก็บรายละเอียดการวัดและค่าทางสถิติที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าแก้จากการสอบเทียบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด เพื่อใช้ประเมินความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของเครื่องชั่ง

ตารางที่ 3-15 โครงสร้างข้อมูลการประเมินสถานะเครื่องชั่ง

ชื่อคอลัมน์	ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
ORDNO	VARCHAR2 (255 CHAR) (FK)	หมายเลขงาน
ANALYTE	VARCHAR2 (50 CHAR)	หัวข้อสอบเทียบ (เป็นส่วนหนึ่งของ Composite Primary Key)
REP	NUMBER (22,0)	หมายเลขครั้งของการทำซ้ำในแต่ละหัวข้อสอบเทียบ (เป็นส่วนหนึ่งของ Composite Primary Key)
CLASS	VARCHAR2 (50 CHAR)	Accuracy Class ตาม OIML R76-1
MPE	VARCHAR2 (100 CHAR)	เกณฑ์ที่ยอมรับได้สูงสุด
ACTION	VARCHAR2 (100 CHAR)	สถานะในการบำรุงรักษา
THRESHOLD_SCORE	NUMBER (4,0)	เกณฑ์ที่ยอมรับเป็นเปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3-15 แสดงโครงสร้างข้อมูลการประเมินสถานะเครื่องชั่ง โดยจัดเก็บข้อมูลชั้นความแม่นยำ (Accuracy Class) ค่า MPE เกณฑ์ Threshold และสถานะการใช้งาน เพื่อรองรับการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน OIML R76-1 อย่างเป็นระบบ

ตารางที่ 3-16 โครงสร้างข้อมูลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ชื่อคอลัมน์	ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
ORDNO	VARCHAR2 (255 CHAR) (PK)	หมายเลขงาน
QREGRESSION_A	NUMBER (13, 12)	ค่าสัมประสิทธิ์พจน์กำลังสองของสมการกำลังสอง
QREGRESSION_B	NUMBER (13, 12)	ค่าสัมประสิทธิ์พจน์กำลังหนึ่งของสมการกำลังสอง
QREGRESSION_C	NUMBER (13, 12)	ค่าคงที่ของสมการกำลังสอง
QREGRESSION_R2	NUMBER (5,4)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการกำลังสอง
LREGRESSION_M	NUMBER (13, 12)	ค่าความชันของสมการเชิงเส้น
LREGRESSION_B	NUMBER (13, 12)	ค่าจุดตัดแกน Y ของสมการเชิงเส้น
LREGRESSION_R2	NUMBER (5,4)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการเชิงเส้น
PREGRESSION_A	NUMBER (13, 12)	ค่าสัมประสิทธิ์พจน์กำลังสามของสมการกำลังสาม
PREGRESSION_B	NUMBER (13, 12)	ค่าสัมประสิทธิ์พจน์กำลังสองของสมการกำลังสาม
PREGRESSION_C	NUMBER (13, 12)	ค่าสัมประสิทธิ์พจน์กำลังหนึ่งของสมการกำลังสาม
PREGRESSION_D	NUMBER (13, 12)	ค่าคงที่ของสมการกำลังสาม
PREGRESSION_R2	NUMBER (5,4)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการกำลังสาม
PREGRESSION_RMSE	NUMBER (9,8)	ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของสมการกำลังสาม
QREGRESSION_RMSE	NUMBER (9,8)	ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของสมการกำลังสอง
LREGRESSION_RMSE	NUMBER (9,8)	ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของสมการเชิงเส้น

ตารางที่ 3-16 (ต่อ)

ชื่อคอลัมน์	ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
PREGRESSION_R2_ADJ	NUMBER (5,4)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้วของสมการกำลังสาม
QREGRESSION_R2_ADJ	NUMBER (5,4)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้วของสมการกำลังสอง
LREGRESSION_R2_ADJ	NUMBER (5,4)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้วของสมการเชิงเส้น
P4REGRESSION_A	NUMBER (13, 12)	ค่าสัมประสิทธิ์พจน์กำลังสี่ของสมการกำลังสี่
P4REGRESSION_B	NUMBER (13, 12)	ค่าสัมประสิทธิ์พจน์กำลังสามของสมการกำลังสี่
P4REGRESSION_C	NUMBER (13, 12)	ค่าสัมประสิทธิ์พจน์กำลังสองของสมการกำลังสี่
P4REGRESSION_D	NUMBER (13, 12)	ค่าสัมประสิทธิ์พจน์กำลังหนึ่งของสมการกำลังสี่
P4REGRESSION_E	NUMBER (13, 12)	ค่าคงที่ของสมการกำลังสี่
P4REGRESSION_R2	NUMBER (5, 4)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการกำลังสี่
P4REGRESSION_ADJR2	NUMBER (5,4)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้วของสมการกำลังสี่
P4REGRESSION_RMSE	NUMBER (9,8)	ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยของสมการกำลังสี่

ตารางที่ 3-16 แสดงโครงสร้างข้อมูลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเก็บค่าพารามิเตอร์และตัวชี้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง เช่น ค่า R^2 และ RMSE เพื่อใช้ในการประเมินความเหมาะสมและความแม่นยำของการคำนวณปรับแก้ความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 3-17 โครงสร้างข้อมูลจำเพาะจากผู้ผลิตเครื่องชั่ง

ชื่อคอลัมน์	ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
MFG	VARCHAR (400)	ยี่ห้อเครื่องชั่ง
MODELNO	VARCHAR (400)	รุ่นเครื่องมือ
LINEARITY_SPEC	NUMBER (5,4)	เกณฑ์ที่ยอมรับได้สูงสุดของ LINEARITY
REPEATABILITY_SPEC	NUMBER (5,4)	เกณฑ์ที่ยอมรับได้สูงสุดของ REPEATABILITY
ECCENTRICITY_SPEC	NUMBER (5,4)	เกณฑ์ที่ยอมรับได้สูงสุดของ ECCENTRICITY

ตารางที่ 3-17 แสดงโครงสร้างข้อมูลข้อกำหนดจากผู้ผลิตเครื่องชั่ง จัดเก็บค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ของการทดสอบ Linearity, Repeatability และ Eccentricity เพื่อรองรับการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้กับมาตรฐาน OIML R76-1 และคัดเลือกเกณฑ์สำหรับการประเมินสถานะเครื่องชั่ง

3.5.4 หน้าจอการแสดงผล (Use Interface)

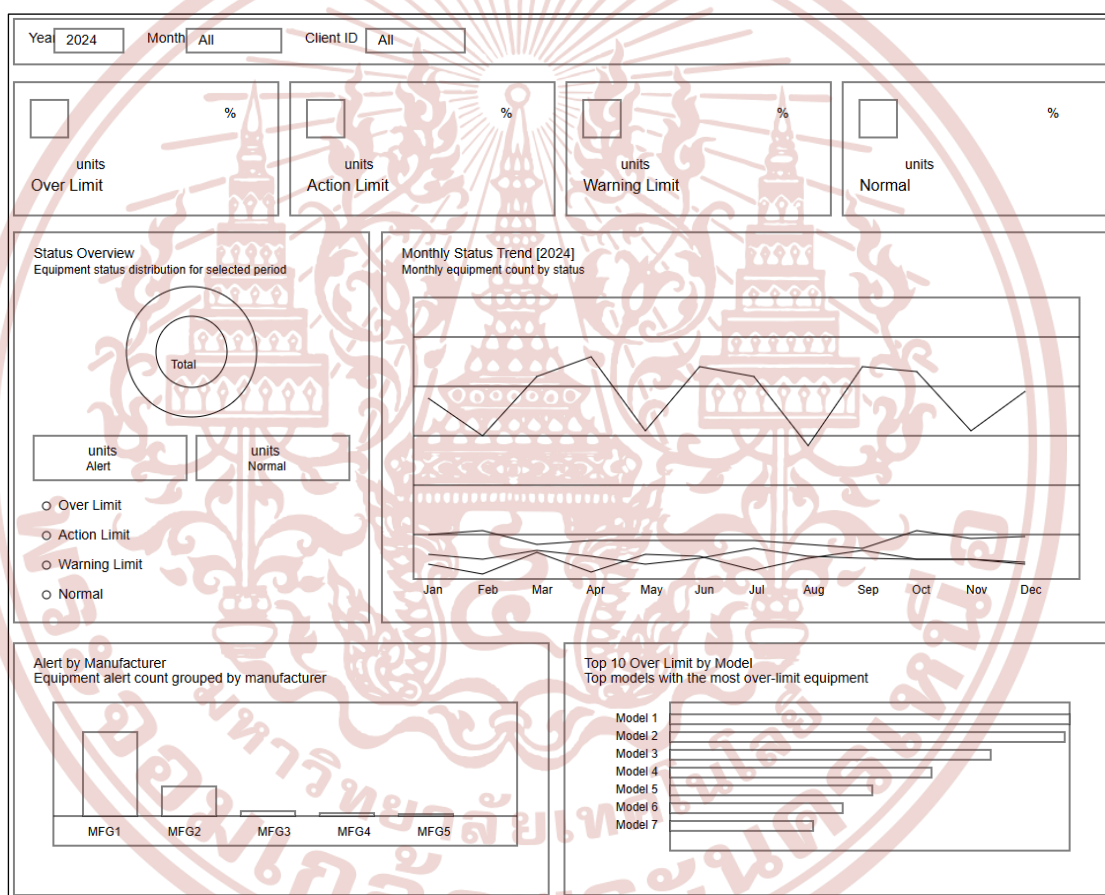
ระบบสารสนเทศถูกพัฒนาในรูปแบบระบบสารสนเทศบนสถาปัตยกรรมแบบระดับประกอบด้วยชั้นแสดงผล (UI), ชั้นตรรกะธุรกิจ (Service/Rule & Model Engine) และชั้นจัดการข้อมูล (Database) เพื่อรองรับการนำเข้าและจัดการข้อมูลการสอบเทียบ การประเมินสถานะตามเกณฑ์มาตรฐาน และการคำนวณค่าปรับแก้ความคลาดเคลื่อนแบบบูรณาการ ทั้งนี้มีการกำหนดบทบาทผู้ใช้ (Engineering, Users, Administrators) และการควบคุมคุณภาพข้อมูลอย่างเป็นระบบ รวมถึงกลไกสรุปผลและแสดงผลผ่านกระดานข้อมูลและการแจ้งเตือนเชิงรุก ในส่วนหน้าจอรายการเครื่องชั่งที่ต้องบำรุงรักษา หน้าจอนี้ออกแบบมาเพื่อแสดงรายการเครื่องชั่งที่ต้องดำเนินการบำรุงรักษาพร้อมรายละเอียดสถานะ หน้าจอการแสดงผลมีดังนี้

3.5.4.1 หน้าจอ Dashboard สำหรับสรุปสถานะและแนวโน้ม เป็นหน้าจอกระดานข้อมูลภาพรวมการแจ้งเตือนการบำรุงรักษา หน้าจอกระดานข้อมูลออกแบบมาเพื่อแสดงภาพรวมสถานะการแจ้งเตือนการบำรุงรักษาเครื่องชั่งทั้งหมดในระบบ โดยมีองค์ประกอบหลักดังนี้

ส่วนบนของหน้าจอประกอบด้วยตัวกรองข้อมูลตามปีและเดือน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกช่วงเวลาที่ต้องการวิเคราะห์ได้ พร้อมแผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนสถานะการแจ้งเตือนทั้ง 4 ระดับ ได้แก่ Normal, Warning limits, Action limits และ Over limits รวมถึงกล่องสรุปจำนวนการแจ้งเตือนแยกตามระดับความรุนแรง

ส่วนกลางของหน้าจอแสดงกราฟ Monthly Alerts Trend เพื่อติดตามแนวโน้มจำนวนการแจ้งเตือนรายเดือนตลอดทั้งปี โดยแยกสีตามระดับสถานะ และกราฟ Alert by Manufacturer แสดงจำนวนการแจ้งเตือนแยกตามผู้ผลิตเครื่องจักร เพื่อวิเคราะห์ว่าเครื่องจักรจากผู้ผลิตใดมีปัญหามากที่สุด

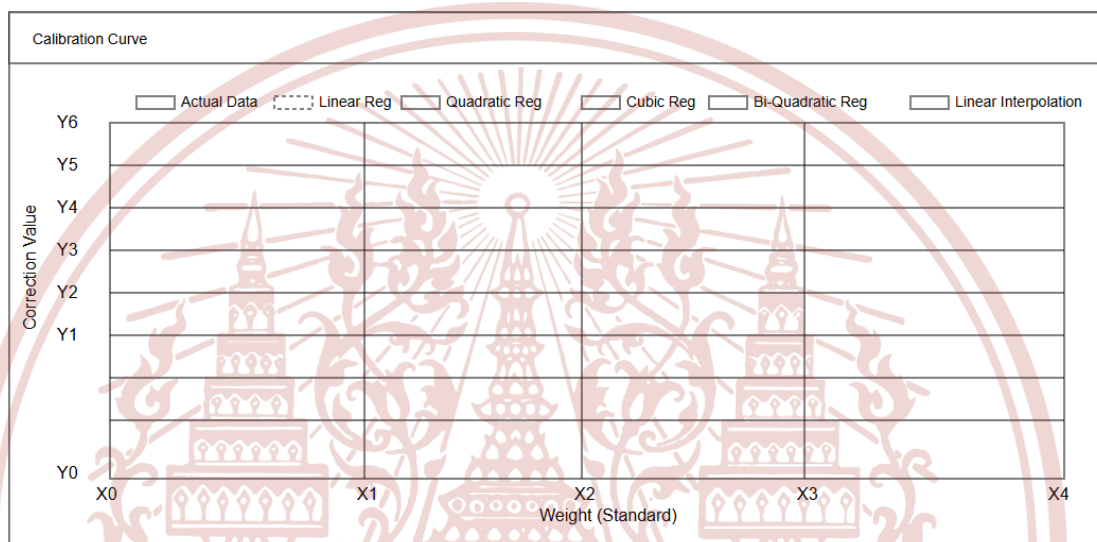
ส่วนล่างของหน้าจอประกอบด้วยกราฟแท่ง Top 10 Over Limit By Model แสดงรุ่นเครื่องจักรที่มีสถานะ Over Limit มากที่สุด และตาราง Equipment List แสดงรายการเครื่องจักรพร้อมรายละเอียดและสถานะการแจ้งเตือน ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 การออกแบบหน้าจอ Dashboard สำหรับสรุปสถานะ

3.5.4.2 หน้าจอ Calibration Analysis หน้าจอวิเคราะห์ผลการสอบเทียบได้รับการออกแบบให้ผู้ใช้สามารถเลือกใบงานสอบเทียบล่าสุดผ่านรายการแบบเลื่อนลง (Dropdown List) เพื่อเรียกดูผลการวิเคราะห์ของเครื่องจักรแต่ละเครื่องได้อย่างสะดวก โดยหน้าจอประกอบด้วยส่วนแสดงผลหลักสองส่วน ส่วนแรกคือแผนภูมิกระจาย (Scatter Plot) ที่แสดงข้อมูลจุดสอบเทียบเทียบกับเส้นโค้งการถดถอย (Regression Curve) ของแบบจำลองทั้งสี่ ได้แก่ เชิงเส้น กำลังสอง กำลังสาม และกำลังสี่ พร้อมตารางเปรียบเทียบค่าทางสถิติ ประกอบด้วย R^2 , Adjusted R^2 และ RMSE เพื่อให้

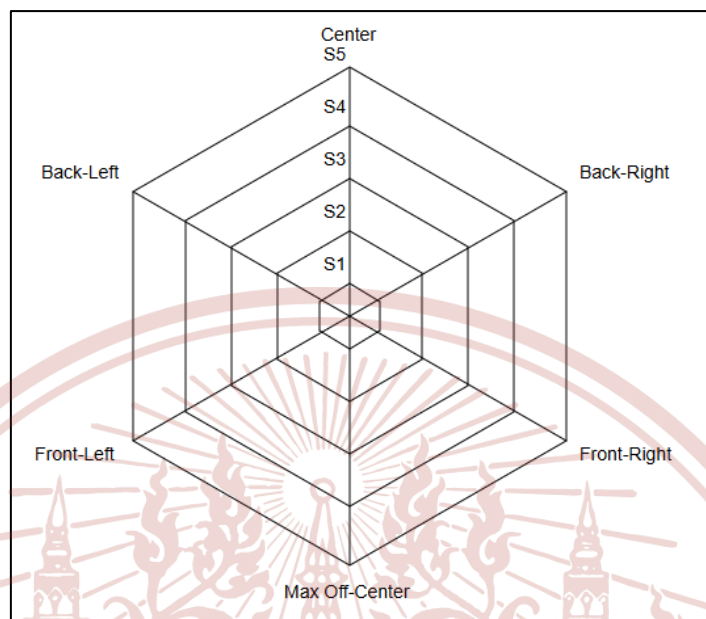
ผู้ใช้งานสามารถประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองแต่ละแบบได้ในมุมมองเดียว ส่วนที่สองคือ แผนภูมิเรดาร์ความเยื้องจุดศูนย์กลาง (Eccentricity Radar) สำหรับแสดงผลความคลาดเคลื่อนจากการวางน้ำหนักในตำแหน่งต่าง ๆ บนจานซึ่ง (Off-centre Loading) นอกจากนี้หน้าจอยังรองรับการสลับมุมมองเพื่อเปรียบเทียบหลายแบบจำลองพร้อมกัน ดังภาพที่ 3-12 ถึง ภาพที่ 3-14



ภาพที่ 3-12 การออกแบบหน้าจอ Calibration Analysis ส่วน Calibration Curve

Statistical Metrics (Regression Models)				
Model Type	Color	R ²	Adj. R ²	RMSE
Linear (Deg 1)	○	—	—	—
Quadratic (Deg 2)	○	—	—	—
Cubic (Deg 3)	○	—	—	—
Bi-Quadratic (Deg 4)	○	—	—	—

ภาพที่ 3-13 การออกแบบหน้าจอ Calibration Analysis ส่วน Regression Models



ภาพที่ 3-14 การออกแบบหน้าจอ Calibration Analysis ส่วน Eccentricity Radar

3.5.4.3 หน้าจอ Maintenance Report ออกแบบมาเพื่อติดตามและรายงานสถานะการบำรุงรักษาเครื่องซึ่งในระบบ โดยส่วนบนของหน้าจอแสดงตัวกรองช่วงวันที่และปุ่ม GET DATA สำหรับดึงข้อมูล พร้อมช่องค้นหาด้วย Ord No หรือ Lab No และตัวเลือก Select ORDNO เพื่อกรองรายการที่ต้องการ ส่วนกลางของหน้าจอแสดงกล่องสรุปจำนวนการแจ้งเตือนแยกตาม 3 ระดับ ได้แก่ Over Limits, Action Limits และ Warning Limits พร้อมแสดงคะแนน Overall Status, Repeatability, Eccentricity และ Departure ของใบงานที่เลือก ส่วนล่างของหน้าจอแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Equipment Maintenance List แสดงรายการใบงานพร้อมสถานะสีตามระดับการแจ้งเตือน และ Calibration Results แสดงรายละเอียดผลการสอบเทียบเมื่อเลือกใบงาน ประกอบด้วย ANALYTE, REP, ACTION, MPE, ค่าน้ำหนัก ค่าแก้จากการสอบเทียบ ค่าความไม่แน่นอน ผลสรุปชั้นความแม่นยำ และเกณฑ์สูงสุด ดังภาพที่ 3-15

[illegible]

ภาพที่ 3-15 การออกแบบหน้าจอ Maintenance Report

3.5.4.4 หน้าจอ Weighing Adjustment หน้าจอปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องชั่ง หน้าจอนี้ออกแบบมาเพื่อรองรับการปรับแก้ค่าการชั่งในช่วงระหว่างการสอบเทียบ โดยมีองค์ประกอบดังนี้

ก) ส่วนบนของหน้าจอแสดงข้อมูลเครื่องซึ่งที่เลือก ประกอบด้วยรหัสเครื่องมือ ผู้ผลิต รุ่น ระดับความแม่นยำ และรายการเครื่องซึ่ง ดังภาพที่ 3-16 และภาพที่ 3-17

Data Range		Start	to	End	GET DATA	UPDATE MPE
Search					ORDNO	< > 0/0
OVERALL STATUS	LAB NO.	MFG	MODEL	READABILITY		
—	—	—	—	—		

ภาพที่ 3-16 การออกแบบหน้าจอ Weighing Adjustment ส่วนข้อมูลเครื่องชั่ง

Order List			0 items
ORDNO	REQ. DATE	LABNO	ACTION
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—

ภาพที่ 3-17 การออกแบบหน้าจอ Weighing Adjustment ส่วนรายการเครื่องชั่ง

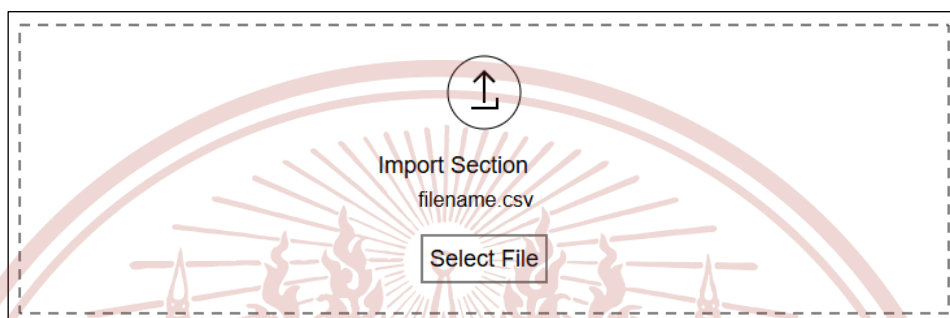
ข) ส่วนค่านวนค่าปรับแก้น้ำหนัก ระบบจะทำการแนะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุดหรือให้ผู้ใช้งานเลือกแบบจำลองคณิตศาสตร์เอง และรับผลค่า Correction พร้อมค่าที่ปรับแล้วเป็นค่าที่ต้องการชั่งน้ำหนักหรือค่าที่อ่านได้จากการชั่ง ดังภาพที่ 3-18

Adjust the value	RECOMMENDED MODEL
Select —	— Option A Option B
—	—
—	—
—	—
—	—
—	—

ภาพที่ 3-18 การออกแบบหน้าจอ Weighing Adjustment ส่วนปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการถดถอย

3.5.4.5 หน้าจอ Data Import ได้รับการออกแบบให้ผู้ดูแลระบบสามารถนำเข้าข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลได้อย่างสะดวก โดยรองรับการอัปโหลดไฟล์สองประเภท ได้แก่ ไฟล์ข้อมูลอุปกรณ์ (Instrument Data) และไฟล์ผลการสอบเทียบ (Calibration Results) ระบบจะประมวลผลข้อมูลที่นำเข้าและบันทึกลงฐานข้อมูลในลักษณะ Upsert กล่าวคือ หากข้อมูลยังไม่มีอยู่ในระบบจะดำเนินการเพิ่มข้อมูลใหม่ (Insert) และหากข้อมูลมีอยู่แล้วจะดำเนินการปรับปรุงข้อมูลเดิม

(Update) ซึ่งช่วยลดปัญหาความซ้ำซ้อนของข้อมูลและทำให้กระบวนการอัปเดตเป็นมาตรฐานเดียวกัน นอกจากนี้หน้าจอยังแสดงสถานะผลการอัปเดตเพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบความสำเร็จของกระบวนการนำเข้าได้ทันที ดังภาพที่ 3-19



ภาพที่ 3-19 การออกแบบหน้าจอ Data Import

3.6 การประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศ

การพัฒนาระบบสารสนเทศที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการประเมินคุณภาพเพื่อตรวจสอบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม รวมถึงการรับข้อเสนอแนะเพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณภาพระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องจักรน้ำหนักร โดยมีกระบวนการประเมินประกอบด้วยการเก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญผ่านแบบประเมินคุณภาพที่ครอบคลุมปัจจัยสำคัญ 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความต้องการของผู้ใช้งาน ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ และด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ

3.6.1 แบบประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

แบบประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศสำหรับผู้เชี่ยวชาญถูกออกแบบให้มี 3 ส่วนหลัก ได้แก่

3.6.1.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ

ประกอบด้วยคำถามปลายปิด จำนวน 7 ข้อ ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา ตำแหน่งงาน หน่วยงาน ประสบการณ์ทำงาน และความเชี่ยวชาญ

3.6.1.2 แบบประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศ

โดยใช้มาตรวัดประมาณค่า (Rating Scale) ระดับคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 5 จำนวน 32 ข้อ แบ่งออกเป็น 3 ด้าน ดังนี้

ก) ด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความต้องการของผู้ใช้งาน (Functional Requirement Test) จำนวน 11 ข้อ เป็นการทดสอบความสามารถของระบบ

สารสนเทศที่ระบบสมควรทำได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ประกอบด้วยรายการประเมิน เช่น ระบบสามารถนำเข้าข้อมูลผลสอบเทียบได้ครบถ้วน ระบบสามารถจัดเก็บประวัติผลสอบเทียบย้อนหลัง ระบบสามารถสืบค้นข้อมูลตามเงื่อนไข ระบบสามารถตัดสินใจผลสอบเทียบตามเกณฑ์มาตรฐาน ระบบสามารถปรับค่าเครื่องชั่งจากการชั่ง ระบบสามารถช่วยตัดสินใจการเปลี่ยนอะไหล่ ระบบสามารถกำหนดแผนบำรุงรักษาล่วงหน้า ระบบสามารถแจ้งเตือนถึงกำหนดบำรุงรักษา ระบบสามารถแสดงข้อมูลเป็นกราฟหรือแผนภูมิ และระบบสามารถเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างช่วงเวลา

ข) ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ (Functional Test) จำนวน 11 ข้อ เป็นการทดสอบความถูกต้องของการทำงานของระบบสารสนเทศว่าสามารถทำงานได้จนได้ผลลัพธ์ตามฟังก์ชันงานนั้น ประกอบด้วยรายการประเมิน เช่น ระบบสามารถบันทึกผลสอบเทียบใหม่ได้อย่างถูกต้อง ระบบสามารถแสดงประวัติการสอบเทียบได้อย่างถูกต้อง ระบบสามารถลบข้อมูลที่ไม่ต้องการได้อย่างถูกต้อง ระบบสามารถตัดสินใจผลสอบเทียบตรงตามเกณฑ์ได้อย่างถูกต้อง ระบบสามารถปรับค่าเครื่องชั่งได้อย่างถูกต้อง ระบบสามารถช่วยตัดสินใจเปลี่ยนอะไหล่ได้อย่างถูกต้อง ระบบสามารถจัดลำดับความสำคัญการบำรุงรักษาได้อย่างถูกต้อง ระบบสามารถเสนอแนะวิธีบำรุงรักษาได้อย่างถูกต้อง ระบบสามารถแสดงข้อมูลแผนภูมิได้อย่างถูกต้อง และระบบสามารถเปรียบเทียบช่วงเวลาได้อย่างถูกต้อง

ค) ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ (Usability Test) จำนวน 11 ข้อ เป็นการทดสอบการออกแบบและการใช้งานระบบสารสนเทศ ประกอบด้วยรายการประเมิน เช่น ความเหมาะสมของขนาดและรูปแบบตัวอักษร ความเหมาะสมของการใช้สีและภาพกราฟิก ความเหมาะสมของการจัดวางองค์ประกอบบนหน้าจอ ความเหมาะสมของขนาดปุ่มกดและส่วนควบคุมต่าง ๆ ความง่ายในการค้นหาข้อมูลที่ต้องการ ความง่ายในการดูประวัติการสอบเทียบย้อนหลัง ความง่ายในการดูข้อมูลการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง ความชัดเจนของข้อมูลที่แสดงบนหน้าจอ ระบบสามารถใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน ระบบมีความครอบคลุมและความหลากหลายของข้อมูลที่แสดงบน Dashboard ระบบสามารถตอบสนองต่อคำสั่งของผู้ใช้งานได้อย่างรวดเร็ว และระบบสารสนเทศมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานโดยภาพรวม

3.6.1.3 ข้อเสนอแนะและคำแนะนำอื่น ๆ

มีจำนวน 4 ข้อ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความต้องการของผู้ใช้งาน ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ และข้อเสนอแนะอื่น ๆ

3.6.2 เกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมินคุณภาพ

เกณฑ์การให้คะแนนของแบบประเมินคุณภาพกำหนดตามมาตรวัดของลิเคิร์ต (Likert Scale) ซึ่งประกอบด้วยเกณฑ์การให้คะแนน 5 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3-18

ตารางที่ 3-18 เกณฑ์การให้คะแนนแบบประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศ

เกณฑ์การให้คะแนน	ความหมาย
5	พึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับดีมาก
4	พึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับดี
3	พึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับปานกลาง
2	พึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับน้อย
1	พึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับน้อยมาก

3.6.3 การวิเคราะห์ผลการประเมินคุณภาพ

ผลการประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เพื่อสรุปและอธิบายลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ โดยมีรายละเอียดดังนี้ การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต เป็นการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของคะแนนที่ผู้เชี่ยวชาญประเมิน หลังทำการทดสอบระบบ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแสดงถึงระดับคุณภาพโดยรวมของระบบสารสนเทศในแต่ละด้าน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-1

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3-1)$$

โดยที่ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมิน

$\sum x$ คือ ผลรวมของคะแนนการประเมิน

n คือ จำนวนข้อคำถาม

การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) เป็นการวัดการกระจายของคะแนนที่ผู้เชี่ยวชาญประเมินหลังทำการทดสอบระบบ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงถึงความสอดคล้องของความคิดเห็นระหว่างผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่าน หากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าต่ำ แสดงว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นไปในทิศทางเดียวกัน ในทางกลับกันหากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูง แสดงว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-2

$$S. D. = \frac{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2}}{n - 1} \quad (3-2)$$

โดยที่ $S.D.$ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนการประเมิน

x คือ คะแนนการประเมินแต่ละข้อคำถาม

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมิน

n คือ จำนวนข้อคำถาม

การแปลความหมายของค่าเฉลี่ย ผลการประเมินคุณภาพพระบวรสารสนเทศจะถูกนำมาแปลความหมายตามเกณฑ์การแปลผลค่าเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 3-19

ตารางที่ 3-19 เกณฑ์การแปลความหมายค่าเฉลี่ยผลการประเมินคุณภาพ

ช่วงค่าเฉลี่ย	ระดับคุณภาพ
4.51 - 5.00	ดีเยี่ยม
3.51 - 4.50	ดี
2.51 - 3.50	ปานกลาง
1.51 - 2.50	ต่ำ
1.00 - 1.50	ต่ำมาก

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการค้นคว้าอิสระครั้งนี้มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักร โดยอาศัยข้อมูลผลการสอบเทียบเครื่องจักรตามมาตรฐาน UKAS LAB 14:2015 ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการพัฒนาระบบสารสนเทศสนับสนุนการตัดสินใจ ผลการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก ดังนี้

- 4.1 ผลการกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา
- 4.2 ผลการพัฒนาระบบสารสนเทศ
- 4.3 ผลการประเมินคุณภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

4.1 ผลการกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา

หลักการและแนวทางการวิเคราะห์ การกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา ดำเนินการโดยใช้ 2 มิติหลัก กล่าวคือ การจำแนกตามประเภทการสอบเทียบ เนื่องจาก Departure of Indication from Nominal Value, Eccentricity และ Repeatability มีพฤติกรรม การเสื่อมสภาพและอัตราการผ่านเกณฑ์ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน และการจำแนกตาม Accuracy Class เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Permissible Error: MPE) ของแต่ละ Class แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่า Threshold Score และการกระจายสถานะ นอกจากนี้ยังใช้ การจำแนกตามผู้ผลิตและรุ่นเครื่อง เป็นมิติรองเพื่อจัดลำดับความเสี่ยงเชิงปฏิบัติการในระบบ CBM-SYS

ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ สำหรับเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ระบบ ดำเนินการเปรียบเทียบค่าค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ จาก 2 แหล่ง ได้แก่ ค่าที่คำนวณ ตามมาตรฐาน OIML R76-1 ซึ่งอ้างอิงจาก Accuracy Class และช่วงน้ำหนักทดสอบ (Load Range) กับค่าข้อกำหนดจากผู้ผลิตเครื่องจักร ซึ่งจัดเก็บในตาราง Spec แยกตาม Analyte ได้แก่ Linearity Spec สำหรับ Departure, Repeatability Spec สำหรับ Repeatability และ Eccentric Spec สำหรับ Eccentricity จากนั้นระบบเลือกค่าค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ไม่ต่ำกว่า ข้อกำหนดผู้ผลิต เป็นเกณฑ์อ้างอิง กล่าวคือ หากค่าค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้จาก ข้อกำหนดผู้ผลิตมีค่ามากกว่า ค่าจากมาตรฐาน OIML R76-1 ระบบจะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ที่ยอมรับได้จากผู้ผลิตพร้อมระบุ เป็นตามไปข้อกำหนดผู้ผลิต แต่หากค่าจาก OIML R76-1 มากกว่า หรือเท่ากัน หรือไม่มีข้อมูลจากผู้ผลิต ระบบจะใช้ค่าจาก OIML R76-1 พร้อมระบุค่า

ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้จากผู้ผลิตเป็น OIML R76-1 หลักการเลือกค่าที่ผ่อนปรนกว่านี้ สอดคล้องกับแนวปฏิบัติทางมาตรวิทยา ที่มุ่งหลีกเลี่ยงการปฏิเสธเครื่องชั่งที่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ผลิต ยอมรับ จากข้อมูลทั้งหมด 118,623 รายการ พบว่ามีรายการที่ใช้ตามข้อกำหนดผู้ผลิต เป็นเกณฑ์อ้างอิง จำนวน 88,429 รายการ คิดเป็นร้อยละ 74.54 และใช้ OIML R76-1 จำนวน 30,194 รายการ คิดเป็น ร้อยละ 25.46 เมื่อจำแนกตามประเภทการสอบเทียบ พบว่า Departure มีสัดส่วนการใช้ ตามข้อกำหนดผู้ผลิต สูงสุด ร้อยละ 83.62 เนื่องจากผู้ผลิตส่วนใหญ่มีการระบุค่า Linearity Spec ไว้ ขณะที่ Eccentricity มีสัดส่วนการใช้ OIML R76-1 สูงสุด ร้อยละ 65.40 เนื่องจากผู้ผลิตหลายราย ไม่ได้ระบุค่า Eccentric Spec ไว้ ทั้งนี้ เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการเลือกค่าความคลาดเคลื่อน สูงสุดที่ยอมรับได้ต่อสัดส่วนรายการที่ไม่ผ่านเกณฑ์ พบว่ารายการที่ใช้ OIML R76-1 มีอัตรา การไม่ผ่านเกณฑ์สูงกว่ารายการที่ใช้ตามข้อกำหนดผู้ผลิต อย่างชัดเจน โดย Departure มีอัตราไม่ผ่าน ร้อยละ 17.41 เทียบกับร้อยละ 2.93 Eccentricity มีอัตราไม่ผ่านร้อยละ 22.32 เทียบกับร้อยละ 3.83 และ Repeatability มีอัตราไม่ผ่านร้อยละ 4.16 เทียบกับร้อยละ 1.92 แสดงว่าค่า ความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้จาก OIML R76-1 มีความเข้มงวดกว่าข้อกำหนดจากผู้ผลิต อย่างชัดเจน ซึ่งส่งผลต่อการกระจายสถานะของเครื่องชั่งในระดับที่แตกต่างกัน

ระบบเกณฑ์แจ้งเตือนแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ตามค่า Threshold Score ซึ่งคำนวณจาก อัตราส่วนระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ที่ยอมรับได้ ดังนี้ Normal น้อยกว่าร้อยละ 80 ของค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้หมายถึงติดตามตามรอบปกติ Warning limits ร้อยละ 80 ถึง 94 ของค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้หมายถึงเพิ่มการเฝ้าระวัง Action limits ร้อยละ 95 ถึง 100 ของค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้หมายถึงวางแผน ซ่อมบำรุงเร่งด่วน และ Over limits มากกว่าร้อยละ 100 ของค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ หมายถึงหยุดใช้งานและแก้ไขทันที

ในการคำนวณค่า Threshold Score ของแต่ละประเภทการสอบเทียบ กำหนดให้คะแนน มีหน่วยเป็นร้อยละของค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่าง ค่าความคลาดเคลื่อน/ความกระจายที่วัดได้กับค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้

นอกจากนี้ เพื่อให้การตัดสินใจบำรุงรักษาเป็นไปในทิศทางเดียวกันในระดับในงาน จึงกำหนดตัวแปร สถานะรวม โดยเลือกสถานะที่รุนแรงที่สุดจากทั้ง 3 ประเภทการสอบเทียบ (Repeatability, Eccentricity และ Departure) ตามลำดับความรุนแรง Normal < Warning limits < Action limits < Over limits เพื่อใช้เป็นตัวแทนระดับความเสี่ยงของเครื่องชั่งในช่วงเวลานั้น และใช้เป็นข้อมูลนำเข้าหลัก ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องชั่ง แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แนวทางการตัดสินใจบำรุงรักษาตามสถานะจาก Threshold Score

สถานะ	ช่วงคะแนน	ความหมายเชิงการเฝ้าระวัง	แนวทางการดำเนินการบำรุงรักษา
Normal	< 80	อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้	ติดตามตามรอบปกติ
Warning limits	80-94	เริ่มมีแนวโน้มเข้าใกล้ขีดจำกัด	เพิ่มการเฝ้าระวัง/ลดระยะเวลาระหว่างรอบการตรวจติดตาม และพิจารณาตรวจซ้ำ
Action limits	95-100	เข้าใกล้ขีดจำกัดยอมรับได้	วางแผนซ่อมบำรุงหรือปรับตั้งเชิงป้องกัน โดยเร่งด่วน และติดตามผลหลังดำเนินการ
Over limits	> 100	เกินขีดจำกัดยอมรับได้	หยุดใช้งานหรือกักกันเครื่องจักร และดำเนินการแก้ไข/สอบเทียบก่อนกลับมาใช้งาน

ผลการประเมินสถานะรวม ใช้ตัวแปร CRITICAL STATUS คือสถานะที่รุนแรงที่สุดจากการประเมินทั้ง 3 ประเภทการสอบเทียบ กล่าวคือ ระบบเลือกสถานะที่รุนแรงที่สุดเป็นตัวแทนสถานะรวมของเครื่องจักร ณ ใบบางนั้น ผลการประเมินจำนวน 8,911 รายการ แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการกระจายสถานะที่รุนแรงที่สุดรวมทั้งชุดข้อมูล

ระดับสถานะ	เกณฑ์ Threshold	จำนวนรายการ	ร้อยละ
Normal	< 80% MPE	6,406	71.89
Warning limits	80-94% MPE	484	5.43
Action limits	95-100% MPE	769	8.63
Over limits	> 100% MPE	1,252	14.05
รวม		8,911	100.00

จากตารางที่ 4-2 พบว่าเครื่องจักรที่อยู่ในสถานะ Action limits และ Over limits รวมกันคิดเป็นร้อยละ 22.68 ของรายการทั้งหมด บ่งชี้ว่ามีเครื่องจักรจำนวนมากที่ต้องได้รับการบำรุงรักษาในระดับความเร่งด่วนที่แตกต่างกัน ข้อค้นพบนี้เป็นเหตุผลสำคัญที่สนับสนุนความจำเป็นของระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดลำดับความสำคัญและวางแผนการบำรุงรักษา โดยมีผลการประเมินสถานะแยกตาม Accuracy Class แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 สถานะที่รุนแรงที่สุดแยกตาม Accuracy Class

Accuracy Class	n	Normal (%)	Warning (%)	Action (%)	Over Limits (%)
Class I ($e \leq 0.00005$ g)	1,151	37.71	7.65	6.43	48.22
Class II ($0.0001 \leq e \leq 0.09$ g)	7,400	76.82	5.30	9.09	8.78
Class III ($0.1 \leq e \leq 2$ g)	360	79.72	1.11	6.11	13.06

จากตารางที่ 4-3 พบว่าเครื่องชั่ง Class I มีสถานะ Over limits สูงถึงร้อยละ 48.22 และมีสัดส่วนสถานะ Normal เพียงร้อยละ 37.71 ซึ่งเป็นผลมาจากเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ที่เข้มงวดมากของ Class I เครื่องชั่ง Class II ซึ่งมีจำนวนมากที่สุด $n = 7,400$ มีสัดส่วน Normal สูงถึงร้อยละ 76.82 และ Over limits เพียงร้อยละ 8.78 ขณะที่ Class III มีสัดส่วน Normal สูงสุดที่ร้อยละ 79.72 แต่มีสัดส่วน Over limits ร้อยละ 13.06 ซึ่งสูงกว่า Class II อาจเป็นผลจากจำนวนตัวอย่างที่น้อยกว่า $n = 360$ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสนับสนุนข้อเสนอเชิงนโยบายที่ว่าเครื่องชั่ง Class I ควรได้รับแผนบำรุงรักษาที่มีความถี่สูงกว่า Class อื่นอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการประเมินสถานะแยกตามประเภทการสอบเทียบ การวิเคราะห์แยกตามประเภทการสอบเทียบ ทั้ง 3 ประเภท ช่วยให้ระบุได้ว่าประเภทใดเป็นสาเหตุหลักของปัญหาและต้องการการเฝ้าระวังมากเป็นพิเศษ ผลการเปรียบเทียบสัดส่วนสถานะแสดงดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบสัดส่วนสถานะระหว่าง Analyte ทั้ง 3 ประเภท

ประเภทการสอบเทียบ	Normal (%)	Warning (%)	Action (%)	Over (%)	รวม Not-Normal
Repeatability ($n=18,215$)	95.27	1.19	0.52	3.03	4.73
Departure ($n=91,280$)	83.00	2.82	4.48	9.71	17.00
Eccentricity ($n=9,128$)	83.85	3.74	7.09	5.32	16.15

ตารางที่ 4-4 (ต่อ)

ประเภทการสอบเทียบ	Normal (%)	Warning (%)	Action (%)	Over (%)	รวม Not-Normal
CRITICAL STATUS (รวม)	71.89	5.43	8.63	14.05	28.11

จากตารางที่ 4-4 พบว่า Departure และ Eccentricity เป็นประเภทการสอบเทียบที่มีปัญหา มากที่สุด โดยมีสัดส่วนรายการที่ไม่อยู่ในสถานะปกติร้อยละ 17.00 และ 16.15 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่า Repeatability ร้อยละ 4.73 ประมาณ 3.41 ถึง 3.59 เท่า ทั้งนี้ Eccentricity มีสัดส่วน Action limits สูงที่สุด ร้อยละ 7.09 แสดงว่าเครื่องซึ่งจำนวนมากมีปัญหาเรื่องการวางน้ำหนักเยื้องศูนย์กลาง ที่เข้าใกล้ขีดจำกัด ขณะที่ Departure มีสัดส่วน Over limits สูงที่สุด ร้อยละ 9.71 แสดงว่าค่า ความคลาดเคลื่อนจากค่าระบุเกินเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้มากกว่าประเภทอื่น ผลการวิเคราะห์นี้ยืนยันความจำเป็นที่ระบบสารสนเทศ ต้องแสดงผลสถานะแยกตาม Analyte ไม่ใช่เพียงสถานะรวมเท่านั้น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถระบุสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา และวางแผน บำรุงรักษาได้อย่างตรงจุด

แนวโน้มสถานะเครื่องซึ่งรายปี เป็นการวิเคราะห์ที่แสดงแนวโน้มสถานการณ์การเฝ้าระวังรายปี ตลอดช่วง พ.ศ. 2559 ถึง 2567 แสดงดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 แสดงแนวโน้มสถานการณ์การเฝ้าระวังรายปี

ปี (พ.ศ.)	n	Normal (%)	Warning (%)	Action (%)	Over Limits (%)
2559	923	66.74	3.90	14.84	14.52
2560	1,070	70.65	5.51	10.19	13.64
2561	1,004	76.49	4.18	6.97	12.35
2562	950	71.26	6.63	7.26	14.84
2563	987	69.30	7.19	7.09	16.41
2564	970	73.20	5.36	8.87	12.58
2565	974	72.90	5.44	7.49	14.17
2566	996	71.59	5.12	8.53	14.76
2567	1,037	74.44	5.50	6.75	13.31

จากตารางที่ 4-5 พบว่า สัดส่วนเครื่องจักรที่อยู่ในสถานะ Normal มีแนวโน้มทรงตัวในระดับค่อนข้างสูงตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 66.74 ถึง 76.49 ทั้งนี้ ปี พ.ศ. 2561 มีสัดส่วน Normal สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 76.49 ขณะที่ปี พ.ศ. 2559 มีสัดส่วนต่ำที่สุด คิดเป็นร้อยละ 66.74 สำหรับสัดส่วนเครื่องจักรที่อยู่ในสถานะ Over limits พบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 12.35 ถึง 16.41 โดยปี พ.ศ. 2563 มีค่าสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 16.41 และปี พ.ศ. 2561 มีค่าต่ำที่สุด คิดเป็นร้อยละ 12.35 สะท้อนให้เห็นว่าระดับความเสี่ยงของเครื่องจักรในภาพรวมมีความผันผวนเพียงเล็กน้อยระหว่างปี เมื่อพิจารณาปีล่าสุด คือ พ.ศ. 2567 พบว่าสัดส่วนสถานะ Normal เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 74.44 ขณะที่ สัดส่วน Over limits ลดลงเหลือร้อยละ 13.31 ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มการปรับตัวที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับ บางปีก่อนหน้า อย่างไรก็ตาม เมื่อรวมสัดส่วนของสถานะ Action limits และ Over limits เข้าด้วยกัน ยังพบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 19.32 ถึง 29.36 ตลอดทุกปีของการศึกษา แสดงให้เห็นว่า ยังคงมีเครื่องจักรจำนวนหนึ่งที่ต้องได้รับการเฝ้าระวังและวางแผนบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง

การวิเคราะห์สถานะเชิงปฏิบัติการตามผู้ผลิตและรุ่นเครื่อง เพื่อเชื่อมโยงผลการวิจัยกับการใช้งานจริงในโมดูล Maintenance ของระบบสารสนเทศจึงได้วิเคราะห์สัดส่วนสถานะเร่งด่วน Action limits รวมกับ Over limits โดยจำแนกตามผู้ผลิตที่มีข้อมูลเพียงพอ ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 สัดส่วนสถานะเครื่องมือเร่งด่วน (Action และ Over Limits) จำแนกตามบริษัทผู้ผลิต

ผู้ผลิต (MFG)	n	Action	Over	Action+Over	Action+Over (%)	Over (%)
MFG01	35	1	32	33	94.29	91.43
MFG02	7,128	664	985	1,649	23.13	13.82
MFG03	1,521	82	208	290	19.07	13.67
MFG04	37	3	3	6	16.22	8.11
MFG05	40	5	0	5	12.50	0.00
MFG06	61	3	1	4	6.56	1.64

จากตารางที่ 4-6 พบว่าผู้ผลิต MFG01 มีสัดส่วนสถานะเร่งด่วนสูงสุด ร้อยละ 94.29 โดยมีสถานะ Over limits ถึงร้อยละ 91.43 อย่างไรก็ตาม ผู้ผลิต MFG01 มีจำนวนข้อมูลเพียง 35 ใบงาน จึงควรตีความด้วยความระมัดระวัง สำหรับ MFG02 ซึ่งเป็นผู้ผลิตหลัก n = 7,128 มีสัดส่วน Action รวมกับ Over ที่ร้อยละ 23.13 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยรวม ร้อยละ 22.68 MFG03 มีสัดส่วน Action รวมกับ Over ร้อยละ 19.07 ขณะที่ MFG06 มีสัดส่วนต่ำสุดเพียงร้อยละ 6.56 ข้อมูลดังกล่าวสะท้อน

ถึงความจำเป็นในการวางแผนบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบ โดยจำแนกตามผู้ผลิตเพื่อจัดลำดับความเร่งด่วนในโมดูล Maintenance ของระบบสารสนเทศ

4.2 ผลการพัฒนาระบบสารสนเทศ

4.2.1 ภาพรวมระบบที่พัฒนา

ระบบสารสนเทศสนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษาเครื่องชั่ง ได้รับการพัฒนาเป็นระบบสารสนเทศแบบ Full-Stack ภายใต้สถาปัตยกรรม Client-Server โดยเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล Oracle Database 19c ผ่าน REST API รายละเอียดเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาแสดงดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 เทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

ส่วนประกอบ	เทคโนโลยี	วัตถุประสงค์
Frontend Framework	React 19	พัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้
UI Styling	Tailwind CSS	จัดรูปแบบหน้าจอ
Data Visualization	Chart.js	กราฟและแผนภูมิ
Build Tool	Vite	รวบรวมและ Build
Backend	Node.js และ Express	Server REST API
Database	Oracle Database 19c Standard Edition	จัดเก็บข้อมูล
File Upload	Multer และ CSV Parser	นำเข้าเพิ่มข้อมูล

4.2.2 โมดูลหลักของระบบ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องชั่ง ประกอบด้วยโมดูลหลัก 10 โมดูล ครอบคลุมทั้งงานปฏิบัติการและงานบริหารจัดการ ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 สรุปโมดูลหลักและกรณีใช้งาน

โมดูล	รายละเอียด
Dashboard	สรุปสถานะ 4 ระดับ แสดงแนวโน้มรายเดือน วิเคราะห์ผู้ผลิตที่มีความเสี่ยงสูง
Calibration Analysis	วิเคราะห์เส้นโค้ง Regression และสถิติของแบบจำลอง 4 ประเภท พร้อม Radar Eccentricity

ตารางที่ 4-8 (ต่อ)

โมดูล	รายละเอียด
Maintenance Report	จัดลำดับงานบำรุงรักษา วิเคราะห์เชิงลึก ส่งออก CSV
Weighing Adjustment	คำนวณค่าปรับแก้จากแบบจำลองที่เลือก
Import Data	นำเข้าข้อมูล equipment, results, regression แบบ upsert

4.2.3 การไหลของข้อมูลในระบบ

กระบวนการทำงานของระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องจักร แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

4.2.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การนำเข้าข้อมูล (Data Ingestion) ผู้ใช้อัปโหลดไฟล์ CSV ผ่านหน้า Import และส่งผ่าน API ไปยัง Backend

4.2.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การจัดเก็บข้อมูล (Data Persistence) ระบบทำความสะอาดข้อมูล เบื้องต้น แปลงชนิดข้อมูลและ Merge ลงตาราง EQUIPMENT และ RESULTS

4.2.3.3 ขั้นตอนที่ 3 การประมวลผลแบบจำลอง (Model Processing) ระบบคำนวณ MPE, Class, Threshold Score และ Regression ผ่าน API ชุด update

4.2.3.4 ขั้นตอนที่ 4 ผลการตัดสินใจ (Decision Output) ผลการประเมิน ถูกสรุปเป็น MAX ACTION ใน ORDERS และแสดงผลผ่าน Dashboard Maintenance

4.2.3.5 ขั้นตอนที่ 5 การโต้ตอบผู้ใช้ (User Interaction) ผู้ใช้สามารถค้นหา ตรวจสอบกราฟ และส่งออกรายงานเพื่อใช้งานจริง

4.2.4 ผลการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้และการแสดงผลของระบบ

การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเครื่องจักร มุ่งเน้นให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลการสอบเทียบและสถานะการบำรุงรักษาได้อย่างรวดเร็ว โดยออกแบบโครงสร้างเมนูให้สอดคล้องกับลำดับงานจริง ตั้งแต่การนำเข้าข้อมูล การสืบค้นประวัติการสอบเทียบ การวิเคราะห์แบบจำลอง ไปจนถึงการสรุปผลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา ทั้งนี้ หน้าจอหลัก แต่ละส่วนรองรับการกรองช่วงเวลาและการค้นหารายการเพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล เฉพาะรายการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

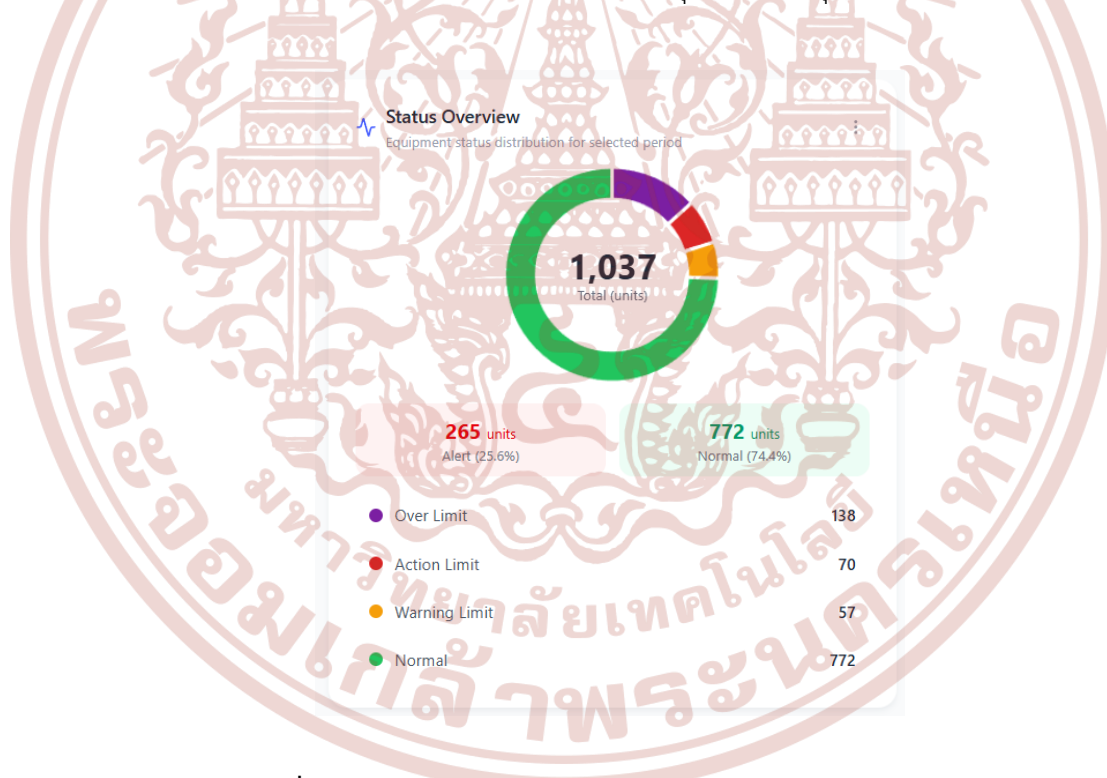
4.2.4.1 หน้าจอ Dashboard สำหรับสรุปสถานะและแนวโน้ม

หน้าจอ Dashboard แสดงผลสรุปสถานะการบำรุงรักษา 4 ระดับ ได้แก่ Over Limit, Action Limit, Warning Limit และ Normal พร้อมส่วนประกอบหลักที่ได้แก่ การ์ดสรุปจำนวนเหตุการณ์

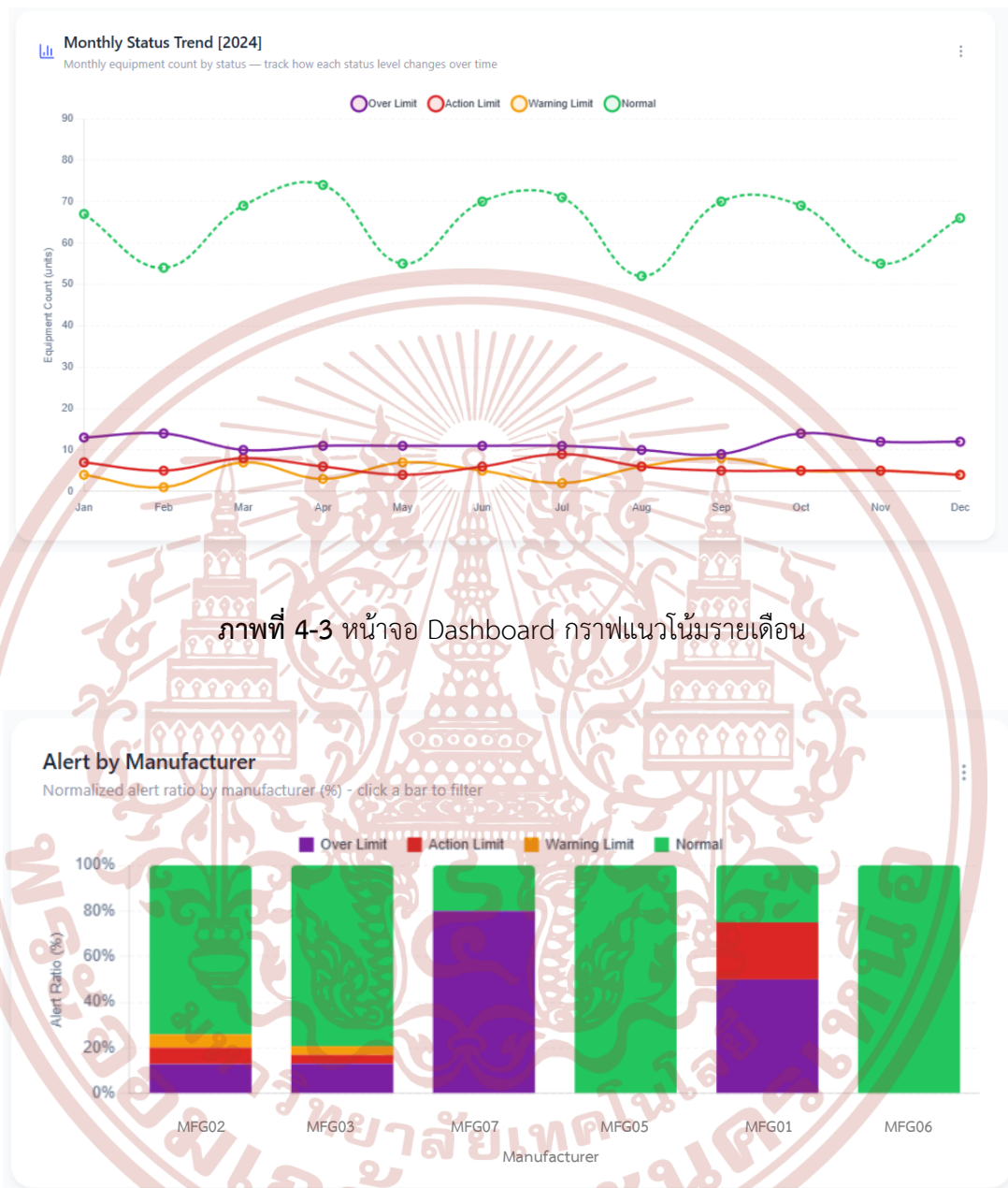
ในแต่ละสถานะ กราฟวงแหวนแสดงสัดส่วนโดยรวม กราฟแนวนั้มรายเดือน และกราฟสรุปตามผู้ผลิตและรุ่นที่มีสถานะ Over Limit สูงสุด ผู้ใช้งานสามารถเลือกกรองสถานะเพื่อดูข้อมูลเชิงสรุปและกราฟที่สอดคล้องกัน ซึ่งช่วยให้ผู้บริหารหรือวิศวกรสามารถระบุพื้นที่เสี่ยงและวางแผนการบำรุงรักษาได้อย่างเป็นระบบ รวมถึงติดตามรายการที่เริ่มเบี่ยงเบนจากเกณฑ์ในระดับ Warning เพื่อเฝ้าระวังก่อนเกิดการเกินเกณฑ์ในระดับที่สูงขึ้น ดังภาพที่ 4-1 ถึง ภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-1 หน้าจอ Dashboard การ์ดสรุปจำนวนเหตุการณ์ในแต่ละสถานะ

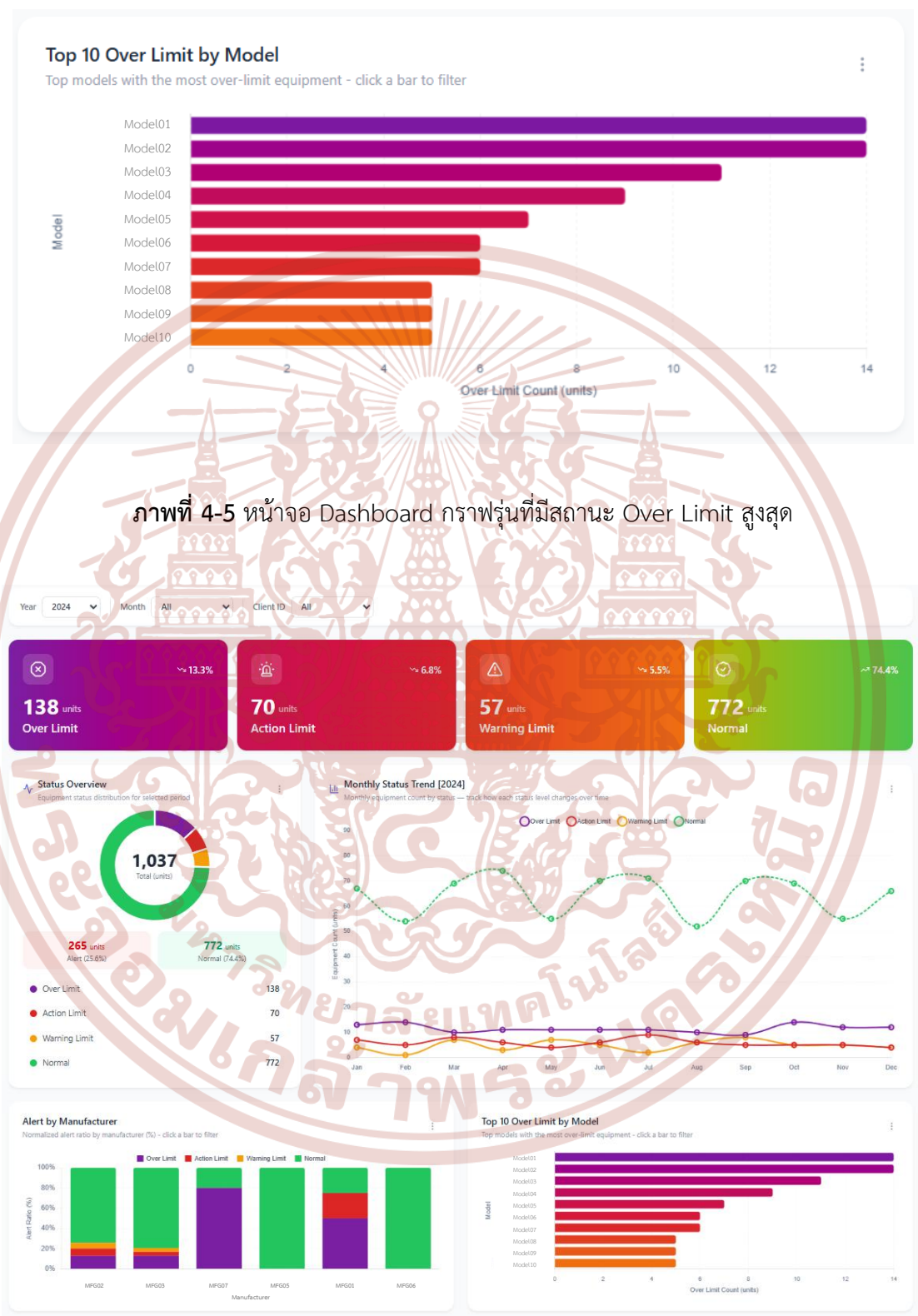


ภาพที่ 4-2 หน้าจอ Dashboard กราฟวงแหวนแสดงสัดส่วนโดยรวม



ภาพที่ 4-3 หน้าจอ Dashboard กราฟแนวโน้มรายเดือน

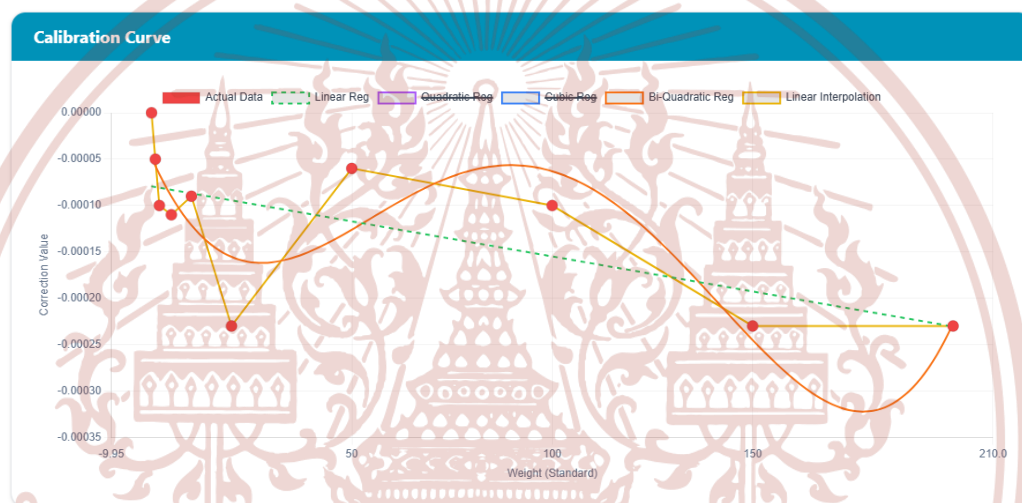
ภาพที่ 4-4 หน้าจอ Dashboard กราฟสรุปตามผู้ผลิต



ภาพที่ 4-6 ภาพรวมหน้าจอ Dashboard

4.2.4.2 หน้าจอ Calibration Analysis สำหรับวิเคราะห์ผลการสอบเทียบ

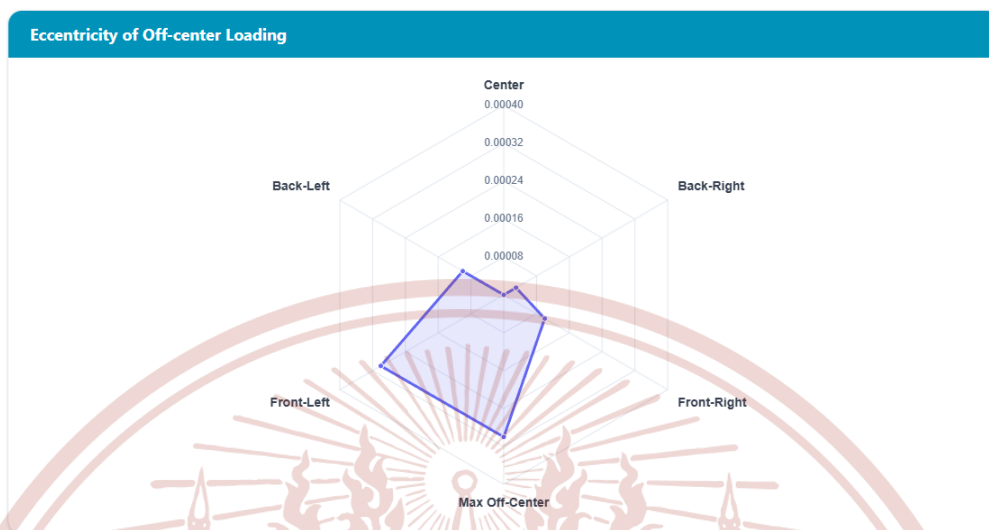
หน้าจอ Calibration Analysis เลือกใบงานล่าสุดผ่านรายการแบบเลื่อนลง แสดง Scatter Plot เทียบกับเส้น Regression Curve ทั้ง 4 แบบจำลอง พร้อมตารางเปรียบเทียบค่า R^2 , Adjusted R^2 และ RMSE ในมุมมองเดียว นอกจากนี้ยังมี Eccentricity Radar สำหรับแสดงความคลาดเคลื่อน Off-centre Loading และรองรับการสลับมุมมองเปรียบเทียบหลายแบบจำลองพร้อมกัน ดังภาพที่ 4-7 ถึง ภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-7 หน้าจอ Calibration Analysis กราฟ Calibration Curve

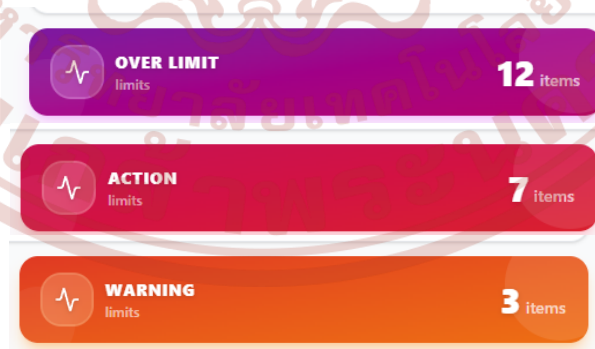
Statistical Metrics (Regression Models)				
Model Type	Color	R2	Adj. R2	RMSE
Linear (Deg 1)	●	0.4369	0.3665	0.000059
Quadratic (Deg 2)	●	0.4416	0.2820	0.000058
Cubic (Deg 3)	●	0.4452	0.1678	0.000058
Bi-Quadratic (Deg 4)	●	0.7307	0.5152	0.000041

ภาพที่ 4-8 หน้าจอ Calibration Analysis ตารางเปรียบเทียบ Regression Models



ภาพที่ 4-9 หน้าจอ Calibration Analysis กราฟ Eccentricity Radar

4.2.4.3 หน้าจอ Maintenance Report สำหรับติดตามและจัดลำดับงานบำรุงรักษา
 หน้าจอ Maintenance Report แสดงภาพรวมจำนวนรายการในสถานะ Warning, Action และ Over พร้อมรายละเอียดเชิงลึกของแต่ละใบงานในรูปแบบตาราง ครอบคลุมผลการสอบเทียบ ด้าน Repeatability, Eccentricity และ Departure ทำให้ผู้ใช้งานสามารถจำแนกสาเหตุของการไม่ผ่านเกณฑ์และจัดลำดับความสำคัญของงานบำรุงรักษาได้อย่างมีเหตุผล และรองรับการส่งออกรายงานเพื่อใช้งานภายนอกในระบบในรูปแบบ CSV ดังภาพที่ 4-10 ถึง ภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-10 หน้าจอ Maintenance Report การ์ดจำนวนรายการตามสถานะ

Equipment Maintenance List			
22 items			Export
ORDNO	REQ. DATE	LABNO	STATUS
RL66-C00024	04/01/2023	BA-00001	Over limits
RL66-C00026	04/01/2023	BA-00002	Over limits
RL66-C00028	04/01/2023	BA-00003	Warning limits
RL66-C00029	04/01/2023	BA-00004	Warning limits
RL66-C00340	09/01/2023	BA-00005	Over limits
RL66-C00343	09/01/2023	BA-00006	Over limits
RL66-C00349	09/01/2023	BA-00007	Over limits
RL66-C00357	09/01/2023	BA-00008	Over limits
RL66-C00393	09/01/2023	BA-00010	Over limits

ภาพที่ 4-11 หน้าจอ Maintenance Report ตารางรายการเครื่องชั่ง

Calibration Results										13 rows
ANALYTE	REP	ACTION	MPE	RN1 (NOM.)	RN2 (CORR.)	RN3 (UNCER.)	FINAL	CLASS	TOL. HIGH	
Departure of Indication from No...	1	Normal	.00002	0,1	0.0000065	0.0075	Pass	Class I	0.0005	
Departure of Indication from No...	2	Normal	.00002	0,2	0.0000045	0.0089	Pass	Class I	0.0005	
Departure of Indication from No...	3	Normal	.00002	0,5	0.0000100	0.015	Pass	Class I	0.0005	
Departure of Indication from No...	4	Normal	.00002	1	0.0000007	0.016	Pass	Class I	0.0005	
Departure of Indication from No...	5	Normal	.00002	2	0.0000022	0.018	Pass	Class I	0.0010	
Departure of Indication from No...	6	Normal	.00002	3	0.0000005	0.025	Pass	Class I	0.0015	
Departure of Indication from No...	7	Normal	.00002	5	-0.0000003	0.027	Pass	Class I	0.0025	
Departure of Indication from No...	8	Normal	.00002	10	-0.0000080	0.028	Pass	Class I	0.0050	
Departure of Indication from No...	9	Action limits	.00002	20	-0.0000200	0.040	Pass	Class I	0.0100	
Departure of Indication from No...	10	Over limits	.00002	30	-0.0000355	0.080	Pass	Class I	0.0150	
Eccentricity or Off-centre loading	1	Over limits	.000003	10	0.0000040	0.0000053	Pass	Class I	0.0050	
Repeatability	1	Normal	.000004	1	0.0000013	0.0000030	Completed	Class I		
Repeatability	2	Over limits	.000004	20	0.0000047	0.0000030	Completed	Class I		

ภาพที่ 4-12 หน้าจอ Maintenance Report ตารางผลการสอบเทียบ

Data Range

01/01/2023

to

01/01/2023

GET DATA

UPDATE STATUS

ค้นหาด้วย Ord No หรือ Lab No

RL66-C00024

<

>

1/22

OVER LIMIT

limits

12 items

ACTION

limits

7 items

WARNING

limits

3 items

OVERALL STATUS

Over limits

REPEATABILITY

Over limits

ECCENTRICITY

Over limits

DEPARTURE

Over limits

Equipment Maintenance List

22 items

Export

ORDNO

REQ. DATE

LABNO

STATUS

RL66-C00024

04/01/2023

BA-00001

Over limits

RL66-C00026

04/01/2023

BA-00002

Over limits

RL66-C00028

04/01/2023

BA-00003

Warning limits

RL66-C00029

04/01/2023

BA-00004

Warning limits

RL66-C00340

09/01/2023

BA-00005

Over limits

RL66-C00343

09/01/2023

BA-00006

Over limits

RL66-C00349

09/01/2023

BA-00007

Over limits

RL66-C00357

09/01/2023

BA-00008

Over limits

RL66-C00393

09/01/2023

BA-00009

Over limits

RL66-C00603

16/01/2023

BA-00010

Over limits

RL66-C00605

16/01/2023

BA-00011

Action limits

RL66-C00608

16/01/2023

BA-00012

Action limits

RL66-C00611

16/01/2023

BA-00013

Action limits

RL66-C00612

16/01/2023

BA-00014

Action limits

Calibration Results

13 rows

ANALYTE

REP

ACTION

MPE

RN1 (NOM.)

RN2 (CORR.)

RN3 (UNCER.)

FINAL

CLASS

TOL. HIGH

Departure of Indication from No...

1

Normal

.00002

0.1

0.0000065

0.0075

Pass

Class I

0.0005

Departure of Indication from No...

2

Normal

.00002

0.2

0.0000045

0.0069

Pass

Class I

0.0005

Departure of Indication from No...

3

Normal

.00002

0.5

0.0000100

0.015

Pass

Class I

0.0005

Departure of Indication from No...

4

Normal

.00002

1

0.0000007

0.016

Pass

Class I

0.0005

Departure of Indication from No...

5

Normal

.00002

2

0.0000022

0.018

Pass

Class I

0.0010

Departure of Indication from No...

6

Normal

.00002

3

0.0000005

0.025

Pass

Class I

0.0015

Departure of Indication from No...

7

Normal

.00002

5

-0.0000003

0.027

Pass

Class I

0.0025

Departure of Indication from No...

8

Normal

.00002

10

-0.0000000

0.028

Pass

Class I

0.0050

Departure of Indication from No...

9

Action limits

.00002

20

-0.0000200

0.040

Pass

Class I

0.0100

Departure of Indication from No...

10

Over limits

.00002

30

-0.0000350

0.050

Pass

Class I

0.0150

Eccentricity or Off-centre loading

1

Over limits

.00003

10

0.0000040

0.0000053

Pass

Class

0.0050

ภาพที่ 4-13 ภาพรวมหน้าจอ Maintenance Report

4.2.4.4 หน้าจอ Weighing Adjustment สำหรับคำนวณค่าปรับแก้น้ำหนัก

หน้าจอ Weighing Adjustment เป็นเครื่องมือสำหรับผู้ปฏิบัติการในการคำนวณค่าปรับแก้น้ำหนัก ให้ผู้ใช้งานกำหนดช่วงเวลาและเลือกใบงานที่ต้องการ กรอกน้ำหนักเป้าหมาย เลือกแบบจำลอง และรับผลค่า Correction พร้อมค่าที่ปรับแล้วสำหรับใช้ในงานปฏิบัติจริง และระบบแสดงรายการใบงานพร้อมผลการสอบเทียบในรูปแบบตาราง ได้แก่ ค่า MPE ค่าน้ำหนักอ้างอิง ค่า Correction และผลการผ่านเกณฑ์ เพื่อให้ผู้ใช้งานระบบตรวจสอบความครบถ้วนของการประมวลผลได้ ดังภาพที่ 4-14 ถึง ดังภาพที่ 4-18

Data Range 01/01/2023 to 01/31/2023 GET DATA UPDATE MPE			
Search by Ord No or Lab No			
RL66-C01080 1/78			
OVERALL STATUS Normal	LAB NO. IA-00757	MFG Mettler Toledo	MODEL ICS689/PBA430-A6
READABILITY 0.001			

ภาพที่ 4-14 หน้าจอ Weighing Adjustment แสดงข้อมูลเครื่องชั่ง

Order List			78 items
ORDNO	REQ. DATE	LABNO	ACTION
RL66-C01080	27/01/2023	BA-00001	View Curve
RL66-C01075	26/01/2023	BA-00002	View Curve
RL66-C01029	23/01/2023	BA-00003	View Curve
RL66-C01028	23/01/2023	BA-00004	View Curve
RL66-C01027	23/01/2023	BA-00005	View Curve
RL66-C01026	23/01/2023	BA-00006	View Curve
RL66-C01025	23/01/2023	BA-00007	View Curve
RL66-C01024	23/01/2023	BA-00008	View Curve
RL66-C01023	23/01/2023	BA-00008	View Curve

ภาพที่ 4-15 หน้าจอ Weighing Adjustment รายการเครื่องชั่ง

Adjust the value	RECOMMENDED MODEL
Reading value ▼ Enter value Enter value Enter value Enter value Enter value	Linear Regression ☒ Recommended ☐ Manual Enter value Enter value Enter value Enter value

ภาพที่ 4-16 หน้าจอ Weighing Adjustment ส่วนคำนวณค่าปรับแก้น้ำหนัก

ภาพที่ 4-17 หน้าจอ Weighing Adjustment ผลการสอบเทียบในรูปแบบตาราง

Weighing Adjustment
Weight calculation and adjustment tool

Data Range: 01/01/2023 to 01/31/2023 **GET DATA** **UPDATE MPE**

Run Name: Ord No 910 Lab No **RL66-C01028**

Overall Status: **Normal** Lab No: **LA-00687** MFC: **Mettler Toledo** Model: **XSR204** Readability: **0.0001**

Order List	TS Item
ORDING	REL DATE
LABNO	ACTION
RL66-C01030	22/01/2023
RL66-C01075	28/01/2023
RL66-C01029	23/01/2023
RL66-C01028	23/01/2023
RL66-C01027	23/01/2023
RL66-C01026	23/01/2023
RL66-C01025	23/01/2023
RL66-C01024	23/01/2023
RL66-C01023	23/01/2023

Adjust the value

Reading value

Enter value

Enter value

Enter value

Enter value

Enter value

RECOMMENDED MODEL

Interpolation

Calibration Results	TS Item
ORDING	ACTION
MPE	FINAL
TSPL HIGH	CORRECTION
NOM.	ADJUST
REP	LABNO
MFC	MODELSNO
RASCLIENTID	CALCPOINT
13 rows	
RL66-C01028	Normal
.0001	Pass
0.003	-0.0000240
0.1	Departure of indication from ...
1	LA-00687
Mettler Toledo	XSR204
AT21	0.1 g to 200 g
RL66-C01028	Normal
.0001	Pass
0.003	-0.0000040
0.5	Departure of indication from ...
2	LA-00687
Mettler Toledo	XSR204
AT21	0.1 g to 200 g
RL66-C01028	Normal
.0001	Pass
0.003	0.0000000
1	Departure of indication from ...
3	LA-00687
Mettler Toledo	XSR204
AT21	0.1 g to 200 g
RL66-C01028	Normal
.0001	Pass
0.003	-0.0000440
5	Departure of indication from ...
4	LA-00687
Mettler Toledo	XSR204
AT21	0.1 g to 200 g

ภาพที่ 4-18 ภาพรวมหน้าจอ Weighing Adjustment

4.2.4.5 หน้าจอ Data Import สำหรับนำเข้าข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล

หน้าจอ Data Import รองรับการอัปโหลดไฟล์ข้อมูลอุปกรณ์และไฟล์ผลการสอบเทียบ เพื่อประมวลผลและบันทึกลงฐานข้อมูลในลักษณะ upsert ลดปัญหาความซ้ำซ้อนของข้อมูล

และทำให้การอัปเดตเป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยมีสถานะแจ้งผลการอัปโหลดเพื่อให้ผู้ดูแลระบบตรวจสอบความสำเร็จของกระบวนการนำเข้า ดังภาพที่ 4-19 ถึง ภาพที่ 4-21



ภาพที่ 4-21 ภาพรวมหน้าจอ Data Import

โดยสรุป ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่พัฒนาขึ้นสามารถเชื่อมโยงผลการวิเคราะห์เชิงสถิติจากแบบจำลอง Regression และการจัดระดับสถานะเข้ากับการนำเสนอในรูปแบบกราฟและรายงาน

ที่เข้าใจง่าย ส่งผลให้การติดตามเสถียรภาพของเครื่องชั่งและการตัดสินใจบำรุงรักษามีความเป็นระบบ และตรวจสอบย้อนกลับได้

4.3 ผลการประเมินคุณภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องชั่ง ดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน การประเมินด้วยมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ แบ่งเป็น 3 ตอน ตอนละ 11 ข้อ รวม 33 ข้อ ได้แก่ ตอนที่ 1 ด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความต้องการของผู้ใช้งาน ตอนที่ 2 ด้านความถูกต้องของการทำงานตามฟังก์ชันงาน และตอนที่ 3 ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ผลการประเมินแต่ละด้านมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4-9 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความต้องการของผู้ใช้งาน

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	อภิปรายผล
1. ระบบสามารถนำเข้าข้อมูลผลสอบเทียบได้ครบถ้วน	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
2. ระบบสามารถจัดเก็บประวัติผลสอบเทียบย้อนหลัง	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
3. ระบบสามารถสืบค้นข้อมูลตามเงื่อนไข	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
4. ระบบสามารถตัดสินใจผลสอบเทียบตามเกณฑ์มาตรฐาน	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
5. ระบบสามารถปรับค่าเครื่องชั่งจากการชั่ง	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
6. ระบบสามารถคำนวณแบบจำลองทางสถิติได้	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
7. ระบบสามารถแสดงข้อมูลผลการสอบเทียบ	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
8. ระบบสามารถแจ้งเตือนถึงกำหนดบำรุงรักษา	4.67	0.58	ดีเยี่ยม
9. ระบบสามารถแสดงข้อมูลเป็นกราฟหรือแผนภูมิ	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
10. ระบบสามารถเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างช่วงเวลา	4.33	0.58	ดี
ผลการประเมินคุณภาพโดยภาพรวม	4.90	0.22	ดีเยี่ยม

จากตารางที่ 4-9 พบว่าระบบสารสนเทศสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันที่กำหนดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 4.90 อยู่ในระดับดีเยี่ยม ฟังก์ชันหลักจำนวน 8 ข้อ ได้แก่ การนำเข้าข้อมูล การจัดเก็บประวัติ การสืบค้น การตัดสินใจผล การปรับค่าเครื่องชั่ง การคำนวณแบบจำลอง การแสดงข้อมูล และการแสดงกราฟ ได้คะแนนเฉลี่ยเต็ม 5.00 สะท้อนความเห็นพ้องของผู้เชี่ยวชาญ

ทั้ง 3 คน ยกเว้นการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างช่วงเวลาและความสามารถโดยรวม ซึ่งอยู่ในระดับดี ที่คะแนน 4.33 บ่งชี้ว่ายังมีโอกาสพัฒนาเพิ่มเติม

ตารางที่ 4-10 ผลการประเมินความถูกต้องของการทำงานตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	อภิปรายผล
1. ระบบสามารถบันทึกผลการสอบเทียบได้อย่างถูกต้องครบถ้วน	4.67	0.58	ดีเยี่ยม
2. ระบบสามารถแสดงประวัติผลการสอบเทียบได้อย่างถูกต้อง	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
3. ระบบสามารถสืบค้นข้อมูลตามเงื่อนไขการค้นหาที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
4. ระบบสามารถแจ้งเตือนสถานะเครื่องชั่งที่ต้องปฏิบัติการได้อย่างถูกต้อง	4.67	0.58	ดีเยี่ยม
5. ระบบสามารถปรับค่าเครื่องชั่งตามผลการสอบเทียบได้อย่างถูกต้อง	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
6. ระบบสามารถคำนวณแบบจำลองทางสถิติได้อย่างถูกต้อง	4.67	0.58	ดีเยี่ยม
7. ระบบสามารถแสดงข้อมูลผลการสอบเทียบได้อย่างถูกต้อง	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
8. ระบบสามารถแจ้งเตือนถึงกำหนดบำรุงรักษาได้อย่างถูกต้อง	4.67	0.58	ดีเยี่ยม
9. ระบบสามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบแผนภูมิหรือกราฟได้อย่างถูกต้อง	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
10. ระบบสามารถเปรียบเทียบผลการสอบเทียบซ้ำรอบได้อย่างถูกต้อง	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
ผลการประเมินคุณภาพโดยภาพรวม	4.87	0.17	ดีเยี่ยม

จากตารางที่ 4-10 พบว่าระบบมีความถูกต้องในการทำงานตามฟังก์ชันงานอยู่ในระดับดีเยี่ยม โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 4.87 ฟังก์ชันจำนวน 6 ข้อ ได้แก่ การแสดงประวัติ การสืบค้น การปรับค่า การแสดงข้อมูล การแสดงกราฟ และการเปรียบเทียบซ้ำรอบ ได้คะแนนเฉลี่ยเต็ม 5.00 ส่วนอีก 5 ข้อ

ได้แก่ การบันทึกผล การแจ้งเตือนสถานะ การคำนวณสถิติ การแจ้งเตือนบำรุงรักษา และความถูกต้องโดยรวม ได้คะแนน 4.67 ซึ่งยังคงอยู่ในระดับดีเยี่ยมเช่นกัน

ตารางที่ 4-11 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ

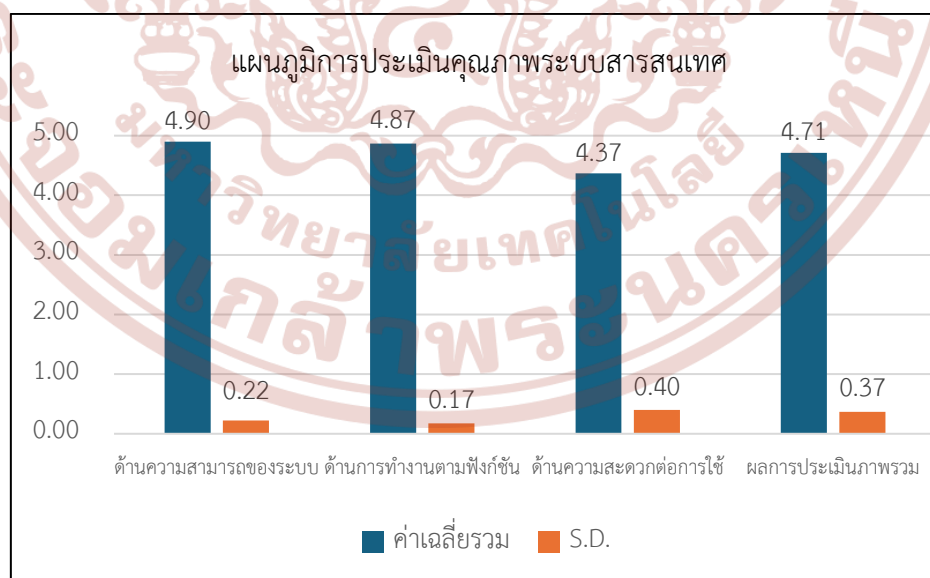
รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	อภิปรายผล
1. ความเหมาะสมของขนาดและรูปแบบตัวอักษร	4.00	0.00	ดี
2. ความเหมาะสมของการใช้สี	4.00	0.00	ดี
3. ความเหมาะสมของการใช้ภาพกราฟิก	4.33	0.58	ดี
4. ความเหมาะสมของการจัดวางองค์ประกอบบนหน้าจอ	4.00	0.00	ดี
5. ความเหมาะสมของขนาดปุ่มกดและส่วนควบคุมต่างๆ	4.00	1.00	ดี
6. ความง่ายในการค้นหาข้อมูลที่ต้องการ	4.33	0.58	ดี
7. ความง่ายในการดูประวัติการสอบเทียบย้อนหลัง	4.67	0.58	ดีเยี่ยม
8. ความง่ายในการดูข้อมูลการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง	4.33	0.58	ดี
9. ระบบมีความครอบคลุมและความหลากหลายของข้อมูลที่แสดงบน Dashboard	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
10. ระบบสามารถตอบสนองต่อคำสั่งของผู้ใช้งานได้อย่างรวดเร็ว	5.00	0.00	ดีเยี่ยม
ผลการประเมินคุณภาพโดยภาพรวม	4.37	0.40	ดี

จากตารางที่ 4-11 พบว่าระบบสารสนเทศมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 4.37 ด้านที่มีประสิทธิภาพเด่น ได้แก่ ความครอบคลุมของข้อมูลบน Dashboard และความเร็วในการตอบสนอง ซึ่งได้คะแนนเฉลี่ยเต็ม 5.00 ทั้งสองข้อ ยกเว้นความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร การใช้สี การจัดวางหน้าจอ และขนาดปุ่มกด ซึ่งอยู่ในระดับดีที่คะแนนเฉลี่ย 4.00 ผลลัพธ์สะท้อนว่าระบบมีความสะดวกในการใช้งานในระดับที่น่าพอใจ แต่ยังมีโอกาสปรับปรุงด้านการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4-12 สรุปผลการประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ด้าน

ด้านการประเมินคุณภาพ	$\bar{x}$	S.D.	อภิปรายผล
1. ด้านความสามารถของระบบสารสนเทศ	4.90	0.22	ดีเยี่ยม
2. ความถูกต้องของการทำงานตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ	4.87	0.17	ดีเยี่ยม
3. ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ	4.37	0.40	ดี
ผลการประเมินคุณภาพโดยภาพรวม	4.71	0.37	ดีเยี่ยม

จากตารางที่ 4-12 สรุปผลการประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ด้าน พบว่าผลการประเมินคุณภาพโดยภาพรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.71 จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยม โดยด้านความสามารถของระบบสารสนเทศได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.90 และด้านความถูกต้องของการทำงานตามฟังก์ชันงานได้คะแนนเฉลี่ย 4.87 จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยมทั้งสองด้าน ขณะที่ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานได้คะแนนเฉลี่ย 4.37 จัดอยู่ในระดับดี ซึ่งเป็นด้านที่มีโอกาสปรับปรุงเพิ่มเติม ผลลัพธ์โดยรวมสะท้อนว่าระบบมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริงในการสนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษาเครื่องจักร ผลการประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศดังภาพที่ 4-22



ภาพที่ 4-22 ผลการประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศโดยผู้เชี่ยวชาญในภาพรวมทั้ง 3 ด้าน

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะการวิจัย

การค้นคว้าอิสระเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรอ่างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร เป็นการศึกษาแนวทางการยกระดับการบำรุงรักษาจากแบบรอบเวลาคงที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศที่สนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเครื่องจักร ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักร โดยมีรายละเอียดการสรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.3 ข้อเสนอแนะการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลการกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา

ในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม เครื่องจักรเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่สำคัญ แต่การบำรุงรักษาแบบรอบเวลาคงที่ที่ใช้อยู่เดิมไม่สะท้อนถึงการเสื่อมสภาพที่แท้จริงของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง การศึกษาครั้งนี้จึงพัฒนาเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษาดำเนินการบนพื้นฐานของมาตรฐาน OIML R76-1 และ UKAS LAB 14:2015 ผ่านกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การจำแนกระดับความเที่ยงตรง การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ และการพัฒนาระบบแจ้งเตือนแบบหลายระดับ โดยระบบเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้จาก OIML R76-1 กับค่าข้อกำหนดจากผู้ผลิต และเลือกค่าที่ผ่อนปรนกว่าเป็นเกณฑ์อ้างอิง ผลการวิเคราะห์จากข้อมูล 118,623 รายการพบว่าร้อยละ 74.54 ใช้ค่าจากข้อกำหนดผู้ผลิต ส่วนร้อยละ 25.46 ใช้ค่าจาก OIML R76-1 ระบบแจ้งเตือนแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ตามค่า Threshold Score ได้แก่ Normal น้อยกว่าร้อยละ 80 Warning Limits ร้อยละ 80 ถึง 94 Action Limits ร้อยละ 95 ถึง 100 และ Over Limits เกินร้อยละ 100 ผลการประเมินสถานะรวมจาก 8,911 ใบงาน พบว่าสถานะ Normal คิดเป็นร้อยละ 71.89 สถานะ Action Limits และ Over Limits รวมกันคิดเป็นร้อยละ 22.68 เมื่อจำแนกตาม Accuracy Class พบว่า Class I มีสถานะ Over Limits ร้อยละ 48.22 ขณะที่ Class II และ Class III มีสัดส่วน Normal ร้อยละ 76.82 และ 79.72 ตามลำดับ เมื่อจำแนกตามประเภทการสอบเทียบ พบว่า Departure และ Eccentricity มีสัดส่วนไม่ผ่านเกณฑ์สูงสุดร้อยละ 17.00 และ 16.15 ตามลำดับ

สูงกว่า Repeatability ร้อยละ 4.73 ประมาณ 3.41 ถึง 3.59 เท่า การวิเคราะห์แนวโน้มรายปีพบว่าสัดส่วน Normal คงที่ในช่วงร้อยละ 66.74 ถึง 76.49

5.1.2 สรุปผลการพัฒนาระบบสารสนเทศ

ระบบสารสนเทศได้รับการพัฒนาเป็นระบบสารสนเทศแบบ Full-Stack โดยใช้ React 19 ร่วมกับ TypeScript, Tailwind CSS และ Chart.js สำหรับส่วนติดต่อผู้ใช้ Node.js ร่วมกับ Express สำหรับ REST API และเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล Oracle Database 19c ระบบประกอบด้วยโมดูลหลัก 5 โมดูล ได้แก่ Dashboard, Calibration Analysis, Maintenance Report, Weighing Adjustment และ Import Data กระบวนการทำงานครอบคลุม 5 ขั้นตอน ตั้งแต่การนำเข้าข้อมูล การจัดเก็บ การประมวลผลคำนวณ Accuracy Class ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ Threshold Score และ Regression โดยอัตโนมัติ การแสดงผลสถานะแยกตาม Analyte และการโต้ตอบกับผู้ใช้งานผ่านการค้นหา ตรวจสอบกราฟ และส่งออกรายงาน

5.1.3 สรุปผลการประเมินคุณภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินคุณภาพระบบดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ซึ่งมีประสบการณ์ทำงานอย่างน้อย 16 ปี ด้วยแบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 30 ข้อ แบ่งเป็น 3 ด้าน ผลการประเมินพบว่าค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.71 จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยม โดยด้านความสามารถของระบบสารสนเทศ และด้านความถูกต้องของการทำงานตามฟังก์ชันงานได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.90 และด้านความถูกต้องของการทำงานตามฟังก์ชันงานได้คะแนนเฉลี่ย 4.87 จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยมทั้งสองด้าน ขณะที่ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานได้คะแนน 4.37 จัดอยู่ในระดับดี ผลลัพธ์โดยรวมสะท้อนว่าระบบมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริงในการสนับสนุนการตัดสินใจ บำรุงรักษาเครื่องชั่ง

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 อภิปรายผลการกำหนดเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจบำรุงรักษา

หลักการเลือกค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ที่ผอนปรนกว่าระหว่าง OIML R76-1 กับข้อกำหนดจากผู้ผลิต สอดคล้องกับหลักปฏิบัติทางมาตรวิทยาที่มุ่งหลีกเลี่ยงการปฏิเสธเครื่องชั่งที่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ผลิตยอมรับ ทั้งนี้ รายการที่ใช้เกณฑ์ OIML R76-1 มีอัตราไม่ผ่านเกณฑ์สูงกว่าในทุกประเภทการสอบเทียบ เนื่องจากเครื่องชั่งถูกออกแบบให้ทำงานภายใต้ข้อกำหนดของผู้ผลิต การใช้เกณฑ์ OIML R76-1 ซึ่งเข้มงวดกว่าจึงอาจทำให้เครื่องชั่งที่ยังคงทำงานได้ตามข้อกำหนดผู้ผลิต ถูกจัดอยู่ในสถานะเกินเกณฑ์โดยไม่จำเป็น การเลือกค่าที่ผอนปรนกว่าจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมกับบริบทการใช้งานจริง

เครื่องชั่ง Class I มีสถานะ Over Limits สูงมาก อันเป็นผลจากเกณฑ์ที่เข้มงวด จึงสนับสนุนข้อเสนอที่ว่าเครื่องชั่ง Class I ควรมีแผนบำรุงรักษาที่มีความถี่สูงกว่า Class อื่น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาตามประเภทการสอบเทียบ พบว่าความคลาดเคลื่อนของค่าการแสดงผลและความเยื้องจุดศูนย์กลางมีสัดส่วนไม่ผ่านเกณฑ์สูงกว่าความสามารถในการทำซ้ำ ทั้งนี้ ความเยื้องจุดศูนย์กลางสะท้อนถึงความเสี่ยงสภาพเชิงกลของ Load Cell ที่ส่งผลต่อความแม่นยำเมื่อวางน้ำหนักในตำแหน่งต่าง ๆ บนจานชั่ง ขณะที่ความคลาดเคลื่อนของค่าการแสดงผลสะท้อนถึงการเบี่ยงเบนของค่าที่อ่านได้จากค่าอ้างอิงตลอดช่วงน้ำหนักใช้งาน ระบบจึงออกแบบให้แสดงสถานะแยกตามประเภทการสอบเทียบ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถระบุสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาและวางแผนบำรุงรักษาได้อย่างตรงจุด

5.2.2 อภิปรายผลการพัฒนาระบบสารสนเทศ

จุดเด่นของระบบสารสนเทศนี้คือการบูรณาการผลการวิเคราะห์เชิงสถิติเข้ากับส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่ออกแบบให้สอดคล้องกับลำดับงานจริง โมดูล Dashboard ช่วยให้ผู้บริหารเห็นภาพรวมและจัดลำดับความเร่งด่วนได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ โมดูล Maintenance Report ที่แสดงสถานะแยกตาม Analyte ช่วยให้ผู้ใช้งานเฝ้าระวังสาเหตุของปัญหาและวางแผนบำรุงรักษาได้อย่างตรงจุด ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบเหนือการรายงานแบบสถานะรวมเพียงอย่างเดียว

5.2.3 อภิปรายผลการประเมินคุณภาพระบบ

ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญที่ได้ระดับดีเยี่ยมยืนยันว่าระบบมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง ด้านความสามารถและความถูกต้องตามฟังก์ชันงานที่ได้คะแนนสูงสุด สะท้อนว่าระบบทำงานได้ครบถ้วนและให้ผลลัพธ์ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ ขณะที่ด้านความสะดวกในการใช้งานซึ่งเป็นด้านที่ได้คะแนนต่ำสุด ชี้ให้เห็นว่าการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานสามารถปรับปรุงได้ นอกจากนี้หากพัฒนาการเชื่อมต่อระบบสารสนเทศสำหรับห้องปฏิบัติการผ่าน API โดยตรง จะช่วยลดขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลและเพิ่มความเป็นอัตโนมัติของกระบวนการทั้งระบบได้

5.3 ข้อเสนอแนะการวิจัย

5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้

5.3.1.1 ควรเริ่มนำระบบไปทดสอบใช้งานจริงกับเครื่องชั่ง Class I เป็นลำดับแรก เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีสถานะ Over Limits สูงสุดและจะได้รับประโยชน์จากระบบมากที่สุด แล้วจึงขยายไปยัง Class II และ Class III ตามลำดับ

5.3.1.2 ควรพัฒนา API สำหรับเชื่อมต่อข้อมูลจากระบบสารสนเทศสำหรับห้องปฏิบัติการโดยตรง เพื่อลดขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลแบบ CSV และเพิ่มความเป็นอัตโนมัติของกระบวนการ

5.3.1.3 ควรนำผลการวิจัยที่ชี้ว่าเครื่องชั่ง Class I ควรมีแผนบำรุงรักษาดีกว่า Class อื่น และความเยื้องศูนย์กลางเป็นปัญหาที่พบบ่อยที่สุด ไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการปรับปรุงนโยบายบำรุงรักษาภายในองค์กร

5.3.1.4 ควรปรับปรุงส่วนติดต่อผู้ใช้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ การปรับ โทนสีสถานะ Warning และ Over Limit ให้สื่อถึงความรุนแรงชัดเจนขึ้น การปรับขนาดปุ่มกดให้เหมาะสม และการพัฒนาระบบแจ้งเตือนกรณีใกล้กำหนดบำรุงรักษาผ่าน Email

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

5.3.2.1 ควรศึกษาแบบจำลองประเภทอื่นเพิ่มเติม เช่น Spline Regression หรือ Machine Learning เพื่อรองรับกลุ่มรายการที่ไม่ผ่านเกณฑ์ $\text{Adjusted } R^2 \geq 0.95$ ซึ่งอาจมีรูปแบบความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนเกินกว่าแบบจำลองเชิงพหุนามจะอธิบายได้

5.3.2.2 ควรศึกษาแบบจำลองอนุกรมเวลา สำหรับพยากรณ์แนวโน้มการเสื่อมสภาพของเครื่องชั่ง เพื่อยกระดับจากระบบเชิงตอบสนอง ไปสู่ระบบเชิงพยากรณ์ อย่างเต็มรูปแบบ

5.3.2.3 ควรทดสอบระบบกับข้อมูลจากห้องปฏิบัติการอื่นที่มีบริบทแตกต่างกัน เพื่อประเมินความสามารถในการนำไปใช้ซ้ำ ของทั้งแบบจำลองและเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้น

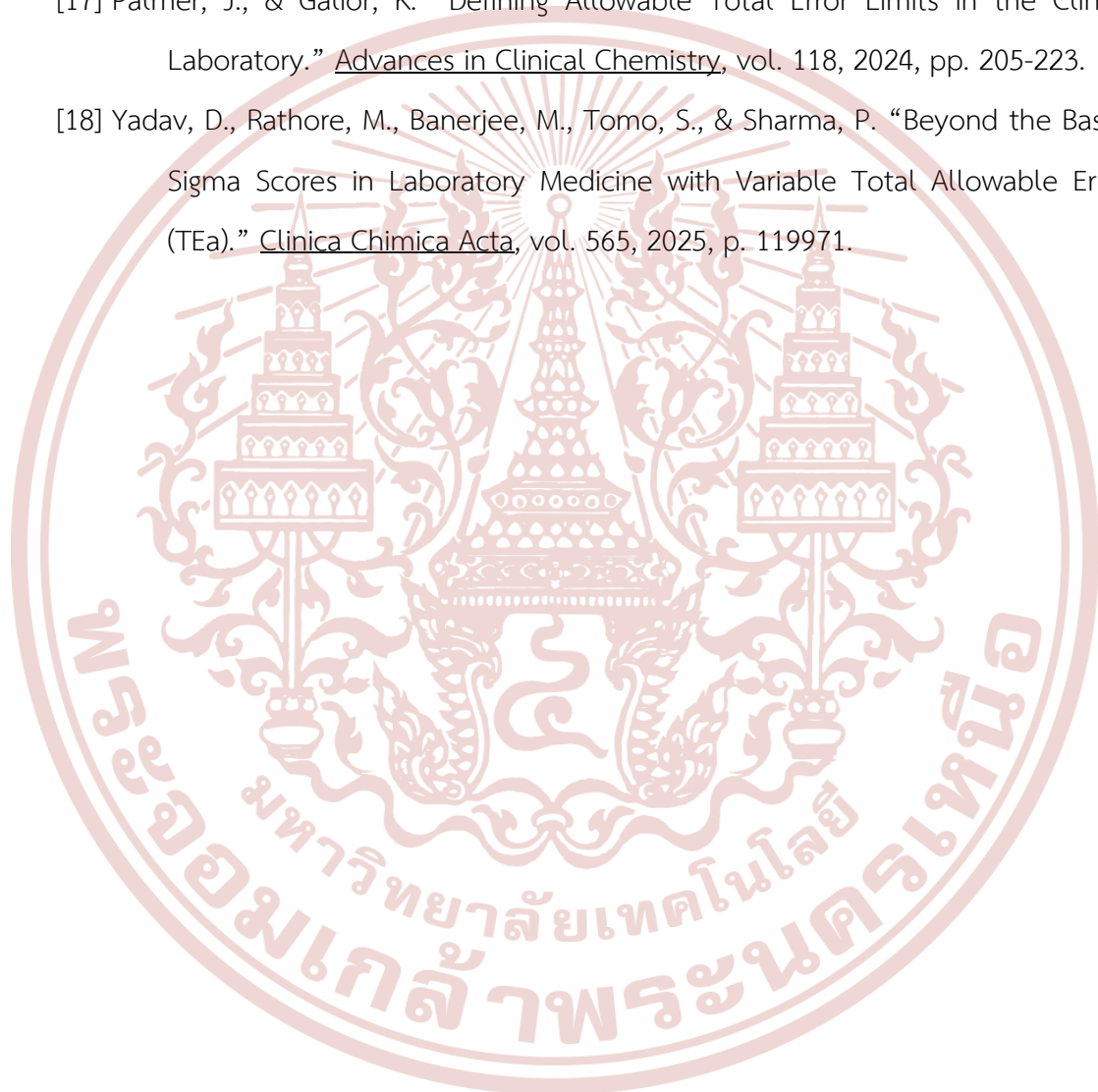
5.3.2.4 ควรบูรณาการการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measurement Uncertainty) เข้ากับระบบเกณฑ์สนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อให้ผลการประเมินสถานะครอบคลุมผลการวัดและมีความสมบูรณ์มากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations. The Pharmaceutical Industry in Figures 2023. Brussels: EFPIA, 2023. [Online]. Available: <https://www.efpia.eu/media/rm4kzdlx/the-pharmaceutical-industry-in-figures-2023.pdf>
- [2] Grand View Research. [Online]. Pharmaceutical Market Size & Share | Industry Report, 2033. San Francisco: Grand View Research, 2024. [Online]. Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/pharmaceutical-market-report>
- [3] Krungsri Research. Industry Outlook 2025-2027: Pharmaceuticals. Bank of Ayudhya, 2024. [Online]. Available: <https://www.krungsri.com/en/research/industry/industry-outlook/chemicals/pharmaceuticals/io/io-pharmaceuticals-2025-2027>
- [4] International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission. ISO/IEC 17025:2017 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. Geneva: ISO, 2017.
- [5] United Kingdom Accreditation Service. LAB 14: Guidance on the Calibration of Weighing Machines. Staines-upon-Thames: UKAS, 2015.
- [6] Hsuan-Yu Chen, Chiachung Chen. “Evaluation of Calibration Equations by Using Regression Analysis: An Example of Chemical Analysis.” Sensors, vol. 22, no. 2, 2022, p. 447.
- [7] Alaaeldin A. Eltawil, Ahmed S. Desoky, Shaker A. Gelany. “Performance Evaluation of Weighing Instruments: A Comparative Study of Different Calibration Sequences.” Journal of Measurement Science & Applications, vol. 4, no. 1, 2024.
- [8] Bingyue Liu, Shengwu Cai, Hua Su, Zhen Qiao, Can Wei, Xinwen Zhao, Jiahang Jiang, Meng Jiao, Feng Qin, Meiping He. “Reliability Modeling of Field Calibration Data for Pressure Transmitters in Nuclear Power Plants.” Nuclear Engineering and Technology, vol. 58, 2026, p. 103878.

- [9] Marco Belim, Tiago Meireles, Gil Gonçalves, Rui Pinto. “Forecasting Models Analysis for Predictive Maintenance.” Frontiers in Manufacturing Technology, vol. 4, 2024, Article 1475078.
- [10] Yanan Jiao, Fengli Zhang, Qiqi Huang, Xiaochen Liu, Lu Li. “Analysis of Interpolation Methods in the Validation of Backscattering Coefficient Products.” Sensors, vol. 23, no. 1, 2023, p. 469.
- [11] Windi Kurnia Perangin-Angin, Jürgen Rühaak, Karsten Kuhlmann. “Characterization and optimization of correction factor determination in waveguide microcalorimeters.” Measurement, vol. 257, 2026, p. 118865.
- [12] Shriprakashan L. Parapalli, Jithen Shetty. “Leveraging Hybrid Edge-Cloud Predictive Maintenance in Pharmaceutical MES: An Industry 4.0 Approach Using Big Data.” Journal of Computer Science and Technology Studies, vol. 7, no. 2, 2025, pp. 86-94.
- [13] Garima Raheja, James Nimo, Emmanuel K-E. Appoh, Benjamin Essien, Maxwell Sunu, John Nyante, Mawuli Amegah, Reginald Quansah, Raphael E. Arku, Stefani L. Penn, Michael R. Giordano, Zhonghua Zheng, Darby Jack, Steven Chillrud, Kofi Amegah, R. Subramanian, Robert Pinder, Ebenezer Appah-Sampong, Esi Nerquaye Tetteh, Mathias A. Borketey, Allison Felix Hughes, Daniel M. Westervelt. “Low-Cost Sensor Performance Intercomparison, Correction Factor Development, and 2+ Years of Ambient PM_{2.5} Monitoring in Accra, Ghana.” Environmental Science & Technology, vol. 57, 2023, pp. 10708-10720.
- [14] Rongkang Li, Baoping Cai, Yixin Zhao, Yiliu Liu, Yanping Zhang, Xiangdi Kong, Yonghong Liu. “A Condition-Based Maintenance Method for Multi-Component Systems under Discrete-State Conditions.” Engineering Failure Analysis, vol. 306, 2024. p. 118166.
- [15] Hongsheng Su, Qian Cao, Yuqi Li. “Condition-based opportunistic maintenance strategy for multi-component wind turbines by using stochastic differential equations.” Scientific Reports, vol. 14, 2024, Article 2390.

- [16] Min Ma, Minghui Li, Ke Zhang, Pan Ma, Zhihui Hu, Hui Yan, Kuo Men, Jianrong Dai. “Applying the six-sigma methodology to determine the limits of quality control (QC) tests for a specific linear accelerator.” Journal of Applied Clinical Medical Physics, vol. 25, 2024, e14460.
- [17] Palmer, J., & Galior, K. “Defining Allowable Total Error Limits in the Clinical Laboratory.” Advances in Clinical Chemistry, vol. 118, 2024, pp. 205-223.
- [18] Yadav, D., Rathore, M., Banerjee, M., Tomo, S., & Sharma, P. “Beyond the Basics: Sigma Scores in Laboratory Medicine with Variable Total Allowable Errors (TEa).” Clinica Chimica Acta, vol. 565, 2025, p. 119971.





รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

1. ชื่อ : ดร.นิติ สันแสนดี
 ตำแหน่ง : รักษาการผู้อำนวยการกองบริหารคุณภาพงานทะเบียน
 สถานที่ทำงาน : องค์การเภสัชกรรม
 วุฒิการศึกษา : วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา
 วิศวกรรมเคมี
 สถาบันการศึกษา : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน : ด้านระบบคุณภาพทางเภสัชกรรม และด้านวิศวกรรม
 กระบวนการเคมีและการออกแบบระบบอุตสาหกรรมเคมี
2. ชื่อ : นายก้องวิษณุ ตูธนบัตร
 ตำแหน่ง : ผู้จัดการโครงการ
 สถานที่ทำงาน : บริษัท แอดวานซ์ อินฟอร์เมติกส์ โซลูชั่น จำกัด
 วุฒิการศึกษา : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครือข่ายและ
 ความมั่นคงปลอดภัย
 สถาบันการศึกษา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
 ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน : วิเคราะห์ ออกแบบ เว็บไซต์และการจัดการสารสนเทศ
3. ชื่อ : นายกล้าหาญ ปรารงค์น้อย
 ตำแหน่ง : หัวหน้าแผนกยุทธศาสตร์และวิศวกรรมวัดกรรม
 สถานที่ทำงาน : องค์การเภสัชกรรม
 วุฒิการศึกษา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบการผลิต
 สถาบันการศึกษา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน : ด้านการออกแบบและปรับปรุงระบบการผลิต

ที่ อว ๗๑๐๗/๐๗๑



คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชากรราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กทม. ๑๐๘๐๐

๑๑ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๔

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินคุณภาพเพื่อประกอบการทำการค้นคว้าอิสระ

เรียน ดร.นิติ สันแสนดี รักษาการผู้อำนวยการกองบริหารคุณภาพงานทะเบียน องค์การเภสัชกรรม

เนื่องด้วย นายคิระพันธ์ มหาสีดา รหัสประจำตัว ๖๖-๐๗๐๑๑๘-๕๗๐๑-๓ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กำลังดำเนินการจัดทำการค้นคว้าอิสระ เรื่อง “การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรอ้างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร” โดยมีผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุสดี บุญรอด เป็นประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ในการนี้นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์จากท่านเพื่อโปรดพิจารณาแบบประเมินเพื่อประกอบการทำการค้นคว้าอิสระดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ชาย ตั้งวรรณวิทย์)

รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย

ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
โทร. ๐ ๒๕๕๕ ๒๐๐๐ ต่อ ๒๗๒๘
www.itd.kmutnb.ac.th

ที่ อว ๗๑๐๗/๐๗๒



คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมการดิจิทัล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชากรราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กทม. ๑๐๘๐๐

๑๑ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๔

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินคุณภาพเพื่อประกอบการทำการค้นคว้าอิสระ

เรียน นายก่อวิชัย ผู้ต้นบัตร ผู้จัดการ บริษัท แอดวานซ์ อินฟอร์เมติกส์ โซลูชั่น จำกัด

เนื่องด้วย นายคิตะพันธ์ มหาคิตะ รหัสประจำตัว ๖๖-๐๗๐๑๑๘-๕๗๐๑-๓ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมการดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กำลังดำเนินการจัดทำการค้นคว้าอิสระ เรื่อง “การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร” โดยมีผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุสติ บุญรอต เป็นประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ในการนี้นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์จากท่านเพื่อโปรดพิจารณาแบบประเมินเพื่อประกอบการทำการค้นคว้าอิสระดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ไชย ตั้งวรรณวิทย์)
รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย

ที่ อว ๗๑๐๗/๐๗๓



คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถนนประชากรราษฎร์ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กทม. ๑๐๘๐๐

๑๑ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๔

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญในการประเมินคุณภาพเพื่อประกอบการทำการค้นคว้าอิสระ

เรียน นายกล้าหาญ ปรังคณ้อย หัวหน้าแผนกยุทธศาสตร์และวิศวกรรม องค์การเภสัชกรรม

เนื่องด้วย นายคิตะพันธ์ มหาคิตะ รหัสประจำตัว ๖๖-๐๗๐๑๑๘-๕๗๐๑-๓ นักศึกษาระดับ
บัณฑิตศึกษา ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กำลังดำเนินการจัดทำการค้นคว้าอิสระ เรื่อง “การเพิ่มประสิทธิภาพการ
บำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร” โดยมี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุสดี บุญรอด เป็นประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ในการนี้นักศึกษา
มีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์จากท่านเพื่อโปรดพิจารณาแบบประเมินเพื่อประกอบการทำการค้นคว้า
อิสระดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คิตะพันธ์ มหาคิตะ ตั้งวรรณวิทย์)

รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย

ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
โทร. ๐ ๒๕๕๕ ๒๐๐๐ ต่อ ๒๗๒๘
www.itd.kmutnb.ac.th



**แบบประเมินคุณภาพระบบสารสนเทศสำหรับผู้เชี่ยวชาญ
ระบบเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรอ่างอิงตามมาตรฐานบริการรับรอง
ของสหราชอาณาจักร**

นายคิตะพันธ์ มหาคิตะ รหัสประจำตัวนักศึกษา 6-6070118-5701-3

นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

คำชี้แจง

แบบประเมินคุณภาพนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพและแสดงความคิดเห็น ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องจักรน้ำหนักร จากการศึกษากรณีศึกษา ระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งข้อมูลจากการตอบแบบประเมินคุณภาพนี้จะถูก นำไปใช้เพื่อประกอบการศึกษาการค้นคว้าอิสระและพัฒนาระบบสารสนเทศให้มีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับ มาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน โดยแบบทดสอบประสิทธิภาพแบ่งออกได้เป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 2 ประเมินคุณภาพที่มีต่อระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องจักรน้ำหนักร

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะและคำแนะนำอื่นๆ

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เชี่ยวชาญ

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย (✓) ลงใน ☐ และกรอกข้อมูลที่ตรงกับสถานภาพที่เป็นจริงของท่าน

1. เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง ☐ ไม่ระบุ
2. อายุ ☐ 20-30 ปี ☐ 31-40 ปี
☐ 41-50 ปี ☐ 51-60 ปี
☐ มากกว่า 60 ปีขึ้นไป
3. ระดับการศึกษา ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก
☐ อื่นๆ (โปรดระบุ): _____
4. ตำแหน่งงาน ☐ ผู้บริหาร ☐ ภาสัชกร
☐ เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ ☐ วิศวกร
☐ นักวิทยาศาสตร์/นักวิจัย ☐ ช่างเทคนิค
☐ อื่นๆ (โปรดระบุ): _____
5. หน่วยงาน ☐ ฝ่ายเทคโนโลยีและวิศวกรรม
☐ ฝ่ายประกันคุณภาพ
☐ ฝ่ายทะเบียนและทรัพย์สินทางปัญญา
☐ ฝ่ายวิจัยพัฒนาและนวัตกรรม
☐ อื่นๆ (โปรดระบุ): _____
6. ประสบการณ์ทำงาน ☐ น้อยกว่า 1 ปี ☐ 1-5 ปี
☐ 6-10 ปี ☐ 11-15 ปี
☐ 16-20 ปี ☐ มากกว่า 20 ปี
7. ความเชี่ยวชาญ

.....

.....

.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับคุณภาพระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องขังน้ำหนัก

คำชี้แจง แบบประเมินคุณภาพของระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องขังน้ำหนัก แบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความต้องการของผู้ใช้งาน (Function Requirement Test) ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ (Function Test) และด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ (Usability Test) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความต้องการของผู้ใช้งาน เป็นการทดสอบความสามารถของระบบสารสนเทศที่ระบบสมควรทำได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน
- 2) ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ เป็นการทดสอบความถูกต้องของการทำงานของระบบสารสนเทศว่าสามารถทำงานได้จนได้ผลลัพธ์ตามฟังก์ชันงานนั้นๆ
- 3) ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ เป็นการทดสอบการออกแบบและการใช้งานระบบสารสนเทศ

โปรดทำเครื่องหมาย (✓) ในช่องระดับความพึงพอใจ ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด ซึ่งระดับความพึงพอใจจำนวน 5 ระดับ ดังนี้

- 5 หมายถึง พึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับดีมาก
- 4 หมายถึง พึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับดี
- 3 หมายถึง พึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับปานกลาง
- 2 หมายถึง พึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับน้อย
- 1 หมายถึง พึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับน้อยมาก

ตารางที่ ข-1 แบบทดสอบประสิทธิภาพด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความต้องการของผู้ใช้งาน

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
1.1 ระบบสามารถนำเข้าข้อมูลผลสอบเทียบได้ครบถ้วน					
1.2 ระบบสามารถจัดเก็บประวัติผลสอบเทียบย้อนหลัง					
1.3 ระบบสามารถสืบค้นข้อมูลตามเงื่อนไข					

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
1.4 ระบบสามารถตัดสินผลสอบเทียบตามเกณฑ์มาตรฐาน					
1.5 ระบบสามารถปรับค่าเครื่องชั่งจากการชั่ง					
1.6 ระบบสามารถคำนวณแบบจำลองทางสถิติได้					
1.7 ระบบสามารถแสดงข้อมูลผลการสอบเทียบ					
1.8 ระบบสามารถแจ้งเตือนถึงกำหนดบำรุงรักษา					
1.9 ระบบสามารถแสดงข้อมูลเป็นกราฟหรือแผนภูมิ					
1.10 ระบบสามารถเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างช่วงเวลา					
1.11 ความสามารถโดยรวมต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ					

ตารางที่ ข-2 แบบประเมินความถูกต้องของการทำงานตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
2.1 ระบบสามารถบันทึกผลการสอบเทียบได้อย่างถูกต้องครบถ้วน					
2.2 ระบบสามารถแสดงประวัติผลการสอบเทียบได้อย่างถูกต้อง					
2.3 ระบบสามารถสืบค้นข้อมูลตามเงื่อนไขการค้นหาคำหนดได้อย่างถูกต้อง					
2.4 ระบบสามารถแจ้งเตือนสถานะเครื่องชั่งที่ต้องปฏิบัติการได้อย่างถูกต้อง					
2.5 ระบบสามารถปรับค่าเครื่องชั่งตามผลการสอบเทียบได้อย่างถูกต้อง					
2.6 ระบบสามารถคำนวณแบบจำลองทางสถิติได้อย่างถูกต้อง					

ตารางที่ ข-2 (ต่อ)

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
2.7 ระบบสามารถแสดงข้อมูลผลการสอบเทียบได้อย่างถูกต้อง					
2.8 ระบบสามารถแจ้งเตือนถึงกำหนดบำรุงรักษาได้อย่างถูกต้อง					
2.9 ระบบสามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบแผนภูมิหรือกราฟได้อย่างถูกต้อง					
2.10 ระบบสามารถเปรียบเทียบผลการสอบเทียบข้ามรอบได้อย่างถูกต้อง					
2.11 ระบบมีความถูกต้องในการทำงานตามฟังก์ชันที่กำหนดโดยภาพรวม					

ตารางที่ ข-3 แบบทดสอบประสิทธิภาพด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
3.1 ความเหมาะสมของขนาดและรูปแบบตัวอักษร					
3.2 ความเหมาะสมของการใช้สี					
3.3 ความเหมาะสมของการใช้ภาพกราฟิก					
3.4 ความเหมาะสมของการจัดวางองค์ประกอบบนหน้าจอ					
3.5 ความเหมาะสมของขนาดปุ่มกดและส่วนควบคุมต่างๆ					
3.6 ความง่ายในการค้นหาข้อมูลที่ต้องการ					
3.7 ความง่ายในการดูประวัติการสอบเทียบย้อนหลัง					
3.8 ความง่ายในการดูข้อมูลการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง					
3.9 ระบบมีความครอบคลุมและความหลากหลายของข้อมูลที่แสดงบน Dashboard					

ตารางที่ ข-3 (ต่อ)

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
3.10 ระบบสามารถตอบสนองต่อคำสั่งของผู้ใช้งานได้อย่างรวดเร็ว					
3.11 ระบบสารสนเทศมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานโดยภาพรวม					

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะและข้อแนะนำอื่นๆ

1. ด้านความสามารถของระบบสารสนเทศตามความต้องการของผู้ใช้งาน

.....

.....

.....

2. ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบสารสนเทศ

.....

.....

.....

3. ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบสารสนเทศ

.....

.....

.....

4. ข้อเสนอแนะข้อแนะนำอื่นๆ

.....

.....

.....

.....

(.....)



ภาคผนวก ค

หนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ประกอบการทำวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ที่ อว ๗๑๐๗/๑๐๐๔



คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
๑๕๑๘ ถ.พระราชมารุ ๑ แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ ๑๐๘๐๐

๒๘ พฤศจิกายน ๒๕๖๗

เรื่อง ขออนุญาตเผยแพร่ข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ประกอบการทำวิจัย

เรียน รองผู้อำนวยการฝ่ายวิจัยพัฒนาและนวัตกรรม

ด้วย นายคิตะพันธ์ มหาคิตะ รหัสประจำตัว ๖๖-๐๗๐๑๑๘-๕๗๐๑-๓ นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ และนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้จัดทำการค้นคว้าอิสระ เรื่อง “การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักร แนวทางการสอบเทียบตาม UKAS Lab ๑๔” โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุสดี บุญรอด เป็นประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ในการนี้นักศึกษามีความประสงค์ ขออนุญาตเผยแพร่ในการใช้ข้อมูลผลสอบเทียบเครื่องจักรจากระบบ Laboratory Information Management System ของกอง GPO PRO LAB องค์การเภสัชกรรม เพื่อนำมาใช้ประกอบการค้นคว้าอิสระ หากมีข้อสอบถามเพิ่มเติม สามารถติดต่อได้ที่เบอร์โทรศัพท์ ๐๘๖-๖๒๒-๐๗๔๔ (นายคิตะพันธ์ มหาคิตะ)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล จักขอบพระคุณยิ่ง

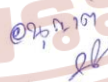
ขอแสดงความนับถือ


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ชาย ตั้งวรรณวิทย์)

รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย

ปฏิบัติการแทนคณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล

ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
โทร. ๐๒-๕๕๕-๒๐๐๐ ต่อ ๒๗๒๘
www.itd.kmutnb.ac.th



(นายปรัชญา ขาตินันท์)

รองผู้อำนวยการฝ่ายวิจัยพัฒนาและนวัตกรรม



ภาคผนวก ง

คู่มือการใช้งานระบบสารสนเทศ

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

คู่มือการใช้งานระบบ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเครื่องจักร

คู่มือฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่ออธิบายขั้นตอนการใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างเป็นลำดับและเป็นระบบ โดยครอบคลุมกระบวนการสำคัญ 5 ด้าน ได้แก่ การจัดการข้อมูลการสอบเทียบ การสืบค้นประวัติและการแสดงผลกราฟ การตัดสินใจบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การติดตามสถานะผ่าน Dashboard และการคำนวณค่าปรับแก้น้ำหนัก ทั้งนี้ ในแต่ละกระบวนการได้อธิบายขั้นตอนการปฏิบัติงาน พร้อมภาพประกอบและตารางสรุป เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานจริงได้อย่างถูกต้อง

1 การเตรียมความพร้อมก่อนใช้งาน

ผู้ใช้งานควรดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้ก่อนเริ่มปฏิบัติงานจริง เพื่อยืนยันว่าระบบพร้อมใช้งาน

1.1 การเข้าสู่ระบบ (Login)

- 1.1.1 เปิดหน้าเว็บระบบ CBM Analytics
- 1.1.2 คลิกปุ่ม Login
- 1.1.3 กรอก Username และ Password
- 1.1.4 คลิก Sign In เพื่อเข้าสู่ระบบ แสดงดังภาพที่ ง-1

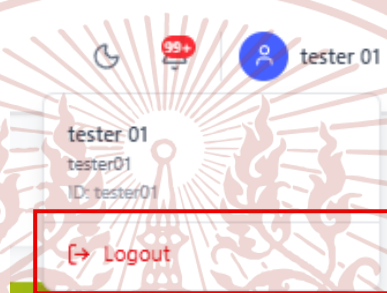
ภาพที่ ง-1 หน้าจอ Login ของระบบ

1.2 การออกจากระบบ (Logout)

เมื่อใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ร่วมกัน ควร Logout ทุกครั้งหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน เพื่อป้องกันการเข้าถึงข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาต ขั้นตอนการออกจากระบบดำเนินการดังนี้

1.2.1 คลิกไอคอนผู้ใช้ที่มีมุมขวามือของหน้าจอ

1.2.2 คลิก Logout แสดงดังภาพที่ ง-2



ภาพที่ ง-2 การออกจากระบบ

1.2.3 ตรวจสอบว่าระบบแสดงสถานะยังไม่เข้าสู่ระบบ และเมนูถูกจำกัดเหลือเฉพาะหน้าเริ่มต้น

2 การจัดการข้อมูลการสอบเทียบ (Manage Calibration Data)

กระบวนการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเข้าข้อมูลการสอบเทียบเข้าสู่ฐานข้อมูลของระบบ โดยต้องนำเข้าไฟล์ข้อมูลอุปกรณ์ก่อนไฟล์ผลการสอบเทียบ เพื่อให้ข้อมูลอ้างอิงครบถ้วนและการประมวลผลเป็นไปอย่างถูกต้อง

2.1 ไฟล์ข้อมูลที่ใช้

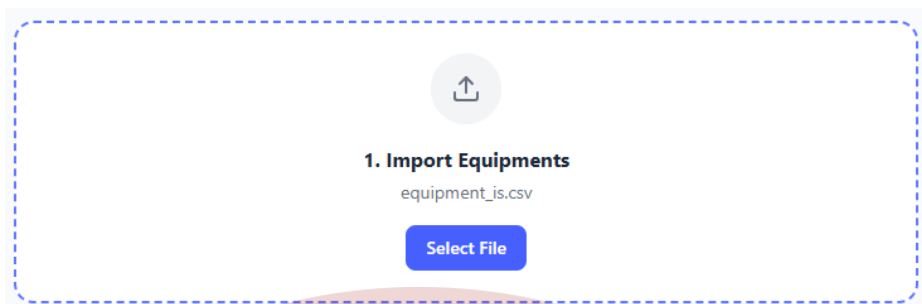
2.1.1 equipment.csv ข้อมูลรายการอุปกรณ์เครื่องชั่ง

2.1.2 results.csv ข้อมูลผลการสอบเทียบ

2.2 ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูล

2.2.1 ไปที่เมนู Database Connection > Data Import

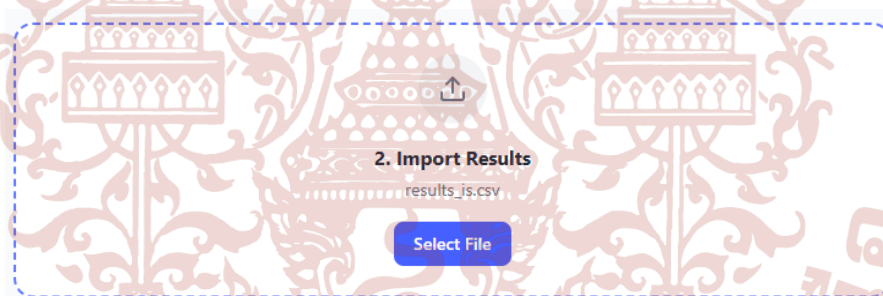
2.2.2 อัปโหลด equipment.csv ดังภาพที่ ง-3



ภาพที่ ง-4 การนำเข้าไฟล์ equipment.csv

2.2.3 ตรวจสอบผลลัพธ์การนำเข้า DB Import ว่าการสำเร็จหรือไม่ หากพบข้อผิดพลาดซ้ำให้ตรวจสอบชื่อคอลัมน์และคีย์หลักในไฟล์ CSV ก่อน แล้วจึงอัปโหลดใหม่อีกครั้ง

2.2.4 อัปโหลดไฟล์ results.csv ดังภาพที่ ง-4



ภาพที่ ง-4 การนำเข้าไฟล์ results.csv

2.2.5. ตรวจสอบผลลัพธ์การนำเข้าอีกครั้ง

3 การสืบค้นประวัติการสอบเทียบ (Calibration History)

กระบวนการนี้ใช้สำหรับค้นหาและตรวจสอบประวัติผลการสอบเทียบย้อนหลัง รวมถึงเปรียบเทียบกราฟระหว่างใบงาน เพื่อประเมินเสถียรภาพและแนวโน้มการเบี่ยงเบนของเครื่องชั่ง

3.1 ขั้นตอนการสืบค้น

3.1.1 ไปที่เมนู Calibration History

3.1.2 ค้นหาใบงานด้วยหมายเลข ORDNO หรือ LABNO ดังภาพที่ ง-5

Calibration History
Search and view calibration records

ค้นหาได้จาก Ord No หรือ Lab No

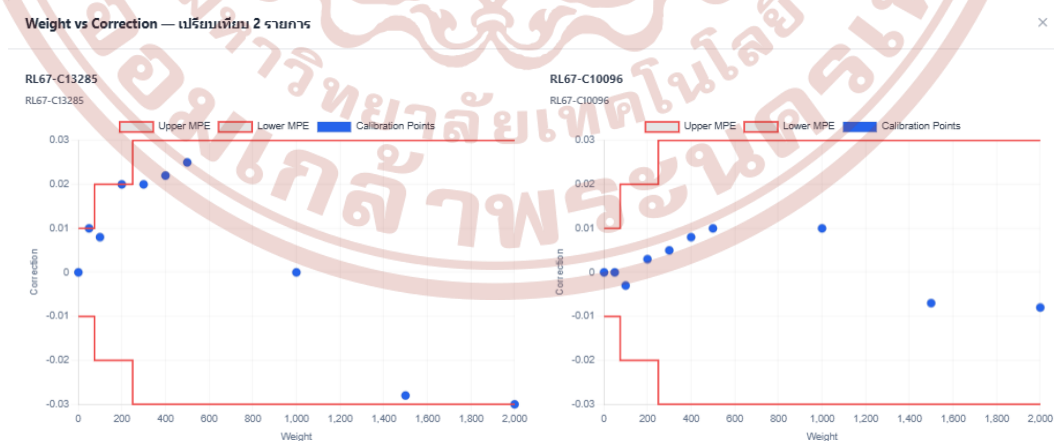
ia-00479 Search

Calibration History (20 รายการ) เลือกสูงสุด 2 รายการเพื่อเปรียบเทียบกราฟ

#	ORDNO	LABNO	Tested Date	Points	Action
1	☐ RL67-C13285	BA-00001	17/12/2567	10	Show Results
2	☐ RL67-C10096	BA-00002	24/9/2567	10	Show Results
3	☐ RL67-C06253	BA-00003	10/6/2567	10	Show Results
4	☐ RL67-C03199	BA-00004	11/3/2567	10	Show Results
5	☐ RL66-C11482	BA-00005	5/12/2566	10	Show Results
6	☐ RL66-C08661	BA-00006	11/9/2566	10	Show Results
7	☐ RL66-C05563	BA-00007	7/6/2566	10	Show Results
8	☐ RL66-C03115	BA-00008	29/3/2566	10	Show Results

ภาพที่ ง-5 หน้าจอ Calibration History การค้นหาใบงาน

- 3.1.3 เลือกรายการที่ต้องการดู รองรับการเลือกสูงสุด 2 รายการเพื่อเปรียบเทียบ
- 3.1.4 คลิก Show Results เพื่อดูรายละเอียดผลการสอบเทียบ
- 3.1.5 คลิก Display Graph เพื่อแสดงกราฟ Weight และ Correction
- 3.1.6 หากเลือก 2 รายการ ระบบจะแสดงผลในโหมดเปรียบเทียบกราฟ ดังภาพที่ ง-6



ภาพที่ ง-6 กราฟ Weight และ Correction และโหมดเปรียบเทียบ 2 ใบงาน

3.2 การอ่านผลกราฟเบื้องต้น

3.2.1 ตรวจสอบตำแหน่งจุดข้อมูล (Calibration Points) เทียบกับขอบเขต MPE

3.2.2 หากจุดข้อมูลอยู่ใกล้หรือเกินขอบค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้บ่อยครั้ง ควรส่งต่อเพื่อวิเคราะห์การบำรุงรักษา

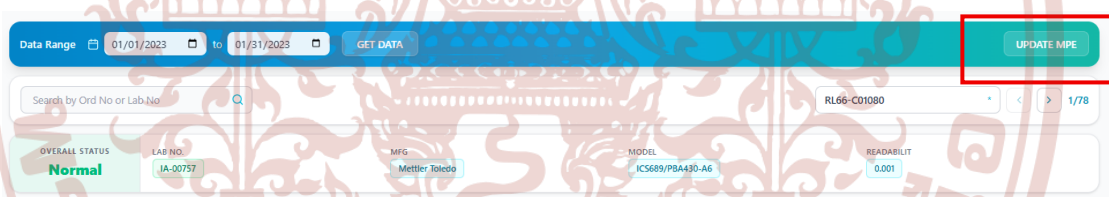
4 การตัดสินใจบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance Decision)

กระบวนการนี้แปลงผลการวิเคราะห์เชิงสถิติให้กลายเป็นรายการงานบำรุงรักษาที่สามารถตัดสินใจดำเนินการได้จริง โดยอ้างอิงเกณฑ์สถานะตามมาตรฐาน OIML R76-1

4.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

4.1.1 ไปที่เมนู Weighing Adjustment

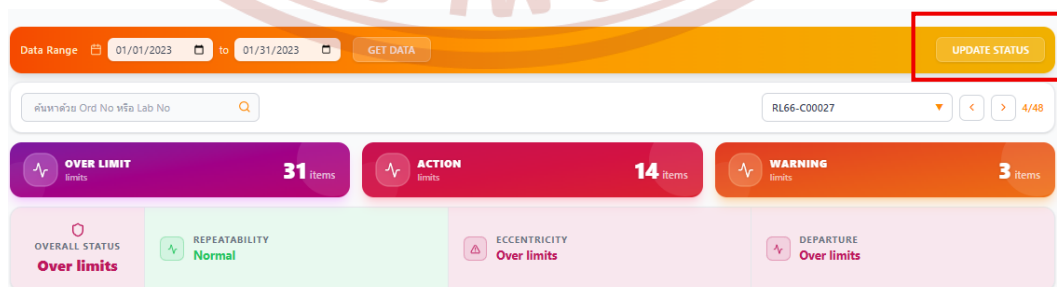
4.1.2 คลิก Update MPE ตามช่วงวันที่ที่ต้องการ (ระบบจะคำนวณ Class, MPE, Action Limit และ Regression) ดังภาพที่ ง-7



ภาพที่ ง-7 หน้าจอ Weighing Adjustment ปุ่ม Update MPE

4.1.3 ไปที่เมนู Maintenance Report

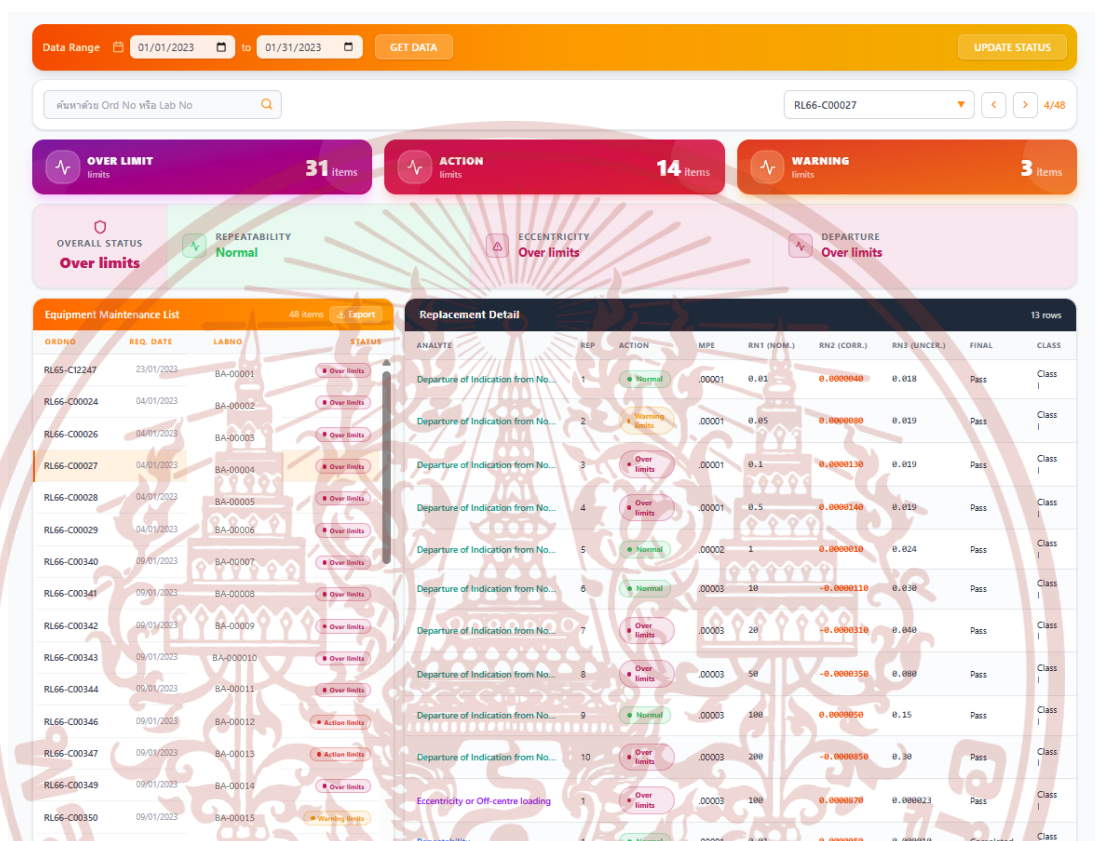
4.1.4 คลิก UPDATE STATUS เพื่อสรุปสถานะในระดับโรงงาน ดังภาพที่ ง-8



ภาพที่ ง-8 หน้าจอ Maintenance Report การอัปเดตสถานะ

4.1.5 คลิก GET DATA เพื่อโหลดรายการที่ต้องติดตาม

4.1.6 เลือก ORDNO เพื่อดูรายละเอียดด้านขวาของหน้าจอ ดังภาพที่ ง-9



ภาพที่ ง-9 หน้าจอ Maintenance Report แสดงรายการสถานะและรายละเอียดใบงาน

4.2 เกณฑ์สถานะและแนวทางดำเนินการ

การตัดสินใจบำรุงรักษาควรพิจารณาพร้อมกับความสำคัญของเครื่องจักรและผลกระทบต่อกระบวนการผลิตหรือการควบคุมคุณภาพประกอบด้วย โดยพิจารณาจากเกณฑ์สถานะและแนวทางดำเนินการดังตาราง ง-1

ตาราง ง-1 เกณฑ์สถานะและแนวทางดำเนินการ

สถานะ	ความหมาย	แนวทางดำเนินการ
Normal	ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ปกติ	ติดตามตามรอบปกติ
Warning Limit	ค่าเริ่มเบี่ยงเบน ควรเฝ้าระวัง	วางแผนตรวจสอบซ้ำในระยะเร็วขึ้น

ตาราง ง-1 (ต่อ)

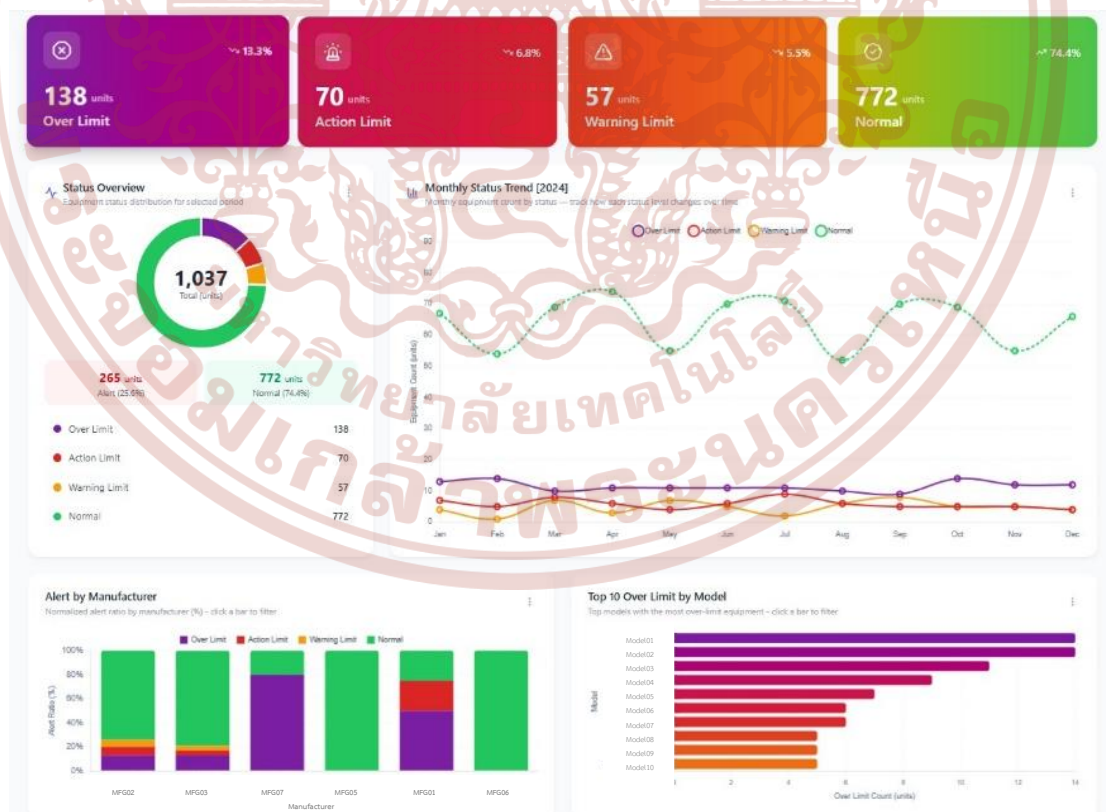
สถานะ	ความหมาย	แนวทางดำเนินการ
Action Limit	ค่าเกินระดับแจ้งเตือนเชิงรุก	จัดแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยเร็ว
Over Limit	ค่าเกินขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้	ดำเนินการแก้ไขเร่งด่วน หรือ พิจารณาระงับการใช้งานชั่วคราว

5 การติดตามสถานะผ่าน Dashboard (Monitoring Dashboard)

Dashboard ทำหน้าที่เป็นหน้าหลักสำหรับติดตามสถานะโดยรวมของเครื่องซึ่ง เหมาะสำหรับการใช้บริหารงานรายวันและรายเดือน เพื่อกำหนดลำดับความสำคัญของงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันใช้งานด้วยวิธีดังนี้

5.1 ขั้นตอนการใช้งาน

5.1.1 ไปที่เมนู Monitoring Dashboard จะแสดงหน้าจอ Monitoring Dashboard ดังภาพที่ ง-10



ภาพที่ ง-10 หน้าจอ Monitoring Dashboard แสดง KPI และกราฟสรุปสถานะ

5.1.2 เลือก Year และ Month ที่ต้องการ

5.1.3 ตรวจสอบค่า KPI จำนวนรายการในสถานะ Over, Action, Warning, Normal

5.1.4 ดูกราฟแนวโน้มรายเดือน กราฟแยกตามผู้ผลิต และ Top Model ที่มีปัญหาสูงสุด

5.1.5 คลิกการ์ดสถานะเพื่อกรองและดูรายละเอียดเพิ่มเติมดังภาพที่ ง-11



ภาพที่ ง-11 การกรองสถานะบน Dashboard การกรองและดูรายละเอียดเพิ่มเติม

6 การคำนวณค่าปรับแก้น้ำหนักและการดูเส้นโค้ง (Weighing Adjustment / View Curve)

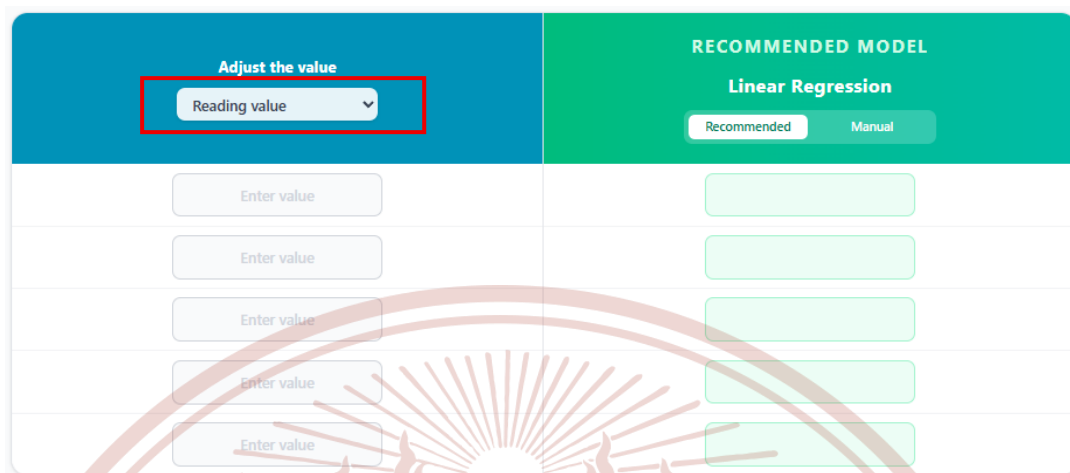
กระบวนการนี้ใช้เมื่อต้องการคำนวณค่าที่แท้จริงของน้ำหนัก หรือตรวจสอบเส้นโค้งการสอบเทียบจากข้อมูลล่าสุด เพื่อประกอบการตัดสินใจและการชั่งวัดที่แม่นยำ

6.1 การคำนวณค่าปรับแก้น้ำหนัก (Weighing Adjustment)

6.1.1 ไปที่เมนู Weighing Adjustment

6.1.2 ค้นหาและเลือก ORDNO ที่ต้องการ

6.1.3 การเลือกโหมดการคำนวณดังภาพที่ ง-12



The screenshot shows a software interface for weighing adjustment. It is divided into two main sections: 'Adjust the value' (blue header) and 'RECOMMENDED MODEL' (green header). In the 'Adjust the value' section, there is a dropdown menu currently set to 'Reading value'. Below this are five input fields, each with a placeholder text 'Enter value'. In the 'RECOMMENDED MODEL' section, there is a dropdown menu currently set to 'Linear Regression', and below it are five green input fields.

ภาพที่ ง-12 หน้าจอ Weighing Adjustment การเลือกโหมดการคำนวณ

6.1.3.1 โหมดการคำนวณ Reading Value → หา True Value (ค่าน้ำหนักที่แท้จริง)

6.1.3.2 โหมดการคำนวณ Target Value → หา Reading Value (ค่าที่ควรอ่านบนหน้าปัดเพื่อให้ได้น้ำหนักตามเป้าหมาย)

6.1.4 กรอกค่าที่ต้องการคำนวณดังภาพที่ ง-13



The screenshot shows a more detailed view of the weighing adjustment interface. At the top, there is a 'Data Range' section with date pickers for '01/01/2023' to '01/31/2023' and a 'GET DATA' button. Below this is a search bar for 'ค้นหาด้วย Ord No หรือ Lab No'. The main area is divided into several sections: 'OVERALL STATUS' with 'Warning limits', 'LAB NO.' (JA-00684), 'MFG' (Mettler Toledo), 'MODEL' (XS204), and 'READABILITY' (0.0001). Below this is an 'Order List' table with columns 'ORDNO', 'REQ. DATE', 'LABNO', and 'ACTION'. The table lists several items, including RL66-C01080, RL66-C01075, RL66-C01029, RL66-C01028, RL66-C01027, RL66-C01026, RL66-C01025, and RL66-C01024. To the right of the table is the 'Adjust the value' section with a dropdown menu set to 'Target Value' and five input fields. The first three input fields contain the values 35.2, 40.3, and 77.8. Below these are two more input fields with placeholder text 'Enter value'. To the right of this section is the 'RECOMMENDED MODEL' section with a dropdown menu set to 'Interpolation' and five green input fields. The first three input fields contain the values 35.200000, 40.299989, and 77.799976.

ภาพที่ ง-13 หน้าจอ Weighing Adjustment การคำนวณค่าปรับแก้น้ำหนัก

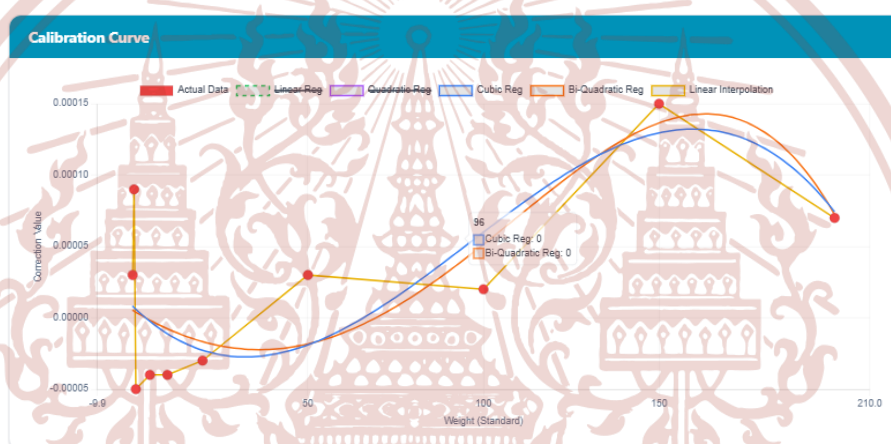
6.1.5 ระบบจะแสดงผลพร้อมแบบจำลองที่เลือกใช้ และระบบจะคำนวณหือติโนมิติ

6.2 การดูเส้นโค้งการสอบเทียบ (View Curve)

6.2.1 เข้าสู่หน้า Calibration Curve & Analysis หรือคลิก View Curve ในหน้า Weighing Adjustment

6.2.2 เลือก ORDNO ที่ต้องการ

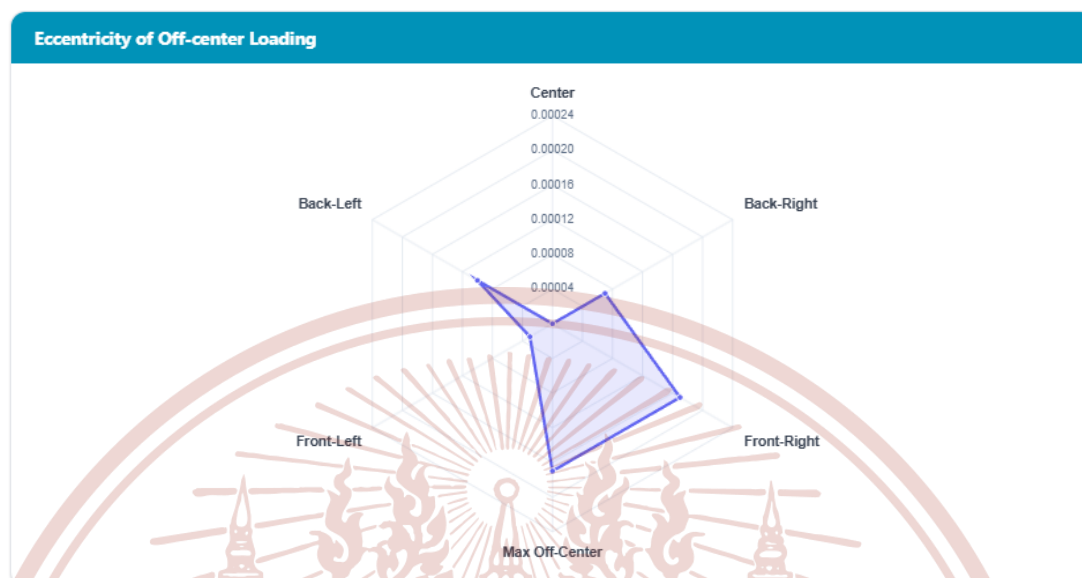
6.2.3 ระบบจะแสดงกราฟ Scatter ของข้อมูลจริง เส้น Regression แต่ละแบบจำลองดังภาพ ง-14 ตารางค่าชี้วัด R^2 , Adjusted R^2 และ RMSE ดังภาพ ง-15 และกราฟ Eccentricity Radar ดังภาพ ง-16



ภาพที่ ง-14 กราฟ Calibration Curve

Statistical Metrics (Regression Models)				
Model Type	Color	R^2	Adj. R^2	RMSE
Linear (Deg 1)	●	0.3839	0.3069	0.000049
Quadratic (Deg 2)	●	0.3859	0.2104	0.000049
Cubic (Deg 3)	●	0.5590	0.3386	0.000041
Bi-Quadratic (Deg 4)	●	0.5640	0.2152	0.000041

ภาพที่ ง-15 ภาพตารางเปรียบเทียบ Regression Models



ภาพที่ ง-16 กราฟ Eccentricity Radar แสดงความคลาดเคลื่อนตามตำแหน่งการวางน้ำหนัก

6.3 หลักการเลือกแบบจำลองอัตโนมัติ

ระบบเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้ ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเลือกแบบจำลองเอง โดยมีเงื่อนไขการเลือกแบบจำลองดังตารางที่ ง-2

ตาราง ง-2 เงื่อนไขการเลือกแบบจำลอง

เงื่อนไข	แบบจำลองที่เลือก
RMSE ของทุกแบบจำลองมีค่าเป็น 0	Linear Regression
Adjusted R^2 สูงสุด ≤ 0.95	Linear Interpolation
กรณีอื่น ๆ	แบบจำลองที่มีค่า Adjusted R^2 สูงสุด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายคีตะพันธ์ มหาคีตะ
ชื่อการค้นคว้าอิสระ	การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรอ่างอิงตามมาตรฐานบริการรับรองของสหราชอาณาจักร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ข้อมูลเพื่อนวัตกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ประวัติ	ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ประวัติการทำงาน พ.ศ. 2552 ถึงปัจจุบัน ปฏิบัติหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ แผนกบริหาร และแผนงาน กองสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้อง ฝ่ายวิศวกรรม องค์การเภสัชกรรม ที่ตั้ง 75/1 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี 10400 ประวัติส่วนตัว อาศัยอยู่บ้านเลขที่ 98/344 หมู่ที่ 4 ตำบลพิมลราช อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี 11110 อีเมล kheetaphan.mah@mail.gpo.or.th