

การสร้างแบบจำลองระบบчилเลอร์โดยการใช้เทคโนโลยีการแก้ปัญหาพลังงานในอาคารแบบชาญฉลาด

Power Consumption Modeling of a chiller system utilizing Smart Building Energy Solutions Technologies

วสุก วิษณุสันต์กุล¹, เด่นชัย วรเดชจำเริญ^{1*} และ ชลธิศ เอี่ยมวรวิมลกุล¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมระบบเครื่องกลและนวัตกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม บางเขน 2410/2 ถนนพหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

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

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการอนุรักษ์พลังงานในอาคารส่วนใหญ่ดำเนินการโดยการดูแลและบำรุงรักษาให้อุปกรณ์คงประสิทธิภาพหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมไปถึงการควบคุมการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงเพื่อลดพลังงานที่สูญเสียที่ไม่จำเป็นและไม่ส่งผลกระทบต่อความสะดวกสบายของผู้ใช้อาคาร ดังนั้นเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ลดความผิดพลาดที่เกิดจากการบันทึกข้อมูลของทีมงาน รวมไปถึงค่าใช้จ่ายจากการจัดการทีมงาน Building Automation System (BAS) คือหนึ่งในวิธีของ smart building energy solutions technologies (S-BEST) ที่สามารถยกระดับการจัดการแบบเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม BAS ที่ใช้ในประเทศไทยค่อนข้างจะมีขอบเขตการใช้งานที่จำกัดเช่น BAS ในบางอาคารไม่สามารถควบคุมผ่านห้องควบคุม และยังไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลแบบออนไลน์ได้ ทำให้เกิดอุปสรรคในการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอการแก้ปัญหาด้วยการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำหลักการ S-BEST ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการพลังงานในอาคารแบบชาญฉลาด เป็นการนำข้อมูลและเทคโนโลยีที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดผลมากที่สุดโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระบบดั้งเดิมของอาคาร งานวิจัยนี้จะครอบคลุมแนวทางการนำข้อมูลจากวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบ BAS และระบบ chiller monitoring รวมถึงการพัฒนาแบบ data mining เพื่อตรวจสอบ และลดความผิดพลาดของข้อมูลสำหรับการหาแบบจำลองการใช้พลังงานของระบบчилเลอร์ จากผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองที่ได้มีประสิทธิภาพสูงโดยมีค่าความแม่นยำสำหรับการคาดการณ์ค่าสูงกว่า 90% ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ fault detection and diagnosis (FDD) สำหรับчилเลอร์ รวมถึงทำการหาจุดคุ้มทุนการทำงานต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก: BAS; чилเลอร์; การจัดการพลังงาน; Online Power Monitoring; S-BEST

Abstract

Nowadays, conventional energy management has been conducted by typical preventative maintenance for retaining efficient machine operations or by changing the inefficient equipment to a higher efficiency. The mentioned method includes the energy management control of actual building occupants for reducing waste energy use, while this decreasing energy policy does not affect thermal comfort of conditioned spaces. In order to enhance efficient energy use, reduce errors of manually recorded data including the reduction of management team cost, building automation system (BAS) is one of smart building energy solutions technologies (S-BEST) which can be used to efficiently leverage the conventional management method. However, some BAS systems installed in Thailand have limited functions; for example, BAS cannot be used to control the decentralized controller of each machine via a central room control, and cannot be utilized to record real-time data. These situations

lead to the obstruction for improving energy management efficiently. This paper presents the solution by means of the concept of S-BEST which is an innovative smart energy management; the proposed approach utilizes the existing data and technologies for the greatest effect without original system intervention called a non-invasive technique. The applied data of this research are obtained from the BAS and chiller monitoring system of a building prototype, and include the development of data mining system for investigating and decreasing collected data errors caused by faulty operations of chiller operations. The data and information can be used to generate chiller power consumptions. The findings are that the proposed chiller models are potential and accurate enough to be further applied in fault detection and diagnosis (FDD) applications, and can be used to compute optimization conditions of the chiller operation efficiently.

Keywords: BAS; Chiller; Energy Management; Online Monitoring; S-BEST.

1. บทนำ

การบริหารจัดการพลังงานในอาคารขนาดใหญ่ มีความยุ่งยากและซับซ้อนอย่างมากในการจัดการข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความผิดพลาดการทำงานของเครื่องจักรขนาดใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบปรับอากาศแบบчилเลอร์ ซึ่งความผิดพลาดสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาถ้าเครื่องจักรขาดการเดินเครื่อง และการบำรุงรักษา (Operation and Maintenance) ที่เหมาะสม เมื่อเครื่องจักรเกิดชำรุดหรือมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น จะมีผลให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลง การค้นหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขใช้เวลาอันส่งผลกระทบต่อความสะดวกสบายของผู้ใช้อาคาร และค่าไฟฟ้าที่สูงเกินความจำเป็น

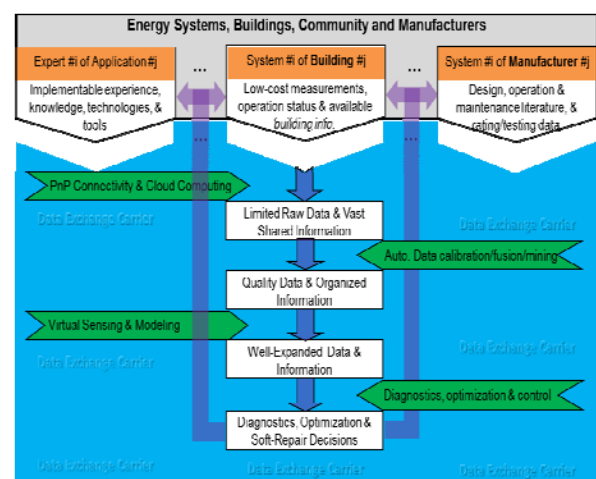
ดังนั้นเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ลดความผิดพลาดที่เกิดจากการบันทึกข้อมูลของทีมงานรวมไปถึงค่าใช้จ่ายที่การจากการจัดการทีมงาน ระบบอาคารอัตโนมัติ หรือ Building Automation System (BAS) คือหนึ่งในวิธีของ smart building energy solutions technologies (S-BEST) ที่สามารถยกระดับการจัดการพลังงานแบบเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจุบันในประเทศกำลังพัฒนายังขาดการใช้ระบบ BAS ให้ได้ประสิทธิผล โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์ข้อมูลบันทึกการทำงานของระบบчилเลอร์มาใช้ในการวิเคราะห์ S-BEST เป็นเทคนิคที่ถูกดัดแปลงมาจาก Smart building solutions (SBS) ที่ถูกพัฒนาโดย Prof. Dr. Haorong Li และติดตั้งใช้ใน Smart Building Laboratory (SBL), University of Nebraska -

Lincoln, USA เพื่อให้เหมาะสมกับระบบ BAS ในประเทศไทย [1]

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพิจารณาการใช้ข้อมูลของระบบчилเลอร์ที่ได้รับระบบ chiller monitoring และจากระบบ BAS มาใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการถดถอยแบบพหุนามซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการหาแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคาร [2 - 5] เพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการหาจุดการทำงานที่ดีที่สุดของчилเลอร์ (chiller optimization) หรือการตรวจจับและวิเคราะห์ความผิดพลาด (fault detection and diagnosis, FDD) สำหรับงานวิจัยถัดไป โดยผลการตรวจความผิดพลาดสามารถประหยัดพลังงานได้สูงถึง 30-50% ของพลังงานที่สูญเสียไป [6]

2. Smart Building Energy Solution Technologies (S-BEST)



รูปที่ 1 องค์ประกอบรวมของระบบ S-BEST [7]

S-BEST คือ การเทคโนโลยีเพื่อใช้แก้ปัญหาพลังงานในอาคารแบบชาญฉลาดโดยที่ไม่พยายามไปยังเกี่ยวกับระบบเดิม หรือทำให้ระบบเดิมมีปัญหาน้อยที่สุด (non-invasive) รวมถึงนำเทคโนโลยีที่มีอยู่ในอาคารมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานและการควบคุมดูแลระบบต่างๆ ในอาคารเช่น ระบบพลังงาน ระบบปรับอากาศ และอื่นๆ ดังนั้น S-BEST มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในประเทศไทยหรือประเทศที่กำลังพัฒนาเนื่องจากการใช้ต้นทุนที่ต่ำแต่ได้ประสิทธิภาพที่สูง โดย S-BEST สามารถถูกพัฒนาให้มีความสามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างต่อเนื่องในรูปแบบ plug-and-play (PnP) คือลดการใช้เซนเซอร์การตรวจวัดที่ไม่จำเป็น และใช้ระบบแบบจำลอง (modeling technology) เรียนรู้พฤติกรรมของอาคารด้วยตัวมันเอง S-BEST มุ่งจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาการเชื่อมต่อของผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการดูแลอาคาร โดยที่กลุ่มที่เกี่ยวข้องสามารถเข้าถึงพื้นที่การจัดเก็บข้อมูลของระบบอาคารผ่าน ระบบ cloud computing หรือ BAS ที่ใช้สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดหรือการควบคุมแต่ละจุดที่มีการติดตั้งตัวส่งสัญญาณ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หรือวินิจฉัยระบบเพื่อการตัดสินใจหรือซ่อมแซมระบบอาคารที่มีความผิดปกติ โดยที่ผู้ดูแลอาคารสามารถประเมินหรือวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอาคารผ่านข้อมูลโดยรวมที่เก็บไว้ ซึ่งยังสามารถใช้เป็นเกณฑ์สำหรับตรวจสอบการใช้พลังงานของอาคารที่มีระบบใกล้เคียงกัน และสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาปรับใช้ให้อาคารมีประสิทธิภาพสูงขึ้น S-BEST ดังแสดงในภาพที่ 5 ประกอบด้วย

2.1 Data Exchange Carrier

มีหน้าที่หลักคือ 1) เชื่อมต่อระบบจัดเก็บข้อมูล เพื่อทำการแบ่งปันข้อมูลและขยายการจัดการพื้นที่เก็บข้อมูลแบบไม่จำกัด 2) ใช้ดูแลระบบอาคารในลักษณะฐานข้อมูล Cloud Computing โดยสามารถเรียกใช้ได้ตามที่ต้องการผ่านระบบเชื่อมต่อแบบออนไลน์ 3) ช่วยในเรื่องการกำหนดค่าและการเรียกใช้อุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการตรวจสอบหรือประเมินพลังงานของอาคารที่อยู่ในการควบคุมพร้อมทั้งรายงานการทำงานต่างๆ ภายในระบบ

ระบบ BAS เป็นหนึ่งในระบบ data exchange carrier ที่ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ web-based application ผ่านรหัสของระบบ BAS เป็นระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศมา

ประยุกต์ใช้ เพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับการตรวจสอบและควบคุมการทำงานของระบบอาคารต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อทำให้เกิดผลดังต่อไปนี้คือ 1) ควบคุมสภาพอากาศและระดับแสงสว่างที่เหมาะสมกับผู้ที่อยู่ในอาคาร 2) ควบคุมการใช้พลังงานของอาคารผ่านระบบคอมพิวเตอร์อย่างมีประสิทธิภาพและ 3) บริหารจัดการอาคารมีประสิทธิภาพด้วยการจัดเก็บข้อมูลที่แม่นยำ ง่ายต่อการวางแผนการซ่อมบำรุงและตัดสินใจ

2.2. Automated Data Calibration and Data Mining

ระบบนี้เป็นระบบอัตโนมัติเพื่อลดหรือขจัดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตรวจวัดในจุดต่างๆ หรือการเลือกกลุ่มข้อมูลเท่าที่จำเป็น ซึ่งความผิดพลาดของข้อมูลที่ตรวจวัดเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน เนื่องจากค่าที่วัดได้นั้นไม่ตรงตามค่าความเป็นจริง จึงส่งผลกระทบต่อวิเคราะห์และวินิจฉัยเพื่อหาแนวทางอนุรักษ์พลังงานผิดพลาดไป โดยระบบจะชดเชยค่าความผิดพลาดแบบอัตโนมัติด้วยการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า error และค่าการตรวจวัดจริงในรูปแบบสมการถดถอยแบบง่าย

2.3 Virtual Sensing and Modelling Technology

คือการสร้างแบบจำลองเสมือน และเทคโนโลยีแบบจำลองเพื่อใช้ในการขยายขอบเขตข้อมูลการวัดโดยอาศัยข้อมูลที่สามารถวัดได้จากระบบเดิมหรือระบบควบคุมของเครื่องจักร ด้วยการใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ จากที่กล่าวจะทำให้เราได้ข้อมูลที่มากขึ้น พร้อมทั้งมีข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ระบบที่ดีขึ้น ส่งผลต่อการจัดการประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.4 Automated Diagnostics, Decision-making and Soft-repair Technology

คือ ระบบการตรวจสอบความผิดพลาดอัตโนมัติ (AFDD) ซึ่งในปัจจุบันมีบทบาทสำคัญมากเกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาอุปกรณ์ระบบระบบการปรับอากาศและทำความเย็น ซึ่งการใช้ AFDD สามารถช่วยลดการสูญเสียของพลังงานที่เกิดจากการทำงานผิดพลาดของระบบได้ถึง 30% [6] และยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ รวมไปถึงการลดค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียในการบำรุงรักษาถึง 70% ต่อปี [1] แบ่งเป็น

1) การตรวจสอบความผิดพลาดของระบบ(Fault Detection) เป็นขั้นตอนแรกในการตรวจสอบความ

ผิดพลาดของระบบโดยจะตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์

2) การวินิจฉัยความผิดพลาดของระบบ(Fault Diagnosis) เป็นการวินิจฉัยระบบสืบเนื่องต่อจาก fault detection เพื่อระบุสาเหตุและตำแหน่งของการเกิดความผิดพลาดในระบบ และ

3) การกู้คืนระบบ (Process Recovery) คือ การประเมินความสำคัญของผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบ แล้วทำการตัดสินใจเพื่อแก้ไขปัญหาและลดผลกระทบที่เกิดจากความผิดพลาดหรือกู้คืนประสิทธิภาพของระบบให้ดีขึ้นกว่าเดิมหรือดียิ่งกว่าโดยใช้เทคนิค optimization เนื่องจากระบบ BAS ของประเทศไทยไม่ได้เป็นระบบ feedback control จึงไม่สามารถใช้การควบคุมแบบเปลี่ยนแปลงได้ในการกู้คืนประสิทธิภาพของระบบคืน

3. ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล และดำเนินการ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ S-BEST กับระบบอาคารจริงสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

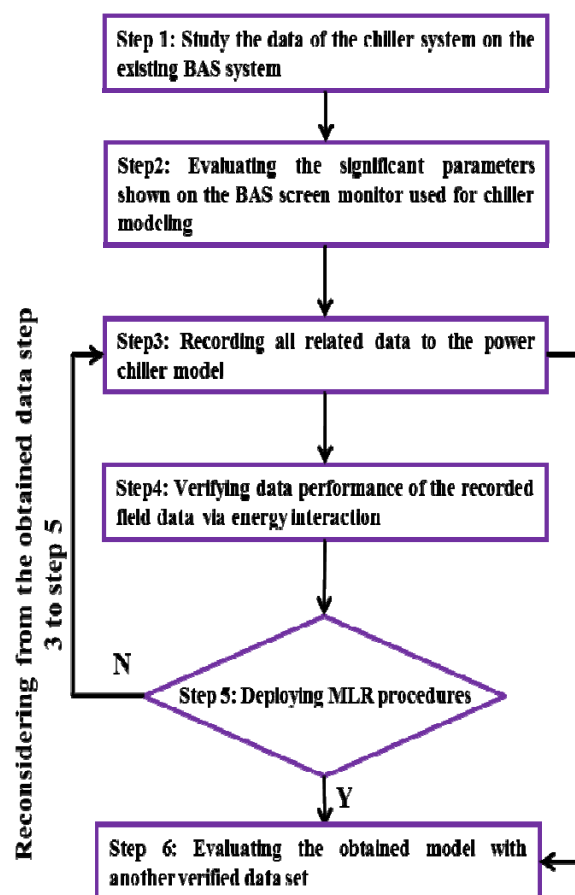
ส่วนที่ 1 การศึกษา data exchange carrier จากรูปแบบระบบ BAS โดยตัวอย่างค่าตัวแปรที่แสดงผลบน monitor ของระบบ BAS แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากระบบ BAS

Parameters	Refrigerant-side		Water-side	
Evaporator	ความดัน	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ เข้า	อุณหภูมิ ออก
		อุณหภูมิ	อุณหภูมิ เข้า	อุณหภูมิ ออก
Condenser	ความดัน	อุณหภูมิ	อุณหภูมิ เข้า	อุณหภูมิ ออก
Load	% การทำงานของระบบ chiller			
kWh	หน่วยการใช้ไฟฟ้า			

ส่วนที่ 2 การพัฒนาระบบ data mining สำหรับการประเมินข้อมูลที่ได้จาก field test ของระบบ BAS โดยการสร้าง energy interaction analysis [7] เนื่องจากข้อมูลที่ทำการบินที่จากระบบ BAS เป็นข้อมูลที่ได้จากเดินเครื่องที่อาคารซึ่งมี fault รวมอยู่ ทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลได้กล่าวไปใช้งานได้ทันที data mining คือการคัดกรองเฉพาะข้อมูลที่ไม่มีความผิดพลาด (fault-free data) หรือมีความผิดพลาดน้อย โดยใช้ทฤษฎี energy interaction ในการคัดกรอง fault เบื้องต้น

ส่วนที่ 3 การพัฒนาระบบ modeling technology หรือ virtual sensors โดยการใช้ข้อมูลจากส่วนที่ 2 เพื่อการคำนวณ kWh ของซิลเลอร์ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ FDD เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่สูงกว่าค่าปกติ และใช้ในการคำนวณค่าหน่วยไฟฟ้าล่วงหน้าตามขั้นตอนการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ก่อนทำการปรับแต่งจุดคั่นพุนที่ดีที่สุดของระบบซิลเลอร์ (optimization) ในส่วนที่ 4 ซึ่งไม่ได้ทำการพิจารณาในงานวิจัยนี้



รูปที่ 2 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลและการหาแบบจำลองค่า kWh ของระบบซิลเลอร์

จากรูปที่ 2 คือ flowchart การดำเนินงานเทคนิค S-BEST ประกอบด้วยทั้งหมด 6 ขั้นตอนมีดังนี้ ขั้นที่ 1 และ 2 คือขั้นตอนการศึกษา data exchange carrier จากระบบ BAS ของอาคาร ขั้นที่ 3 และ 4 คือการทำ data mining สำหรับการลดความผิดพลาดของข้อมูล ขั้นที่ 5 คือการดำเนินการสร้างแบบจำลองด้วย multiple linear regression (MLR) โดยที่ถ้าค่า R^2 ในการวัดความถูกต้องด้วย coefficient of determination (R^2) ของ

แบบจำลองต่ำกว่า 70% แสดงว่าข้อมูลที่ได้มีค่า fault จากการรันเครื่องมากเกินไป ให้ย้อนการพิจารณาข้อมูลใหม่ที่ขั้นที่ 3 ในทางตรงกันข้าม ถ้าแบบจำลองที่ได้มีความถูกต้องสูงกว่า 70% สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลชุดใหม่ได้ในขั้นตอนที่ 6

4. การหาแบบจำลองซิลเลอร์

4.1 การทำกำหนดตัวแปรและการทำ data mining

ขั้นตอนการหาแบบจำลองเริ่มจากการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญกับระบบซิลเลอร์โดยทำการพิจารณารูปแบบของสมการ MLR ในสมการที่ 1

$$kWh = a \times T_{evo} + b \times T_{cdi} + c \times Load + d + e \quad (1)$$

โดยค่าตัวแปรอิสระคือ T_{evo} คืออุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจาก evaporator, T_{cdi} อุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้า condenser, Load คือ %โหลดการทำงานของซิลเลอร์ และ e คือ ค่าความผิดพลาดที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, โดยมี a , b , c และ d คือค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง MLR

จากตัวแปรในสมการที่ 1 สามารถนำมาตรวจสอบ fault จากข้อมูลจากกันรันซิลเลอร์ด้วย interaction analysis ดังแสดงในตารางที่ 2 ถ้าค่าความสัมพันธ์ของ Pearson's correlation ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในตาราง ให้ทำการตัดออกจากข้อมูลรวมก่อนการนำข้อมูลไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ตารางที่ 2 การตรวจสอบ interaction analysis

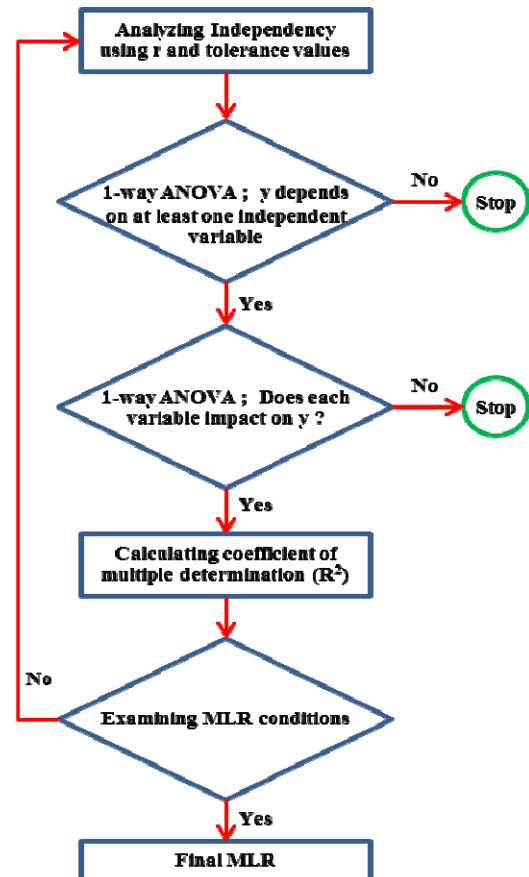
Parameters	Pearson's correlation level และ Interaction
T_{cdi}	ระดับกลาง
อุณหภูมิที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำยาให้ควบแน่นกลับมาเป็นของเหลว ถ้ามีค่าสูงจะก่อให้เกิดค่า kWh สูงตาม	
T_{evo}	ระดับกลาง
อุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากซิลเลอร์ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่ air-handling unit	
Load	ระดับสูง
เมื่อโหลดมีการใช้งานมากจะทำให้ค่า kWh สูงตาม	

Note: ระดับต่ำ (0-0.50), ระดับกลาง (0.51-0.89) and ระดับสูง (0.9-1.0) [8, 9]

4.2 ขั้นตอนการสร้าง MLR

ตารางที่ 3 การตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกันด้วย Tolerance value ($1-R^2$)

$1-R^2$	T_{cdi}	T_{evo}	Load
T_{cdi}	0.00	0.97	0.47
T_{evo}	0.97	0.00	0.75
Load	0.47	0.75	0.00



รูปที่ 3 ขั้นตอนการสร้าง MLR

ขั้นตอนการสร้าง MLR ตาม flowchart รูปที่ 3 มีขั้นตอนได้การดำเนินการดังนี้

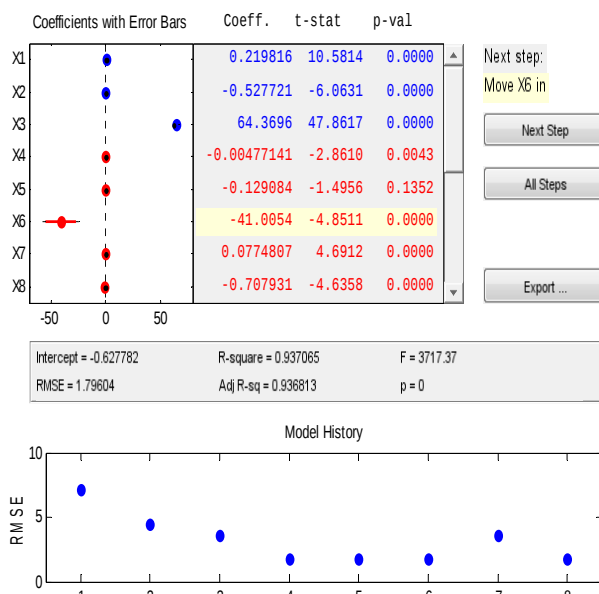
1. จากข้อมูลที่ได้ทำการตรวจสอบแล้วให้ทำการเช็คค่า independency โดยการคำนวณ ค่า Tolerance หรือ $1-R^2$ ถ้าค่านี้สูงกว่า 0.10 ถือว่าตัวแปรอิสระทั้ง 2 ค่ามีความเป็นอิสระต่อกัน [8] ตัวแปรอิสระทั้ง 2 มีความเหมาะสมในการใช้สร้าง MLR
2. ทำการตรวจสอบว่าตัวแปรตามขึ้นกับค่าตัวแปรอิสระที่ได้เลือกไว้อย่างน้อย 1 ค่าหรือไม่ โดยการใช้ one-way ANOVA ที่นัยสำคัญ α

3. ทำการตรวจสอบตัวแปรอิสระที่ละตัวว่ามีผลสำคัญต่อตัวแปรตามในระดับนัยสำคัญหรือไม่
4. ทำการสร้าง MLR โดยพิจารณาดัชนีความถูกต้อง R^2
5. จากนั้นให้ทำการตรวจสอบว่า MLR มีคุณสมบัติตามสมมติฐานหรือไม่

5. ผลการสร้างแบบจำลอง

5.1 การสร้าง MLR

เพื่อให้สะดวกแก่ผู้ใช้งานวิจัยนี้ดำเนินการสร้าง MLR โดยใช้ฟังก์ชัน stepwise ในโปรแกรม Matlab ที่สามารถตรวจสอบขั้นตอนการสร้าง MLR และคำนวณค่าความถูกต้องได้อย่างแม่นยำดังแสดงในรูปที่ 4

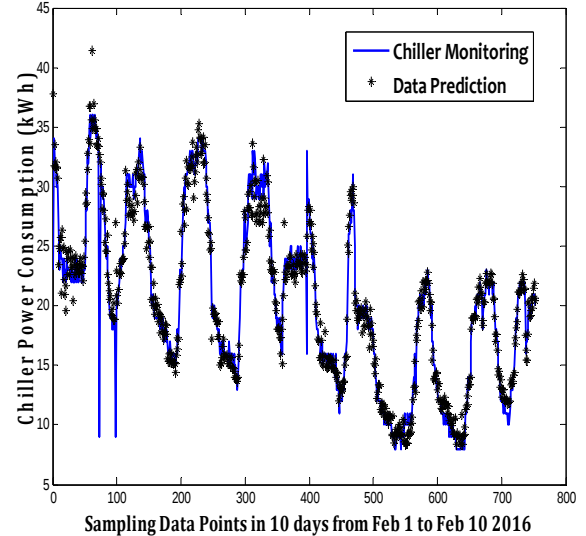


รูปที่ 4 การหา MLR ด้วยฟังก์ชัน Stepwise

จากรูปที่ 4 ตัวแปร X_1 , X_2 และ X_3 คือ T_{cdi} , T_{evo} และ Load ตามลำดับ ในขณะที่ Coeff คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1 , X_2 และ X_3 ซึ่งมีค่า $R^2 = 93.71\%$ ซึ่งถือว่าสูงมากสำหรับค่าจากการรันซิลเลอร์ ไม่ใช่จากห้อง Lab หรือ ข้อมูลผู้ผลิตที่ถือว่าเป็นข้อมูลแบบ fault-free และค่า intercept คือ ค่าเริ่มต้น ดังนั้นแบบจำลองของระบบค่ายูนิตค่าไฟฟ้าของซิลเลอร์ดังแสดงในสมการที่ 2

$$kWh = 0.339T_{cdi} - 0.669T_{evo} + 55.06Load + 1.819 + e \quad (2)$$

Comparison between chiller monitoring data and predicted data at $R^2 = 93.71\%$



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบค่า kWh ระหว่างค่าที่ได้จาก chiller monitoring และ ค่าที่ได้จากแบบจำลองตามสมการที่ 2

จากรูปที่ 5 เมื่อนำค่าที่ได้จากการบันทึก kWh ด้วย chiller monitoring มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่มีความถูกต้องที่ 93.71% พบว่าแบบจำลองมีความแม่นยำและสามารถนำไปทดแทนการวัดค่าจากมิเตอร์ได้จริง

5.2 การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการทำ optimization and FDD

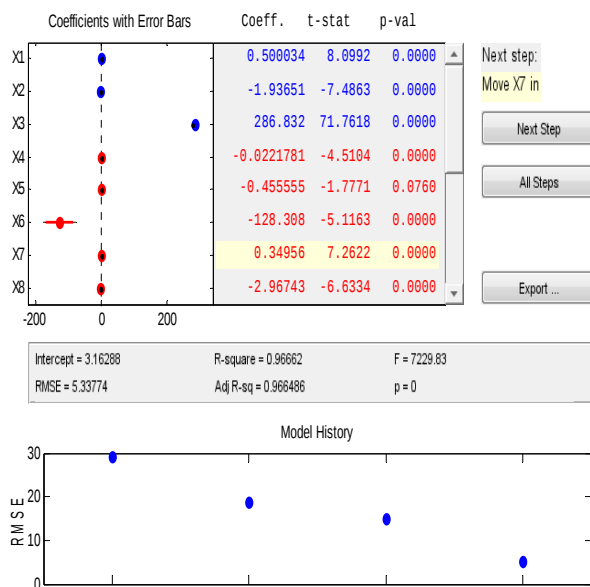
ลักษณะของการหาแบบจำลองของงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาแบบจำลองเพื่อทำการคำนวณ kWh ก่อนการ optimization ได้ เช่น จากสมการที่ 2 ถ้าผู้ควบคุมอาคารทำการควบคุมค่าหรือปรับตั้งค่า T_{cdi} ที่เครื่องซิลเลอร์ หรือค่าตัวแปรอื่นๆในสมการ จะสามารถคำนวณค่า kWh ล่วงหน้าหรือทำการหาค่า T_{cdi} ที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ค่า kWh น้อยที่สุด โดยที่สามารถทำการติดตั้งสมการที่ได้นี้เข้ากับ ฟังก์ชัน solver ใน Microsoft Excel สำหรับการคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้สะดวกมาก

5.3 การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการทำ FDD

จากสมการที่ 3 เป็นรูปแบบสมการที่ใกล้เคียงในการวิเคราะห์ FDD ที่ระบบของซิลเลอร์โดยใช้วิธีเดียวกับงานวิจัยนี้เพียงแต่ทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรอิสระให้เป็นค่า kW โดยทำข้อมูลจากหน้างานมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลแบบ fault-free นอกจากนี้ ยังสามารถแทนค่า kW ด้วยค่าลักษณะของระบบซิลเลอร์

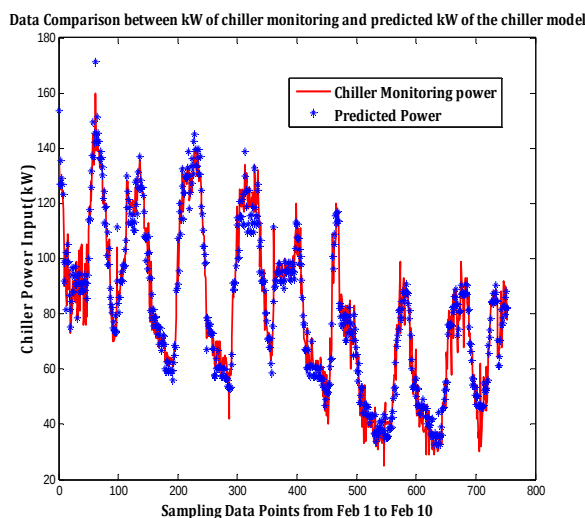
หรือ ตัวแปรอิสระอื่นๆของซิลเลอร์ได้อาติคัลเช่น ค่าแรงดันที่ evaporator หรือ condenser ได้เพื่อใช้ในการคาดเดา fault ที่ทำให้ระบบมีความดันสูงขึ้น มีผลให้ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นตาม

$$kW = 0.5T_{cdi} - 1.94T_{evo} + 286.8Load + 3.16 + e \quad (3)$$



รูปที่ 6 การหา MLR ของ kW ด้วยฟังก์ชัน Stepwise

ทำนองเดียวกับการหาแบบจำลอง kWh ในรูปที่ 4 แบบจำลองสำหรับค่า kW ที่ใช้ตัวแปรอิสระเหมือนกันมีค่าความถูกต้องที่ $R^2 = 96.67\%$ ดังที่แสดงในสมการที่ 3 ค่าที่ได้จากการคาดเดาด้วยแบบจำลองนี้แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบค่า kW ระหว่างค่าที่ได้จาก chiller monitoring และ ค่าที่ได้จากแบบจำลองตามสมการที่ 3

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบแบบจำลอง kW กับค่าที่ได้จาก chiller monitoring ซึ่งมีความแม่นยำเช่นเดียวกับแบบจำลองค่า kWh แบบจำลองที่ได้ี้สามารถนำไปใช้ต่อการสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความผิดปกติการทำงานของซิลเลอร์ต่อไปได้

6. สรุปผลการศึกษา

ข้อจำกัดของการนำเทคโนโลยีจากต่างประเทศมาประยุกต์ใช้ในการจัดการพลังงานในอาคารแบบสมัยใหม่เนื่องจาก ความไม่เข้าใจฟังก์ชันการใช้งานเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น ระบบ BAS ไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ ระบบเซนเซอร์สำหรับการตรวจวัดข้อมูลของระบบปรับอากาศไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์การทำงานของระบบรวมทั้งราคาของเทคโนโลยีที่ต้องติดตั้งเพิ่มเติมมีราคาสูงเกินจนอยากต่อการตัดสินใจ งานวิจัยนี้แสดงการประยุกต์ใช้ S-BEST ซึ่งถูกปรับเปลี่ยนเพื่อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ระบบอาคารที่มีอยู่ในอาคารมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบการประหยัดพลังงานโดยเฉพาะระบบปรับอากาศได้ที่ใช้พลังงานสูงที่สุดในอาคาร

S-BEST ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์การจัดเก็บข้อมูลจากระบบ BAS ด้วยผู้ดูแลอาคารเนื่องจาก BAS ที่มีอยู่ในอาคารที่ทำการศึกษามีไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติได้ 2) การพัฒนาระบบ component data mining สำหรับลดค่าความผิดพลาดของข้อมูลเนื่องจากการมีอยู่ของ fault ในระบบซิลเลอร์ด้วย interaction analysis และ 3) การสร้าง modeling technology เป็นแบบจำลองสำหรับคาดเดาค่า kWh ของซิลเลอร์ล่วงหน้าโดยอาศัยข้อมูลทางฟิสิกส์ของซิลเลอร์จำนวน 3 ค่าด้วยสมการ MLR โดยแบบจำลองที่หาได้มีความแม่นยำถึง 90% ซึ่งมีประสิทธิภาพมากพอสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาระบบ FDD หรือ การหาจุดทำงานที่คุ้มทุนที่สุดของระบบซิลเลอร์สำหรับงานวิจัยขึ้นต่อไปได้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานชิ้นนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานโครงงานสหกิจศึกษา โดยงานสำเร็จไปได้ดี โดยทางผู้เขียนขอขอบพระคุณ บริษัท อินโนเวชั่น เทคโนโลยี จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทั้งสถานที่ปฏิบัติงานจริง และอุปกรณ์

ตรวจวัดต่างๆ จนนำไปสู่การสร้างผลงานที่สามารถนำไปต่อยอดใช้งานได้จริง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Woradechjumroen, D. (2015). Soft-repair Technique for Solving Inherent Oversizing Effect on Multiple Packaged Air-conditioning Units, Ph.D. thesis. University of Nebraska – Lincoln, April 2015.
- [2] Woradechjumroen, D., Li, H. and Promwattanapakdee, T. (2015). Smart Building Solutions for Investigating Humidity Impact in Supermarkets, paper presented in the 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering 2016, Thailand.
- [3] Katipamula, S., Reddy, T.A. and Claridge, D.E. (1998). Multivariate Regression Modeling, ASME Solar Energy Engineering Journal, vol. 120(3), 1998.
- [4] Lam, J.C., Wan, K.K.W., Liu, D. and Tsang, C.L. (2010). Multiple Regression Models for Energy Use in Air-conditioned Office Buildings in Different Climates, Energy Conversion and Management, vol. 51(12), 2010, pp. 2692–2697.
- [5] Woradechjumroen, D., Li, H. and Yu, Y. (2014). Energy Interaction among HVAC and Supermarket Environment, World Academic of Science, Engineering and Technology, International Journal of Civil, Architectural, Structural and Construction Engineering, vol 8(12), 2014, pp. 1119-1126.
- [6] Katipamula, S. and Brambley, M.R. (2005). Methods for Fault Detection, Diagnostics and Prognostics for Building Systems: A review. Part I, HVAC&R Research, vol 11 (1), 2005, pp. 3-25.
- [7] Woradechjumroen, D. and Li, H. (2015). Building Energy Efficiency Improvement via Smart Building Solutions: Introduction to Methodologies, Advanced in Computer Science, vol. 4, 2015, pp. 980-982.
- [8] Taylor, R. (1990). Interpretation of the Correlation Coefficient: A basic review, Journal of Diagnostic Medical Sonography, vol. 6 (1), 1990, pp. 35-39.
- [9] Asuero, A.G., Sayago, A and Gonzalez, A.G. (2006). The Correlation Coefficient: An Overview, Critical Reviews in Analytical Chemistry, vol. 36, 2006, pp. 41–59.
- [10] Levin, I.P. (1999). Statistical Tests for Relationships: Correlation and Regression, In Relating Statistics and Experimental Design, 1999, pp. 33-34.