

ระบบควบคุมการหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันโดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

ไพโรจน์ ทองประเสริฐ^{1*} และไพศักดิ์ พูลผกา²
pairote@eng.src.ku.ac.th^{1*}, paisak@eng.src.ku.ac.th²

^{1*, 2} ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Received : 09-Jul-2020
Revised : 27-Oct-2020
Accepted : 30-Oct-2020

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบควบคุมการหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันสำหรับเครื่องจักรโดยใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซี รุ่นNX1P2 แทนการควบคุมแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรมควบคุมพีแอลซีถูกออกแบบตามโครงสร้างมาตรฐาน IEC61131-3 ระบบควบคุมสามารถตั้งค่าและแสดงผลการทำงานผ่านหน้าจอสั่งการรุ่น NB7W-TW01B ตัวรับรู้ถูกใช้ในระบบควบคุมมีทั้งหมด 7 ตัว แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ ตัวรับรู้วัดระดับ ตัวรับรู้วัดอุณหภูมิ และตัวรับรู้วัดความดัน ตัวรับรู้เหล่านี้ส่งสัญญาณให้พีแอลซีเพื่อควบคุมไฟแสดงสถานะ วาล์วเปิดปิดน้ำมัน เครื่องทำความร้อนของน้ำมันและลมผ่านอุปกรณ์ตัดต่อวงจรแบบไม่ใช้หน้าสัมผัสและแบบใช้หน้าสัมผัส โปรแกรมควบคุมพีแอลซีใช้ฟังก์ชัน Auto-tuning เพื่อช่วยคำนวณค่า Kp Ki และ Kd ที่เหมาะสมกับระบบ การทดสอบโปรแกรม เครื่องทำความร้อนของน้ำมันและลมทำงานเมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้ ป้อนลมทำงานถ้าความดันอากาศอยู่ระหว่างค่าที่ตั้งไว้ และปั้มน้ำมันทำงานเมื่อระดับน้ำมันต่ำกว่าค่าระดับล่างที่ตั้งไว้โดยหยุดทำงานเมื่อระดับน้ำมันสูงกว่าค่าระดับบนที่ตั้งไว้ ผลที่ได้ยืนยันความถูกต้องและน่าเชื่อถือของระบบควบคุมที่นำเสนอ นอกจากนี้ระบบสามารถแจ้งเตือนผ่านไฟแสดงสถานะและเก็บข้อมูลหรือเหตุการณ์ได้ ระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันควบคุมด้วยพีแอลซีถูกนำไปใช้งานที่ PTTGC#4 โดยตั้งค่าการใช้งานตาม Site Acceptance Test ผลที่ได้ระบบทำงานถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน พีแอลซี หน้าจอสั่งการ ระบบควบคุมตามค่าที่กำหนด

Oil Mist Lubrication Control System using Programmable Logic Controller

Pairote Thongprasri^{1*} and Paisak Poolphaka²
pairote@eng.src.ku.ac.th^{1*}, paisak@eng.src.ku.ac.th²

^{1,2} Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

Received	: 09-Jul-2020
Revised	: 27-Oct-2020
Accepted	: 30-Oct-2020

Abstract

This paper presents an oil mist lubrication control system using NX1P2 Programmable Logic Controller (PLC) instead of microcontroller. The PLC control program is designed according to the IEC61131-3 standard structure. The control system can be set and displayed the operation via a human machine interface model NB7W-TW01B. There are 7 sensors used in the control system, which are divided into 3 types; level sensor, temperature sensor, and pressure sensor. These sensors send the signals to PLC to control the status light, oil solenoid valve, oil heater, and air heater through the solid state relay and mechanical relay. The PLC control program uses the Auto-tuning function to calculate the appropriate values of Kp, Ki and Kd for the system. Program testing; the heater operates when the temperature reaches the set value, the air pump operates if the air pressure is between the set value, and the oil pump operates when the oil level is below the set lower value, it stops when the oil level is higher than the set top value. The results confirm the accuracy and reliability of the proposed control system. In addition, the system can alert via status light and store data or events. The oil mist lubrication control system using the PLC is used at PTTGC # 4, which is set up according to the Site Acceptance Test. The result, the system operates correctly and efficiently.

Keywords: oil mist lubrication, PLC, microcontroller, human machine interface, regulated control

1. บทนำ

วัสดุทุกชนิดที่มีผิวเรียบหากขยายภาพจะพบว่าผิวมีลักษณะคล้ายยอดเขา เมื่อผิววัสดุชิ้นหนึ่งถูกดันให้เคลื่อนที่ไปบนผิววัสดุชิ้นอื่น ผิวสัมผัสจะทำให้เกิดแรงเสียดทานและทำให้เกิดความร้อน ส่งผลให้เกิดการสึกหรอของผิวสัมผัส ถึงแม้จะมีแรงกดที่ผิวสัมผัสไม่มากนักแต่ความเค้นบนผิวส่วนที่เป็นยอดเขาอาจจะสูงและถ้าวัสดุที่มีความแข็งต่างกันสองชนิดถูกกดและดันให้เคลื่อนที่ พื้นผิวส่วนที่เป็นยอดเขาของวัสดุที่อ่อนกว่าจะสึกหรอมากกว่ายอดเขาของวัสดุที่แข็งกว่าเสมอ การหล่อลื่นจะช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสที่เคลื่อนที่ และยังช่วยระบายความร้อนออกจากผิวสัมผัสด้วยการหล่อลื่นเป็นส่วนสำคัญของการบำรุงรักษาเครื่องจักรสำหรับโรงงานผลิต ถ้าโครงสร้างของเครื่องจักรอุตสาหกรรมมีความซับซ้อนมาก ระบบอัตโนมัติได้ถูกนำมาใช้เพื่อจ่ายสารหล่อลื่นไปยังจุดเติมหล่อลื่นต่าง ๆ ระบบอัตโนมัติที่ดีส่งผลให้การดูแลและการบำรุงรักษาทำได้ให้ลดต้นทุนการดำเนินงาน การเลือกใช้ระบบหล่อลื่นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเครื่องจักรอุตสาหกรรม [1] [2] เช่น ระบบหล่อลื่นจากศูนย์กลาง (centralized lubrication system) มีหลักการทำงานคือ ปัมป์จะส่งน้ำมันจากถังเก็บผ่านระบบท่อส่งไปยังจุดที่ต้องการสารหล่อลื่น และชิ้นส่วนเครื่องจักรต่างๆ โดยอัตโนมัติ ทำให้รักษาความหนาของฟิล์มหล่อลื่นได้อย่างเหมาะสม ระบบหล่อลื่นจากศูนย์กลางแบบท่อเดียว (single line lubrication system) ใช้หลักการเติมสารหล่อลื่นจากท่อเพียงเส้นเดียว สามารถจ่ายสารหล่อลื่นไปยังทุกจุดที่สำคัญและซับซ้อนยากต่อการเข้าถึง ระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน (oil mist lubrication system) [3] เป็นระบบหล่อลื่นจากศูนย์กลางที่ใช้หลักการลมควบคุมน้ำมันทำให้เป็นละออง ส่งผลให้ประหยัดน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น ตัวควบคุมที่ถูกนำมาใช้กับระบบอัตโนมัติส่วนใหญ่จะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ [4] [5] เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน มีปัจจัยที่ต้องพิจารณา เช่น การอินเตอร์เฟซกับอุปกรณ์ภายนอก [6] อาจอยู่ในรูปแบบของ USB, I2C, UART, SPI หรืออินเทอร์เนต และขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็น ADC inputs, digital

inputs/outputs, PWM หรือขาอื่นๆ ที่จำเป็น ความเร็วสัญญาณของหน่วยประมวลผล และซอฟต์แวร์ เป็นต้น

การหล่อลื่นด้วยมือมีความคลาดเคลื่อน 54% เกิดจากใส่สารหล่อลื่นมากหรือน้อยเกินไปพีแอลซีถูกนำมาใช้เป็นตัวควบคุมเพื่อแก้ไขปัญหา เนื่องจากมีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมและต้นทุนต่ำ [7] ระบบการหล่อลื่นควบคุมด้วยพีแอลซีอย่างง่ายสามารถสั่งการและตรวจสอบผ่านระบบออนไลน์ถูกนำเสนอ [8] ระบบการหล่อลื่นควบคุมด้วยพีแอลซีโดยใช้วิธีการแจ้งเตือนผ่านหน้าจอสัมผัส HMI [9] ถูกนำเสนอเพื่อลดความผิดพลาดระหว่างรอบการหล่อลื่นที่มีเส้นทางการจ่ายสารหล่อลื่นระยะยาว

บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) : (PTTGC#4) ใช้ระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 1 มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลร่วมกับตัวรับรู้ชนิดตรวจวัดอุณหภูมิ ระดับและความดัน อุปกรณ์ทำความร้อน ค่าตัวแปรต่างๆ จะถูกกำหนดผ่านทางแผงควบคุม การแสดงผลจะแสดงผ่านหน้าจอแอลซีดี



รูปที่ 1 ระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน

ที่ PTTGC#4 ได้มีการติดตั้งระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันจำนวนค่อนข้างมาก ปัญหาการใช้งานที่เกิดขึ้นคือระบบควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลช้ารุดบ่อย ซึ่งค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงค่อนข้างสูง และใช้เวลาค่อนข้างนาน เนื่องจาก ต้องใช้บริษัทภายนอกแบบจ้างเหมาทำการเปลี่ยนแบบยกชุด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชุดควบคุมหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน

เพื่อแก้ปัญหาให้กับ PTTGC#4 ในงานวิจัยนี้ นำเสนอการควบคุมระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน ด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซี (Programmable Logic Controller : PLC) พีแอลซีเป็นอุปกรณ์ชนิดโซลิดสเตต (solid state) ทำงานแบบตรรกะหรือลอจิก เหมาะสำหรับใช้ควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์โรงงานอุตสาหกรรม มีไมโครโพรเซสเซอร์เป็นหน่วยประมวลผลกลาง พีแอลซีที่ใช้เป็นของบริษัทฮอเมอร์อน ตระกูล NX1P2 เชื่อมต่อกับ HMI (Human Machine Interface) รุ่น NB7W-TW01B สำหรับกำหนดค่าตัวแปรและแสดงผล ภาษาแลดเดอร์ที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมพีแอลซีเป็นไปตามมาตรฐาน IEC61131-3 [10]-[11] เมื่อปัญหาเกิดขึ้นที่ตัวควบคุมพีแอลซี สามารถหาซื้อเปลี่ยนได้ง่าย ราคาไม่สูงและทำการโปรแกรมลงพีแอลซี ผลที่ได้คือสามารถทำได้เอง ค่าใช้จ่ายไม่สูง และใช้เวลาไม่นานในการซ่อมบำรุง

2. หลักการทำงานของระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน

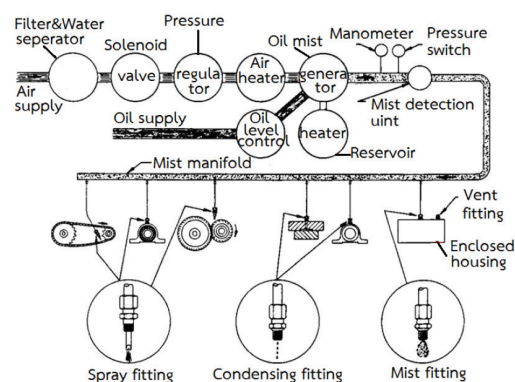
วิธีการหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน [12]-[14] เริ่มใช้งานตั้งแต่ปี 1930 โดยโรงงานผลิตตลับลูกปืน ในยุโรปที่ร่วมกันพัฒนา แก้ปัญหาการหล่อลื่นตลับลูกปืน ความเร็วรอบสูงที่โรงงานได้ผลิตขึ้น การหล่อลื่นจะมีลักษณะเป็นฟุ้งบาง ๆ และเป็นละอองน้ำมัน ซึ่งจะช่วยให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันกว่า 80% ทั่วโลกเลือกใช้งานระบบนี้ เนื่องจากมีจุดเด่นกว่าวิธีการหล่อลื่นอื่นๆ คือปกป้องอุปกรณ์ไม่ให้มีสิ่งปนเปื้อนเข้าสู่ลูกปืนและลดอุณหภูมิการทำงานลง 15% และลดความเสียหายลงได้ถึง 90% ทำให้อุปกรณ์ทำงานได้นานขึ้นหลายเท่า สารหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันนั้นเกิดจากการผสมของน้ำมัน 1 ส่วน ลม 200,000

ส่วน ส่งจ่ายได้ในรัศมี 150 เมตร ขนาดของละอองน้ำมันที่มีขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอน มีขนาดเล็กเกินไปที่จะทำให้พื้นผิวอุปกรณ์เปียกแต่สามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย ละอองน้ำมันที่มีขนาดมากกว่า 3 ไมครอน มีขนาดใหญ่และหนักพอที่จะทำให้พื้นผิวอุปกรณ์เปียกสามารถหล่อลื่นแบร้งได้ อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนขนาดของละอองน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนขนาดของละอองน้ำมัน

หลักการทำงานของระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 4 เริ่มจากลมที่ถูกจ่ายจากแหล่งจ่ายลมถูกทำให้กลายเป็นลมแห้ง ควบคุมการปิด-เปิดด้วยระบบวาล์วที่ใช้พลังงานไฟฟ้า (solenoid valve) ลมแห้งจะถูกรักษาคความดันใช้งานให้คงที่ (pressure regulator) หลังจากนั้นจะเพิ่มอุณหภูมิให้ลมแห้งเพื่อไปผสมกับน้ำมันที่ถูกควบคุมระดับ (oil level control) ซึ่งถูกดูดขึ้นมาจากอ่างเก็บน้ำมัน กลายเป็นแหล่งกำเนิดละอองน้ำมัน โดยจะถูกเพิ่มอุณหภูมิจากแหล่งให้ความร้อน (reservoir heater) ละอองน้ำมันที่ใช้ในระบบจะถูกวัดและควบคุมความดันด้วยมาโนมิเตอร์และสวิตช์ควบคุมความดันตามลำดับ

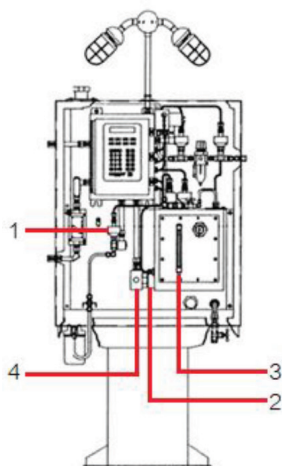


รูปที่ 4 การทำงานของระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน [15]

หน่วยตรวจจับละอองน้ำมัน (mist detection unit) ที่ผ่านสวิทช์ควบคุมความดัน จะถูกส่งผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนขนาดละอองน้ำมัน เพื่อทำให้ละอองน้ำมันกลายเป็นหมอกละอองน้ำมัน (mist fitting) สำหรับโซลิมลงบนที่อยู่ของอุปกรณ์ หยดน้ำมันด้วยอุปกรณ์ควบแน่น (condensing fitting) สำหรับหล่อลื่นแบบรี้ง ทำให้เป็นแบบพ่น (spray fitting) สำหรับใช้หล่อลื่นโซ่เฟือง

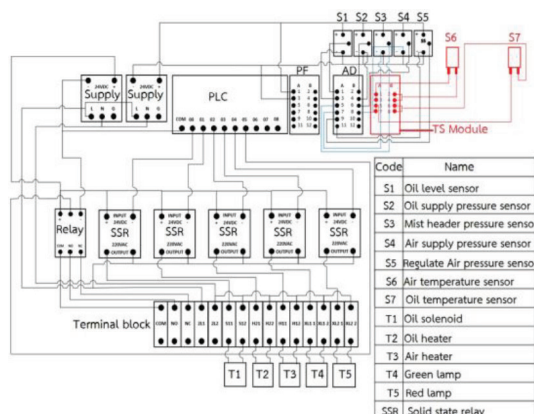
3. ระบบควบคุมในระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน

การควบคุมอัตโนมัติของระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันต้องใช้ตัวรับรู้ (sensor) ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับปริมาณทางฟิสิกส์ โดยอาศัยหลักการทำงานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของตัวรับรู้ เพื่อส่งค่าที่ได้ให้ตัวควบคุมชนิดพีแอลซีประมวลผลตามคำสั่งของโปรแกรม ตัวรับรู้และอุปกรณ์เพิ่มอุณหภูมิพื้นฐานของระบบหล่อลื่นละอองน้ำมันประกอบด้วย หมายเลขที่ 1 เป็นตัวรับรู้ความดันแหล่งจ่ายน้ำมัน (oil supply pressure sensor) หมายเลขที่ 2 เป็นตัวรับรู้อุณหภูมิของน้ำมัน (oil temperature sensor) และหมายเลขที่ 3 เป็นตัวรับรู้ระดับน้ำมัน (oil level sensor) ส่วนหมายเลขที่ 4 เป็นอุปกรณ์เพิ่มอุณหภูมิน้ำมัน (oil heater) ดังแสดงในรูปที่ 5

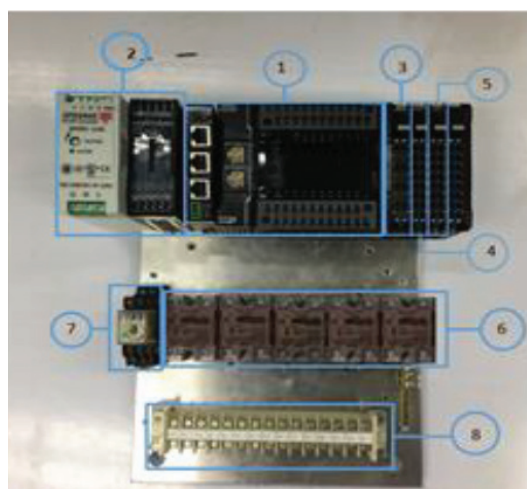


รูปที่ 5 ตัวรับรู้พื้นฐานของระบบละอองน้ำมัน

พีแอลซี รุ่นNX1P2 ใช้เป็นตัวควบคุมระบบอัตโนมัติ โดยมีแผนภาพการต่ออุปกรณ์ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การต่ออินพุตเอาต์พุตเข้ากับพีแอลซี



รูปที่ 7 พีแอลซีและอุปกรณ์ภาคอินพุต/เอาต์พุต

การต่ออุปกรณ์เข้ากับพีแอลซีส่วนของอินพุต มีตัวรับรู้ทั้งหมด 7 ตัว ประกอบด้วย S1 : ตัวรับรู้ระดับน้ำมัน (oil level sensor), S2 : ตัวรับรู้ความดันของแหล่งจ่ายน้ำมัน (oil supply pressure sensor), S3 : ตัวรับรู้ความดันของละออง (mist pressure sensor), S4 : ตัวรับรู้ความดันของแหล่งจากลม (air supply pressure sensor), S5:ตัวรับรู้ความดันของลมที่ถูกควบคุม (regulated air pressure sensor), S6 : ตัวรับรู้อุณหภูมิของลม (air temperature sensor), และ S7 : ตัวรับรู้อุณหภูมิของน้ำมัน (oil temperature sensor) โดยจะถูกแบ่งตามสัญญาณด้านนอกของตัวรับรู้ได้ 2 ประเภทคือ

1) ประเภทสัญญาณแอนะล็อกแบบไฟกระแสดตรงสเกล 0-5 โวลต์ ได้แก่ ตัวรับรู้ตรวจวัดระดับและตัวรับรู้ตรวจวัดความดัน สัญญาณที่ได้จากตัวรับรู้

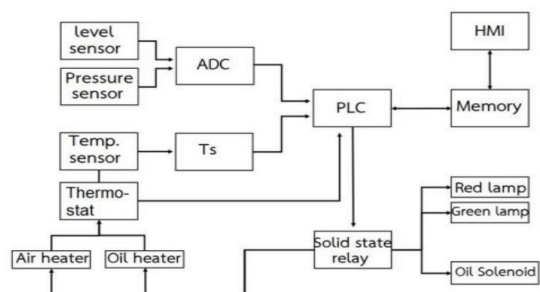
S1-S5 ถูกเปลี่ยนให้เป็นค่าดิจิทัลโดยต่อผ่านโมดูล ADC (Analog to Digital Converter)

2) ประเภทสัญญาณแอนะล็อกแบบค่าความต้านทานปรับเปลี่ยนตามอุณหภูมิ ได้แก่ ตัวรับรู้อุณหภูมิ S6 และ S7 ค่าความต้านทานที่ได้จากตัวรับรู้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นดิจิทัลในรูปแบบของหน่วยองศาเซลเซียสโดยต่อผ่านโมดูล TS (Temperature Signal)

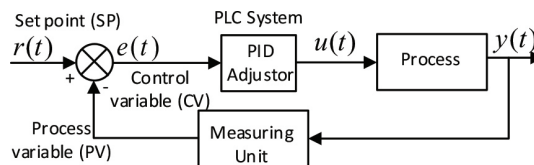
ส่วนของเอาต์พุตมีอุปกรณ์ทั้งหมด 7 ตัว ถูกต่อผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างสายไฟ (terminal block) ประกอบด้วย T1: วาล์วเปิดปิดน้ำมัน (oil solenoid valve), T2 : เครื่องทำความร้อนน้ำมัน (oil heater), T3 : เครื่องทำความร้อนลม (air heater), T4 : ไฟสีเขียวแสดงว่าระบบทำงานปกติ (green lamp), T5 : ไฟสีแดงแสดงว่าระบบทำงานมีการแจ้งเตือน (red lamp), SSR : อุปกรณ์ตัดต่อวงจรแบบไม่ใช้หน้าสัมผัส (solid state relay) และอุปกรณ์ตัดต่อวงจรแบบใช้หน้าสัมผัส (relay)

รูปที่ 7 แสดงการต่ออุปกรณ์เข้ากับพีแอลซี ประกอบด้วยหมายเลขดังนี้ 1 : พีแอลซี รุ่น NX1P2, 2 : แหล่งจ่ายไฟให้พีแอลซี, 3 : PF คือ แหล่งจ่ายไฟให้กับโมดูล ADC และ TS, 4 : โมดูล ADC, 5: โมดูล TS, 6: SSR, 7: Relay, และ 8 : อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างสายไฟ

อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตที่ต่อเข้ากับพีแอลซี เพื่อควบคุมระบบหล่อลื่นแบบลอยน้ำมัน สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 8 โดยจะถูกนำไปใช้สำหรับออกแบบโปรแกรมในลำดับถัดไป



รูปที่ 8 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมด้วยพีแอลซี



รูปที่ 9 หลักการควบคุม PID

การควบคุมแบบ PID เป็นกระบวนการที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุม [16]-[17] มีหลักการทำงานดังรูปที่ 9 โดยสามารถลดค่าการเกิดผิดพลาดที่สถานะคงตัวของระบบได้ ค่าตัวแปรของ PID สามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$u(t) = P + I + D$$

$$= K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

เมื่อ

P (proportional) คือ การปรับสัดส่วนสัญญาณ

I (integral) คือ การอินทิเกรตสัญญาณ

D (derivative) คือ การอนุพันธ์สัญญาณ

K_p คือ อัตราการขยายแบบสัดส่วน

K_i คือ อัตราการขยายอินทิเกรต

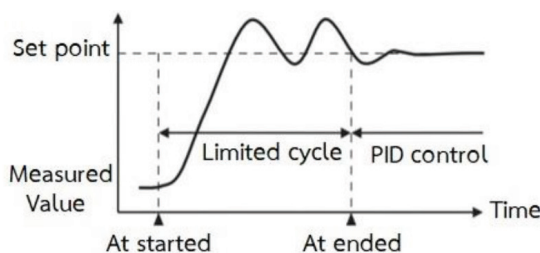
K_d คือ อัตราการขยายอนุพันธ์

$u(t)$ คือ สัญญาณควบคุม

$e(t)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ SV กับ PV

โดยที่ Set point (SV) คือค่าที่ต้องการควบคุม และ

Process variable (PV) เป็นค่าที่วัดได้มาจากกระบวนการ



รูปที่ 10 ฟังก์ชัน Auto-tuning

ช่วยคำนวณค่า K_p , K_i และ K_d

พีแอลซีมีฟังก์ชัน Auto-tuning ช่วยในการคำนวณค่า K_p , K_i และ K_d โดยใช้หลักการคำนวณค่าการตอบสนองของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงของ Control variable ค่า K_p , K_i และ K_d ที่ได้จากการทำ Auto-tuning จะเป็นค่าที่เหมาะสมกับระบบดังแสดงในรูปที่ 10

โดยระบบการควบคุมแบบ PID ถูกนำไปใช้สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องทำความร้อนของลมและน้ำมันให้มีค่าคงที่ตามที่ต้องการแทนระบบเดิมที่เป็นการควบคุมแบบวงจรมหัพ (open loop control) โดยระบบจะทำการรับค่าอุณหภูมิจากตัวตรวจจับอุณหภูมิ ชนิด RTD PT1000 โดยค่าความต้านทานของตัวตรวจจับอุณหภูมิ จะถูกแปลงเป็นค่าอุณหภูมิโดยผ่านโมดูล TS

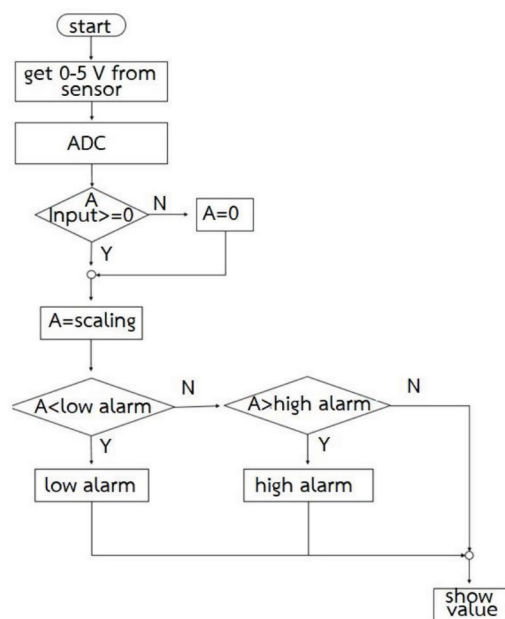
4. การออกแบบโปรแกรมพีแอลซีและผลการทดลอง

การควบคุมพีแอลซีดังรูปที่ 8 ถูกออกแบบโปรแกรมโดยใช้เงื่อนไข Site Acceptance Test (SAT) ตามตารางที่ 1 ซึ่งถูกกำหนดโดย PTTGC#4

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดจากโรงงาน

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด	High Alarm	Low Alarm
air heater temperature	60 °C	82 °C	38 °C
oil heater temperature	43 °C	60 °C	27 °C
reservoir oil level	60%	95%	30%
mist pressure	N/A	770 mmH ₂ O	247 mmH ₂ O
supply air pressure	N/A	10.3 bar	1.7 bar
regulated air pressure	N/A	4.5 bar	0.7 bar

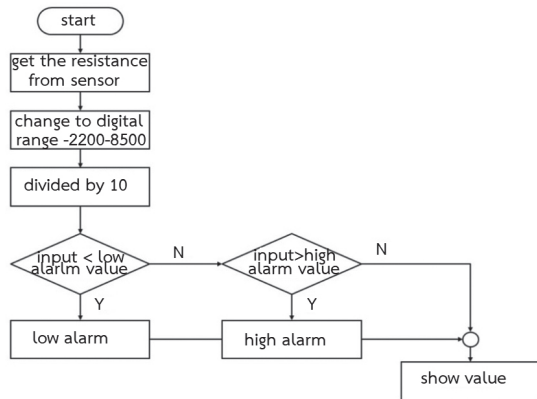
การออกแบบโปรแกรมของตัวรับรู้ S1-S5 มีผังการทำงานดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนภาพการเขียนโปรแกรมตัวรับรู้ผ่านโมดูล ADC

เมื่อตัวรับรู้ทำงาน สัญญาณที่ถูกส่งออกมาจะเป็นสัญญาณแอนะล็อก 0-5 โวลต์ จากนั้นได้ทำการเปลี่ยนเป็นค่าดิจิทัลอยู่ในช่วง 0-2,000 และทำการสเกลค่าตามหน่วยที่ต้องการวัด ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ โดยข้อมูลนี้สามารถนำค่ามาแสดงผลผ่านหน้าจอสั่งการหรือหน้าจอสัมผัสแบบ HMI ได้โดยตัวรับรู้ตรวจวัดระดับจะแสดงผลมีหน่วยเป็น “%” และตัวรับรู้ตรวจวัดความดันจะแสดงผลมีหน่วยเป็น “Bar”

การออกแบบโปรแกรมตัวรับรู้ S6 และ S7 มีผังการทำงานดังรูปที่ 12 เมื่อตัวรับรู้ทำงานจะส่งออกมาเป็นค่าความต้านทานจากนั้นได้ทำการเปลี่ยนเป็นค่าดิจิทัลอยู่ในช่วง -2,200 – 8,500 และทำการสเกลค่าตามหน่วยของค่าที่ต้องการวัดอยู่ระหว่าง -220 – 850 องศา ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ โดยข้อมูลนี้สามารถนำค่ามาแสดงผลผ่านหน้าจอสัมผัสแบบ HMI ได้โดยตัวรับรู้อุณหภูมิของลมและตัวรับรู้อุณหภูมิของน้ำมันจะแสดงผลมีหน่วยเป็น “Celsius” และพีแอลซีจะทำการประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เพิ่มอุณหภูมิให้อยู่ในจุดที่ตั้งค่าไว้ (set point) ผ่านสวิตช์ตัดต่อวงจรแบบไม่มีหน้าสัมผัส



รูปที่ 12 แผนภาพการเขียนโปรแกรมตัวรับรู้ผ่านโมดูล TS

สำหรับการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม การตรวจวัดอุณหภูมิ ตรวจวัดความดัน และตรวจวัดระดับน้ำมัน ทดสอบในห้องปฏิบัติการและที่ PTTGC#4 ดังรูปที่ 13-15 ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของโปรแกรมพีแอลซีที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัด ดังแสดงในตารางที่ 2-4 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบการตรวจวัดอุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ได้จากเครื่องมือวัด (°C)	อุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรม (°C)
40	39.74
50	49.83
60	59.98

ตารางที่ 3 ผลเปรียบเทียบการตรวจวัดความดันลม

ความดันลมที่ได้จากเครื่องมือวัด (bar)	ความดันลมที่ได้จากโปรแกรม (bar)
1.0	1.04
2.0	2.06
3.0	3.04

ตารางที่ 4 ผลเปรียบเทียบการตรวจวัดระดับน้ำมัน

ระดับน้ำมันที่ได้จากเครื่องมือวัด (%)	ระดับน้ำมันที่ได้จากโปรแกรม (%)
0	0
50	50.1
100	100

ผลในตารางที่ 2-4 แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของโปรแกรมพีแอลซีที่ใช้ควบคุมระบบ โดยผลการประมวลค่าที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องมือวัด เมื่อทำการทดสอบทั้งหมด 20 ครั้ง โดยผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนดังนี้ การตรวจวัดอุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1^{\circ}\text{C}$ การตรวจวัดความดันลมมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 0.1\text{ bar}$ และการตรวจวัดระดับน้ำมันความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 0.5\%$



รูปที่ 13 การทดสอบโปรแกรมการตรวจวัดอุณหภูมิ

โดยเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้เครื่องทำความร้อนทำงานดังรูปที่ 13 เมื่อความดันลมสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ปั๊มลมหยุดทำงาน และเมื่อระดับน้ำมันต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ปั๊มน้ำมันทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 14 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) ตรวจวัดความดัน



(ข) ตรวจวัดระดับน้ำมัน

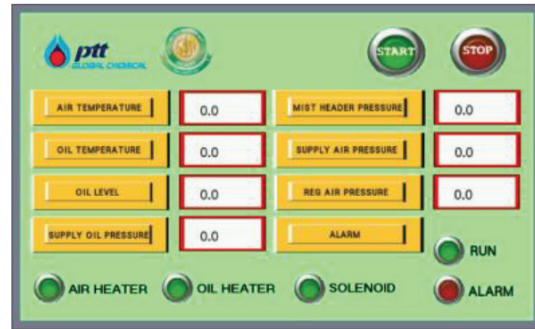
รูปที่ 14 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม



รูปที่ 15 ระบบทำการงานปกติ (ซ้าย)
แจ้งเตือน (ขวา)

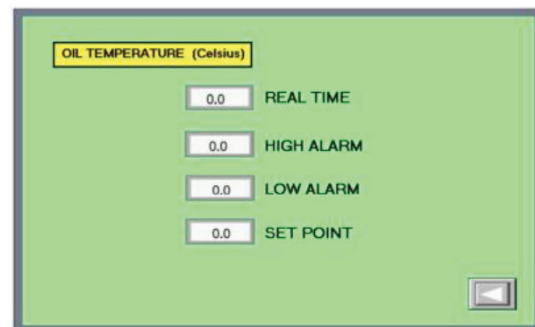
ไฟแสดงสถานะการทำงานของระบบในสภาวะปกติและเมื่อระบบมีการแจ้งเตือนดังแสดงในรูปที่ 15

การออกแบบจอสัมผัสแบบ HMI ประกอบด้วย หน้าจอหลักดังรูปที่ 16 หน้าจอสำหรับตั้งค่า (set point) กำหนดค่าการแจ้งเตือนระดับสูง (high alarm) และการแจ้งเตือนระดับต่ำ (low alarm) จำนวน 7 หน้าจอ ดังแสดงในรูปที่ 17-20 และหน้าจอแสดงการแจ้งเตือน 2 หน้าจอ ดังรูปที่ 21 โดยหน้าจอหลักทำหน้าที่แสดง ค่าอุณหภูมิ น้ำมัน อุณหภูมิลม ระดับน้ำมัน ความดัน แหล่งจ่ายน้ำมัน ความดันละอองน้ำมัน ความดันแหล่งจ่ายลม และความดันลมที่ถูกควบคุมให้คงที่ เป็นตัวเลขแบบทันที (real time) นอกจากนี้สำหรับเครื่องทำความร้อนของลม น้ำมัน และวาล์วที่ใช้พลังงานไฟฟ้า สำหรับเติมน้ำมัน มีไฟแสดงสถานะการทำงานและมีสวิตช์ปิดเปิดพร้อมไฟแสดงสถานะการทำงานหรือแจ้งเตือนของเครื่องจักร



รูปที่ 16 หน้าหลักของจอสัมผัสแบบ HMI

หน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 17 ใช้สำหรับกำหนดค่าอุณหภูมิของน้ำมันตามที่ต้องการ การแจ้งเตือนระดับสูงและระดับต่ำ โดยสามารถแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำมันเป็นตัวเลขแบบทันที สำหรับหน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิของลมอีก 1 หน้าจอจะมีลักษณะการออกแบบคล้ายกับหน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำมัน



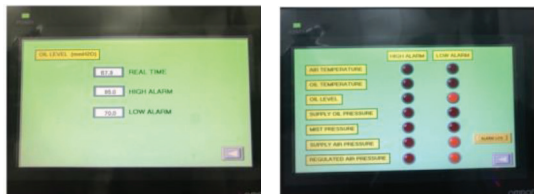
รูปที่ 17 หน้าจอแสดงค่าอุณหภูมิของน้ำมัน

หน้าจอแสดงค่าระดับน้ำมันดังรูปที่ 18 เมื่อ กดปุ่มของ oil level ที่หน้าจอสัมผัสแบบ HMI จะเข้าสู่หน้าจอแสดงผลระดับน้ำมันดังรูปที่ 18 (ก) โดยในหน้าจอนี้จะแสดงค่าทันทีของระดับน้ำมัน การแจ้งเตือนระดับสูง และแจ้งเตือนระดับต่ำน้ำมัน ค่าของการแจ้งเตือนสามารถเปลี่ยนผ่านแป้นพิมพ์ของหน้าจอสัมผัส HMI ได้ดังแสดงในรูปที่ 18 (ข)

สำหรับการกำหนดค่าต่างๆ สามารถเข้ารายการได้โดยตรงที่หน้าจอหลัก เช่น ระดับน้ำมัน เป็นต้น

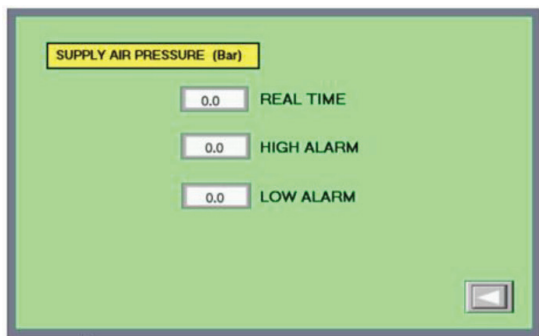


(ก) ระดับน้ำมัน (ข) เปลี่ยนค่าผ่านหน้าจอ HMI
รูปที่ 18 หน้าจอแสดงผลระดับน้ำมัน



(ก) กำหนดค่าการแจ้งเตือน (ข) การแจ้งเตือนระดับต่ำ
รูปที่ 19 ผลทดสอบการแจ้งเตือนระดับน้ำมัน

ตัวอย่าง ตั้งค่าแจ้งเตือนของน้ำมันที่ระดับสูง 95 และระดับต่ำ 70 ดังรูปที่ 19 (ก) เมื่อค่าทันเวลา 67.3 ไฟแสดงสถานะแจ้งเตือนจะทำงานดังรูปที่ 15 (ขวา) ผู้ใช้สามารถดูผลการแจ้งเตือนได้ที่หน้าจอแจ้งเตือน ผลที่แสดงคือมีการแจ้งเตือนระดับน้ำมันต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 19 (ข)



รูปที่ 20 หน้าจอแสดงค่าความดันแหล่งจ่ายลม

หน้าจอแสดงค่าความดันแหล่งจ่ายลม ดังรูปที่ 20 ใช้กำหนดค่าการแจ้งเตือนระดับสูง และค่าแจ้งเตือนระดับต่ำ โดยแสดงค่าความดันเป็นตัวเลขแบบทันท่วงที สำหรับหน้าจอแสดงค่าความดันน้ำมัน ความดันละอองน้ำมัน และความดันลมที่ถูกควบคุมให้คงที่ รวม 3 หน้าจอ มีลักษณะการออกแบบคล้ายกับหน้าจอแสดงค่าความดันแหล่งจ่ายลม สำหรับหน้าจอแสดงสถานะและเหตุการณ์ของการเกิดการแจ้งเตือนของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 21



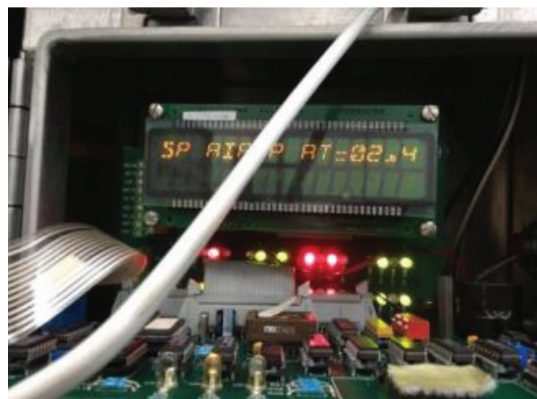
(ก) สถานะ (ข) เหตุการณ์
รูปที่ 21 หน้าจอแสดงการแจ้งเตือน

พิจารณาที่หน้าจอหลักเมื่อระดับน้ำมันในระบบต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ วาล์วที่ใช้พลังงานไฟฟ้าทำงาน (solenoid ไฟแสดงสถานะทำงาน) ดังแสดงในรูปที่ 22 (ก) ระบบจะดำเนินการเพิ่มน้ำมันเข้าสู่ถังเก็บน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 22 (ข) เมื่อระดับน้ำมันเพิ่มถึงค่า 80% ของค่าแจ้งเตือนของน้ำมันที่ระดับสูง (ขึ้นอยู่กับค่าที่กำหนด) วาล์วที่ใช้พลังงานไฟฟ้าหยุดทำงาน ส่งผลให้ระบบหยุดการเพิ่มน้ำมัน



(ก) โซลินอยด์วาล์วทำงาน (ข) บัมน้ำมันเข้าสู่ถังเก็บน้ำมัน

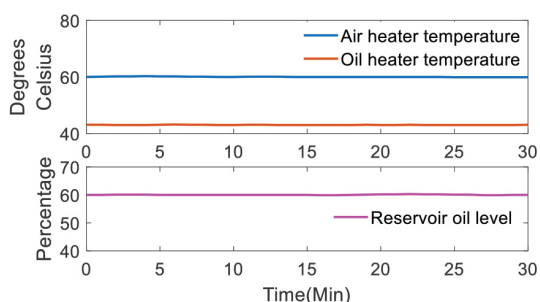
รูปที่ 22 ทดสอบการบัมน้ำมัน



รูปที่ 23 ตัวควบคุมพร้อมจอแสดงผลแบบเดิม

ส่วนเครื่องทำความร้อนของลมและน้ำมัน จะถูกควบคุมให้ทำงานหรือหยุดทำงานในหลักการเดียวกัน

ระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันควบคุมด้วยพีแอลซีที่นำเสนอ ถูกนำไปใช้งานร่วมกับระบบควบคุมแบบเดิม (รูปที่ 23) ซึ่งการใช้งานกำหนดเงื่อนไข SAT ตามตารางที่ 1 ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 24 ซึ่งเป็นการทดสอบระบบควบคุมสำหรับการใช้งานจริงช่วงเวลา 30 นาที ของค่า air heater temperature, oil heater temperature และ reservoir oil level โดยการตอบสนองของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงมีค่า $K_p=12.57$, $K_i=4.816$ และ $K_d=4.923$ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของระบบ 0.06%



รูปที่ 24 ทดสอบระบบควบคุมกำหนดเงื่อนไขตาม SAT

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์หรือพีแอลซีเป็นตัวควบคุมระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมันของเครื่องจักรแทนไมโครคอนโทรลเลอร์ (แบบเดิม) เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนชุดควบคุมเนื่องจากยกเลิกการผลิตให้กับ PTTGC#4 ณ ปัจจุบันได้ถูกนำไปใช้งานที่บริษัทได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมใช้ภาษาแลตเตอร์ซึ่งเป็นภาษาตามมาตรฐาน IEC61131-3 การควบคุมเป็นแบบ PID ซึ่งพีแอลซีจะมีฟังก์ชัน Auto-tuning ช่วยในการคำนวณค่า K_p , K_i และ K_d ที่เหมาะสมกับระบบ การควบคุมแบบ PID ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของลมและน้ำมันให้คงที่ตามที่ต้องการได้ โดยมีการแกว่งของอุณหภูมิไม่เกิน $\pm 1^\circ\text{C}$ ผลการทดสอบระบบควบคุมการใช้งานจริงในช่วงเวลา 30 นาที ของค่า air heater temperature, oil heater

temperature และ reservoir oil level กำหนดเงื่อนไขตาม SAT การตอบสนองของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงมีค่า $K_p=12.57$, $K_i=4.816$ และ $K_d=4.923$ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของระบบ 0.06% ส่งผลให้ความดันของละอองน้ำมันมีความสม่ำเสมอ นอกจากนี้การสั่งงานอุปกรณ์ของพีแอลซีมีความแม่นยำ สำหรับการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับเครื่องจักรใช้หน้าจอสัมผัสแบบ HMI ทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการใช้งาน มีการบันทึกเหตุการณ์ต่างๆ เพื่อดูประวัติย้อนหลังได้ สามารถกำหนดค่าต่างๆ ได้ง่ายเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบเดิมที่การตั้งค่าต้องตั้งทำผ่านแป้นพิมพ์ซึ่งเป็นอุปกรณ์แยกจากหน้าจอแสดงผล ถ้าระบบควบคุมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดชำรุด สามารถเปลี่ยนเป็นตัวควบคุมแบบพีแอลซีได้โดยมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเล็กน้อยเท่านั้น ที่สำคัญค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการเปลี่ยนชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนภายใต้โครงการวิจัยระบบหล่อลื่นแบบละอองน้ำมัน PTTGC#4 บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลังและการจัดการพลังงาน (PEAEM) คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่สนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Crump W.J.J. Centralized lubrication for high temperature applications. Tribology. 1972 April; 5(12):78-80.
- [2] Shufa Y, Biao M, Changsong Z, Jianhua C. An optimal lubrication oil replacement method based on selected oil field data. IEEE Access. July 2019; 7:92110 - 8.
- [3] Szydlo, Zbigniew A. Effective oil/air ratio in industrial oil mist lubricating systems. Industrial Lubrication and Tribology. 2007; 59(1):4-11.

- [4] Dimosthenis E.B. A Survey of research in microcontroller education. IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del Aprendizaje. June 2019; 14(2):50-7.
- [5] Wei F, Siang T.T, Madhan R, Russell B, Ayman A.F. A DCM-only buck regulator with hysteretic-assisted adaptive minimum-on-time control for low-power microcontrollers. IEEE Transactions on Power Electronics. Jan 2016; 13(1):418-29.
- [6] Anthony P.L, Crawley H.B, Fischer P.A, McKay R.L, Meyer W.T. CANbus and microcontroller use in the BaBar detector at SLAC. IEEE Transactions on Nuclear Science. April 2000; 47(2): 166-9.
- [7] Elakkiya T, Anitta A. Comparative study of manual lubrication and automatic lubrication. Journal of Engineering Research and Applications. Feb 2015; 5(2):16-20.
- [8] Mrinmoy D, Nazmul H, Saiful Ha Maitry D, Das N.K, Ullah M.A. Design and implementation of automatic lubricating system using PLC. International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy. 2017; 1-5.
- [9] Sharath S., Patilkulkarni S. Automatic dual line lubrication system using programmable logic controller. International Journal of Engineering Research in Computer Science and Engineering. April 2018; 5(4):696-700.
- [10] Ceglia G, Guzman V, Gimenez M.I, Walter J. Application of IEC61131-3 standard in the Brazilian Navy mine-sweeper modernization. IEEE Latin America Transactions. Oct 2005; 3(4):42-7.
- [11] Luo J, Zhang Q, Chen X, Zhou M. Modeling and race detection of ladder diagrams via ordinary petri nets. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, July 2018; 48(7):1166-76.
- [12] Carson C.C, Barton S.C, Gill R.S. The occurrence and control of interference from oil mist in the detection of overheating in a generator. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. Sept 1978; 5:1509-14.
- [13] Towne C.A, Sheppard D.J. Oil mist lubrication for electric motors - where it stands today. IEEE Transactions on Industry Applications. Nov 1986; 6:1174-81.
- [14] Hodowanec M.M. Evaluation of antifriction bearing lubrication methods on motor life-cycle cost. IEEE Transactions on Industry Applications. Nov 1999; 35(6):1247-51.
- [15] Alemite. Oil mist application manual. www.alemite.com.
- [16] Omron. Machine Automation Controller : NX-series Temperature Control Units. OMRON Corporation 2018.
- [17] Samin R.E, Jie L.M, Zawawi M.A. PID implementation of heating tank in mini automation plant using Programmable Logic Controller (PLC). International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering. 2011; 525-19.