

## การพัฒนาการหาปฏิสัมพันธ์สำหรับใช้เป็นเครื่องมือประเมินการทำงานของซิลเลอร์เบื้องต้น Development of Interaction for Primary Chiller Performance Evaluation Tool

วศก วิษณุสันต์กุล<sup>1</sup> และ เด่นชัย วรเดชจำเริญ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมระบบเครื่องกลและนวัตกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน 2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนา  
นิคม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

\*ติดต่อ: ติดต่อบุคคล: denchai.wora@gmail.com, 094-850-3366, 025791111 ต่อ 2147

### บทคัดย่อ

การจัดการพลังงานแบบเดิมเพื่อเน้นการควบคุมรวมถึงทำการตรวจสอบการเดินซิลเลอร์ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญ วิธีนี้จะดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อพบเห็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่ (sudden fault) หรือระบบเกิดความเสียหาย (system failure) หากแต่การตรวจสอบที่ผิดพลาดก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานค่อนข้างสูง การพบความผิดปกติของซิลเลอร์ก่อนเกิดความเสียหายนำไปสู่การแก้ปัญหาและคงประสิทธิภาพการทำงานให้เข้าสู่เกณฑ์มาตรฐานได้ทันการ

บทความนี้เล็งเห็นความสำคัญของการประเมินคุณภาพการทำงานของซิลเลอร์ เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาของการทำงานที่ผิดพลาด โดยทำการพัฒนาเครื่องมือที่เรียกว่า ปฏิสัมพันธ์ (Interaction) สำหรับประเมินการทำงานของซิลเลอร์ โดยใช้ข้อมูลความผิดพลาด (faulty data) และข้อมูลปราศจากความผิดพลาด (fault-free data) ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรในรูปแบบของการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson's correlation) ซึ่งจะแบ่งระดับความสัมพันธ์ออกเป็น สูง กลาง และ ต่ำ โดยใช้ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของซิลเลอร์ ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าคอนเดนเซอร์ อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์ และภาระโหลดการทำงานของซิลเลอร์ โดยการนำข้อมูลทั้งสองชนิดข้างต้นมาทำการทดสอบค่าสหสัมพันธ์พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับซิลเลอร์จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระบบมีความผิดพลาดที่รุนแรงมากขึ้น ดังนั้นเครื่องมือปฏิสัมพันธ์ที่พัฒนาในโครงการนี้สามารถใช้ในการตรวจสอบและประเมินการทำงานของซิลเลอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสามารถใช้เพิ่มคุณภาพงานของผู้ดูแลอาคารได้

**คำหลัก:** ข้อมูลปราศจากความผิดพลาด; ข้อมูลความผิดพลาด; ปฏิสัมพันธ์; ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นที่

### Abstract

Traditional energy management focuses on manipulation and inspection of chiller operations using experienced building operators; this method is effective when sudden faults or system failures evidently occur. It is possible to incur faulty investigations leading excessive energy consumptions. Abnormal operations detected before becoming system failure lead to potential solutions and maintain the standard of high system performance in time.

This paper mainly emphasizes chiller operation evaluation for fault analytics and correction by developing “interaction” to evaluate chiller operations based on the standard of fault-free and faulty data, which are used to correlate any two associated parameters with the operations in terms of Pearson's correlation (R-value in high, medium and low level). The three driving force variables consist of inlet condenser water temperature, outlet evaporator temperature water and chiller load. With the fault-free and faulty data utilization, it is apparent to notice reduced R-values significantly when fault levels are more severe. Therefore, the proposed interaction can be applied as a potential tool for chiller operation investigations and for enhancing the performance building operators.

**Keywords:** Fault-free data; Faulty data; Interaction; Sudden fault

## 1. บทนำ

เนื่องจากในอาคารขนาดใหญ่มีการใช้พลังงานจากระบบчилเลอร์ประมาณ 30 – 40 % ของการใช้พลังงานทั้งหมด [1] ภายในอาคารเพื่อผลิตน้ำเย็นส่งต่อให้ระบบจ่ายลมเย็น (air-handling unit, AHU) เพื่อควบคุม thermal comfort ที่เหมาะสมบริเวณปรับอากาศ การทำงานที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อการสิ้นเปลืองระบบพลังงานโดยรวม และการปรับเปลี่ยนระบบчилเลอร์จะกระทบการทำงานที่ระบบ AHU ซึ่งไม่สามารถทำการตรวจสอบด้วยวิธีแบบเดิมหรือใช้เวลานานในการตรวจสอบ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ที่ผิดพลาด

ถึงแม้จะมีบริษัทด้านการจัดการพลังงานทำการควบคุมการเดินчилเลอร์แต่การตรวจสอบต้องอาศัยความชำนาญในการทราบถึงปัญหาต่างๆเนื่องจากระบบчилเลอร์มีความซับซ้อนและยากต่อการคาดเดา ทำให้ใช้เวลานานเมื่อทำการ work-through audit นอกจากนี้การตรวจสอบแบบดั้งเดิมคล้ายกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกันจะดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อพบเห็นอาการที่แน่นอนซึ่งความผิดพลาดบางอย่าง เช่น low delta T syndrome ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการตรวจสอบแบบเดิม [6] การตรวจสอบที่ผิดพลาดก่อให้เกิดผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานค่อนข้างสูง เพราะฉะนั้นการตรวจสอบหรือประเมินพบความผิดปกติของการทำงานของчилเลอร์ได้ก่อนที่จะเกิดการเสียหายก็จะสามารถแก้ปัญหาและตั้งประสิทธิภาพการทำงานของчилเลอร์ให้เข้าสู่เกณฑ์มาตรฐานได้ทันการ

โดยโครงการนี้เล็งเห็นความสำคัญของการประเมินคุณภาพการทำงานของчилเลอร์ เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขปัญหาของการทำงานที่ผิดพลาด เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โครงการนี้จึงทำการพัฒนาเครื่องมือที่เรียกว่า Interaction คือการประเมินความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร โดยการใช้ Pearson's correlation ซึ่งจะแบ่งระดับความสัมพันธ์ออกเป็น 3 ระดับ คือ สูง กลาง และ ต่ำ และตัวแปรต่างๆที่นำมาประเมินมีผลต่อการทำงานของчилเลอร์ ซึ่งประกอบด้วย  $T_{cdi}$  อุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้า condenser) ,  $T_{evo}$  อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจาก evaporator) , Load การทำงานчилเลอร์ และรวมไปถึงตัวแปร characteristics quantity (CQ) คือ CQ1-CQ7 โดยนำมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตามที่

สนใจที่แนะนำโดย งานวิจัยโครงการ ASHRAE RP1275 ของสมาคมปรับอากาศประเทศอเมริกา การตรวจสอบการทำงานчилเลอร์ด้วย Interaction มีความรวดเร็ว และสามารถคาดเดาสาเหตุของปัญหาได้ในระดับเบื้องต้นแต่มีประสิทธิภาพสูงที่สามารถตรวจสอบระบบчилเลอร์ได้ภายใน 2 อาทิตย์โดยการเก็บข้อมูลด้วยผู้ดูแลอาคาร [2, 3]

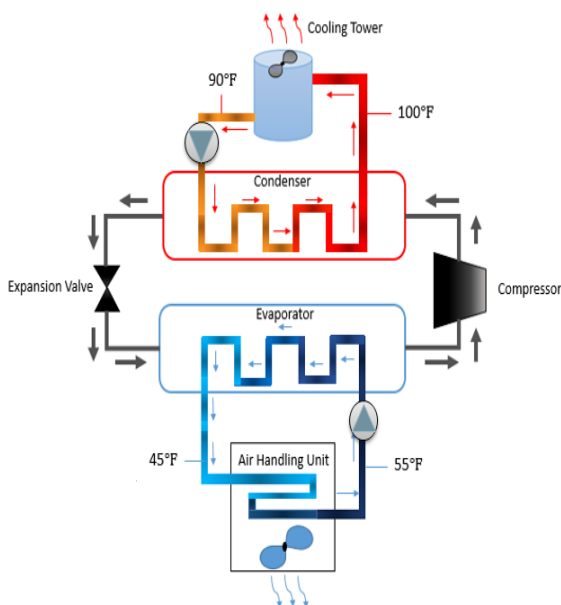
Interaction จึงเป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการประเมินการทำงานของчилเลอร์ได้เป็นอย่างดี และสามารถ ทดแทนการขาดความเชี่ยวชาญของผู้ดูแลอาคารหรือผู้ประเมินได้ และยังเป็นการสร้างแบบแผนขั้นตอนในการประเมินการทำงานของчилเลอร์ให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น โดย Interaction สามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้กับระบบเครื่องจักรอื่นๆได้เช่นเดียวกัน

## 2. Interaction

คือการใช้ทฤษฎี Pearson's correlation (R) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสหสัมพันธ์อย่างง่าย ในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปร เพื่อตรวจสอบระดับความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรโดยสามารถตรวจสอบได้จากค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน (r) หากค่าความสัมพันธ์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจำเป็นต้องวิเคราะห์จุดการทำงานที่ผิดปกติเพื่อนำไปสู่การปรับคุณภาพข้อมูล โดยมีโดยค่าตัวแปรอิสระคือ 1)  $T_{evo}$  คืออุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจาก Evaporator ที่จะถูกใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่ AHU ถ้า  $T_{evo}$  ถูกตั้งค่าให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ภาระโหลดการทำงานลดลง ในทางกลับกันถ้าตั้งค่าไว้ต่ำก็จะส่งผลให้มีภาระโหลดที่สูงขึ้น 2)  $T_{cdi}$  คืออุณหภูมิของน้ำที่จะถูกนำไปใช้ในขบวนการควบแน่นน้ำยาเป็นของเหลว ถ้ามีอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการควบแน่นของน้ำยาลดลง และจะก่อให้เกิดค่า kWh ที่สูงขึ้น 3) Load การทำงานจะมีความสัมพันธ์ที่เป็นไปตามการทำงานของระบบและยังมีตัวแปรที่เรียกว่า characteristics quantity (CQ) โดยจะมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด CQ1-CQ7 ซึ่งมีข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาด(Fault Free Data)เป็นฐานในการสร้าง Interaction และยังมีข้อมูลที่มีความผิดพลาด (Faulty Data)ใช้ในการตรวจสอบ โดยสมาคมวิศวกรปรับอากาศและการทำความเย็นของสหรัฐอเมริกา (ASHRAE) ได้ระบุไว้ใน ASHRAE RP-1043 [4]

### 3. Chiller Characteristic Quantity (CQ)

ชิลเลอร์คือเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ที่มีหน้าที่ในการผลิตน้ำเย็นเพื่อส่งต่อไปยังเครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit , AHU) เพื่อผลิตลมเย็นสู่บริเวณปรับอากาศ โดยมีหลักการการทำงานคือ นำสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะไออิ่มตัว (Saturated Vapor) ไปอัดที่อุปกรณ์ที่เรียกว่า Compressor จนมีสถานะเป็นไอร้อน (Superheated Vapor) ซึ่งจะมีอุณหภูมิและความดันที่สูง จากนั้นสารทำความเย็นจะไหลไปที่ Condenser เพื่อทำการถ่ายเทความร้อน และเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลวอิ่มตัว (Saturated Liquid) ที่มีความดันสูง หลังจากนั้นของเหลวจะไหลสู่อุปกรณ์ที่เรียกว่า Expansion Valve เพื่อทำการลดความดันโดยสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็น Saturated Mixture ที่มีอุณหภูมิและความดันต่ำ หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์ที่เรียกว่า Evaporator เพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ส่งมาจากเครื่องส่งลมเย็น โดยฝั่งการระบายความร้อนของ Condenser จะมีอยู่สองประเภทคือระบายความร้อนด้วยอากาศและระบายความร้อนด้วยน้ำ (Cooling Tower) โดยผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจาก Evaporator (Characteristic quantity, CQ1) ในทางทฤษฎี ควรมีค่าอยู่ที่ 10 °F และผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจาก Condenser (Characteristic quantity, CQ2) ในทางทฤษฎี ควรมีค่าอยู่ที่ 10 °F เช่นกัน ซึ่งแสดงหลักการการทำงานที่กล่าวดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดง Chiller Diagram

รูปที่ทำการแสดงเป็นการทำงานของระบบชิลเลอร์ที่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยระบบชิลเลอร์หากแบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ 1) ระบายความร้อนด้วยอากาศ 2) ระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งเป็นที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งเป็นหลักการทางภาพรวมของระบบเบื้องต้นเท่านั้น

ทั้งนี้งานวิจัย ASHRAE RP-1043 ยังสามารถทำการทดสอบกับตัวแปรเพิ่มเติมได้ถึง CQ1 – CQ7 ซึ่งเป็นตัวแปรที่จะสามารถบ่งบอกของลักษณะความผิดพลาดได้เบื้องต้นจากความผิดพลาดที่มีอยู่ในงานวิจัยซึ่งแต่ละตัวแปรมีความหมายดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงความหมาย CQ1-CQ7

ตัวแปร	ความหมาย
CQ1	ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกที่ Evaporator
CQ2	ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกที่ Condenser
CQ3	อุณหภูมิสารทำความเย็นสถานะไอร้อน ยิ่งยวดด้านทางเข้า Compressor
CQ4	อุณหภูมิสารทำความเย็นสถานะไอร้อน ยิ่งยวดด้านทางออก Compressor
CQ5	อุณหภูมิเย็นยิ่งของสารทำความเย็นที่ Condenser
CQ6	อุณหภูมิแอมไพร์ที่ condenser
CQ7	อุณหภูมิแอมไพร์ที่ evaporator

จากตารางที่ 1 ตัวแปรดังกล่าวสามารถหาได้จากข้อมูลที่ถูกจัดทำจากงานวิจัย ASHRAE RP-1043 ทั้งข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาดและข้อมูลที่มีความผิดพลาดรวมอยู่ด้วย ตัวแปรเหล่านี้จะสามารถใช้ตรวจสอบเพื่อบ่งชี้ลักษณะของความผิดพลาดได้เบื้องต้นอย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ทำการตรวจสอบการทำงานเบื้องต้นของชิลเลอร์เท่านั้น ยังไม่ได้ลงลึกไปถึงขั้นตรวจจับความผิดพลาดซึ่งจะนำไปใช้ในงานวิจัยขั้นถัดไป

### 4. Macro VBA

เพื่อให้เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการตรวจสอบคุณภาพการทำงานของชิลเลอร์จึงต้องทำการออกแบบ Macro VBA (Visual Basic for Application) ใน Excel เพราะว่าตัวโปรแกรมมีการใช้ที่ง่ายและสะดวก และ Excel ยังเป็นโปรแกรมที่เป็นที่คุ้นเคยและใช้อย่าง



แพร่หลายในปัจจุบัน โดยมีตัวช่วยอย่างง่ายเรียกว่า Record Macro ซึ่งจะสามารถบันทึกการกระทำบน Excel ให้กลายเป็น ภาษา VBA ได้

สามารถแบ่งการเขียน Macro VBA ตามลักษณะงานได้เป็น 3 ส่วนดังนี้ 1)งานออกแบบหรือวางแผน 2) งานควบคุม 3) งานปฏิบัติการ ซึ่งขอบเขตของโครงการจะอยู่ในรูปแบบของแบบที่ 3 ซึ่งต้องทำการเขียนฟังก์ชันต่างๆที่ต้องการใช้ แล้วใช้ Record Macro เป็นตัวช่วยให้ง่ายขึ้นโดยมีแนวทางการพัฒนาดังนี้

- 1) การนำข้อมูลจากระบบงานเข้ามาแบบอัตโนมัติ
- 2) จัดรูปแบบงานอัตโนมัติ โดยใช้เรียกใช้ Macro
- 3) แสดงผลหรือแสดงข้อมูลที่ต้องการ
- 4) ทำการจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ

ประโยชน์ของการใช้ Macro VBA

- สามารถลดเวลาในงานที่มีรูปแบบการทำซ้ำ
- สามารถลดความซับซ้อนของกระบวนการทำงาน
- ไม่จำเป็นต้องมีความรู้การเขียนโปรแกรม
- การพัฒนาไม่ซับซ้อนมาก

หากพัฒนาเพื่อใช้งานจะเสมือนกับการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาใช้ด้วยตนเอง โดยผู้ที่พัฒนาต้องทราบถึงความต้องการของ Macro ที่ต้องการให้ทำงาน

**5. ขั้นตอนการทดลองและดำเนินงาน**

**5.1 การสร้าง Interaction จากข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาด**

เนื่องจากที่ได้กล่าวไปข้างต้นเกี่ยวกับทฤษฎีของ Interaction คือการหาปฏิสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ดังนั้นจึงทำการหา Interaction กับตัวแปรทั้งหมดที่เราสนใจ กล่าวคือตัวแปรที่เป็นตัวแปรที่ส่งผลกับการทำงานของซิลเลอร์ (Driving Force Condition) ดังนั้นเราจึงทำการออกแบบเกณฑ์การประเมินจากการทำการทดลองกับข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาด

เนื่องด้วยข้อมูลของ Fault Free Data มีการออกแบบการทดสอบออกเป็น 3 สถานะซึ่งออกแบบตามภาระการทำความเย็นและการตั้งค่า  $T_{evo}$  (อุณหภูมิน้ำขาออกจาก Evaporator) โดยการตั้งค่า  $T_{evo}$  มีค่าเท่ากับ 50, 45, 40 °F ตามลำดับ และภาระการทำ

ความเย็นประมาณ 20-40, 50-70, 80-100 Tons ตามลำดับ ดังนั้นจึงต้องทำการแยกสถานการณ์ทำงานเพื่อตรวจสอบตัวแปร และจากข้อมูลที่มีนั้นทำการออกแบบตัวแปรเพิ่มเติมคือ CQ1-CQ7 และนำตัวแปรต้นมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรตามของแต่ละตัวแปร

**5.2 การสรุปผลและออกแบบการใช้ Interaction ในการตรวจสอบการทำงานของซิลเลอร์เบื้องต้น**

รูปที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาด

**ตารางที่ 2 แสดงผลการใช้ Interaction กับข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาด**

ตัวแปร	Near Normal 1	Near Normal 2	Near Normal 3	Normal 1	Normal 2	Normal 3
$T_{cdi}$	0.8967	0.8935	0.8989	0.8972	0.9309	0.8773
$T_{evo}$	0.9757	0.9852	0.9807	0.9878	0.9872	0.9667
Load	0.9393	0.9338	0.9426	0.9279	0.9282	0.9293
CQ1	0.9498	0.9340	0.9422	0.9276	0.9277	0.9288
CQ2	0.9540	0.9436	0.9579	0.9390	0.9389	0.9396
CQ3	0.9137	0.8906	0.9089	0.9159	0.8434	0.8514
CQ4	0.8572	0.8514	0.8552	0.8521	0.8445	0.8387
CQ5	0.9364	0.9292	0.9533	0.9333	0.9189	0.9032
CQ6	0.9469	0.9516	0.9807	0.9602	0.9415	0.9702
CQ7	0.6789	0.8825	0.6092	0.6773	0.7051	0.7260

การออกแบบและตรวจสอบเกณฑ์ระดับจากข้อมูล Fault Free Data ในงานวิจัย ASHRAE RP 1043 เพื่อ

ใช้ในการประเมินเบื้องต้นโดยผลจากการหาปฏิสัมพันธ์ของตัวแปรที่ได้แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการทดสอบจากการทำงานภายใต้สภาวะปกติ

จากผลการตรวจสอบด้วย Interaction กับข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาดทั้งหมด 6 ชุดข้อมูลดังตารางที่ 2 พบว่าค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน (r) ของทุกตัวแปรที่ได้ทำการวิเคราะห์อยู่ในระดับที่สูงในระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงทำการออกแบบการประเมินการทำงานของซิลเลอร์เบื้องต้นได้ดังนี้

ตารางที่ 3 เกณฑ์ระดับการใช้ Interaction

ตัวแปร	ระดับของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ต้องการ(R)
T <sub>cdi</sub>	ระดับกลาง
T <sub>evo</sub>	ระดับกลาง
Load	ระดับสูง
CQ1	ระดับกลาง
CQ2	ระดับกลาง
CQ3	ระดับกลาง
CQ4	ระดับกลาง
CQ5	ระดับกลาง
CQ6	ระดับกลาง
CQ7	ระดับกลาง

เงื่อนไขระดับ : ระดับต่ำ (0-0.50), ระดับกลาง (0.51-0.89) และระดับสูง (0.9-1.0) [5]

จากตารางการออกแบบเกณฑ์การประเมินพบว่าหลายตัวแปรทำการออกแบบไว้เพียงระดับกลางเนื่องด้วยปัญหาส่วนใหญ่ในประเทศไทยมีการรันระบบที่ยังผิดพลาดอยู่และเพทอเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นจึงตั้งเกณฑ์ในการประเมินไว้ในระดับกลาง มีเพียงแต่ค่า Load ที่ทำการออกแบบไว้ในระดับสูง ก็เพราะว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Load กับค่า kW การใช้ไฟฟ้าของซิลเลอร์มีความสัมพันธ์กันสูงอยู่แล้ว กล่าวคือหากมี %Load การทำงานของซิลเลอร์สูง ก็จะส่งผลทำให้ค่าการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นตามเป็นปกติ

**5.3 ตรวจสอบ Interaction กับข้อมูลที่มีความผิดพลาดชนิดต่างๆ ในงานวิจัย ASHRAE RP-1043**

หลังจากที่ได้เกณฑ์การประเมินเบื้องต้นแล้วทำการตรวจสอบกับชุดข้อมูลความผิดพลาดชนิดต่างๆที่ได้มา

จากการระบุไว้ในงานวิจัย ASHRAE RP-1043 ซึ่งจะประกอบไปด้วย 9 ชนิดความผิดพลาดดังนี้

- 1) Reduce Condenser Water Flow
- 2) Reduce Evaporator Water Flow
- 3) Refrigerant Leak
- 4) Refrigerant Overcharge
- 5) Excess Oil
- 6) Condenser Fouling
- 7) Non-Condensable in Refrigerant
- 8) Defective Pilot Valve
- 9) Multiple Faults

ส่วนในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองกับทุกความผิดพลาดแต่จะทำการยกตัวอย่างให้เห็นเพียงปัญหา Reduce Condenser Water Flow ซึ่งเป็นปัญหาที่มีการพบบ่อยเมื่อการทำงานของเครื่องจักรมอายุการใช้งานระยะหนึ่งจะส่งผลทำให้มีสิ่งสกปรกอุดตันหรือทำให้การไหลของน้ำผึ้ง Condenser ลดลง ดังนั้นจะส่งผลทำให้การระบายความร้อนประสิทธิภาพต่ำลงนั่นเองเมื่อทำการใช้ Interaction ในการตรวจสอบ ได้ผลดังตารางที่ 4 และ 5

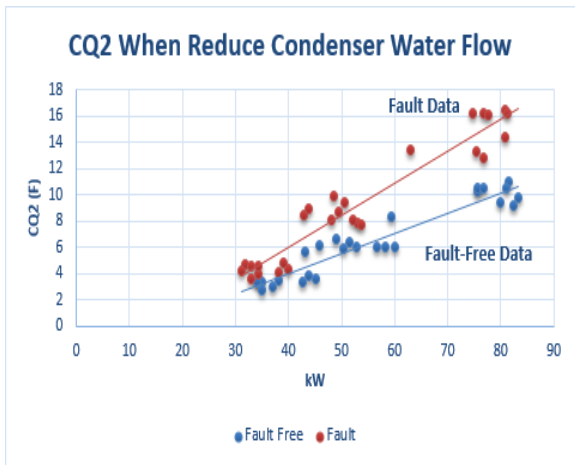
ตารางที่ 4 แสดงค่า r value การหาปฏิสัมพันธ์ระหว่าง T<sub>cdi</sub>, T<sub>evo</sub> Load, CQ1 และ CQ2 กับค่า kW การใช้ไฟฟ้าเมื่อลดอัตราการไหลของน้ำผึ้ง condenser

ลดอัตราการไหลของน้ำ	T <sub>cdi</sub>	T <sub>evo</sub>	Load	CQ1	CQ2
ลดลง 10%	0.71	0.99	0.93	0.93	0.95
ลดลง 20%	0.69	0.99	0.93	0.93	0.94
ลดลง 30%	0.68	0.99	0.93	0.93	0.95
ลดลง 40%	0.38	0.62	0.94	0.94	0.96

ตารางที่ 5 แสดงค่า r value การหาปฏิสัมพันธ์ระหว่าง CQ3-CQ7 กับค่า kW การใช้ไฟฟ้าเมื่อลดอัตราการไหลของน้ำผึ้ง condenser

ลดอัตราการไหลของน้ำ	CQ3	CQ4	CQ5	CQ6	CQ7
ลดลง 10%	0.85	0.85	0.95	0.98	0.69
ลดลง 20%	0.84	0.85	0.95	0.98	0.71
ลดลง 30%	0.87	0.86	0.92	0.96	0.74
ลดลง 40%	0.85	0.86	0.94	0.97	0.78

จากการทดลองกับความผิดพลาดที่มีการลดอัตราการไหลของน้ำฝั่ง condenser ตรวจสอบพบว่าค่า  $T_{cdi}$  ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินด้วย Interaction อย่างไรก็ตาม  $CQ2$  ซึ่งเป็นผลต่างของอุณหภูมิฝั่ง Condenser ยังผ่านเกณฑ์การประเมินด้วย Interaction อยู่แต่เมื่อนำข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาดกับข้อมูลที่มีความผิดพลาดมาแสดงรวมกันจะพบว่า ค่าของ  $CQ2$  ที่มีความผิดพลาดนั้นมีค่าสูงกว่าข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาดดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า  $CQ2$  ระหว่างข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาดและข้อมูลที่มีความผิดพลาด

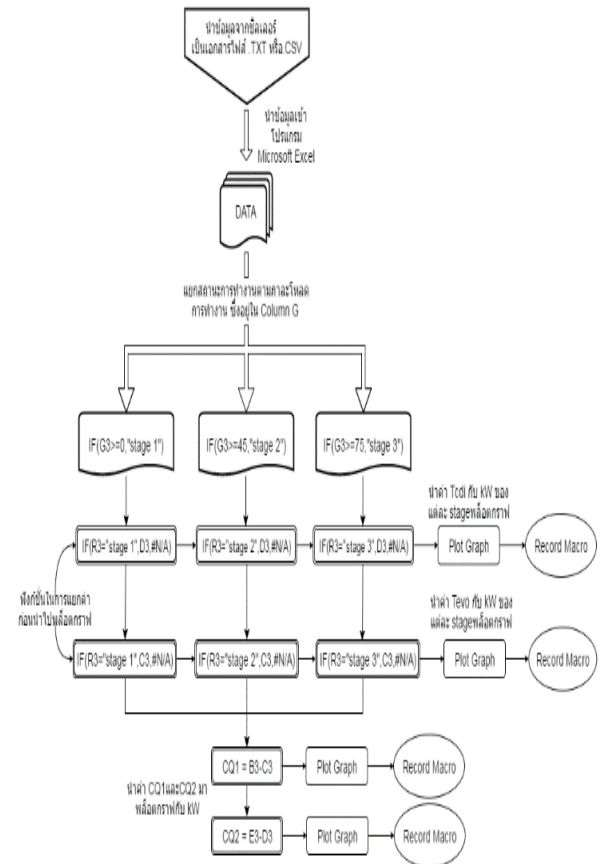
เมื่อนำข้อมูลการลดอัตราการไหลที่ระดับสูงสุดมาเปรียบเทียบจะแสดงให้เห็นว่าผลต่างของอุณหภูมิฝั่งระบายความร้อนมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอธิบายจากการตรวจสอบด้วย *Interaction* ได้ว่าผลที่ทำให้ค่าของ  $T_{cdi}$  มีระดับความสัมพันธ์ที่ต่ำลงมีผลมาจากอัตราการไหลที่ลดลง ไม่ได้เกิดจากประสิทธิภาพของหอคอยระบายน้ำร้อนลดลงหรือมีการเสียหาย แต่มีสาเหตุมาจากการอุดตันของท่อหรือสาเหตุอื่นๆที่ทำให้อัตราการไหลลดลง โดยผู้ตรวจสอบจะสามารถทราบได้ทันทีและนำไปสู่การหาสาเหตุและแนวทางการแก้ปัญหาได้อย่างทันที

**5.4 แนวทางการพัฒนา macro**

เพื่อให้เป็นเครื่องมือสำหรับการใช้ในการตรวจสอบคุณภาพการทำงานของซิลเลอร์จึงต้องทำการออกแบบ Macro VBA (Visual Basic for Application) ใน Excel เพราะว่าตัวโปรแกรมมีการใช้ที่ง่ายและสะดวก และ Excel ยังเป็นโปรแกรมที่เป็นที่คุ้นเคยและใช้อย่าง

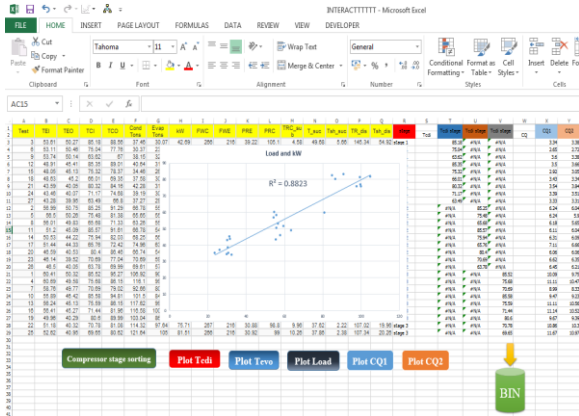
แพร่หลายในปัจจุบัน โดยมีตัวช่วยอย่างง่ายเรียกว่า Record Macro ซึ่งจะสามารถบันทึกการกระทำบน Excel ให้กลายเป็น ภาษา VBA ได้

สามารถแบ่งการเขียน Macro VBA ตามลักษณะงานได้เป็น 3 ส่วนดังนี้ 1)งานออกแบบหรือวางแผน 2)งานควบคุม 3) งานปฏิบัติการ ซึ่งขอบเขตของโครงการจะอยู่ในรูปแบบของแบบที่ 3 ซึ่งต้องทำการเขียนฟังก์ชันต่างๆที่ต้องการใช้ แล้วใช้ Record Macro เป็นตัวช่วยให้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4 แสดงการออกแบบโปรแกรมสำหรับใช้ตรวจสอบการทำงานซิลเลอร์

การออกโปรแกรมใน Excel สามารถทำได้ง่ายโดยการเขียนรูปแบบฟังก์ชัน หรือการแสดงผลที่ต้องการให้เกิดขึ้น แล้วใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Record Macro ทำการบันทึกการทำงานตามที่เราต้องการได้อย่างง่ายดาย โดยมีขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมดังแผนผัง



รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างโปรแกรมสำหรับใช้ตรวจสอบการทำงานของซิลเลอร์

**6.สรุปผล**

การพัฒนาการหาปฏิสัมพันธ์สำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินการทำงานของซิลเลอร์เบื้องต้น โดยการใช้ทฤษฎีการหาความสัมพันธ์ของข้อมูล (Pearson’s correlation) โดยการนำค่าตัวแปรทั้งหมด 9 ตัวแปรมาทำการหาปฏิสัมพันธ์กับค่า kW การใช้ไฟฟ้าโดยทำการออกแบบโดยผ่านข้อมูลที่ปราศจากความผิดพลาดและนำมาตรวจสอบกับข้อมูลที่มีความผิดพลาดอยู่นั้น พบว่า Interaction สามารถใช้ได้จริงกับซิลเลอร์ที่มีการทดสอบขึ้นในห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐานระดับโลก ซึ่งได้ทำการวิจัยผ่านงานวิจัย ASHRAE RP-1043 และการใช้โปรแกรม Macro VBA ใน Excel เพื่อให้ออกมาเป็นเครื่องมือที่สะดวกและรวดเร็วต่อผู้ใช้หรือผู้ดูแลอาคาร โดยเป็นการสร้างมาตรฐานในการตรวจสอบ เพื่อยกระดับการใช้พลังงานภายในอาคารให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เป็นเพียงการตรวจสอบจากข้อมูลที่ได้มาตรฐานจากสมาคมปรับอากาศสหรัฐอเมริกาเพียงเท่านั้น เพื่อเป็นการสร้างมาตรฐานให้กับการตรวจสอบการทำงานระบบซิลเลอร์ จำเป็นต้องทำการทดสอบกับซิลเลอร์จริงที่ถูกใช้ในอาคารของประเทศไทยซึ่งอยู่ในขอบเขตของงานวิจัยถัดไป

**7.เอกสารอ้างอิง**

[1] Woradechjumroen, D. Li, H., and Yu, Y. (2016). Soft-repair technique for solving inherent oversizing effect on multiple RTUs.

*Building and Environment* vol. 108, 2016, pp. 47 – 62.

[2] Widsankun, W., Woradechjumroen, D. and Eiamworawutthikul, C. (2016). Power Consumption Modeling of building and chiller systems utilizing Smart Building Energy Solutions Technologies, paper presented in the ME-NETT 30, 2016, Thailand.

[3] Widsankun, W., Woradechjumroen, D. and Tongshoob, T. (2016). Utilizing BAS and Online Power Monitoring for Chiller Operation Optimization, paper presented in the ME-NETT 30, 2016, Thailand.

[4] S Power Team. (2014). *Water Balance* URL: <http://www.spowerteam.co.th>

[5] Comstock, M.C. and Braun, J.E. (1999). Experimental data from fault detection and diagnostic studies on a centrifugal chiller, ASHRAE Research Project 1043-RP 1999.

[6] Woradechjumroen, D. Li, H., and Yu, Y. (2015). Energy interaction among HVAC and supermarket environment, *International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering*, Vol 8 (12), 2014, pp. 1119-1126.