

การพัฒนาการแสดงผลแบบเรียลไทม์และระบบควบคุมสำหรับซิลเลอร์ด้วย เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

DEVELOPMENT OF REAL-TIME MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR CHILLER USING INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

ศศิธร พยัคฆ์ทอง¹, สมเกียรติ หมายถมกลาง², ณัฐพงศ์ แพน้อย^{1*}

Sasithorn Payakthong¹, Somkiat Maithomklang², Nattapong Paenoi^{1*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10530

²สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

¹Faculty of Engineering and Technology, Mahanakorn University of Technology, Nong Chok, Bangkok, Thailand, 10530

²School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Bang Phra Campus,
Si Racha, Chon Buri, Thailand, 20110

*Corresponding author e-mail: nattapong@mut.ac.th

วันที่เข้าระบบ 14 ตุลาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 4 กุมภาพันธ์ 2566

วันที่ตอบรับบทความ 4 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาและปรับปรุงการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับเครื่องควบคุมเชิงตรรกที่สามารถโปรแกรมได้หรือพีแอลซี ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมหลักในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบทำความเย็น ประกอบกับการใช้โปรแกรม 1tool ในการเขียนคำสั่งควบคุมพีแอลซี จากเดิมระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์เป็นระบบควบคุมด้วยรีเลย์เพียงอย่างเดียว ทำให้ยากต่อการปรับเปลี่ยนการทำงานของระบบควบคุม ด้วยสาเหตุดังกล่าวคณะผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาการทำงานของระบบทำความเย็นเป็น 2 ระบบ คือ (1) ระบบอัตโนมัติ และ (2) แบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม จากผลการดำเนินงานวิจัยพบว่า การตรวจสอบสถานะและควบคุมซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถทำงานเป็นไปตามขอบเขตที่กำหนด ซึ่งระบบควบคุมที่ออกแบบสามารถควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ให้ทำงานได้ทั้งแบบอัตโนมัติและสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานได้แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติภายใต้การจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบควบคุม พบว่าระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์สามารถทำงานได้ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สามารถนำข้อมูลมาประมวลผลและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, ซิลเลอร์, การแสดงผล, ระบบควบคุม, รีเลย์ไทม์

Abstract

The research aimed to develop and improve the monitoring and the control system of refrigeration or chillers through the internet network. This case study of Panuwat Engineering Service Limited Partnership used the Internet of Things (IoT) in combination with a programmable logic controller (PLC), which is a device used in the industry that acts as the main controller to control various equipment in the cooling system, along with the use of 1tool software to write PLC control commands. In the past the relay was the only source of control for the control system of the refrigerator, so it was difficult to modify the operation of the control system. As a result, the researcher designed and developed the operation of the cooling system which was divided into 2 systems: an automatic system and a manual control system through the display on the control panel. The results showed that the monitoring and controlling of chillers using IoT technology could operate as planned. The designed control system could control the chillers to work both automatically with the PLC and manually with the display on the control panel. In addition, users could also check the status and control the operation in real-time via the internet. In addition, the results of the statistical analysis under the simulation of the control system showed that the chiller control system worked 100 percent correctly. This makes it possible to process the data to solve problems quickly.

Keywords: Internet of things, Chiller, Monitoring, Control system, Real-time

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าเทคโนโลยีในปัจจุบันอยู่ในยุคของการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 หรือนิยมเรียกว่า “ยุคอุตสาหกรรม 4.0 (Industries 4.0)” ซึ่งเป็นยุคแห่งการบูรณาการโลกของอุตสาหกรรมดิจิทัล โดยการนำเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลของระบบการผลิตและการบริการทำให้การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการทำงานได้รวดเร็ว และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยีที่ใช้ในอุตสาหกรรม (Xu *et al.*, 2018) นอกจากนี้อุตสาหกรรม 4.0 ยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจและช่วยพยุงการเติบโตของอุตสาหกรรมในอุตสาหกรรมการผลิตและการตรวจสอบระบบการผลิต อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of

things, IoT) เริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญสำหรับนำมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งพัฒนามาจากเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio-frequency identification, RFID) โดยถูกพัฒนาเป็นเทคโนโลยีที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างวัตถุสิ่งของหรือโครงสร้างทางกายภาพเข้ากับโครงสร้างด้านดิจิทัลหรือระบบอินเทอร์เน็ตผ่านเซ็นเซอร์ เพื่อให้เกิดการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานและวัตถุในเครือข่าย โดย IoT จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างคนกับเครื่องจักรและระหว่างเครื่องจักรด้วยกันเอง เนื่องจาก IoT มีความสามารถในการเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตที่หลากหลาย ประกอบกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นส่วนหนึ่งที่มีสำคัญต่ออุตสาหกรรม 4.0 โดยอินเทอร์เน็ตมีหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ (Nord *et al.*, 2019) จากการปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่ผ่านพบว่า การนำ IoT มาใช้งานในระบบต่าง ๆ แนวโน้มเพิ่มมากขึ้น อาทิเช่น อุตสาหกรรมและการผลิตระบบจัดการการเกษตรอัจฉริยะ ระบบคมนาคมและการจัดการโลจิสติกส์ ระบบข้อมูลสุขภาพและการแพทย์ ระบบการจัดการพลังงานและสาธารณูปโภค เป็นต้น ซึ่งปัจจัยหลักสำหรับการเลือกใช้งานเทคโนโลยี IoT ประกอบไปด้วย พื้นที่ครอบคลุมการใช้งาน อัตราเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล การใช้พลังงานของอุปกรณ์ในระบบ และลักษณะการใช้งานทรัพยากรคลื่นความถี่ (สมมาตร และนพรุจ, 2565; กาญจนา และคณะ, 2563; อภิรักษ์ และคณะ, 2563)

สืบเนื่องข้อมูลข้างต้นประกอบกับประเทศไทยมีภูมิอากาศลักษณะเป็นแบบร้อนชื้น เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 27 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2565) จึงทำให้มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ โรงแรม ห้างสรรพสินค้า หรือโรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่หรือนิยมเรียกกันในชื่อทางเทคนิคว่า “ซิลเลอร์ (Chiller)” โดยซิลเลอร์เป็นเครื่องทำความเย็นชนิดหนึ่งในระบบทำความเย็น โดยมีหน้าที่ในการทำความเย็นของเหลวหรือปรับลดอุณหภูมิของเหลว ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความเย็นส่งไปยังเครื่องปรับอากาศเพื่อผลิตอากาศเย็นสำหรับนำไปใช้งานตามความต้องการ และเนื่องด้วยกระบวนการทำงานของเครื่องจักรย่อมมีความร้อนเกิดขึ้น ดังนั้น ระบบทำความเย็นจึงถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการระบายความร้อนของไหลต่าง ๆ นั้นด้วย (Chavda *et al.*, 2014) ซึ่งกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยสนใจศึกษาและพัฒนากระบวนการทำงานของซิลเลอร์ของห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส ซึ่งเป็นบริษัทรับผิดชอบระบบซิลเลอร์สำหรับเครื่องมือแพทย์ ระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์เป็นแบบอัตโนมัติควบคุมระบบด้วยรีเลย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งรีเลย์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อวงจรโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้ยากต่อการปรับเปลี่ยนการทำงานของระบบควบคุม อีกทั้งยังเป็นระบบการทำงานแบบสั่งการด้วยมือ เมื่อระบบเกิดการชำรุดเสียหายและหยุดการทำงานก่อนผู้ควบคุมดูแลถึงจะทราบจึงส่งผลให้เกิดปัญหาตามมา

จากปัญหาข้างต้นการพัฒนาและปรับปรุงระบบควบคุมซิลเลอร์ให้สามารถควบคุมและแสดงสถานะการทำงานต่าง ๆ ของระบบผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยในการเฝ้าดูและตรวจสอบ เพื่อนำข้อมูลไปที่ประมวลผลและแก้ไขปัญหาได้รวดเร็วและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาและปรับปรุงการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ในกรณีศึกษาข้างต้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส เพื่อเฝ้าดู ตรวจสอบสถานะ และควบคุมการทำงานต่าง ๆ แบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีในภาคอุตสาหกรรมให้ก้าวทันยุคอุตสาหกรรม 4.0

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาและปรับปรุงการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในกรณีศึกษาข้างต้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส สำหรับนำข้อมูลมาประมวลผลและแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบควบคุมเครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์สำหรับตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผลและแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพการดำเนินงาน ซึ่งขั้นตอนการวิจัยประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.1 การศึกษาทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์ เครื่องควบคุมเชิงตรรกที่สามารถโปรแกรมได้ และเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อความเข้าใจสำหรับการออกแบบและพัฒนาการตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานของซิลเลอร์แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

3.1.2 พัฒนาและออกแบบระบบต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ ระบบระบบทำความเย็น วงจรควบคุมการทำงาน ตัวควบคุมการทำงาน และหน้าจอแสดงผล โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้งานในภาคอุตสาหกรรม สำหรับตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานของซิลเลอร์

3.1.3 ทดสอบการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์แบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยการเปรียบเทียบการทำงานของระบบระหว่างการสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม และการควบคุมระบบการทำงานของซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

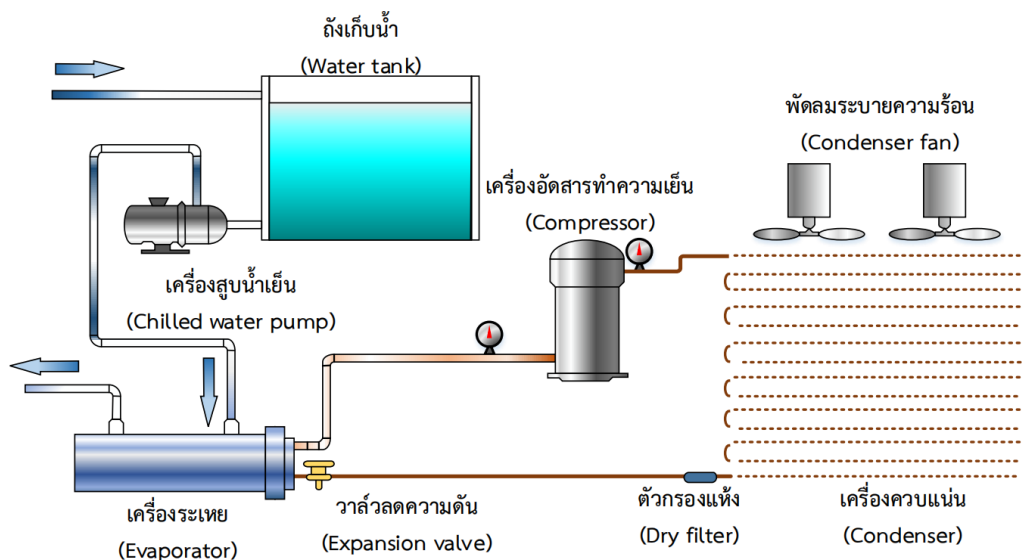
3.1.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบการทำงานของของการตรวจสอบสถานะและการควบคุมการทำงานของซิลเลอร์

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการวิจัยและทดสอบ

3.2.1 เครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์

เครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์นั้นถือได้ว่าเป็นเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ โดยการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบอัดไออาศัยหลักการของวัฏจักรทำความเย็นตามหลักทฤษฎีอุณหพลศาสตร์ ซึ่งประกอบไปด้วย 4 กระบวนการหลัก ๆ คือ กระบวนการอัด (Compression process) กระบวนการควบแน่น (Condensing process) กระบวนการขยายตัว (Expansion process) และกระบวนการระเหยหรือกลายเป็นไอ (Evaporation process) (Cengel *et al.*, 2020; Stoecker *et al.*, 1982) ซึ่งสามารถแสดงอุปกรณ์พื้นฐานและระบบการทำงานได้ดังภาพที่ 1 อย่างไรก็ตาม วัฏจักรการทำความเย็นจริงมีความแตกต่างจากวัฏจักรการทำความเย็นในอุดมคติเนื่องจากระบบจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดกลายเป็นไอหรือเกิดไอร้อนยิ่งยวดมีการเย็นตัวต่ำกว่าจุดควบแน่นของของเหลว และเกิดการสูญเสียแรงดันที่คอยล์ร้อน (Condenser) และคอยล์เย็น (Evaporator) รวมถึงสถานะของสารทำความเย็นก่อนผ่านอุปกรณ์ลดแรงดันจำเป็นต้องอยู่ในสถานะของเหลวยิ่งยวดและก่อนเข้าสู่ เครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) สารทำความเย็นจะต้องมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวด ทั้งนี้ เครื่องทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นหลากหลายประเภท แต่ประเภทที่ได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุดในอาคารสำนักงานหรือโรงงานอุตสาหกรรม คือ เครื่องทำความเย็นแบบแยกส่วน (Split type) และเครื่องทำความเย็นแบบใช้น้ำเย็น (Chiller) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาและพัฒนาเครื่องทำความเย็นแบบใช้น้ำเย็นหรือซิลเลอร์

ซิลเลอร์ที่ใช้สำหรับการวิจัยในครั้งนี้เป็นเครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำหรับทำน้ำเย็น 4 ส่วนหลัก ๆ คือ เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องควบแน่น (Condenser) วาล์วลดความดัน (Expansion valve) และเครื่องอัดไอ (Compressor) หลักการทำงานของเครื่องอัดสารทำความเย็นจะดูดและอัดสารทำความเย็นในสถานะแก๊สที่มีแรงดันสูงส่งไปยังคอยล์ร้อน ซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำงานเย็นจนมีสถานะเป็นของเหลวแรงดันสูงถูกส่งมาลดความดัน ที่อุปกรณ์ลดแรงดัน เพื่อฉีดเข้าสู่คอยล์เย็นที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น โดยสถานะของสารทำความเย็นอยู่ในอุณหภูมิอิ่มตัวและไออิ่มตัว (Chavda *et al.*, 2014)



ภาพที่ 1 ระบบการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

3.2.2 เครื่องควบคุมเชิงตรรกที่สามารถโปรแกรมได้

เครื่องควบคุมเชิงตรรกที่สามารถโปรแกรมได้ (Programmable logic control, PLC) หรือที่นิยมเรียกว่า “พีแอลซี” ถูกสร้างและพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนวงจรรีเลย์ พีแอลซีเป็นเครื่องควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถโปรแกรมได้และสามารถตอบสนองการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพ เพื่อความปลอดภัย ความสะดวก และรวดเร็ว จึงเป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมโครงสร้างของพีแอลซีโดยทั่วไปประกอบไปด้วย หน่วยประมวลผลกลาง (Central processing unit) หน่วยความจำ (Memory unit) หน่วยอินพุตและเอาต์พุต (Input and output unit) และหน่วย จ่ายกำลังไฟฟ้า (Power supply) โดยมีลักษณะการทำงานเป็นแบบลอจิก คือ 0 กับ 1 หรือเปิด-ปิด และมีไมโครโพรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมหลัก ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่าง ๆ จะต่อเข้าทางด้านอินพุตและส่วนด้านเอาต์พุตจะต่อไปใช้งานในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น รีเลย์ วาล์ว หลอดไฟ เป็นต้น

หลักการทำงานของพีแอลซีแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) ตรวจสอบสถานะอินพุต (Check input status) แล้วนำสถานะปกติของข้อมูลไปเก็บไว้ที่หน่วยความจำ (2) ประมวลผลโปรแกรม (Program executed) เป็นขั้นตอนการประมวลผลตามลำดับที่อยู่ของคำสั่งและข้อมูลของโปรแกรมผู้ใช้ และเก็บผลลัพธ์ของการประมวลผลไว้ในหน่วยความจำ และ (3) ปรับปรุงสถานะของเอาต์พุต (Update output status) โดยพีแอลซีจะปรับเปลี่ยนสถานะเอาต์พุตของโปรแกรมที่กำหนดให้เปลี่ยนไปตามสถานะที่เกิดจากการประมวลผลของอินพุตที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้พีแอลซียี่ห้อ คาเรล (Carel) รุ่น pCO5+ Medium สำหรับควบคุมการทำงานของระบบ

ทำความเข้าใจ ซึ่งมีฟังก์ชันการใช้งานที่ครอบคลุมการรองรับนาฬิกาดิจิตอลอินพุต 8 ช่อง ดิจิตอลอินพุต 14 ช่อง และมีนาฬิกาดิจิตอลเอาต์พุต 4 ช่อง ดิจิตอลเอาต์พุต 16 ช่อง รวมถึงใช้โปรแกรมที่ใช้ในการเขียนของพีแอลซีคือโปรแกรม 1tool

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิคของพีแอลซีที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูล	รายละเอียด
หน่วยประมวลผลกลาง	H8SX1651, 32 bits, 44 MHz
หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า	24 VDC
เงื่อนไขการทำงาน	-40 to 70 °C, 90% Humidity
หน่วยความจำแฟลช	4 MB
หน่วยความจำ	512 kb at 16 bits
อนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต (U)	8
อนาล็อกเอาต์พุต (Y)	4
ดิจิตอลอินพุต	12 @24 VAC, 2 @230VAC
ดิจิตอลเอาต์พุต	NO:13, NC:3
ขนาด	110×315×75 mm

3.2.3 ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ

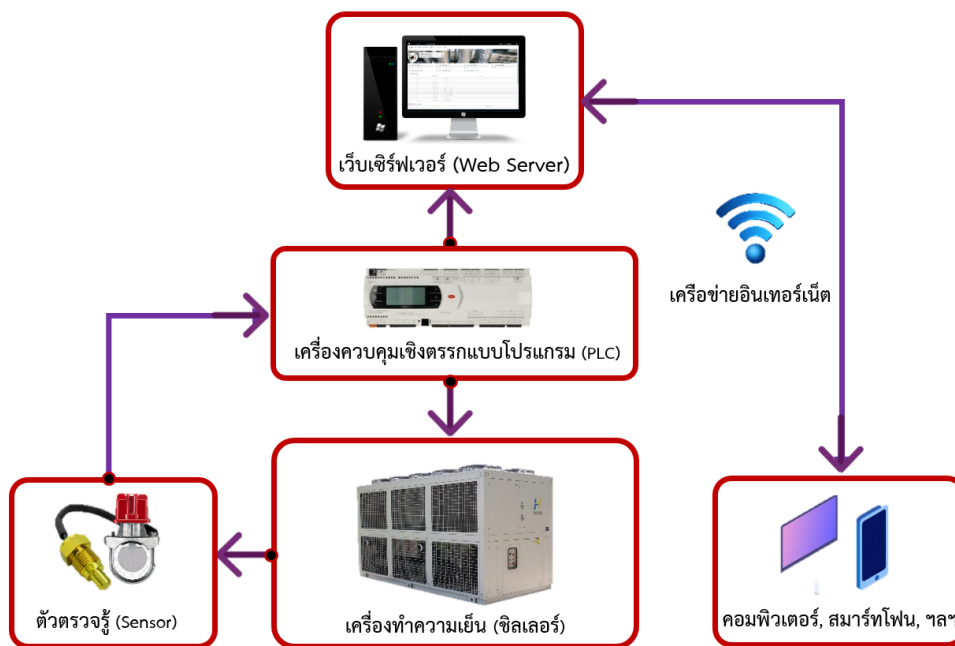
การตรวจวัดอุณหภูมิเป็นการวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ของอนุภาคในสารใด ๆ ซึ่งสอดคล้องกับความร้อนหรือความเย็นของสารนั้น และถือได้ว่าเป็นคุณสมบัติหรือตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญทางเทอร์โมไดนามิกส์ เนื่องจากเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงปริมาณพลังงานของระบบ รวมไปถึงบ่งบอกทิศทางการไหลของพลังงาน (Cengel *et al.*, 2020) โดยหน่วยของอุณหภูมิที่นิยมใช้ ได้แก่ เคลวิน (K) องศาเซลเซียส (°C) และองศาฟาเรนไฮต์ (°F) ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมินั้น จะทำการแปลงข้อมูลเชิงปริมาณหรือคุณภาพทางฟิสิกส์ของสิ่งที่ต้องการวัดไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเอาต์พุต ซึ่งสามารถอยู่ในรูปแบบของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ปริมาณกระแสไฟฟ้า ค่าความต้านทาน ค่าความจุไฟฟ้าหรือความถี่ โดยงานวิจัยนี้ใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิประเภทเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC (Negative temperature coefficient) ซึ่งเป็นตัวตรวจวัดอุณหภูมิที่ทำจากวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิแปลงไปเพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานลดลง

3.3 การออกแบบระบบเครื่องทำความเย็นโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

การดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วย การออกแบบชุดควบคุมเครื่องทำความเย็น โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การออกแบบระบบทำความเย็น การออกแบบหน้าจอแสดงผล และการออกแบบตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็น ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดสำหรับการออกแบบต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 การออกแบบชุดควบคุมเครื่องทำความเย็นโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

การออกแบบชุดควบคุมระบบของเครื่องทำความเย็นหรือซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถแสดงโดยภาพรวมได้ดังภาพที่ 2 โดยหลักการทำงานของระบบจะเริ่มจากการเขียนโปรแกรมควบคุมในคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม 1tool ภายใต้เงื่อนไขที่ต้องการและส่งโปรแกรมควบคุมดังกล่าวไปที่ชุดพีแอลซี สำหรับใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็นและส่งข้อมูลสถานะต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำในระบบ ชุดการทำงาน ทั้งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต รวมถึงตรวจสอบและควบคุมการทำงานของระบบ อาทิเช่น การสลับชุดการทำงานของเครื่องทำความเย็นหรือควบคุมการทำงานของปั้มน้ำจากระยะไกลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้อุปกรณ์มอดิเตอร์ริงในการควบคุมระบบเครื่องทำความเย็นผ่านอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ของยี่ห้อคารเทล ทำให้สามารถตรวจสอบ ควบคุม และแจ้งเตือนของระบบเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 2 แผนภาพการทำงานของชุดควบคุมระบบของเครื่องทำความเย็น (ซิลเลอร์)

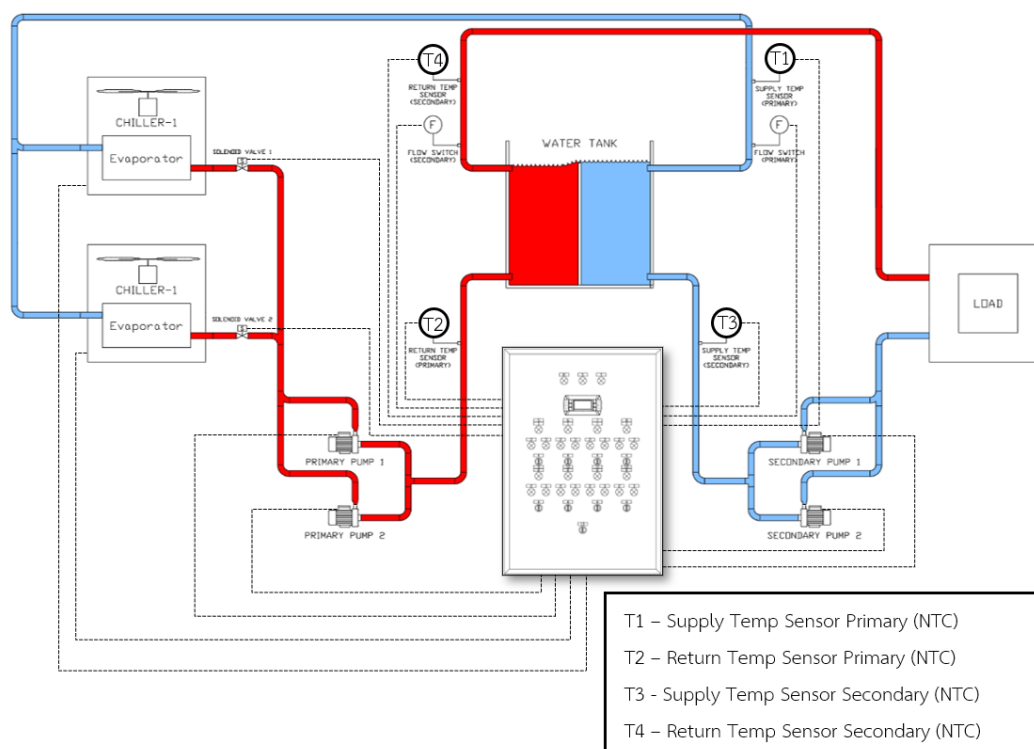
3.3.2 การออกแบบระบบทำความเย็น

การออกแบบระบบทำความเย็นในงานวิจัยสามารถแสดงรายละเอียดของวงจรในระบบทำความเย็นได้ดังภาพที่ 3 ซึ่งใช้ซิลเลอร์ที่ควบคุมการเปิด/ปิดด้วยพีแอลซีที่เชื่อมต่อกับสัญญาณแบบดิจิทัล (On/Off) ประกอบขึ้นจากระดับสัญญาณเพียง 2 ค่าที่สัญญาณระดับสูงสุดและสัญญาณระดับต่ำสุด รวมทั้งการใช้ข้อมูลจากตัวตรวจวัดอุณหภูมิและสวิตช์ตรวจจับการไหลของน้ำเป็นอินพุตป้อนให้กับพีแอลซีด้วยสัญญาณอนาล็อก และข้อมูลเอาต์พุตเป็นแบบสัญญาณดิจิทัลเพื่อสั่งการเปิด/ปิดการทำงานของอุปกรณ์ของระบบทำความเย็น สำหรับทดสอบระบบควบคุมจำนวน 2 ชุด ซึ่งควบคุมการไหลของน้ำเข้าซิลเลอร์แต่ละชุดด้วยวาล์วไฟฟ้าจำนวน 2 ตัว และใช้แบบจำลองเพื่อแสดงพฤติกรรมเหมือนซิลเลอร์ด้วยแผ่นทำความเย็นควบคุมแบบ On/Off นอกจากนี้ ระบบดังกล่าวใช้ปั้มน้ำทั้งหมดจำนวน 4 ตัว โดยแบ่งเป็นฝั่งหมุนเวียนที่ซิลเลอร์จำนวน 2 ตัว และฝั่งหมุนเวียนที่แบบจำลองไหลจำนวน 2 ตัว ประกอบกับการใช้สวิตช์ตรวจจับการไหลของน้ำจำนวน 2 ตัว เพื่อตรวจสอบการไหลของทั้ง 2 ฝั่ง และมีถังพักน้ำจำนวน 1 ถัง ซึ่งภายในถังพักน้ำถูกแบ่งออกเป็น 2 ฝั่งสำหรับแยกกระหว่างน้ำที่ผ่านการทำอุณหภูมิแล้วกับน้ำที่หมุนเวียนมาจากไหล

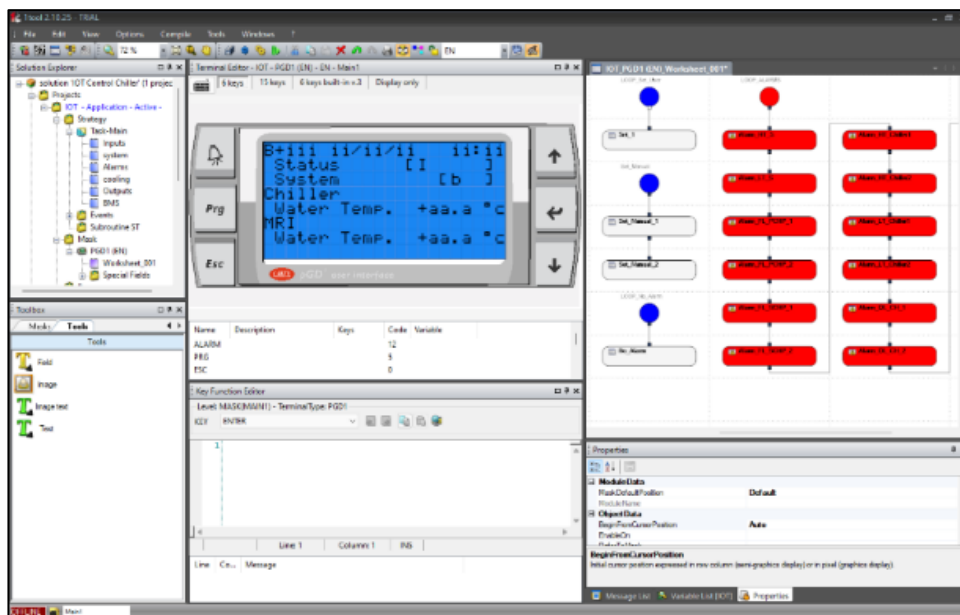
หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบเครื่องทำความเย็น ระบบปั้มน้ำในฝั่งของซิลเลอร์ทำการดูดน้ำที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการลดอุณหภูมิ โดยระบบควบคุมการทำงานจะสั่งให้วาล์วไฟฟ้าเปิดสำหรับจ่ายน้ำเข้าสู่ซิลเลอร์ เพื่อทำความเย็นแล้วส่งกลับไปยังถังพักน้ำอีกด้าน และให้ระบบปั้มน้ำฝั่งไหลจ่ายน้ำที่ผ่านการลดอุณหภูมิแล้วไประบายความร้อนของไหลแล้วส่งกลับมายังถังพักน้ำฝั่งด้านรอทำความเย็นต่อไป โดยมีจุดตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำทั้งด้านน้ำจ่าย (Supply) และด้านน้ำหมุนเวียนกลับ (Return) ของทั้ง 2 ฝั่ง รวมถึงมีจุดตรวจวัดการไหลของน้ำทางด้านน้ำหมุนเวียนกลับของทั้ง 2 ฝั่ง

3.3.3 การออกแบบหน้าจอแสดงผล

การออกแบบหน้าจอแสดงผลแบบแฮชเอ็มไอ (Human machine interface, HMI) สำหรับการแสดงสถานะและการควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็น โดยใช้โปรแกรม 1tool เขียนโปรแกรมด้วยฟังก์ชันกราฟิกของบล็อกไดอะแกรม (FBD-Function block diagram) ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมตามมาตรฐานสากลสำหรับพีแอลซี (IEC 61131-3) ในลักษณะชุดของบล็อกการทำงานที่เชื่อมต่อซึ่งกันและกัน เอาต์พุตและอินพุตที่เชื่อมต่อกันด้วยสายการสื่อสาร (Pang *et al*, 2015) ดังภาพที่ 4 โดยการใช้งานร่วมกับโปรแกรม DeviceCreator SuperVisoryPRO สำหรับแปลงไฟล์การออกแบบหน้าจอแสดงผล และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์มอดิเตอร์ริงด้วยสายการสื่อสาร (LAN ethernet) พร้อมกับเชื่อมต่อพีแอลซี เพื่อการเชื่อมต่อข้อมูลสถานะการทำงานและการควบคุมการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



ภาพที่ 3 ระบบการทำงานของชุดควบคุมระบบของเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 4 การเขียนโปรแกรมสำหรับจอแสดงสถานะการทำงานบนด้วยโปรแกรม 1tool

ในการเข้าใช้งานผ่านหน้าจอแสดงผลเพื่อเริ่มการทำงานของระบบโดยการเปิดสวิตช์ System ON/OFF ไปที่ตำแหน่ง ON ดังภาพที่ 5 (ก) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกโหมดการทำงานได้โดย

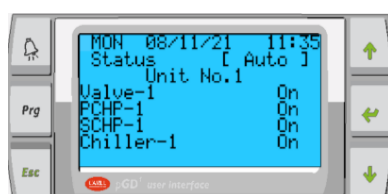
การกดตกลงให้คอร์เซอร์มากระพริบที่ตำแหน่ง Status เมื่อเลือกโหมดอัตโนมัติระบบจะทำการสั่งให้อุปกรณ์ทำงาน 1 ชุด ตามลำดับ กล่าวคือ วาล์วน้ำของซิลเลอร์ ปั้มน้ำฝั่งปฐมภูมิ ปั้มน้ำฝั่งทุติยภูมิ และทำการตรวจสอบอุณหภูมิ เพื่อสั่งให้ซิลเลอร์ทำงาน และตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ได้โดยการกดปุ่มที่มีสัญลักษณ์ลูกศรชี้ขึ้น-ลง บนหน้าจอจะแสดงสถานะการทำงานของแต่ละชุด ดังภาพที่ 5 (ข) และ (ค) นอกจากนี้ ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปกำหนดค่าเงื่อนไขการทำงานต่าง ๆ ได้ ซึ่งการตั้งค่าในส่วนแรกเป็นการตั้งค่าอุณหภูมิของน้ำและช่วงของอุณหภูมิที่สั่งให้ซิลเลอร์ทำงาน ดังภาพที่ 4 (ง) เมื่อเลือกการตั้งค่าในแบบอัตโนมัติจะสามารถกำหนดช่วงเวลาทำงานของระบบในแต่ละชุด อุณหภูมิน้ำสูงสุด และอุณหภูมิน้ำต่ำสุดที่จะเกิดการแจ้งเตือน และเข้าสู่โหมด Alarm ต่อไป รวมถึงการเปิด/ปิดการใช้งานซิลเลอร์ เมื่อเลือกการตั้งค่าในแบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุมดังภาพที่ 5 จะสามารถสั่งการทำงานของอุปกรณ์ที่ต้องการได้ทันที แต่อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้งานจะสามารถใช้งานได้เมื่อเปิดสวิตช์เป็นแบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม ภายใต้เงื่อนไขการทำงานของระบบคือ ระบบปั้มน้ำด้านปฐมภูมิจะทำงานก็ต่อเมื่อมีวาล์วน้ำทำงานอย่างน้อย 1 ชุด และระบบซิลเลอร์จะทำงานเมื่อระบบปั้มน้ำด้านปฐมภูมิทำงานแล้วเท่านั้น เพื่อป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ โดยแผนผังการทำงานของระบบทำความเย็นตามเงื่อนไขของสภาวะที่กำหนดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7



(ก)



(ข)

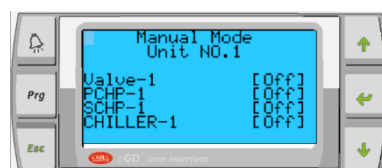


(ค)

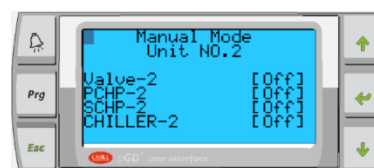


(ง)

ภาพที่ 5 หน้าต่างแสดงสถานะและการตั้งค่าการทำงานบนจอแสดงผล (แบบอัตโนมัติ)

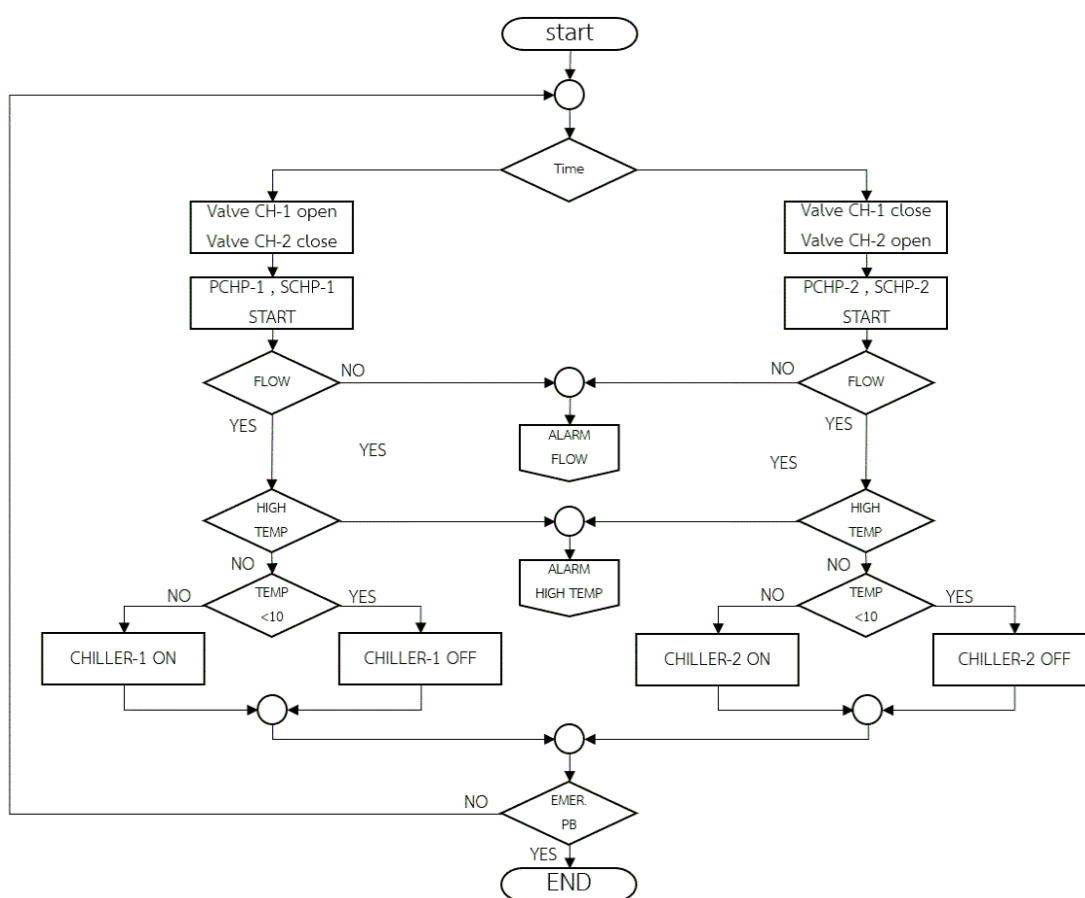


(ก)



(ข)

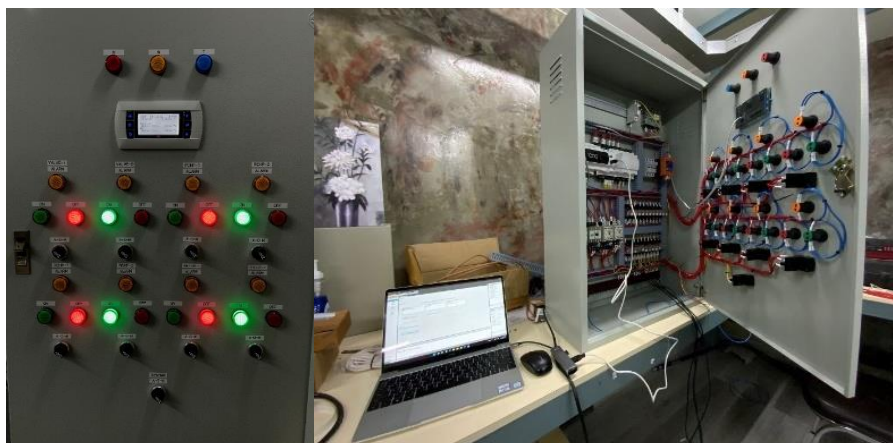
ภาพที่ 6 หน้าต่างแสดงสถานะการทำงานบนจอแสดงผล (แบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผล)



ภาพที่ 7 แผนผังการทำงานของระบบทำความเย็นตามเงื่อนไขของสถานะที่กำหนด

3.3.4 การออกแบบตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็น

การออกแบบตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็นมีขนาดความกว้าง ความสูง และความยาวเท่ากับ 64, 92 และ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยการออกแบบได้คำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความสะดวกในการติดตั้ง งานซ่อมบำรุง การเพิ่มเติมและปรับปรุงระบบ การระบายอากาศให้ ภาวะการใช้งานอุณหภูมิภายในตู้ไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดของระบบ โดยตู้ควบคุมมีสวิตช์ลูกศร 3 ทางในการเลือกรูปแบบการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ เพื่อให้ระบบ สามารถใช้งานได้เมื่อตัวพีแอลซีเกิดปัญหา และไฟแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การออกแบบตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องทำความเย็น

4. ผลการวิจัย

ผลการดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาและปรับปรุงการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส โดยการทดสอบระบบการแสดงผลและการควบคุมระบบเครื่องทำความเย็น (ซิลเลอร์) แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไข คือ การควบคุมระบบซิลเลอร์แบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม และการควบคุมระบบการทำงานของซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ภายใต้เงื่อนไขของสถานะที่กำหนดสามารถวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบได้ดังนี้

4.1 การควบคุมระบบซิลเลอร์แบบสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม

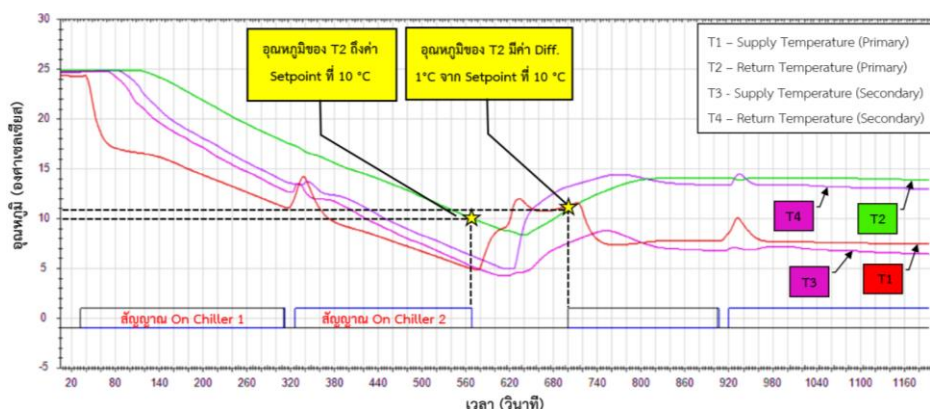
การทดสอบโดยใช้เครื่องทำความเย็นแบบใช้น้ำเย็นมาเป็นโหลดสำหรับทดสอบและใช้ซิลเลอร์ขนาด 120,000 บีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h) จำนวน 2 ชุด ซึ่งทดสอบการทำงานของซิลเลอร์ด้วยโหลดขนาด 132,000 บีทียูต่อชั่วโมง โดยเริ่มจากการใช้น้ำอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส ใช้เครื่องทำความเย็นแบบใช้น้ำเย็นขนาด 132,000 บีทียูต่อชั่วโมง จำลองเป็นโหลด และตั้งค่าอุณหภูมิ (Set point) ที่ 10 องศาเซลเซียส โดยมีตู้ควบคุมสำหรับโหมดสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม ดังภาพที่ 9 ได้สั่งงานผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม โดยเลือกโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งแสดงผลการทดลองดังภาพที่ 10

จากผลการทดลองดังกล่าวสังเกตได้ว่า เมื่อเปิดระบบทำความเย็นอุณหภูมิของน้ำมีแนวโน้มลดลงมาอยู่ที่ 10 องศาเซลเซียส ก่อนจะตัดระบบการทำงาน (ซิลเลอร์หยุดทำงาน) โดยตรวจจับที่อุณหภูมิของ T2 (Return temperature primary) ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน ณ ขณะอ่านผ่านหน้าจอแสดงผลไม่เกิน ± 1 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการการเพิ่มโหลดด้วยการเปิดเครื่องทำความเย็นทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด (Setpoint) 1 องศาเซลเซียส ตามค่าผลต่าง

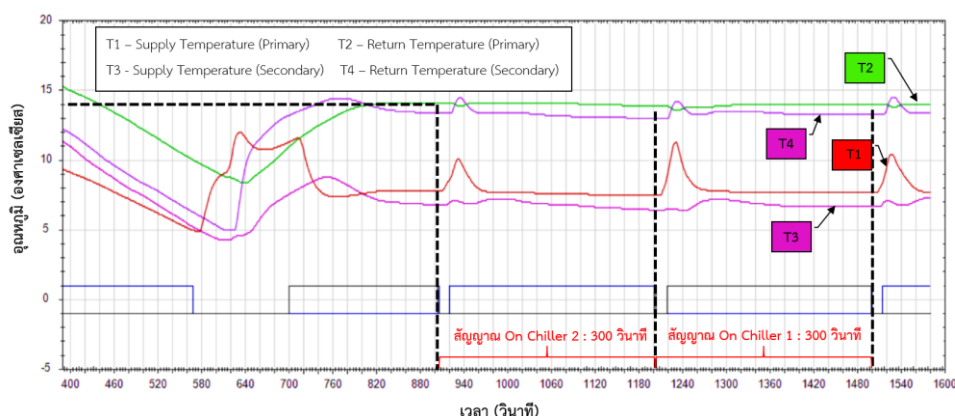
อุณหภูมิที่กำหนดไว้ระบบควบคุมจะมีคำสั่ง On Chiller เพื่อสั่งให้ซิลเลอร์กลับมาทำงานอีกครั้งด้วยการตรวจสอบเวลาการทำงานตามรอบของเวลาในการทดสอบใช้เวลาสลับทุก ๆ 5 นาที เมื่อเครื่องทำความเย็นทำงานเพื่อทำอุณหภูมิ T2 (Return temperature primary) ให้ได้อุณหภูมิที่กำหนดผลการทดสอบพบว่า ระบบทำความเย็นสามารถทำอุณหภูมิได้ใกล้เคียงตามค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งมีค่าความแตกต่างไม่เกิน ± 0.5 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 9 ตู้ควบคุมและการติดตั้งระบบเครื่องทำความเย็น



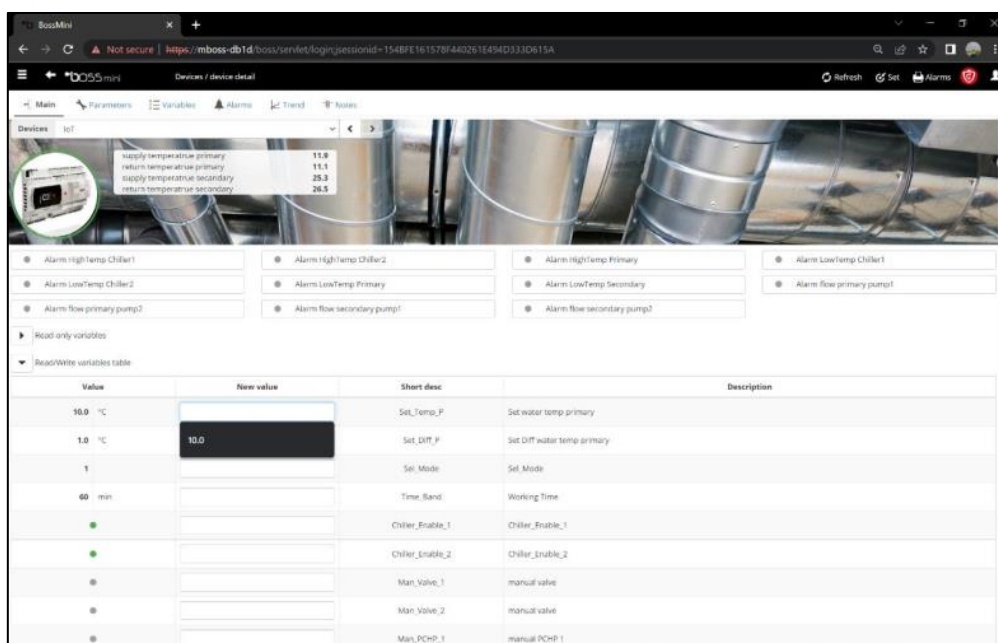
ภาพที่ 10 อุณหภูมิและสถานการณ์ทำงานของเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 11 อุณหภูมิและสถานการณ์ทำงานของเครื่องทำความเย็น

4.2 การควบคุมระบบการทำงานของซิลเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

จากการพัฒนาการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยใช้อุปกรณ์มอดิเตอร์ใช้ในการควบคุมระบบเครื่องทำความเย็นผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ของยี่ห้อคาเรล ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าสามารถตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ดังภาพที่ 12



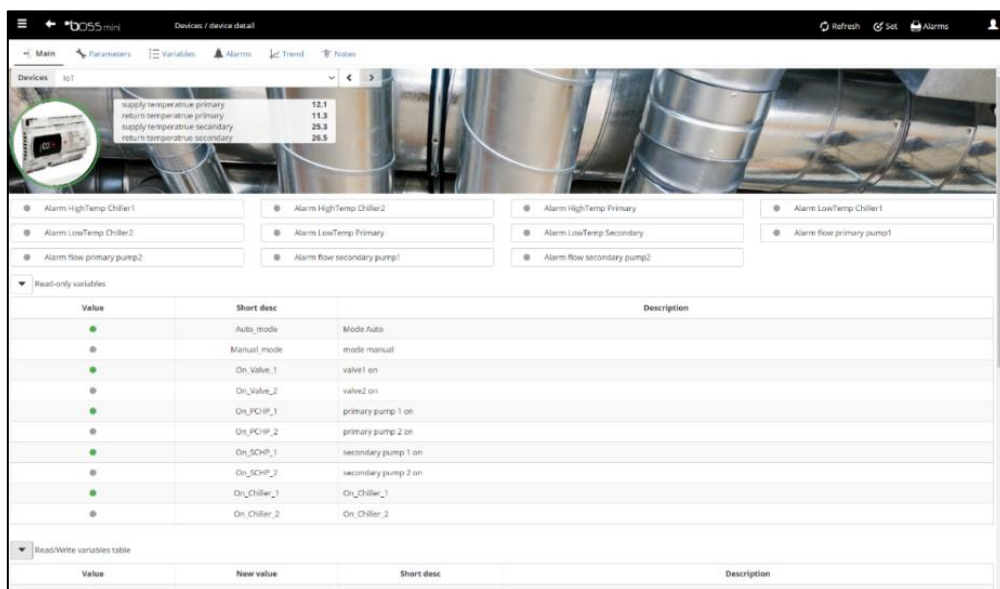
ภาพที่ 12 การตั้งค่าอุณหภูมิและเลือกสถานะการทำงานของเครื่องทำความเย็นผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์

ผลการทดสอบดังภาพที่ 13 เป็นการแสดงอุณหภูมิและสถานะการทำงานของเครื่องทำความเย็นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใต้เงื่อนไขที่สภาวะกำหนด และสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องทำความเย็นด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 14

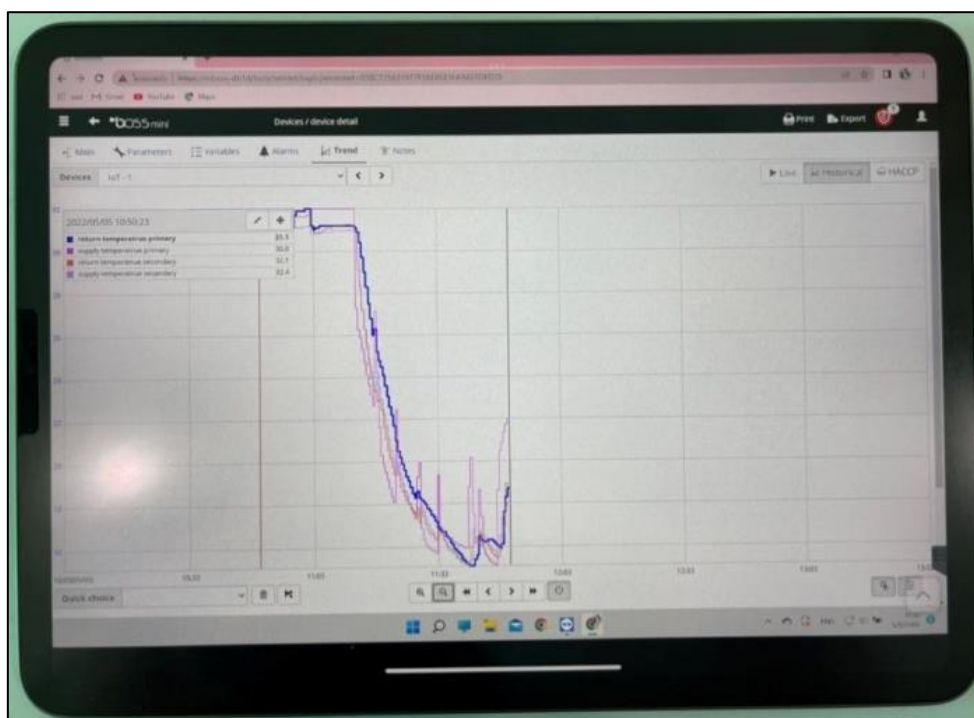
4.3 การทำงานของเครื่องทำความเย็นภายใต้สถานการณ์การจำลอง

จากการพัฒนาการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของซิลเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง รวมถึงการประเมินการทำงานของเครื่องทำความเย็นภายใต้สถานการณ์การจำลองโดยการทดสอบซ้ำด้วยสถานการณ์จำลองเดียวกันจำนวน 5 ครั้ง เพื่อประเมินความถูกต้องในการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับระบบทำความเย็น ผลจากการทดสอบพบว่า เมื่อกำหนดสถานการณ์จำลองให้กับระบบที่สภาวะอุณหภูมิน้ำสูงสุด เพื่อให้มีสัญญาณ High temp ระบบจะเกิดการหน่วงเวลา 10 วินาที ซึ่งระยะเวลาในการหน่วงนี้จะขึ้นกับความต้องการของระบบที่จะนำไปใช้งาน จากนั้นวาล์วน้ำ (Valve-1) และซิลเลอร์อีกชุด (Chiller-1)

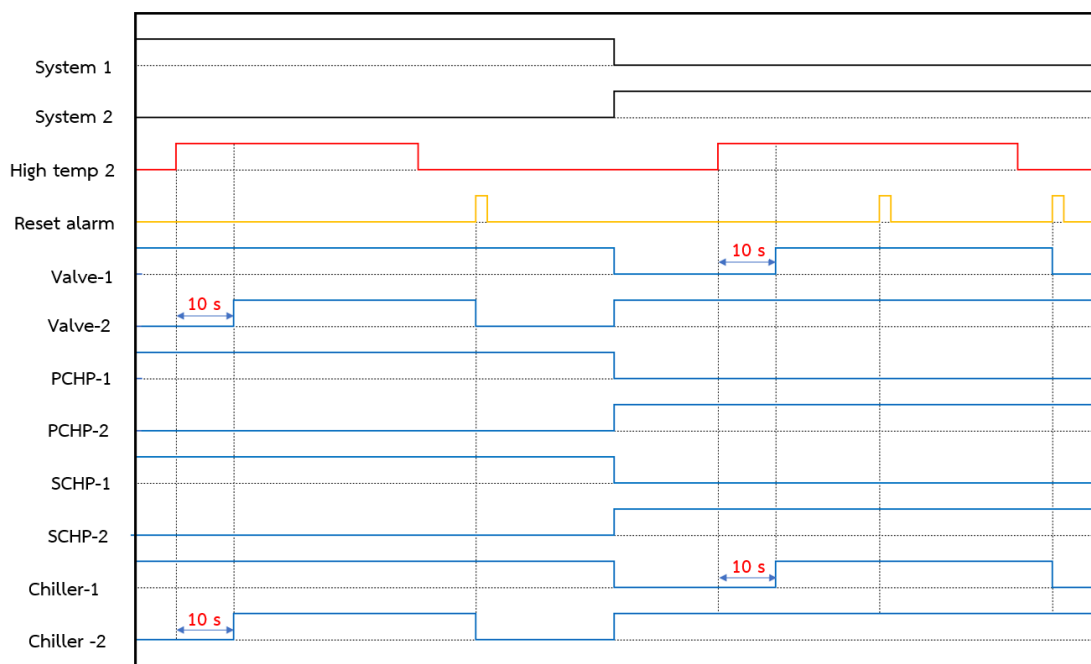
จะเริ่มทำงาน แสดงเป็นเส้นสัญญาณดังภาพที่ 15 นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติจากการทดสอบนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าการทำงานของระบบทำความเย็นนี้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สถานการณ์การจำลองที่กำหนด



ภาพที่ 13 การแสดงอุณหภูมิและสถานะการทำงานของเครื่องทำความเย็น



ภาพที่ 14 การแสดงตรวจสอบอุณหภูมิและสถานะการทำงานของเครื่องทำความเย็นผ่านอุปกรณ์



ภาพที่ 15 การแสดงผลการทำงานของเครื่องทำความเย็นภายใต้สถานการณ์การจำลอง

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากผลการดำเนินงานวิจัยเพื่อพัฒนาและปรับปรุงการตรวจสอบสถานะและระบบควบคุมการทำงานของчилเลอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานในภาคอุตสาหกรรม สำหรับกรณีศึกษาข้างต้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริ่ง เซอร์วิส ซึ่งระบบควบคุมการทำงานของчилเลอร์ในปัจจุบันเป็นแบบควบคุมระบบด้วยรีเลย์เพียงอย่างเดียว ทำให้เกิดปัญหาในการปรับเปลี่ยนการทำงานของระบบควบคุมเมื่อเกิดการชำรุดหรือเสียหายของระบบทำความเย็น โดยผลจากการดำเนินการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่า การตรวจสอบสถานะและควบคุมเครื่องทำความเย็นหรือчилเลอร์โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสามารถทำงานเป็นไปตามขอบเขตที่กำหนด ซึ่งระบบควบคุมที่ออกแบบสามารถควบคุมการทำงานของчилเลอร์ให้ทำงานได้ทั้งแบบอัตโนมัติที่สามารถสลับการทำงานได้อัตโนมัติหรือสลับเมื่อมีการแจ้งเตือนของระบบ และสั่งการด้วยมือผ่านจอแสดงผลที่แผงควบคุม อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบสถานะและควบคุมการทำงานแบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ทำให้สามารถนำข้อมูลมาประมวลผลและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน ประกอบกับงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นต้นแบบสำหรับการประยุกต์ใช้งานในระบบควบคุมต่าง ๆ ในภาคอุตสาหกรรมและตอบสนองนโยบายของภาครัฐในการก้าวสู่ยุคอุตสาหกรรม 4.0

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายพรเทพ ประเสริฐทรัพย์ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมระบบวัดคุม ที่ช่วยดำเนินการวิจัยนี้จนสำเร็จลงไปได้ด้วยดี สาขาวิชาวิศวกรรมระบบวัดคุมและแมคคาทรอนิกส์ สถาบันนวัตกรรมมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และสาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนได้รับความอนุเคราะห์จากห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาณุวัฒน์ เอ็นจิเนียริง เซอร์วิส ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา, กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2565). **ภูมิอากาศของประเทศไทย**.
ค้นจาก <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=22>

กาญจนา ดงสงคราม, สิทธิโชค พรศัพพิทักษ์, ปริญญา เปรมโต และธนาพล ตรีสกุล. (2565).
การพัฒนาระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในโรงเรือน
จำลอง กรณีศึกษา ลูกไก่ชนสายพันธุ์พม่า. **วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี
สารสนเทศ**, 8(1), 103-116.

สมมาตร พรหมพุ่ม และนพรุจ เขียวนาค. (2565). การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องกีดซีเอ็นซีขนาดเล็ก
โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและ
วิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 4(1), 1-14.

อภिरักษ์ พันธุ์พัฒนาสกุล, พิตรี ยะปา และอัลนิสฟาร์ เจดือราแม. (2563, กรกฎาคม). **การพัฒนา
ระบบเปิด-ปิดไฟด้วยไมโครเซนเซอร์ควบคู่กับแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน**. การประชุม
หาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 11, มหาวิทยาลัยหาดใหญ่, สงขลา.

Cengel, Boles, M. A., & Kanoglu, M. (2020). **Thermodynamics: an engineering approach**
(9th ed. in SI unit). McGraw-Hill Education.

Chavda, D. N., & Arya, J. (2014). Design and Performance Analysis of Water Chiller – A
Research. **International Journal of Engineering Research and Applications**, 6(4),
19-25.

Nord, J.H., Koohang, A., & Paliszkievicz, J. (2019). The Internet of Things: Review and
theoretical framework. **Expert Systems with Applications**, 133, 97-108.

Pang, L., Wang, C.-W., Lawford, M., & Wassyn, A. (2015). Formal verification of function blocks
applied to IEC 61131-3. **Science of Computer Programming**, 113, 149-190.



- Stoecker, W.F., & Jones, J.W. (1982). **Refrigeration and Air Conditioning**. McGraw-Hill.
- Xu, L.D., Xu, E.L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, 56(8), 2941-2962.