

การพัฒนาระบบจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วย
คอมพิวเตอร์

DEVELOPMENT OF COMPUTERIZED MAINTENANCE
MANAGEMENT SYSTEM FOR SOLAR HOTWATER SYSTEM



สุริยะ สุกรินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาระบบจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วย
คอมพิวเตอร์



สุริยะ สุกรินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

| | |
|-------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การพัฒนาระบบจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยคอมพิวเตอร์ |
| ชื่อ - นามสกุล | นาย สุริยะ สุกรินทร์ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเครื่องกล |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร. สถาพร ทองวิก |
| ปีการศึกษา | 2554 |

บทคัดย่อ

จากการส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดของภาครัฐ ส่งเสริมให้โรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล โรงแรม และบ้านพักอาศัย ติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น แต่ระบบดังกล่าวยังขาดการควบคุมและบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพด้านการใช้งาน ตรวจสอบและบำรุงรักษาโดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกล เพื่อช่วยวิศวกร และช่างเทคนิคในการแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ บน Microsoft Visual BASIC 6 ด้วยกระบวนการประเมินสมรรถนะตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77 และ กระบวนการหาข้อบ่งชี้ด้านความเสียหายของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ พิจารณาจาก กลุ่มตัวแปรของเครื่องมือวัดซึ่งได้จากการพัฒนาชุดคำสั่งเพื่อติดต่อกับเครื่องมือวัดด้วยโปรโตคอล Modbus และตัวแปรเชิงเปรียบเทียบซึ่งได้จากผู้ใช้งาน

การทดสอบผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ Mod RS sim Simulator เพื่อจำลองสัญญาณของเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งใช้การสื่อสารผ่านโปรโตคอล Modbus แบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ 1) การทดสอบรับส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล Modbus 2) การทดสอบกระบวนการประเมินสมรรถนะตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77 3) การทดสอบกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบ และ 4) การแสดงข้อบ่งชี้ถึงความเสียหายของอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

จากการทดสอบระบบซอฟต์แวร์พบว่า การรับส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล Modbus ซอฟต์แวร์สามารถทำการรับส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ผลการประเมินสมรรถนะตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77 พบว่าให้ผลคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 1 ด้านการทดสอบกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบ และการแสดงข้อบ่งชี้ถึงความเสียหายระบบซอฟต์แวร์ พบว่าสามารถประเมินได้ถูกต้องร้อยละ 100 ซึ่งความสามารถดังกล่าวจะช่วยวิศวกรและช่างเทคนิคในการตรวจสอบความเสียหายของอุปกรณ์ วิเคราะห์การทำงานของระบบและช่วยวางแผนการบำรุงรักษาให้กับระบบผลิตน้ำร้อนได้

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องทำน้ำร้อน พลังงานทดแทน การซ่อมบำรุง

| | |
|-----------------------|--|
| Thesis Title | Development of Computerized Maintenance Management System for Solar Hot Water System |
| Name Surname | Mr. Suriya Sukarin |
| Program | Machinery Engineer |
| Thesis Advisor | Dr. Sathaporn Thongwik |
| Academic Year | 2011 |

ABSTRACT

Due to the policy about renewable energy of the government, the solar hot-water system are installed in many factories, hospitals, hotels and houses. However, the systems have not enough efficiency in control, management system inspection, and maintenance especially in upcountry. To solve the problem, computer software on Microsoft Visual Basic6 has been developed by performing the assessment process in ASHRAE 93:77 standard and the damage of solar hot-water system indicator process. The group of measurement factors is considered from source code development for connecting to the measurement via Modbus protocol and comparison factor from users.

The experiment used Mod RS Sim software for simulating the measurement signal that installed in the solar hot water systems. There are four parts of communication via Modbus protocol : 1) data transfer via Modbus protocol test, 2) performance assessment process in ASHRAE 93:77 standard test, 3) data comparison analysis process test, and 4) solar hot-water system damage indicators.

From software experiments, the data transfers via protocol Modbus were correctly performed. Result of performance assessment in ASHRAE 93:77 standard has error less than 1%. The test of data comparison analysis process and solar hot-water system equipment damage indication can be evaluated with 100% accuracy. These results can be helpful for engineers and technicians in the equipment-damage inspection, system analysis, and maintenance planning for hot water systems.

Keywords: solar hot-water system, renewable energy, maintenance

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาและทำการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้รับทุกการศึกษาจากโครงการพัฒนาระบบสารสนเทศ สำหรับจัดการโครงข่ายระบบผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยอาจารย์ พงศ์พิชญ์ ต่วนภูษา เป็นหัวหน้าโครงการ ซึ่งเป็นโครงการร่วมกันระหว่าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.สถาพร ทองวิก ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำแนะนำด้านวิชาการ พร้อมทั้งจัดหา เครื่องมือ อุปกรณ์ และข้อมูล สำหรับใช้ในการดำเนินงานวิจัยและขอขอบคุณ อาจารย์ นิตติ วิทยาวิโรจน์ อาจารย์ประจำวิทยาการคอมพิวเตอร์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ผู้ให้คำแนะนำด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์ และขอบคุณ คณะกรรมการทั้งสามท่านคือ ดร.มนูศักดิ์ งานทอง ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ คุณประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดาและมารดา รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน เพื่อตอบแทนพระคุณที่ได้ช่วยให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษา

สุริยะ สุกรินทร์



สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ง |
| กิตติกรรมประกาศ..... | จ |
| สารบัญ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ช |
| สารบัญภาพ..... | ฌ |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... | ฎ |
| 1 บทนำ | |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.3 สมมุติฐาน..... | 2 |
| 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 3 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 ทฤษฎีการซ่อมบำรุง..... | 4 |
| 2.2 ระบบการบำรุงรักษาตามแผน..... | 4 |
| 2.3 กระบวนการในเชิงการบริหารและการบำรุงรักษา..... | 5 |
| 2.4 เครื่องจักรกับสมรรถนะของกระบวนการ..... | 5 |
| 2.5 เครื่องจักรกับการเพิ่มผลผลิต..... | 5 |
| 2.6 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System)..... | 6 |
| 2.7 การจัดการกับการตัดสินใจ..... | 7 |
| 2.8 กระบวนการวิเคราะห์และแก้ปัญหาทางคอมพิวเตอร์..... | 8 |
| 2.9 ระบบ CMMS..... | 11 |
| 2.10 ทฤษฎีพลังงานแสงอาทิตย์..... | 13 |
| 2.11 กำลังงานที่มอเตอร์ให้กับเครื่องสูบ และเครื่องสูบน้ำ..... | 19 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.12 สัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน..... | 20 |
| 2.13 หลักการทำงานของโปรโตคอล Modbus..... | 21 |
| 3 วิธีดำเนินการวิจัย | |
| 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... | 23 |
| 3.2 เครื่องมือ และข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ในงานวิจัย..... | 24 |
| 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... | 26 |
| 3.4 วิธีการทดสอบ..... | 26 |
| 4 ผลวิจัยและอภิปรายผล | |
| 4.1 การศึกษาและวิเคราะห์หาตัวแปร..... | 33 |
| 4.2 การพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับการรับส่งข้อมูล และการทดสอบ..... | 34 |
| 4.3 การพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับวิเคราะห์ความผิดปกติ และการทดสอบ..... | 40 |
| 4.4 การทดสอบการใช้งานจริงกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์..... | 61 |
| 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 63 |
| 5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย..... | 64 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป..... | 64 |
| รายการอ้างอิง..... | 65 |
| ภาคผนวก..... | 67 |
| ก. Temperature Accuracy of Thermistors and RTDs..... | 68 |
| ข. การแปลสัญญาณ Pyranometer..... | 74 |
| ค. ชุดคำสั่ง..... | 79 |
| ง. ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่..... | 91 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 121 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 การเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ Master ใน Modbus Network..... | 22 |
| 3.1 กรอบเวลาการดำเนินงานวิจัย..... | 23 |
| 3.2 ความต้านทานของ RTD ที่อุณหภูมิใดๆ..... | 26 |
| 3.3 ข้อมูลเงื่อนไขการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพ..... | 29 |
| 3.4 ข้อมูลของเครื่องมือวัดในการทดสอบ..... | 30 |
| 4.1 รูปแบบของโปรโตคอล Modbus..... | 35 |
| 4.2 เงื่อนไขการทดสอบรับส่งข้อมูล..... | 36 |
| 4.3 เงื่อนไขการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพ..... | 43 |
| 4.4 การกำหนดข้อมูลของเครื่องมือวัดในการทดสอบ..... | 43 |
| 4.5 ผลการทดสอบคำนวณประสิทธิภาพ..... | 50 |
| 4.6 การทดสอบเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลสูงสุด..... | 50 |
| 4.7 เงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลต่ำสุด..... | 52 |
| 4.8 เงื่อนไขการทดสอบค่าอุณหภูมิน้ำเข้าสูงสุด..... | 53 |
| 4.9 เงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำเข้าต่ำสุด..... | 54 |
| 4.10 เงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกสูงสุด..... | 55 |
| 4.11 เงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกต่ำสุด..... | 56 |
| 4.12 เงื่อนไขการทดสอบการวิเคราะห์หาความผิดปกติของเครื่องสูบล..... | 59 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย | 2 |
| 2.1 การทำงานของระบบ CMMS..... | 12 |
| 2.2 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปี..... | 13 |
| 2.3 ร้อยละของพื้นที่ ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ที่ระดับต่าง ๆ..... | 14 |
| 2.4 เปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีที่ประเทศต่าง ๆ ได้รับ..... | 14 |
| 2.5 ส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ..... | 15 |
| 2.6 กราฟประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77..... | 16 |
| 2.7 ระบบกักเก็บความร้อนด้วยน้ำและการไหลเวียนของน้ำในแผงรับแสงอาทิตย์..... | 18 |
| 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดและสัญญาณกระแสมาตรฐาน | 20 |
| 2.9 ส่วนต่างๆของ Signal Transmitter..... | 21 |
| 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... | 24 |
| 3.2 ค่าความต้านทานที่อุณหภูมิใดๆ ของ RTD..... | 24 |
| 3.3 การทำงานของซอฟต์แวร์..... | 27 |
| 3.4 เมนู Map Sensor สำหรับการกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ลูก..... | 28 |
| 4.1 ตำแหน่งของเครื่องมือวัด..... | 35 |
| 4.2 ตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ..... | 37 |
| 4.3 การรับและส่งข้อมูลครั้งที่ 1..... | 37 |
| 4.4 การรับและส่งข้อมูลครั้งที่ 2..... | 38 |
| 4.5 การรับและส่งข้อมูลครั้งที่ 3..... | 38 |
| 4.6 การรับและส่งข้อมูลครั้งที่ 4..... | 39 |
| 4.7 การแสดงผลข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave..... | 39 |
| 4.8 หน้าจอแสดงผลความผิดปกติของอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์..... | 40 |
| 4.9 การพิจารณาความผิดปกติของแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ | 41 |
| 4.10 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 1..... | 44 |
| 4.11 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 1..... | 44 |
| 4.12 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 2..... | 45 |
| 4.13 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 2..... | 45 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.14 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 3 | 46 |
| 4.15 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 3 | 46 |
| 4.16 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 4 | 47 |
| 4.17 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 4 | 48 |
| 4.18 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 5 | 48 |
| 4.19 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 5 | 48 |
| 4.20 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 6 | 49 |
| 4.21 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 6 | 49 |
| 4.22 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลสูงสุด | 51 |
| 4.23 ผลลัพธ์การทดสอบเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลสูงสุด | 52 |
| 4.24 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลต่ำสุด | 52 |
| 4.25 ผลลัพธ์การทดสอบเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลต่ำสุด | 53 |
| 4.26 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลต่ำสุด | 53 |
| 4.27 ผลลัพธ์การทดสอบค่าอัตราการไหลต่ำสุด | 54 |
| 4.28 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำเข้าต่ำสุด | 54 |
| 4.29 ผลลัพธ์ตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำเข้าต่ำสุด | 55 |
| 4.30 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกสูงสุด | 55 |
| 4.31 ผลลัพธ์ตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกสูงสุด | 56 |
| 4.32 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกต่ำสุด | 56 |
| 4.33 ผลลัพธ์ตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกต่ำสุด | 57 |
| 4.34 การทำงานของชุดคำสั่งในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ | 59 |
| 4.35 การกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลสูงสุดและต่ำสุด | 59 |
| 4.36 การกำหนดการกินกระแสสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องสูบลม | 60 |
| 4.37 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบหาความผิดปกติของเครื่องสูบลม | 60 |
| 4.38 การแสดงผลของซอฟต์แวร์เมื่อตรวจสอบพบความผิดปกติของเครื่องสูบลม | 61 |
| 4.39 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับรับซอฟต์แวร์ | 62 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.40 เครื่องมือวัดที่เป็นอุปกรณ์ Slave..... | 62 |
| 4.41 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ..... | 62 |



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | |
|-------------------|--|
| A_C | พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์ |
| A_p | กระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องสูบล |
| C_p | ค่าความจุความร้อน |
| E_{Solar} | ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ |
| F | แรงหมุนวัดที่ปลายของมอเตอร์ไคนาโมมิเตอร์ (กิโลกรัม) |
| $F_R U_L$ | ค่าบ่งชี้ถึงการสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับแสงอาทิตย์ |
| $F_R(\tau\alpha)$ | ประสิทธิภาพสูงสุดของแผงรับอาทิตย์ |
| $F' U_L$ | ค่าบ่งชี้ถึงการสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับแสงอาทิตย์เมื่ออัตราการไหล เปลี่ยนไป |
| I_T | ความเข้มแสงอาทิตย์ |
| I_{TC} | ระดับรังสีวิกฤต |
| $\dot{m}_{c,max}$ | อัตราการไหลของน้ำไปสู่แผงรับแสงอาทิตย์สูงสุด |
| \dot{m}_i | อัตราการไหลของน้ำไปสู่โหลด |
| \dot{m}_c | อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่แผงรับแสงอาทิตย์ |
| $\dot{m}_{c,min}$ | อัตราการไหลของน้ำไปสู่แผงรับแสงอาทิตย์ต่ำสุด |
| n | ความเร็วรอบต่อนาที |
| P | ความดันที่เพิ่มขึ้น (kg/cm^2) |
| PW_p | การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบล |
| Q' | อัตราการไหลของน้ำ (ลิตร-นาที) |
| Q_u | พลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ |
| Q_s | พลังงานความร้อนในถังเก็บ |
| r_p | ความยาวของแขนหมุนของไคนาโมมิเตอร์ (เมตร) |
| r | อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าบ่งชี้ถึงการสูญเสียความร้อนรวมของแผงรับแสงอาทิตย์ |
| $R_{(0)}$ | ความต้านทานที่อุณหภูมิ $0^\circ C$ (Ω) |
| $R_{(T)}$ | ความต้านทานที่อุณหภูมิใดๆ (Ω) |

| | |
|----------------------|---|
| $S_{sensitivity}$ | ค่า Sensitivity ของ Pyranometer นั้นๆ |
| T_i | อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ |
| T_o | อุณหภูมิน้ำออกแผงรับแสงอาทิตย์ |
| T_a | อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม |
| T_S | อุณหภูมิในถังเก็บ |
| T_{mp} | อุณหภูมิน้ำเต็ม |
| T | อุณหภูมิใดๆ ($^{\circ}C$) |
| $T_{i,max}$ | อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุด |
| $T_{o,max}$ | อุณหภูมิน้ำออกแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุด |
| $T_{S,max}$ | อุณหภูมิในถังเก็บสูงสุด |
| $T_{mp,max}$ | อุณหภูมิน้ำเต็มสูงสุด |
| $T_{i,min}$ | อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำสุด |
| $T_{o,min}$ | อุณหภูมิน้ำออกแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำสุด |
| $T_{S,min}$ | อุณหภูมิในถังเก็บต่ำสุด |
| $T_{mp,min}$ | อุณหภูมิน้ำเต็มต่ำสุด |
| $T_{Call,i}$ | อุณหภูมิแผงรับแสงอาทิตย์ |
| $T_{Call,o}$ | อุณหภูมิที่แผงรับแสงอาทิตย์ส่งออกไป |
| $\Delta T_{Call,ST}$ | ผลต่างอุณหภูมิที่แผงรับแสงอาทิตย์ส่งออกไปยังถังเก็บ |
| ΔT_{ST} | ผลต่างอุณหภูมิในถังเก็บ |
| $\Delta T_{Lost,ST}$ | ผลต่างอุณหภูมิของการสูญเสียจากถังเก็บ |
| $\Delta T_{ST,O}$ | ผลต่างอุณหภูมิน้ำที่ออกจากถังเก็บ |
| ΔT_{Work} | ผลต่างอุณหภูมิน้ำระหว่างใช้งาน |
| U_{emf} | สัญญาณเอาต์พุตของ Pyranometer |
| V_P | แรงดันไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องสูบ |
| W_i | กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่เครื่องสูบ (วัตต์) |
| W_o | กำลังงานที่มอเตอร์ให้กับน้ำ (W) |
| W_P | พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบ |
| η_P | ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ |
| η_{coll} | ประสิทธิภาพการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ |

บทที่ 1

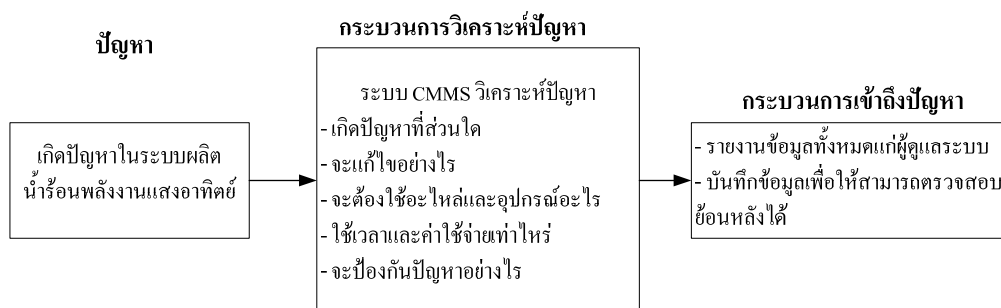
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการตื่นตัวด้านพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก สืบเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ แต่เนื่องจากการติดตั้งที่เพิ่มขึ้นนี้ยังขาดการควบคุมและบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงขาดความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้งานและบำรุงรักษา [1] หากดำเนินงานตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งวางเป้าหมายให้ผู้ประกอบการติดตั้งผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้ 300,000 ตารางเมตร ภายในปี 2565 คิดเป็นเงินลงทุนรวมทั้งสิ้น 5,400 ล้านบาท อาจพบอุปสรรคด้านการบำรุงรักษาได้ในอนาคตได้เช่นกัน

ในปัจจุบันผู้ประกอบการด้านการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานจากแสงอาทิตย์ประสบประสบปัญหาในเรื่องการวิเคราะห์ความเสียหายของระบบที่ทำการติดตั้งไปแล้ว ซึ่งวิศวกรและช่างเทคนิคจะต้องเสียเวลาไปกับการวิเคราะห์ความผิดปกติของอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในระบบ จนหลายครั้งเกิดการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดของ จนก่อให้เกิดการซ่อมแซมที่ผิดพลาดตามมา จึงทำให้ระบบต้องหยุดการทำงานเป็นเวลานาน ดังนั้นหากมีเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ความเสียหายแล้ว จะสามารถลดเวลาในขั้นตอนการวิเคราะห์ความเสียหายรวมถึงข้อผิดพลาดในการทำงานตามขั้นตอนดังกล่าวได้เป็นอย่างมาก ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมมีการใช้งานซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า CMMS หรือ Computerized Maintenance Management System [2] ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ช่วยจัดการด้านงานซ่อมบำรุงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม แต่การใช้งานซอฟต์แวร์ CMMS นั้นมีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากพัฒนาโดยบริษัทต่างชาติ อีกประการหนึ่งคือซอฟต์แวร์ CMMS นั้นไม่รองรับการทำงาน of ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ปัจจัยหรือความเสี่ยงอันก่อให้เกิดความเสียหายของอุปกรณ์นั้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศหรือสิ่งแวดล้อมของโลก จึงทำให้การนำระบบ CMMS ทั่วไปมาใช้ งานกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จึงไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่า หากนำองค์ความรู้ด้านอุณหพลศาสตร์และ วิศวกรรมด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของสาขาวิศวกรรมเครื่องกล มาพัฒนาซอฟต์แวร์ ที่จะสามารถลดปัญหา ด้านการบำรุงรักษา และเพิ่มเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ได้อีกทางหนึ่ง



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1 ศึกษาและวิเคราะห์หาตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะและข้อบ่งชี้ถึงความเสียหาย ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
- 2 ออกแบบและพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องมือวัด ด้วยโปรโตคอล Modbus
- 3 ออกแบบและพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับวิเคราะห์ความผิดปกติและกระบวนการแก้ปัญหาของอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 สมมุติฐาน

1.3.1 รูปแบบการทำงานของระบบ CMMS ประกอบด้วย

- ก) การรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องมือวัดด้วยโปรโตคอล Modbus
- ข) การวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ที่จะเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ภายในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
- ค) การบันทึกปัญหาและความเสียหายของอุปกรณ์ในแต่ละครั้ง
- ง) การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบรายงาน

1.3.2 แบ่งตัวแปรเพื่อประเมินและวิเคราะห์ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย

- ก) กลุ่มตัวแปรจากเครื่องมือวัด
- ข) กลุ่มตัวแปรเชิงเปรียบเทียบ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1 การประเมินสมรรถนะแผงรับแสงอาทิตย์ อยู่ภายใต้มาตรฐาน ASHRAE 93-77
- 2 แผงรับแสงอาทิตย์เป็นชนิดแผ่นเรียบแบบมีกระจกครอบ (Glazed Flat-Plate Solar Collector) มีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ต่อแผงไม่เกิน 1 ตารางเมตร และสารตัวนำคือน้ำ
- 3 พัฒนาชุดคำสั่งด้วยซอฟต์แวร์ Microsoft visual basic6 ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Window เวอร์ชัน XP
- 4 ใช้ Modbus protocol ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องมီควัดและเครื่องคอมพิวเตอร์
5. หากมีแผงรับแสงอาทิตย์มากกว่า 1 แผงในระบบ กำหนดให้การต่อเป็นแบบขนานหรืออนุกรมเท่านั้น
- 6 การไหลของสารตัวนำความร้อนเกิดจากเครื่องสูบน้ำเท่านั้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1 ศึกษาและค้นหาข้อมูลหลักการทำงานของระบบ CMMS และระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์
- 2 ออกแบบอัลกอริทึมของระบบวิเคราะห์
- 3 พัฒนาชุดคำสั่ง
- 4 ทดสอบการทำงาน
- 5 สรุปผลการทดสอบ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ประโยชน์ด้านเทคโนโลยี
 - ก) พัฒนาเทคโนโลยีการบริหารจัดการพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้ประสิทธิภาพ
 - ข) เพิ่มศักยภาพในการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.7.2 ประโยชน์ต่ออุตสาหกรรม
 - ก) กระตุ้นให้เกิดการตื่นตัวและความมั่นใจด้านการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในภาคอุตสาหกรรม
 - ข) เพิ่มความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการซ่อมบำรุง

ในกระบวนการผลิตพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์นั้นหากมองในรูปแบบกระบวนการผลิตนั้นจะพบว่าวัตถุดิบในการผลิต คือแสงอาทิตย์และน้ำดิบซึ่งมีอุณหภูมิต่ำถูกป้อนเข้าสู่แผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งเปรียบได้กับเครื่องจักรในกระบวนการ โดยที่ผลผลิตของกระบวนการคือน้ำอุณหภูมิสูงซึ่งจะถูกนำไปเก็บไว้ในถังน้ำร้อน โดยที่การไหลของกระบวนการเกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องสูบลมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของระบบคือ น้ำร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับสมรรถนะของเครื่องจักรในระบบคือ แผงรับแสงอาทิตย์ และ เครื่องสูบลม

จากทฤษฎีพื้นฐานของระบบการผลิตที่ดี คือ การที่เครื่องจักรและอุปกรณ์อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ตลอดเวลา(Reliability) ระบบการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพจะช่วยส่งเสริม และดำรงไว้ซึ่งสภาพ โดยกระบวนการทั้งหมดจะเป็นไปในรูปแบบ การบำรุงรักษาตามแผน หรือ Planned Maintenance โดยแผนในการบำรุงรักษาสามารถแบ่งออกเป็นดังนี้คือ

2.1.1 การปฏิบัติตามระบบการบำรุงรักษา (Plan - Based Systematic Activities)

2.1.2 การปฏิบัติเมื่อเครื่องจักรเสียหาย (Non-Systematic Activities) ซึ่งเป็นความเสียหายแบบฉับพลัน (Sporadic Failures)

การบำรุงรักษาตามแผนดังกล่าว จะทำให้ความเสียหายของเครื่องจักร ขณะใช้งานลดลงได้ หรือหากเกิดขึ้นก็จะกลับมาใช้งานได้ตามปกติอย่างรวดเร็ว โดยความหมายของเครื่องจักรในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ แผงรับแสงอาทิตย์ และ เครื่องสูบลมในระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์

2.2 ระบบการบำรุงรักษาตามแผน

2.2.1 กระบวนการเพื่อให้เครื่องจักร ใช้งานได้ดีตลอดเวลา ประกอบไปด้วยกระบวนการ เพื่อให้เครื่องจักรมีอัตราการใช้งานสูง (Availability) และเพื่อความสามารถในการซ่อมบำรุง (Maintainability) โดยวิธีการบำรุงรักษาที่จะช่วยส่งเสริม Availability และ Maintainability ประกอบด้วยการบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ก) เพื่อหยุดความเสียหาย

ข) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

ค) การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance)

- ง) การบำรุงเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance)
- จ) การป้องกันการบำรุงรักษา (Maintenance Prevention)
- ฉ) การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง (Breakdown Maintenance)

2.3 กระบวนการในเชิงการบริหารและการบำรุงรักษา

เพื่อให้การบำรุงรักษาตามแผนได้รับการสนับสนุน ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลเครื่องจักร อะไหล่ หรืองบประมาณต่างๆ โดยทั่วไปต้องมีกิจกรรมเชิงบริหาร อันประกอบด้วย

- ก) การจัดการข้อมูลด้านต่างๆ ในการบำรุงรักษา
- ข) การจัดการชิ้นส่วนและอะไหล่
- ค) การจัดการต้นทุนการบำรุงรักษา

2.4 เครื่องจักรกับสมรรถนะของกระบวนการ

สมรรถนะของกระบวนการ หมายถึง ผลการดำเนินงานของกระบวนการ โดยที่กระบวนการ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ กระบวนการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า (ผู้ใช้น้ำร้อน หรือกระบวนการที่ต้องการนำความร้อนไปใช้งาน) ซึ่งความพึงพอใจนั้นได้แก่

- 2.4.1 ต้นทุน (Cost)
- 2.4.2 คุณภาพ (Quality)
- 2.4.3 การส่งมอบ (Delivery)
- 2.4.4 ความปลอดภัย (Safety)
- 2.4.5 ขวัญกำลังใจ (Morale)
- 2.4.6 สิ่งแวดล้อม (Environment)

โดยทั้งหมดจะเกิดขึ้นได้นั้น กระบวนการ ต้องอยู่บนพื้นฐานของการใช้เครื่องจักรได้อย่างคุ้มค่าเพื่อให้เกิดการเพิ่มผลผลิต (Productivity)

2.5 เครื่องจักรกับการเพิ่มผลผลิต

$$\text{Productivity} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad (2.1)$$

จากสมการที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มผลผลิตมีความเกี่ยวข้องกับเครื่องจักรเนื่องจากเป็นปัจจัยโดยตรงของการผลิตที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งปริมาณแผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collector) และประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์เป็นตัวแปรสำคัญที่จะส่งผลถึงคุณภาพของปริมาณน้ำร้อนที่ระบบผลิตได้ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณน้ำร้อนนั้นจะเป็นไปตามแนวทางดังนี้

2.5.1 การใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ เท่าเดิม แต่ทำให้ปริมาณน้ำร้อนเพิ่มมากขึ้น หมายถึง การบำรุงรักษาเครื่องจักรให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม ไม่มีการเสียหาย ไม่มีการรอกออะไหล่ และไม่ผลิตงานเสีย ทั้งนี้เพื่อให้มีเวลาสำหรับการทำการผลิตมากขึ้น

2.5.2 การใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์น้อยลงแต่ปริมาณน้ำร้อนเท่าเดิม แนวทางนี้อยู่ภายใต้แนวความคิดที่ว่า ถ้าเราทำให้เครื่องจักรทุกเครื่องทำงานได้อย่างเต็มความสามารถของเครื่องจักรแล้ว เราอาจจะไม่ต้องใช้จำนวนเครื่องจักรเท่าที่มีอยู่ในตอนนี้ก็ได้ แต่ยังสามารถทำการผลิตได้ในปริมาณเท่าเดิม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ สาเหตุที่ทำให้เราต้องใช้เครื่องจักรจำนวนมากขนาดนี้ก็เพราะเครื่องจักรของเราเสียบ่อย ทำงานได้ไม่เต็มที่ หรืออาจจะมีการผลิตชิ้นงานเสียออกมาเป็นจำนวนมาก

2.5.3 ใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์น้อยลงแต่ทำให้ปริมาณน้ำร้อนเพิ่มขึ้นแนวทางนี้เป็นการเพิ่มผลผลิตโดยการทำให้เครื่องจักรมีกำลังการผลิตที่สูงขึ้นกว่าที่ออกแบบไว้ อาจเป็นการดัดแปลง ปรับปรุง หรือติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้าไป หรือการทำให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพที่ต้องใช้เวลาในการดูแลรักษาน้อยที่สุด

จากการเพิ่มปริมาณการผลิตที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรตามแนวทางทั้งสามดังกล่าว จะเห็นได้ว่าต้องมี ระบบการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพเป็นตัวจักรที่สำคัญ รวมถึงการปรับปรุงเครื่องจักรไม่ใช่เพียงแต่รอให้เสียแล้วจึงซ่อมอย่างที่เคยเป็น

2.6 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System)

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เป็นระบบย่อยหนึ่งในระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ โดยที่ระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะช่วยผู้บริหารในเรื่องการตัดสินใจในเหตุการณ์หรือกิจกรรมทางธุรกิจที่ไม่มีโครงสร้างแน่นอน หรือกึ่งโครงสร้าง ระบบสนับสนุนการตัดสินใจอาจจะใช้กับบุคคลเดียว หรือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเป็นกลุ่ม นอกจากนี้ ยังมีระบบสนับสนุนผู้บริหารเพื่อช่วยผู้บริหารในการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ได้เริ่มขึ้นในช่วง ปี ค.ศ. 1970 โดยมีหลายบริษัทเริ่มที่จะพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อที่จะช่วยผู้บริหารในการตัดสินใจปัญหาที่ไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน หรือ กึ่งโครงสร้าง โดยข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงตลอด ซึ่งระบบสารสนเทศเดิมที่ใช้ในลักษณะระบบการประมวลผลรายการ (Transaction Processing System) ไม่สามารถกระทำได้นอกจากนั้นยังมี วัตถุประสงค์เพื่อลดแรงงาน ต้นทุนที่ต่ำลงและยังช่วยในเรื่องการวิเคราะห์การสร้างความจำลอง (Model) เพื่ออธิบายปัญหาและ การตัดสินใจในปัญหาต่างๆ จนกระทั่งปี ค.ศ. 1980 ความพยายามในการใช้ระบบนี้เพื่อช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจได้แพร่ออกไป ยังกลุ่มและองค์กรต่างๆ

2.7 การจัดการกับการตัดสินใจ [3]

2.7.1 Henri Fayol (1841-1925) ชาวฝรั่งเศสได้กล่าวถึงหน้าที่หลักในการจัดการ (Management Functions) ไว้ 5 ประการด้วยกัน

- ก) การวางแผน (Planning)
- ข) การจัดองค์การ (Organizing)
- ค) การประสานงาน (Coordinating)
- ง) การตัดสินใจ (Deciding)
- จ) การควบคุม (Controlling)

2.7.2 Simon (1960) ได้อธิบายขั้นตอนการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลอง (Model) ที่ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ประการ ดังต่อไปนี้

2.7.2.1 การใช้ความคิดประกอบเหตุผล (Intelligence) ผู้ตัดสินใจจะรับรู้ถึงโอกาสหรือปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นผู้ทำการตัดสินใจเริ่มเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากทั้งตัวปัญหา และ สิ่งแวดล้อม หรือโอกาสนั้น

2.7.2.2 การออกแบบ (Design) ผู้ตัดสินใจจะวิเคราะห์และพัฒนาทางต่าง ที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหาเพื่อนำไปใช้ประกอบตัดสินใจเลือกทางเลือกในการปฏิบัติที่เหมาะสม การที่จะประสบความสำเร็จได้ในขั้นตอนนี้ ผู้ทำการตัดสินใจจะต้องมีความเข้าใจในปัญหา มีความคิดสร้างสรรค์ พยายามที่จะหาทางออกของปัญหา และตรวจสอบความเป็นไปได้ในปัญหานั้น

2.7.2.3 การคัดเลือก (Choice) ผู้ทำการตัดสินใจจะทำการคัดเลือกแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมกับสถานการณ์ที่สุด เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

2.7.3 Rubenstien และ Haberstroh (1965) มีแนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนการตัดสินใจว่ามี 5 ขั้นตอนดังนี้

- ก) ผู้ตัดสินใจรับรู้ถึงโอกาส หรือปัญหาที่เกิดขึ้น
- ข) ผู้ตัดสินใจรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัญหา ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหา และกำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้ เพื่อการวิเคราะห์ทางเลือกในการตัดสินใจ
- ค) ผู้ตัดสินใจจะทำเลือกแนวทางที่คิดว่าเหมาะสมกับลักษณะของปัญหาและสถานการณ์ เพื่อนำไปปฏิบัติต่อไป
- ง) ผู้ตัดสินใจจะดำเนินการ เพื่อนำผลการตัดสินใจไปปฏิบัติ
- จ) ภายหลังจากนำผลการตัดสินใจไปดำเนินงาน ต้องทำการติดตามผลของการปฏิบัติเพื่อตรวจสอบว่าการดำเนินงานมีประสิทธิภาพเพียงใด และต้องปรับปรุงให้สอดคล้องกับสถานการณ์อย่างไร

2.7.4 แนวคิดของ Long (1989) กล่าวว่า การตัดสินใจแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

- ก) การรับรู้ถึงโอกาสหรือปัญหาที่เกิดขึ้น
- ข) การสำรวจขอบเขตและข้อจำกัดของการตัดสินใจ
- ค) การกำหนดทางเลือกในการตัดสินใจ
- ง) การรวบรวมสารสนเทศที่เหมาะสมแก่การตัดสินใจ
- จ) การวิเคราะห์ทางเลือกที่เป็นไปได้
- ฉ) การเลือกทางเลือกที่เหมาะสมและนำไปปฏิบัติ

2.8 กระบวนการวิเคราะห์และแก้ปัญหาทางคอมพิวเตอร์

2.8.1 การวิเคราะห์เป็นการแยกแยะสิ่งที่จะพิจารณาออกเป็นส่วนย่อยที่มีความสัมพันธ์กัน เพื่อทำความเข้าใจแต่ละครั้ง รวมทั้งการสืบค้นความสัมพันธ์ของส่วนต่างๆ เพื่อดูว่าส่วนประกอบปลีกย่อยนั้นสามารถเข้ากันได้หรือไม่ สัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันอย่างไร ซึ่งจะช่วยให้เกิดความเข้าใจต่อสิ่งหนึ่งสิ่งใดอย่างแท้จริง โดยพื้นฐานการวิเคราะห์ถือเป็นทักษะที่มนุษย์ฝึกได้ โดยมีผู้กล่าวไว้ว่า ทักษะการวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

- ก) ความรู้ความเข้าใจ ประสบการณ์ ตลอดจนทัศนคติในเรื่องที่จะวิเคราะห์นั้นๆ ร้อยละ 40 รวมเรียกว่าศาสตร์
- ข) ศิลปะการใช้ภาษา การสื่อสาร การถ่ายทอดให้ผู้อื่นเข้าใจมุมมองร้อยละ 40 รวมเรียกว่าศิลป์
- ค) สัญชาตญาณและความกล้าหาญอีกร้อยละ 20 เรียกว่าพรสวรรค์

2.8.2 การโปรแกรมแบบฮิวริสติก เป็นการพิจารณาหาทางเลือกที่เหมาะสมให้กับปัญหา การตัดสินใจที่ซับซ้อน จะเกี่ยวข้องกับข้อจำกัดด้านเวลาและค่าใช้จ่าย หรือบางครั้งอาจเป็นไปได้ยาก ในการนำมาปฏิบัติจริง เนื่องจากการจำลองเหตุการณ์ (Simulation) อาจจะต้องใช้เวลา และไม่แม่นยำ บางครั้งการใช้ฮิวริสติกอาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจได้เร็วกว่า และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำการทดลองค้นคว้าหากได้ด้วยตัวเอง (ใช้ดุลพินิจ, วิจารณ์) ในการเลือกตัดสินใจ โดยไม่มีทฤษฎีใดๆ มาช่วย โดยกฎที่ได้นี้อาจได้จากการใช้ผู้เชี่ยวชาญ หรือได้จากการใช้วิธีลองผิดลองถูก

ฮิวริสติกมักจะถูกใช้ในการแก้ปัญหาที่มีโครงสร้างไม่ดีนัก และสามารถใช้ในการหาทางเลือกปัญหาที่น่าพึงพอใจสำหรับปัญหาที่ซับซ้อนหรือปัญหาที่มีโครงสร้าง ได้เร็วกว่าและถูกกว่าการใช้ อัลกอริธึม ปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้ ฮิวริสติกก็คือ เป็นวิธีการที่ไม่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายเท่ากับการใช้อัลกอริธึม ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้กับสถานการณ์เฉพาะบางอย่างที่มีการวางเป้าหมายเอาไว้ ตั้งแต่ต้นเท่านั้น อีกปัญหาหนึ่งก็คือทางเลือกปัญหาที่ได้จากการใช้ฮิวริสติกอาจไม่ใช่ทางเลือกที่ดีที่สุดเหมือนการใช้อัลกอริธึมอื่น แต่เป็นเพียงทางเลือกปัญหาที่เป็นไปได้และ "ดีเพียงพอ" โดย คำว่า "ดีเพียงพอ" มักจะอยู่ในช่วง 90-99.9% ของทางเลือกปัญหาที่เหมาะสมจริงๆ การคิดแบบฮิวริสติกไม่จำเป็นต้องดำเนินไปตามแนวทางการจัดการที่วางไว้ มันจะเกี่ยวข้องกับการค้นหา, การเรียนรู้, การประเมินค่า และการตัดสินใจ โดยขบวนการในการค้นหา การเรียนรู้ และการประเมินค่านี้จะเกิดขึ้นซ้ำแล้ว ซ้ำเล่า เหมือนกับการสำรวจ เพื่อนำไปสู่วิธีการอีกรูปแบบหนึ่ง ความรู้จะถูกได้รับจากความสำเร็จหรือความล้มเหลวที่บางจุด ที่มีผลสะท้อนกลับมา และทำการแก้ไขขบวนการค้นหานั้นๆ ให้ดีขึ้น โดยสถานการณ์ที่เหมาะสมในการนำฮิวริสติกมาใช้คือ

- ก) ข้อมูลเข้าไม่แน่นอน หรือมีจำกัด
- ข) ระบบจริงๆ มีความซับซ้อนมากจนกระทั่งไม่สามารถใช้วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ได้
- ค) ไม่มีวิธีการหรืออัลกอริธึม ที่น่าเชื่อถือที่สามารถใช้ได้อย่างแท้จริง
- ง) ใช้เวลาในการคำนวณหาทางเลือกปัญหาที่เหมาะสมที่สุดมากเกินไป
- จ) มีความเป็นไปได้ที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของขบวนการในการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดแล้วรวมการใช้ฮิวริสติกนี้เข้ากับวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด
- ฉ) เป็นปัญหาที่ซับซ้อน ไม่คุ้มค่ากับการใช้วิธีหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด หรือเป็นปัญหาที่ต้องใช้เวลามาก

ข) เมื่อมีการเกี่ยวข้องกับขบวนการทางสัญลักษณ์ (Symbolic) มากกว่าทางตัวเลข (Numerical)

ช) เมื่อต้องการทำการตัดสินใจอย่างรวดเร็ว โดยไม่สามารถใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยได้

2.8.3 อัลกอริทึมขั้นตอนวิธี หรือ อัลกอริทึม (Algorithm) หมายถึงกระบวนการแก้ปัญหาที่สามารถเข้าใจได้ มีลำดับหรือวิธีการในการแก้ไขปัญหาใดปัญหาหนึ่งอย่างเป็นขั้นเป็นตอนและชัดเจน เมื่อนำเข้าอะไร แล้วจะต้องได้ผลลัพธ์เช่นไร ซึ่งแตกต่างจากการแก้ปัญหาแบบสามัญสำนึก หรือฮิวริสติก

โดยทั่วไป ขั้นตอนวิธี จะประกอบด้วย วิธีการเป็นขั้นๆ และมีส่วนที่ต้องทำแบบวนซ้ำ (Iterate) หรือ เวียนเกิด (Recursive) โดยใช้ตรรกะ (Logic) และ/หรือ ในการเปรียบเทียบในขั้นตอนต่างๆ จนกระทั่งเสร็จสิ้นการทำงาน ในการทำงานอย่างเดียวกัน อาจเลือกขั้นตอนวิธีที่ต่างกันเพื่อแก้ปัญหาได้ โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นสุดท้ายจะออกมาเหมือนกันหรือไม่ก็ได้ และจะมีความแตกต่างที่จำนวนและชุดคำสั่งที่ใช้ต่างกันซึ่งส่งผลให้ เวลา และขนาดหน่วยความจำ ที่ต้องการต่างกัน หรือเรียกได้อีกอย่างว่ามีความซับซ้อน ต่างกัน การนำขั้นตอนวิธีไปใช้ ไม่จำกัดเฉพาะการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่สามารถใช้กับปัญหาอื่น ๆ ได้เช่น การออกแบบวงจรไฟฟ้า, การทำงานเครื่องจักรกล, หรือแม้กระทั่งปัญหาในธรรมชาติ เช่น วิธีของสมองมนุษย์ในการคิดเลข หรือวิธีการขนอาหารของแมลง หนึ่งในขั้นตอนวิธีอย่างง่าย คือ ขั้นตอนวิธีที่ใช้หาจำนวนที่มีค่ามากที่สุดในการ (ซึ่งไม่ได้เรียงลำดับไว้) ในการแก้ปัญหานี้ จะต้องดูจำนวนทุกจำนวนในการ ซึ่งวิธีขั้นตอนวิธีดังนี้

ก) ดูแต่ละจำนวนในการ ถ้ามีค่ามากกว่าจำนวนที่มีค่ามากที่สุดที่เคยพบจดค่ามันไว้

ข) จำนวนที่จดไว้ตัวสุดท้าย จะเป็นจำนวนที่มีค่ามากที่สุด

ค) ตรรกศาสตร์คลุมเครือ หรือ ฟัซซีลอจิก พัฒนาจากทฤษฎีเซตวิชันัย โดยเป็นการใช้เหตุผลแบบประมาณ ซึ่งแตกต่างจากการใช้เหตุผลแบบเด็ดขาดในลักษณะ ถูก/ผิด ใช่/ไม่ใช่ ของตรรกศาสตร์แบบฉบับ (Classical Logic) ตรรกศาสตร์คลุมเครือนี้สามารถถือเป็นการประยุกต์ใช้งานเซตวิชันัย เพื่อจำลองการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ ต่อปัญหาที่ซับซ้อน

ค่าระดับความจริง ในตรรกศาสตร์คลุมเครือนี้มักจะสับสนกับ ค่าความน่าจะเป็น ซึ่งมีแนวความคิดที่แตกต่างกัน ค่าระดับความจริงคลุมเครือนี้ใช้ในการระบุ ค่าความเป็นสมาชิก ของเซต แต่ค่าความน่าจะเป็นนั้นระบุความเป็นไปได้ของสภาพการณ์แต่ละรูปแบบที่อาจจะเกิดขึ้น

ตรรกศาสตร์คลุมเครือนั้น สามารถระบุค่าความเป็นสมาชิกของเซต (Set Membership Values) ด้วยค่าระหว่าง 0 และ 1 ทำให้เกิดระดับถึงในลักษณะของ สีเทา นอกจาก ขาว และ ดำ ซึ่งมีประโยชน์ในการจำลองระดับซึ่งสามารถระบุด้วยคำพูด "เล็กน้อย" "ค่อนข้าง" "มาก" โดยใช้ค่าความเป็นสมาชิกของเซตบางส่วน ซึ่งทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือนี้มีความสัมพันธ์กับ เซตวิภังค์ (Fuzzy Set) และ ทฤษฎีความเป็นไปได้ (Possibility Theory) ซึ่งคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1965 โดยศาสตราจารย์ ลอตฟี ซาเดห์ แห่งมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย เบิร์กลีย์

2.9 ระบบ CMMS

2.9.1 การใช้งานระบบ CMMS การใช้งานระบบ CMMS เป็นโครงการหนึ่งเหมือนกับโครงการปรับปรุงหรือโครงการในด้านต่างๆที่ดำเนินการในสถานประกอบการ ซึ่งมีวงจรชีวิตที่สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

ก) เป็นการกำหนดความต้องการ การวิจัยและพัฒนาเพื่อหาระบบรูปแบบ วิธีการ หรือเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อสนองตอบความต้องการที่กำหนด

ข) การจัดหาและเตรียมการเพื่อนำเอาระบบ รูปแบบ วิธีการ หรือเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ได้เลือกไว้มาใช้งาน

ค) การดำเนินงานตามระบบ รูปแบบ หรือวิธีการ หรือการใช้งานเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่จัดหา รวมทั้งการดูแลรักษาระบบ รูปแบบ วิธีการ หรือเครื่องจักรและอุปกรณ์ด้วย

ง) เป็นระยะของการสิ้นสุดอายุการใช้งานหรือการเลิกใช้ระบบ รูปแบบ วิธีการ หรือการรีดถอนเครื่องจักรและอุปกรณ์

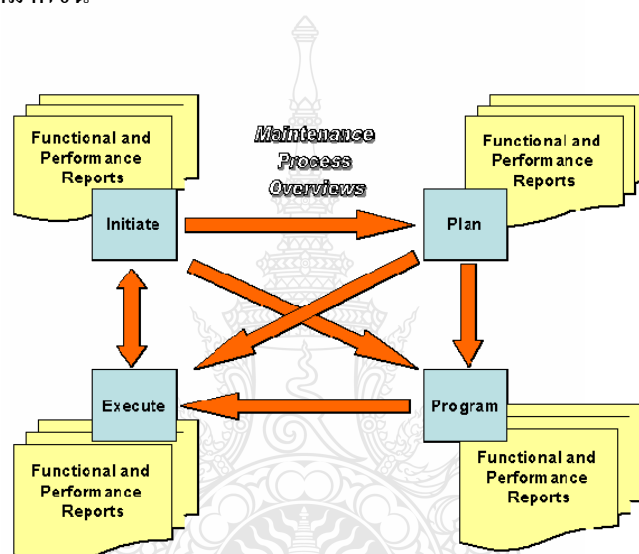
2.9.2 วัตถุประสงค์ของการใช้ระบบ CMMS

ก) การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องจักรโดยรวมให้สูงสุด โดยจำนวนร้อยละของการหยุดเครื่องจักรลดลง ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด (การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องจักรโดยรวมคิดเป็นร้อยละ) ซึ่งระบบ CMMS ทำการตรวจสอบได้จากประวัติของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหาย

ข) ประวัติของเครื่องจักรและอุปกรณ์แบบและชนิดเดียวกัน โดยระบบพยายามหาข้อแตกต่างและพิจารณาว่าข้อแตกต่างนี้มีผลต่ออายุการใช้งานที่ยาวกว่าหรือสั้นกว่าหรือไม่ และพิจารณาต่อไปว่าทำไมเครื่องจักรและอุปกรณ์แบบและชนิดเดียวกันนี้จึงไม่ชำรุดเสียหาย

ค) ความต้องการให้การปฏิบัติงานบำรุงรักษาทุกขั้นตอนเป็นไปอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาจากรายงานที่ได้จากระบบ CMMS เพื่อกำหนดเป้าหมายงานบำรุงรักษาเป็นไปอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

ง) การลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับโปรแกรมการบำรุงรักษาที่ดำเนินการอยู่ให้ต่ำที่สุด โดยพิจารณารายงานที่จะได้จากระบบ CMMS ที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่จะมีทั้ง ค่าใช้จ่ายทางตรงที่ได้จาก ค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษาแต่ละงานที่ได้ดำเนินการไปแล้วในแต่ละช่วงเวลา และค่าใช้จ่ายทางอ้อมที่สามารถคำนวณได้จากเวลาที่เครื่องจักรและอุปกรณ์ต้องหยุดทำงาน และค่าสูญเสียโอกาสในการผลิตที่เกิดจากการหยุดของเครื่องจักรนั้นๆ โดยสามารถนำมากำหนดเป็นเป้าหมายได้ในรูปของจำนวนเปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายโดยรวมที่จะลดลง และอาจแยกเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายทางตรงและค่าใช้จ่ายทางอ้อมที่จะลดลงซึ่งก็จะทำให้การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถทำได้ละเอียดมากขึ้น



ภาพที่ 2.1 การทำงานของระบบ CMMS [2]

2.9.3 บทบาทของ CMMS ในการจัดการปฏิบัติการงานบำรุงรักษา

ก) เกิดประสิทธิผลทางด้านกลยุทธ์การบำรุงรักษา ซึ่งการบำรุงรักษาตามสภาวะเงื่อนไขจะเสีย ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดและมีประสิทธิผลสูงสุด และส่งผลต่อการลดชั่วโมง-แรงงาน และเพิ่มประสิทธิผล

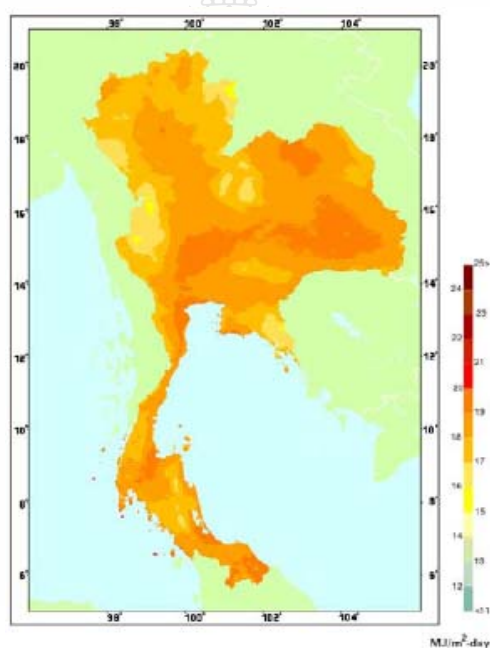
ข) สร้างความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์ความผิดปกติของแต่ละเครื่องจักรรวมถึงผลกระทบข้างเคียง และการวางแผนปรับปรุง

ค) ระบุปัญหาความขัดข้องที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ด้วยการวิเคราะห์สาเหตุและสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาการขัดข้องเกิดขึ้นซ้ำ

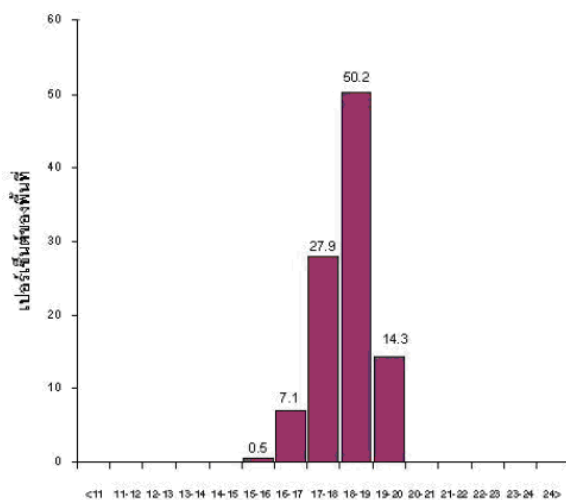
2.10 ทฤษฎีพลังงานแสงอาทิตย์

2.10.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง สำหรับการนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อุปกรณ์รวมแสง ผู้วิจัยจำเป็นต้องทราบศักยภาพรังสีตรงด้วยใน กรณีของประเทศไทย ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในบริเวณต่าง ๆ โดยเฉลี่ยทั้งปีสามารถแสดงได้ด้วยแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีดังภาพที่ 2.2 จากภาพจะเห็นว่าบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงแผ่เป็นบริเวณกว้างทางตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุดรธานีรวมทั้งบางส่วนของภาคกลาง สำหรับส่วนที่เหลือจะมีศักยภาพลดหลั่นกันตามกันไป เมื่อทำการจำแนกเป็นร้อยละของพื้นที่ตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับจะได้ผลดังภาพที่ 2.3

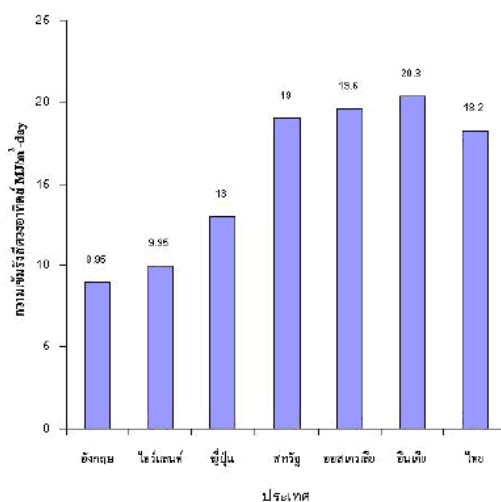


ภาพที่ 2.2 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปี [1]



ภาพที่ 2.3 ร้อยละของพื้นที่ ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ที่ระดับต่าง ๆ [1]

จากการศึกษาพบว่าร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง คือได้รับรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในช่วง 19-20 MJ/m²-day และร้อยละ 50 ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์ในช่วง 18-19 MJ/m²-day ซึ่งถือว่ามีศักยภาพแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ส่วนบริเวณที่มีศักยภาพค่อนข้างต่ำนั้น มีเพียงร้อยละ 0.5 ของพื้นที่ทั้งหมดเมื่อทำการเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศจากทุกจะ ได้เท่ากับ 18.2 MJ/m²-day



ภาพที่ 2.4 เปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีที่ประเทศต่างๆ ได้รับ [1]

2.10.2 เทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน ได้แก่ การผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด

ก) ชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติ เป็นการผลิตน้ำร้อนชนิดที่มีถังเก็บอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ ใช้หลักการหมุนเวียนตามธรรมชาติ

ข) ชนิดใช้เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนเหมาะสำหรับการใช้ผลิตน้ำร้อนจำนวนมาก และมีการใช้อย่างต่อเนื่อง

ค) ชนิดผสมผสาน เป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์มาผสมผสานกับความร้อนเหลือทิ้งจากการระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็น โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

2.10.3 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collector) เป็นแบบที่สามารถผลิตน้ำร้อนที่ อุณหภูมิต่ำ แผ่นรับแสงแบบนี้จะไม่มีอุปกรณ์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ (Non-Tracking Solar Collector) ได้แก่ แผ่นรับแสงแบบแผ่นเรียบชนิดมีแผ่นปิดใส (Single Glazed) และแผ่นรับแสงแบบแผ่นเรียบชนิดไม่มีแผ่นปิด (Unglazed) เป็นต้น แผงรับแสงแบบนี้จะสามารถรับแสงอาทิตย์เป็นความที่อุณหภูมิต่ำ

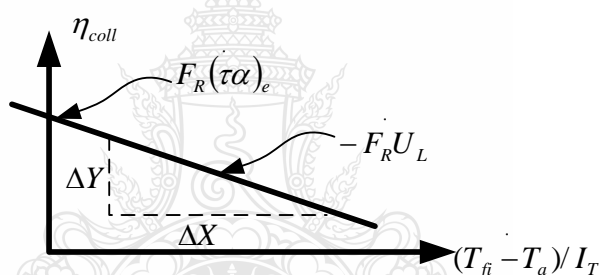


ภาพที่ 2.5 ส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ [1]

2.10.4 การพิจารณาประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ตาม มาตรฐาน ASHRAE 93:77 การพิจารณาประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งการพิจารณาประสิทธิภาพการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ (Collector Efficiency, η_{coll}) สามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้ [8]

$$\eta_{coll} = \frac{Q_{coll}}{I_c A_c} = \frac{m_c C_p (T_o - T_i)}{I_c A_c} = F_R (\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{I_c} \quad (2.2)$$

หากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง η_{coll} และ $(T_i - T_a)/I_c$ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปสมการเส้นตรงโดยที่ค่า $-F_R U_L$ คือความชันและ $F_R (\tau\alpha)$ คือค่าจุดตัดแกนตั้งแสดงในรูปที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 กราฟประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77

2.10.5 การปรับแก้ผลของอัตราการไหลในกรณีการปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะทำให้ค่า $F_R (\tau\alpha)$ และ $F_R U_L$ ของตัวเก็บรังสีมีการเปลี่ยนแปลง สามารถหาค่า $F_R (\tau\alpha)$ และ $F_R U_L$ ใหม่ได้จาก

$$r = \frac{F_R U_L|_{test}}{F_R U_L|_{use}} = \frac{F_R (\tau\alpha)|_{use}}{F_R (\tau\alpha)|_{test}} \quad (2.3)$$

$$\text{หรือ} \quad r = \frac{\left. \frac{m_c C_p}{A_c F' U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c F' U_L}{m_c C_p} \right) \right] \right|_{Use}}{\left. \frac{m_c C_p}{A_c F' U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c F' U_L}{m_c C_p} \right) \right] \right|_{Test}} \quad (2.4)$$

โดยที่

$$F' U_L = -\frac{m_c C_p}{A_c} \ln \left(1 - \frac{F_R U_L A_c}{m C_p} \right) \quad (2.5)$$

2.10.6 ผลของฝุ่นกับประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ [8]

ผลของฝุ่นและเงาเป็นปัญหาสำคัญของแผงรับแสงอาทิตย์ จากการศึกษาของ Dietz (1963) ที่ มุมตกกระทบ 0 ถึง 50 องศาฝุ่นสามารถทำให้ปริมาณของแสงที่ผ่านแผ่นปิดโพลีคาร์บอเนตได้ถึงร้อยละ 2.7 หากทำการทดสอบระยะยาว จากงานวิจัยของ Hottel และ Woertz (1942) พบว่าสมรรถนะของแผงรับแสงอาทิตย์ ลดลงประมาณร้อยละ 1 เนื่องจากความสกปรกของบนกระจก และจากการวิจัยในประเทศอินเดียของ Garg(1974) พบว่าเมื่อไม่มีฝนตกรวม 30 วัน แสงที่ส่องผ่านกระจกที่ทำมุมเอียง 45 องศา ลดลงร้อยละ 8

2.10.7 การกักเก็บพลังงานความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถพิจารณาได้ดังนี้

- ก) ความจุความร้อนต่อปริมาตร
- ข) ช่วงของอุณหภูมิสูงสุดในการทำงาน
- ค) ความร้อนเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง
- ง) อุณหภูมิที่กักเก็บต้องแบ่งออกเป็นชั้นของระดับอุณหภูมิ
- จ) ความร้อนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงต้องเพียงพอต่อกำลังงานที่ต้องการ
- ฉ) ถึงกักเก็บหรือ โครงสร้างโดยละเอียดมีส่วนในการกักเก็บความร้อนของระบบ
- ช) ระหว่างการใช้งานมีการสูญเสียความร้อนออกจากระบบ
- ซ) ต้นทุนในการสร้าง

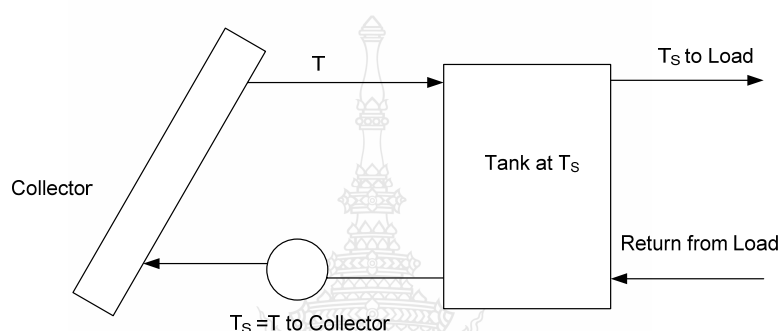
จากรายการข้างต้นแสดงให้เห็นผลกระทบในการผลิตความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งการใช้ประโยชน์จากตัวรับรังสีอาทิตย์ลดลง อุณหภูมิที่แผงรับแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นเนื่องจาก

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงรับแสงอาทิตย์และอุณหภูมิที่ได้จากความร้อนที่ส่งไปยังภาระการใช้งาน ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$T_{Call,i} - T_{Call,o} = \Delta T_{Call,ST} + \Delta T_{ST} + \Delta T_{Lost,ST} + \Delta T_{ST,O} + \Delta T_{Work} \quad (2.6)$$

2.10.8 การกักเก็บพลังงานด้วยน้ำเป็นส่วนหนึ่งของการกักเก็บอุณหภูมิกังที่ ในการทำงานนั้นมีความหลากหลาย ซึ่งอยู่ภายใต้ขีดจำกัดของอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกันสามารถหาได้จาก

$$Q_s = (mC_p)_s \Delta T_s \quad (2.7)$$



ภาพที่ 2.7 ระบบกักเก็บความร้อนด้วยน้ำและการไหลเวียนของน้ำในแผงรับแสงอาทิตย์

2.10.9 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากการวิจัย โดย รุ่งทวี ผดากาล(2553) กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนไว้ดังนี้

ก) เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์นั้นลดลง เนื่องจาก เวลาในการรับความร้อนน้อยลง

ข) เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ได้รับเพิ่มมากขึ้นในขณะที่อัตราการไหลของน้ำคงที่

ค) อุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นและจะลดลง เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำก่อนเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นทำให้ผลต่างของอุณหภูมิของน้ำทางเข้า และทางออกของการรับแสงอาทิตย์ ลดลงในขณะที่พลังงานความร้อนที่ได้จากระบบเท่าเดิมส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบลดลง

2.10.10 การพิจารณาความเสียหายของแผงรับแสงอาทิตย์จากการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์ หากพิจารณาระดับรังสีวิกฤตสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$Q_u = A_c [F_R(\tau\alpha)I_{TC} - F_R U_L(T_i - T_a)] \quad (2.7)$$

ระดับรังสีวิกฤต ที่ทำให้เทอมในวงเล็บมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งหมายความว่า การดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับการสูญเสียความร้อน (ไม่สามารถนำมาใช้งานได้)

$$I_{TC} = \frac{F_R U_L(T_i - T_a)}{F_R(\tau\alpha)} \quad (2.8)$$

พลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ของแผงรับแสงอาทิตย์สามารถเขียนได้ในเทอมของระดับการแผ่รังสีวิกฤตดังนี้

$$Q_u = A_c F_R(\tau\alpha)(I_T - I_{TC}) \quad (2.9)$$

โดยที่ Q_u น้อยกว่า 0 แสดงว่ารังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนมากกว่าความร้อนที่สูญเสียและ I_T จะมีค่ามากกว่า I_{TC} ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะค่าบวกของเทอมในวงเล็บเท่านั้น

2.11 กำลังงานที่มอเตอร์ให้กับเครื่องสูบ และเครื่องสูบน้ำ

2.11.1 กำลังงานหมายถึง [9] อัตราการทำงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของกำลังงานที่นิยมใช้ทั่วไป ได้แก่ แรงม้าและวัตต์ ซึ่ง 1 แรงม้าเท่ากับ 745.7 วัตต์ หรือนิวตันเมตรต่อวินาที หรือ 550 ฟุตปอนด์ต่อวินาที

2.11.2 กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่เครื่องสูบ วัดได้จากแรงหมุนของมอเตอร์และความเร็วรอบของมอเตอร์ดังสมการ

$$W_i = F \cdot r \cdot n \quad (2.10)$$

2.11.3 กำลังงานที่เครื่องสูบน้ำให้แก่เครื่องสูบน้ำ หาได้จากอัตราการไหลของน้ำและความดันที่เพิ่มขึ้นดังสมการ

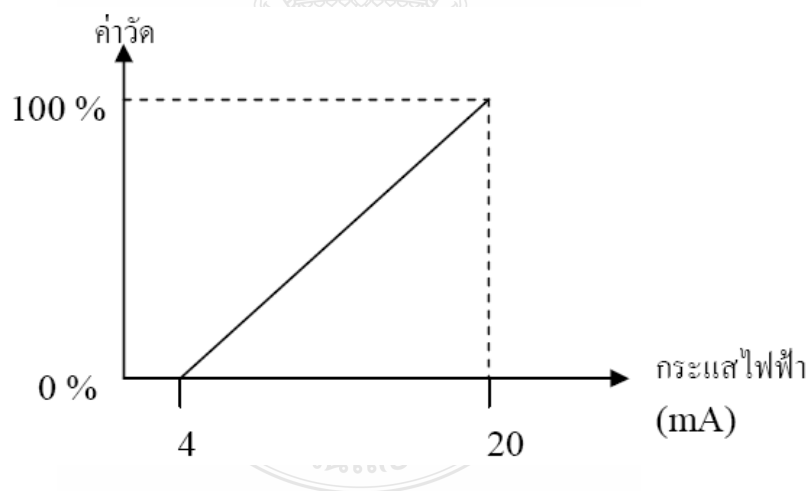
$$W_o = 1.635PQ' \quad (2.11)$$

2.11.4 ประสิทธิภาพของเครื่องสูบ (η) พิจารณาได้จาก

$$\eta_p = \frac{W_o}{W_i} \quad (2.12)$$

2.12 สัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน

เป็นการส่งสัญญาณในรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง (DC. Current) มาตรฐานที่นิยมใช้คือ 4-20 mA หมายความว่า เมื่อค่าวัดเป็นร้อยละ 0 เท่ากับกระแส 4 mA และค่าวัดเป็นร้อยละ 100 เท่ากับกระแส 20 mA และค่าวัดซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 0-100 จะสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับกระแส 4-20 mA



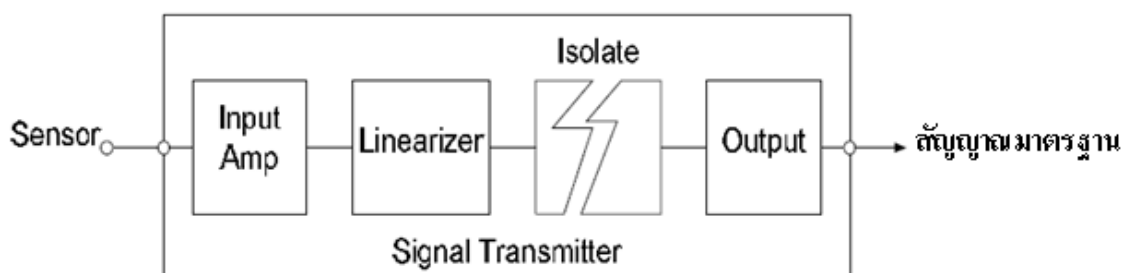
ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดและสัญญาณกระแสมาตรฐาน

2.12.1 Signal Transmitter เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณวัด Sensor แบบต่างๆ มาเป็นสัญญาณมาตรฐาน ชนิด ของ Transmitter มีหลายชนิด และเรียกตามชื่อ ของ Sensor ที่ transmitter นั้นใช้ เช่น

ก) Thermocouple Transmitter ใช้แปลงสัญญาณอุณหภูมิจาก Thermocouple มาเป็นสัญญาณมาตรฐาน

ข) RTD Transmitter ใช้แปลงสัญญาณจากอุณหภูมิจาก RTD Sensor มาเป็นสัญญาณมาตรฐาน

ค) pH Transmitter ใช้แปลงสัญญาณค่า pH จาก pH Sensor มาเป็นสัญญาณมาตรฐาน



ภาพที่ 2.9 ส่วนต่างๆของ Signal Transmitter

จากภาพที่ 2.9 Input Amplifier เป็นส่วนที่ขยายสัญญาณจาก Sensor ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าค่าต่ำๆให้มีระดับสัญญาณแรงขึ้น ส่วน Linearizer ทำหน้าที่แก้ไข Nonlinear ของ Sensor แต่ละชนิด ต่อมา Isolate นี้มีหน้าที่ป้องกัน สัญญาณรบกวนจาก Sensor ไม่ให้ออกไปทาง Output ป้องกัน สัญญาณรบกวนอื่น เนื่องมาจากการเกิด Ground Loop และป้องกัน ความเสียหายที่เกิดขึ้น กับอุปกรณ์ที่ต่อพ่วงทางด้าน Output ในกรณีที่เกิดความผิดปกติขึ้น ทางด้านของ Sensor สุดท้าย Output เป็นส่วนที่แปลงสัญญาณจาก Isolate มาเป็นสัญญาณมาตรฐาน

2.13 หลักการทำงานของโปรโตคอล Modbus

โปรโตคอล Modbus เป็นรูปแบบของการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ Master กับอุปกรณ์ Slave โดยที่ข้อมูลจะถูกส่งต่อเนื่องในรูปแบบของบิตสัญญาณ โดยที่ความเร็วในการส่งบิตสัญญาณจะขึ้นอยู่กับ การปรับตั้งของอุปกรณ์ หรือ โดยผู้ควบคุมเอง ซึ่งโดยส่วนมากจะอยู่ที่ 9600 bps

2.13.1 รูปแบบการเก็บข้อมูลของ โปรโตคอล Modbus เป็นการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ Master ใน Modbus Network นั้นข้อมูลที่ได้มาจากอุปกรณ์ Slave นั้นจะเก็บอยู่ในตารางที่ 2.1 หรือที่เรียกว่า Tags Database โดยสองตารางแรกจะเก็บข้อมูลของแบบ Digital ซึ่งเป็นค่า On/Off (Coil) ส่วนอีกสองตารางที่เหลือจะเก็บค่าตัวเลข (Register)

ตารางที่ 2.1 การเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ Master ใน Modbus Network

| Data Addresses | Coil/Register Numbers | Type | Table Name |
|----------------|-----------------------|------------|------------------------------------|
| 0000 to 270E | 1-9999 | Read-Write | Digital Output Coils |
| 0000 to 270E | 10001-19999 | Read-Only | Digital Input Contacts |
| 0000 to 270E | 30001-39999 | Read-Only | Analog Input Registers |
| 0000 to 270E | 40001-49999 | Read-Write | Analog Output Holding Registers |



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัย ในหัวการพัฒนากระบวนการจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ระยะเวลาในการพัฒนาซอฟต์แวร์ทั้งสิ้น 1 ปี โดยแบ่งขั้นตอนการทำงานและระยะเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอน ออกเป็น 5 ขั้นตอนตามตารางที่ 3.1 โดยเริ่มจากการพัฒนาชุดคำสั่งเพื่อการรับส่งข้อมูล และสิ้นสุดการวิจัยในขั้นตอนการสรุปผล โดยจะนำเสนอต่อไปในหัวข้อ 3.1 ซึ่งการทำงานทั้ง 5 ขั้นตอนนั้นสามารถแบ่งรูปแบบการทำงานออกได้เป็น 2 รูปแบบคือ งานพัฒนาซอฟต์แวร์ และงานทดสอบซอฟต์แวร์ โดยงานทดสอบซอฟต์แวร์นั้นจะนำเสนอในหัวข้อที่ 3.4 ต่อไป

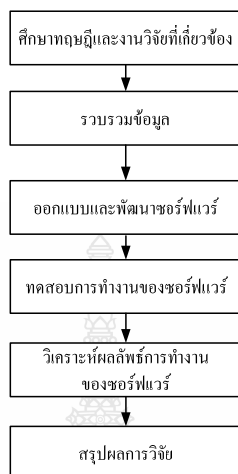
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 กรอบเวลาการดำเนินงานวิจัย

| ลำดับที่ | แผนงานวิจัย | ระยะเวลาการวิจัย (เดือน) | | | | | |
|----------|---|--------------------------|---|---|---|----|----|
| | | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| 1 | การพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับการรับส่งข้อมูล | ■ | | | | | |
| 2 | ทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องมือวัด | | ■ | | | | |
| 3 | ออกแบบและพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับวิเคราะห์ความผิดปกติ | | | ■ | | | |
| 4 | ทดสอบการทำงานชุดคำสั่งสำหรับวิเคราะห์ความผิดปกติ | | | | | ■ | |
| 5 | ทำการสรุปผลการทดสอบ | | | | | | ■ |

ในการดำเนินการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็นขั้นตอนดังภาพที่ 3.1 โดยที่ขั้นตอนแรกคือ ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นพื้นฐานของการทำวิจัย โดยที่ข้อมูลต่างที่ศึกษานั้นจะถูกรวบรวมแล้วนำมาออกแบบซอฟต์แวร์ ซึ่งงานวิจัยนี้แบ่งการทำงานของซอฟต์แวร์ออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย การรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องมือวัด

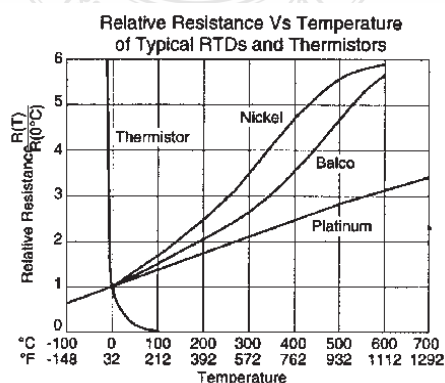
ด้วยโปรโตคอล Modbus และ วิเคราะห์ความผิดปกติและกระบวนการแก้ปัญหาของอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ หลังจากทำการพัฒนาซอฟต์แวร์แล้วขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบการทำงาน และบันทึกผลลัพธ์ที่ได้ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสรุปผลการวิจัย



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 เครื่องมือ และข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ในงานวิจัย

3.2.1 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิซึ่งในการวิเคราะห์ความเสียหายของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ อันเป็นผลมาจากความผิดปกติของเครื่องมือวัดอุณหภูมิอุปกรณ์ชนิด RTD-PT100 (resistance Temperature Detectors) โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวจะมีค่าความต้านทาน 100 โอห์มที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส โดยที่ความต้านทานของอุปกรณ์จะแปรผันตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ค่าความต้านทานที่อุณหภูมิใดๆของ RTD

จากภาพที่ 3.2 ค่า $R_{(T)}$ หาได้จาก

$$R_{(T)} = R_{(0)}(1 + AT + BT^2 - 100CT^3 + CT^4) \quad (3.1)$$

โดยกำหนดให้ค่าคงที่ต่างๆมีค่าดังนี้

$$A \text{ คือ } 3.18 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}, B \text{ คือ } -6.02 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}, C \text{ คือ } -6.0 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-12}$$

จากสมการที่ 3.1 ค่า $C = 0$ เมื่อ $T > 0^\circ\text{C}$ ซึ่งค่าความต้านทานของ RTD-PT100 จะขึ้นไปดังตารางที่ 3.2 ดังนั้นในการพิจารณาความผิดปกติของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิในช่วงการทำงานของแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตน้ำร้อนได้ไม่เกิน 100°C ค่าความต้านทานที่วัดได้จาก RTD-PT100 จะต้องไม่เกิน 138.5 โอห์ม และต้องไม่ต่ำกว่า 100 โอห์ม หากการรับข้อมูลที่วัดได้อยู่นอกขอบเขตของข้อมูลดังกล่าวแสดงว่าอุปกรณ์วัดมีความเสี่ยงที่จะเกิดปัญหา นอกจากนี้จากมาตรฐาน IEC 751-95 ค่าความคลาดเคลื่อนจะอยู่ที่ $\pm(0.15 + 0.002T)$ ใน Class A และ $\pm(0.3 + 0.005T)$ ใน Class B โดยที่ T คืออุณหภูมิใดๆ

3.2.2 ข้อมูลจาก Process Meter ในการวิจัยนี้กำหนดให้อุปกรณ์วัดอัตราการไหลต้องมีสัญญาณขาออก (Output) เป็นแบบพัลส์ (Pulse Signal) โดยที่อุปกรณ์วัดอัตราการไหลนั้นจะต้องมีค่าอัตราการไหลต่อสัญญาณพัลส์ที่แน่นอน โดยข้อมูลดังกล่าวผู้ใช้งานต้องป้อนข้อมูลดังกล่าวพร้อมกับข้อมูลอัตราการไหลสูงสุด และ ต่ำสุด ที่ระบบสามารถทำงานได้ให้ซอฟต์แวร์ทำการวิเคราะห์

3.2.3 ความเข้มแสงอาทิตย์ ชุดซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการใช้งานร่วมกับ Process Meter ที่อ่านสัญญาณจาก เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ (Pyranometer) ซึ่งผลิตโดยบริษัท Kipp & Zonen รุ่น CMA Series และ CMP Series โดยเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ จะส่งสัญญาณเอาท์พุท ออกมาในรูปแบบของกระแสไฟฟ้า ซึ่งซอฟต์แวร์นั้นจะทำการแปลข้อมูลออกมาในรูปแบบของพลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2) ที่ตกกระทบ โดยใช้สมการที่ 3.2

$$E_{\text{Solar}} = \frac{U_{\text{emf}}}{S_{\text{sensitivity}}} \quad (3.2)$$

ตารางที่ 3.2 ความต้านทานของ RTD ที่อุณหภูมิใดๆ

| อุณหภูมิ (°C) | ความต้านทาน (Ω) | อุณหภูมิ (°C) | ความต้านทาน (Ω) |
|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|
| 5 | 101.95 | 55 | 121.32 |
| 10 | 103.9 | 60 | 123.24 |
| 15 | 105.85 | 65 | 125.16 |
| 20 | 107.79 | 70 | 127.07 |
| 25 | 109.73 | 75 | 128.98 |
| 30 | 111.67 | 80 | 130.89 |
| 35 | 113.61 | 85 | 132.8 |
| 40 | 115.54 | 90 | 134.7 |
| 45 | 117.47 | 95 | 136.6 |
| 50 | 119.4 | 100 | 138.5 |

3.2.4 ข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ความผิดปกติของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ อันเนื่องมาจากความผิดปกติของเครื่องมือวัด และกระบวนการสื่อสารระหว่างเครื่องมือวัดกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

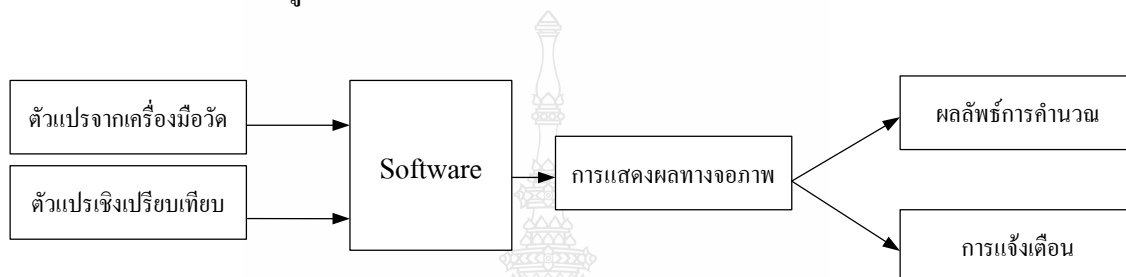
- ก) ซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Basics 6
- ข) ซอฟต์แวร์ระบบฐานข้อมูล MySQL
- ค) เครื่องคอมพิวเตอร์
- ง) ซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator

3.4 วิธีการทดสอบ

จากภาพที่ 3.3 เป็นการไหลของข้อมูลในกระบวนการทำงานของซอฟต์แวร์ โดยที่ข้อมูลขาเข้า (Input) ประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วนคือ

- ก) ตัวแปรจากเครื่องมือวัด
- ข) ตัวแปรเชิงเปรียบเทียบ

เมื่อซอฟต์แวร์ได้รับข้อมูลทั้ง 2 ชุดแล้วนั้นซอฟต์แวร์จะทำการประมวลผลตามเงื่อนไขการทำงาน 2 ส่วนคือ การคำนวณประสิทธิภาพและ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบ โดยหลังจากที่ซอฟต์แวร์ทำการประมวลผลข้อมูลทั้ง 2 ส่วนแล้วระบบจะทำการแสดงผลลัพธ์ของการประมวลผลนั้นออกทางจอภาพ ซึ่งรูปแบบของการแสดงผลนั้นมีด้วยกัน 2 แบบคือ การแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของตัวเลข ซึ่งข้อมูลดังกล่าวคือผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการคำนวณประสิทธิภาพ ส่วนรูปแบบการแสดงผลอีกรูปแบบหนึ่งคือ การแจ้งเตือนความผิดปกติของอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบ ซึ่งในขั้นตอนทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์นั้นผู้วิจัยได้แบ่งหัวข้อการทดสอบออกเป็น 4 หัวข้อดังนี้



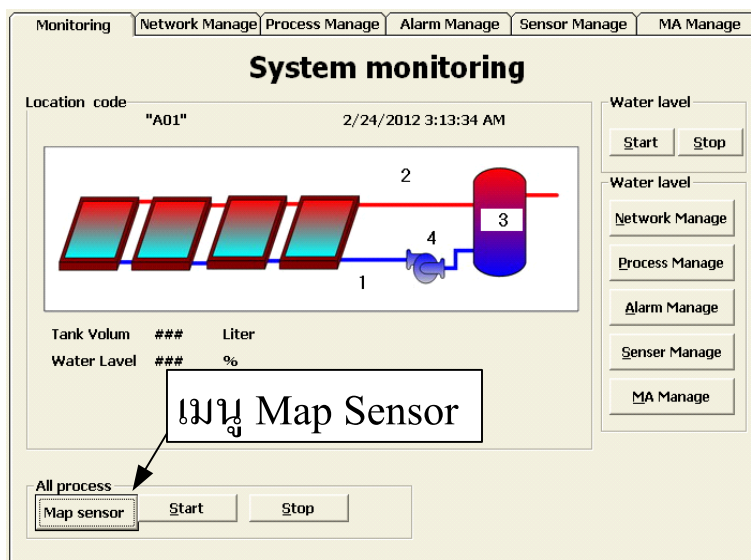
ภาพที่ 3.3 การทำงานของซอฟต์แวร์

3.3.1 การทดสอบความสามารถในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ลูกและอุปกรณ์แม่ ซึ่งเป็นข้อมูลที่เครื่องมือวัดทางกายภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งมายังอุปกรณ์ลูก (Slave Device) โดยอุปกรณ์ลูกจะมีหน้าที่แปลงข้อมูลจากเครื่องมือวัดชนิดต่างๆ เป็นสัญญาณในรูปแบบ โปรโตคอล Modbus เพื่อส่งข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์แม่ (Master Device) ดังนั้นในหัวข้อการทดสอบนี้ เป็นการทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์แม่ และอุปกรณ์ลูกโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลพร้อมแปลข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ลูกมาแสดงผลออกทางจอภาพในตำแหน่งที่กำหนด โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

ก) ใช้ซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator จำลองสัญญาณจำลองข้อมูลที่อุปกรณ์ลูกได้รับจากเครื่องมือวัดทางกายภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในตำแหน่งดังนี้

- อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์
- อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์
- อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน
- อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ

ข) กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ลูกโดยที่เข้าที่เมนู Map sensor ในช่องเมนูบาร์ ดังภาพที่ 3.3 เมื่อเข้าที่เมนูดังกล่าวแล้วจะปรากฏหน้าต่าง Map sensor ขึ้นแล้วจึงป้อนตำแหน่งของอุปกรณ์ลูก แล้วสั่งรันซอฟต์แวร์



ภาพที่ 3.4 เมนู Map Sensor สำหรับการกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์ลูก

ค) จึงสังเกตการณ์ทำงานของซอฟต์แวร์แล้วบันทึกผล

3.3.2 ทดสอบการคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยการทดสอบนี้เป็นการทดสอบชุดคำสั่งซึ่งมีหน้าที่แปลข้อมูลซึ่งได้จากตัวแปรจากเครื่องมือวัด มาเข้ากระบวนการคำนวณซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะแสดงผลออกทางจอภาพ ซึ่งวิธีการทดสอบเป็นดังนี้

ก) กำหนดสัญญาณเอาต์พุตของ Pyranometer โดยที่ใช้อัตราความเข้มแสงอาทิตย์ที่ 600 W/m^2 800 W/m^2 และ $1,000 \text{ W/m}^2$

ข) กำหนดหาอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 600 W/m^2 800 W/m^2 และ $1,000 \text{ W/m}^2$ โดยกำหนดให้ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์คือ 0.64 อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ที่ 30 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลเชิงมวลที่ 72 kg/hr

ค) ทำการหาผลลัพท์ดังข้อ 3.3.2 ข โดยกำหนดให้ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์คือ 0.38

ง) นำผลลัพท์ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.3.2 ก ถึง 3.3.2 ค มาบันทึกลงในตารางบันทึกผลดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลเงื่อนไขการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพ

| ทดสอบครั้งที่ | η | I_C | U_{emf} | T_i | T_0 | $T_0 - T_i$ |
|---------------|--------|-------|-----------|-------|-------|-------------|
| 1 | 0.64 | 600 | | | | |
| 2 | 0.64 | 800 | | | | |
| 3 | 0.64 | 1000 | | | | |
| 4 | 0.38 | 600 | | | | |
| 5 | 0.38 | 800 | | | | |
| 6 | 0.38 | 1000 | | | | |

จ) นำข้อมูลจากที่ได้บันทึกในตารางที่ 3.3 มาจัดเรียงใหม่ในตารางที่ 3.4 เพื่อใช้ในการทดสอบ จากนั้นใช้ซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator จำลองสัญญาณของอุปกรณ์ที่ได้รับจากเครื่องมือวัดทางกายภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในตำแหน่งดังนี้ แล้วตั้งรันซอฟต์แวร์

- อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์
- อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์
- อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ
- ความเข้มแสงอาทิตย์

ฉ) บันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของซอฟต์แวร์แล้วเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้กับข้อมูลประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งใช้ในการคำนวณข้อ 3.3.2 ก และ 3.3.2 ค แล้วบันทึกผล

3.3.3 การทดสอบชุดคำสั่งในกระบวนการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ เป็นการทดสอบชุดคำสั่งซึ่งมีหน้าที่รับข้อมูลตัวแปรจากเครื่องมือวัดมาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลเชิงเปรียบเทียบ โดยหากค่าของตัวแปรจากเครื่องมือวัดมีการเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขของชุดคำสั่งแล้ว ระบบจะมีการแสดงผลออกทางจอภาพ ซึ่งการทดสอบนั้นแบ่งออกเป็น 6 ส่วนตัวแปร โดยมีขั้นตอนการทดสอบ

ก) กำหนดข้อมูลตัวแปรเชิงเปรียบเทียบในซอฟต์แวร์ดังนี้

- อัตราการไหลเชิงมวลสูงสุดเท่ากับ 75.6 kg/hr
- อัตราการไหลเชิงมวลต่ำสุดเท่ากับ 68.4 kg/hr
- อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 31.5 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำสุดเท่ากับ 28.5 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 34 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำสุดเท่ากับ 39 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลของเครื่องมือวัดในการทดสอบ

| Node | Address | ตัวแปร | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | ครั้งที่ 6 |
|------|---------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2 | 3 | T_i | | | | | | |
| 6 | 9 | T_o | | | | | | |
| 3 | 2 | U_{enf} | | | | | | |
| 7 | 4 | m | | | | | | |

ข) ใช้ซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator จำลองสัญญาณจำลองข้อมูลที่อุปกรณ์ลูกได้รับจากเครื่องมือวัดทางกายภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในตำแหน่งดังนี้

- อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์
- อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์

- อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ

ค) รันซอร์ฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเริ่มต้นที่ 72 kg/hr แล้วทำการเพิ่มค่าดังกล่าวครั้งละ 1 kg/hr ไปจนถึง 76 kg/hr แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการแสดงผล

ง) รันซอร์ฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเริ่มต้นที่ 72 kg/hr แล้วทำการลดค่าดังกล่าวครั้งละ 1 kg/hr ไปจนถึง 68 kg/hr แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการแสดงผล

จ) รันซอร์ฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ 30 องศาเซลเซียส แล้วทำการเพิ่มค่าดังกล่าวครั้งละ 0.5 องศาเซลเซียสไปจนถึง 32 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการแสดงผล

ฉ) รันซอร์ฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ 30 องศาเซลเซียส แล้วทำการลดค่าดังกล่าวครั้งละ 0.5 องศาเซลเซียสไปจนถึง 28 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการแสดงผล

ช) รันซอร์ฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ 36 องศาเซลเซียส แล้วทำการเพิ่มค่าดังกล่าวครั้งละ 1 องศาเซลเซียสไปจนถึง 40 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการแสดงผล

ซ) รันซอร์ฟแวร์ที่พัฒนาขึ้น แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์เริ่มต้นที่ 36 องศาเซลเซียส แล้วทำการลดค่าดังกล่าวครั้งละ 1 องศาเซลเซียสไปจนถึง 32 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการแสดงผล

3.3.4 การทดสอบการแจ้งเตือนความผิดปกติของเครื่องสูบในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการทดสอบชุดคำสั่งซึ่งมีหน้าที่ตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องสูบ โดยที่ชุดคำสั่งดังกล่าวจะรับข้อมูลตัวแปรจากเครื่องมีวัด ในส่วนของ อัตราการใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องสูบ และอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ มาทำการเปรียบเทียบกับตัวแปรเชิงเปรียบเทียบ ซึ่งวิธีการทดสอบมีดังนี้

ก) กำหนดข้อมูลตัวแปรเชิงเปรียบเทียบในซอร์ฟแวร์ดังนี้

- อัตราการไหลเชิงมวลสูงสุดเท่ากับ 75.6 kg/hr
- อัตราการไหลเชิงมวลต่ำสุดเท่ากับ 68.4 kg/hr
- อัตราการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องสูบเท่ากับ 3 แอมป์
- อัตราการใช้กระแสไฟฟ้าต่ำสุดของเครื่องสูบเท่ากับ 0 แอมป์

ข) ใช้ซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator จำลองสัญญาณจำลองข้อมูลที่อุปกรณ์ลูก
ได้รับจากเครื่องมือวัดทางกายภาพของระบบผลผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในตำแหน่งดังนี้

- อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำเท่ากับ 72 kg/hr
- อัตราการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องสูบน้ำเท่ากับ 0 แอมป์

ค) รันซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น แล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการใช้กระแสไฟฟ้า
สูงสุดของเครื่องสูบน้ำเริ่มต้นที่ 2 แอมป์ แล้วทำการเพิ่มค่าดังกล่าวครั้งละ 0.5แอมป์ ไปจนถึง 3.5 แอมป์
แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการแสดงผล



บทที่ 4

ผลวิจัยและอภิปรายผล

การพัฒนาซอฟต์แวร์ในงานวิจัย ระบบจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยคอมพิวเตอร์นั้น ผู้วิจัยได้แบ่งการศึกษาข้อมูลและทดสอบซอฟต์แวร์ตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 นั้น ออกเป็น 3 ส่วน อันประกอบด้วย การศึกษาและวิเคราะห์หาตัวแปร โดยจะนำเสนอในหัวข้อ 4.1 ต่อมาคือการพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับการรับส่งข้อมูล ในหัวข้อ 4.2 และ ในหัวข้อ 4.3 จะกล่าวถึงการพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับวิเคราะห์ความผิดปกติในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนในหัวข้อ 4.4 นั้น เป็นตัวอย่างการนำซอฟต์แวร์ดังกล่าวไปทดสอบการใช้งานจริงกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

4.1 ศึกษาและวิเคราะห์หาตัวแปร

ในการพัฒนาชุดคำสั่งเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และการจัดการงานซ่อมบำรุงนั้น เมื่อทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ภายใต้ทฤษฎีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน นั้นผู้วิจัยสามารถตัวแปรออกได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

4.1.1 กลุ่มตัวแปรจากเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นตัวแปรทางกายภาพของที่ได้จากเครื่องมือวัดแบบต่างๆ ที่ติดตั้งในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย

- ก) อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์
- ข) อุณหภูมิน้ำออกแผงรับแสงอาทิตย์
- ค) อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม
- ง) อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ
- จ) อุณหภูมิน้ำเต็ม
- ฉ) แรงดันไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องสูบ
- ช) กระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องสูบ
- ซ) พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบ
- ฅ) วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบ
- ญ) อัตราการไหลของน้ำไปสู่โหลด
- ฎ) อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่แผงรับแสงอาทิตย์
- ฏ) ความเข้มแสงอาทิตย์

4.1.2 กลุ่มตัวแปรเชิงเปรียบเทียบ เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับควบคุมไม่ให้ข้อมูลที่ได้จากตัวแปรจากเครื่องมือวัดสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งตัวแปรเชิงเปรียบเทียบนั้นได้มาจากการป้อนข้อมูลของผู้ใช้งานเอง ซึ่งกลุ่มตัวแปรดังกล่าวประกอบด้วย

- ก) อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุด
- ข) อุณหภูมิน้ำออกแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุด
- ค) อุณหภูมิน้ำในถังเก็บสูงสุด
- ง) อุณหภูมิน้ำเต็มสูงสุด
- จ) อัตราการไหลของน้ำไปสู่แผงรับแสงอาทิตย์สูงสุด
- ฉ) อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำสุด
- ช) อุณหภูมิน้ำออกแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำสุด
- ซ) อุณหภูมิน้ำในถังเก็บต่ำสุด
- ฌ) อุณหภูมิน้ำเต็มต่ำสุด
- ญ) อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำไปสู่แผงรับแสงอาทิตย์ต่ำสุด
- ฎ) พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบลูกสูบสูงสุด

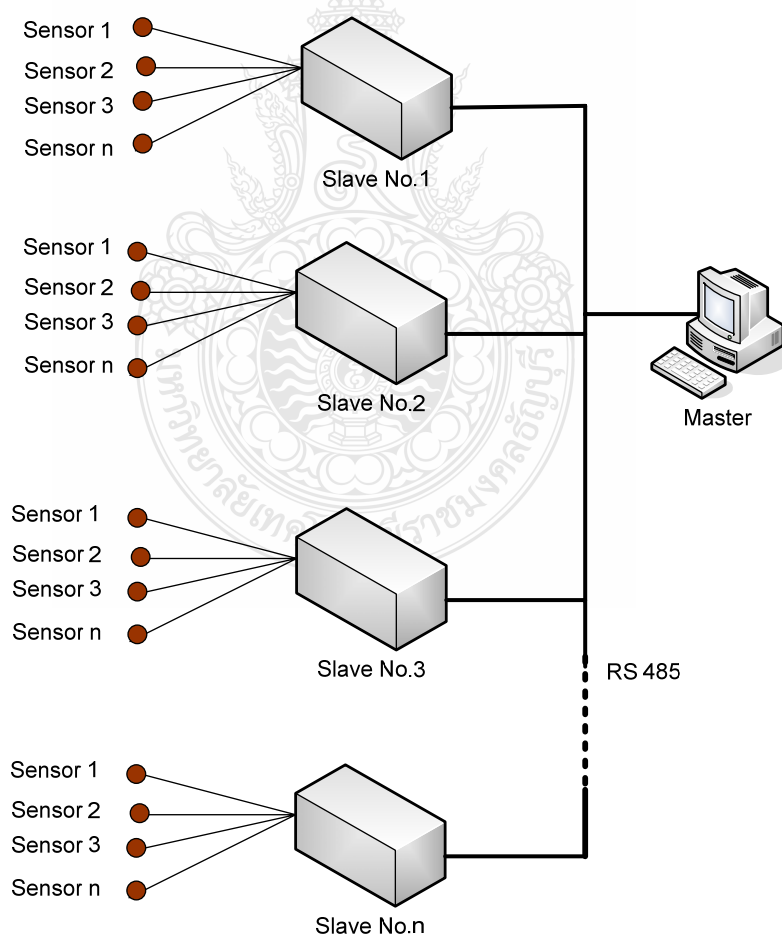
4.2 การพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับการรับส่งข้อมูล และการทดสอบ

ในการพัฒนาชุดคำสั่งเพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกได้นั้น จะต้องมีช่องทางที่ใช้ในการสื่อสารซึ่งช่องทางการสื่อสารนั้นจะมีองประกอบ 2 ส่วนคือฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ โดยที่ฮาร์ดแวร์ที่ใช้สื่อสารในงานวิจัยนี้ได้ใช้การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมโดยกำหนดให้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์แม่ (Master Device) แล้วส่งคำสั่งไปยังเครื่องมือวัดต่างๆ ซึ่งกำหนดให้เป็นอุปกรณ์ลูก (Slave Device) เมื่ออุปกรณ์ลูก ได้รับคำสั่งแล้วจะส่งข้อมูลกลับมายังอุปกรณ์แม่ผ่านพอร์ตอนุกรม ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับนั้นจะมีซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่แปลข้อมูลแล้วนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานต่อไป ในส่วนของซอฟต์แวร์ซึ่งมีหน้าที่การควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องมือวัดและแปลข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ได้รับจากเครื่องมือวัด โดยผลลัพธ์ของการแปลข้อมูลนั้นคือ ข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มตัวแปรจากเครื่องมือวัด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้เกิดขึ้นจากการพัฒนาชุดคำสั่งบนซอฟต์แวร์ Microsoft Visual Basics 6 โดยที่ชุดคำสั่งที่พัฒนาขึ้นนั้นใช้รูปแบบของการสื่อสารแบบโปรโตคอล Modbus ผ่านพอร์ตอนุกรม (Serial Port) โดยรูปแบบการรับส่งข้อมูลนั้นเป็นไปตามตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 รูปแบบของโปรโตคอล Modbus

| Start | Address | Function | Data | LRC | End |
|-------|---------|----------|---------|---------|-------|
| : | 2 Chars | 2 Chars | N Chars | 2 Chars | CR LF |

การทดสอบระบบซอร์ฟแวร์กระบวนการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ Master และ Slave ในการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ระบบซอร์ฟแวร์ทำการดึงข้อมูลจากเครื่องมือวัดจำนวน 4 จุดด้วยฟังก์ชัน Read Input Register โดยที่แต่ละจุดมีตำแหน่งของ Address และ Node นั้นเป็นไปตามตารางที่ 4.2 ซึ่งซอร์ฟแวร์จะต้องส่งคำสั่งในรูปแบบของ Modbus โปรโตคอลออกทางพอร์ตอนุกรม ไปยังอุปกรณ์ลูก (Slave Device) โดยการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ใช้ ซอร์ฟแวร์ Mod_RSsim Simulator สำหรับการจำลองการสื่อสารของอุปกรณ์ลูกแล้วรอการตอบกลับมา ซึ่งซอร์ฟแวร์จะต้องสามารถแปลข้อมูลจากอุปกรณ์ลูก (Slave Device) แล้วแสดงผลออกทางหน้าจอได้



ภาพที่ 4.1 ตำแหน่งของเครื่องมือวัด

ตารางที่ 4.2 เงื่อนไขการทดสอบรับส่งข้อมูล

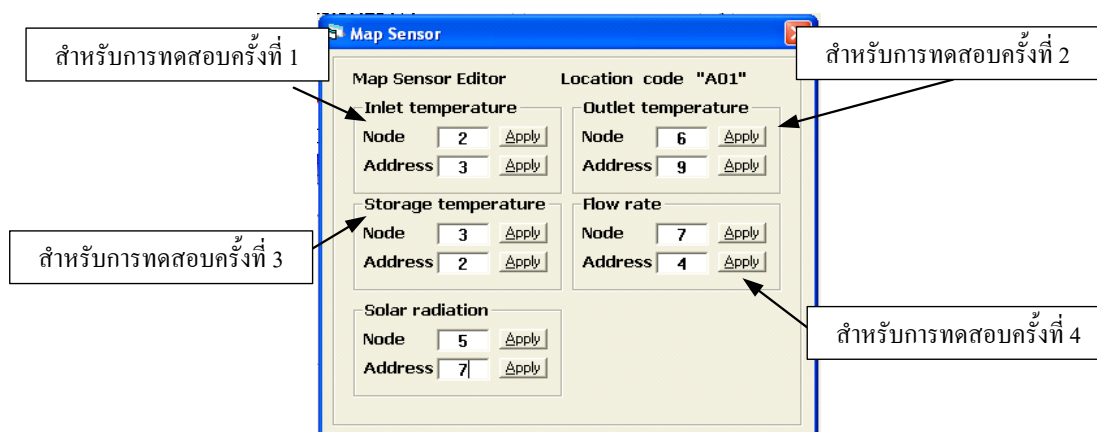
| การทดสอบครั้งที่ | Node | Address | ข้อมูลตอบกลับ |
|------------------|------|---------|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 1 |
| 2 | 6 | 9 | 2 |
| 3 | 3 | 2 | 3 |
| 4 | 7 | 4 | 4 |

จากภาพที่ 4.2 เป็นหน้าต่างโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น มีหน้าที่ให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลตำแหน่งของเครื่องมือวัดอันประกอบด้วย

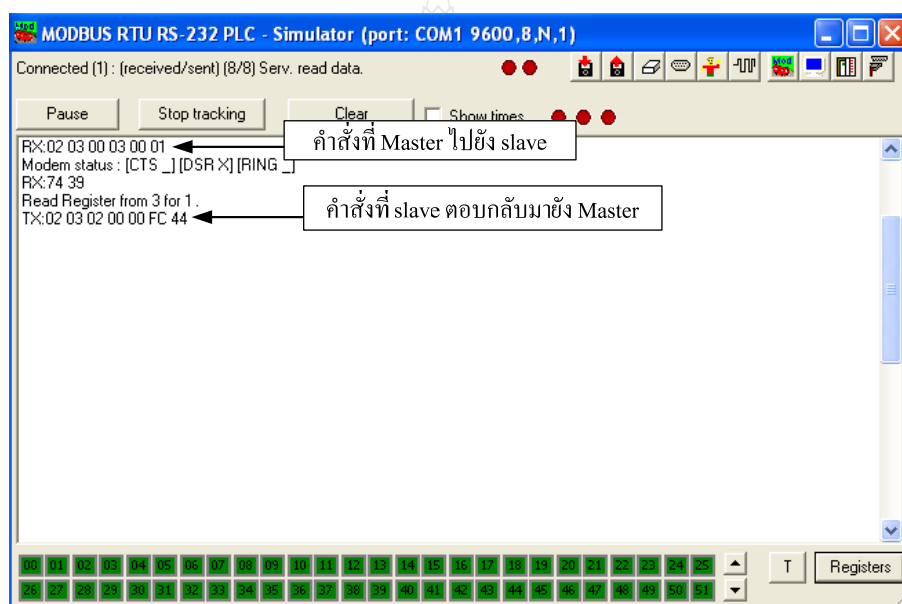
ก) Node Address คือตำแหน่งของอุปกรณ์ลูก (Slave Device) ที่เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์แม่ (Master Device) ซึ่งมีตำแหน่งดังกล่าวจะเริ่มนับตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 255

ข) Address คือตำแหน่งย่อยของ Node Address โดยรูปแบบการสื่อสารด้วย Modbus โปรโตคอลนั้น อุปกรณ์ลูก (Slave Device) ซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ อาจมีความสามารถในการรองรับเครื่องมือวัดได้หลายชุด โดยที่อุปกรณ์ลูก (Slave Device) ชุดดังกล่าวจะทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลแล้วส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังอุปกรณ์แม่ (Master Device) ต่อไป

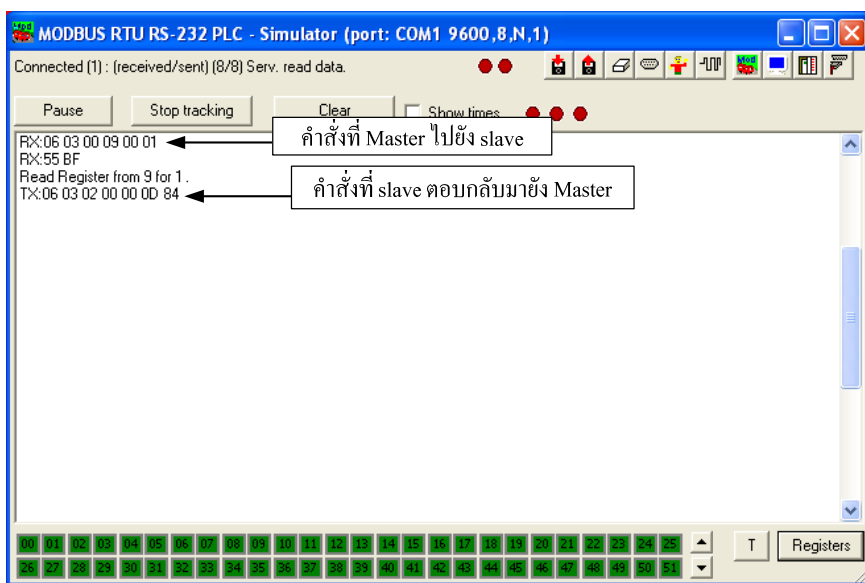
ซึ่งในการทดสอบนั้นผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ลูกแต่ละตำแหน่งตามตารางที่ 4.2 ซึ่งในการทดลองครั้งที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 4.3 เป็นรูปแบบของชุดตัวเลขฐาน 16 จัดเรียงรูปแบบตามตารางที่ 4.1 ซึ่งรูปแบบของการสื่อสารแบบ Modbus โปรโตคอลโดยชุดคำสั่งที่พัฒนาขึ้นนั้นจะมีหน้าที่สั่งการให้อุปกรณ์ลูกส่งข้อมูลกลับมาแล้วทำการแปลข้อมูลที่ได้รับ ดังแสดงในภาพ ให้เป็นอยู่ในตัวเลขฐาน 10 ซึ่งเป็นระบบตัวเลขที่ใช้งานปกติ แล้วข้อมูลชุดดังกล่าวจะถูกนำไปประมวลผลในขั้นตอนอื่นๆต่อไป จากผลการทดสอบซอฟต์แวร์สามารถสั่งการให้อุปกรณ์ลูกส่งข้อมูลที่ได้รับมาจากเครื่องมือวัดมายังอุปกรณ์แม่ และเมื่ออุปกรณ์แม่ได้รับข้อมูลแล้ว ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้จะมีชุดคำสั่งอีกหนึ่งชุดที่ใช้สำหรับแปลข้อมูลที่ได้รับมาประมวลผลแล้วแสดงข้อมูลดังกล่าวออกทางจอภาพเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบดังแสดงในภาพที่ 4.7 โดยชุดคำสั่งในกระบวนการนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ใน ภาคผนวก ง ซึ่งในการทดสอบซอฟต์แวร์ในหัวข้อนี้จะกระทำซ้ำกันดังวิธีการที่ได้กล่าวมาในขั้นต้น ซึ่งผลลัพธ์ของการทดสอบนั้นได้แสดงดังภาพที่ 4.3 ถึงภาพที่ 4.6 ตามลำดับ



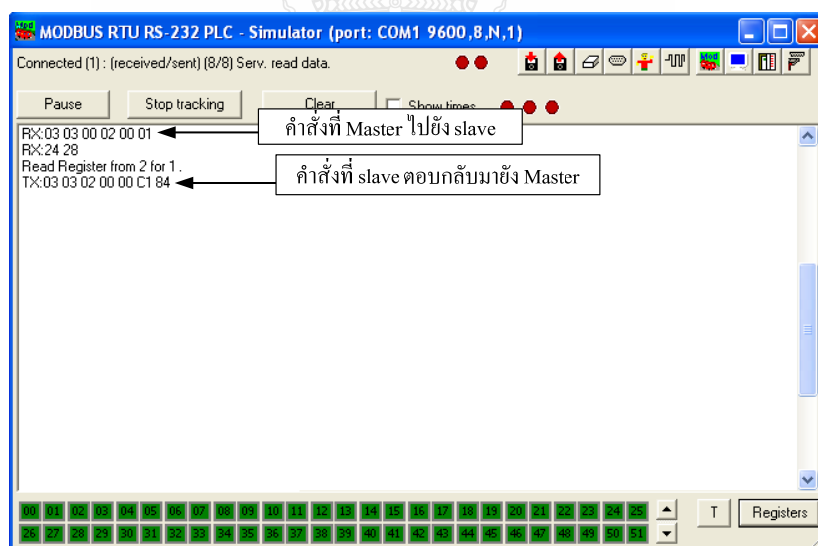
ภาพที่ 4.2 ตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ



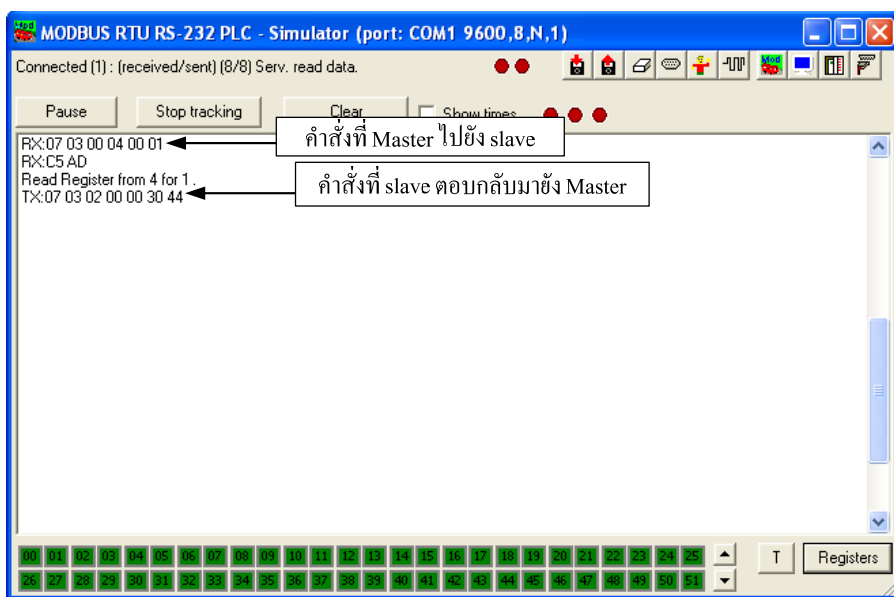
ภาพที่ 4.3 การรับและส่งข้อมูลครั้งที่ 1



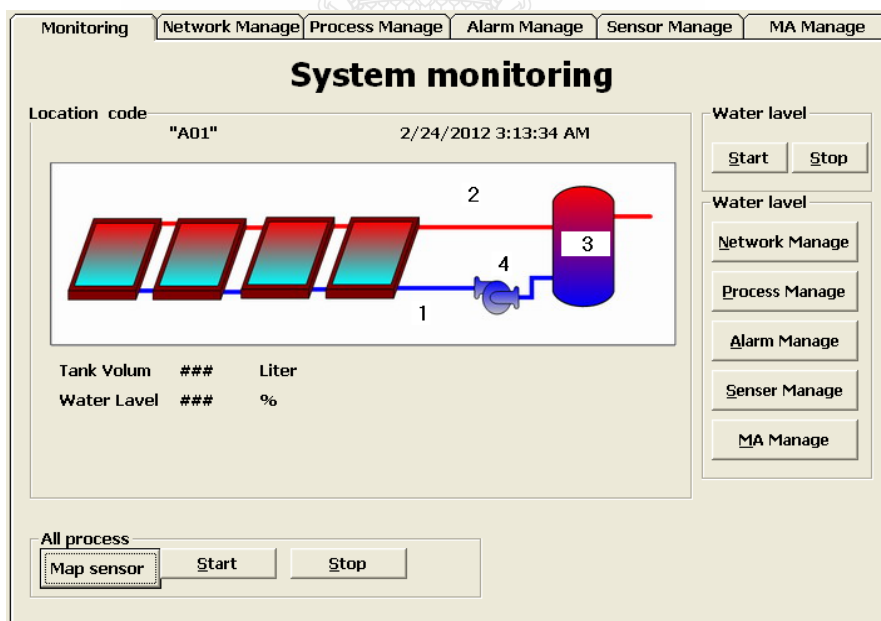
ภาพที่ 4.4 การรับและส่งข้อมูลครั้งที่ 2



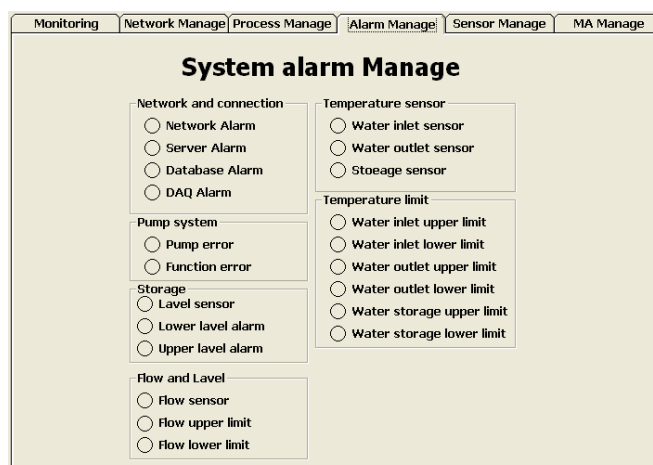
ภาพที่ 4.5 การรับและส่งข้อมูลครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.6 การรับและส่งข้อมูลครั้งที่ 4



ภาพที่ 4.7 การแสดงข้อมูลจากอุปกรณ์ถูก

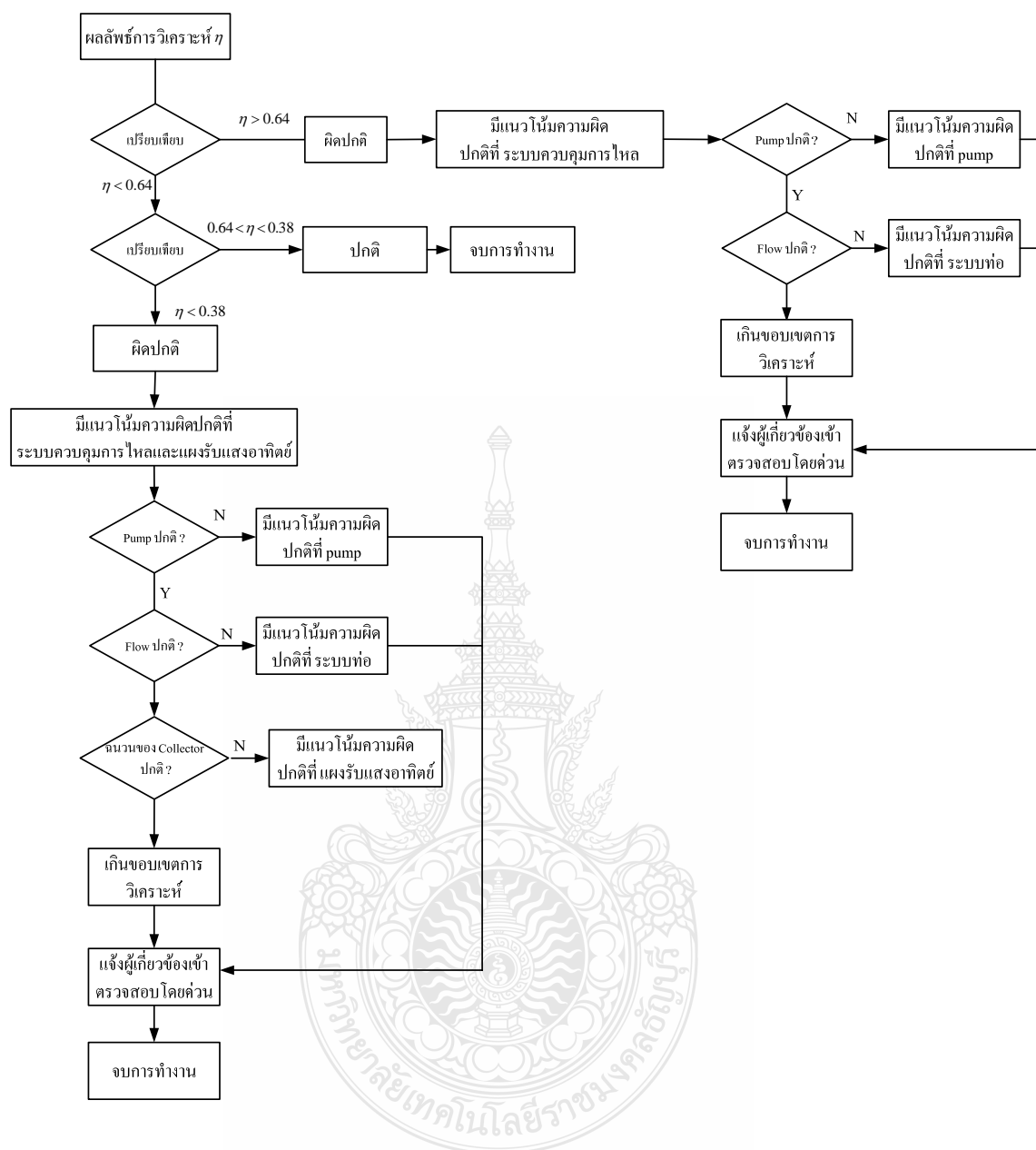


ภาพที่ 4.8 หน้าจอแสดงความผิดปกติของอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

4.3 พัฒนาชุดคำสั่งสำหรับวิเคราะห์ความผิดปกติในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบซอฟต์แวร์ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบการทำงานของระบบซอฟต์แวร์ออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย ชุดคำสั่งสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และ ชุดคำสั่งสำหรับกระบวนการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ

4.3.1 ชุดคำสั่งสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในการพัฒนาชุดคำสั่งนี้เพื่อต้องการให้ซอฟต์แวร์สามารถนำข้อมูลในกลุ่มตัวแปรจากเครื่องมือวัดมาคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาความผิดปกติของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการพิจารณาความผิดปกติของแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในการวิเคราะห์หาแนวโน้มความความผิดปกติของแผงรับแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลการทดสอบแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จาก Solar Rating & Certification Corporation [22] ซึ่งเป็นสถาบันทดสอบที่ได้รับความเชื่อถือจากผู้ผลิตแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นำผลิตภัณฑ์มาทำการทดสอบประสิทธิภาพก่อนที่จะนำออกจำหน่าย จากข้อมูลการทดสอบแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดมีกระจกเคลือบ (Glazed Collector) ของสถาบันพบว่า แผงผลิตน้ำร้อนชนิดดังกล่าวที่มีพื้นที่รับแสงไม่เกิน 1 ตารางเมตร มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดที่ 0.64 ต่ำสุดอยู่ที่ 0.38 และ เฉลี่ยที่ 0.4 ดังนั้นช่วงการพิจารณาความผิดปกติของแผงรับผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ของซอฟต์แวร์นั้นจะเป็นดังภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.9 การพิจารณาความผิดปกติของแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

4.3.2 การทดสอบการคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งใช้การจำลองสถานะปกติของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทดสอบกระบวนการตรวจสอบการแปลข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องมือวัดและการคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ภายใต้สถานะของการทำงานปกติซึ่งการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ใช้

ซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator สำหรับการจำลองอุปกรณ์ Slave โดยกำหนดค่าคงที่ของข้อมูลโดยกำหนดแบ่งความเข้มแสงของพลังงานแสงอาทิตย์ออกเป็น 3 ช่วง คือ 600 W/m^2 800 W/m^2 และ $1,000 \text{ W/m}^2$ โดยที่ค่าความเข้มแสงดังกล่าวสามารถแปลกลับไปเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ Pyranometer ดังการคำนวณดังหัวข้อ 4.2.4 ก ถึง 4.2.4 ค จากนั้นกำหนดให้ผลลัพธ์ของการประเมินประสิทธิภาพมี 2 ค่าเท่ากับ 0.64 และ 0.38 โดยที่ การคำนวณนั้นกำหนดให้ค่าความจุความร้อนของน้ำ (C_p) คือ $4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ อัตราการไหลเชิงมวล (\dot{m}) คือ 72 kg/hr และพื้นที่รับแสงของแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (A_c) คือ 5 m^2

$$\text{ก) } E_{Solar} = 600 \text{ W/m}^2$$

$$600 \text{ W/m}^2 = \frac{U_{emf}}{7 \mu\text{V/W/m}^2}$$

$$\therefore U_{emf} = 0.0042 \text{ V}$$

$$\text{ข) } E_{Solar} = 800 \text{ W/m}^2$$

$$800 \text{ W/m}^2 = \frac{U_{emf}}{7 \mu\text{V/W/m}^2}$$

$$\therefore U_{emf} = 0.0056 \text{ V}$$

$$\text{ค) } E_{Solar} = 1,000 \text{ W/m}^2$$

$$1,000 \text{ W/m}^2 = \frac{U_{emf}}{7 \mu\text{V/W/m}^2}$$

$$\therefore U_{emf} = 0.007 \text{ V}$$

จากตารางที่ 4.3 เป็นผลลัพธ์จากการคำนวณ โดยที่การคำนวณในครั้งที่ 1 ถึง 3 เป็นการคำนวณที่กำหนดค่าคงที่ 2 ค่าคือ ประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์คือ 0.64 และกำหนดให้อุณหภูมิของน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์คือ 30 องศาเซลเซียส แล้วกำหนดตัวแปรตามคือความเข้มของแสงอาทิตย์ (I_c) ที่ 600 W/m^2 , 800 W/m^2 และ $1,000 \text{ W/m}^2$ ตามลำดับ เมื่อนำผลลัพธ์จากการคำนวณใน หัวข้อ 4.2.4 ก ถึง 4.2.4 ค จะได้ผลลัพธ์ของ สัญญาณเอาต์พุตของ Pyranometer และ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ แล้วส่วนการทดสอบครั้งที่ 3 ถึง 6 นั้นเป็นการทำซ้ำตามกระบวนการที่กล่าวมาแล้ว แต่เปลี่ยนค่าคงที่ของตัวแปรประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็น 0.38

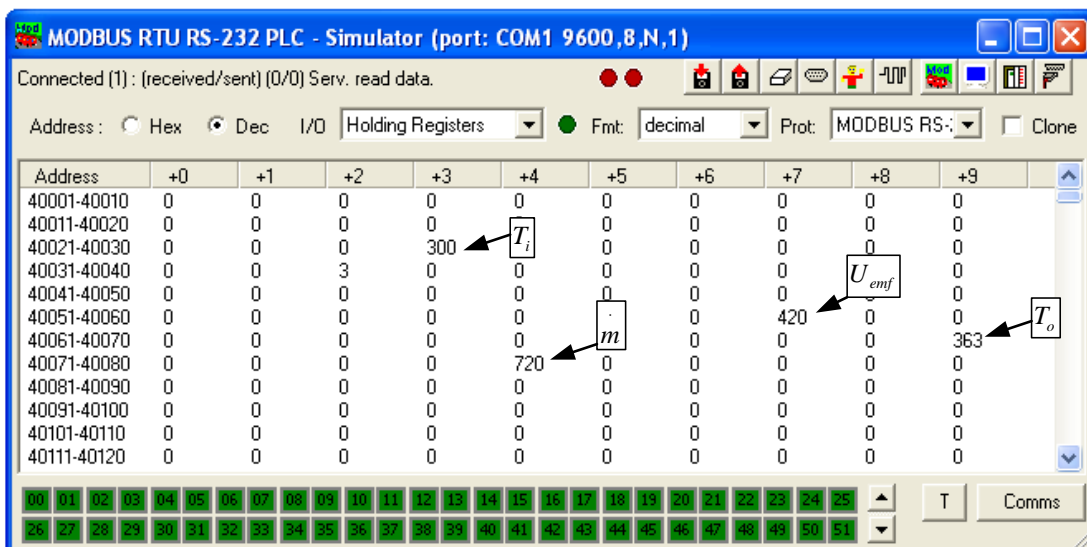
ตารางที่ 4.3 เงื่อนไขการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพ

| ทดสอบครั้งที่ | η | I_C | U_{emf} | T_i | T_0 | $T_0 - T_i$ |
|---------------|--------|-------|-----------|-------|-------|-------------|
| 1 | 0.64 | 600 | 0.0042 | 30 | 36.38 | 6.38 |
| 2 | 0.64 | 800 | 0.0056 | 30 | 38.51 | 8.51 |
| 3 | 0.64 | 1000 | 0.007 | 30 | 40.63 | 10.63 |
| 4 | 0.38 | 600 | 0.0042 | 30 | 33.79 | 3.79 |
| 5 | 0.38 | 800 | 0.0056 | 30 | 35.05 | 5.05 |
| 6 | 0.38 | 1000 | 0.007 | 30 | 36.31 | 6.31 |

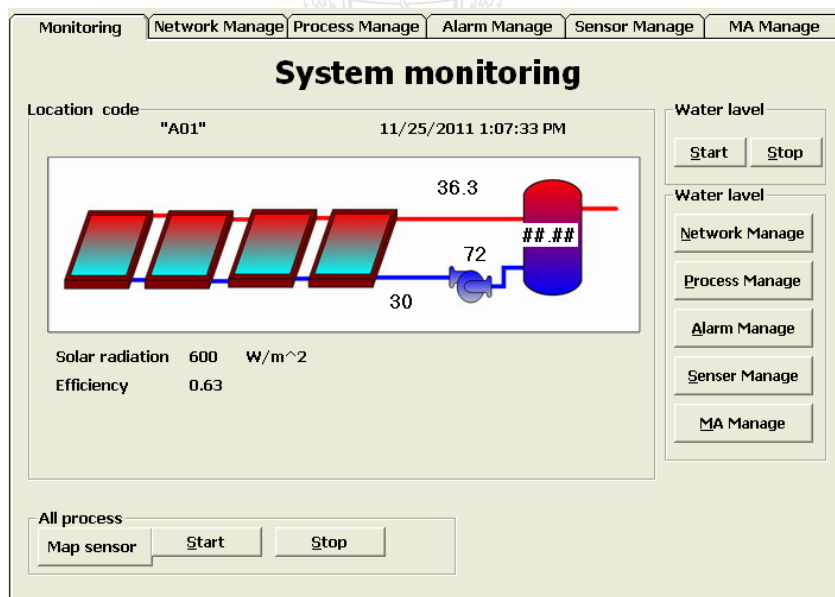
จากตารางที่ 4.4 เป็นข้อมูลสำหรับการทดสอบชุดคำสั่งสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยการทดสอบนั้นกำหนดให้เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์แม่ (Master Device) อ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ลูก (Slave Device) เป็นข้อมูลของตัวแปรทางกายภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการจำลองจากซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator โดยที่ระบุตำแหน่งของ Node และ Address ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การกำหนดข้อมูลของเครื่องมือวัดในการทดสอบ

| Node | Address | ตัวแปร | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | ครั้งที่ 6 |
|------|---------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2 | 3 | T_i | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 6 | 9 | T_o | 36.38 | 38.51 | 40.63 | 33.79 | 35.05 | 36.31 |
| 3 | 2 | U_{emf} | 0.0042 | 0.0056 | 0.007 | 0.0042 | 0.0056 | 0.007 |
| 7 | 4 | m | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |



ภาพที่ 4.10 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 1



ภาพที่ 4.11 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 1

MODBUS RTU RS-232 PLC - Simulator (port: COM1 9600,8,N,1)

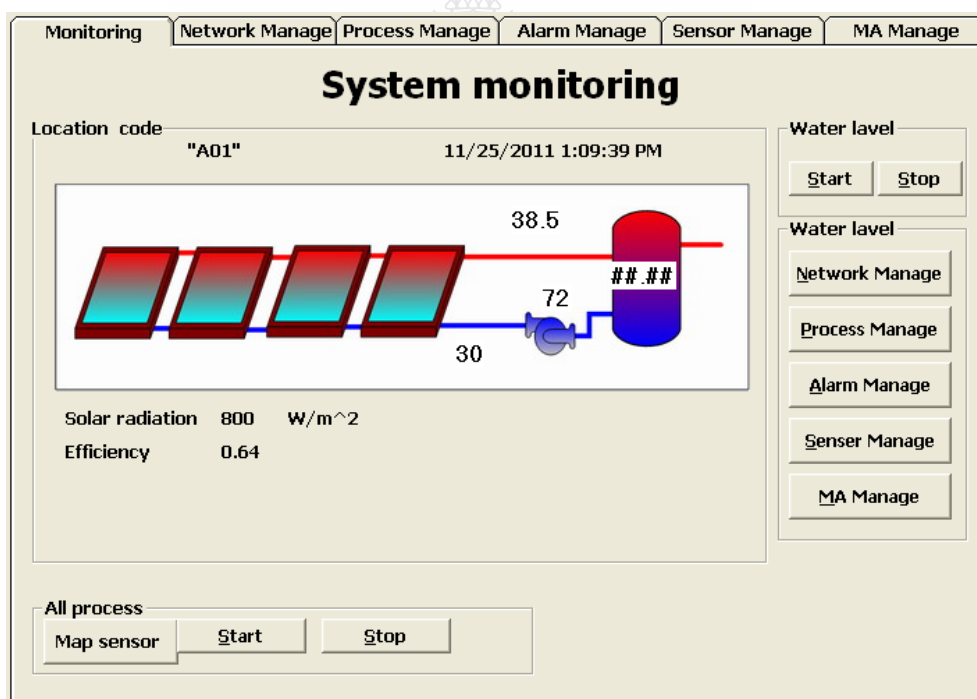
Connected (1) : (received/sent) (0/0) Serv. read data.

Address : Hex Dec I/O: Holding Registers Fmt: decimal Prot: MODBUS RS-232

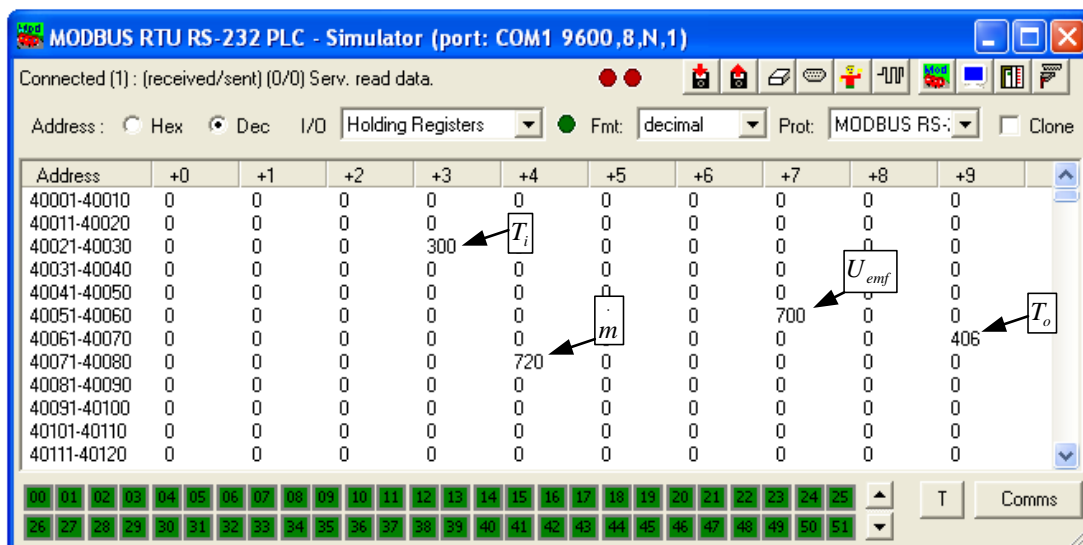
| Address | +0 | +1 | +2 | +3 | +4 | +5 | +6 | +7 | +8 | +9 |
|-------------|----|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|-----|
| 40001-40010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40011-40020 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40021-40030 | 0 | 0 | 0 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40031-40040 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40041-40050 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40051-40060 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 560 | 0 | 0 |
| 40061-40070 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 385 |
| 40071-40080 | 0 | 0 | 0 | 0 | 720 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40081-40090 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40091-40100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40101-40110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40111-40120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51

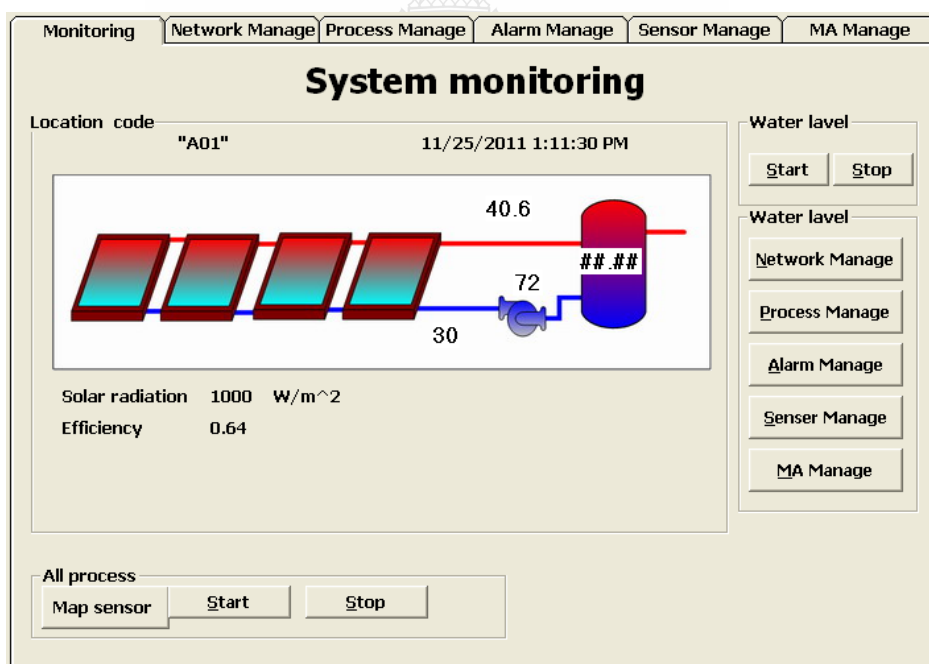
ภาพที่ 4.12 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 2



ภาพที่ 4.13 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 2



ภาพที่ 4.14 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.15 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 3

MODBUS RTU RS-232 PLC - Simulator (port: COM1 9600,8,N,1)

Connected (1) : (received/sent) (0/0) Serv. read data.

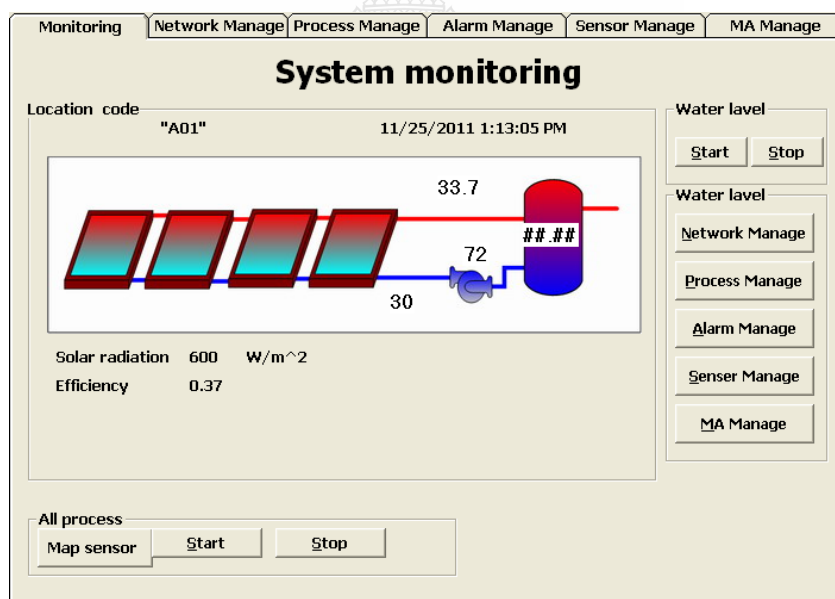
Address : Hex Dec I/O: Holding Registers Fmt: decimal Prot: MODBUS RS-232 Clone

| Address | +0 | +1 | +2 | +3 | +4 | +5 | +6 | +7 | +8 | +9 |
|-------------|----|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|-----|
| 40001-40010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40011-40020 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40021-40030 | 0 | 0 | 0 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40031-40040 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40041-40050 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40051-40060 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 420 | 0 | 0 |
| 40061-40070 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 337 |
| 40071-40080 | 0 | 0 | 0 | 0 | 720 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40081-40090 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40091-40100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40101-40110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40111-40120 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

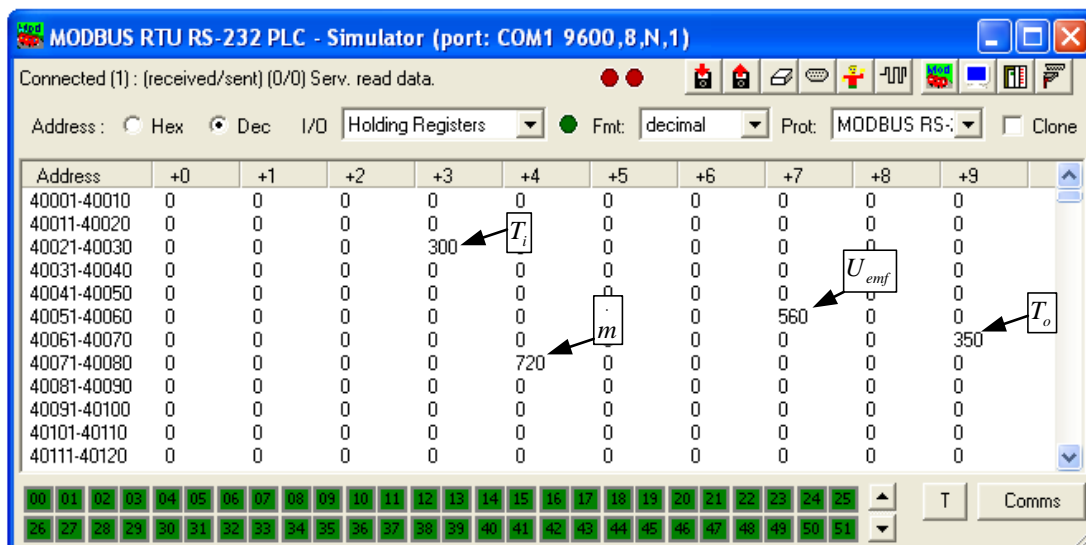
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51

T Comms

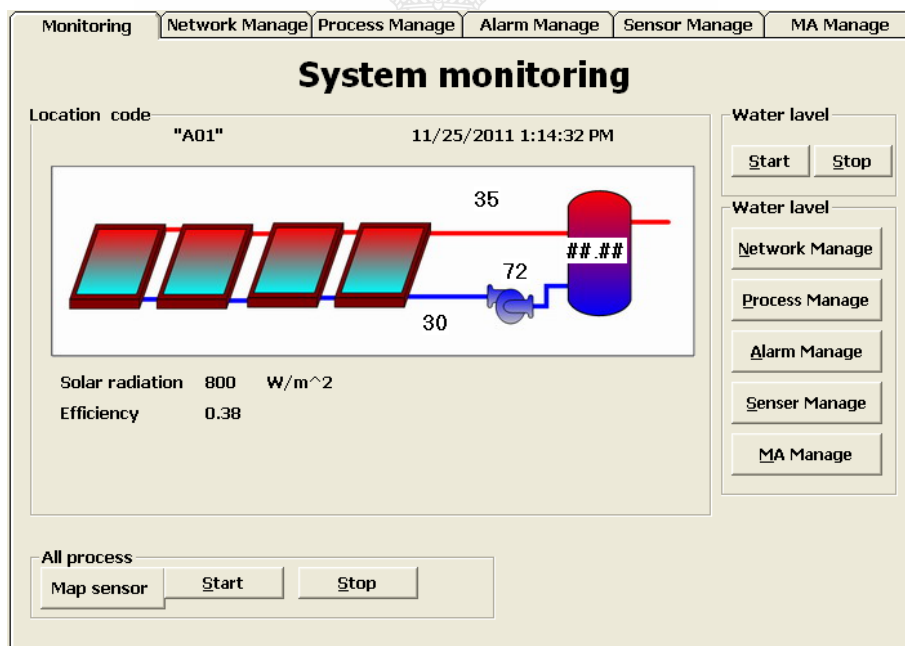
ภาพที่ 4.16 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 4



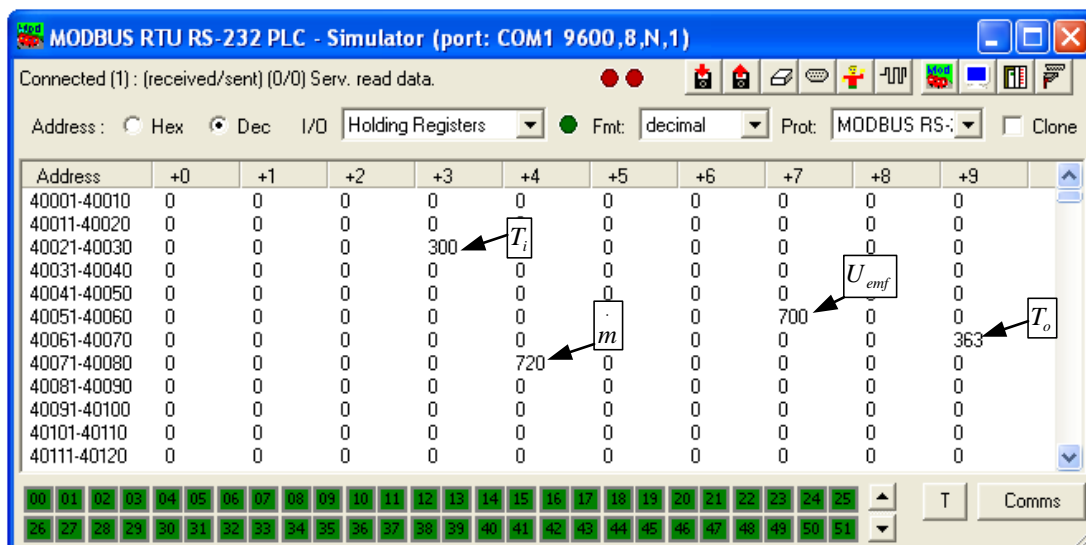
ภาพที่ 4.17 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 4



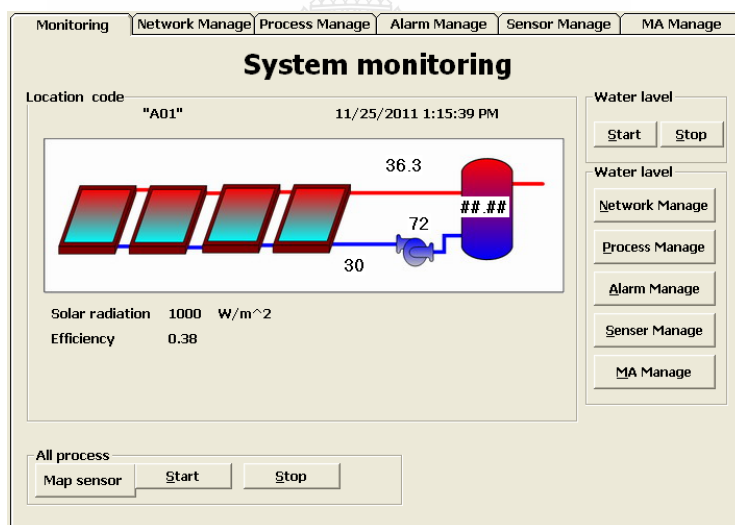
ภาพที่ 4.18 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 5



รูปที่ 4.19 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 5



ภาพที่ 4.20 การจำลองสัญญาณเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบครั้งที่ 6



ภาพที่ 4.21 ผลลัพธ์จากการทดสอบครั้งที่ 6

จากภาพที่ 4.10 ถึงภาพที่ 4.21 เป็นผลลัพธ์ของการทดสอบชุดคำสั่ง โดยหลังจากที่ ป้อนข้อมูลในซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator ตามตำแหน่งอุปกรณ์ลูก (Slave Device) จากการทดสอบทั้ง 6 ครั้ง ในการทดสอบครั้งที่ 1 ตามภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 ซึ่งผู้ทดสอบได้จำลองข้อมูลดังนี้

- อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

- อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 36.38 องศาเซลเซียส
- อัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 72 kg/hr
- ความเข้มของแสงอาทิตย์เท่ากับ 600 W/m^2

ซึ่งจากการคำนวณตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77 นั้นผลลัพธ์ที่คือประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์คือ 0.64 แต่เมื่อใช้ซอฟต์แวร์มาทำการคำนวณนั้นกลับได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0.63 และจากการทดลองในครั้งที่ 4 ซึ่งผลลัพธ์จากการคำนวณตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77 คือ 0.38 แต่ผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0.37 ดังแสดงในภาพที่ 4.16 และภาพที่ 4.17 ซึ่งความผิดพลาดของการคำนวณนั้นคิดเป็นไม่ถึงร้อยละ 1 ของผลลัพธ์ที่ถูกต้อง ส่วนผลลัพธ์ของการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ในการทดสอบครั้งอื่นๆ นั้นได้ผลลัพธ์การคำนวณตรงกับการคำนวณตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77 ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบคำนวณประสิทธิภาพ

| ตัวแปร | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | ครั้งที่ 6 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| T_i | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| T_o | 36.3 | 38.5 | 40.6 | 33.7 | 35.0 | 36.3 |
| U_{enf} | 0.0042 | 0.0056 | 0.007 | 0.0042 | 0.0056 | 0.007 |
| m | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| η | 0.63 | 0.64 | 0.64 | 0.37 | 0.38 | 0.38 |

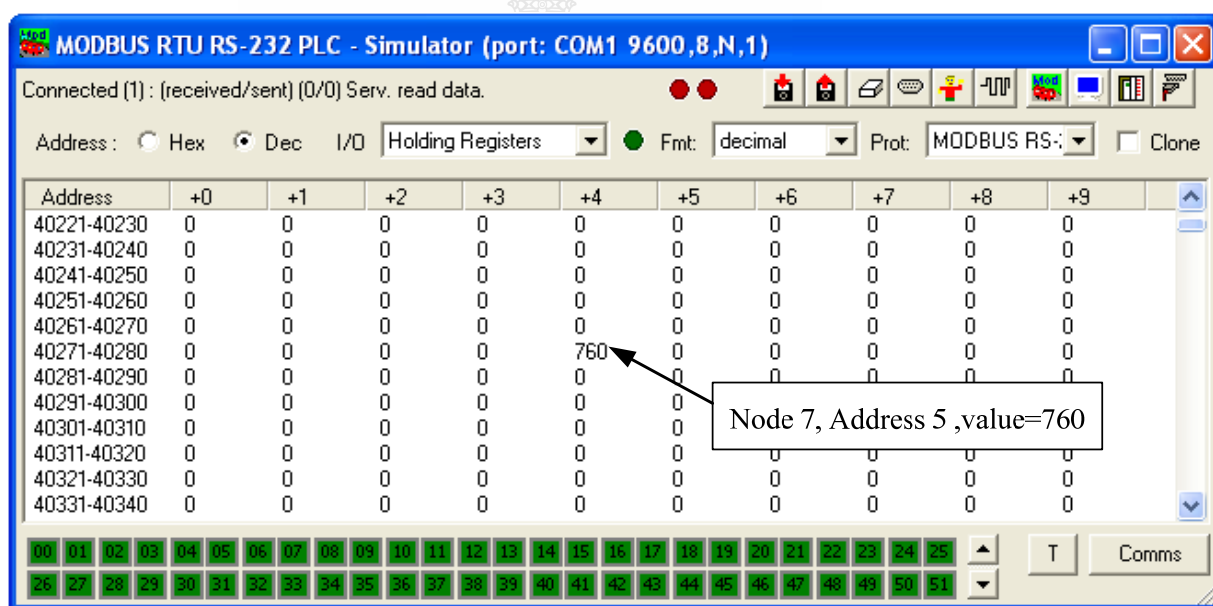
4.3.3 การทดสอบชุดคำสั่งในกระบวนการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ ซึ่งเป็นการทดสอบตามวิธีการทดสอบในหัวข้อ 3.3.3 ซึ่งเป็นการทดสอบชุดคำสั่งที่มีหน้าที่รับข้อมูลตัวแปรจากเครื่องมือวัดมาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลเชิงเปรียบเทียบ โดยหาค่าของตัวแปรจากเครื่องมือวัดมีการเปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขของชุดคำสั่งแล้ว ระบบจะมีการแสดงผลออกทางจอภาพ โดยการทดสอบนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 6 ชุด รวมการทดสอบทั้งสิ้น 36 ครั้งสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้

- ทดสอบค่าอัตราการไหลสูงสุด โดยเงื่อนไขการทดสอบตามตารางที่ 4.6
- ทดสอบค่าอัตราการไหลต่ำสุด โดยเงื่อนไขการทดสอบตามตารางที่ 4.7
- ทดสอบค่าอุณหภูมิน้ำเข้าสูงสุด โดยเงื่อนไขการทดสอบตามตารางที่ 4.8
- ทดสอบอุณหภูมิน้ำเข้าต่ำสุด โดยเงื่อนไขการทดสอบตามตารางที่ 4.9

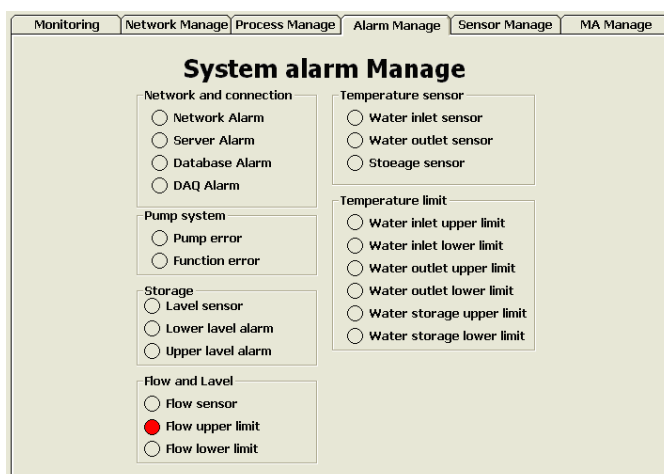
- ทดสอบค่าอุณหภูมิน้ำออกสูงสุด โดยเงื่อนไขการทดสอบตามตารางที่ 4.10
- ทดสอบค่าอุณหภูมิน้ำออกต่ำสุด โดยเงื่อนไขการทดสอบตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.6 การทดสอบเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลสูงสุด

| การทดสอบครั้งที่ | $m_{c,max}$ | $m_{c,min}$ | m_c |
|------------------|-------------|-------------|-------|
| 1 | 75.6 | 68.4 | 72 |
| 2 | 75.6 | 68.4 | 73 |
| 3 | 75.6 | 68.4 | 74 |
| 4 | 75.6 | 68.4 | 75 |
| 5 | 75.6 | 68.4 | 76 |



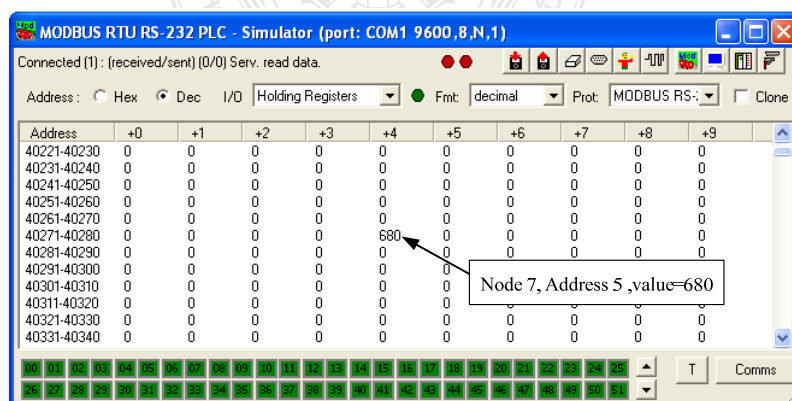
ภาพที่ 4.22 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลสูงสุด



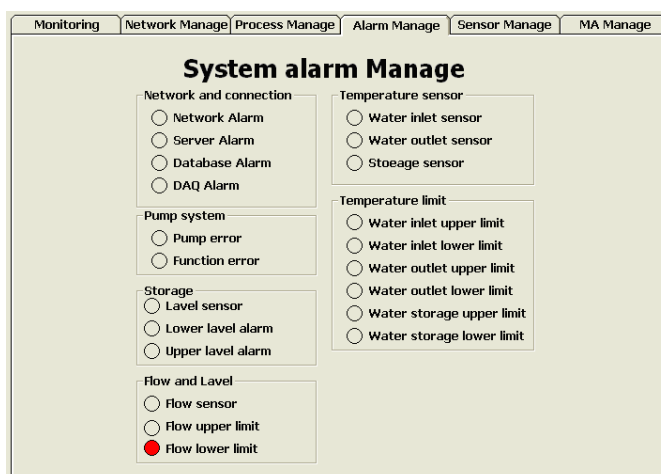
ภาพที่ 4.23 ผลลัพธ์การทดสอบเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลสูงสุด

ตารางที่ 4.7 เงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลต่ำสุด

| การทดสอบครั้งที่ | $m_{c,max}$ | $m_{c,min}$ | m_c |
|------------------|-------------|-------------|-------|
| 1 | 75.6 | 68.4 | 72 |
| 2 | 75.6 | 68.4 | 71 |
| 3 | 75.6 | 68.4 | 70 |
| 4 | 75.6 | 68.4 | 69 |
| 5 | 75.6 | 68.4 | 68 |



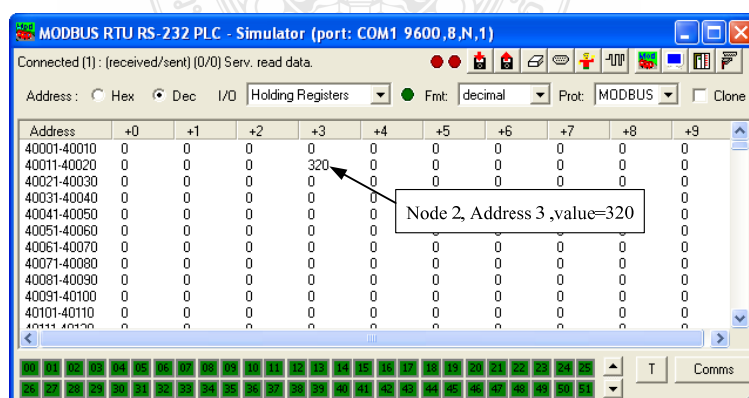
ภาพที่ 4.24 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลต่ำสุด



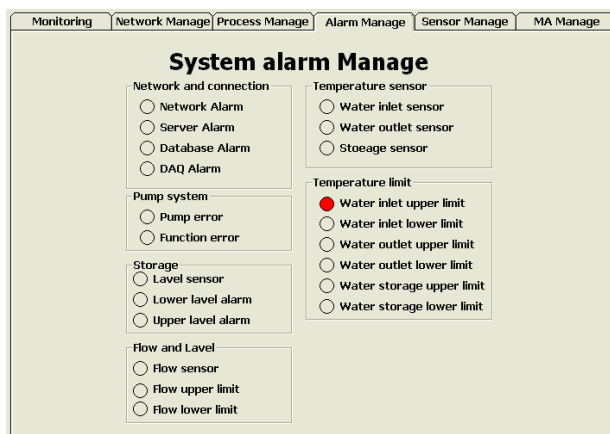
ภาพที่ 4.25 ผลลัพธ์การทดสอบเงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการไหลต่ำสุด

ตารางที่ 4.8 เงื่อนไขการทดสอบค่าอุณหภูมิน้ำเข้าสูงสุด

| การทดสอบครั้งที่ | $T_{i,max}$ | $T_{i,min}$ | T_i |
|------------------|-------------|-------------|-------|
| 1 | 31.5 | 28.5 | 30 |
| 2 | 31.5 | 28.5 | 30.5 |
| 3 | 31.5 | 28.5 | 31 |
| 4 | 31.5 | 28.5 | 31.5 |
| 5 | 31.5 | 28.5 | 32 |



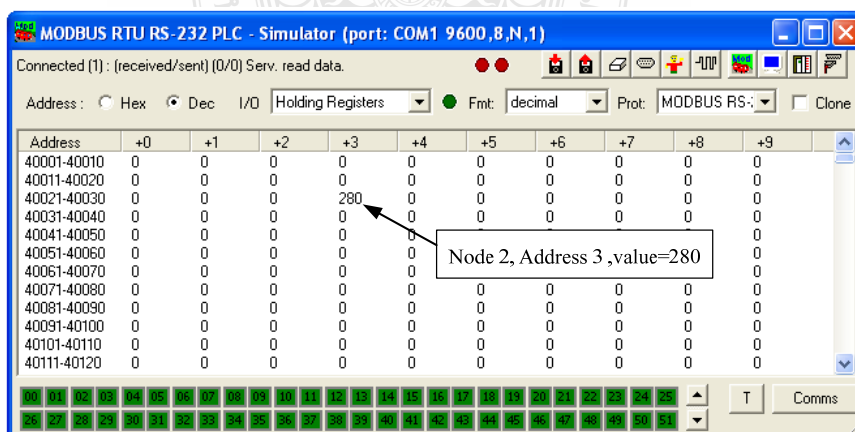
ภาพที่ 4.26 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบค่าอุณหภูมิน้ำเข้าสูงสุด



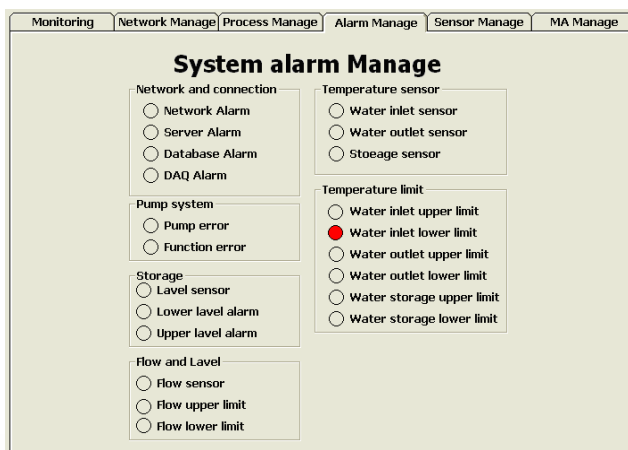
ภาพที่ 4.27 ผลลัพธ์การทดสอบค่าอุณหภูมิน้ำเข้าสูงสุด

ตารางที่ 4.9 เงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำเข้าต่ำสุด

| การทดสอบครั้งที่ | $T_{i,max}$ | $T_{i,min}$ | T_i |
|------------------|-------------|-------------|-------|
| 1 | 31.5 | 28.5 | 30 |
| 2 | 31.5 | 28.5 | 29.5 |
| 3 | 31.5 | 28.5 | 29 |
| 4 | 31.5 | 28.5 | 28.5 |
| 5 | 31.5 | 28.5 | 28 |



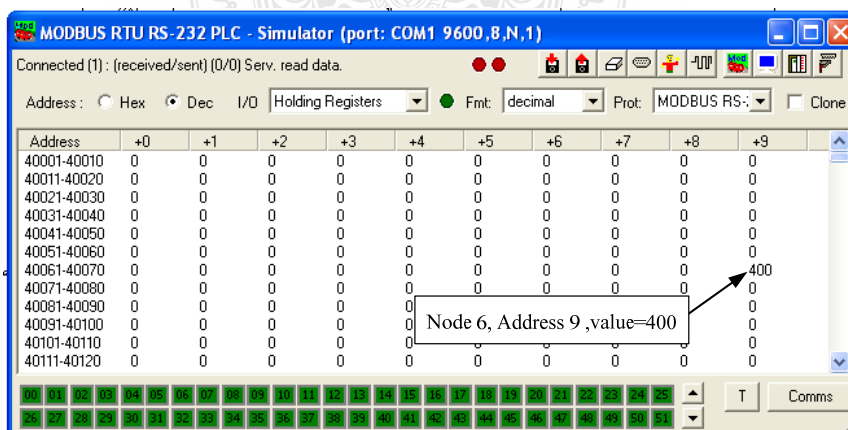
ภาพที่ 4.28 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำเข้าต่ำสุด



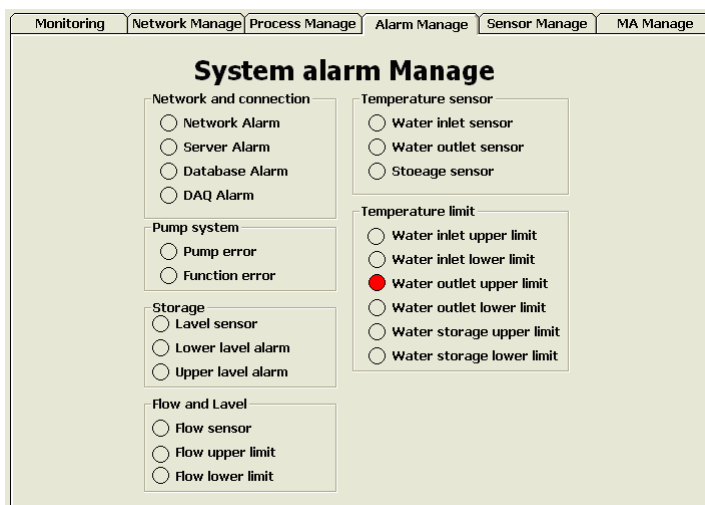
ภาพที่ 4.29 ผลลัพธ์ตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำเข้าต่ำสุด

ตารางที่ 4.10 เงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกสูงสุด

| การทดสอบครั้งที่ | $T_{o,max}$ | $T_{o,min}$ | T_o |
|------------------|-------------|-------------|-------|
| 1 | 34 | 39 | 36 |
| 2 | 34 | 39 | 37 |
| 3 | 34 | 39 | 38 |
| 4 | 34 | 39 | 39 |
| 5 | 34 | 39 | 40 |



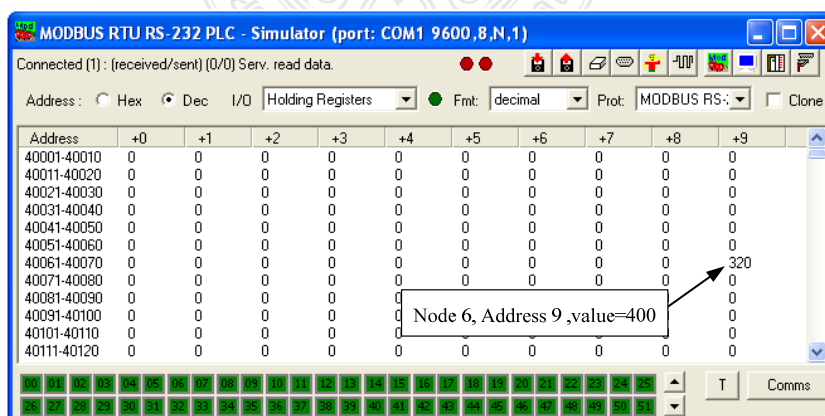
ภาพที่ 4.30 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกสูงสุด



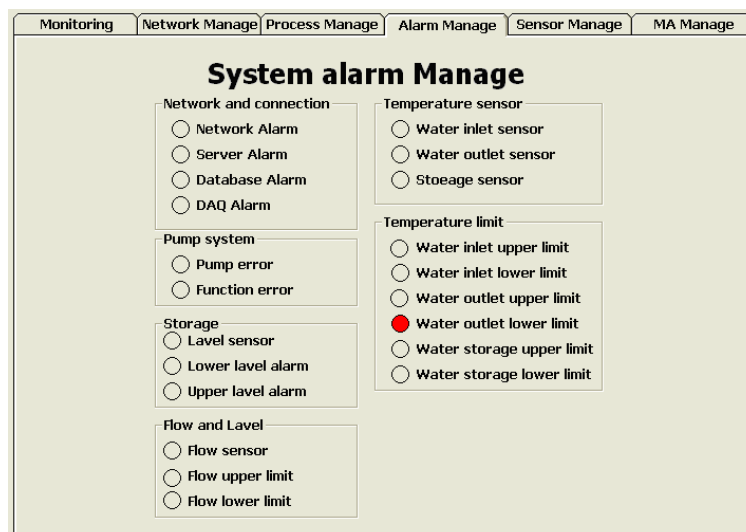
ภาพที่ 4.31 ผลลัพธ์ตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกสูงสุด

ตารางที่ 4.11 เงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกต่ำสุด

| การทดสอบครั้งที่ | $T_{o,max}$ | $T_{o,min}$ | T_o |
|------------------|-------------|-------------|-------|
| 1 | 34 | 39 | 36 |
| 2 | 34 | 39 | 35 |
| 3 | 34 | 39 | 34 |
| 4 | 34 | 39 | 33 |
| 5 | 34 | 39 | 32 |



ภาพที่ 4.32 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกต่ำสุด



ภาพที่ 4.33 ผลลัพธ์ตามเงื่อนไขการทดสอบอุณหภูมิน้ำออกต่ำสุด

จากภาพที่ 4.22 ถึงภาพที่ 4.33 พบว่าเมื่อทำการทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator ซึ่งเสมือนการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่เครื่องมือวัดชุดนั้นทำการวัดค่าได้ โดยที่ข้อมูลนั้นมีค่ามากกว่าสูงสุดหรือน้อยกว่าค่าต่ำสุดของค่าตัวแปรเชิงเปรียบเทียบในกลุ่มนั้น ซอฟต์แวร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในหน้าจอ System Alarm Manage โดยที่จะมีแถบสีแดงเกิดขึ้นหน้าข้อความตามเงื่อนไขดังนี้

ก) เมื่อข้อมูลอัตราการไหลมากกว่า อัตราการไหลสูงสุดซอฟต์แวร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในหน้าจอ System Alarm Manage โดยที่จะมีแถบสีแดงเกิดขึ้นหน้าข้อความ “Flow Upper Limit” ดังภาพที่ 4.23

ข) เมื่อข้อมูลอัตราการไหลต่ำกว่าข้อมูลอัตราการไหลต่ำสุดซอฟต์แวร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในหน้าจอ System Alarm Manage โดยที่จะมีแถบสีแดงเกิดขึ้นหน้าข้อความ “Flow Lower Limit” ดังภาพที่ 4.25

ค) เมื่อข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์มากกว่า ข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุดซอฟต์แวร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในหน้าจอ System Alarm Manage โดยที่จะมีแถบสีแดงเกิดขึ้นหน้าข้อความ “Water Inlet Upper Limit” ดังภาพที่ 4.27

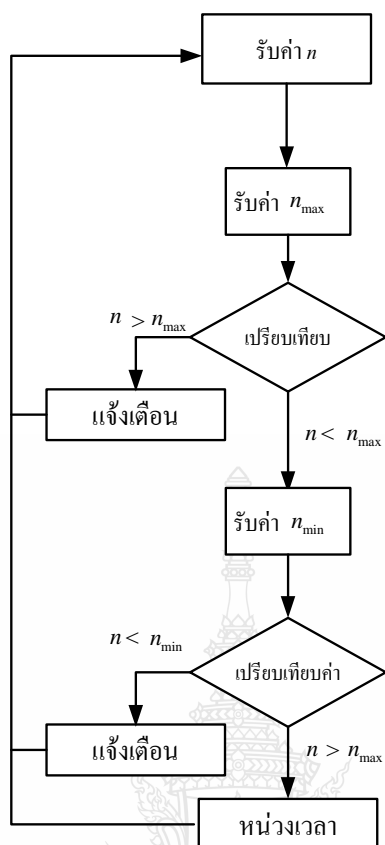
ง) เมื่อข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำกว่า ข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำสุดซอฟต์แวร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในหน้าจอ System Alarm Manage โดยที่จะมีแถบสีแดงเกิดขึ้นหน้าข้อความ “Water Inlet Lower Limit” ดังภาพที่ 4.29

จ) เมื่อข้อมูลอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์มากกว่า ข้อมูลอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุดซอฟต์แวร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในหน้าจอ System Alarm Manage โดยที่จะมีแถบสีแดงเกิดขึ้นหน้าข้อความ “Water Outlet Upper Limit” ดังภาพที่ 4.31

ฉ) เมื่อข้อมูลอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำกว่า ข้อมูลอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ต่ำสุดซอฟต์แวร์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในหน้าจอ System Alarm Manage โดยที่จะมีแถบสีแดงเกิดขึ้นหน้าข้อความ “Water Outlet Lower Limit” ดังภาพที่ 4.31

ดังนั้นจากการทดสอบชุดคำสั่งในกระบวนการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบทั้ง 6 ครั้งนั้น ซอฟต์แวร์สามารถทำการแจ้งเตือนได้ถูกต้องทุกครั้งเมื่อคิดเป็นร้อยละของความถูกต้องแล้วระบบซอฟต์แวร์สามารถทำการเปรียบเทียบได้ถูกต้องที่ร้อยละ 100 โดยการกระบวนการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของซอฟต์แวร์สามารถอธิบายการทำงานของชุดคำสั่งดังกล่าวได้ตามภาพที่ 4.34 ซึ่งสรุปได้ว่า เมื่อซอฟต์แวร์ได้รับข้อมูลกลุ่มตัวแปรเครื่องมือวัดแล้วระบบจะทำการเปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าวกับตัวแปรเชิงเปรียบเทียบซึ่งเป็นข้อชนิดเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิน้ำเข้า จะทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าสูงสุดและ ข้อมูลอุณหภูมิน้ำเข้าต่ำสุด เป็นต้น ดังนั้นหากข้อมูลจากเครื่องมือวัดอยู่ในช่วงที่กำหนดระบบจะหน่วงเวลาเพื่อรอรับข้อมูลจากเครื่องมือวัดชนิดเดิมในรอบต่อไป โดยที่ระบบจะทำงานช้าอย่างนี้ไปตลอดการทำงาน แต่ในกรณีข้อมูลจากเครื่องมือวัดนั้นไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดระบบจะทำการแจ้งเตือนในรูปแบบของแถบสี ตามเงื่อนไขที่กล่าวมาในข้อ 4.3.3 ก ถึงข้อ 4.3.3 ฉ ตามลำดับ

4.3.4 การทดสอบกระบวนการวิเคราะห์ ความผิดปกติของเครื่องสูบ โดยที่การทดสอบนี้ ผู้วิจัยได้จำลองสภาวะการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในกรณีที่ระบบมีอัตราการไหลของน้ำคั่งที่ แต่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เครื่องสูบสูงขึ้นจนเกินกว่าค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งได้กำหนดไว้ดังภาพที่ 4.36 ซึ่งในการทดสอบนั้นผู้วิจัยได้เปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลกระแสไฟฟ้าของเครื่องสูบเริ่มต้นที่ 2 แอมป์ แล้วทำการเพิ่มค่าดังกล่าวครั้งละ 0.5 แอมป์ ไปจนถึง 3.5 แอมป์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนั้นทำโดยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่จำลองด้วยซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator จากนั้นผู้วิจัยกำหนดให้อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำคั่งที่ แต่อัตราการไหลดังกล่าวนั้นไม่เกินกว่าค่าตัวแปรอัตราการไหลสูงสุด และตัวแปรอัตราการไหลต่ำสุด ดังแสดงในภาพที่ 4.35 แล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการแสดงผล



n : ข้อมูลกลุ่มตัวแปรจากเครื่องมือวัด

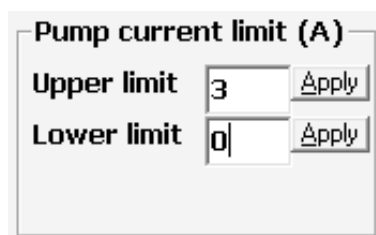
n_{max} : กลุ่มค่าสูงสุดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ

n_{min} : กลุ่มค่าต่ำสุดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ

ภาพที่ 4.34 การทำงานของชุดคำสั่งในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ

| Flow rate (L/min) | | |
|-------------------|------|-------|
| Upper limit | 75.6 | Apply |
| Lower limit | 68.4 | Apply |

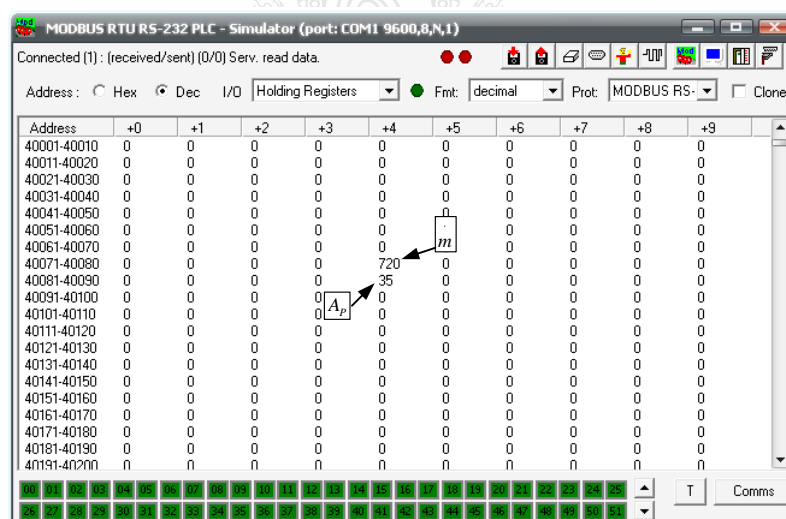
ภาพที่ 4.35 การกำหนดอัตราการไหลเชิงมวลสูงสุดและต่ำสุด



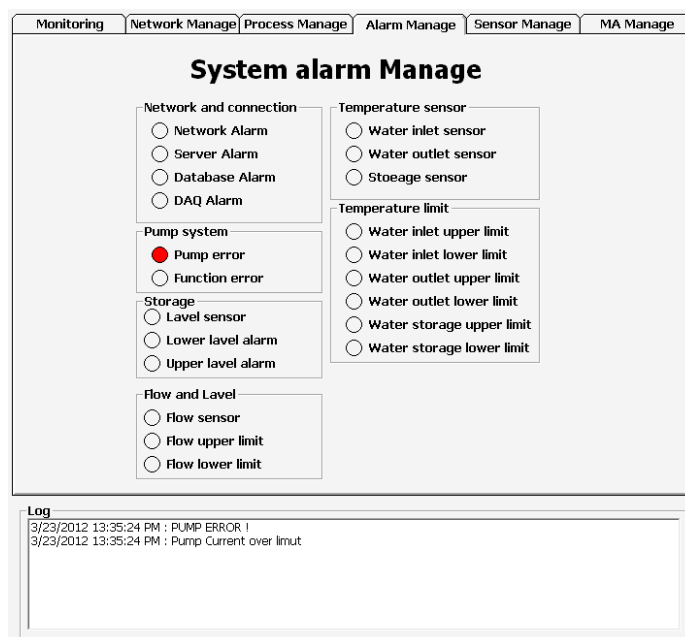
ภาพที่ 4.36 การกำหนดการกินกระแสสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องสูบ

ตารางที่ 4.12 เงื่อนไขการทดสอบการวิเคราะห์หาความผิดปกติของเครื่องสูบ

| การทดสอบครั้งที่ | $m_{c,max}$ | $m_{c,min}$ | m_c | $A_{P,max}$ | A_p |
|------------------|-------------|-------------|-------|-------------|-------|
| 1 | 75.6 | 68.4 | 72 | 3 | 2 |
| 2 | 75.6 | 68.4 | 72 | 3 | 2.5 |
| 3 | 75.6 | 68.4 | 72 | 3 | 3 |
| 4 | 75.6 | 68.4 | 72 | 3 | 3.5 |



ภาพที่ 4.37 การจำลองข้อมูลตามเงื่อนไขการทดสอบหาความผิดปกติของเครื่องสูบ



ภาพที่ 4.38 การแสดงผลของซอฟต์แวร์เมื่อตรวจสอบพบความผิดปกติของเครื่องสูบ

จากการทดสอบกระบวนการวิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องสูบด้วยระบบซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้พบว่า เมื่อกระแสปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่เครื่องสูบเพิ่มขึ้นจนมากกว่าค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดแต่อัตราการไหลเชิงมวลของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ยังคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ซึ่งผลการทดสอบที่ได้พบว่ามี การแสดงผลด้วยแถบสีแดงหน้าข้อความ “Pump Error” ในหน้าจอ System Alarm Manage ดังแสดงในภาพที่ 4.38 ซึ่งการแจ้งเตือนดังกล่าวสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องสูบ และแนวทางการแก้ไขได้อย่างทันท่วงที

4.4 การทดสอบการใช้งานจริงกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบซอฟต์แวร์ในห้องปฏิบัติการ โดยการจำลองอุปกรณ์อุปกรณ์ลูกด้วยซอฟต์แวร์ Mod_RSsim Simulator แล้วนั้น ผู้วิจัยได้นำระบบซอฟต์แวร์ดังกล่าวไปทดสอบการใช้งานจริงกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้ง ณ อาคารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังแสดงในภาพที่ 4.39 ถึงภาพที่ 4.41 ซึ่งระบบดังกล่าวมีพื้นที่รับแสงอาทิตย์ทั้งสิ้น 4 ตารางเมตร โดยสามารถผลิตน้ำร้อนได้วันละ 480 ลิตรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.39 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับรับซอร์ฟแวร์



ภาพที่ 4.40 เครื่องมือวัดที่เป็นอุปกรณ์ slave



ภาพที่ 4.41 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาระบบจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ช่วยให้วิศวกรและช่างเทคนิคบริหารจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้ง่ายขึ้น โดยที่ซอฟต์แวร์ดังกล่าวสามารถรับข้อมูลทางกายภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งได้มาจากเครื่องมือวัดชนิดต่างๆ ที่ติดตั้งในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยข้อมูลดังกล่าวนั้นจะถูกส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ในรูปแบบโปรโตคอล Modbus นอกจากนี้ซอฟต์แวร์ยังมีการนำตัวแปรเชิงเปรียบเทียบมาทำการประมวลผลรวมกับตัวแปรจากเครื่องมือวัด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติของอุปกรณ์

เมื่อซอฟต์แวร์ทำการประมวลผลแล้วจะทำการนำเสนอข้อมูลออกทางจอแสดงผล โดยข้อมูลที่แสดงนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย

- การแสดงผลเชิงตัวเลข ซึ่งประกอบด้วย ผลลัพธ์การคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และข้อมูลที่เครื่องมือวัดในแต่ละจุดวัดได้
- การแสดงผลการแจ้งเตือนความผิดปกติของอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของการแจ้งเตือนความผิดปกติของอุปกรณ์รายชิ้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบซอฟต์แวร์สามารถสรุปได้ดังนี้

ก) การทดสอบความสามารถในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ลูก (Slave Device) โดยในการใช้งานจริงคือมิเตอร์สำหรับแสดงผลที่สามารถสื่อสารผ่านระบบ Modbus โปรโตคอลได้ ซึ่งมีหน้าที่รับข้อมูลจากเครื่องมือวัดชนิดต่างๆ และอุปกรณ์แม่ซึ่งในงานวิจัยนี้คือเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีหน้าที่ประมวลผลข้อมูลทั้งหมด โดยที่มีซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นตัวควบคุม จากการทดสอบซอฟต์แวร์สามารถควบคุมการรับส่งข้อมูลและแสดงข้อมูลที่รับมาได้ถูกต้อง

ข) การทดสอบการคำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยการทดสอบนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของซอฟต์แวร์นั้นมีความคลาดเคลื่อนจากผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77 เพียงไม่ถึงร้อยละ 1

ค) จากการทดสอบกระบวนการแจ้งเตือนความผิดปกติของอุปกรณ์ในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ซอร์ฟแวร์สามารถนำข้อมูลตัวแปรจากเครื่องมือวัดมาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลตัวแปรเชิงเปรียบเทียบ แล้วแสดงผลในรูปแบบการแถบสีเพื่อเตือนผู้ใช้งานในกรณีที่ตัวแปรจากเครื่องมือวัดชุดนั้น ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ ซึ่งซอร์ฟแวร์สามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้อง

จากการทดสอบทั้งหมดนั้นสามารถสรุปได้ว่าซอร์ฟแวร์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการแสดงการทำงาน (Monitoring) ของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนั้นซอร์ฟแวร์ยังมีความสามารถในการแจ้งเตือนความผิดปกติของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งในระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ซึ่งจะลดเวลาและขั้นตอนการทำงานของวิศวกรและช่างเทคนิค ได้เป็นอย่างมาก

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยคอมพิวเตอร์ ได้พบปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

ก) การพัฒนาและออกแบบชุดคำสั่งที่ต้องสามารถรองรับโปรโตคอล Modbus และมีความเสถียรในการทำงาน

ข) การเลือกอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ต้องรองรับโปรโตคอล Modbus ซึ่งในประเทศไทยมีผู้ผลิตน้อย โดยส่วนมากจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

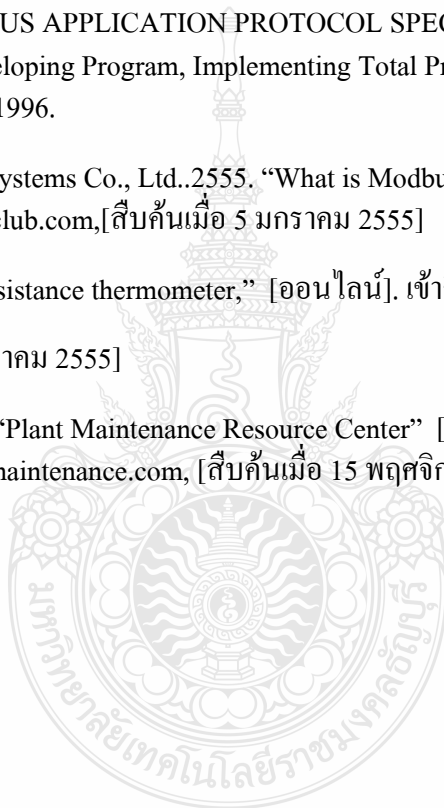
ก) การพัฒนาระบบซอร์ฟแวร์ควรที่จะรองรับการทำงานในรูปแบบ Web Applications ซึ่งจะสามารถทำงานบนอุปกรณ์ไร้สายเช่น tablet หรือ Smart phone

ข) ควรที่จะขยายความสามารถของระบบซอร์ฟแวร์ให้สามารถที่จะใช้วิเคราะห์การทำงานของระบบพลังงานทดแทนชนิดอื่น เช่น พลังงานลม เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.2552. สถานภาพและเป้าหมายการสนับสนุนการใช้งานระบบพลังงานความร้อนจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี.กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน.
- [2] ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเชิงรุก, “การนำระบบ CMMS ไปใช้ให้ประสบความสำเร็จ” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก ;<http://www.odicpro.com>, [สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2555]
- [3] ชนวัฒน์ ศรีสอาน. “ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ(Decision Support System),” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.rsu-cyberu.com>, [สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2555]
- [4] ธานี อ่วมอ้อ.2547. การบำรุงรักษาด้วยตนเอง. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.
- [5] ธานี อ่วมอ้อ.2546. การบำรุงรักษาทีละแบบทุกคนมีส่วนร่วม.พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.
- [6] สมชาย กฤตพลวิวัฒน์. 2549. พลังงานแสงอาทิตย์. พิษณุโลก: ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [7] จงจิตร หิรัญลาก. 2547. กระบวนการพลังงานรังสีอาทิตย์ในรูปความร้อน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ดวงกมล.
- [8] ไตรรัตน์ ศรีวัฒนาและคณะ. 2524. ปฏิบัติการทางชลศาสตร์. เอกสารวิชาการ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [9] กฤษณา ผลพฤกษ์รัตน์. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการจัดลำดับงานซ่อมบำรุงของระบบเครื่องจักรของบริษัทตัวอย่าง.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [10] ทินกร ปิติกุล. การวิเคราะห์ต้นทุนตามกิจกรรมสำหรับการจัดการงานซ่อมบำรุงของระบบทำความเย็นในโรงงานตัวอย่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [11] พิมพ์พร ผาพรม. การศึกษาแบบจำลองและลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [12] E. H. AMER, P. JADEJA, J. K. NAYAK and G. K. SHARMA ,Comparison of Two Dynamic Test Methods for Solar Flat-Plate Collector, Energy Convers. Mgmt Vol. 39, No. 3/4, pp. 285-293, 1998
- [13] S.Farahat, F.Sarhaddi, H. Ajam, Exergetic optimization of flat plate solar collectors, Renewable Energy 34 (2009) 1169–1174

- [14] J. K. NAYAK and E. H. AMER, Experimental and Theoretical Evaluation of Dynamic Test Procedures for Solar Flat-Plate Collector, Solar Energy Vol. 69, No. 5, pp. 377–401, 2000
- [15] Solar Engineering Of Thermal Processes, John A. Duffie , Willam A. Beckman, John Wiley & Sons, Inc.
- [16] Boonrit Prasartkaew, S. Kumar, A low carbon cooling system using renewable energy resources and technologies, Energy and Buildings 42 (2010) 1453–1462
- [17] European Solar Thermal Industry Federation, Solar Thermal Markets in Europe Trends and Market Statistics 2008 May 2009
- [18] Modbus-IDA, MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b, 2006. Developing Program, Implementing Total Productive Maintenance, Tokyo: Japan Insytute, 1996.
- [19] EDA Instruments & Systems Co., Ltd..2555. “What is Modbus,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.scadaclub.com>, [สืบค้นเมื่อ 5 มกราคม 2555]
- [20] wikipedia .2555. “Resistance thermometer,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://wikipedia.org>, [สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2555]
- [21] Daryl Mather .2552. “Plant Maintenance Resource Center” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.plant-maintenance.com>, [สืบค้นเมื่อ 15 พฤศจิกายน 2554]



ภาคผนวก ค

ชุดคำสั่ง



ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงอุณหภูมิน้ำเข้า

```
Dim InletTemp As String
```

```
Dim t1 As Long
```

```
t1 = (CLng(197) * 256)
```

```
InletTemp = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtInletAddress.Text) \ 256) +
```

```
Chr(Val(TxtInletAddress.Text) Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)
```

```
CRC_16 Data, 6
```

```
FlowData = FlowData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)
```

```
InBuffer = ""
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = Data
```

```
Do While MSComm1.OutBufferCount > 0
```

```
Loop
```

```
InletTemp = Val(Str((Asc(Mid(InBuffer, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffer, i + 1, 1)))) / 10
```

```
Monitoring.InletLabel.Caption = InletTemp
```

ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงอุณหภูมิน้ำออก

```
Dim OutletTemp As String
```

```
Dim t1 As Long
```

```
t1 = (CLng(197) * 256)
```

```
OutletTemp = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtOutletAddress.Text) \ 256) +  
Chr(Val(TxtOutletAddress.Text) Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)
```

```
CRC_16 Data, 6
```

```
OutletTemp = FlowData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)
```

```
InBuffer = ""
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = Data
```

```
Do While MSComm1.OutBufferCount > 0
```

```
Loop
```

```
OutletTemp = Val(Str((Asc(Mid(InBuffer, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffer, i + 1, 1)))) / 10
```

```
Monitoring.OutletLabel.Caption = OutletTemp
```

ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงอุณหภูมิน้ำในถังเก็บ

```
Dim StTemp As String
```

```
Dim t1 As Long
```

```
t1 = (CLng(197) * 256)
```

```
OutletTemp = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtstAddress.Text) \ 256) + Chr(Val(TxtstAddress.Text)
Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)
```

```
CRC_16 Data, 6
```

```
StTemp = FlowData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)
```

```
InBuffor = ""
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = Data
```

```
Do While MSComm1.OutBufferCount > 0
```

```
Loop
```

```
StTemp = Val(Str((Asc(Mid(InBuffor, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffor, i + 1, 1)))) / 10
```

```
Monitoring.StLabel.Caption = StTemp
```

ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงอัตราการไหลเชิงมวล

```
Dim FlowData As String
```

```
Dim t1 As Long
```

```
t1 = (CLng(197) * 256)
```

```
FlowData = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtFlowAddress.Text) \ 256) +
Chr(Val(TxtFlowAddress.Text) Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)
```

```
CRC_16 Data, 6
```

```
FlowData = FlowData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)
```

```
InBuffor = ""
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = Data
```

```
Do While MSComm1.OutBufferCount > 0
```

```
Loop
```

```
FlowData = Val(Str((Asc(Mid(InBuffor, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffor, i + 1, 1)))) / 10
```

```
Monitoring.FlowLabel.Caption = FlowData
```

ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงถึงแวลด์ลุ่ม

```
Dim AmData As String
```

```
Dim t1 As Long
```

```
t1 = (CLng(197) * 256)
```

```
AmData = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtAmAddress.Text) \ 256) + Chr(Val(TxtAmAddress.Text)
Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)
```

CRC_16 Data, 6

AmData = FlowData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)

InBuffer = ""

MSComm1.InputLen = 0

MSComm1.PortOpen = True

MSComm1.Output = Data

Do While MSComm1.OutBufferCount > 0

Loop

AmData = Val(Str((Asc(Mid(InBuffer, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffer, i + 1, 1)))) / 10

Monitoring.AmLabel.Caption = AmData

ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงอุณหภูมิถึงแวดล้อม

Dim AmData As String

Dim t1 As Long

t1 = (CLng(197) * 256)

AmData = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtAmAddress.Text) \ 256) + Chr(Val(TxtAmAddress.Text)

Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)

CRC_16 Data, 6

AmData = AmData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)

```
InBuffer = ""
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = Data
```

```
Do While MSComm1.OutBufferCount > 0
```

```
Loop
```

```
AmData = Val(Str((Asc(Mid(InBuffer, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffer, i + 1, 1)))) / 10
```

```
Monitoring.AmLabel.Caption = AmData
```

ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงอุณหภูมิน้ำดื่ม

```
Dim SpwData As String
```

```
Dim t1 As Long
```

```
t1 = (CLng(197) * 256)
```

```
AmData = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtSpwAddress.Text) \ 256) +
```

```
Chr(Val(TxtSpwAddress.Text) Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)
```

```
CRC_16 Data, 6
```

```
SpwData = SpwData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)
```

```
InBuffer = ""
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = Data
```

```
Do While MSComm1.OutBufferCount > 0
```

```
Loop
```

```
SpwData = Val(Str((Asc(Mid(InBuffer, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffer, i + 1, 1)))) / 10
```

```
Monitoring.SpwLabel.Caption = SpwData
```

ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงแรงดันไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องสูบ

```
Dim VWData As String
```

```
Dim t1 As Long
```

```
t1 = (CLng(197) * 256)
```

```
VWData = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtVWAddress.Text) \ 256) +  
Chr(Val(TxtVWAddress.Text) Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)
```

```
CRC_16 Data, 6
```

```
VWData = VWData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)
```

```
InBuffer = ""
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = Data
```

```
Do While MSComm1.OutBufferCount > 0
```

```
Loop
```

```
VWData = Val(Str((Asc(Mid(InBuffor, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffor, i + 1, 1)))) / 10
```

```
Monitoring.VWLabel.Caption = VWData
```

ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าเครื่องสูบ

```
Dim APData As String
```

```
Dim t1 As Long
```

```
t1 = (CLng(197) * 256)
```

```
APData = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtAPAddress.Text) \ 256) + Chr(Val(TxtAPAddress.Text)
```

```
Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)
```

```
CRC_16 Data, 6
```

```
APData = APData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)
```

```
InBuffor = ""
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = Data
```

```
Do While MSComm1.OutBufferCount > 0
```

```
Loop
```



```
APData = Val(Str((Asc(Mid(InBuffer, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffer, i + 1, 1)))) / 10
```

```
Monitoring.APLabel.Caption = APData
```

ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงพลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบ

```
Dim PPData As String
```

```
Dim t1 As Long
```

```
t1 = (CLng(197) * 256)
```

```
PPData = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtPPAddress.Text) \ 256) + Chr(Val(TxtPPAddress.Text)
```

```
Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)
```

```
CRC_16 Data, 6
```

```
PPData = PPData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)
```

```
InBuffer = ""
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.Output = Data
```

```
Do While MSComm1.OutBufferCount > 0
```

```
Loop
```

```
PPData = Val(Str((Asc(Mid(InBuffer, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffer, i + 1, 1)))) / 10
```

```
Monitoring.APLabel.Caption = PPData
```

ชุดคำสั่งสำหรับอ่านค่า และแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบ

```
Dim WPData As String
```

```
Dim t1 As Long
```

```
t1 = (CLng(197) * 256)
```

```
WPData = Chr(1) + Chr(3) + Chr(Val(TxtWPAddress.Text) \ 256) + Chr(Val(TxtWPAddress.Text)
Mod 256) + Chr(0) + Chr(1)
```

```
CRC_16 Data, 6
```

```
WPData = WPData + Chr(CRC_High) + Chr(CRC_Low)
```

```
InBuffer = ""
```

```
MSComm1.InputLen = 0
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

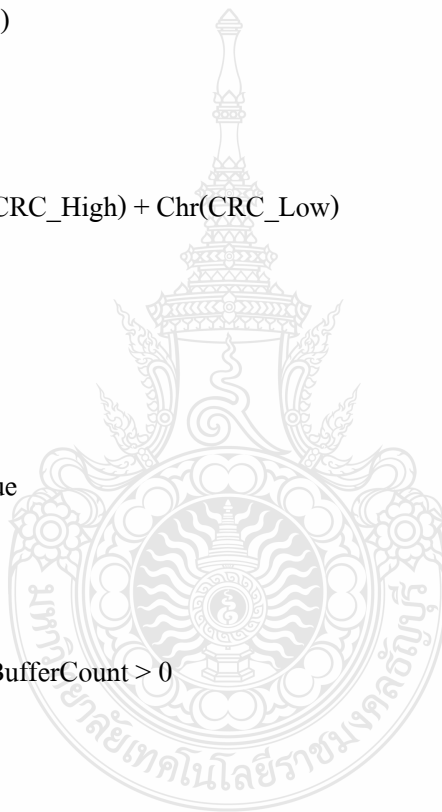
```
MSComm1.Output = Data
```

```
Do While MSComm1.OutBufferCount > 0
```

```
Loop
```

```
WPData = Val(Str((Asc(Mid(InBuffer, i, 1)) * CLng(256) + Asc(Mid(InBuffer, i + 1, 1)))) / 10
```

```
Monitoring.WPLabel.Caption = WPData
```



ชุดคำสั่งในการติดต่อฐานข้อมูล

```
trConnect = "DRIVER=MySQL ODBC 3.51
```

```
Driver;UID=root;STMT=;OPTION=;PORT=;PASSWORD=12345678;SERVER=localhost;DATA
```

```
BASE=solarmanage;"
```

