

ระบบอัจฉริยะสำหรับการบริหารจัดการโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

A SMART MANAGEMENT PLATFORM FOR SOLAR
STREET LIGHTING NETWORKS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-020-050

ระบบอัจฉริยะสำหรับการบริหารจัดการโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

A SMART MANAGEMENT PLATFORM FOR SOLAR STREET LIGHTING NETWORKS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-020-050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A SMART MANAGEMENT PLATFORM FOR SOLAR
STREET LIGHTING NETWORKS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-EN-M-020-050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบอัจฉริยะสำหรับการบริหารจัดการโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์
นักศึกษา	นางสาวณัฐกานา ชีโนมี
รหัสประจำตัว	58601253
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินโท

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการสร้างแพลตฟอร์มสำหรับบริหารจัดการโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW และเทคโนโลยี TCP/IP ซึ่งในระบบที่จะนำมาพิจารณาจะประกอบด้วยแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์ แพลตฟอร์มไคลเอนต์ และโปรโตคอลสื่อสาร สำหรับแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์จะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบให้สามารถทำการควบคุมและตรวจสอบ การวิเคราะห์ข้อมูล การแสดงผลข้อมูล การบันทึกข้อมูล และการสร้างเอกสารรายงาน เพื่อใช้ในระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งในการตรวจสอบและควบคุมโครงข่ายไฟถนนจะมีรายละเอียดในการออกแบบที่ค่อนข้างซับซ้อน และในกรณีการตรวจสอบระบบแบบเรียลไทม์นั้นจะต้องคำนึงถึงความต่อเนื่อง และลำดับการรับข้อมูล รวมถึงอัตราความสำเร็จของการถ่ายโอนข้อมูล นอกจากนี้การออกแบบทั้งหมดจะต้องรองรับการทำงานแบบเรียลไทม์ ส่วนแพลตฟอร์มไคลเอนต์จะมีหน้าที่ในการวัดและรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของไฟถนนเพื่อส่งไปให้เซิร์ฟเวอร์วิเคราะห์ รวมถึงคอยรับข้อมูลคำสั่งของเซิร์ฟเวอร์เพื่อควบคุมไฟถนน และงานวิจัยนี้จะใช้โปรโตคอล TCP/IP ร่วมกับเครือข่ายไร้สายในการเป็นสื่อกลางสำหรับการสื่อสารระหว่างไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ ในงานวิจัยฉบับนี้จะมีการอธิบายถึงรายละเอียดในการออกแบบเชิงแนวคิด รายละเอียดและขั้นตอนในการออกแบบแพลตฟอร์ม การทดสอบการใช้งานแพลตฟอร์ม และข้อสรุปจะได้รับการอธิบายอย่างละเอียด โดยที่การทดสอบแพลตฟอร์มที่นำเสนอจะใช้ไคลเอนต์จำลองซึ่งประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ในการจำลองพารามิเตอร์ของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์สามชุด เพื่อทำการทดสอบฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ของแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์

Thesis	A Smart Management Platform For Solar Street Lighting Networks
Student	Ms. Nutthaka Chinomi
Student ID.	58601253
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chow Chompoo-inwai

Abstract

This research proposes an implementation of a smart management platform for solar street lighting (SSL) network based on a TCP/IP technology and LabVIEW program, where the system includes a server, multiple SSL devices acting as clients and a communication protocol. The LabVIEW algorithms and programs will be configured as central server for this proposed platform, where it is able to control, monitor, and analyze data. The data then can be displayed, recorded and further used in a report-generating mode. There are lists of difficulties along the line of managing multiple SSL devices, for instances, real-time and continuous operations, sequencing problems, success rates of data transfer, long-distance issues and many more. The TCP/IP protocol will be used to identify each device entity in any particular network. Any wireless internet network will be used as a median for two-way communications between each of the SSL device and a central server platform. The conceptual designs, algorithms, the platform demonstrations, the verification process and conclusions will be elaborated in this thesis. The proposed platform demonstration and verification were done using three microcontroller boards acting as SSL clients, a personal computer acting as a server and TCP/IP acting as communication protocol.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาว์ ชมภูอินทิว อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาคำชี้แนะ ให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้อง ๆ ในศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมส่องสว่างทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและให้การช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้เอื้อนนามในที่นี้ได้เสียสละให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ รวมถึงให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ มาโดยตลอด ซึ่งเป็นส่วนให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบความดีเหล่านั้นแต่บิดา มารดา อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว และกราบขอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ณัฐภา จิโนมี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ลำดับขั้นตอนการทำวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 โครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	4
2.3 ระบบเครือข่าย.....	5
2.3.1 ประเภทของเครือข่าย.....	6
2.3.2 ระบบการสื่อสารข้อมูล.....	6
2.4 โพรโทคอล TCP/IP.....	8
2.5 เครือข่ายไร้สาย.....	8
2.6 เครือข่ายแบบโคเลนต์-เซิร์ฟเวอร์.....	9
2.7 โปรแกรม LabVIEW™.....	9
2.7.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW.....	10
2.7.2 ข้อดีของโปรแกรม.....	12
บทที่ 3 การออกแบบเชิงแนวคิด.....	13
3.1 ภาพรวมของโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	13
3.1.1 ระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม.....	13
3.1.2 โครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำเสนอ.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ภาพรวมของแพลตฟอร์ม.....	16
3.2.1 การออกแบบแพลตฟอร์มไคลเอนต์.....	16
3.2.2 การออกแบบแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์.....	19
3.2.3 โพรโตคอลการสื่อสาร.....	20
3.2.4 การออกแบบลำดับขั้นตอนการทำงาน.....	20
บทที่ 4 รายละเอียดการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน	22
4.1 การออกแบบไคลเอนต์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล	22
4.2 การออกแบบเซิร์ฟเวอร์	25
4.2.1 การเขียนบล็อกไดอะแกรม.....	25
4.2.1.1 ส่วนเรียลไทม์.....	25
ก. การเชื่อมต่อ TCP/IP.....	26
ข. การตรวจสอบหมายเลขไอพี.....	28
ค. การส่งข้อมูล.....	28
ง. การรับข้อมูล.....	30
4.2.1.2 ส่วนออฟไลน์.....	34
ก. การเรียกอ่านไฟล์.....	34
ข. การวิเคราะห์จัดการข้อมูล.....	35
ค. การแสดงผลข้อมูล.....	36
ง. การสร้างเอกสารสรุป.....	37
4.2.2 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface).....	38
4.2.2.1 หน้าต่างการเริ่มต้นโปรแกรม.....	38
4.2.2.2 หน้าต่างส่วนเรียลไทม์.....	39
ก. Main.....	40
ข. Zoning.....	42
ค. RT Table.....	43
ง. RT Status.....	43
4.2.2.3 หน้าต่างส่วนออฟไลน์.....	44
ก. Main.....	45
ข. Table.....	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การทดสอบแพลตฟอร์มที่ออกแบบ.....	47
5.1 การทดสอบการทำงานของส่วนไคลเอนต์.....	47
5.2 การทดสอบการทำงานของส่วนเซิร์ฟเวอร์.....	49
5.2.1 การทดสอบการทำงานของส่วนเรียลไทม์.....	50
5.2.1.1 ส่วนการเชื่อมต่อ TCP/IP	52
5.2.1.2 ส่วนการตรวจสอบหมายเลขไอพี.....	52
5.2.1.3 ส่วนควบคุมแบบเรียลไทม์ (Real-Time Controlling)	53
5.2.1.4 ส่วนตรวจวัดแบบเรียลไทม์ (Real-Time Monitoring).....	55
ก. ส่วนวิเคราะห์ข้อมูล.....	55
ข. ส่วนแสดงผลข้อมูล.....	55
ค. ส่วนบันทึกข้อมูล.....	58
5.2.2 การทดสอบการทำงานของส่วนออฟไลน์.....	65
5.2.2.1 ส่วนเรียกอ่านข้อมูลแบบออฟไลน์ (Offline).....	66
5.2.2.2 ส่วนการวิเคราะห์จัดการข้อมูล.....	67
5.2.2.3 ส่วนการแสดงผลข้อมูล.....	67
5.2.2.4 ส่วนสร้างเอกสารรายงานสรุปผล (Report Generation).....	70
5.2.3 สรุปและวิเคราะห์การทำงานของเซิร์ฟเวอร์.....	73
5.2.3.1 พื้นที่การเก็บข้อมูล.....	73
ก. การคำนวณหาขนาดไฟล์ของ 1 ชุดข้อมูล.....	75
ข. การทดสอบหาขนาดไฟล์ล่วงหน้า.....	77
5.2.3.2 ประสิทธิภาพในการถ่ายโอนข้อมูล.....	78
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	80
เอกสารอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก.....	83
ก. บทความนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ, ICEE 2018.....	84
ข. บทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ, JICEE 2017	93
ค. บทความนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ, ICEE 2016.....	107
ประวัติผู้เขียน.....	115

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 สรุปพารามิเตอร์ของโคลเอนต์ไฟถนน	18
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลพารามิเตอร์ตัวอย่าง	23
ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกสำหรับข้อมูลแบบรายวัน รายเดือน รายปี และข้อมูลดิบ	60
ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกสำหรับข้อมูลแบบกราฟ	61
ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลของการทดสอบโคลเอนต์ทีละ 1 IP.....	62
ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลของการทดสอบโคลเอนต์ทีละ 2 IP.....	63
ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลของการทดสอบโคลเอนต์ทีละ 3 IP.....	64
ตารางที่ 5.6 พารามิเตอร์สำหรับการบันทึกข้อมูลในไฟล์เอกสาร	71
ตารางที่ 5.7 จำนวนชุดข้อมูลรวมของการบันทึกผลแบบรายวัน กราฟ และข้อมูลดิบ	74
ตารางที่ 5.8 จำนวนชุดข้อมูลรวมของการบันทึกผลแบบรายเดือน.....	74
ตารางที่ 5.9 จำนวนชุดข้อมูลรวมของการบันทึกผลแบบรายปี.....	75
ตารางที่ 5.10 สรุปขนาดไฟล์ที่ได้จากการบันทึกข้อมูลแบบรายวัน	75
ตารางที่ 5.11 อัตราความสำเร็จในการถ่ายโอนข้อมูล.....	79

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	5
รูปที่ 2.2 เครือข่าย.....	5
รูปที่ 2.3 การสื่อสารข้อมูล.....	7
รูปที่ 2.4 ทิศทางการสื่อสารข้อมูล.....	7
รูปที่ 2.5 เครือข่าย WLAN.....	8
รูปที่ 2.6 เครือข่ายแบบโคเลนต์-เซิร์ฟเวอร์.....	9
รูปที่ 2.7 โปรแกรม LabVIEW.....	10
รูปที่ 2.8 หน้าจอแสดงผล.....	11
รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรม.....	12
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบที่ใช้ในงานวิจัย.....	14
รูปที่ 3.2 การวัดพารามิเตอร์ของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	15
รูปที่ 3.3 ภาพรวมของแพลตฟอร์ม.....	16
รูปที่ 3.4 ภาพรวมการออกแบบโคเลนต์จำลอง.....	16
รูปที่ 3.5 ภาพรวมการออกแบบเซิร์ฟเวอร์.....	19
รูปที่ 3.6 ลำดับขั้นตอนการทำงานของแพลตฟอร์ม.....	20
รูปที่ 4.1 โมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นโมเดลจำลอง.....	24
รูปที่ 4.2 ลำดับขั้นตอนการเขียนบล็อกไดอะแกรมส่วนเรียลไทม์.....	25
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนเริ่มต้น (Initialize).....	26
รูปที่ 4.4 ขั้นตอนตรวจสอบสถานะ (Status Check).....	26
รูปที่ 4.5 ขั้นตอนรับข้อมูล (Receiving).....	27
รูปที่ 4.6 ขั้นตอนหยุดการทำงาน (Stop).....	27
รูปที่ 4.7 การตรวจสอบหมายเลข IP.....	28
รูปที่ 4.8 การจัดแบ่งโซน.....	29
รูปที่ 4.9 การส่งคำสั่งควบคุม.....	30
รูปที่ 4.10 การวิเคราะห์จัดการข้อมูล การแสดงผลแบบตาราง การแสดงสถานะไฟถนนและการบันทึกข้อมูล.....	31
รูปที่ 4.11 การแสดงผลข้อมูลแบบรวมข้อมูลล่าสุด.....	32
รูปที่ 4.12 การแสดงผลข้อมูลแบบกราฟ.....	32
รูปที่ 4.13 การสร้างโพลเดอร์สำหรับแยกไฟล์ที่จะบันทึก.....	33
รูปที่ 4.14 ลำดับขั้นตอนการเขียนบล็อกไดอะแกรมส่วนออฟไลน์.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.15 การเรียกอ่านไฟล์	35
รูปที่ 4.16 การวิเคราะห์จัดการข้อมูล.....	35
รูปที่ 4.17 การแสดงผลข้อมูลแบบตาราง.....	36
รูปที่ 4.18 การแสดงผลข้อมูลแบบกราฟ.....	36
รูปที่ 4.19 การสร้างเอกสารรายงานสรุปผล.....	37
รูปที่ 4.20 การสร้างโพลเตอร์ Report	37
รูปที่ 4.21 หน้าต่างการเริ่มต้นโปรแกรม	38
รูปที่ 4.22 หน้าต่างการตั้งค่าเริ่มต้น.....	39
รูปที่ 4.23 หน้าต่างส่วนเรียลไทม์.....	40
รูปที่ 4.24 หน้าต่างย่อย Main.....	41
รูปที่ 4.25 หน้าต่างย่อย Zoning.....	42
รูปที่ 4.26 หน้าต่างย่อย RT Table.....	43
รูปที่ 4.27 หน้าต่างย่อย RT Status.....	43
รูปที่ 4.28 หน้าต่างส่วนออฟไลน์.....	44
รูปที่ 4.29 หน้าต่างย่อย Main.....	45
รูปที่ 4.30 หน้าต่างย่อย Table.....	46
รูปที่ 5.1 โปรแกรม Hercules ในการตรวจสอบโคลเอนต์.....	48
รูปที่ 5.2 หน้าจอหลักทั้งสามส่วนของเซิร์ฟเวอร์.....	49
รูปที่ 5.3 หน้าจอเลือกโหมดการทำงานแบบเรียลไทม์.....	50
รูปที่ 5.4 หน้าต่างการตั้งค่าเริ่มต้น	50
รูปที่ 5.5 โพลเตอร์สำหรับการบันทึกข้อมูล.....	51
รูปที่ 5.6 หน้าจอหลักของส่วนเรียลไทม์.....	52
รูปที่ 5.7 ส่วนแสดงสถานะโคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์.....	53
รูปที่ 5.8 หน้าต่างย่อย Zoning ของส่วนเรียลไทม์.....	53
รูปที่ 5.9 การควบคุมแบบเดี่ยว	54
รูปที่ 5.10 การควบคุมแบบโซน.....	54
รูปที่ 5.11 โปรแกรม Hercules ในการตรวจสอบเซิร์ฟเวอร์.....	55
รูปที่ 5.12 หน้าต่างย่อย Main ของส่วนเรียลไทม์.....	56
รูปที่ 5.13 หน้าต่างแสดงกราฟของส่วนเรียลไทม์.....	57
รูปที่ 5.14 หน้าต่างย่อย RT Table ของส่วนเรียลไทม์.....	58

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.15 หน้าต่างย่อย RT Status ของส่วนเรียลไทม์	58
รูปที่ 5.16 ตัวอย่างรายการไฟล์บันทึกข้อมูลรายวัน	59
รูปที่ 5.17 ตัวอย่างของไฟล์ .csv เปิดด้วย Notepad	59
รูปที่ 5.18 ตัวอย่างของไฟล์ .csv เปิดด้วย Microsoft Excel	59
รูปที่ 5.19 หน้าจอเลือกโหมดการทำงานแบบออฟไลน์	65
รูปที่ 5.20 หน้าจอหลักของส่วนออฟไลน์	65
รูปที่ 5.21 ส่วนเรียกอ่านข้อมูล	66
รูปที่ 5.22 หน้าต่างย่อย Main ของส่วนออฟไลน์	67
รูปที่ 5.23 หน้าต่างแสดงกราฟของส่วนออฟไลน์	69
รูปที่ 5.24 หน้าต่างย่อย Table ของส่วนออฟไลน์	69
รูปที่ 5.25 หน้าต่างสำหรับการสร้างรายงานสรุปผล	70
รูปที่ 5.26 โพลเดอร์สำหรับการบันทึกเอกสารรายงานสรุปผล	70
รูปที่ 5.27 ตัวอย่างรายงานสรุปผลแบบรายวันหน้าที่ 1	72
รูปที่ 5.28 ตัวอย่างรายงานสรุปผลแบบรายวันหน้าที่ 2	72
รูปที่ 5.29 ลักษณะของไฟล์ข้อมูลที่ขาดหายไป	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ระบบไฟถนนมีการติดตั้งใช้งานกันมาอย่างยาวนาน มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มทัศนวิสัยในการมองเห็นให้กับผู้ใช้รถที่สัญจรบนท้องถนนและประชาชนที่สัญจรบริเวณทางเท้า รวมถึงช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและอาชญากรรมในเวลากลางคืน ทำให้การสัญจรมีความปลอดภัยมากขึ้น [1] ในปัจจุบันไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มมีการนำมาติดตั้งใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยมีการติดตั้งไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ไปแล้วไม่ต่ำกว่าสามหมื่นต้นทั่วประเทศในช่วงระยะเวลาสองปีที่ผ่านมาเนื่องจากกระแสการอนุรักษ์พลังงาน ทว่าไฟถนนที่ติดตั้งไปแล้วเหล่านั้นล้วนเป็นไฟถนนแบบติดตั้งอิสระ (Stand-alone) ซึ่งการใช้งานระบบไฟถนนแบบติดตั้งอิสระนี้อาจไม่เหมาะสมสำหรับบางพื้นที่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม สนามกีฬา รัฐสถาน หรือสวนสาธารณะ เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟถนนนั้นมีมากมาย โดยที่งานวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นการออกแบบหรือปรับปรุงระบบเพื่อนำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพของไฟถนน การจัดการ และลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานและการซ่อมบำรุง ในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมไฟถนนจากระยะไกลมีงานวิจัยบางส่วนที่เลือกใช้ใช้อุปกรณ์ Zigbee เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลเพื่อควบคุมและตรวจสอบสถานะของไฟถนน รวมถึงการใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายในการส่งข้อมูลที่แตกต่างกันออกไป

จากเหตุผลด้านบนผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างแพลตฟอร์มสำหรับตรวจสอบ วิเคราะห์ และบริหารจัดการโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการใช้เครือข่ายไร้สายผ่านโปรโตคอล TCP/IP และโปรแกรม LabVIEW งานวิจัยนี้เสนอแนวคิดและการสร้างแพลตฟอร์มที่มีฟังก์ชันการทำงาน คือ การควบคุมดูแลไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ การวิเคราะห์พารามิเตอร์ การเก็บบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง การแสดงสถานะไฟถนน และการสร้างรายงานสรุปผล

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาและออกแบบแพลตฟอร์มสำหรับการบริหารจัดการระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อใช้เป็นศูนย์กลางในการตรวจสอบ วิเคราะห์ และบริหารจัดการระบบไฟถนน
2. ศึกษาและออกแบบให้แพลตฟอร์มโดยใช้เครือข่ายแบบโคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์
3. การสร้างแพลตฟอร์มโคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์ที่สามารถใช้งานได้จริงในการตรวจสอบ วิเคราะห์ และบริหารจัดการระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ DSPIC ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW ในการสร้างแพลตฟอร์มสำหรับบริหารจัดการระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์
2. การใช้โปรโตคอล TCP/IP ในการสื่อสารระหว่างโคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์ของแพลตฟอร์ม
3. ออกแบบแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในตรวจสอบ วิเคราะห์ และบริหารจัดการข้อมูลไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์
4. ออกแบบแพลตฟอร์มโคลเอนต์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
5. นำชุดเครื่องมือไปติดตั้งและใช้งานจริงร่วมกับโคมไฟถนน 3 ชุด เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และประสิทธิภาพในการใช้งานจริง

1.4 ลำดับขั้นตอนการทำวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจสอบไฟถนน และระบบบริหารจัดการข้อมูล
2. ศึกษาเครือข่ายโคลเอนต์เซิร์ฟเวอร์ และเทคโนโลยี TCP/IP
3. ศึกษาโปรแกรม LabVIEW และไมโครคอนโทรลเลอร์
4. ออกแบบและเขียนโปรแกรมให้กับแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW
 - 4.1. เขียนส่วนการทำงานแบบเรียลไทม์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนควบคุม ส่วนตรวจวัด และส่วนบันทึกผล ส่วนควบคุมมีหน้าที่ส่งชุดคำสั่งไปควบคุมการทำงานของไฟถนน ส่วนตรวจวัดมีหน้าที่รับชุดข้อมูลเพื่อนำมาตรวจสอบและบริหารจัดการ และส่วนบันทึกผลมีหน้าที่บันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องเพื่อเก็บไว้เรียกอ่านในส่วนออฟไลน์
 - 4.2. เขียนส่วนการทำงานแบบออฟไลน์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนเรียกอ่านข้อมูล และส่วนสร้างรายงานสรุป ส่วนเรียกอ่านข้อมูลมีหน้าที่เรียกอ่านข้อมูลที่บันทึกจากโคมไฟถนนมาวิเคราะห์และแสดงผล ส่วนสร้างรายงานสรุปจะใช้ข้อมูลที่ถูกรวบรวมเพื่อสร้างไฟล์เอกสารรายงานสรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ออกแบบและเขียนโปรแกรมให้กับแพลตฟอร์มโคลเอนต์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
6. ทดสอบการสื่อสารระหว่างแพลตฟอร์มโคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ ผ่านการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายและโปรโตคอล TCP/IP
7. ทดสอบการใช้งาน วิเคราะห์ และแก้ไขปรับปรุงแพลตฟอร์ม
8. สรุปผล และจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สร้างแพลตฟอร์มสำหรับการใช้งานตรวจสอบ วิเคราะห์ และบริหารจัดการระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างสมบูรณ์
2. การใช้โปรแกรม LabVIEW ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงในการสร้างแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์ ทำให้สามารถออกแบบและพัฒนาฟังก์ชันการทำงานอื่นๆ ที่ต้องการเพิ่มเติมได้
3. สามารถนำแพลตฟอร์มนี้ไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นๆ นอกเหนือจากระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

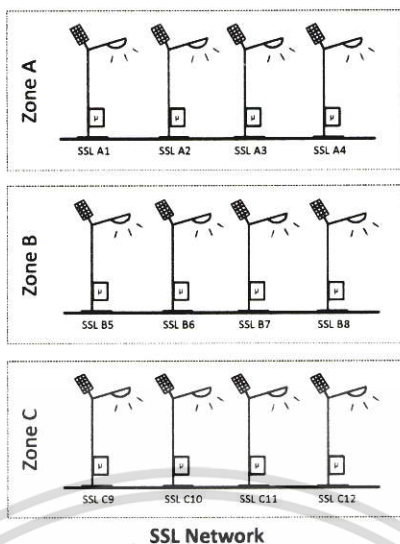
จากการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการระบบไฟถนนนั้นส่วนใหญ่จะเน้นการวิจัยในด้านการออกแบบการทำงานของระบบโดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของไฟถนน และการลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานและการบำรุงรักษา และงานวิจัยบางส่วนที่ทำการศึกษาด้านการจัดการควบคุมระบบไฟถนนโดยใช้การสื่อสารบนระบบเครือข่ายไร้สายที่แตกต่างกันออกไป เช่น Zigbee, Bluetooth, LAN, TCP/IP หรือ GSM เป็นต้น รวมถึงการเลือกใช้งานสื่อกลางในการออกแบบการควบคุมและตรวจสอบไฟถนนที่แตกต่างกัน เช่น การใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์, DAQ, LabVIEW หรือ JAVA เป็นต้น [1-8]

จากเหตุผลด้านบนผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างแพลตฟอร์มสำหรับตรวจสอบดูแลระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะใช้โปรโตคอล TCP/IP เป็นตัวกลางในการสื่อสาร และโปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบการทำงานให้กับเซิร์ฟเวอร์ งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดและการสร้างแพลตฟอร์มที่มีฟังก์ชันการทำงานที่ครอบคลุมการทำงานในหลายส่วนๆ เช่น การควบคุมดูแลไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ การวิเคราะห์จัดการพารามิเตอร์ การแสดงผลข้อมูลพารามิเตอร์ การบันทึกข้อมูลต่อเนื่อง การแสดงสถานะไฟถนน การสร้างรายงานสรุปผล เป็นต้น

2.2 โครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

ไฟถนนนั้นมีไว้สำหรับการให้แสงสว่างที่เพียงพอบนท้องถนน เพื่อความสะดวกในสัญจร เพื่อป้องกันอุบัติเหตุ และป้องกันอาชญากรรมที่อาจเกิดขึ้นได้ตามท้องถนน สีแยก หรือตามจุดต่างๆ ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตราย

ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ไฟที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่บนโครงสร้างของเสาไฟหรือรวมอยู่ในตัวเสา ระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ มีหลักการทำงานเหมือนกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วไป ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการชาร์จไฟที่ผลิตได้ไว้ในแบตเตอรี่และนำไปจ่ายให้กับหลอดไฟในช่วงกลางคืน และโดยส่วนใหญ่ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีเครื่องควบคุมที่ใช้เป็นระบบสั่งการทำงานเปิด-ปิดอัตโนมัติ โดยให้หลอดไฟเปิดตอนเวลากลางคืน และปิดโดยอัตโนมัติในเวลาเช้า

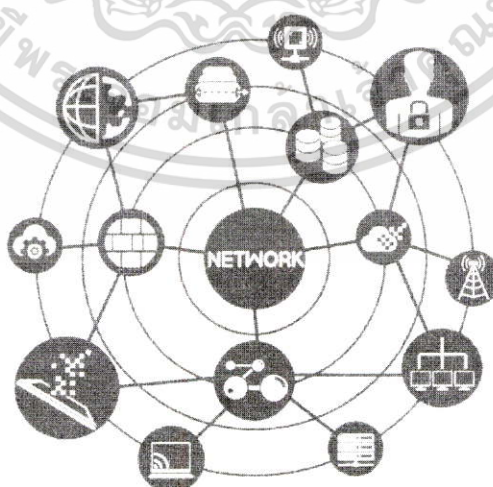


รูปที่ 2.1 โครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

2.3 ระบบเครือข่าย

เครือข่าย หรือ เน็ตเวิร์ก (Network) คือกลุ่มของคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสารชนิดต่างๆ ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปนำมาเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย เพื่อให้ผู้ใช้ในเครือข่ายสามารถติดต่อสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูล และใช้อุปกรณ์ต่างๆ ร่วมกันในเครือข่ายได้ ตัวอย่างของเครือข่ายที่พบเห็นได้ทั่วไป ได้แก่ เครือข่ายของโทรศัพท์ เครือข่ายดาวเทียม เครือข่ายวิทยุ หรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์

โดยที่ขนาดของเครือข่ายนั้นมีตั้งแต่เครือข่ายขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกันด้วยคอมพิวเตอร์เพียงสองหรือสามเครื่อง ไปจนถึงเครือข่ายระดับโลกที่ครอบคลุมไปเกือบทุกประเทศ เช่น เครือข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในปัจจุบัน [9,10,18]



รูปที่ 2.2 เครือข่าย [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ประเภทของเครือข่าย

การจำแนกประเภทของเครือข่ายแบ่งออกเป็น 3 วิธี [9,10,18] คือ

- ใช้ขนาดทางกายภาพของเครือข่ายเป็นเกณฑ์
 - LAN (Local Area Network) หรือ เครือข่ายท้องถิ่น
 - WAN (Wide Area Network) หรือ เครือข่ายบริเวณกว้าง
- ใช้ลักษณะการทำงานของคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายเป็นเกณฑ์
 - Peer-to-Peer Network หรือ เครือข่ายแบบเท่าเทียม
 - Client-Server Network หรือ เครือข่ายแบบผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการ
- ใช้ระดับความปลอดภัยของข้อมูลเป็นเกณฑ์
 - Intranet หรือ เครือข่ายส่วนบุคคล
 - Internet หรือ เครือข่ายสาธารณะ
 - Extranet หรือ เครือข่ายร่วม

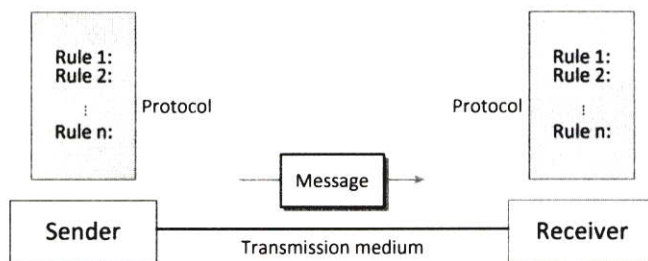
2.3.2 ระบบการสื่อสารข้อมูล

ความหมายของการสื่อสารข้อมูล (Data Communications) เกิดจากคำสองคำ คือ การสื่อสาร (Communication) ซึ่งหมายถึง การส่งเนื้อหาจากฝ่ายหนึ่งไปยังอีกฝ่ายหนึ่ง และคำว่าข้อมูล (Data) หมายถึง ข้อเท็จจริงหรือสิ่งที่ถือหรือยอมรับว่าเป็นข้อเท็จจริงสำหรับใช้เป็นหลักฐานหาความจริงหรือการคำนวณ ดังนั้นการสื่อสารข้อมูลจึงหมายถึงกระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ส่งและผู้รับโดยผ่านสื่อกลางในการสื่อสาร เพื่อให้ทั้งผู้ส่งและผู้รับสามารถเข้าใจได้ [9,10,12-14,18]

การสื่อสารทุกรูปแบบจะมีองค์ประกอบของการสื่อสาร 5 ประการ แสดงดังรูปที่ 2.3 และมีรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลข่าวสาร (Message) คือ ข้อมูลหรือสารสนเทศต่างๆ ที่ต้องการส่งไปยังผู้รับ
- ผู้ส่ง (Sender) เป็นต้นทางของการส่งข้อมูล
- ผู้รับ (Receiver) เป็นปลายทางของการรับข้อมูล
- สื่อกลาง (Transmission Medium) เป็นเส้นทางการสื่อสารเพื่อนำข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง อาจเป็นตัวกลางที่ต้องการสายในการส่ง หรือคลื่นที่ส่งผ่านอากาศ
- โพรโตคอล (Protocol) คือ วิธีการหรือกฎระเบียบที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลเพื่อให้ผู้รับและผู้ส่งสามารถเข้าใจกันได้

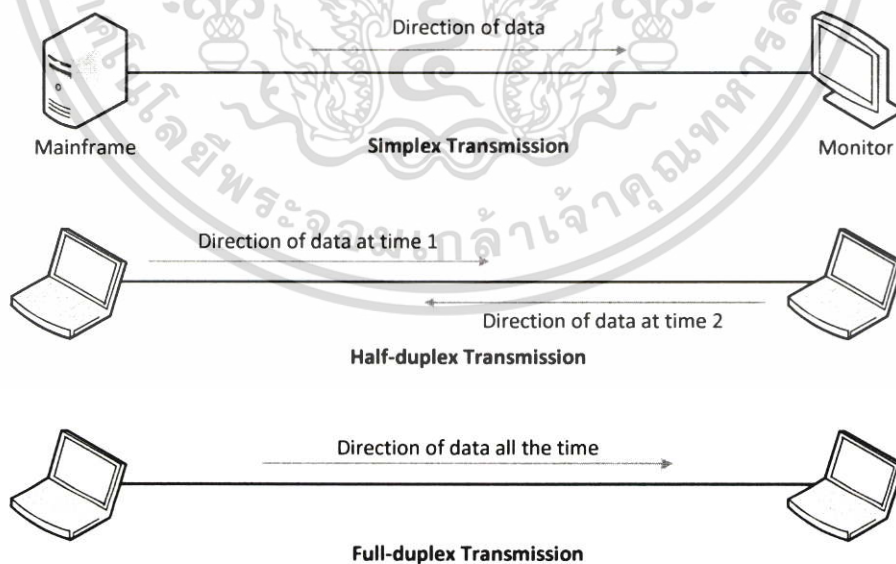
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การสื่อสารข้อมูล [9]

และในการสื่อสารข้อมูลจากผู้ส่งไปยังผู้รับ สามารถจัดประเภทตามทิศทางในการส่งข้อมูลได้ 3 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การส่งข้อมูลทิศทางเดียว (Simplex transmission) เป็นการสื่อสารข้อมูลที่มีผู้ส่งข้อมูลทำหน้าที่ส่งแต่เพียงอย่างเดียวและผู้รับทำหน้าที่รับข้อมูลแต่เพียงอย่างเดียวเช่นกัน เช่น การรับฟังวิทยุ การดูโทรทัศน์ เป็นต้น
- การส่งข้อมูลสองทิศทางสลับกัน (Half-duplex transmission) เป็นการสื่อสารข้อมูลที่มีผู้ส่งและผู้รับทำหน้าที่สลับกันส่งและรับ โดยที่จะไม่สามารถส่งพร้อมกันได้ เช่น การใช้วิทยุสื่อสาร เป็นต้น
- การส่งข้อมูลสองทิศทางพร้อมกัน (Full-duplex transmission) เป็นการสื่อสารข้อมูลที่มีผู้ส่งและผู้รับสามารถเป็นผู้ส่งและผู้รับพร้อมกันได้ เช่น การคุยโทรศัพท์ และการสนทนาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ทิศทางการสื่อสารข้อมูล [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โพรโทคอล TCP/IP

โพรโทคอล คือ กฎ ขั้นตอน หรือรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์เครือข่ายจำนวนสองเครื่องขึ้นไปที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย ซึ่งโพรโทคอล TCP/IP ย่อมาจาก Transfer Control Protocol/Internet Protocol เป็นเครือข่ายโพรโทคอลที่มีการใช้งานมากที่สุดเนื่องจากเป็นโพรโทคอลสื่อสารที่ใช้ในระบบเครือข่ายขนาดใหญ่อย่างเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

สำหรับการใช้งานร่วมกับแพลตฟอร์มคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์ในงานวิจัยนี้จะใช้โพรโทคอล TCP/IP นี้เป็นโพรโทคอลในการสื่อสารระหว่างคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งมีหลักการทำงานโดยให้เซิร์ฟเวอร์ทำการเปิด Port บนเครือข่ายไร้สายใดๆ และรอการเชื่อมต่อบนช่องทางสื่อสารนี้ผ่านโพรโทคอลเดียวกันนี้จากคลเอนต์ ซึ่งการใช้งานโพรโทคอลนี้จะทำให้เซิร์ฟเวอร์สามารถจัดการแยกแยะและระบุคลเอนต์หลายจำนวนออกจากกันได้จากหมายเลขไอพี (IP Address) และทำให้สามารถแยกข้อมูลที่ส่งมาจากคลเอนต์ต่างกันได้ รวมถึงสามารถทำการสื่อสารข้อมูลแบบสองทิศทางระหว่างคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์พร้อมกันผ่านโพรโทคอลนี้ได้ [15,16]

2.5 เครือข่ายไร้สาย

ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network) แสดงดังรูปที่ 2.5 หมายถึงเทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป หรือกลุ่มของคอมพิวเตอร์ รวมถึงการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการสื่อสารจะไม่ใช่สายสัญญาณ (LAN) ในการเชื่อมต่อ แต่จะใช้คลื่นวิทยุหรือคลื่นอินฟราเรดในการรับส่งข้อมูลแทน ซึ่งในขณะนี้กำลังเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากเทคโนโลยีในระบบไร้สายกำลังพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การใช้งานเครือข่ายไร้สายในการรับ-ส่งข้อมูลมีข้อดีคือ มีความคล่องตัวสูงโดยไม่ว่าจะเคลื่อนที่ไปที่ใดก็จะมี การเชื่อมต่อกับเครือข่ายตลอดเวลาทราบเท่าที่ยังอยู่ในระยะการส่งข้อมูล สามารถติดตั้งได้ง่าย และรวดเร็ว นอกจากนี้การขยายระบบเครือข่ายในภายหลังก็สามารถทำได้ง่ายเช่นกัน [9,10,17,18]



รูปที่ 2.5 เครือข่าย WLAN

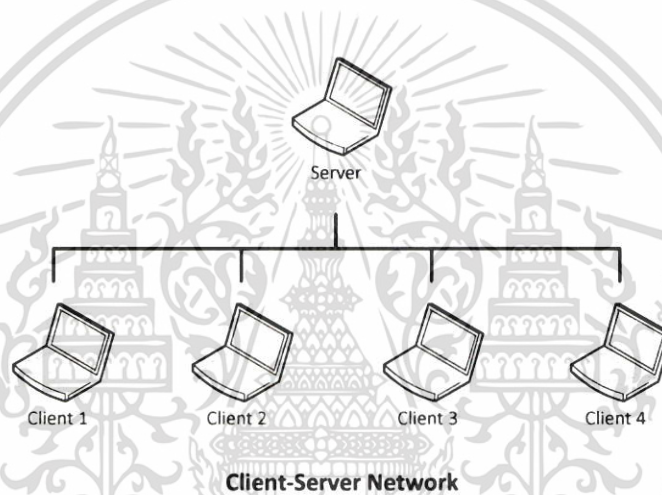
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เครือข่ายแบบไคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์

เครือข่ายแบบไคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์ (Client-Server Network) แสดงดังรูปที่ 2.6 เป็นรูปแบบหนึ่งของเครือข่ายแบบ Server-based โดยจะมีคอมพิวเตอร์หลักเครื่องหนึ่งเป็นเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนเป็นที่เก็บข้อมูลระยะไกลและประมวลผลบางอย่างให้กับเครื่องไคลเอนต์ เช่น ประมวลผลคำสั่งในการดึงข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูล (database server) เป็นต้น [9,10,18]

ไคลเอนต์ (Client) เรียกอีกอย่างว่า ผู้ขอใช้บริการ คือคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆ ในระบบเครือข่ายที่จะใช้ในการติดต่อเพื่อขอใช้บริการต่างๆ ของเซิร์ฟเวอร์

เซิร์ฟเวอร์ (Server) เรียกอีกอย่างว่า ผู้ให้บริการ หรือคอมพิวเตอร์เครื่องหลักในระบบซึ่งมีหน้าที่ให้บริการทางด้านต่างๆ แก่คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งเป็นไคลเอนต์ที่อยู่ในเครือข่าย

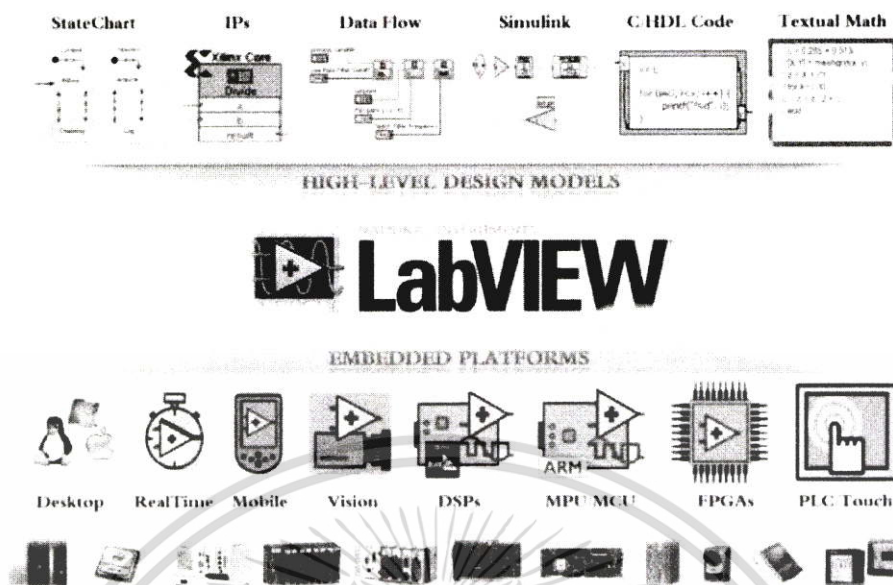


รูปที่ 2.6 เครือข่ายแบบไคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์

2.7 โปรแกรม LabVIEW™

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือวัดสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม โดยจะเขียนด้วยภาษาโค้ดรูปภาพหรือที่เรียกว่าภาษา G (Graphical Language) และการส่งข้อมูลภายในโปรแกรมจะคล้ายกับการวาดโฟลว์ชาร์ตจึงทำให้การออกแบบและเขียนโปรแกรมทำได้ง่าย

โปรแกรม LabVIEW จะมีชุดฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และทางวิศวกรรมสำหรับการวิเคราะห์ประมวลผล และแสดงข้อมูล รวมถึงความสามารถต่างๆ ในการใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อื่นๆ ได้ดี ทำให้มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในแทบทุกส่วนของอุตสาหกรรม รวมถึงการวิจัยที่ต้องการระบบอัตโนมัติในการวัดและการควบคุม เช่น อุตสาหกรรมการผลิต อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ การทหารและอวกาศ ยาน พลังงาน การสื่อสารและเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น [19,20]



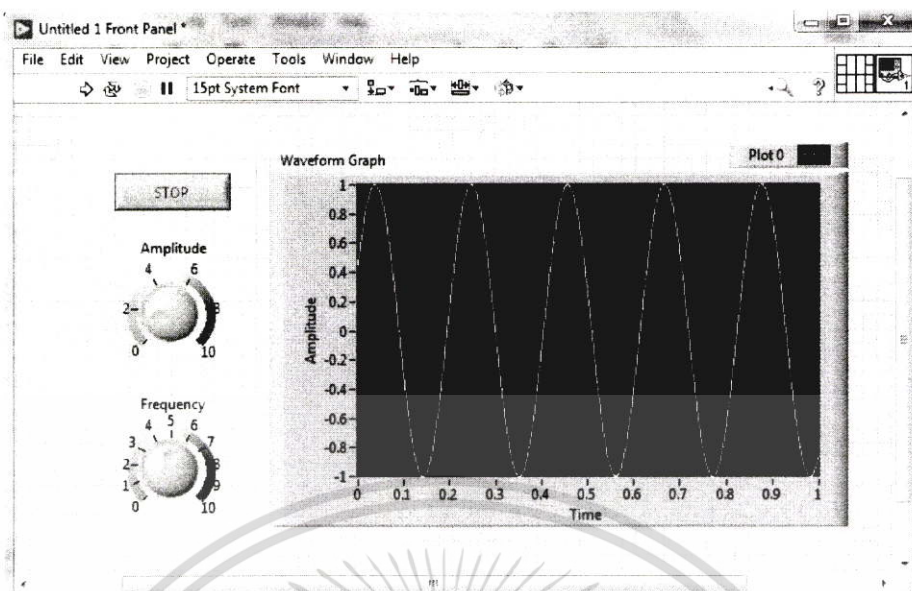
รูปที่ 2.7 โปรแกรม LabVIEW [21]

2.7.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) หรืออุปกรณ์เสมือนจริง เนื่องจากส่วนติดต่อผู้ใช้ที่ปรากฏจะถูกออกแบบให้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในงานทางวิศวกรรม ซึ่งภายในอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะมีการออกแบบและเขียนคำสั่งการทำงานหรือฟังก์ชันต่างๆ ให้สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ โดยที่ในแต่ละ VI จะประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ Front Panel และ Block Diagram ซึ่งลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้ [19-20]

- *Front Panel*

คือหน้าจอแสดงผล หรือส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface) เป็นส่วนที่ใช้สื่อสารระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม และจะเป็นส่วนที่สามารถออกแบบให้มีลักษณะคล้ายกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในงานในด้านการวัดต่างๆ ไป เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำความเข้าใจและใช้งานได้สะดวก ซึ่งในหน้าจอแสดงผลมักจะประกอบด้วยสวิตช์เปิด-ปิด ปุ่มบิด ปุ่มกด หรือหน้าจอการแสดงผล และการออกแบบอื่นๆ ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดได้เอง ลักษณะของหน้าจอแสดงผลแสดงในรูปที่ 2.8

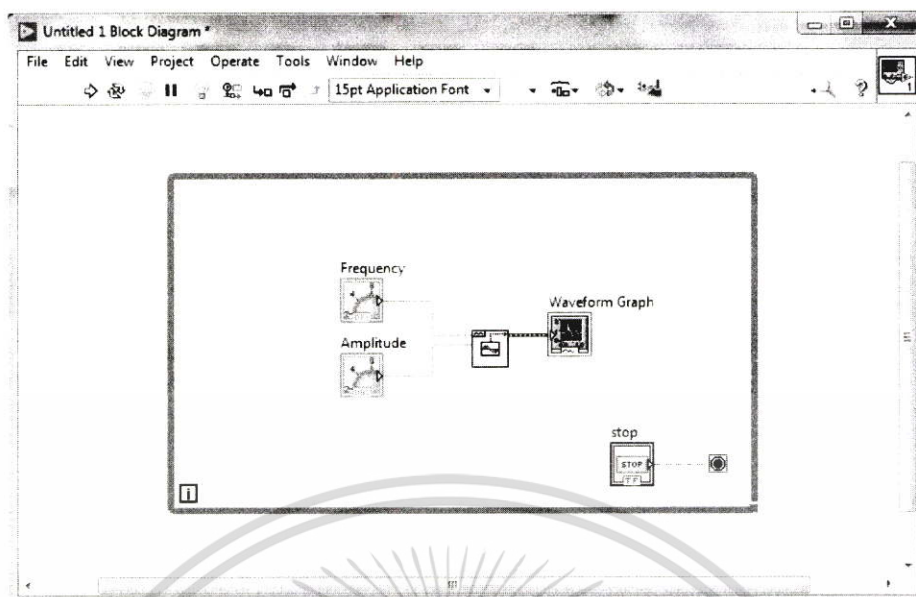


รูปที่ 2.8 หน้าจอแสดงผล

- *Block Diagram*

เปรียบเสมือนกับการเขียน Source Code หรือตัวโปรแกรมหลักของ LabVIEW โดยจะใช้งานภาษากราฟิก หรือภาษา G ในการเขียนโค้ดหลักหรือบล็อกไดอะแกรมนี้ ซึ่งสำหรับการเขียนบล็อกไดอะแกรมจะเชื่อมโยงกับการออกแบบหน้าจอแสดงผลใน Front Panel ทำให้การเขียนโปรแกรมสามารถตรวจสอบและทำงานได้ในทันที นอกจากนี้โปรแกรม LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของการเขียนโค้ดในโปรแกรมอยู่ตลอดเวลา หากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้โปรแกรมไม่สามารถทำงานได้ และผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดซึ่งจะมีแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมสะดวกขึ้น

ส่วนประกอบภายในบล็อกไดอะแกรมนี้จะประกอบด้วยบล็อกสำเร็จรูปซึ่งจะทำงานเป็นฟังก์ชันต่างๆ บล็อกสำหรับแสดงผล ค่าคงที่ หรือโครงสร้างรูปต่างๆ โดยที่ในแต่ละส่วนเหล่านี้จะปรากฏในรูปของบล็อกที่ต้องได้รับการโยงสาย (wire) เพื่อเชื่อมต่อการทำงานและกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่างบล็อกเหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการและสามารถแสดงผลออกมาได้ ตัวอย่างของการเขียนบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรม

2.7.2 ข้อดีของโปรแกรม

สาเหตุที่เลือกใช้งานโปรแกรม LabVIEW ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากตัวโปรแกรมนั้นสามารถออกแบบทั้งส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) และเขียนโค้ดการทำงานได้ภายในตัวเอง รวมถึงการเขียนโค้ดที่ใช้ภาษา G ซึ่งการเขียนโค้ดในโปรแกรมนี้จะมีบล็อกสำเร็จรูปซึ่งมีความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกันอย่างหลากหลายและสามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้อย่างง่ายดายด้วยการเชื่อมข้อมูลแบบโยงสาย ถ้ามีการออกแบบโพลีชาร์ตของการทำงานที่ต้องการแล้วจะสามารถเขียนโค้ดตามที่ต้องการได้ไม่ยากนัก นอกจากนี้ตัวโปรแกรมยังมีความยืดหยุ่นในการออกแบบสูง จะสามารถเขียนฟังก์ชันหรือความสามารถในการทำงานอื่นๆ เพิ่มเติมให้กับโปรแกรมในภายหลัง

บทที่ 3

การออกแบบเชิงแนวคิด

ในบทนี้จะนำเสนอภาพรวมในการออกแบบเชิงแนวคิดของงานวิจัยซึ่งจะนำไปใช้ในการออกแบบในบทถัดไป ทั้งนี้ในการออกแบบเชิงแนวคิดจะแบ่งหัวข้อออกเป็นดังนี้

- 3.1 ภาพรวมของโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์
 - 3.1.1 ระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม
 - 3.1.2 โครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำเสนอ
- 3.2 ภาพรวมของแพลตฟอร์ม
 - 3.2.1 การออกแบบแพลตฟอร์มโคลเอนต์
 - 3.2.2 การออกแบบแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์
 - 3.2.3 การออกแบบใช้งานโปรโตคอลการสื่อสาร
 - 3.2.4 ลำดับขั้นตอนการทำงาน

3.1 ภาพรวมของโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

ในภาพรวมของโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์จะกล่าวถึงระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม และโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

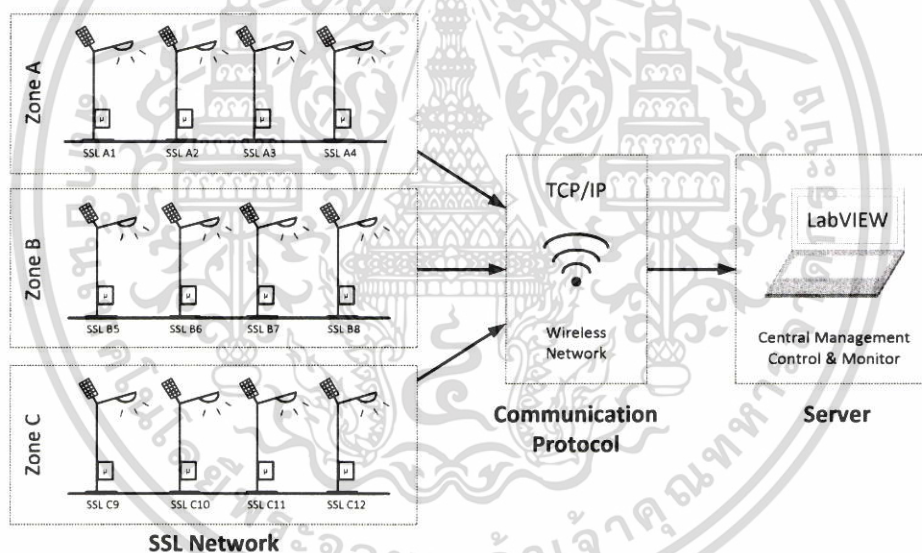
3.1.1 ระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม

ระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมนั้นจะเป็นระบบแบบติดตั้งอิสระ ที่ไม่มีการรวมกันเป็นโครงข่าย โดยที่ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละต้นจะใช้เซ็นเซอร์ในการควบคุมการเปิด-ปิดของไฟถนนตามช่วงเวลา รวมถึงไม่มีระบบสำหรับการบริหารจัดการระบบไฟถนนที่มีความสามารถในการตรวจสอบสถานะของไฟถนนแต่ละต้นจะต้องรอการตรวจสอบจากเจ้าหน้าที่หรืออาจเป็นการแจ้งเตือนจากคนในพื้นที่ ซึ่งในช่วงเวลาที่ต้องรอการตรวจสอบไฟถนนที่ไม่สามารถใช้งานได้จะทำให้การสัญจรในพื้นที่แถบนั้นไม่ปลอดภัย นอกจากนี้การตรวจสอบการใช้พลังงานของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละต้นก็ไม่สามารถทำได้ ซึ่งการตรวจสอบการใช้พลังงานนั้นทำให้สามารถวิเคราะห์การทำงานของไฟถนนในขณะนั้นๆ ได้ เช่น ขณะนั้นไฟถนนกำลังใช้ไฟจากแหล่งพลังงานใดหรือกำลังชาร์จแบตเตอรี่ เป็นต้น

3.1.2 โครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำเสนอ

งานวิจัยเล่มนี้นำเสนอการสร้างแพลตฟอร์มสำหรับการแก้ปัญหาที่มีในระบบแบบเดิม โดยการสร้างเซิร์ฟเวอร์กลางในการรับ-ส่งข้อมูลเพื่อนำไปบริหารจัดการโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีศักยภาพในการตรวจสอบ วิเคราะห์ และบริหารจัดการข้อมูลการใช้พลังงานของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการควบคุมการทำงานของไฟถนนโดยใช้คำสั่งควบคุมการเปิด-ปิด โดยตรงจากเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งในการวัดข้อมูลพลังงานและการควบคุมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละต้นนี้จะใช้อุปกรณ์ควบคุมติดตั้งที่ไฟถนนแต่ละต้นทำหน้าที่เป็นโหนดในการรับ-ส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์

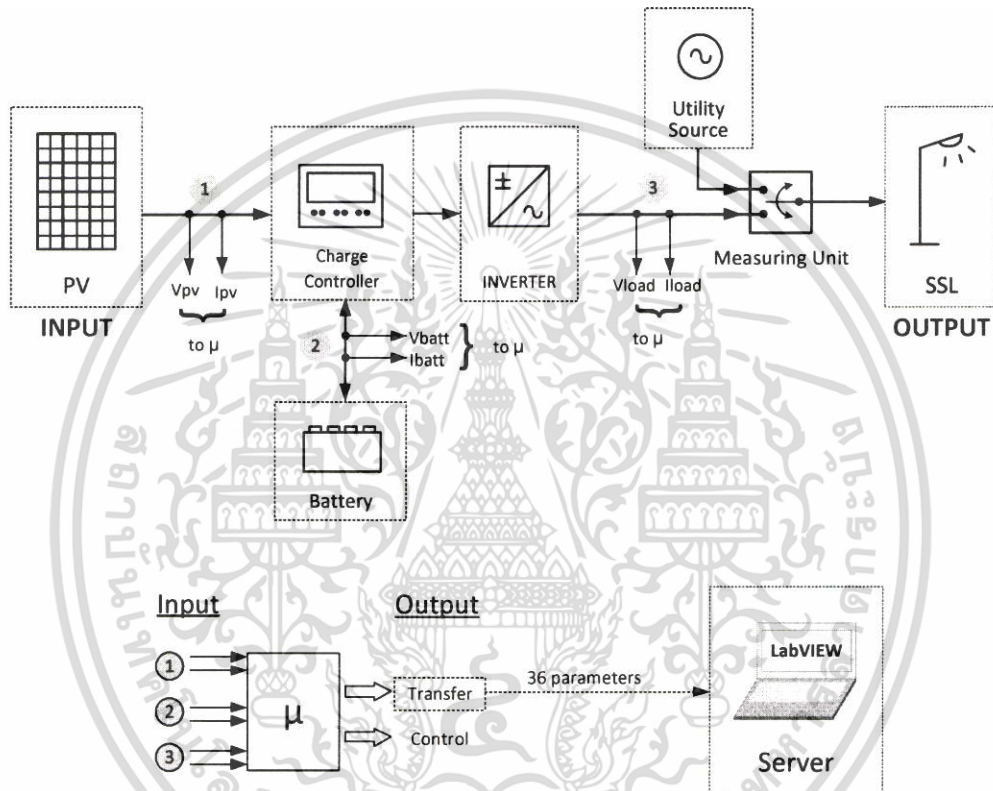
ภาพรวมแสดงการทำงานร่วมกันของแต่ละส่วนในระบบที่นำมาพิจารณาแสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีแนวคิดในการออกแบบโดยการใช้หลักการการทำงานของเครือข่ายแบบโหนด-เซิร์ฟเวอร์ และการนำโปรโตคอล TCP/IP และเครือข่ายไร้สายมาใช้เพื่อเป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างโหนดและเซิร์ฟเวอร์



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบที่ใช้ในงานวิจัย

โปรโตคอลหรือสื่อกลางในการสื่อสารระหว่างเซิร์ฟเวอร์และโหนดของระบบจะใช้โปรโตคอล TCP/IP ซึ่งสามารถสื่อสารได้ด้วยการเชื่อมต่ออยู่บนเครือข่ายไร้สายเดียวกัน สำหรับเซิร์ฟเวอร์ในระบบนี้จะออกแบบเพื่อใช้เป็นเซิร์ฟเวอร์กลางเพียงหนึ่งเดียวของระบบซึ่งจะมีหน้าที่ในการบริหารจัดการข้อมูลของระบบไฟถนนโดยจะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบ สำหรับโหนดของระบบนี้จะหมายถึงไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละต้นจะทำหน้าที่เป็นโหนดหนึ่งตัวให้กับระบบ แต่ในระบบหนึ่งจะประกอบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หลายต้นซึ่งเมื่อรวมกันจะเรียกให้เป็นโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ (SSL Network)

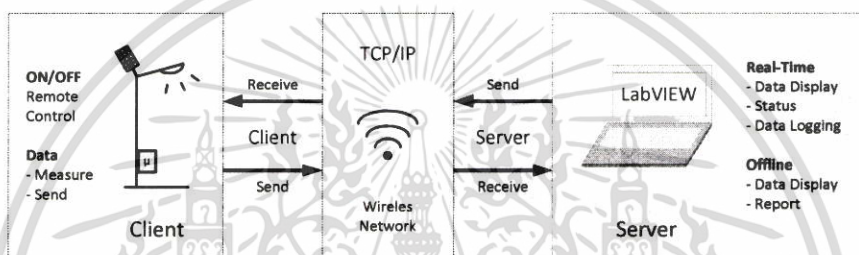
ระบบสำหรับการบริหารจัดการโครงข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ จะทำการวัดพารามิเตอร์ของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตำแหน่งต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์รวมทั้งสิ้น 36 พารามิเตอร์ของโคลเอนต์ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งจะมีการกล่าวถึงรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป และการใช้งานบอร์ด wi-fi ในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายและใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลพารามิเตอร์ทั้งหมดไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป



รูปที่ 3.2 การวัดพารามิเตอร์ของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

3.2 ภาพรวมของแพลตฟอร์ม

แพลตฟอร์มหนึ่งจะหมายถึงการทำงานร่วมกันของไคลเอนต์ เซิร์ฟเวอร์และโปรโตคอลสื่อสาร สำหรับงานวิจัยนี้แพลตฟอร์มหนึ่งจะประกอบด้วย แพลตฟอร์มไคลเอนต์ (ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หนึ่งต้น) แพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์ (เซิร์ฟเวอร์กลาง) และโปรโตคอลสื่อสาร (โปรโตคอล TCP/IP) ซึ่งไคลเอนต์มีหน้าที่ในการวัดค่าพารามิเตอร์ของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละต้น และส่งข้อมูลเหล่านั้นไปสู่เซิร์ฟเวอร์ผ่านโปรโตคอลสื่อสาร รวมถึงรอรับคำสั่งควบคุมการเปิดปิดไฟถนนจากเซิร์ฟเวอร์ ส่วนเซิร์ฟเวอร์มีหน้าที่ในการรับข้อมูลพารามิเตอร์ที่ส่งออกมาจากไคลเอนต์หลายๆตัว สามารถรับข้อมูลพร้อมกันได้อย่างต่อเนื่อง และมีหน้าที่ส่งคำสั่งควบคุมการเปิดปิดไฟถนนไปสู่ไคลเอนต์ ภาพรวมการออกแบบแพลตฟอร์มแสดงดังรูปที่ 3.3

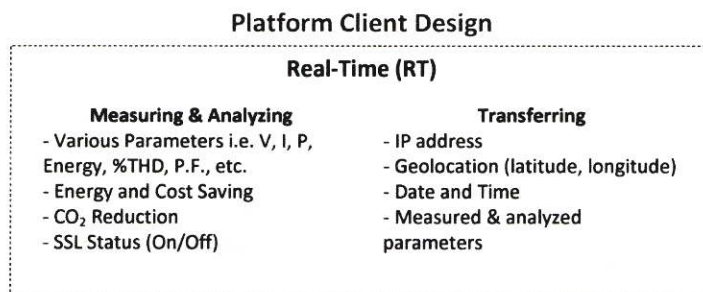


รูปที่ 3.3 ภาพรวมของแพลตฟอร์ม

3.2.1 การออกแบบแพลตฟอร์มไคลเอนต์

สำหรับไคลเอนต์นั้นจะหมายถึงอุปกรณ์วัดและสื่อสารที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล ซึ่งจะติดตั้งไว้ที่ไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละต้น เพื่อทำการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์และส่งมาประมวลผลที่เซิร์ฟเวอร์กลาง

ความสามารถของไคลเอนต์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือการวัดพารามิเตอร์ ประมวลผล และการส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล TCP/IP ไปยังเครือข่ายไร้สาย โดยที่งานวิจัยนี้จะทำการออกแบบไคลเอนต์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการวัดและประมวลผลด้วยการเขียนคำสั่งทั้งการวัดและคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆ รวมไปถึงการสื่อสารข้อมูลส่งไปยังเครือข่าย ซึ่งมีแนวคิดและภาพรวมในการออกแบบไคลเอนต์แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพรวมการออกแบบไคลเอนต์จำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดข้อมูลพารามิเตอร์ของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละชุดนั้นจะต้องทำการวัดในหลายตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งประกอบไปด้วยตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์ ตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ ตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่าย และตำแหน่งที่เชื่อมต่อกับโหลด

พารามิเตอร์ที่วัดจากแต่ละตำแหน่งสามารถนำไปวิเคราะห์ได้ว่า ณ เวลานั้นไฟถนนต้นนั้นกำลังทำงานในสถานะใด เช่น ไฟถนนกำลังชาร์จพลังงานเก็บไว้แบตเตอรี่ ไฟถนนกำลังเปิดใช้งานโดยใช้ไฟจากแบตเตอรี่ หรือใช้ไฟจากแหล่งจ่าย เป็นต้น

ซึ่งพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องการประกอบด้วย

- แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
- กระแสไฟฟ้า (Current)
- กำลังไฟฟ้า (Power)
- พลังงานไฟฟ้า (Energy)
- ค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิก (%THD)
- ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (P.F.)

โดยที่พารามิเตอร์เหล่านี้มาจากการออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการวัดพารามิเตอร์สองชนิดแรกคือ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า แล้วให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าทั้งสองไปคำนวณหาพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

และพารามิเตอร์เพิ่มเติมที่ต้องการในการระบุข้อมูลของโคลเอนต์ไฟถนนแต่ละต้น รวมถึงพารามิเตอร์อื่นๆ ที่จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลประกอบด้วย

- หมายเลขไอพีของโคลเอนต์ (IP Address)
- พิกัดตำแหน่ง (Geolocation: Latitude, Longitude)
- วันที่ และเวลาที่ส่งข้อมูล (Date, Time)
- การประหยัดพลังงาน (Energy Saving)
- การประหยัดต้นทุน (Cost Saving)
- การลดการเกิด CO₂ (CO₂ Reduction)
- สถานะของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ (Lighting Status: On/Off)

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นพารามิเตอร์ที่ต้องการนั้นประกอบด้วยสองส่วนคือพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าซึ่งได้มาจากการวัดและวิเคราะห์ และพารามิเตอร์ซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะของโคลเอนต์ไฟถนนแต่ละต้น จะสามารถสรุปและแบ่งหมวดหมู่พารามิเตอร์ทั้งหมดที่ต้องการได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปพารามิเตอร์ของโคลเอนต์ไฟถนน

หมวดหมู่	พารามิเตอร์ที่ต้องการ
ข้อมูลโคลเอนต์ไฟถนน	<ul style="list-style-type: none"> - IP Address - Geolocation (Latitude, Longitude) - Date, Time - Lighting Status (On/Off)
Total Savings	<ul style="list-style-type: none"> - Energy Saving (kWh) - Cost Saving (THB) - CO₂ Reduced (kg.CO₂) - Lighting Status (On/Off)
PV Cell	<ul style="list-style-type: none"> - Voltage (V) - Current (A) - Power (kW) - Energy (kWh)
Battery	<ul style="list-style-type: none"> - Voltage (V) - Current (A) - Power (kW) - Charged Energy (kWh) - Discharged Energy (kWh)
Inverter	<ul style="list-style-type: none"> - Voltage (V) - Current (A), Power (kW) - Frequency (Hz) - Power Factor (P.F.) - THD_v (%) - THD_i (%) - Energy (kWh)
Grid	<ul style="list-style-type: none"> - Voltage (V) - Current (A), Power (kW) - Frequency (Hz) - Power Factor (P.F.) - THD_v (%) - THD_i (%) - Energy (kWh)
Load	<ul style="list-style-type: none"> - Power (kW) - Energy (kWh)

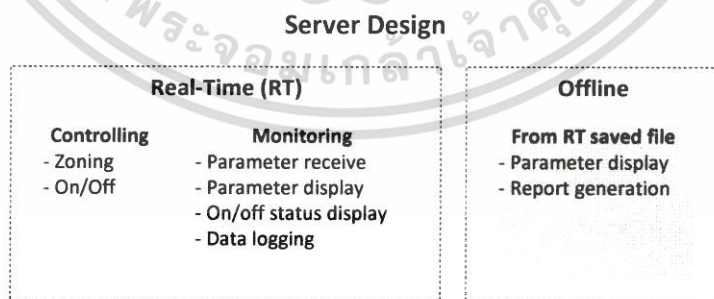
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การออกแบบแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์

สำหรับการออกแบบแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์จะใช้งานโปรแกรม LabVIEW เพื่อให้รองรับข้อมูลของแต่ละไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์หรือแต่ละโคลเอนต์ส่งเข้ามาวิเคราะห์และเก็บผล ในการออกแบบการเชื่อมต่อกับโคลเอนต์ได้จำกัดให้จำนวนการเชื่อมต่อโคลเอนต์ที่รับได้สูงสุดคือ 4096 ไอพี และออกแบบให้แบ่งโหมดการทำงานเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนเรียลไทม์ และส่วนออฟไลน์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และมีรายละเอียดดังนี้

ในส่วนเรียลไทม์จะแบ่งย่อยออกเป็นสวนควบคุมและส่วนดูแล ส่วนควบคุมมีไว้เพื่อให้ผู้ใช้สามารถสั่งการควบคุมโคลเอนต์ต่างๆ ได้ที่ตัวเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งจะประกอบด้วยการจัดโซน และการควบคุมการเปิดปิดของไฟถนน การจัดกลุ่มโซนนั้นเพื่อให้ผู้ใช้สามารถระบุและควบคุมได้สะดวกขึ้น หากจำนวนโคลเอนต์มีมากเกินไปที่จะจัดการทีละตัวได้ ส่วนดูแลจะมีหน้าที่ในการรับข้อมูลเรียลไทม์ที่โคลเอนต์ส่งเข้ามา วิเคราะห์และจัดการข้อมูลเหล่านั้นเพื่อให้สามารถแสดงผลพารามิเตอร์แสดงสถานะไฟถนนขณะนั้น และบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องได้ การบันทึกข้อมูลนั้นจะบันทึกทั้งในรูปแบบรายวัน รายเดือน และรายปี ไฟล์ที่บันทึกไว้จะนำไปใช้ต่อในส่วนออฟไลน์

ส่วนออฟไลน์นั้นมีไว้เรียกข้อมูลจากไฟล์ที่ได้บันทึกไว้ ณ ตอนที่ทำงานอยู่ในโหมดเรียลไทม์ เพื่อนำข้อมูลพารามิเตอร์ที่ส่วนเรียลไทม์ได้ทำการบันทึกไว้เหล่านั้นมาวิเคราะห์และแสดงผลอีกครั้งในภายหลัง เนื่องจากต้นฉบับไฟล์ที่บันทึกไว้จะมีข้อมูลเป็นจำนวนมากและมีรูปแบบเฉพาะของไฟล์สกุล .csv ทำให้การอ่านหรือนำข้อมูลจากไฟล์ต้นฉบับมาใช้งานเองนั้นไม่สะดวกนัก จึงได้ออกแบบให้มีการทำงานในโหมดออฟไลน์ นอกจากนี้ยังสามารถสร้างเอกสารสรุปผลเป็นไฟล์เอกสารสกุล .pdf เพื่อความสะดวกในการอ่านข้อมูลยิ่งขึ้น สำหรับการสร้างเอกสารสรุปผลนั้นได้ออกแบบไว้ให้สามารถเลือกการสร้างได้สามแบบคือ เอกสารสรุปรายวัน เอกสารสรุปรายเดือน หรือเอกสารสรุปรายปี



รูปที่ 3.5 ภาพรวมการออกแบบเซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 โพรโทคอลการสื่อสาร

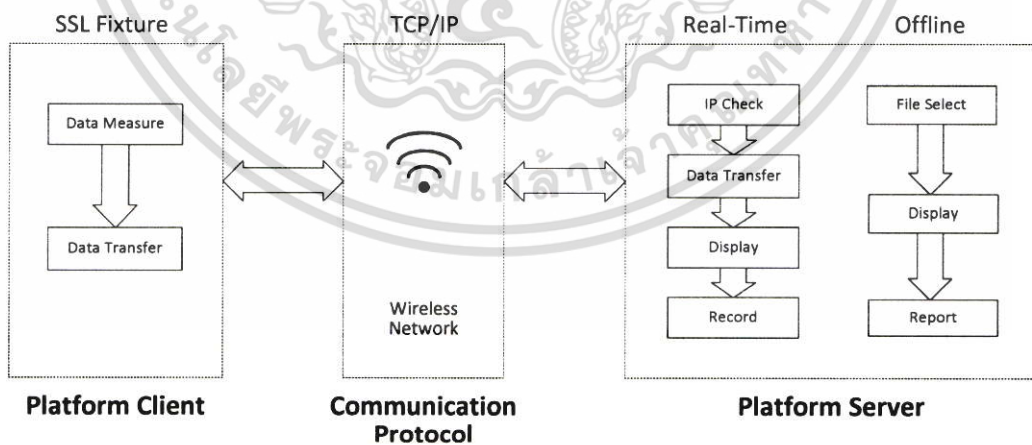
โพรโทคอลการสื่อสาร (Communication Protocol) คือตัวกลางหรือสื่อกลางที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ สำหรับระบบนี้จะใช้งานโพรโทคอล TCP/IP และใช้งานผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย สำหรับการใช้งานเครือข่ายไร้สายนั้นระบบที่ใช้อาจเป็นเครือข่ายที่มีอยู่แล้วหรือสามารถสร้างเครือข่ายใหม่เพื่อการใช้งานกับระบบโดยตรงก็ย่อมได้ โดยที่งานวิจัยนี้จะใช้เป็นเครือข่ายที่มีอยู่แล้ว

ไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ที่ออกแบบจะเชื่อมต่ออยู่กับเครือข่ายไร้สายเดียวกัน และกำหนดใช้งานการสื่อสารผ่านโพรโทคอล TCP/IP ที่ port 2000 ในการเชื่อมต่อสื่อสาร หากอุปกรณ์ใดไม่ได้เชื่อมต่อผ่านค่าที่กำหนดนี้จะไม่สามารถเห็นข้อมูลที่รับ-ส่งกันภายในเครือข่ายนี้ได้

ในการสื่อสารนั้นจำเป็นจะต้องมีตัวที่ใช้ระบุแต่ละอุปกรณ์ เพื่อไม่ให้เกิดการสื่อสารขัดข้องหรือเกิดความสับสน ดังนั้นจะใช้หมายเลขไอพีในการจำแนกอุปกรณ์ ซึ่งทั้งไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์จะต้องมีการกำหนดหมายเลขไอพีเครื่องไว้เพื่อใช้ในการกำหนดจุดหมายปลายทางของข้อมูลที่จะส่งหรือรับ สำหรับไอพีของเซิร์ฟเวอร์จะกำหนดไว้ที่ 192.168.1.101 และไอพีของไคลเอนต์ทั้ง 3 เครื่องที่จะใช้งานวิจัยนี้ กำหนดไว้ที่ 192.168.1.140-142

3.2.4 การออกแบบลำดับขั้นตอนการทำงาน

เนื่องจากแพลตฟอร์มนี้จะใช้เครือข่ายแบบไคลเอนต์เซิร์ฟเวอร์ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนในการออกแบบการทำงานของแพลตฟอร์มได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลำดับขั้นตอนการทำงานของแพลตฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบทั้งสองส่วนการทำงานในแพลตฟอร์มสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนดังนี้

- การออกแบบแพลตฟอร์มไคลเอนต์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- การออกแบบแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW

การออกแบบแพลตฟอร์มไคลเอนต์จะออกแบบให้ทำการจำลองข้อมูลของพารามิเตอร์โฟตอนพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสิ้น 36 พารามิเตอร์รวมเป็นหนึ่งชุดข้อมูล ซึ่งรายละเอียดของพารามิเตอร์ทั้งหมดจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป โดยการส่งข้อมูลนั้นออกแบบให้ส่งข้อมูลทั้งหมดออกไปทีละชุดข้อมูล และทำการจำลองค่าใหม่ทุกๆ 10 วินาที

การออกแบบแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์จะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักคือส่วนเรียลไทม์และส่วนออฟไลน์ ในส่วนเรียลไทม์เมื่อเซิร์ฟเวอร์เริ่มต้นทำงานจะตรวจสอบหาการเชื่อมต่อด้วยการเช็ค IP จากนั้นจะรอเพื่อรับข้อมูลจากไคลเอนต์ไอพีต่างๆ หรือรอคำสั่งจากผู้ใช้งานเพื่อส่งออกไปควบคุมไคลเอนต์ ในระหว่างกระบวนการรับข้อมูลนี้อาจเกิดปัญหาในเรื่องข้อมูลแทรกซ้อนจากการรับข้อมูลพร้อมกันหลายๆ ชุด จึงแก้ปัญหาด้วยการออกแบบให้เซิร์ฟเวอร์รับข้อมูลของไคลเอนต์ทีละชุด เซิร์ฟเวอร์จะแสดงค่าข้อมูลที่ได้รับมาและเก็บบันทึกอย่างต่อเนื่อง ในส่วนออฟไลน์ผู้ใช้สามารถเลือกไฟล์จากที่ได้บันทึกไว้เพื่อนำมาแสดงผลและสร้างเอกสารสรุปข้อมูลได้



บทที่ 4

รายละเอียดการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการและขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบแพลตฟอร์มโคลเอนต์ โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล และการออกแบบแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์สำหรับระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งจะแบ่งเป็นหัวข้อออกเป็นดังนี้

- 4.1 การออกแบบแพลตฟอร์มโคลเอนต์
- 4.2 การออกแบบแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์
 - 4.2.1 การเขียนโค้ดหรือการเขียนบล็อกไดอะแกรม
 - 4.2.1.1 ส่วนเรียลไทม์
 - 4.2.1.2 ส่วนออฟไลน์
 - 4.2.2 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface)
 - 4.2.2.1 หน้าต่างการเริ่มต้นโปรแกรม
 - 4.2.2.2 หน้าต่างส่วนเรียลไทม์
 - 4.2.2.3 หน้าต่างส่วนออฟไลน์

4.1 การออกแบบโคลเอนต์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผล

สำหรับแพลตฟอร์มโคลเอนต์นี้จะใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการจำลองชุดข้อมูลพารามิเตอร์ของระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งได้กล่าวถึงไว้ในบทก่อนหน้า และใช้บอร์ด Wi-Fi ในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายเพื่อใช้งานการสื่อสารผ่านโปรโตคอล TCP/IP

ในการจำลองชุดข้อมูลและส่งไปยังเครือข่าย ชุดข้อมูลที่ส่งออกจะประกอบด้วย 36 พารามิเตอร์ที่ได้กล่าวถึงในตารางที่ 3.1 โดยจะนำข้อมูลพารามิเตอร์ทั้งหมดมาเรียงลำดับและส่งออกพร้อมกันเป็นหนึ่งชุดข้อมูล ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบข้อมูลแบบ text หรือข้อมูลแบบ string

นอกจากนี้ จะทำการกำหนดให้ชุดโคลเอนต์เริ่มหัวข้อข้อมูลด้วยตัวอักษร ss ตามด้วยชุดของข้อมูลที่แยกแต่ละพารามิเตอร์ด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) และปิดท้ายด้วย ;; เพื่อแสดงว่าจบชุดข้อมูลแล้ว สาเหตุที่ต้องใส่ตัวเริ่มและตัวปิดนั้นเพื่อให้เซิร์ฟเวอร์ที่ออกแบบด้วยโปรแกรม LabVIEW สามารถวิเคราะห์และแยกข้อมูลแต่ละพารามิเตอร์ออกจากกันได้

พารามิเตอร์ในแต่ละชุดข้อมูลที่จะใช้โคลเอนต์จำลองจะแบ่งออกเป็น 7 หมวดหมู่หลัก ได้แก่ Client Info., Total Savings, PV Cell, Battery, Inverter, Grid และ Load โดยสามารถแสดงลักษณะของชุดข้อมูลรวมถึงตัวอย่างของข้อมูลจริงที่จะใช้โคลเอนต์ประมวลผลและทำการส่งข้อมูลออกได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลพารามิเตอร์ตัวอย่าง

Client Info.	- IP Address = 192.168.1.140			
	- Latitude, Longitude = 13.729724, 100.776917			
	- Date, Time = 3/10/2017, 12:38:10			
Total Savings	- Energy Saving = 75.00 kWh	- CO ₂ Reduced = 42.00 kg.CO ₂		
	- Cost Saving = 300.00 THB	- Lighting Status = 0		
PV Cell	- Voltage = 35.5 V	- Power = 241.4 kW		
	- Current = 6.8 A	- Energy = 100.00 kWh		
Battery	- Voltage = 12.2 V	- Charged Energy = -85.00 kWh		
	- Current = 3.9 A	- Discharged Energy = 80.00 kWh		
	- Power = 47.4 kW			
Inverter	- Voltage = 226.00 V	- Power Factor = 0.97		
	- Current = 0.25 A	- THD _v = 1.71 %		
	- Power = 56.73 kW	- THD _i = 12.70 %		
	- Frequency = 49.40 Hz	- Energy = 75.00 kWh		
Grid	- Voltage = 0.00 V	- Power Factor = 0.00		
	- Current = 0.00 A	- THD _v = 0.00 %		
	- Power = 0.00 kW	- THD _i = 0.00 %		
	- Frequency = 0.00 Hz	- Energy = 0.00 kWh		
Load	- Power = 56.73 kW			
	- Energy = 75.00 kWh			

การเรียงลำดับของชุดข้อมูล จะมีลักษณะดังนี้

ssIP Address, Latitude, Longitude, Date (DD/MM/YYYY), Time (hh:mm:ss), Energy Saving (kWh), Cost Saving (THB), CO₂ Reduced (kg.CO₂), Lighting Status (On/Off), PV Cell [Voltage (V), Current (A), Power (kW), Energy (kWh)], Battery [Voltage (V), Current (A), Power (kW), Charged Energy (kWh), Discharged Energy (kWh)], Inverter [Voltage (V), Current (A), Power (kW), Frequency (Hz), Power Factor (P.F.), THD_v (%), THD_i (%), Energy (kWh)], Grid [Voltage (V), Current (A), Power (kW), Frequency (Hz), Power Factor (P.F.), THD_v (%), THD_i (%), Energy (kWh)], Load [Power (kW), Energy (kWh)];;

ตัวอย่างของชุดข้อมูลจริง จะมีลักษณะดังนี้

ss192.168.1.140,13.729724,100.776917,3/10/2017,12:38:10,75.00,300.00,42.00,0,35.5,6.8,241.4,100.00,12.2,3.9,47.4,-85.00,80.00,226.00,0.25,56.73,49.40,0.97,1.71,12.70,75.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,56.73,75.00;;;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่แสดงในรูปที่ 4.1 นี้เป็นอุปกรณ์ชุดจำลองที่ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูปของ ETTeam Start Kit ซึ่งใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น PIC24FJ256GB110 ที่สามารถรองรับการออกแบบการจำลองชุดข้อมูลพารามิเตอร์ได้ และใช้งานบอร์ด M03 LVTTTL UART to Wi-Fi ซึ่งเป็นโมดูลที่ใช้สำหรับแปลงการรับส่งข้อมูลในรูปแบบ UART เป็นการรับส่งข้อมูลในรูปแบบของ Wireless LAN หรือ Wi-Fi (IEEE 802.11b/g) และภายในโมดูลมี Software TCP/IP Stack อยู่ทำให้ใช้งานได้สะดวก

อุปกรณ์ทั้งสองนี้มีความสามารถเพียงพอต่อการนำไปใช้งานทดสอบการทำงานในส่วนเรียลไทม์ของแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์ เนื่องจากสามารถสร้างข้อมูลพารามิเตอร์จำลองที่ต้องการและส่งออกไปยังเครือข่ายได้ ซึ่งจะนำไปใช้ในกระบวนการทดสอบในบดถัดไป



รูปที่ 4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นโมเดลจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบเซิร์ฟเวอร์

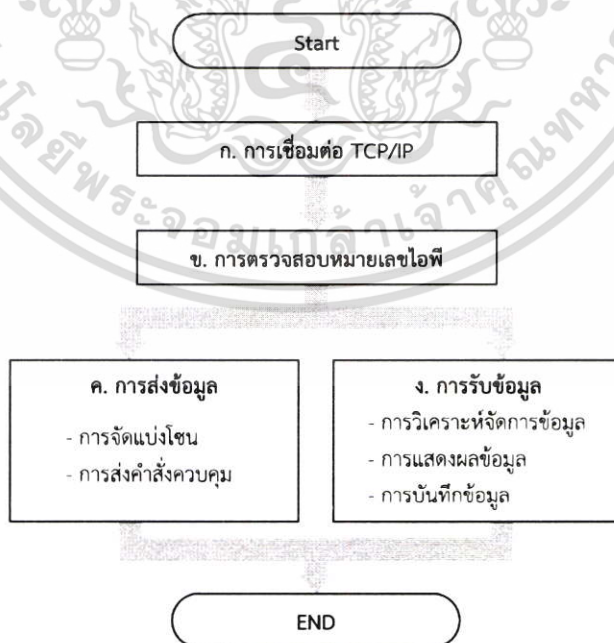
สำหรับแพลตฟอร์มนี้จะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบเซิร์ฟเวอร์สำหรับใช้งานในระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ และเนื่องจากโปรแกรม LabVIEW นั้นเป็นโปรแกรมที่สามารถออกแบบทั้งหน้าตาโปรแกรม และโค้ดคำสั่งได้ในโปรแกรมเดียวกัน ดังนั้นในการออกแบบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การเขียนบล็อกไดอะแกรมหรือการเขียนโค้ดคำสั่ง และการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานหรือการออกแบบหน้าตาโปรแกรม

4.2.1 การเขียนบล็อกไดอะแกรม

การเขียนบล็อกไดอะแกรมคือการเขียนโค้ดการทำงานให้กับเซิร์ฟเวอร์ซึ่งในโปรแกรม LabVIEW นี้ภาษาที่ใช้ในการเขียนจะเป็นภาษากราฟิก หรือ ภาษา G และการเขียนบล็อกไดอะแกรมเพื่อให้เซิร์ฟเวอร์สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการซึ่งได้กล่าวไว้ในภาพรวมบทที่แล้วนั้น จะเริ่มจากการแบ่งการเขียนโค้ดการทำงานออกเป็นสองส่วนหลักตามโหมดการทำงานซึ่งได้แก่ ส่วนเรียลไทม์ และส่วนออฟไลน์

4.2.1.1 ส่วนเรียลไทม์

ในส่วนเรียลไทม์มีขั้นตอนในการเขียนบล็อกไดอะแกรมโดยจะเริ่มจากการเขียนโค้ดตามลำดับการทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งลำดับขั้นตอนในการเขียนออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 4.2 ลำดับขั้นตอนการเขียนบล็อกไดอะแกรมส่วนเรียลไทม์

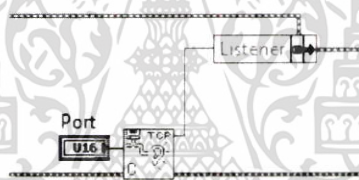
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การเชื่อมต่อ TCP/IP

เริ่มจากการเขียนให้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายผ่านโพรโทคอลการสื่อสาร TCP/IP สำหรับโปรแกรม LabVIEW นั้นจะบล็อกสำเร็จรูปของการสร้างทั้งเซิร์ฟเวอร์และไคลเอนต์ที่สื่อสารผ่าน TCP/IP ซึ่งสามารถนำบล็อก TCP เซิร์ฟเวอร์มาประยุกต์ใช้งานได้เป็นอย่างดี

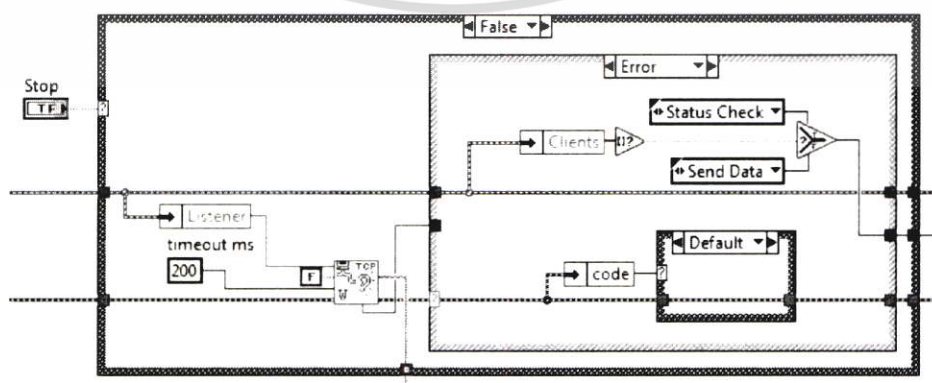
ในขั้นตอนการเขียนบล็อกไคอะแกรมของการเชื่อมต่อเครือข่ายผ่าน TCP/IP นั้น ตัวเซิร์ฟเวอร์ที่ออกแบบจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนการทำงานได้แก่ ขั้นตอนเริ่มต้น (Initialize) ขั้นตอนตรวจสอบสถานะ (Status Check) ขั้นตอนรับข้อมูล (Receiving) และขั้นตอนหยุดการทำงาน (Stop)

ในขั้นตอนเริ่มต้นแรกสุดนั้นจะเป็นการกำหนด Port ที่เซิร์ฟเวอร์จะใช้เพื่อรอรับการเชื่อมต่อเครือข่ายผ่าน port นี้เพื่อทำการสื่อสารกับไคลเอนต์ ซึ่งเป็นการกำหนดช่องการติดต่อไม่ให้เกิดการทำงานที่สับสนหากในเครือข่ายที่ใช้งานอยู่มีการใช้งานอย่างอื่นด้วย และการเขียนบล็อกไคอะแกรมจะใช้งานบล็อกสำเร็จรูปดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนเริ่มต้น (Initialize)

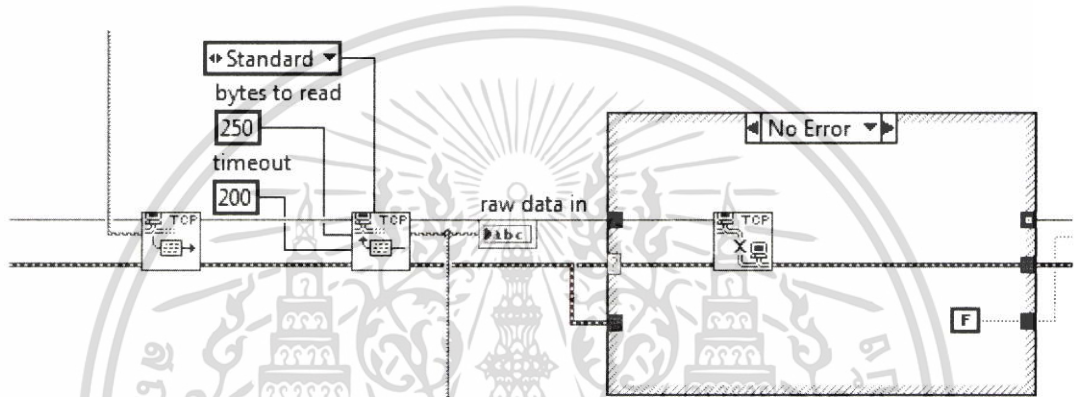
ถัดมาคือขั้นตอนตรวจสอบสถานะเชื่อมต่อของไคลเอนต์ว่า ณ ขณะนั้นมีไคลเอนต์ใดบ้างที่ทำการเชื่อมต่อเข้ามาในเครือข่ายและ port เดียวกันที่เซิร์ฟเวอร์เปิดรออยู่ สามารถเขียนโค้ดในบล็อกไคอะแกรมได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนตรวจสอบสถานะ (Status Check)

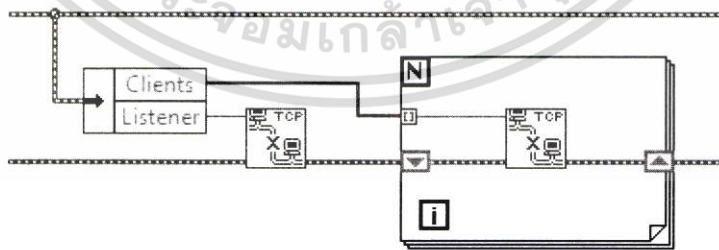
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถัดมาเป็นขั้นตอนการรับข้อมูลซึ่งข้อมูลที่ไคลเอนต์ส่งมานั้นจะเป็นข้อมูล text ซึ่งมีความยาวประมาณ 240 ไบต์ ดังนั้นจึงกำหนดให้เซิร์ฟเวอร์รออ่านข้อมูลจนถึง 250 ไบต์ และมีระยะเวลารอข้อมูลเข้าประมาณ 200 ms หากเกินกว่านี้เซิร์ฟเวอร์จะทำการวนลูกลับไปยังขั้นตอนตรวจสอบเพื่อตรวจสอบสถานะรอต่อไปจนกว่าจะพบว่ามี การเชื่อมต่อจากไคลเอนต์ ซึ่งการอ่านข้อมูลของบล็อก TCP นี้จะอ่านข้อมูลที่ละชุดข้อมูลที่ไคลเอนต์หนึ่งตัวส่งมา กล่าวคือจะไม่รับข้อมูลซ้อนกัน แต่จะจัดเรียงลำดับข้อมูลที่ส่งเข้ามาก่อนให้โดยอัตโนมัติ และไคลเอนต์หนึ่งตัวจะมีหมายเลข IP ที่บอกดังนั้นเมื่อขึ้นชุดข้อมูลของไคลเอนต์ตัวใหม่จะทำให้การรับข้อมูลทำได้อย่างไม่สับสนและมีความต่อเนื่อง บล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนรับข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนรับข้อมูล (Receiving)

ต่อมาเป็นขั้นตอนการหยุดการทำงาน จะทำงานเมื่อมีคำสั่งจากภายนอกหรือผู้ใช้ เมื่อหยุดการทำงานของโปรแกรม บล็อก TCP จำเป็นจะต้องมีคำสั่งปิดการเชื่อมต่อซึ่งมีบล็อกไดอะแกรมการหยุดดังแสดงในรูปที่ 4.6



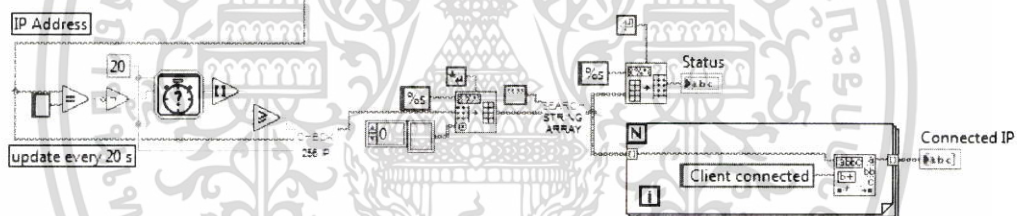
รูปที่ 4.6 ขั้นตอนหยุดการทำงาน (Stop)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การตรวจสอบหมายเลขไอพี

หลังจากเปิด port รอ และมีไคลเอนต์เชื่อมต่อเข้ามา จะออกแบบให้เซิร์ฟเวอร์ทำการตรวจสอบว่าเป็นหมายเลขไอพีใดเชื่อมต่ออยู่บ้าง ซึ่งบล็อกสำเร็จรูปสามารถตรวจสอบได้ว่า ณ ขณะที่มีการรับข้อมูลเข้ามาข้อมูลเหล่านั้นมาจากต้นทางหรือหมายเลข IP ใด

การออกแบบในส่วนนี้มีหลักการคือ ให้เซิร์ฟเวอร์ทำการตรวจสอบการเชื่อมต่อ และการรับข้อมูลจากหมายเลข IP เดิมตลอดเวลา หากเกินกว่าเวลาที่กำหนดแล้วยังไม่มีข้อมูลจากหมายเลข IP เดิมจะถือว่า IP นั้นหลุดการเชื่อมต่อ ซึ่งเวลาที่กำหนดไว้เบื้องต้นคือ 20 วินาที เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการทดสอบและให้สอดคล้องกับที่ได้ออกแบบให้ไคลเอนต์จำลองข้อมูลและส่งข้อมูลออกทุกๆ 10 วินาที ดังนั้นในขณะที่มีการส่งข้อมูลเข้ามาเซิร์ฟเวอร์จะแสดงหมายเลข IP ไว้และรอตรวจสอบอีกครั้ง ถ้าหากหมายเลข IP เดิมยังคงมีการส่งข้อมูลเข้ามาแสดงว่ายังคงมีการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์อยู่และจะแสดงหมายเลข IP เดิมต่อไป แต่หากเวลาผ่านไป 20 วินาทีแล้วไม่มีข้อมูลเข้ามาจะถือว่าไคลเอนต์นั้นหยุดการเชื่อมต่อและจะไม่แสดงหมายเลข IP ในช่องแสดงการเชื่อมต่อ บล็อกไดอะแกรมสำหรับการตรวจสอบสถานะ IP แสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจะประกอบไปด้วยการเขียนตัวจับเวลา 20 วินาทีในส่วนทางซ้าย และการนำหมายเลข IP ไปแสดงในส่วนทางขวา



รูปที่ 4.7 การตรวจสอบหมายเลข IP

ค. การส่งข้อมูล

การเขียนโค้ดในส่วนนี้เพื่อส่งคำสั่งออกไปควบคุมการเปิด-ปิดไฟถนน ซึ่งต้องการให้สามารถควบคุมการเปิด-ปิดไคลเอนต์ไฟถนนได้ครั้งละมากกว่าหนึ่ง จึงต้องมีการแบ่งกลุ่มให้กับไคลเอนต์ไฟถนนเหล่านี้สำหรับการควบคุมการเปิด-ปิด ซึ่งมีรายละเอียดในการเขียนโค้ดดังนี้

- การจัดแบ่งโซน

โดยจะเริ่มจากการกำหนดชื่อเฉพาะให้กับไคลเอนต์แต่ละไอพีเพื่อให้สะดวกต่อผู้ใช้งานในด้านการจดจำและควบคุม โดยจะจัดลำดับให้กับไคลเอนต์ที่เชื่อมต่อเข้ามาเรียงตามลำดับเลขไอพีจากน้อยไปมาก และกำหนดชื่อเฉพาะด้วยหมายเลขเริ่มตั้งแต่หมายเลข 1-4096 ตามลำดับ ส่วนในการแบ่งโซน ให้ผู้ใช้เลือกจำนวนโซนที่ต้องการแบ่งออก จากนั้นให้เซิร์ฟเวอร์ทำการกำหนดชื่อโซนด้วยพยัญชนะภาษาอังกฤษ A-Z ตามจำนวนโซน

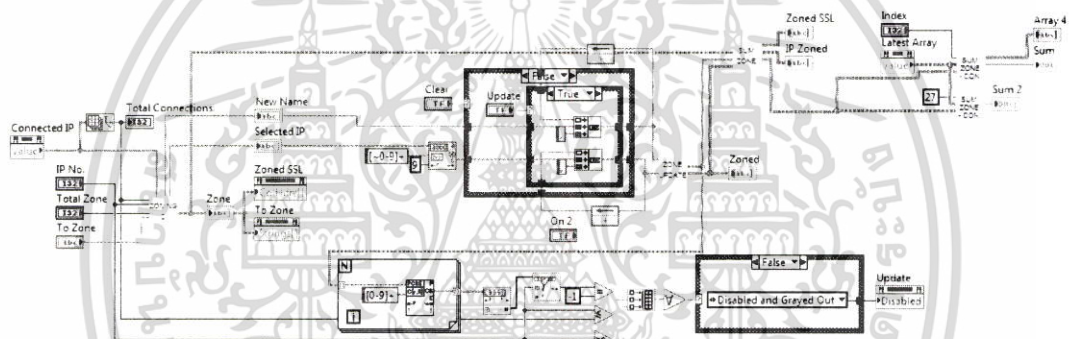
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นออกแบบให้ผู้ใช้เลือกโซนให้กับไคลเอนต์แต่ละลำดับ และเซิร์ฟเวอร์จะแสดงผลการกำหนดโซนให้กับไคลเอนต์แต่ละตัวด้วยชื่อโซนตามด้วยลำดับของหมายเลข จะแสดงผลไว้ในตารางเพื่อให้เกิดความชัดเจน

ตัวอย่างเช่น

มีไคลเอนต์จำนวน 5 IP เชื่อมต่ออยู่กับเซิร์ฟเวอร์ ได้แก่ หมายเลข 192.168.1.131, หมายเลข 192.168.1.132, หมายเลข 192.168.1.133, หมายเลข 192.168.1.134 และหมายเลข 192.168.1.135 จากนั้นจะนำไคลเอนต์เหล่านี้มาแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 โซน ได้แก่ โซน A และโซน B โดยให้หมายเลข 192.168.1.131 และหมายเลข 192.168.1.133 อยู่ในโซน A ส่วนหมายเลข 192.168.1.132, หมายเลข 192.168.1.134 และหมายเลข 192.168.1.135 อยู่ในโซน B

ดังนั้นเมื่อกำหนดโซนและหมายเลขให้กับไคลเอนต์ทั้งหมด จะได้เป็น A1, B2, A3, B4 และ B5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 การจัดแบ่งโซน

- การส่งคำสั่งควบคุม

การส่งคำสั่งไปควบคุมการเปิด-ปิดไฟถนนนั้นจะแบ่งเป็นการควบคุมการเปิด-ปิดทีละหนึ่งไคลเอนต์ หรือไฟถนนหนึ่งต้น และการควบคุมการเปิด-ปิดทีละโซน ดังนั้นในการเขียนโค้ดบางส่วนจึงต้องใช้ข้อมูลเดียวกันกับตอนจัดแบ่งโซน

สำหรับคำสั่งที่ใช้ส่งไปจะเป็นการส่งหมายเลข IP 3 ตัวท้าย มีใช้การส่งหมายเลขที่ได้จัดลำดับเพื่อให้สะดวกต่อผู้ใช้ที่ได้อธิบายไปข้างต้น เนื่องจากต้องส่งข้อมูลในส่วนนี้กลับไปยังไคลเอนต์ เพื่อให้ไคลเอนต์สามารถจำแนกได้ว่าเป็นคำสั่งของไคลเอนต์ IP นั้นๆ จากนั้นจะตามด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) และคำสั่งเปิด-ปิด ถ้าเปิดจะส่ง ON และถ้าปิดจะส่ง OFF สำหรับการส่งเป็นโซน ระหว่างคำสั่งของแต่ละ IP จะคั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาคเช่นกัน

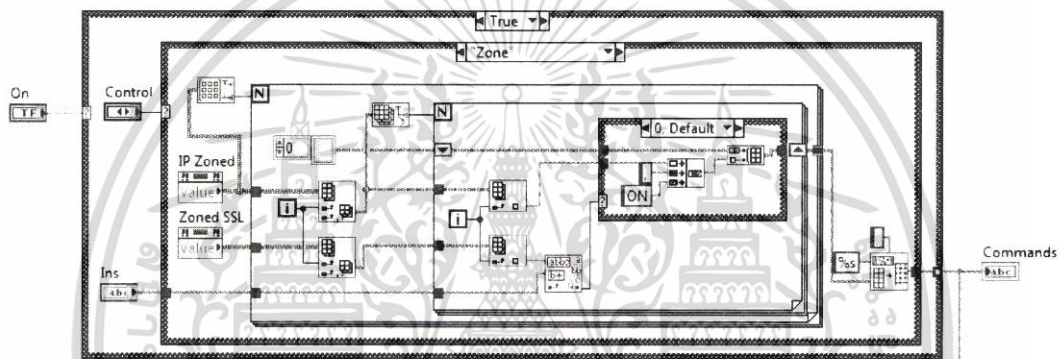
ตัวอย่างเช่น

มีไคลเอนต์จำนวน 5 IP เชื่อมต่ออยู่กับเซิร์ฟเวอร์ ได้แก่ หมายเลข 192.168.1.131, หมายเลข 192.168.1.132, หมายเลข 192.168.1.133, หมายเลข 192.168.1.134

และหมายเลข 192.168.1.135 จากนั้นจะนำโคลเอนต์เหล่านี้มาแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 โซน ได้แก่ โซน A และโซน B โดยให้หมายเลข 192.168.1.131 และหมายเลข 192.168.1.133 อยู่ในโซน A ส่วนหมายเลข 192.168.1.132, หมายเลข 192.168.1.134 และหมายเลข 192.168.1.135 อยู่ในโซน B

เมื่อเลือกใช้งานควบคุมทีละหนึ่งโคลเอนต์ เช่น ต้องการเปิดไฟให้กับหมายเลข 192.168.1.131 คำสั่งที่เซิร์ฟเวอร์จะส่งออกไป คือ 131,ON หรือเมื่อต้องการปิดไฟให้กับหมายเลข 192.168.1.132 คำสั่งที่เซิร์ฟเวอร์จะส่งออกไป คือ 132,OFF

เมื่อเลือกใช้งานควบคุมแบบเป็นโซน เช่น ต้องการเปิดไฟให้กับโซน A คำสั่งที่เซิร์ฟเวอร์จะส่งออกไป คือ 131,ON,133,ON หรือเมื่อต้องการปิดไฟให้กับโซน B คำสั่งที่เซิร์ฟเวอร์จะส่งออกไป คือ 132,OFF,134,OFF,135,OFF



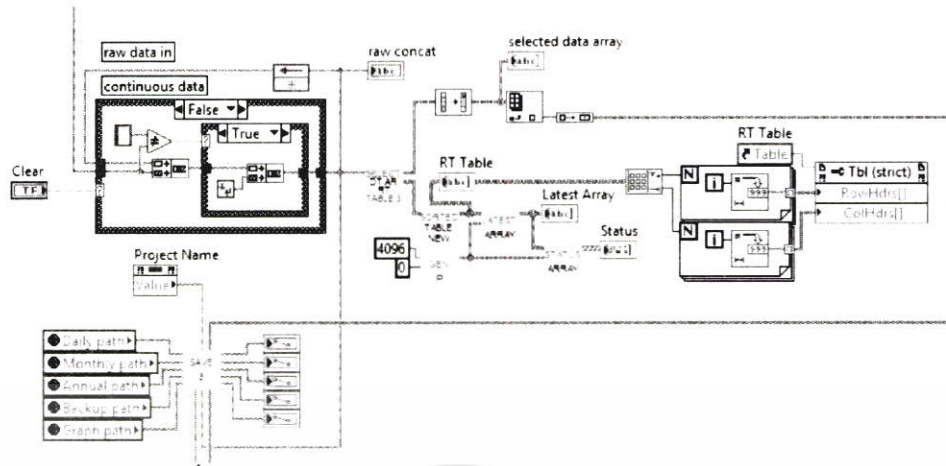
รูปที่ 4.9 การส่งคำสั่งควบคุม

ง. การรับข้อมูล

ในระหว่างที่เซิร์ฟเวอร์มีการรับข้อมูลเข้ามา เซิร์ฟเวอร์เองก็จะมีการทำงานซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือการวิเคราะห์จัดการข้อมูล การแสดงผลข้อมูล และการบันทึกข้อมูล

- การวิเคราะห์จัดการข้อมูล

ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์จัดการข้อมูลก่อนนำไปใช้งานเนื่องจากข้อมูลดิบที่รับเข้ามาจะอยู่ในรูปชุดข้อมูล text หรือที่ใน LabVIEW จะเรียกว่าเป็นข้อมูลแบบ string ซึ่งในหนึ่งชุดข้อมูลจะเริ่มหัวข้อมูลด้วยตัวอักษร ss ตามด้วยชุดของข้อมูลที่แยกแต่ละพารามิเตอร์ด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) และปิดท้ายด้วย ; เพื่อแสดงว่าจบชุดข้อมูลแล้ว ซึ่งข้อมูลที่ได้รับเข้ามานั้นจะเรียงต่อกันอย่างต่อเนื่องและไม่สามารถนำไปใช้งานโดยตรงได้ ดังนั้นจึงต้องนำชุดข้อมูลนี้มาแยกจากกันก่อนจะนำไปแสดงผลได้ โดยที่การเขียนบล็อกโตอะแกรมในส่วนของแยกข้อมูลนี้จะแสดงไว้ในส่วนของรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การวิเคราะห์จัดการข้อมูล การแสดงผลแบบตาราง
การแสดงผลสถานะไฟถนนและการบันทึกข้อมูล

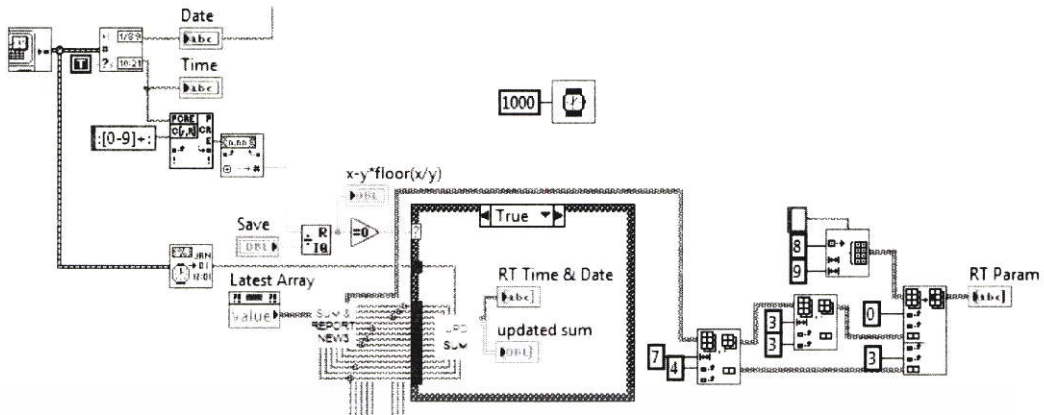
- การแสดงผลข้อมูล

การแสดงผลข้อมูลจะมีทั้งในรูปแบบข้อมูลรวมล่าสุดของแต่ละชุด ข้อมูลแยกเป็นแบบตาราง ข้อมูลสถานะไฟถนน และข้อมูลที่แสดงเป็นกราฟ

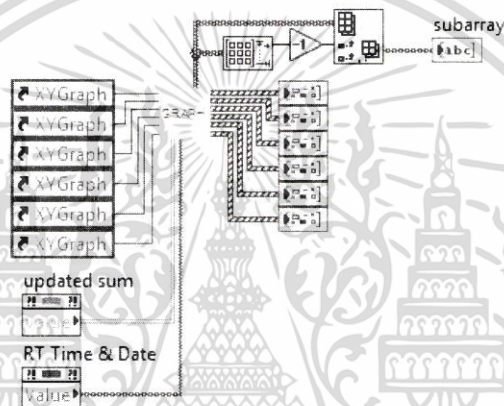
ในการแสดงผลแบบตารางจะเป็นการนำข้อมูลดิบมาประมวลผลโดยทำการแยกข้อมูลที่ค้นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ให้เป็นแถวและคอลัมน์ และจัดเรียงลำดับจากหมายเลข IP รวมทั้งวันที่และเวลาที่ข้อมูลถูกส่งมาจากไคลเอนต์ ทำให้มีความสะดวกในการค้นหาข้อมูลที่ต้องการ ส่วนการแสดงผลสถานะไฟถนนจะทำการดึงข้อมูลในคอลัมน์ที่เป็นสถานะไฟถนนแยกมาโดยเฉพาะ และทำการจัดเรียงลำดับ IP ก่อนนำไปแสดงผลเป็นตาราง ซึ่งบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 4.10 แสดงโค้ดในส่วนของวิเคราะห์จัดการข้อมูล การแสดงผลแบบตาราง การแสดงผลสถานะไฟถนน และการบันทึกข้อมูล

การแสดงผลในรูปแบบข้อมูลรวมล่าสุดเป็นการนำข้อมูลแต่ละพารามิเตอร์ของทุกไคลเอนต์มารวมกันและแสดงผลข้อมูลล่าสุด ณ เวลานั้นในหน้าหลัก เพื่อให้ผู้ใช้เห็นถึงภาพรวมการใช้พลังงานของโครงข่ายไฟถนนที่กำลังประมวลผลและวิเคราะห์ที่อยู่ ณ เวลานั้น โดยการเขียนบล็อกไดอะแกรมในส่วนนี้แสดงดังรูปที่ 4.11

ในการแสดงผลข้อมูลแบบกราฟเป็นการนำข้อมูลแบบรวมล่าสุดมาแสดงผลในรูปแบบของกราฟ ซึ่งจำเป็นต้องสร้างการทำงานในส่วนนี้แยกกับการทำงานในส่วนแสดงผล เนื่องจากต้องการให้มีการเก็บข้อมูลย้อนหลังไว้เพื่อไม่ให้เกิดการแสดงผลของกราฟขาดช่วง และบล็อกไดอะแกรมในส่วนการสร้างกราฟแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 การแสดงผลข้อมูลแบบรวมข้อมูลล่าสุด



รูปที่ 4.12 การแสดงผลข้อมูลแบบกราฟ

● การบันทึกข้อมูล

ในการบันทึกข้อมูลจะมีการบันทึกทั้งหมด 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ข้อมูลดิบที่ได้จากการรับเข้ามาโดยไม่มีการจัดแต่ง ข้อมูลที่ได้จากการแสดงผลแบบตาราง และข้อมูลที่ได้จากการแสดงผลแบบกราฟ โดยที่ข้อมูลจากการแยกเป็นตารางจะนำไปบันทึกทั้งรายวัน รายเดือน และรายปี เพื่อนำไปใช้งานในการสร้างเอกสารสรุปในส่วนออฟไลน์ที่จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

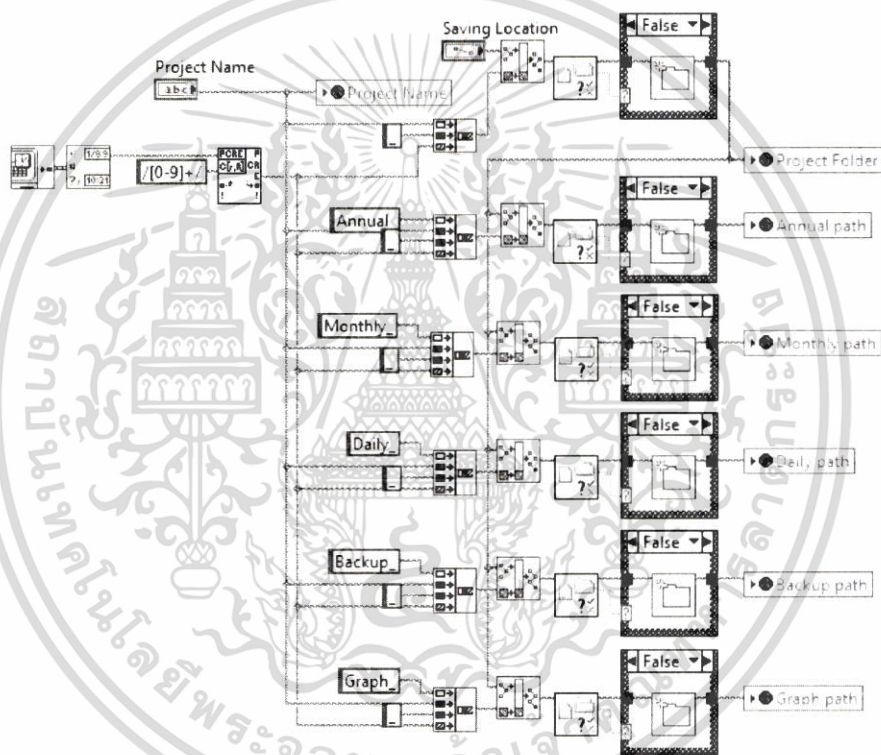
สำหรับการบันทึกข้อมูลได้ออกแบบให้ผู้ใช้เลือกตำแหน่งที่จะใช้ในการบันทึกและกำหนดชื่อไฟล์เดอร์หลักในการบันทึกข้อมูล จากนั้นจะเป็นหน้าที่ของเซิร์ฟเวอร์ซึ่งได้ออกแบบให้สร้างไฟล์เดอร์ย่อยขึ้นมาทั้งหมด 5 ไฟล์เดอร์ซึ่งประกอบด้วยไฟล์เดอร์สำหรับ

- การบันทึกข้อมูลแบบรายวัน (Daily)
- การบันทึกข้อมูลแบบรายเดือน (Monthly)
- การบันทึกข้อมูลแบบรายปี (Annual)
- การบันทึกข้อมูลดิบ (Backup)
- การบันทึกข้อมูลสำหรับกราฟ (Graph)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกข้อมูลรายวัน รายเดือน และรายปี จะใช้ข้อมูลจากการแสดงผลแบบตาราง ส่วนการบันทึกข้อมูลข้อมูลดิบ จะใช้จากข้อมูลที่รับมาโดยตรง ไม่ผ่านกระบวนการแยกตัวเริ่มและตัวปิด มีไว้เพื่อเป็นการสำรองข้อมูลที่อาจขาดหายไประหว่างการประมวลผลจากโปรแกรม และการบันทึกข้อมูลสำหรับกราฟจะเป็นการนำข้อมูลรวมล่าสุดในการแสดงผลซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างจากข้อมูลในแบบรายวัน

ซึ่งการเขียนบล็อกไดอะแกรมสำหรับการบันทึกผลจะแสดงไว้ในรูปที่ 4.10 และจะแสดงการเขียนบล็อกไดอะแกรมของการสร้างโฟลเดอร์สำหรับแยกประเภทข้อมูลที่จะทำการบันทึกไว้ ดังรูปที่ 4.13

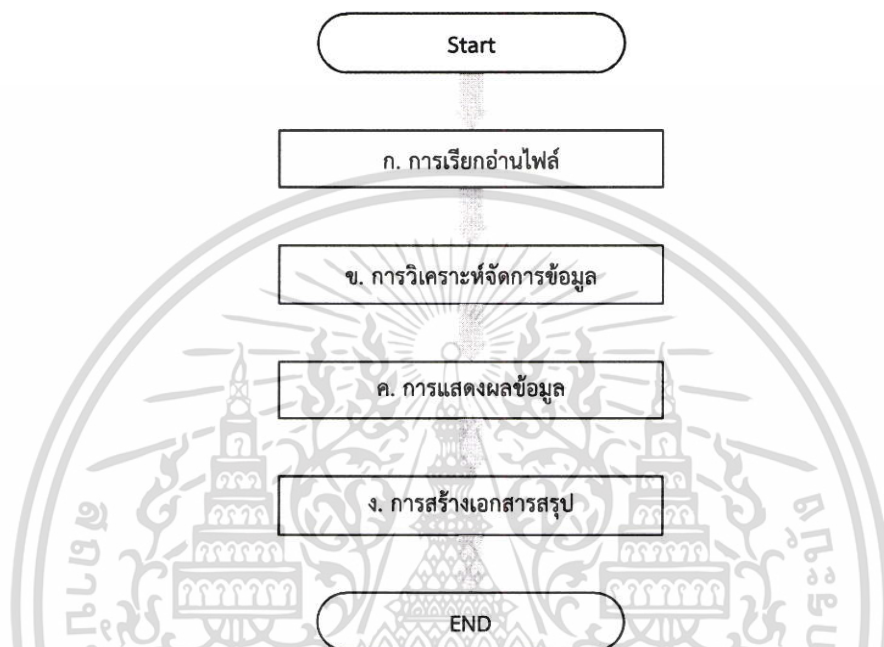


รูปที่ 4.13 การสร้างโฟลเดอร์สำหรับแยกไฟล์ที่จะบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 ส่วนออฟไลน์

ในส่วนออฟไลน์ได้ออกแบบไว้สำหรับเรียกไฟล์ข้อมูลที่ได้บันทึกไว้ในส่วนเรียลไทม์ เพื่อนำมาแสดงในภายหลัง รวมถึงการสร้างเอกสารรายงานสรุปผล ซึ่งสามารถแบ่งลำดับขั้นตอนในการเขียนบล็อกไดอะแกรมออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้



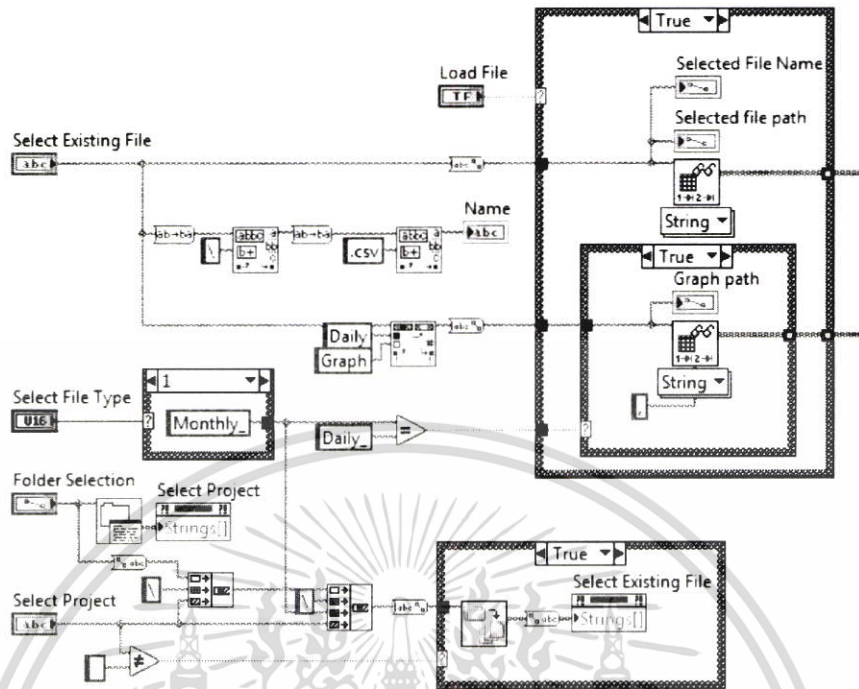
รูปที่ 4.14 ลำดับขั้นตอนการเขียนบล็อกไดอะแกรมส่วนออฟไลน์

ก. การเรียกอ่านไฟล์

การเขียนโค้ดในส่วนนี้จะเขียนโดยให้มีลำดับการเลือกไฟล์ 4 ลำดับ เริ่มจากเลือกโพลเดอร์หลักที่บันทึก เลือกชนิดของไฟล์ที่บันทึก (รายวัน รายเดือน หรือรายปี) และเลือกไฟล์ที่ต้องการ สาเหตุที่ออกแบบให้มีการเลือกไฟล์ตามขั้นตอนนี้เนื่องจากการบันทึกผลในส่วนเรียลไทม์นั้นเป็นการบันทึกแบบต่อเนื่อง หากมีการเปิดเซิร์ฟเวอร์ไว้ตลอดเวลาเป็นเวลานานจะทำให้มีแต่ละโพลเดอร์มีจำนวนหลายไฟล์ จึงเขียนให้มีการนำชื่อไฟล์ที่บันทึกไปแล้วมาแสดงเพื่อให้ผู้ใช้เลือกได้สะดวกขึ้น

สำหรับส่วนเลือกตำแหน่งโพลเดอร์หลักที่ได้อัปโหลดไว้ในวันในกรณีที่ใช้งานโหมดออฟไลน์พร้อมกับการทำงานโหมดเรียลไทม์ โพลเดอร์หลักจะกำหนดให้เป็นโพลเดอร์เดียวกันกับในส่วนเรียลไทม์โดยอัตโนมัติ

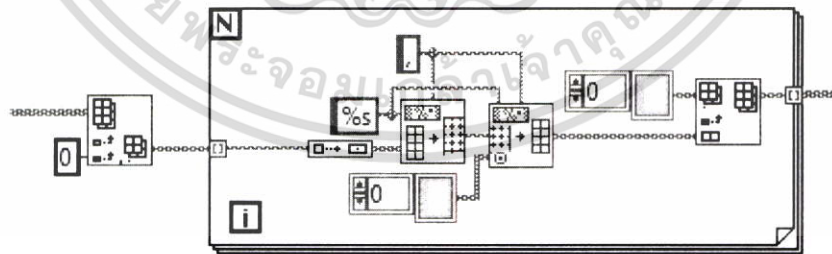
นอกจากนี้ในการเลือกไฟล์จะเขียนโค้ดให้โปรแกรมดึงไฟล์ที่บันทึกข้อมูล และแบบกราฟออกมาพร้อมกันโดยอัตโนมัติ เนื่องจากข้อมูลถูกบันทึกแยกกันไว้ และแสดงการเขียนบล็อกไดอะแกรมของการเรียกอ่านไฟล์ไว้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การเรียกอ่านไฟล์

ข. การวิเคราะห์จัดการข้อมูล

ในการดึงข้อมูลจากไฟล์สกุล .csv ซึ่งเป็นข้อมูลแบบ string มาอ่านนั้นจำเป็นต้องแปลงข้อมูลเหล่านั้น โดยให้โปรแกรมทำการแยกข้อมูลออกเป็นคอลัมน์และเก็บไว้ในตารางที่สร้างขึ้นใหม่ ซึ่งจะแสดงการเขียนบล็อกไดอะแกรมของการวิเคราะห์จัดการข้อมูลไว้ดังรูปที่ 4.16

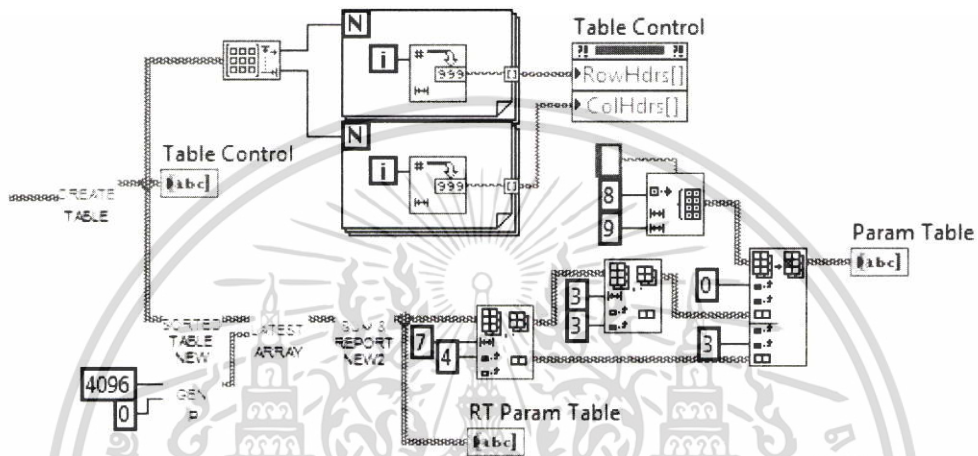


รูปที่ 4.16 การวิเคราะห์จัดการข้อมูล

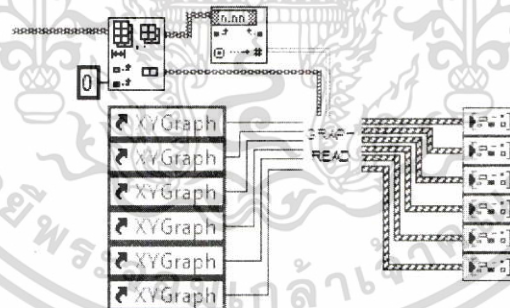
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. การแสดงผลข้อมูล

การแสดงผลข้อมูลในส่วนออฟไลน์จะมีการแสดงผลข้อมูลแบบตาราง และแสดงผลแบบกราฟ การเขียนโค้ดทั้งส่วนนี้จะมีลักษณะแบบเดียวกับที่เขียนในส่วนเรียลไทม์ ซึ่งจะแสดงการเขียนบล็อกไดอะแกรมการแสดงผลข้อมูลแบบตารางไว้ดังรูปที่ 4.17 และการเขียนบล็อกไดอะแกรมการแสดงผลข้อมูลแบบกราฟไว้ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 การแสดงผลข้อมูลแบบตาราง

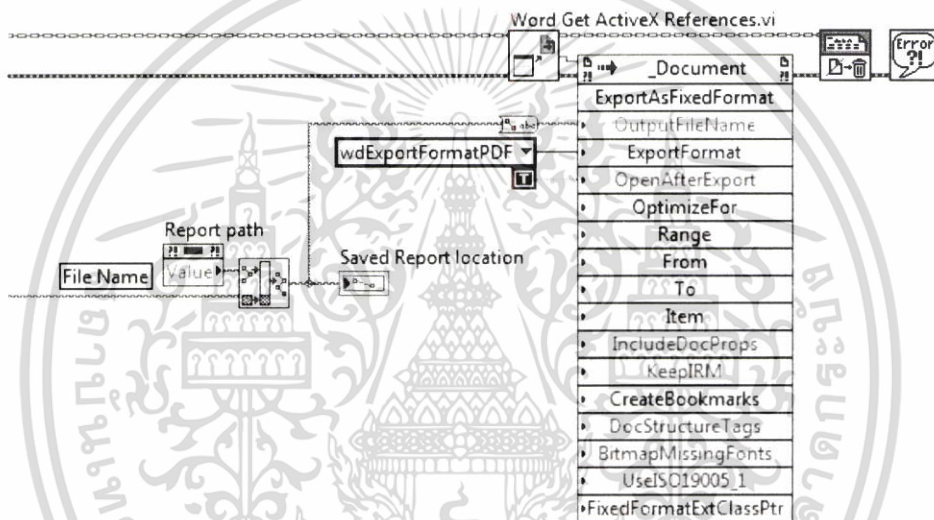


รูปที่ 4.18 การแสดงผลข้อมูลแบบกราฟ

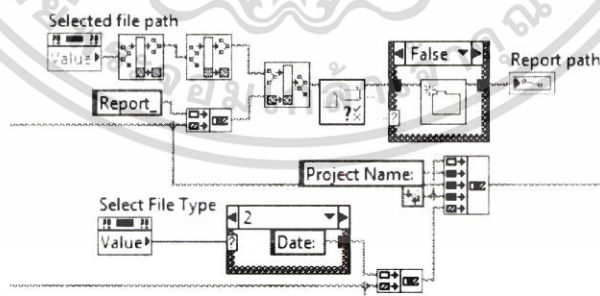
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. การสร้างเอกสารสรุป

ในการเขียนโค้ดสำหรับการสร้างเอกสารสรุปนั้นข้อมูลที่จะใส่ลงไปด้วยคือ ข้อมูลพารามิเตอร์แบบสรุปซึ่งจะเป็นค่าล่าสุดของแต่ละไฟล์ เนื่องจากพารามิเตอร์ที่โคลเอนต์ส่งเข้ามานั้นเป็นข้อมูลสะสมอยู่แล้ว และได้เขียนโค้ดให้ผู้ใช้สามารถเลือกนำกราฟที่ต้องการมาบันทึกต่อจากข้อมูลสรุปได้ รูปแบบในการบันทึกกำหนดให้มีลักษณะเป็นหน้ากระดาษ A4 แบบไฟล์เอกสาร Word และให้โปรแกรมทำการแปลงเป็นไฟล์ .pdf และบันทึกไฟล์นี้ไว้ในโฟลเดอร์ Report :ซึ่งกำหนดให้สร้างไว้ ณ ตำแหน่งเดียวกับการบันทึกไฟล์ในส่วนเรียลไทม์ แสดงการเขียนบล็อกไดอะแกรมการสร้างเอกสารรายงานสรุปผลไว้ดังรูปที่ 4.19 และบล็อกไดอะแกรมการสร้างโฟลเดอร์ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.19 การสร้างเอกสารรายงานสรุปผล



รูปที่ 4.20 การสร้างโฟลเดอร์ Report

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface)

ในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานหรือที่รู้จักกันทั่วไปว่า User Interface (UI) ของเซิร์ฟเวอร์นั้นจะแบ่งหน้าตาการออกแบบออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ หน้าตาการเริ่มต้นโปรแกรม หน้าตาส่วนเรียลไทม์ และหน้าตาส่วนออฟไลน์

4.2.2.1 หน้าตาการเริ่มต้นโปรแกรม

หน้าตานี้จะแสดงเป็นหน้าแรกเมื่อกดเข้าโปรแกรมมา เพื่อให้ผู้ใช้ตัดสินใจเลือกโหมดการทำงานที่ต้องการระหว่างโหมดเรียลไทม์ และโหมดออฟไลน์ โดยแต่ละปุ่มที่แสดงมีลักษณะการทำงานดังนี้

ปุ่ม Stop App จะหยุดการทำงานทั้งหมดและปิดโปรแกรม

ปุ่ม Run เพื่อเริ่มต้นการทำงานและเรียกหน้าตาของแต่ละโหมด

ปุ่ม Abort มีไว้เพื่อหยุดและปิดหน้าตาการทำงานของแต่ละโหมด



รูปที่ 4.21 หน้าตาการเริ่มต้นโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 หน้าต่างส่วนเรียลไทม์

ในการใช้งานโหมดเรียลไทม์หลังจากกดปุ่ม Run ที่หน้าต่างเริ่มต้นโปรแกรมจะปรากฏหน้าต่างตั้งค่าเริ่มต้น (Settings) เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลที่เซิร์ฟเวอร์ต้องใช้ในการเริ่มต้นทำงานก่อนดังแสดงในรูปที่ 4.22

- ช่อง Enter Project Name สำหรับตั้งชื่อโปรเจ็ค และชื่อโพลเดอร์หลัก
- ช่อง Port เพื่อกำหนดช่องที่จะใช้ในการสื่อสารระหว่างโคลเอนต์-เซิร์ฟเวอร์
- ช่อง Saving Location สำหรับตั้งโพลเดอร์หลักที่จะใช้ในการบันทึกข้อมูล
- ปุ่ม OK กดเมื่อทำการตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว

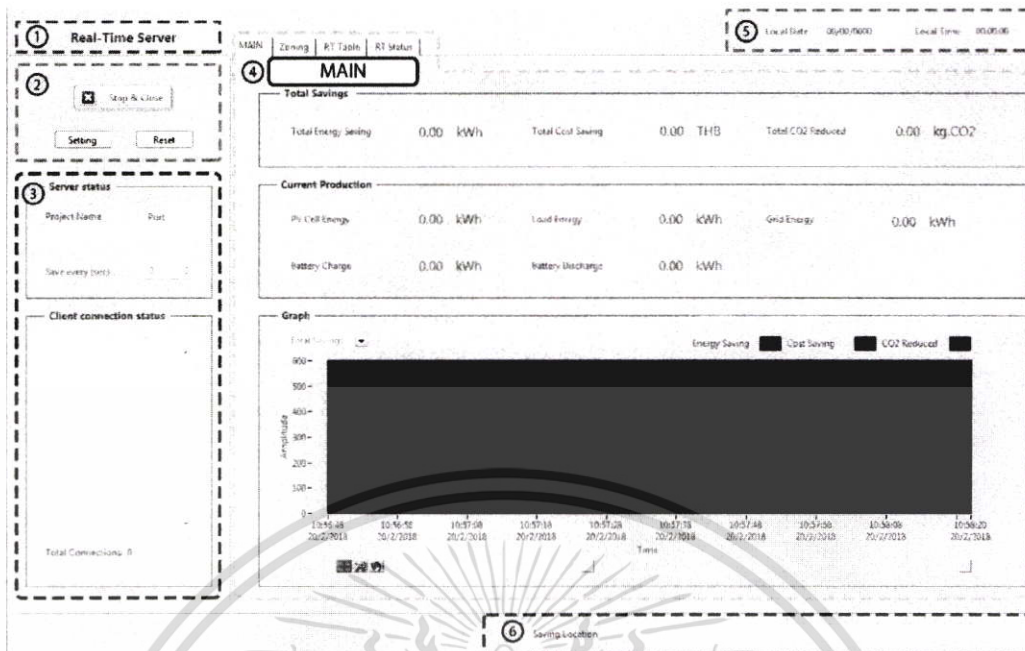


รูปที่ 4.22 หน้าต่างการตั้งค่าเริ่มต้น

ในการออกแบบหน้าต่างของส่วนเรียลไทม์ดังรูปที่ 4.23 สามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ และนำมาอธิบายได้ดังนี้

- หมายเลข 1 แสดงโหมดการทำงาน
- หมายเลข 2 แสดงส่วนที่ใช้ควบคุมการทำงานของโหมดนี้ประกอบด้วย
 - ปุ่ม Stop & Close จะหยุดและปิดการทำงานของหน้าต่างนี้
 - ปุ่ม Setting เพื่อเรียกหน้าต่างการตั้งค่าขึ้นมาอีกครั้ง
 - ปุ่ม Reset เพื่อล้างข้อมูลทั้งหมดที่เซิร์ฟเวอร์มีเก็บไว้
- หมายเลข 3 ส่วนแสดงสถานะของเซิร์ฟเวอร์
 - Project Name แสดงชื่อโปรเจ็คซึ่งกำหนดได้ในหน้าต่าง Setting
 - Port แสดงหมายเลขการเชื่อมต่อซึ่งกำหนดได้ในหน้าต่าง Setting
 - Save every (sec) สำหรับการกำหนดระยะเวลาในการบันทึกข้อมูล
- หมายเลข 3 ส่วนแสดงสถานะของโคลเอนต์
 - แสดงหมายเลข IP ของโคลเอนต์ที่เชื่อมต่ออยู่ทั้งหมด
 - แสดงจำนวนโคลเอนต์ที่เชื่อมต่ออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 หน้าต่างส่วนเรียลไทม์

หมายเลข 4 หน้าต่างการแสดงผลซึ่งแบ่งเป็น 4 หน้าต่างย่อย

Main, Zoning, RT Table และ RT Status

หมายเลข 5 แสดงวันที่และเวลาที่กำลังรันในโมเมนต์นี้

หมายเลข 6 แสดงตำแหน่งที่ใช้บันทึกผล

การออกแบบหน้าต่างของส่วนเรียลไทม์จะแบ่งออกเป็น 4 หน้าต่างย่อยเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานและให้สอดคล้องกับลักษณะการทำงานที่ได้ออกแบบและเขียนบล็อกไดอะแกรมไว้ ซึ่งประกอบด้วยหน้าต่าง Main, หน้าต่าง Zoning, หน้าต่าง RT Table และหน้าต่าง RT Status

ก. Main

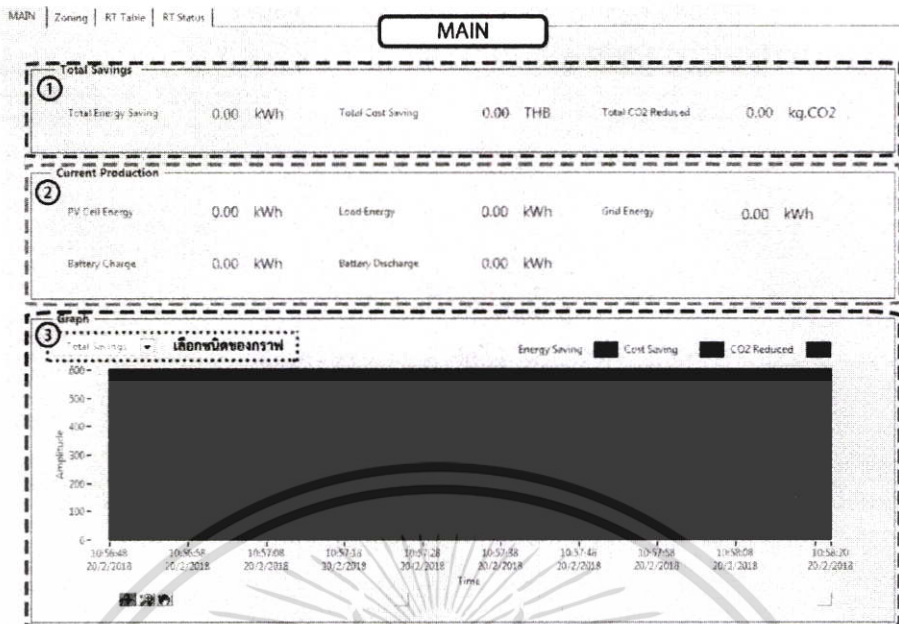
หน้าต่างย่อย Main ดังแสดงในรูปที่ 4.24 นั้นจะใช้ในการแสดงผลข้อมูลพารามิเตอร์ 3 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลพารามิเตอร์ส่วน Total Savings ข้อมูลพารามิเตอร์ส่วน Current Production และข้อมูลพารามิเตอร์ในรูปแบบกราฟ

หมายเลข 1 แสดงพารามิเตอร์ในส่วน Total Savings ซึ่งเป็นข้อมูลแบบสะสม

Total Energy Savings การประหยัดพลังงาน

Total Cost Savings การประหยัดค่าใช้จ่าย

Total CO₂ Reduction การลดการเกิด CO₂



รูปที่ 4.24 หน้าต่างย่อย Main

หมายเลข 2 แสดงพารามิเตอร์ในส่วน Current Production ซึ่งเป็นข้อมูลพลังงานที่ตำแหน่งต่าง ณ เวลาที่กำลังแสดงผล

PV Cell Energy พลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้

Battery Charge พลังงานที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่

Battery Discharge พลังงานที่ดึงมาใช้จากแบตเตอรี่

Grid Energy พลังงานที่ใช้จากยูทิลิตี้

Load Energy พลังงานที่นำไปจ่ายให้กับโหลด

หมายเลข 3 แสดงพารามิเตอร์แบบกราฟตั้งแต่เริ่มโปรแกรมจนถึงเวลา ณ ขณะนั้น

สามารถเลือกชนิดของกราฟที่จะแสดงได้ ประกอบด้วย

Total Savings แสดงกราฟของพารามิเตอร์ที่กล่าวถึงด้านบน

PV Cell แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงาน

Battery แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงาน

Inverter แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงาน

Grid แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงาน

Load แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. Zoning

หน้าต่างย่อ Zoning ดังแสดงในรูปที่ 4.25 นั้นจะใช้ในการจัดแบ่งโซนและการส่งคำสั่งควบคุมการเปิด-ปิดไฟถนน

หมายเลข 1 แสดงส่วนการจัดแบ่งโซน

ช่อง Total Zone สำหรับกำหนดจำนวนโซนที่ต้องการแบ่ง

ปุ่ม Clear Zone สำหรับการล้างค่าการกำหนดทั้งหมด

Connected IP แสดง IP ของไคลเอนต์ที่เชื่อมต่ออยู่ทั้งหมด

ช่อง IP No. สำหรับเลือกลำดับ IP ที่ต้องการจาก Connected IP

ช่อง Selected IP แสดงหมายเลข IP ที่เลือก

ช่อง To Zone สำหรับเลือกโซนที่จะกำหนดให้ IP ที่เลือก

ช่อง New Name แสดงชื่อที่กำหนดขึ้นใหม่สำหรับ IP ที่เลือก

ปุ่ม Add เพื่อยืนยันการกำหนดโซนให้กับ IP นั้น

ตาราง Zoned SSL แสดงการโซน IP ซึ่งจะมีการปรับปรุงตลอดเวลา

หมายเลข 2 แสดงส่วนการควบคุมการเปิด-ปิดไฟถนน

Individual เลือกควบคุมทีละตัว ใน list box จะแสดงหมายเลข IP

Zone เลือกควบคุมเป็นโซน ใน list box จะแสดงโซน

ปุ่ม On/Off สำหรับการสั่งการ

รูปที่ 4.25 หน้าต่างย่อ Zoning

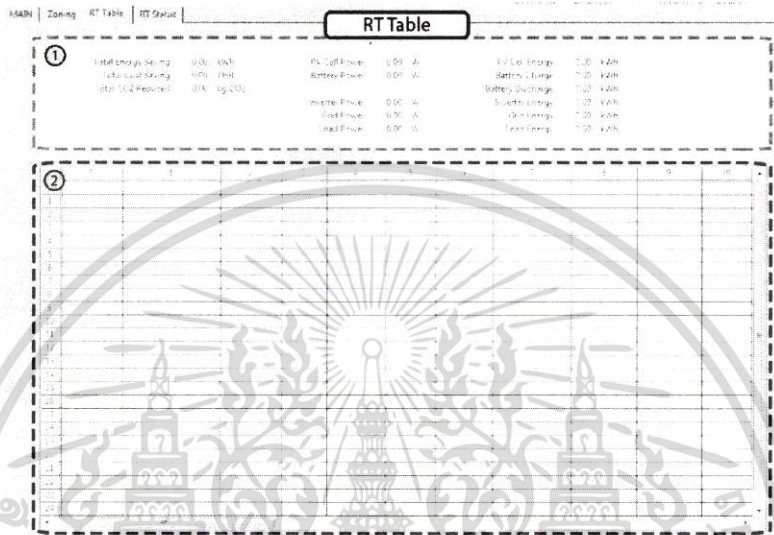
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. RT Table

หน้าต่างย่อย RT Table ดังแสดงในรูปที่ 4.26 นั้นจะใช้ในการแสดงผลข้อมูล พารามิเตอร์ชุดค่าสุทธรวมทุกโคลเอนต์ และพารามิเตอร์แบบตาราง

หมายเลข 1 แสดงข้อมูลพารามิเตอร์ชุดค่าสุทธรวมของทุกโคลเอนต์

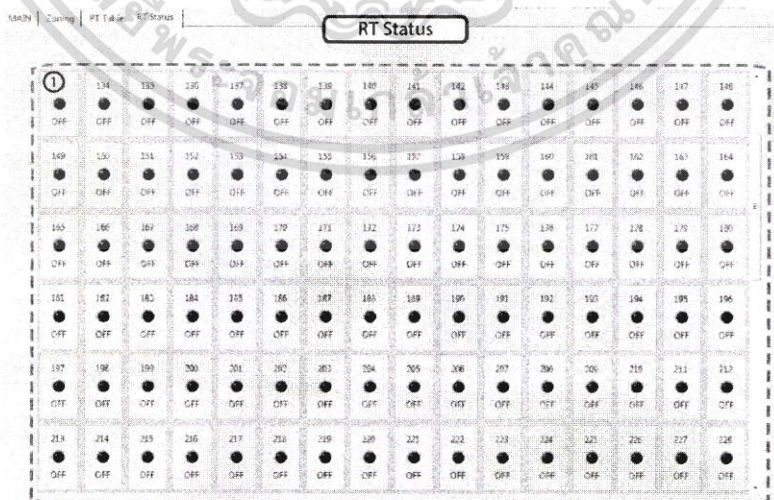
หมายเลข 2 แสดงข้อมูลพารามิเตอร์แบบตาราง



รูปที่ 4.26 หน้าต่างย่อย RT Table

ง. RT Status

หน้าต่างย่อย RT Status ดังแสดงในรูปที่ 4.27 นั้นจะใช้ในการแสดงผลข้อมูลสถานะของไฟถนนซึ่งแสดงด้วยเลข 3 หลักท้ายของหมายเลข IP



รูปที่ 4.27 หน้าต่างย่อย RT Status

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 หน้าต่างส่วนออฟไลน์

ในการใช้งานโหมดออฟไลน์หลังจากกดปุ่ม Run จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 4.28 ซึ่งสามารถเริ่มการใช้งานได้ทันที และสามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ และนำมาอธิบายได้ดังนี้

หมายเลข 1 แสดงโหมดการทำงาน

หมายเลข 2 แสดงปุ่ม Close สำหรับการหยุดและปิดการทำงานของหน้าต่างนี้

หมายเลข 3 แสดงส่วนการเลือกไฟล์

ช่อง Folder Selection สำหรับเลือกตำแหน่งที่บันทึกข้อมูล

ช่อง Select Project สำหรับเลือกโพลเดอร์หลักของการบันทึกข้อมูล

ช่อง Select File Type สำหรับเลือกชนิดข้อมูล (รายวัน/รายเดือน/รายปี)

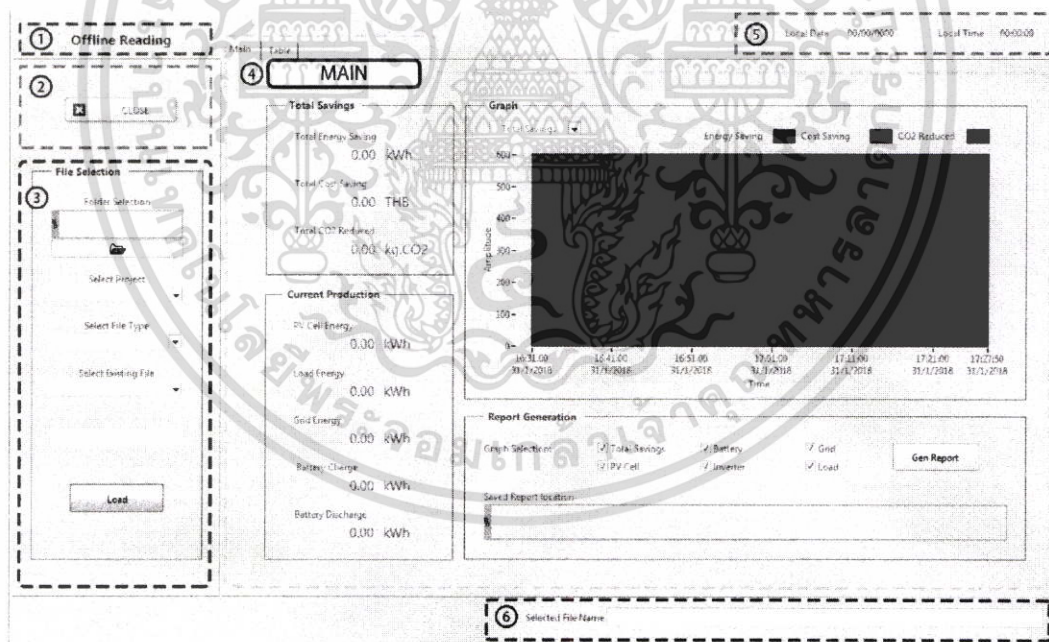
ช่อง Select Existing File สำหรับเลือกชื่อไฟล์ที่ต้องการ

หมายเลข 4 หน้าต่างการแสดงผลซึ่งแบ่งเป็น 2 หน้าต่างย่อย

Main และ Table

หมายเลข 5 แสดงวันที่และเวลาขณะที่กำลังรันในโหมดนี้

หมายเลข 6 แสดงตำแหน่งของไฟล์ที่กำลังเรียกอ่าน



รูปที่ 4.28 หน้าต่างส่วนออฟไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหน้าต่างของส่วนออฟไลน์จะแบ่งออกเป็น 2 หน้าต่างย่อยเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานและให้สอดคล้องกับลักษณะการทำงานที่ได้ออกแบบและเขียนบล็อกโคดอะแกรมไว้ ซึ่งประกอบด้วยหน้าต่าง Main และหน้าต่าง Table

ก. Main

หน้าต่างย่อย Main ดังแสดงในรูปที่ 4.29 นั้นจะใช้ในการแสดงผลข้อมูลพารามิเตอร์ 3 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลพารามิเตอร์ส่วน Total Savings ข้อมูลพารามิเตอร์ส่วน Current Production และข้อมูลพารามิเตอร์ในรูปแบบกราฟ

หมายเลข 1 แสดงพารามิเตอร์ในส่วน Total Savings

Total Energy Savings การประหยัดพลังงาน

Total Cost Savings การประหยัดค่าใช้จ่าย

Total CO2 Reduction การลดการเกิด CO2

หมายเลข 2 แสดงพารามิเตอร์ในส่วน Current Production ซึ่งเป็นข้อมูลล่าสุดที่บันทึกไว้

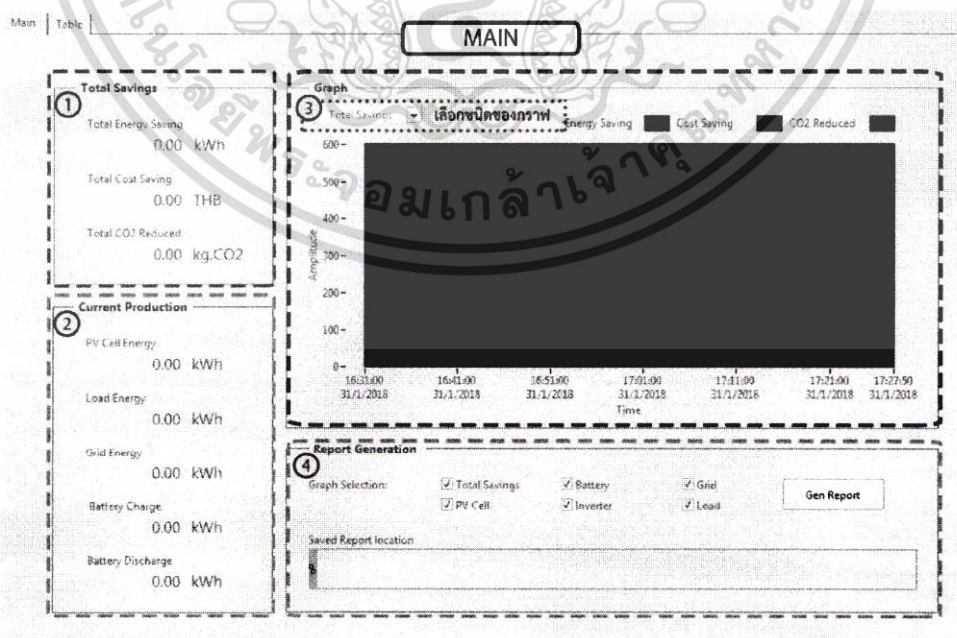
PV Cell Energy พลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้

Battery Charge พลังงานที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่

Battery Discharge พลังงานที่ดึงมาใช้จากแบตเตอรี่

Grid Energy พลังงานที่ใช้จากยูทิลิตี้

Load Energy พลังงานที่นำไปจ่ายให้กับโหลด



รูปที่ 4.29 หน้าต่างย่อย Main

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 3 แสดงพารามิเตอร์แบบกราฟ

สามารถเลือกชนิดของกราฟที่จะแสดงได้ ประกอบด้วย

Total Savings แสดงกราฟของพารามิเตอร์ที่กล่าวถึงด้านบน

PV Cell แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงาน

Battery แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงาน

Inverter แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงาน

Grid แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงาน

Load แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและพลังงาน

ข. Table

หน้าต่างย่อย Table ดังแสดงในรูปที่ 4.30 นั้นจะใช้ในการแสดงผลข้อมูลพารามิเตอร์ชุดล่าสุดรวมทุกโคลเอนต์ และพารามิเตอร์แบบตาราง

หมายเลข 1 แสดงข้อมูลพารามิเตอร์ชุดล่าสุดรวมของทุกโคลเอนต์

หมายเลข 2 แสดงข้อมูลพารามิเตอร์แบบตาราง

The screenshot shows a 'Table' window with two main sections. Section 1 is a summary table of energy metrics. Section 2 is a data table with columns for IP Address, Latitude/Longitude, Date, Time, Energy Saving, Last Saving, CO2 Reduced, Lighting Status, and PV Cell.

Table					
Total Energy Saving	11.91 kWh	PV Cell Power	100 W	Battery Energy	1.01 kWh
Total Energy Consumed	0.24 kWh	Battery Power	0.24 W	Battery Charge	9.55 kWh
Total CO2 Reduced	0.37 kg CO2	Inverter Power	1.00 W	Battery Discharge	1.01 kWh
		Grid Power	0.00 W	Inverter Energy	0.01 kWh
		Load Power	0.00 W	Grid Energy	0.00 kWh
		Loss Power	0.00 W	Load Energy	1.00 kWh

IP Address	Latitude/Longitude	Date	Time	Energy Saving	Last Saving	CO2 Reduced	Lighting Status	PV Cell
DE, MM, yyyy	mm, yyyy	mm, yyyy	hh:mm	kWh	kWh	kg CO2	ON (1) or OFF (0)	Voltage (V) / DC Current (A) / Power (W) / Ene

รูปที่ 4.30 หน้าต่างย่อย Table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดสอบแพลตฟอร์มที่ออกแบบ

ในบทนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดในการทดสอบแพลตฟอร์มที่ออกแบบไว้ รวมถึงแสดงผลการทดสอบซึ่งแบ่งออกตามฟังก์ชันการทำงานของแพลตฟอร์มออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

- 5.1 การทดสอบการทำงานของส่วนไคลเอนต์
- 5.2 การทดสอบการทำงานของส่วนเซิร์ฟเวอร์
 - 5.2.1 การทดสอบการทำงานของส่วนเรียลไทม์
 - 5.2.1.1 ส่วนการเชื่อมต่อ TCP/IP
 - 5.2.1.2 ส่วนการตรวจสอบหมายเลขไอพี
 - 5.2.1.3 ส่วนควบคุมแบบเรียลไทม์
 - 5.2.1.4 ส่วนตรวจวัดแบบเรียลไทม์
 - 5.2.2 การทดสอบการทำงานของส่วนออฟไลน์
 - 5.2.2.1 ส่วนเรียกอ่านข้อมูลแบบออฟไลน์
 - 5.2.2.2 ส่วนการวิเคราะห์จัดการข้อมูล
 - 5.2.2.3 ส่วนการแสดงผลข้อมูล
 - 5.2.2.4 ส่วนสร้างเอกสารรายงานสรุป
 - 5.2.3 สรุปและวิเคราะห์การทำงานของเซิร์ฟเวอร์
 - 5.2.3.1 พื้นที่การเก็บข้อมูล
 - 5.2.3.2 ประสิทธิภาพในการถ่ายโอนข้อมูล

5.1 การทดสอบการทำงานของส่วนไคลเอนต์

การทดสอบไคลเอนต์ในส่วนนี้จะเป็นการทดสอบฟังก์ชันการส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายเพื่อไว้ใช้ทดสอบการทำงานแบบเรียลไทม์ของแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์ ในขั้นต้นจะสร้างไคลเอนต์โดยใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการจำลองชุดข้อมูลของพารามิเตอร์ไฟถนนทั้งหมด 3 ชุด โดยที่หนึ่งไคลเอนต์จะจำลองหนึ่งชุดข้อมูล และส่งข้อมูลพารามิเตอร์เหล่านั้นออกไปยังเครือข่ายอย่างต่อเนื่องทุกๆ 10 วินาที ซึ่งค่าที่ใช้ในการจำลองจะเกิดจากการสุ่มโดยมีลักษณะคล้ายกับค่าจริง

ในการจำลองชุดข้อมูลและส่งไปยังเครือข่าย ชุดข้อมูลที่ส่งออกนั้นจะเป็นข้อมูลแบบ text หรือข้อมูลแบบ string และได้กำหนดให้ชุดไคลเอนต์เริ่มหัวข้อมูลด้วยตัวอักษร ss ตามด้วยชุดของข้อมูลที่แยกแต่ละพารามิเตอร์ด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) และปิดท้ายด้วย ;; เพื่อแสดงการจบหนึ่งชุดข้อมูล ดังที่กล่าวไว้ในบทก่อนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยชุดข้อมูลจำลองที่ส่งออกของทั้งสามโคลเอนต์จะมีลักษณะดังนี้

ข้อมูลโคลเอนต์ที่ 1 หมายเลขไอพี 192.168.1.140

ss192.168.1.140,13.729724,100.776917,3/10/2017,12:38:10,75.00,300.00,42.00,0,35.5,6.8,241.4,100.00,12.2,3.9,47.4,-85.00,80.00,226.00,0.25,56.73,49.40,0.97,1.71,12.70,75.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,56.73,75.00;;;

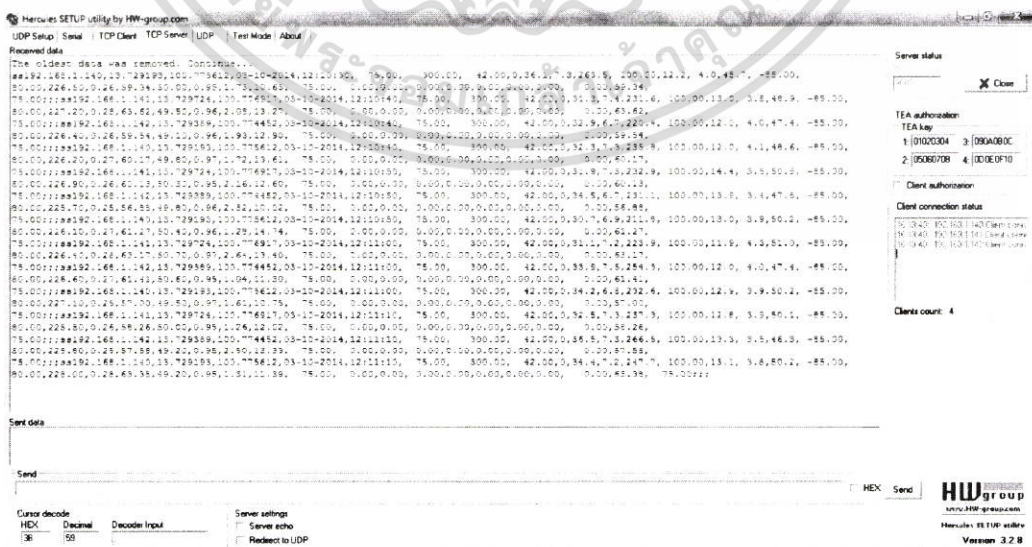
ข้อมูลโคลเอนต์ที่ 2 หมายเลขไอพี 192.168.1.141

ss192.168.1.141,13.729389,100.774452,3/10/2017,12:38:10,75.00,300.00,42.00,0,33.9,7.5,254.3,100.00,13.8,3.5,47.8,-85.00,80.00,227.20,0.28,62.48,49.80,0.95,2.63,14.42,75.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,62.48,75.00;;;

ข้อมูลโคลเอนต์ที่ 3 หมายเลขไอพี 192.168.1.142

ss192.168.1.142,13.729724,100.776917,3/10/2017,12:38:10,75.00,300.00,42.00,0,30.9,7.2,222.5,100.00,13.5,3.4,46.3,-85.00,80.00,227.10,0.26,58.36,49.20,0.96,1.42,11.30,75.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,58.36,75.00;;;

การทดสอบการส่งข้อมูลของโคลเอนต์ทำได้โดยใช้ Hercules SETUP utility จาก HW Group ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ฟรีที่รองรับการใช้งานการสื่อสารระหว่างโคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ผ่านโปรโตคอล TCP/IP และรูปที่ 5.1 แสดงการรับข้อมูลโดย Hercules ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์และเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายเดียวกันกับโคลเอนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโคลเอนต์จำลองสามารถจำลองพารามิเตอร์และส่งออกข้อมูลไปยังเครือข่ายทุกๆ 10 วินาทีได้



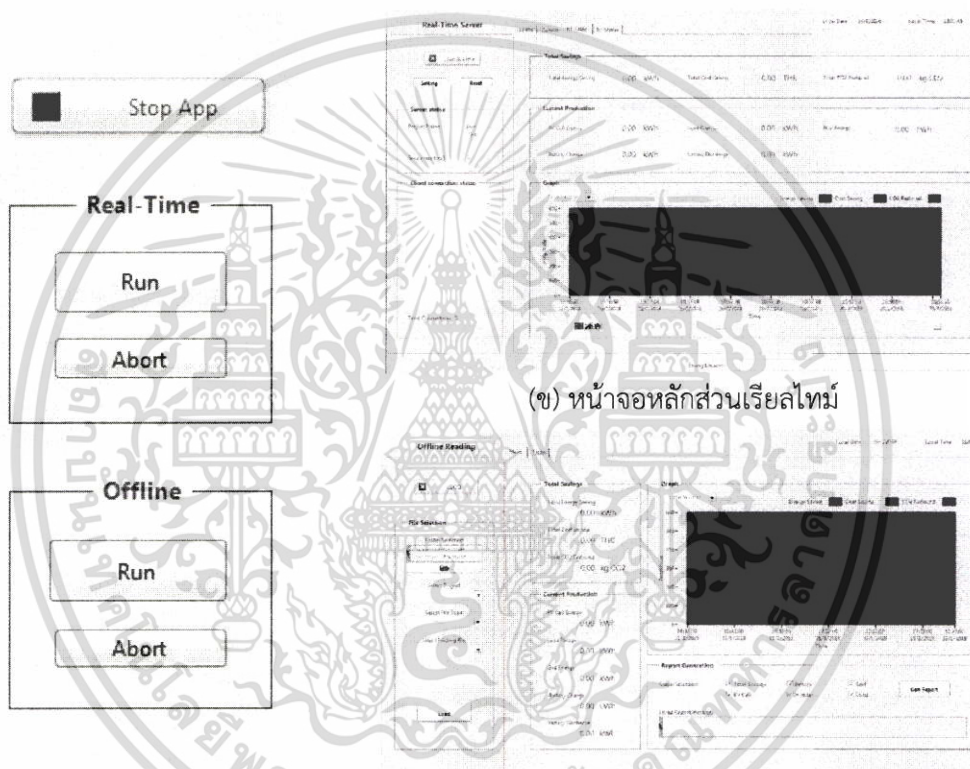
รูปที่ 5.1 โปรแกรม Hercules ในการตรวจสอบโคลเอนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดสอบการทำงานของส่วนเซิร์ฟเวอร์

เมื่อเริ่มต้นเรียกใช้งานเซิร์ฟเวอร์จะปรากฏหน้าจอหลักขึ้นมาให้ผู้เลือกใช้โหมดการทำงานของเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งแบ่งเป็นโหมดเรียลไทม์ โหมดออฟไลน์ หยุดการทำงานโหมดเรียลไทม์ หยุดการทำงานโหมดออฟไลน์ และออกจากโปรแกรมได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 (ก) – (ค)

สำหรับการทดสอบในส่วนนี้จะใช้งานโคลเอนต์ที่ออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการจำลองชุดข้อมูลของพารามิเตอร์ไฟถนนทั้งหมด 3 ต้นและส่งข้อมูลเหล่านั้นออกไปยังเครือข่ายอย่างต่อเนื่อง ทีละหนึ่งชุดข้อมูล ทุกๆ 10 วินาที



(ก) หน้าจอหลักส่วนเรียลไทม์

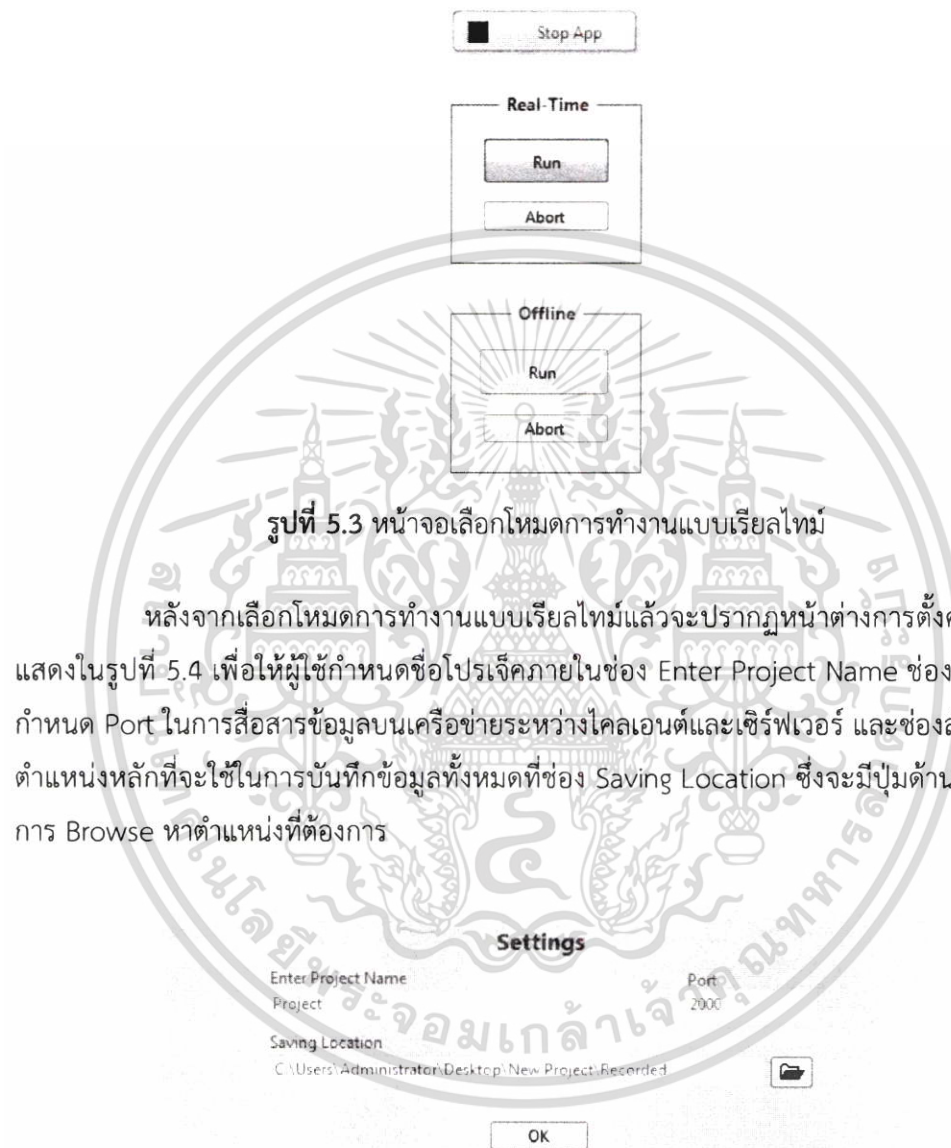
(ก) หน้าจอเลือกโหมดการทำงาน (ค) หน้าจอหลักส่วนออฟไลน์

รูปที่ 5.2 หน้าจอหลักทั้งสามส่วนของเซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 การทดสอบการทำงานของส่วนเรียลไทม์

กระบวนการทำงานของส่วนเรียลไทม์จะเริ่มต้นเมื่อได้กดปุ่ม Run ของส่วนเรียลไทม์ในหน้าจอเลือกโหมดการทำงานแสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 หน้าจอเลือกโหมดการทำงานแบบเรียลไทม์

หลังจากเลือกโหมดการทำงานแบบเรียลไทม์แล้วจะปรากฏหน้าต่างการตั้งค่าเริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 5.4 เพื่อให้ผู้ใช้กำหนดชื่อโปรเจกต์ภายในช่อง Enter Project Name ช่องสำหรับการกำหนด Port ในการสื่อสารข้อมูลบนเครือข่ายระหว่างโคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ และช่องสำหรับเลือกตำแหน่งหลักที่จะใช้ในการบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่ช่อง Saving Location ซึ่งจะมีปุ่มด้านข้างสำหรับการ Browse หาตำแหน่งที่ต้องการ

รูปที่ 5.4 หน้าต่างการตั้งค่าเริ่มต้น

หลังจากกดปุ่ม OK เซิร์ฟเวอร์จะทำการสร้างโฟลเดอร์หลักและโฟลเดอร์ย่อย ณ ตำแหน่งหลักที่ผู้ใช้ได้เลือกไว้โดยอัตโนมัติ ซึ่งการสร้างโฟลเดอร์จะแบ่งออกเป็น 5 โฟลเดอร์ย่อย คือ โฟลเดอร์สำหรับบันทึกข้อมูลข้อมูลรายวัน โฟลเดอร์สำหรับบันทึกข้อมูลข้อมูลรายเดือน โฟลเดอร์สำหรับบันทึกข้อมูลข้อมูลรายปี โฟลเดอร์สำหรับบันทึกข้อมูลข้อมูลดิบ และโฟลเดอร์สำหรับบันทึกข้อมูลกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างในรูปที่ 5.5 ตำแหน่งที่เลือกไว้ในการสร้างโฟลเดอร์สำหรับบันทึกข้อมูลคือ C:\Users\Administrator\Desktop\New Project\Recorded โดยที่การสร้างโฟลเดอร์หลักจะใช้ชื่อจาก Project Name และปีค.ศ. ขณะที่กำลังใช้งาน ดังนั้นชื่อโปรเจกต์ที่กำหนดคือ Project และโฟลเดอร์หลักจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ชื่อ Project_2018 และในส่วนของทั้ง 5 โฟลเดอร์ย่อยจะมีชื่อโฟลเดอร์ดังนี้

- Annual_Project_2018
- Monthly_Project_2018
- Daily_Project_2018
- Backup_Project_2018
- Graph_Project_2018

C:\Users\Administrator\Desktop\New Project\Recorded\Project_2018

- ✓ Project_2018
 - ✓ Annual_Project_2018
 - ✓ Backup_Project_2018
 - ✓ Daily_Project_2018
 - ✓ Graph_Project_2018
 - ✓ Monthly_Project_2018

รูปที่ 5.5 โฟลเดอร์สำหรับการบันทึกข้อมูล

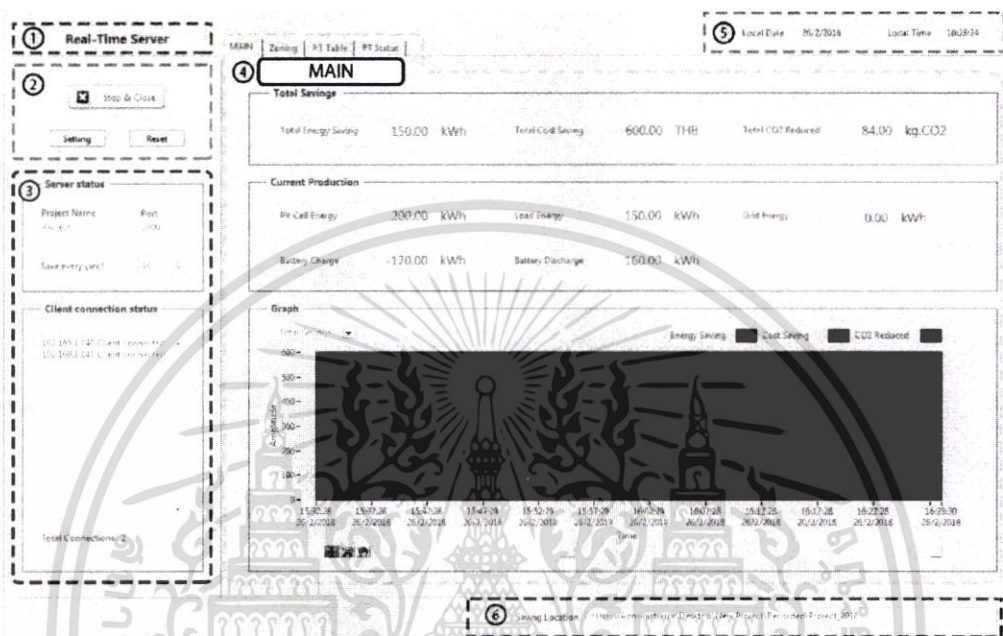
จากนั้นในขณะที่เดียวกับที่มีการสร้างโฟลเดอร์ จะปรากฏหน้าต่างหลักของส่วนเรียลไทม์ ดังรูปที่ 5.6 ในส่วนของหมายเลข 3 ทางด้านซ้ายจะแสดงสถานะของเซิร์ฟเวอร์และโคลเอนต์ที่เชื่อมต่ออยู่ ส่วนของหมายเลข 4 ทางด้านขวาจะประกอบด้วยส่วนแสดงผลและส่วนควบคุมซึ่งแบ่งเป็น 4 หน้าต่างย่อยคือ หน้าต่างย่อย Main, หน้าต่างย่อย Zoning, หน้าต่างย่อย RT Table และหน้าต่างย่อย RT Status

โดยที่สามารถจัดกลุ่มการทำงานของแต่ละหน้าต่างย่อยได้ตามที่ได้แบ่งไว้ในการเขียนโค้ด ในบทที่แล้ว ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

- ส่วนการเชื่อมต่อ TCP/IP
- ส่วนการตรวจสอบหมายเลขไอพี
- ส่วนการรับข้อมูล หรือ ส่วนการตรวจวัดและแสดงผลแบบเรียลไทม์
- ส่วนการส่งข้อมูล หรือ ส่วนการควบคุมแบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งฟังก์ชันการทำงานในแต่ละหน้าต่างย่อยจะถูกจัดไว้ในกลุ่มการทำงานที่ต่างกัน โดยที่หน้าต่างย่อย Main, หน้าต่างย่อย RT Table และหน้าต่างย่อย RT Status ทั้งสามหน้าต่างย่อยนี้จะอยู่ในส่วนของการตรวจวัดและแสดงผลแบบเรียลไทม์ ส่วนหน้าต่างย่อย Zoning จะอยู่ในส่วนการควบคุมแบบเรียลไทม์



รูปที่ 5.6 หน้าจอหลักของส่วนเรียลไทม์

5.2.1.1 ส่วนการเชื่อมต่อ TCP/IP

การเชื่อมต่อเครือข่ายผ่านโปรโตคอล TCP/IP นั้นจะเริ่มตั้งแต่ผู้ใช้กดปุ่ม OK ในหน้าต่างการตั้งค่าเริ่มต้นแสดงในรูปที่ 5.4 เนื่องจากสิ่งที่โปรแกรมที่ออกแบบต้องการคือหมายเลข Port ที่จะใช้ในการเปิดช่องทางการสื่อสารระหว่างไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ จากนั้นจึงเป็นการทำงานของเซิร์ฟเวอร์ในส่วนการตรวจสอบหมายเลขไอพีที่เชื่อมต่อเข้ามาของไคลเอนต์

หากต้องการเปลี่ยนหมายเลข Port ในการสื่อสารสามารถทำได้โดยการกดปุ่ม Setting ดังแสดงไว้ในส่วนหมายเลข 2 ของรูปที่ 5.6

5.2.1.2 ส่วนการตรวจสอบหมายเลขไอพี

การตรวจสอบหมายเลขไอพีที่เชื่อมต่อเข้ามาของไคลเอนต์นี้จะแสดงหมายเลขไอพีของไคลเอนต์ทั้งหมด รวมถึงบอกจำนวนทั้งหมดของไคลเอนต์ที่เชื่อมต่ออยู่กับเครือข่ายแสดงดังรูปที่ 5.7 หรือในส่วนหมายเลข 3 ของรูปที่ 5.6

Server status	
Project Name	Port
Project	2000
Save every (sec)	10

Client connection status	
192.168.1.140	Client connected
192.168.1.141	Client connected
192.168.1.142	Client connected
Total Connections: 3	

รูปที่ 5.7 ส่วนแสดงสถานะโคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์

5.2.1.3 ส่วนควบคุมแบบเรียลไทม์ (Real-Time Controlling)

ในส่วนควบคุมแบบเรียลไทม์นี้ เมื่อเทียบกับในบทการเขียนบล็อกโคแอมจะอยู่ในส่วนของการส่งข้อมูล ดังนั้นจะแบ่งการแสดงการทำงานของส่วนนี้ออกเป็นสองส่วนคือการจัดแบ่งโซน และการส่งคำสั่งเพื่อควบคุมสถานะไฟถนน ซึ่งการใช้งานในส่วนนี้จะต้องเข้าไปที่หน้าต่างย่อย Zoning ดังแสดงในรูปที่ 5.8

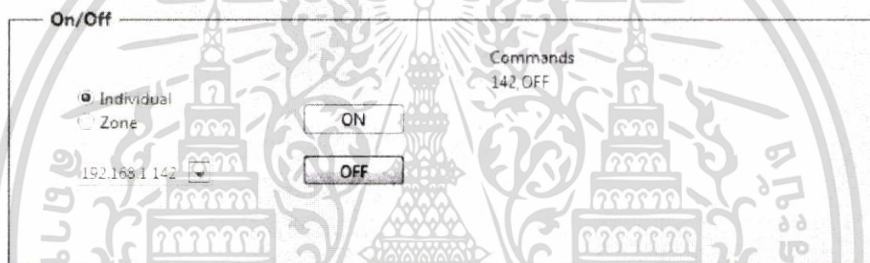
รูปที่ 5.8 หน้าต่างย่อย Zoning ของส่วนเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

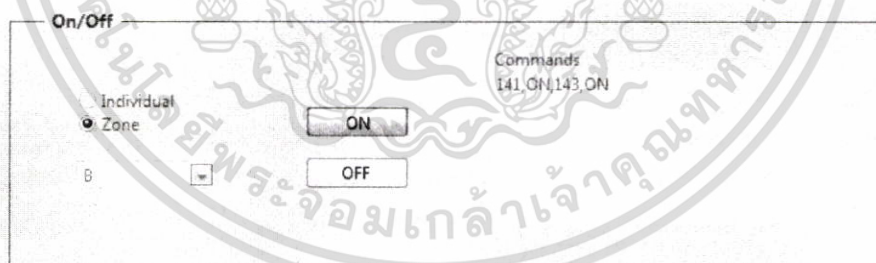
ในส่วนหมายเลข 1 คือส่วนที่ใช้ในการจัดกลุ่มโซน ซึ่งในการกำหนดโซนมีวิธีใช้งานคือ ในช่อง Total Zone ให้เลือกจำนวนโซนทั้งหมดที่ต้องการ และเลือกลำดับ IP No. ที่ต้องการจัดโซน ซึ่งจะแสดงหมายเลขไอพีจากลำดับที่เลือกในช่อง Selected IP จากนั้นเลือกโซนที่ต้องการจัดให้ไอพีนั้นในช่อง To Zone และจะแสดงชื่อใหม่จากการจัดโซน และเมื่อกดปุ่ม Add จะเป็นการเสร็จสิ้นการจัดโซนให้กับไอพีนั้น

ส่วนตารางในด้านขวาจะแสดงการจัดโซน ซึ่งจะปรับปรุงทันทีที่มีการกำหนดค่า และปุ่ม Clear Zone มีไว้ในกรณีที่ต้องการล้างการจัดโซนทั้งหมด

และหมายเลข 2 คือส่วนที่ใช้ส่งชุดคำสั่งเพื่อไปควบคุมการเปิด-ปิดของไฟถนน โดยจะสามารถสั่งการควบคุมได้ทั้งแบบเดี่ยวดังแสดงในรูปที่ 5.9 และการควบคุมทั้งโซนดังแสดงในรูปที่ 5.10 เซิร์ฟเวอร์จะส่งชุดคำสั่งที่แสดงในแถบ Commands ไปสู่เครือข่ายเพื่อให้โคลเอนต์สามารถรับและทำงานตามคำสั่งที่ได้

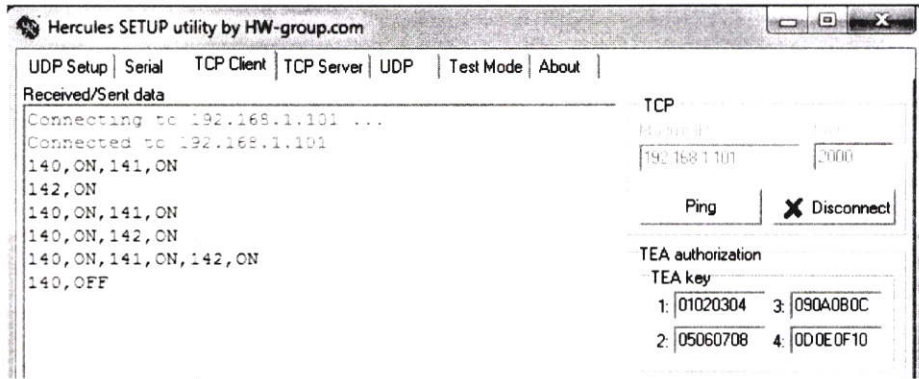


รูปที่ 5.9 การควบคุมแบบเดี่ยว



รูปที่ 5.10 การควบคุมแบบโซน

สำหรับการทดสอบส่วนควบคุมการเปิด-ปิดไฟถนนของแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์นี้ จะใช้ซอฟต์แวร์ฟรี Hercules ในการทำงานเป็นโคลเอนต์ เพื่อตรวจสอบการส่งคำสั่งจากแพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์ และตัวอย่างของคำสั่งการควบคุมการเปิด-ปิดซึ่งมีทั้งการควบคุมแบบเดี่ยวและการควบคุมแบบโซนที่ Hercules รับมาจากเซิร์ฟเวอร์จะแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 โปรแกรม Hercules ในการตรวจสอบเซิร์ฟเวอร์

5.2.1.4 ส่วนตรวจวัดแบบเรียลไทม์ (Real-Time Monitoring)

ในส่วนตรวจวัดแบบเรียลไทม์นี้ เมื่อเทียบกับในบทการเขียนบล็อกโดยแอมจะอยู่ในส่วนของการรับข้อมูล ดังนั้นจะแบ่งการแสดงผลการทำงานของส่วนนี้ออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนแสดงผลข้อมูล และส่วนบันทึกข้อมูล

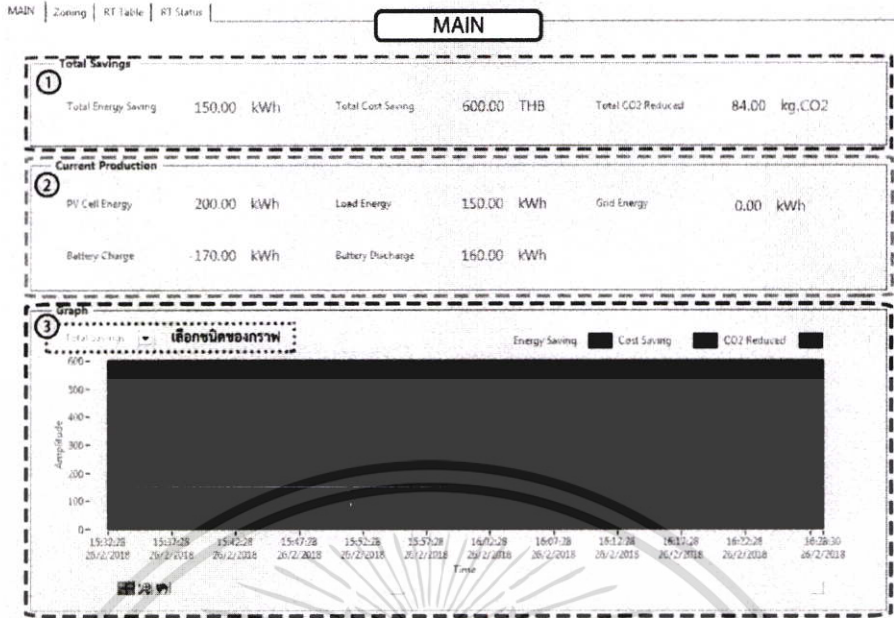
ก. ส่วนวิเคราะห์ข้อมูล

ในการรับข้อมูลจากหลายๆ โคลเอนต์เข้ามาอย่างต่อเนื่อง เซิร์ฟเวอร์จะต้องทำการแยกข้อมูลของโคลเอนต์แต่ละชุดออกจากกัน รวมถึงการแยกพารามิเตอร์ในแต่ละชุดข้อมูลที่รับมา และนำไปแสดงผลต่อในส่วนแสดงผลข้อมูล

ข. ส่วนแสดงผลข้อมูล

ในส่วนนี้จะเป็นการรับข้อมูลเพื่อนำไปประมวลผลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการแสดงผลหลังจากวิเคราะห์ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นข้อมูล 4 ชนิด ได้แก่ ข้อมูลแบบรวมล่าสุด ข้อมูลแบบตาราง ข้อมูลแบบกราฟ และข้อมูลสถานะไฟถนน ซึ่งจะแสดงไว้ในหน้าต่างย่อยทั้งสามคือ หน้าต่างย่อย Main, หน้าต่างย่อย RT Table และหน้าต่างย่อย RT Status แสดงดังรูปที่ 5.12, 5.14 และ 5.15 ตามลำดับ

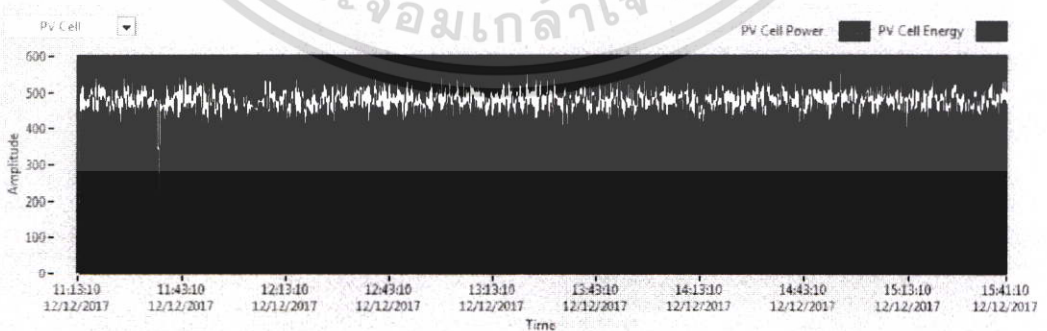
จากรูปที่ 5.12 ในส่วนหมายเลข 1 และหมายเลข 2 จะเป็นการนำพารามิเตอร์ล่าสุดของแต่ละพารามิเตอร์จากทุกโคลเอนต์มารวมกันก่อนและนำมาแสดงผลโดยที่หมายเลข 1 จะเป็นพารามิเตอร์ในส่วนของ Total Savings และหมายเลข 2 เป็นพารามิเตอร์ในส่วนของ Current Productions ส่วนในหมายเลข 3 เป็นการแสดงผลพารามิเตอร์ในรูปแบบกราฟ 6 ชนิด โดยจะสามารถเลือกการแสดงผลกราฟได้ที่ช่อง drop down สำหรับเลือกชนิดของกราฟซึ่งได้แก่ กราฟ Total Savings, PV Cell, Battery, Inverter, Grid และ Load ดังแสดงในรูปที่ 5.13 (ก) - (ฉ) ตามลำดับ



รูปที่ 5.12 หน้าต่างย่อย Main ของส่วนเรียลไทม์

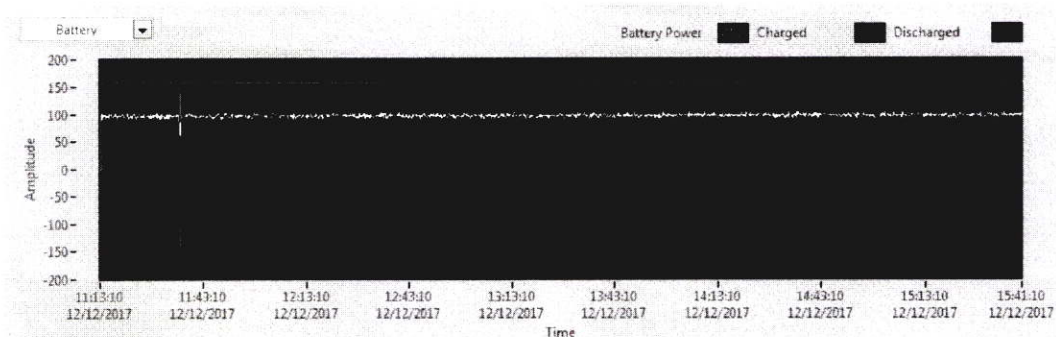


(ก) กราฟ Total Savings



(ข) กราฟ PV Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



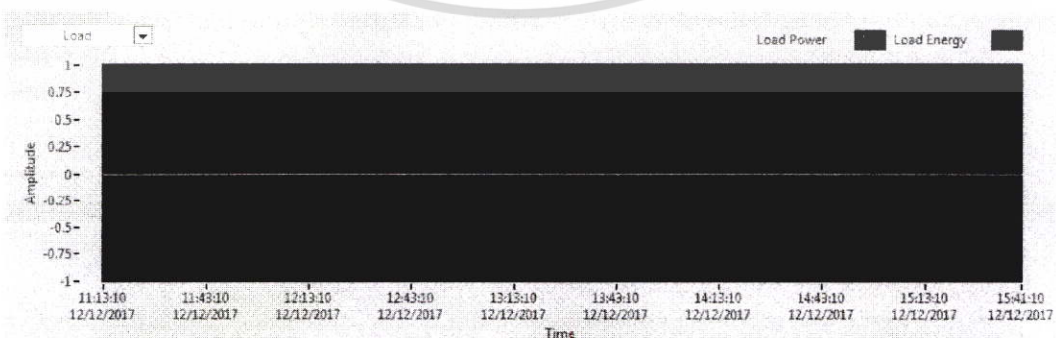
(ค) กราฟ Battery



(ง) กราฟ Inverter



(จ) กราฟ Grid



(ฉ) กราฟ Load

รูปที่ 5.13 หน้าต่างแสดงกราฟของส่วนเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAIN		Zoning	RT Table	RT Status					
RT Table									
①	Total Energy Saving	130.00	kWh	PV Cell Power	452.60	W	PV Cell Energy	900.00	kWh
	Total Cost Saving	690.00	THB	Battery Power	101.30	W	Battery Charge	170.00	kWh
	Total CO ₂ Reduced	04.00	kg.CO ₂	Inverter Power	113.82	W	Battery Discharge	160.00	kWh
				Grid Power	0.00	W	Inverter Energy	150.00	kWh
				Load Power	113.82	W	Grid Energy	0.00	kWh
							Load Energy	150.00	kWh
②	IP Address	Latitude Longitude	Date	Time	Energy Saving (kWh)	Cost Saving (THB)	CO ₂ Reduction (kg.CO ₂)	Lighting Status	% On
			DD-MM-YY	HH:MM:SS				ON/OFF/1-3	(DC Voltage) (DC Current (A)) (Power (W))
1	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
2	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
3	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
4	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
5	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
6	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
7	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
8	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
9	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
10	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
11	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
12	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
13	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
14	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
15	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
16	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
17	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
18	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
19	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
20	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
21	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
22	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
23	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0
24	192.168.1.141	13.729724 100.776517	1-10-2017	13:07:40	75.00	300.00	42.00	0	0.0 0.0 0.0

รูปที่ 5.14 หน้าต่างย่อย RT Table ของส่วนเรียลไทม์

MAIN		Zoning	RT Table	RT Status											
RT Status															
①	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF

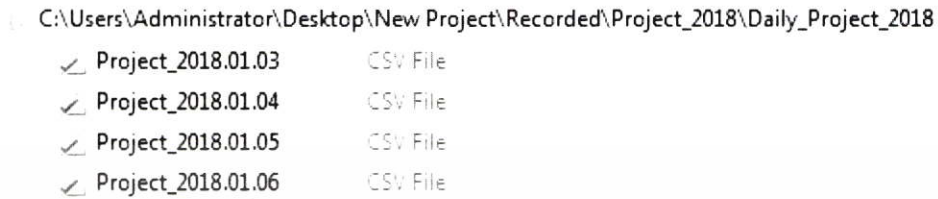
รูปที่ 5.15 หน้าต่างย่อย RT Status ของส่วนเรียลไทม์

ค. ส่วนบันทึกข้อมูล

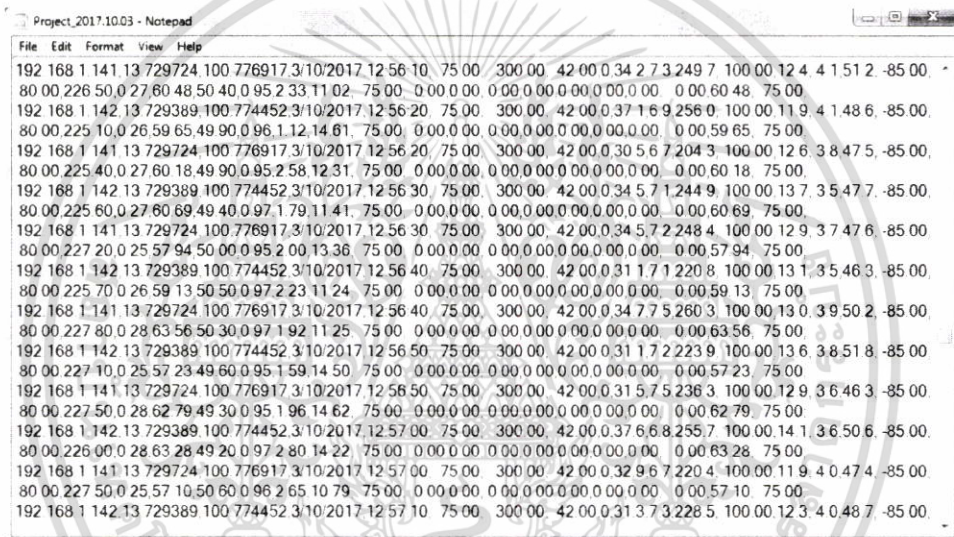
ในขณะที่มีการรับข้อมูลเข้ามาอย่างต่อเนื่องจะทำการบันทึกข้อมูลตลอดเวลา ต่อเนื่องเช่นกัน และไฟล์ที่ทำการบันทึกจะมีสกุล .csv ซึ่งเป็นการบันทึกแบบแยกข้อมูลด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) โดยจะแบ่งการบันทึกข้อมูลออกเป็น 5 ชนิดได้แก่ ข้อมูลรายวัน ข้อมูลรายเดือน ข้อมูลรายปี ข้อมูลติบรายเดือน และข้อมูลกราฟรายวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

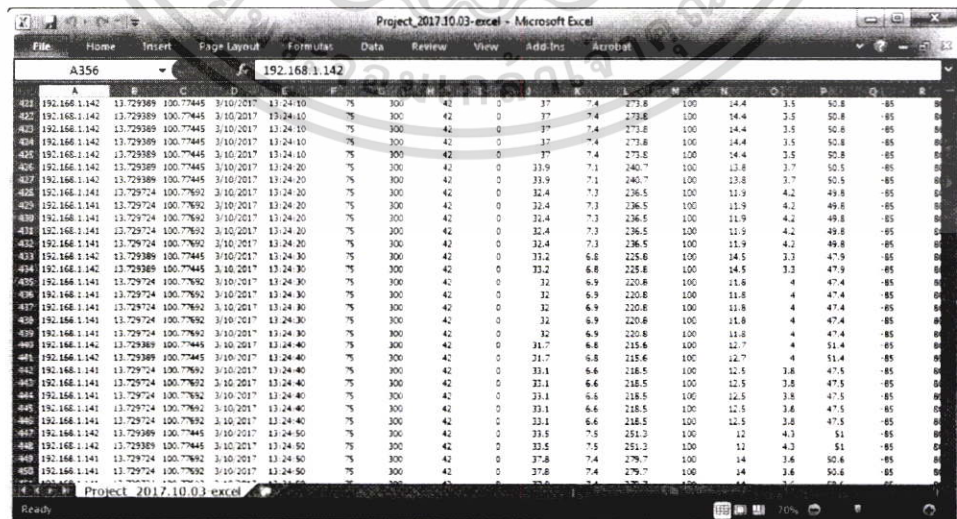
ตำแหน่งของการบันทึกข้อมูลแบบรายวันและรายการไฟล์ที่บันทึกแสดงดังรูปที่ 5.16 และตัวอย่างของไฟล์ที่บันทึกในสกุล .csv เมื่อเปิดด้วยโปรแกรม Notepad และโปรแกรม Microsoft Excel แสดงดังรูปที่ 5.17 และ 5.18 ตามลำดับ



รูปที่ 5.16 ตัวอย่างรายการไฟล์บันทึกข้อมูลรายวัน



รูปที่ 5.17 ตัวอย่างของไฟล์ .csv เปิดด้วย Notepad



รูปที่ 5.18 ตัวอย่างของไฟล์ .csv เปิดด้วย Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกสำหรับข้อมูลแบบรายวัน รายเดือน รายปี และ ข้อมูลดิบนั้น จะสามารถแบ่งออกเป็น 7 หมวดหมู่ ได้แก่ พารามิเตอร์ข้อมูลโคลเอนต์ไฟถนน พารามิเตอร์ในหมวด Total Savings, PV Cell, Battery, Inverter, Grid และ Load และ พารามิเตอร์ที่จะทำการบันทึกของแต่ละหมวดหมู่จะแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกสำหรับข้อมูลแบบรายวัน รายเดือน รายปี และข้อมูลดิบ

หมวดหมู่	พารามิเตอร์ที่บันทึก
ข้อมูลโคลเอนต์ไฟถนน	<ul style="list-style-type: none"> - IP Address - Geolocation (Latitude, Longitude) - Date, Time - Lighting Status (On/Off)
Total Savings	<ul style="list-style-type: none"> - Energy Saving (kWh) - CO₂ Reduced (kg.CO₂) - Cost Saving (THB) - Lighting Status (On/Off)
PV Cell	<ul style="list-style-type: none"> - Voltage (V) - Power (kW) - Current (A) - Energy (kWh)
Battery	<ul style="list-style-type: none"> - Voltage (V) - Charged Energy (kWh) - Current (A) - Discharged Energy (kWh) - Power (kW)
Inverter	<ul style="list-style-type: none"> - Voltage (V) - THD_v (%) - Current (A), Power (kW) - THD_i (%) - Frequency (Hz) - Energy (kWh) - Power Factor (P.F.)
Grid	<ul style="list-style-type: none"> - Voltage (V) - THD_v (%) - Current (A), Power (kW) - THD_i (%) - Frequency (Hz) - Energy (kWh) - Power Factor (P.F.)
Load	<ul style="list-style-type: none"> - Power (kW) - Energy (kWh)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกสำหรับข้อมูลแบบกราฟนั้น จะสามารถแบ่งออกเป็น 6 หมวดหมู่ ได้แก่ พารามิเตอร์ในหมวด Total Savings, PV Cell, Battery, Inverter, Grid และ Load และพารามิเตอร์ที่จะทำการบันทึกของแต่ละหมวดหมู่จะแสดงในตารางที่ 5.2

เนื่องจากพารามิเตอร์ที่จะใช้แสดงข้อมูลกราฟนั้นเป็นการรวมข้อมูลพารามิเตอร์ของทุกไอพีในแต่ละพารามิเตอร์เข้าด้วยกัน จึงกลายเป็นพารามิเตอร์ค่ารวมของทุกไอพี เพื่อใช้แสดงผลภาพรวมการใช้พลังงาน ณ ขณะนั้นของระบบไฟถนน ดังนั้นพารามิเตอร์ที่จะนำมาบันทึกข้อมูลกราฟจึงเป็นข้อมูลคนละชุดกับพารามิเตอร์ที่ใช้บันทึกข้อมูลรายวัน รายเดือน รายปี และข้อมูลดิบที่กล่าวถึงในข้างต้น

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกสำหรับข้อมูลแบบกราฟ

หมวดหมู่	พารามิเตอร์ที่บันทึก
Total Savings	- Total Energy Saving (kWh) - Total Cost Saving (THB) - Total CO ₂ Reduced (kg.CO ₂)
PV Cell	- Power (kW) - Energy (kWh)
Battery	- Power (kW) - Charged Energy (kWh) - Discharged Energy (kWh)
Inverter	- Power (kW) - Energy (kWh)
Grid	- Power (kW) - Energy (kWh)
Load	- Power (kW) - Energy (kWh)

ตัวอย่างการนำข้อมูลในไฟล์การบันทึกข้อมูลแบบรายวันมาแสดงผลในรูปตาราง ซึ่งจะยกตัวอย่างของการทดสอบใช้งานโคลเอนต์ทีละ 1 IP, ทีละ 2 IP และทีละ 3 IP โดยที่โคลเอนต์ทั้ง 3 IP จะจำลองข้อมูลและส่งออกทุก 10 วินาที แสดงดังตารางที่ 5.3, 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ และในระหว่างการบันทึกผล ข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึกเรียงลำดับวันที่และเวลาตามที่เซิร์ฟเวอร์ทำการประมวลผลแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลของการทดสอบโคลเอนต์ที่ละ 1 IP

IP Address	Latitude	Longitude	Date	Time	Energy Cost		CO ₂	Lighting	PV Cell				Battery				Inverter					Grid					Load								
					Saving	Saving	Reduced	Status	V _{DC}	I _{DC}	P	Energy	V	I _{DC}	P	Energy	V _{DC}	I _{DC}	P	Freq.	THD _v	THD _i	Energy	V _{DC}	I _{DC}	P	Freq.	THD _v	THD _i	Energy	P	Energy			
					(kWh)	(THB)	(kg.CO ₂)	On (1) Off (0)	(V)	(A)	(W)	(kWh)	(V)	(A)	(W)	Charge (kWh)	Discharge (kWh)	(V)	(A)	(W)	(Hz)	P.F.	(%)	(%)	(kWh)	(V)	(A)	(W)	(Hz)	P.F.	(%)	(%)	(kWh)	(W)	(kWh)
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:00:00	75	300	42	0	36	7	252	100	13.1	3.6	47.6	-85	80	227.1	0.25	57.68	49.6	0.97	1.79	11.24	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.68	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:00:10	75	300	42	0	30.2	6.9	208.4	100	12.4	3.7	46.2	-85	80	227.9	0.27	60.85	49.1	0.95	2.77	14.73	75	0	0	0	0	0	0	0	0	60.85	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:00:20	75	300	42	0	35.9	6.9	247.7	100	13.1	3.8	50.2	-85	80	227.3	0.25	57.05	50.2	0.96	1.41	11.86	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.05	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:00:30	75	300	42	0	31.8	6.6	209.9	100	13.8	3.5	47.8	-85	80	227	0.26	58.11	50.8	0.96	2.54	14.86	75	0	0	0	0	0	0	0	0	58.11	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:00:40	75	300	42	0	36.5	6.7	244.5	100	13	3.8	48.9	-85	80	226.3	0.27	61.78	49.5	0.96	2.7	11.75	75	0	0	0	0	0	0	0	0	61.78	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:00:50	75	300	42	0	37.9	7.3	276.7	100	12.1	4	48.6	-85	80	227.4	0.25	57.76	50.5	0.96	1.45	10.97	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.76	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:01:00	75	300	42	0	34.8	7.2	250.6	100	14.5	3.3	47.9	-85	80	227.9	0.25	57.89	49.7	0.96	1.23	13.09	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.89	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:01:10	75	300	42	0	32.5	7.4	240.5	100	12.1	4.1	49.8	-85	80	227.3	0.26	59.1	50	0.95	1.87	10.22	75	0	0	0	0	0	0	0	0	59.1	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:01:20	75	300	42	0	35.3	7.5	264.8	100	12.6	4.1	51.3	-85	80	226.8	0.26	58.06	49.8	0.95	1.01	10.27	75	0	0	0	0	0	0	0	0	58.06	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:01:30	75	300	42	0	33.6	7.5	252	100	13.2	3.7	49	-85	80	226.7	0.26	58.04	50	0.95	1.77	10.56	75	0	0	0	0	0	0	0	0	58.04	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:01:40	75	300	42	0	34.9	6.9	240.8	100	13.9	3.7	51.9	-85	80	227.7	0.27	61.93	49.1	0.96	2.07	11.33	75	0	0	0	0	0	0	0	0	61.93	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:01:50	75	300	42	0	34.4	7.1	244.2	100	12.7	3.9	50.1	-85	80	225.9	0.26	58.28	49.3	0.97	1.66	12.58	75	0	0	0	0	0	0	0	0	58.28	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:02:00	75	300	42	0	30.4	7	212.8	100	14.1	3.4	47.8	-85	80	225.5	0.27	60.66	49.7	0.96	1.34	11.63	75	0	0	0	0	0	0	0	0	60.66	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:02:10	75	300	42	0	37.5	7.2	270	100	12.5	3.7	46.2	-85	80	226.2	0.26	59.94	50.9	0.96	2.55	13.84	75	0	0	0	0	0	0	0	0	59.94	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:02:20	75	300	42	0	35.6	7.3	259.9	100	13.8	3.8	51.9	-85	80	226.7	0.28	63.48	49.2	0.96	1.67	12.98	75	0	0	0	0	0	0	0	0	63.48	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:02:30	75	300	42	0	37.2	7.4	275.3	100	13.8	3.7	50.5	-85	80	226	0.26	59.21	50.8	0.97	1.58	13.98	75	0	0	0	0	0	0	0	0	59.21	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:02:40	75	300	42	0	38	6.6	250.8	100	11.7	4.3	50.9	-85	80	227.4	0.28	63.44	50.1	0.96	2.15	10.72	75	0	0	0	0	0	0	0	0	63.44	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:02:50	75	300	42	0	34.7	6.9	239.4	100	13.9	3.4	47.8	-85	80	225.9	0.27	61.9	50.8	0.97	2.31	10.29	75	0	0	0	0	0	0	0	0	61.9	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:03:00	75	300	42	0	31.7	6.9	218.7	100	12.5	3.8	47.5	-85	80	227.5	0.25	58.01	50.6	0.97	2.07	14.18	75	0	0	0	0	0	0	0	0	58.01	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:03:10	75	300	42	0	38	7.3	277.4	100	14.3	3.6	52.2	-85	80	227.3	0.26	60.23	49.6	0.96	3	14.07	75	0	0	0	0	0	0	0	0	60.23	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:03:20	75	300	42	0	31.6	6.8	214.9	100	12.5	4	50	-85	80	227.7	0.25	57.38	49.2	0.96	1.69	14.8	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.38	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	14:03:30	75	300	42	0	31.3	6.6	206.6	100	12.2	3.8	46.2	-85	80	227.9	0.27	62.22	49.5	0.96	3	12.6	75	0	0	0	0	0	0	0	0	62.22	75.00;

ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลของการทดสอบโคลเอนต์ทีละ 2 IP

IP Address	Latitude	Longitude	Date	Time	Energy Cost		CO ₂	Lighting		PV Cell				Battery				Inverter					Grid					Load							
					Saving	Cost		Reduced	Status	V _{DC}	I _{DC}	P	Energy	V	I _{DC}	P	Energy	V _{DC}	I _{DC}	P	Freq.	THD _v	THD _i	Energy	V _{DC}	I _{DC}	P	Freq.	THD _v	THD _i	Energy	P	Energy		
					(kWh)	(THB)	(kg.CO ₂)	On (1) Off (0)	(V)	(A)	(W)	(kWh)	(V)	(A)	(W)	Charge (kWh)	Discharge (kWh)	(V)	(A)	(W)	(Hz)	P.F.	(%)	(%)	(kWh)	(V)	(A)	(W)	(Hz)	P.F.	(%)	(%)	(kWh)	(W)	(kWh)
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:00:00	75	300	42	0	32.9	6.6	217.1	100	13.4	3.9	51.7	-85	80	226.5	0.28	62.51	50.1	0.96	2.5	14.12	75	0	0	0	0	0	0	0	0	62.51	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:00:00	75	300	42	0	30.4	7.4	225	100	11.9	4.1	48.6	-85	80	227.1	0.25	57.23	49.6	0.97	2.47	11.55	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.23	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:00:10	75	300	42	0	36.5	7.3	266.5	100	14.2	3.4	47.8	-85	80	226.8	0.25	56.93	50.7	0.95	2.54	12.25	75	0	0	0	0	0	0	0	0	56.93	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:00:10	75	300	42	0	31.7	7.4	234.6	100	12.5	3.9	48.8	-85	80	225.4	0.28	62.66	49.1	0.96	2.98	12.71	75	0	0	0	0	0	0	0	0	62.66	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:00:20	75	300	42	0	31.3	6.7	209.7	100	14	3.3	46.4	-85	80	227.9	0.25	57.2	49.6	0.96	2.24	14.66	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.2	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:00:20	75	300	42	0	33.7	6.8	229.2	100	12	4.3	51	-85	80	227.2	0.25	57.71	50.4	0.95	1.09	12.78	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.71	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:00:30	75	300	42	0	32	6.7	214.4	100	13.6	3.6	49.1	-85	80	227	0.26	59.47	49.9	0.96	2.72	12.67	75	0	0	0	0	0	0	0	0	59.47	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:00:30	75	300	42	0	32.1	7.5	240.7	100	14.4	3.4	49.3	-85	80	227.3	0.25	57.96	49.7	0.97	2.36	11.49	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.96	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:00:40	75	300	42	0	37.8	6.6	249.5	100	12.1	4.2	51.1	-85	80	226.3	0.28	62.91	49.7	0.97	1.97	13.25	75	0	0	0	0	0	0	0	0	62.91	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:00:40	75	300	42	0	35.2	7.1	249.9	100	13.8	3.4	46.4	-85	80	226.7	0.26	58.04	50.2	0.95	1.31	12.53	75	0	0	0	0	0	0	0	0	58.04	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:00:50	75	300	42	0	36.5	7.3	266.5	100	13.2	3.9	51.6	-85	80	227.4	0.27	61.4	49.6	0.97	1.7	13.33	75	0	0	0	0	0	0	0	0	61.4	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:00:50	75	300	42	0	34.3	7	240.1	100	13	3.6	46.3	-85	80	227.3	0.27	60.92	49.3	0.95	2.2	10.16	75	0	0	0	0	0	0	0	0	60.92	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:01:00	75	300	42	0	32.1	7.4	237.5	100	13	3.6	46.3	-85	80	226.4	0.27	60.9	50.6	0.97	1.68	13.43	75	0	0	0	0	0	0	0	0	60.9	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:01:00	75	300	42	0	33.4	7.3	243.8	100	12.8	3.8	48.8	-85	80	227.6	0.28	63.05	49.5	0.95	1.44	13.51	75	0	0	0	0	0	0	0	0	63.05	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:01:10	75	300	42	0	32.8	7.5	246	100	12.6	3.9	48.8	-85	80	227.7	0.28	63.76	49.7	0.95	2.48	14.12	75	0	0	0	0	0	0	0	0	63.76	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:01:10	75	300	42	0	34.7	6.9	239.4	100	12.4	3.9	48.7	-85	80	225.5	0.27	59.98	50.5	0.95	1.88	14.31	75	0	0	0	0	0	0	0	0	59.98	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:01:20	75	300	42	0	30.2	7.2	217.4	100	12.4	3.7	46.2	-85	80	225.6	0.27	61.14	50.6	0.97	2.92	13.72	75	0	0	0	0	0	0	0	0	61.14	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:01:20	75	300	42	0	33.7	7.2	242.6	100	11.7	3.9	46.2	-85	80	226.5	0.25	57.53	49.3	0.97	2.82	12.3	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.53	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:01:30	75	300	42	0	33.1	6.6	218.5	100	12.7	3.9	50.1	-85	80	226.8	0.26	59.42	49.3	0.97	2.93	14.18	75	0	0	0	0	0	0	0	0	59.42	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:01:30	75	300	42	0	37.9	7.2	272.9	100	13.3	3.7	49	-85	80	225.6	0.27	60.46	49.3	0.96	2.51	13.21	75	0	0	0	0	0	0	0	0	60.46	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	13:01:40	75	300	42	0	35.6	7.3	259.9	100	14.2	3.3	46.4	-85	80	226.9	0.28	63.08	50.3	0.95	2.49	12.07	75	0	0	0	0	0	0	0	0	63.08	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	13:01:40	75	300	42	0	30.2	7.4	223.5	100	11.6	4.1	47.3	-85	80	226.8	0.28	62.37	50.4	0.95	2.22	14.13	75	0	0	0	0	0	0	0	0	62.37	75.00;

ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลของการทดสอบโคลเอนต์ที่ละ 3 IP

IP Address	Latitude	Longitude	Date	Time	Energy Cost		CO ₂	Lighting		PV Cell				Battery				Inverter					Grid					Load							
					Saving	Saving	Reduced	Status	V _{dc}	I _{dc}	P	Energy	V	I _{dc}	P	Energy	V _{dc}	I _{dc}	P	Freq.	THD _v	THD _i	Energy	V _{dc}	I _{dc}	P	Freq.	THD _v	THD _i	Energy	P	Energy			
					(kWh)	(THB)	(kg.CO ₂)	On (1) Off (0)	(V)	(A)	(W)	(kWh)	(V)	(A)	(W)	Charge (kWh)	Discharge (kWh)	(V)	(A)	(W)	(Hz)	P.F.	(%)	(%)	(kWh)	(V)	(A)	(W)	(Hz)	P.F.	(%)	(%)	(kWh)	(W)	(kWh)
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:30:00	75	300	42	0	31.6	7.3	230.7	100	14.1	3.3	46.4	-85	80	226	0.28	63.1	50.1	0.97	1.96	11.09	75	0	0	0	0	0	0	0	0	63.17	75
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	12:30:00	75	300	42	0	37.2	7.5	279	100	11.8	4.2	49.7	-85	80	226	0.27	62.1	50.2	0.97	1.8	12.42	75	0	0	0	0	0	0	0	0	62.12	75
192.168.1.142	13.72939	100.7745	3/10/2017	12:30:00	75	300	42	0	36	6.7	241.2	100	14.4	3.6	52.2	-85	80	227	0.27	61	49.2	0.95	2.97	13.22	75	0	0	0	0	0	0	0	0	61.09	75
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:30:10	75	300	42	0	34.4	7.3	251.1	100	11.8	3.9	46.2	-85	80	226	0.26	59.6	49.9	0.97	1.08	13.85	75	0	0	0	0	0	0	0	0	59.6	75
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	12:30:10	75	300	42	0	37.3	7.3	272.3	100	14.5	3.5	50.8	-85	80	225	0.26	57.8	50.9	0.96	1.28	10.65	75	0	0	0	0	0	0	0	0	57.85	75
192.168.1.142	13.72939	100.7745	3/10/2017	12:30:10	75	300	42	0	32.2	6.9	222.2	100	12.3	4	48.7	-85	80	228	0.27	61.5	49.8	0.96	1.43	13.23	75	0	0	0	0	0	0	0	0	61.56	75
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:30:20	75	300	42	0	36.2	7.4	267.9	100	12.9	3.7	47.6	-85	80	228	0.26	59.9	50.7	0.95	2.35	12.11	75	0	0	0	0	0	0	0	0	59.96	75
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	12:30:20	75	300	42	0	36.3	7	254.1	100	12	4.1	48.6	-85	80	226	0.28	63.3	50.9	0.95	2.27	13.63	75	0	0	0	0	0	0	0	0	63.36	75
192.168.1.142	13.72939	100.7745	3/10/2017	12:30:20	75	300	42	0	31.9	6.6	210.5	100	14.1	3.5	49.2	-85	80	227	0.26	60.2	49.6	0.97	1.17	12.39	75	0	0	0	0	0	0	0	0	60.26	75
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:30:30	75	300	42	0	33.5	7.5	251.3	100	12.5	3.7	46.2	-85	80	226.9	0.27	61.04	51	0.97	1.97	11.37	75	0	0	0	0	0	0	0	0	61.04	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	12:30:30	75	300	42	0	36.5	6.9	251.9	100	14.1	3.6	50.6	-85	80	226.6	0.26	59.82	50	0.97	1.36	14.41	75	0	0	0	0	0	0	0	0	59.82	75.00;
192.168.1.142	13.72939	100.7745	3/10/2017	12:30:30	75	300	42	0	31.4	6.6	207.2	100	11.7	4	47.3	-85	80	227.8	0.28	63.33	50	0.95	1.91	14.43	75	0	0	0	0	0	0	0	0	63.33	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:30:40	75	300	42	0	31	6.6	204.6	100	13	3.8	48.9	-85	80	227.1	0.26	58.14	49.7	0.96	2.54	11.73	75	0	0	0	0	0	0	0	0	58.14	75.00;
192.168.1.141	13.72972	100.7769	3/10/2017	12:30:40	75	300	42	0	32	6.9	220.8	100	12.6	3.7	46.3	-85	80	226.7	0.26	58.49	49.9	0.97	1.32	10.04	75	0	0	0	0	0	0	0	0	58.49	75.00;
192.168.1.142	13.72939	100.7745	3/10/2017	12:30:40	75	300	42	0	37.8	6.8	257	100	12.4	3.8	47.5	-85	80	226.3	0.26	58.39	50.5	0.97	2.75	13.42	75	0	0	0	0	0	0	0	0	58.39	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:30:50	75	300	42	0	32.9	7.1	233.6	100	12.5	4.1	51.3	-85	80	225.6	0.27	60.01	50.4	0.96	1.63	10.75	75	0	0	0	0	0	0	0	0	60.01	75.00;
192.168.1.141	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:30:50	75	300	42	0	31.6	7	221.2	100	13.7	3.7	50.5	-85	80	225.8	0.27	61.87	49.8	0.96	2.99	13.34	75	0	0	0	0	0	0	0	0	61.87	75.00;
192.168.1.142	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:30:50	75	300	42	0	37.4	7.2	269.3	100	12.9	4	51.4	-85	80	225.4	0.28	62.21	50.9	0.97	2.43	13.37	75	0	0	0	0	0	0	0	0	62.21	75.00;
192.168.1.140	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:31:00	75	300	42	0	30.8	7	215.6	100	12.4	3.8	47.5	-85	80	225.8	0.28	62.55	50	0.95	3	12.08	75	0	0	0	0	0	0	0	0	62.55	75.00;
192.168.1.141	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:31:00	75	300	42	0	35.5	7.3	259.1	100	13	3.7	47.6	-85	80	227.2	0.28	62.71	50.1	0.96	2.38	14.95	75	0	0	0	0	0	0	0	0	62.71	75.00;
192.168.1.142	13.72919	100.7756	3/10/2017	12:31:00	75	300	42	0	32.5	7.4	240.5	100	12.6	4.1	51.3	-85	80	227.8	0.26	59.23	49.3	0.95	2.02	11.61	75	0	0	0	0	0	0	0	0	59.23	75.00;

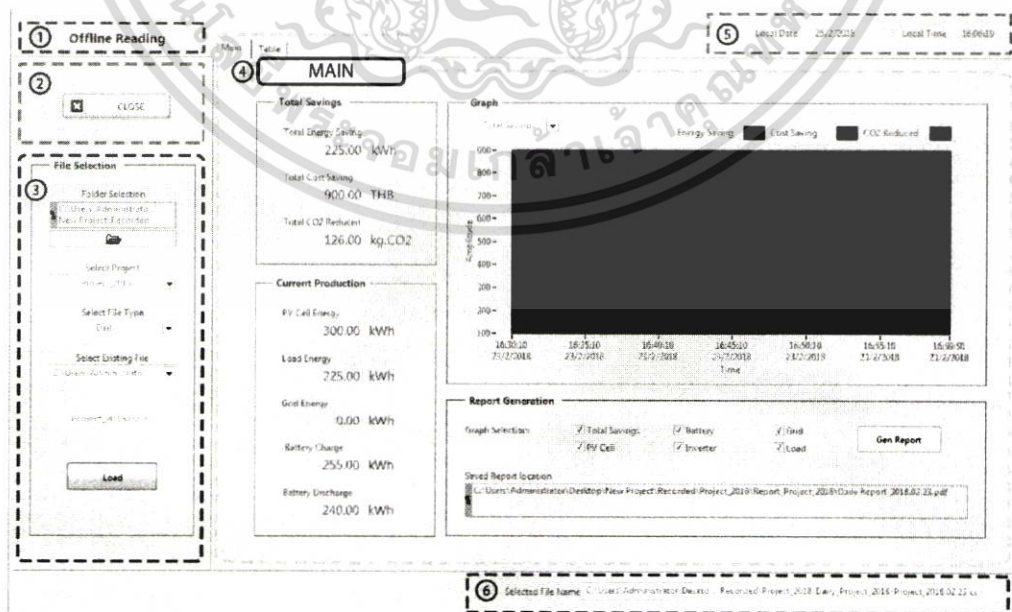
5.2.2 การทดสอบการทำงานของส่วนออฟไลน์

กระบวนการทำงานของส่วนออฟไลน์จะเริ่มต้นเมื่อได้กดปุ่ม Run ของส่วนออฟไลน์ใน หน้าจอเลือกโหมดการทำงานแสดงดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 หน้าจอเลือกโหมดการทำงานแบบออฟไลน์

หลังจากเลือกโหมดการทำงานแบบออฟไลน์แล้วจะปรากฏหน้าต่างหลักของส่วนออฟไลน์ เรียบใหม่ดังรูปที่ 5.20 ในส่วนของหมายเลข 3 ทางด้านซ้ายจะแสดงส่วนสำหรับเลือกไฟล์มาอ่าน และส่วนของหมายเลข 4 ทางด้านขวาจะเป็นส่วนแสดงผลซึ่งแบ่งเป็น 2 หน้าต่างย่อยคือ หน้าต่างย่อย Main และหน้าต่างย่อย Table



รูปที่ 5.20 หน้าจอหลักของส่วนออฟไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่สามารถจัดกลุ่มการทำงานของแต่ละหน้าต่างย่อยได้ตามที่ได้แบ่งไว้ในกรณีศึกษา
ในบทที่แล้ว ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

- ส่วนเรียกอ่านข้อมูลแบบออฟไลน์
- ส่วนการวิเคราะห์จัดการข้อมูล
- ส่วนการแสดงผลข้อมูล
- ส่วนสร้างเอกสารรายงานสรุปผล

5.2.2.1 ส่วนเรียกอ่านข้อมูลแบบออฟไลน์ (Offline)

จากรูปที่ 5.21 หรือในส่วนของหมายเลข 3 ของรูปที่ 5.20 ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการเรียกอ่านไฟล์ที่ได้บันทึกจากการทำงานในโหมดเรียลไทม์ ซึ่งในการใช้งานจะเริ่มต้นจากการเลือกตำแหน่งโฟลเดอร์หลักที่ได้บันทึกไว้ในช่อง Folder Selection เลือกโปรเจกต์ ในช่อง Select Project เลือกชนิดข้อมูลในช่อง Select File Type ซึ่งจะแบ่งเป็นรายวัน รายเดือน และรายปี [Daily/Monthly/Annual] และเลือกไฟล์ที่ต้องการในช่อง Select Existing File จากนั้นกดปุ่ม Load เพื่อทำการเรียกไฟล์ เพื่อนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาวิเคราะห์และแสดงผลในส่วนถัดไป



รูปที่ 5.21 ส่วนเรียกอ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

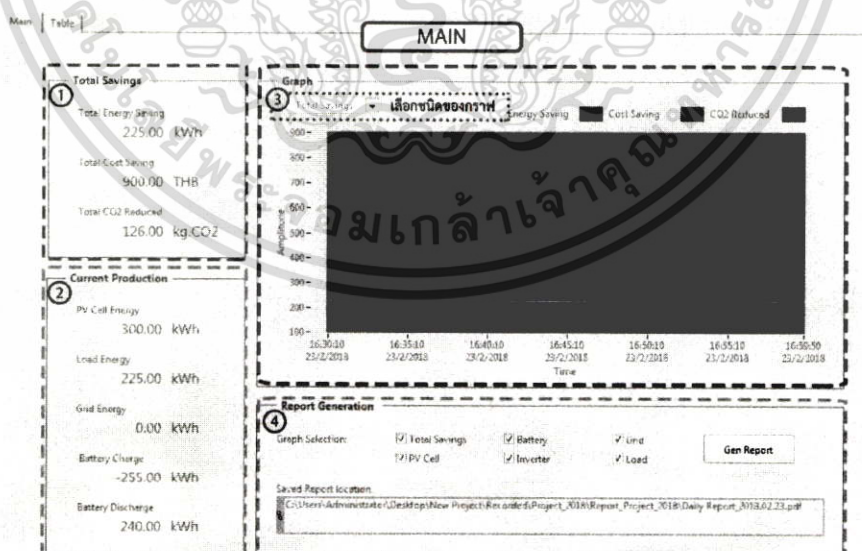
5.2.2.2 ส่วนการวิเคราะห์จัดการข้อมูล

หลังจากการเรียกไฟล์ โปรแกรมจะทำการอ่านข้อมูลทั้งหมดในไฟล์แล้วนำทุกข้อมูลมาวิเคราะห์จัดการก่อนนำไปแสดงผล เนื่องจากไฟล์ข้อมูลที่บ้านทิกนั้นเป็นไฟล์ประเภท .csv ซึ่งเป็นการแยกข้อมูลด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) ซึ่งไม่สามารถแสดงในส่วนการแสดงผลได้

5.2.2.3 ส่วนการแสดงผลข้อมูล

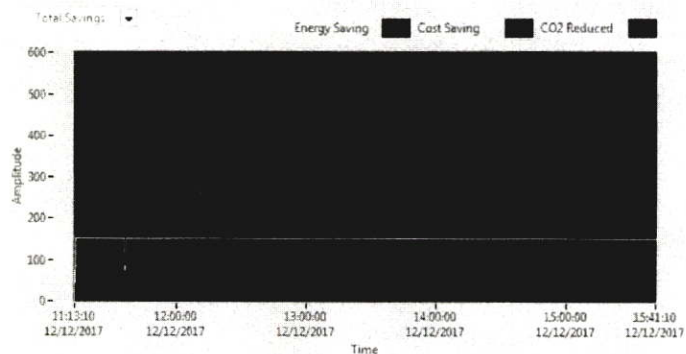
ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงผลหลังจากวิเคราะห์ข้อมูล จะถูกแบ่งออกเป็นข้อมูล 3 ชนิด ได้แก่ ข้อมูลแบบล่าสุด ข้อมูลแบบตาราง และข้อมูลแบบกราฟ ซึ่งจะแสดงไว้ในหน้าต่างย่อยทั้งสองคือ หน้าต่างย่อย Main และหน้าต่างย่อย Table

ในส่วนการแสดงผลข้อมูลพารามิเตอร์แบบล่าสุดจะแสดงข้อมูลชุดสุดท้ายของไฟล์นั้นๆ เนื่องจากเป็นค่าที่คำนวณแบบสะสมมาเรียบร้อยแล้ว ในส่วนหมายเลข 1 และ 2 ของรูปที่ 5.22 โดยที่หมายเลข 1 จะเป็นพารามิเตอร์ในส่วนของ Total Savings และหมายเลข 2 เป็นพารามิเตอร์ในส่วนของ Current Productions และในส่วนหมายเลข 3 ของรูปที่ 5.22 เป็นการแสดงผลพารามิเตอร์ในรูปแบบกราฟ 6 ชนิด โดยจะสามารถเลือกการแสดงผลกราฟได้ที่ช่อง drop down สำหรับเลือกชนิดของกราฟซึ่งได้แก่ กราฟ Total Savings, PV Cell, Battery, Inverter, Grid และ Load ดังแสดงในรูปที่ 5.23 (ก) - (จ) ตามลำดับ ส่วนการแสดงผลแบบตารางจะเรียงลำดับตามวันที่เวลา และหมายเลขไอพีแสดงดังรูปที่ 5.24

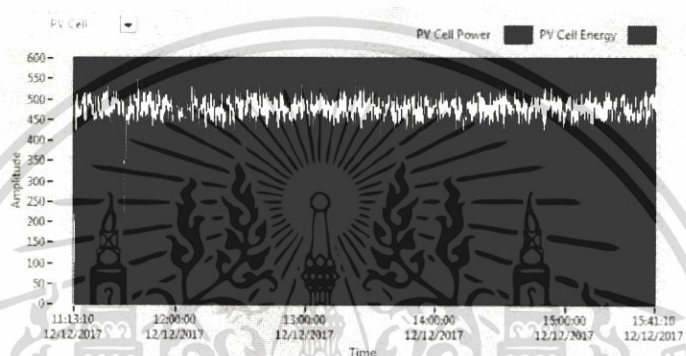


รูปที่ 5.22 หน้าต่างย่อย Main ของส่วนออฟไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



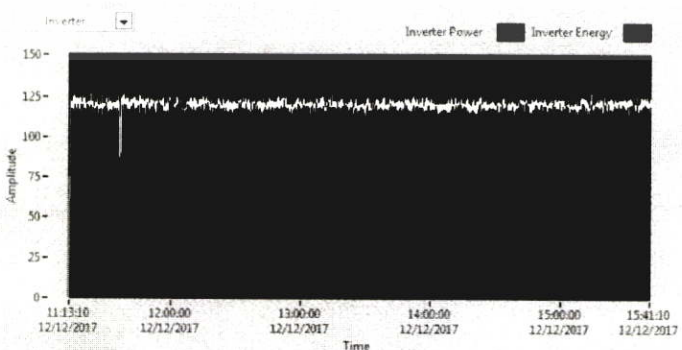
(ก) กราฟ Total Savings



(ข) กราฟ PV Cell

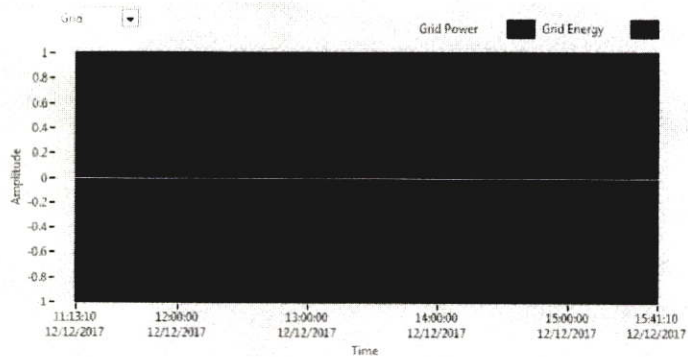


(ค) กราฟ Battery

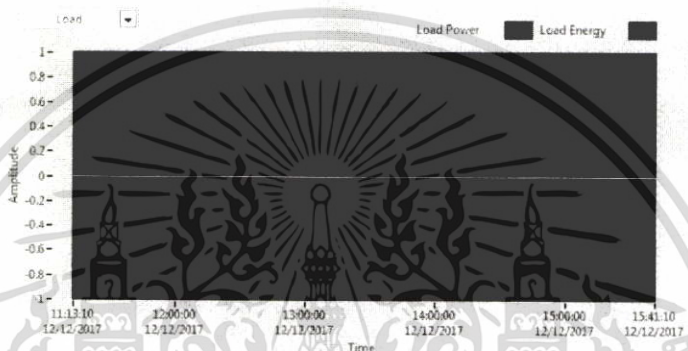


(ง) กราฟ Inverter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) กราฟ Grid



(ฉ) กราฟ Load

รูปที่ 5.23 หน้าต่างแสดงกราฟของส่วนออฟไลน์

Table

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
IP Address	Latitude Longitude	Date	Time	Energy Saving (kWh)	Cost Saving (THB)	CO2 Reduced (kg CO2)	Lighting Status	PV Cells	ON (1) or OFF (0)	Voltage (V)	DC Current (A)	Power (W)	Freq										
192.168.1.141	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:00	75.00	100.00	42.00	0	0	0	12.4	6.8	200.1											
192.168.1.140	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:00	75.00	100.00	42.00	0	0	0	11.5	7.5	208.1											
192.168.2.147	13.729774 100.776917	3/10/2017	13:15:00	75.00	100.00	42.00	0	0	0	12.2	7.2	210.4											
192.168.2.145	13.729774 100.776917	3/10/2017	13:15:00	75.00	100.00	42.00	0	0	0	12.4	6.9	222.0											
192.168.1.142	13.729774 100.776917	3/10/2017	13:15:00	75.00	100.00	42.00	0	0	0	11.4	7.1	209.5											
192.168.1.140	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:30	75.00	100.00	42.00	0	0	0	14.8	7.5	261.0											
192.168.1.142	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:30	75.00	100.00	42.00	0	0	0	16.7	6.7	243.2											
192.168.1.141	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:30	75.00	100.00	42.00	0	0	0	12.4	6.9	243.0											
192.168.1.140	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:30	75.00	100.00	42.00	0	0	0	12.5	6.9	258.8											
192.168.1.141	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:30	75.00	100.00	42.00	0	0	0	11.4	7.0	211.0											
192.168.1.142	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:30	75.00	100.00	42.00	0	0	0	10.0	7.1	262.0											
192.168.2.140	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:30	75.00	100.00	42.00	0	0	0	12.2	7.1	264.1											
192.168.2.141	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:40	75.00	100.00	42.00	0	0	0	10.0	6.7	254.0											
192.168.1.142	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:40	75.00	100.00	42.00	0	0	0	12.3	7.1	270.1											
192.168.2.140	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:40	75.00	100.00	42.00	0	0	0	10.7	6.9	232.1											
192.168.2.141	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:50	75.00	100.00	42.00	0	0	0	10.0	6.6	250.8											
192.168.2.142	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:50	75.00	100.00	42.00	0	0	0	10.6	7.0	258.0											
192.168.1.140	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:15:50	75.00	100.00	42.00	0	0	0	12.3	6.9	252.0											
192.168.1.142	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:16:00	75.00	100.00	42.00	0	0	0	10.9	6.9	254.6											
192.168.1.140	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:16:00	75.00	100.00	42.00	0	0	0	10.2	6.7	242.5											
192.168.2.140	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:16:00	75.00	100.00	42.00	0	0	0	14.1	7.1	302.1											
192.168.2.141	13.729774 100.776917	3/10/2017	12:16:10	75.00	100.00	42.00	0	0	0	12.8	6.7	219.8											

รูปที่ 5.24 หน้าต่างย่อย Table ของส่วนออฟไลน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.4 ส่วนสร้างเอกสารรายงานสรุปผล (Report Generation)

สำหรับส่วนการสร้างรายงานสรุปผลเป็นไฟล์สกุล .pdf จะมีให้เลือกชนิดของกราฟที่จะนำไปบันทึกพร้อมกับข้อมูลพารามิเตอร์แบบสรุปทั้งหมด ซึ่งส่วนการสร้างเอกสารรายงานสรุปผลแสดงในรูปที่ 5.25

รูปที่ 5.25 หน้าต่างสำหรับการสร้างรายงานสรุปผล

เมื่อกดปุ่ม Gen Report โปรแกรมจะทำการตรวจสอบและสร้างไฟล์เตอร์ย่อยที่ใช้บันทึกเอกสาร โดยที่จะบันทึกไว้ ณ ตำแหน่งเดียวกับไฟล์เตอร์ที่เลือกไว้สำหรับบันทึกข้อมูลในส่วนเรียลไทม์ จากรูปคือไฟล์เตอร์ Project_2018 โดยการสร้างไฟล์เตอร์ย่อยจะใช้ชื่อไฟล์เตอร์เป็น Report ตามด้วยชื่อโปรเจกต์และปีค.ศ. เช่นเดียวกับไฟล์เตอร์ย่อยอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.26

-

รูปที่ 5.26 ไฟล์เตอร์สำหรับการบันทึกเอกสารรายงานสรุปผล

จากนั้นจะสร้างไฟล์และทำการเปิดไฟล์เอกสารรายงานสรุปผลขึ้นมาด้วยโปรแกรมในการเปิดไฟล์เอกสารประเภท .pdf ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ได้กำหนดเป็นค่าพื้นฐานไว้

ไฟล์เอกสารที่สร้างขึ้นนั้นจะมีขนาดเท่ากับกระดาษ A4 และจะประกอบด้วยส่วนหัวเรื่องเพื่อแสดงลักษณะของรายงานนั้นที่จะเปลี่ยนตามไฟล์ที่ผู้ใช้เรียกไฟล์มาอ่านในโหมดออฟไลน์ อันได้แก่ไฟล์ข้อมูลรายวัน รายเดือน และรายปี ดังนั้นหัวเรื่องจะเป็น Daily Report, Monthly Report หรือ Annual Report ตามลำดับ และในส่วนถัดมาจะแสดงชื่อโปรเจกต์ที่ผู้ใช้ได้ทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

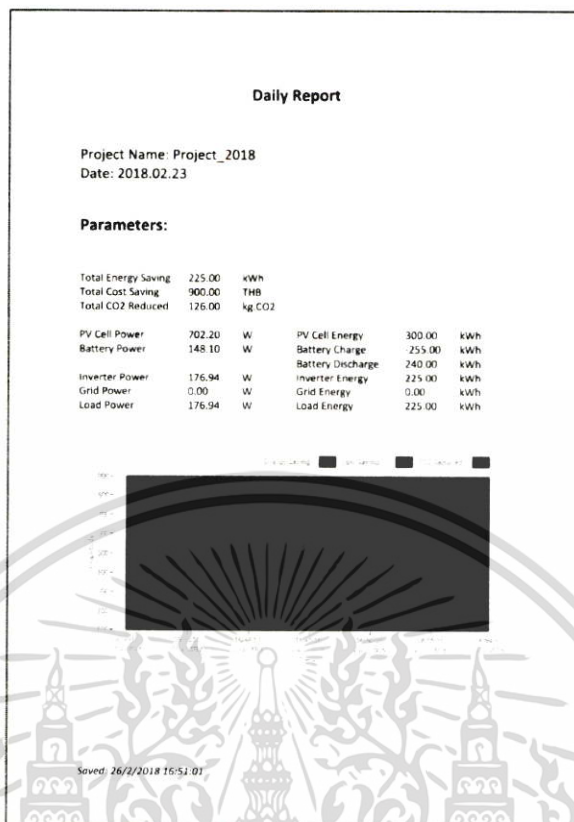
กำหนดไว้รวมถึงวันที่ของไฟล์ข้อมูลที่เรียกอ่าน ส่วนวันที่และเวลาที่ทำการสร้างเอกสารนั้นจะแสดงไว้ในด้านล่างของกระดาษทุกหน้า สำหรับส่วนของข้อมูลที่จะทำการบันทึกนั้นจะแบ่งเป็นข้อมูลตัวเลขและข้อมูลกราฟ ซึ่งข้อมูลตัวเลขนั้นจะบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่เป็นค่ารวมล่าสุดทุกค่าประกอบด้วยค่าที่แสดงในตารางที่ 5.6 ส่วนข้อมูลกราฟนั้นผู้ใช้สามารถเลือกกราฟจากกราฟทั้งหมด 6 ชนิด ซึ่งเป็นกราฟที่มีหมวดหมู่หลัก และพารามิเตอร์ของกราฟดังแสดงในตารางที่ 5.6 เช่นกัน

ตารางที่ 5.6 พารามิเตอร์สำหรับการบันทึกข้อมูลในไฟล์เอกสาร

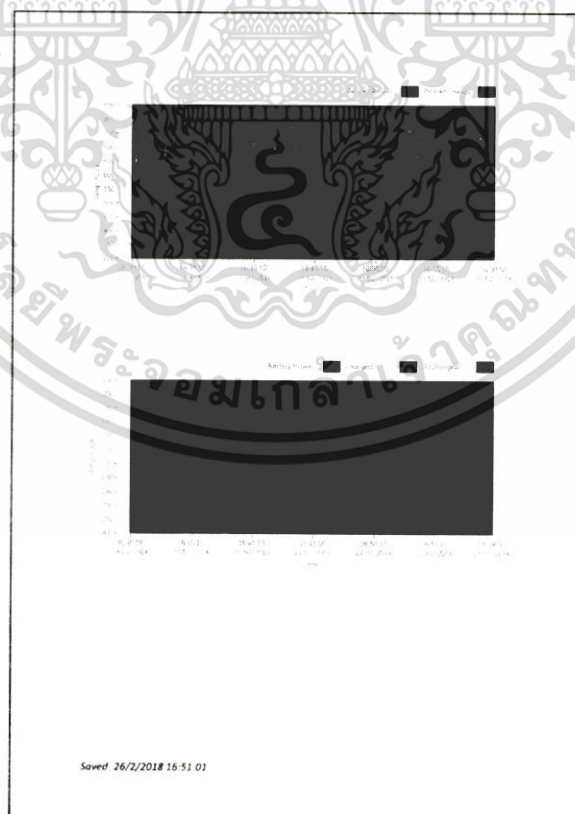
หมวดหมู่	พารามิเตอร์ที่นำไปบันทึก
Total Savings	- Total Energy Saving (kWh) - Total Cost Saving (THB) - Total CO ₂ Reduced (kg.CO ₂)
PV Cell	- Power (kW) - Energy (kWh)
Battery	- Power (kW) - Charged Energy (kWh) - Discharged Energy (kWh)
Inverter	- Power (kW) - Energy (kWh)
Grid	- Power (kW) - Energy (kWh)
Load	- Power (kW) - Energy (kWh)

โดยรูปแบบของเอกสารรายงานสรุปผลที่ทำการสร้างขึ้นจะแสดงดังรูปที่ 5.27 และ 5.28 ซึ่งเป็นตัวอย่างของเอกสารรายงานสรุปผลแบบรายวันหน้าที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยทำการเลือกกราฟที่จะบันทึกไว้ 3 กราฟ ได้แก่ กราฟ Total Savings, กราฟ PV Cell และกราฟ Battery

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.27 ตัวอย่างรายงานสรุปผลแบบรายวันหน้าที่ 1



รูปที่ 5.28 ตัวอย่างรายงานสรุปผลแบบรายวันหน้าที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 สรุปและวิเคราะห์การทำงานของเซิร์ฟเวอร์

ในส่วนนี้จะสรุปและวิเคราะห์การทำงานในส่วนของการบันทึกข้อมูลและประสิทธิภาพในการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างคลเอนด์และเซิร์ฟเวอร์ผ่านเครือข่ายไร้สาย ซึ่งในส่วนของการบันทึกข้อมูลสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงสำหรับการใช้งานเซิร์ฟเวอร์นี้คือพื้นที่ว่างของคอมพิวเตอร์ที่จะใช้ในการรันเซิร์ฟเวอร์ และสำหรับประสิทธิภาพในการถ่ายโอนข้อมูลจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดของเซิร์ฟเวอร์นี้ เนื่องจากเป็นขั้นตอนแรกของการทำงานของเซิร์ฟเวอร์ หากไม่มีข้อมูลเข้ามาแล้วฟังก์ชันอื่นๆ ที่ได้ออกแบบไว้ย่อมไม่สามารถทำงานได้เช่นกัน

5.2.3.1 พื้นที่การเก็บข้อมูล

ในส่วนของการบันทึกข้อมูลนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องทราบขนาดพื้นที่ในการเก็บข้อมูลล่วงหน้า หากหน่วยความจำไม่เพียงพออาจทำให้การบันทึกข้อมูลของเซิร์ฟเวอร์ไม่อาจทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ข้อมูลขาดหายไปในช่วงที่ต้องเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในการเก็บข้อมูล ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบในส่วนนี้เพื่อหาขนาดพื้นที่ที่ต้องเผื่อไว้สำหรับการทำงานตามระยะเวลาที่ต้องการ ซึ่งสามารถวิเคราะห์รายละเอียดในการใช้พื้นที่ของการเก็บข้อมูลดังนี้

ใน 1 โพลเดอร์หลักจะทำการบันทึกข้อมูลของแต่ละปี และแบ่งออกเป็นการบันทึกแบบรายวัน รายเดือน รายปี กราฟ (รายวัน) และข้อมูลดิบ (รายวัน)

ดังนั้น ใน 1 ปี จะมีไฟล์ข้อมูลในแต่ละโพลเดอร์ ดังนี้

ในโพลเดอร์ย่อยสำหรับการบันทึกแบบ	รายวัน	จะมีจำนวน	365	ไฟล์
ในโพลเดอร์ย่อยสำหรับการบันทึกแบบ	รายเดือน	จะมีจำนวน	12	ไฟล์
ในโพลเดอร์ย่อยสำหรับการบันทึกแบบ	รายปี	จะมีจำนวน	1	ไฟล์
ในโพลเดอร์ย่อยสำหรับการบันทึกแบบ	กราฟ	จะมีจำนวน	365	ไฟล์
ในโพลเดอร์ย่อยสำหรับการบันทึกแบบ	ข้อมูลดิบ	จะมีจำนวน	365	ไฟล์

จากนั้น ทำการคำนวณหาจำนวนชุดข้อมูลในแต่ละไฟล์ แต่เนื่องจากการทดสอบแพลตฟอร์มในบทนี้ จะใช้คลเอนด์ในการจำลองและส่งข้อมูลทุกๆ 10 วินาที ดังนั้น สามารถคำนวณชุดข้อมูล ตามระยะเวลาการบันทึกได้ ดังนี้

ใน	1 นาที	จะมี	= 6	ชุดข้อมูล
	1 ชั่วโมง (60 นาที)	จะมี	$60 \times 6 = 360$	ชุดข้อมูล
	1 วัน (24 ชม.)	จะมี	$24 \times 360 = 8,640$	ชุดข้อมูล
	1 เดือน (30 วัน)	จะมี	$8,640 \times 30 = 259,200$	ชุดข้อมูล
	1 ปี (12 เดือน)	จะมี	$259,200 \times 12 = 3,110,400$	ชุดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

การบันทึกผล	รายวัน	จะมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น	8,640	ชุด ต่อไคลเอนต์ 1 IP
การบันทึกผล	รายเดือน	จะมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น	259,200	ชุด ต่อไคลเอนต์ 1 IP
การบันทึกผล	รายปี	จะมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น	3,110,400	ชุด ต่อไคลเอนต์ 1 IP
การบันทึกผล	กราฟ	จะมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น	8,640	ชุด ต่อไคลเอนต์ 1 IP
การบันทึกผล	ข้อมูลดิบ	จะมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้น	8,640	ชุด ต่อไคลเอนต์ 1 IP

แต่เนื่องจากชุดข้อมูลของแต่ละไคลเอนต์นั้นจะมีลักษณะเดียวกัน ดังนั้นการเก็บข้อมูลสำหรับ 2 ไคลเอนต์ ก็จะมีจำนวนชุดข้อมูลเพิ่มขึ้น 2 เท่า และจะเป็นเช่นเดียวกันสำหรับกรณีที่มีการเก็บข้อมูลมากกว่า 1 ไคลเอนต์ จำนวนข้อมูลรวมทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเท่าของไคลเอนต์ที่ใช้งาน ดังแสดงในตารางที่ 5.7 -5.9

ตารางที่ 5.7 จำนวนชุดข้อมูลรวมของการบันทึกผลแบบรายวัน กราฟ และข้อมูลดิบ

จำนวน ไคลเอนต์ (IP)	ประเภท การบันทึกผล	ระยะเวลา (ชม.)	จำนวนข้อมูล ต่อไคลเอนต์ (ชุด)	จำนวนข้อมูลรวม ทุกไคลเอนต์ (ชุด)
1	รายวัน	24	8,640	8,640
2	รายวัน	24	8,640	17,280
3	รายวัน	24	8,640	25,920
n	รายวัน	24	8,640	8,640*n

ตารางที่ 5.8 จำนวนชุดข้อมูลรวมของการบันทึกผลแบบรายเดือน

จำนวน ไคลเอนต์ (IP)	ประเภท การบันทึกผล	ระยะเวลา (วัน)	จำนวนข้อมูล ต่อไคลเอนต์ (ชุด)	จำนวนข้อมูลรวม ทุกไคลเอนต์ (ชุด)
1	รายเดือน	30	259,200	259,200
2	รายเดือน	30	259,200	518,400
3	รายเดือน	30	259,200	777,600
n	รายเดือน	30	259,200	259,200*n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 จำนวนชุดข้อมูลรวมของการบันทึกผลแบบรายปี

จำนวน ไคลเอนต์ (IP)	ประเภท การบันทึกผล	ระยะเวลา (เดือน)	จำนวนข้อมูล ต่อไคลเอนต์ (ชุด)	จำนวนข้อมูลรวม ทุกไคลเอนต์ (ชุด)
1	รายปี	12	3,110,400	3,110,400
2	รายปี	12	3,110,400	6,220,800
3	รายปี	12	3,110,400	9,331,200
n	รายปี	12	3,110,400	3,110,400*n

ก. การคำนวณหาขนาดไฟล์ของ 1 ชุดข้อมูล

จากไฟล์ข้อมูลแบบรายวันที่ได้ทำการบันทึกการรับข้อมูลจากไคลเอนต์ที่ละ 1, 2 และ 3 IP โดยที่แต่ละไคลเอนต์จะส่งข้อมูลทุก 10 วินาที จะทำการสุ่มไฟล์มาจำนวนหนึ่งและนำข้อมูลจำนวนไคลเอนต์ ระยะเวลาที่เก็บข้อมูล จำนวนชุดข้อมูลต่อไคลเอนต์ จำนวนชุดข้อมูลรวมทั้งหมดของทุกไคลเอนต์ และขนาดไฟล์มาสรุปได้ดังตารางที่ 5.10 เพื่อนำไปคำนวณพื้นที่ที่จะต้องสำรองไว้สำหรับการบันทึกข้อมูลในระยะเวลาที่ต้องการ โดยจะเริ่มจากการหาขนาดไฟล์ของ 1 ชุดข้อมูล ดังนี้

ตารางที่ 5.10 สรุปขนาดไฟล์ที่ได้จากการบันทึกข้อมูลแบบรายวัน

จำนวน ไคลเอนต์ (IP)	ระยะเวลา ที่เก็บข้อมูล (ชม.)	จำนวนข้อมูล ต่อไคลเอนต์ (ชุด)	จำนวนข้อมูลรวม ทุกไคลเอนต์ (ชุด)	ขนาดไฟล์ (KB)
1	1	361	361	88
1	4	1,440	1,440	345
2	1	361	722	175
2	4	1,444	2,888	697
3	1	360	1,080	261
3	4	1,440	4,320	1,043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเก็บข้อมูลที่ละ 1 IP อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง รวม 88 ข้อมูล จะมีขนาดไฟล์ประมาณ 88 KB ซึ่งหมายความว่า 1 ชุดข้อมูลจะมีขนาด $= 88/361 = 0.24$ KB

จากการเก็บข้อมูลที่ละ 1 IP อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง รวม 345 ข้อมูล จะมีขนาดไฟล์ประมาณ 345 KB ซึ่งหมายความว่า 1 ชุดข้อมูลจะมีขนาด $= 345/1,440 = 0.24$ KB

จากการเก็บข้อมูลที่ละ 2 IP อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง รวม 722 ข้อมูล จะมีขนาดไฟล์ประมาณ 175 KB ซึ่งหมายความว่า 1 ชุดข้อมูลจะมีขนาด $= 175/722 = 0.24$ KB

จากการเก็บข้อมูลที่ละ 2 IP อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง รวม 2,888 ข้อมูล จะมีขนาดไฟล์ประมาณ 697 KB ซึ่งหมายความว่า 1 ชุดข้อมูลจะมีขนาด $= 697/2,888 = 0.24$ KB

จากการเก็บข้อมูลที่ละ 3 IP อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง รวม 1,080 ข้อมูล จะมีขนาดไฟล์ประมาณ 261 KB ซึ่งหมายความว่า 1 ชุดข้อมูลจะมีขนาด $= 261/1,080 = 0.24$ KB

จากการเก็บข้อมูลที่ละ 3 IP อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง รวม 4,320 ข้อมูล จะมีขนาดไฟล์ประมาณ 1,043 KB ซึ่งหมายความว่า 1 ชุดข้อมูลจะมีขนาด $= 1,043/4,320 = 0.24$ KB

จากการทดสอบข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ในการเก็บข้อมูล 1 ชุด จะต้องใช้ขนาดไฟล์ประมาณ 0.24 KB และเมื่อทำการพิสูจน์โดยการทดลองเก็บข้อมูลจำนวน 1 ชุด พบว่าจะมีขนาดไฟล์ประมาณ 245 bytes หรือ 0.24 KB (เนื่องจาก $1024 \text{ bytes} = 1 \text{ KB}$ และ $1,024 \text{ KB} = 1 \text{ MB}$)

ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการคำนวณพื้นที่สำหรับไฟล์ข้อมูลแบบรายเดือนและข้อมูลรายปี ซึ่งมีลักษณะการเก็บข้อมูลและจำนวนพารามิเตอร์แบบเดียวกันกับไฟล์ข้อมูลรายวัน เพียงแต่จำนวนชุดข้อมูลทั้งหมดใน 1 ไฟล์จะมีมากกว่าเพราะระยะเวลาในการเก็บที่มากกว่า แต่จำนวนชุดข้อมูลทั้งหมดจะมีเท่ากัน และในขณะที่การบันทึกข้อมูลแบบกราฟ เนื่องจากการบันทึกข้อมูลแบบรวมแต่ละพารามิเตอร์ของทุกโคลเอนต์ ดังนั้นจำนวนชุดข้อมูลจะมีขนาดเท่ากับจำนวนข้อมูลต่อหนึ่งโคลเอนต์ นอกจากนี้พารามิเตอร์ที่บันทึกจะมีน้อยกว่า ดังที่กล่าวไว้ในตารางที่ 5.2 ดังนั้นขนาดของไฟล์จะมีขนาดเล็กกว่า ส่วนการบันทึกข้อมูลดิบนั้นจะเป็นการบันทึกโดยไม่ผ่านการประมวลผลจากเซิร์ฟเวอร์ แต่จำนวนพารามิเตอร์จะเท่ากับในการบันทึกแบบรายวัน ซึ่งการที่ไม่ผ่านการประมวลผลนั้นข้อมูลที่ขาดหายไปบางส่วนจากความไม่เสถียรของเครือข่ายก็จะถูกบันทึกไว้เช่นกัน ดังนั้นขนาดไฟล์ย่อมจะมากกว่าการบันทึกแบบรายวันเล็กน้อย เนื่องจากอัตราความสำเร็จของการถ่ายโอนข้อมูลที่จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไปนั้นมีค่อนข้างสูง ทำให้การบันทึกแบบข้อมูลดิบแตกต่างจากการบันทึกแบบรายวันไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การทดสอบหาขนาดไฟล์ล่วงหน้า

เมื่อต้องการใช้งานแพลตฟอร์มนี้เพื่อตรวจสอบและควบคุมไฟถนนจำนวน 100 โคม และต้องการเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 2 ปี โดยที่โคลเอนต์ไฟถนนจะส่งข้อมูลทุก 10 วินาที การคำนวณหาพื้นที่สำหรับการบันทึกข้อมูลจะมีรายละเอียด ดังนี้

ข้อมูลบางส่วนที่สามารถใช้งานการคำนวณข้างต้นได้ เนื่องจากกำหนดให้โคลเอนต์ส่งข้อมูลทุก 10 วินาทีเช่นเดียวกัน ซึ่งมีข้อมูลต่อโคลเอนต์ ดังนี้

การบันทึกข้อมูลในเวลา 1 ปี จะมี 3,110,400 ชุดข้อมูลต่อโคลเอนต์ และแต่ละ 1 ชุดข้อมูลจะมีขนาดไฟล์ประมาณ 0.24 KB

- คำนวณพื้นที่สำหรับข้อมูลแบบรายวัน รายเดือน รายปี และข้อมูลดิบ

ในการบันทึกข้อมูลเป็นระยะเวลา 2 ปี

จะมีจำนวนชุดข้อมูล = $2 \times 3,110,400 = 6,220,800$ ชุดข้อมูลต่อโคลเอนต์

สำหรับโคลเอนต์ 100 ชุด

จะมีจำนวนชุดข้อมูล = $100 \times 6,220,800 = 622,080,000$ ชุดข้อมูล

จะมีขนาดไฟล์ประมาณ = $0.24 \times 622,080,000 = 149,299,200$ KB

โดยที่ $149,299,200$ KB = $145,800$ MB = 142.38 GB

ดังนั้นพื้นที่สำหรับไฟล์รายวัน รายเดือน รายปี และข้อมูลดิบจะมีขนาดอย่างละ 142.38 GB

เมื่อรวมกันจึงจะได้พื้นที่ขนาด $4 \times 142.38 = 569.52$ GB

- คำนวณพื้นที่สำหรับข้อมูลแบบกราฟ

เนื่องจากข้อมูลแบบกราฟจะเป็นการรวมพารามิเตอร์ของทุกโคลเอนต์เข้าด้วยกัน จึงจะมีจำนวนชุดข้อมูลเท่ากับหนึ่งโคลเอนต์ และจากการพิสูจน์การบันทึกข้อมูลแบบกราฟใน 1 ชุดข้อมูลจะมีขนาดไฟล์ประมาณ 94 bytes หรือ 0.09 KB

ในการบันทึกข้อมูลเป็นระยะเวลา 2 ปี = $6,220,800$ ชุดข้อมูล

จะมีขนาดไฟล์ประมาณ = $0.09 \times 6,220,800 = 559,872$ KB

โดยที่ $559,872$ KB = 546.75 MB = 0.53 GB

ดังนั้นพื้นที่สำหรับไฟล์ข้อมูลแบบกราฟจะมีขนาด 0.53 GB

ดังนั้น พื้นที่สำหรับการบันทึกข้อมูลรวมทั้งหมด = $569.52 + 0.53 = 570.05$ GB หรือประมาณ 570 GB

จึงสามารถสรุปได้ว่าการตรวจสอบและควบคุมไฟถนนจำนวน 100 โคม และต้องการเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 2 ปี โดยที่โคลเอนต์ไฟถนนจะส่งข้อมูลทุก 10 วินาที นั้นจะต้องสำรองพื้นที่สำหรับการบันทึกข้อมูลประมาณ 570 GB นั้นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3.2 ประสิทธิภาพในการถ่ายโอนข้อมูล

อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลนั้นจะขึ้นอยู่กับสัญญาณและเสถียรภาพของเครือข่าย ณ ขณะที่คลเอนต์กำลังส่งข้อมูล ถ้ามีสัญญาณต่ำอาจทำให้การส่งข้อมูลในชุดหนึ่งๆ ส่งมาได้ไม่ครบถ้วน ทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลในเวลานั้น และเซิร์ฟเวอร์ไม่สามารถประมวลผลพารามิเตอร์ของข้อมูลชุดนั้นได้สมบูรณ์ ซึ่งได้ออกแบบไว้ให้ละการบันทึกข้อมูลเมื่อเกิดกรณีเช่นนี้และกลับมาบันทึกต่อเมื่อข้อมูลชุดใหม่ถูกส่งมา

รูปที่ 5.29 แสดงไฟล์ข้อมูลของการทำงานคลเอนต์ที่ละ 2 IP คือ 192.168.1.140 และ 192.168.1.141 ซึ่งมีข้อมูลที่หายไปในช่วง ซึ่งเกิดจากเครือข่ายไม่เสถียรทำให้เซิร์ฟเวอร์รับข้อมูลที่ส่งมาจากคลเอนต์ได้ไม่ครบถ้วน จึงต้องละการบันทึกข้อมูลในชุดนั้น และบันทึกต่อเมื่อข้อมูลชุดใหม่ถูกส่งมาอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าข้อมูลของคลเอนต์หมายเลขไอพี 192.168.1.140 ในเวลา 12.29.30 น. หายไป แต่ข้อมูลของคลเอนต์ 192.168.1.141 ณ เวลาเดียวกันสามารถส่งมาได้แบบครบถ้วน

```

Project_2018.02.26 - Notepad
File Edit Format View Help
192 168 1 140 13 729724 100 776917 26 02 2018 12 29 00 75 00 300 00 42 00 0 30 2 6 7 202 3 100 00 11 8 4 3 50 9 -85 00
80 00 225 80 0 27 61 87 49 70 0 95 2 68 11 76 75 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 61 87 75 00
192 168 1 141 13 729193 100 775612 26 02 2018 12 29 00 75 00 300 00 42 00 0 37 9 6 9 261 5 100 00 13 7 3 8 51 8 -85 00
80 00 225 30 0 26 59 25 50 10 0 97 1 38 13 79 75 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 59 25 75 00
192 168 1 140 13 729724 100 776917 26 02 2018 12 29 10 75 00 300 00 42 00 0 31 8 7 0 222 6 100 00 11 6 4 3 49 6 -85 00
80 00 227 10 0 27 60 86 49 20 0 96 2 74 12 78 75 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 60 86 75 00
192 168 1 141 13 729193 100 775612 26 02 2018 12 29 10 75 00 300 00 42 00 0 31 3 7 2 225 4 100 00 12 7 3 7 47 5 -85 00
80 00 226 30 0 25 57 25 49 80 0 95 2 41 11 09 75 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 57 25 75 00
192 168 1 140 13 729724 100 776917 26 02 2018 12 29 20 75 00 300 00 42 00 0 36 6 6 7 245 2 100 00 14 2 3 5 49 3 -85 00
80 00 226 70 0 25 56 90 49 80 0 97 1 17 12 22 75 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 56 90 75 00
192 168 1 141 13 729193 100 775612 26 02 2018 12 29 20 75 00 300 00 42 00 0 32 0 6 9 220 8 100 00 12 2 4 1 49 9 -85 00
80 00 227 20 0 28 63 62 49 30 0 97 1 47 11 42 75 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 63 62 75 00

192 168 1 141 13 729193 100 775612 3 10 2018 12 29 30 75 00 300 00 42 00 0 37 1 6 9 256 0 100 00 12 2 3 8 46 2 -85 00
80 00 227 70 0 28 62 85 50 20 0 97 2 00 12 74 75 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 62 85 75 00
192 168 1 140 13 729724 100 776917 26 02 2018 12 29 40 75 00 300 00 42 00 0 31 8 6 7 213 1 100 00 13 7 3 4 46 4 -85 00
80 00 226 70 0 28 63 48 49 90 0 95 1 66 12 69 75 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 63 48 75 00
192 168 1 141 13 729193 100 775612 26 02 2018 12 29 40 75 00 300 00 42 00 0 31 6 7 2 227 5 100 00 13 5 3 8 51 8 -85 00
80 00 225 80 0 26 57 80 50 30 0 97 1 50 10 28 75 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 57 80 75 00
192 168 1 140 13 729724 100 776917 26 02 2018 12 29 50 75 00 300 00 42 00 0 37 4 7 1 265 5 100 00 12 8 3 9 50 1 -85 00
80 00 227 20 0 28 63 39 49 90 0 97 2 38 14 44 75 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 0 00 63 39 75 00
192 168 1 141 13 729193 100 775612 26 02 2018 12 29 50 75 00 300 00 42 00 0 34 9 7 0 244 3 100 00 14 4 3 2 46 4 -85 00

```

รูปที่ 5.29 ลักษณะของไฟล์ข้อมูลที่ขาดหายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสุ่มตัวอย่างไฟล์จากการทดสอบการบันทึกข้อมูลเพื่อหาช่วงของข้อมูลที่ขาดหายไป และนำมาเทียบกับชุดข้อมูลทั้งหมดที่บันทึกไว้ในไฟล์นั้นสามารถนำมาแสดงและคำนวณหาอัตราความสำเร็จในการถ่ายโอนข้อมูลได้ดังตารางที่ 5.11 ซึ่งอัตราความสำเร็จที่มากกว่า 98% นั้นถือได้ว่าเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ค่อนข้างสูง

ตารางที่ 5.11 อัตราความสำเร็จในการถ่ายโอนข้อมูล

จำนวน ไคลเอนต์ (IP)	ระยะเวลา ที่เก็บข้อมูล (ชม.)	จำนวนข้อมูลรวม ทุกไคลเอนต์ (ชุด)	จำนวนข้อมูล ที่ขาดหาย (ชุด)	คำนวณ	อัตรา สำเร็จ (%)
1	1	361	0	$= \frac{361-0}{361} \times 100\%$	100 %
1	4	1,440	12	$= \frac{1,440-12}{1,440} \times 100\%$	99.17 %
2	1	722	9	$= \frac{722-9}{722} \times 100\%$	98.75 %
2	4	2,888	7	$= \frac{2,888-7}{2,888} \times 100\%$	99.76 %
3	1	1,080	1	$= \frac{1,080-1}{1,080} \times 100\%$	99.91 %
3	4	4,320	0	$= \frac{4,320-0}{4,320} \times 100\%$	100 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบแพลตฟอร์มสำหรับการบริหารจัดการโครงข่ายไฟถนน พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW และเทคโนโลยี TCP/IP ซึ่งในการออกแบบ แพลตฟอร์มสำหรับการบริหารจัดการนั้นประกอบด้วยสามส่วนหลักคือ แพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์ แพลตฟอร์มไคลเอนต์ และโปรโตคอลสื่อสาร

แพลตฟอร์มเซิร์ฟเวอร์สามารถควบคุมดูแลการรับส่งข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล บันทึกข้อมูล และสร้างรายงานสรุปได้ ส่วนแพลตฟอร์มไคลเอนต์จะทำหน้าที่ในการวัดและรวบรวมข้อมูลเพื่อส่งไปให้เซิร์ฟเวอร์วิเคราะห์รวมถึงคอยรับข้อมูลคำสั่งของเซิร์ฟเวอร์เพื่อควบคุมไฟถนน การสื่อสารระหว่างเซิร์ฟเวอร์และไคลเอนต์นั้นจะใช้การสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สาย โดยที่ทั้งเซิร์ฟเวอร์และไคลเอนต์จะเชื่อมต่ออยู่กับเครือข่ายไร้สายนั้น และใช้โปรโตคอล TCP/IP ในการรับส่งข้อมูล นอกจากนี้ตัวเซิร์ฟเวอร์สามารถรองรับการเชื่อมต่อพร้อมกันได้มากที่สุดถึง 256 ไคลเอนต์ ต่อ 1 port ซึ่งสามารถขยายการใช้งาน port โดยที่ได้ทำการจัดการแก้ไขปัญหาการแทรกซ้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

การตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของแพลตฟอร์ม ใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์สามชุดทำหน้าที่เป็นไคลเอนต์และสร้างข้อมูลพารามิเตอร์ของแต่ละชุดเพื่อส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ จากการทดสอบอัตราความสำเร็จในการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ร้อยละ 98 ขึ้นไป ซึ่งถือว่าเป็นที่น่าพอใจสามารถกล่าวได้ว่าแพลตฟอร์มที่นำเสนอนี้สามารถใช้งานได้จริงทั้งในโหมดเรียลไทม์และออฟไลน์

ปัญหาและอุปสรรคจากการทดสอบนั้นเกิดจากความไม่เสถียรของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่ออัตราความสำเร็จในการถ่ายโอนข้อมูล หากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ใช้งานมีเสถียรภาพไม่เพียงพออาจทำให้การถ่ายโอนข้อมูลทำได้ไม่สมบูรณ์ และอาจทำให้ข้อมูลขาดหายไปในช่วง

แนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้คือ การปรับปรุงส่วนติดต่อผู้ใช้งานให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น การลดขนาดของการบันทึกข้อมูล หรือการเพิ่มเติมฟังก์ชันอื่นๆ เช่น การแสดงสถานะแบบเป็นโซน การควบคุมการเปิด-ปิดแบบทีละต้นด้วยการกดปุ่ม หรือการเพิ่มเติมการแสดงผลร่วมกับโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Costa M. A.D., Costa G. H., Santos A. S., Schuch L. and Pinheiro J. R., “A High Efficiency Autonomous Street Lighting System Based on Solar Energy and LEDs.” **Proc. IEEE-COBEP, Bonito-Mato Grosso do Sul, Brazil**, Oct. 2009. pp.265-273.
- [2] Javid N., Sharif A., Mahmood A., Ahmed S., Qasim U. and Khan Z. A., “Monitoring and Controlling Power using Zigbee Communications.” **Proc. IEEE-BWCCA, Victoria, BC, Canada**, Nov. 2012. pp.608-613.
- [3] Lavric A., Popa V. and Finis I., “The Design of a Street Lighting Monitoring and Control System.” **Proc. IEEE-EPE, Iasi, Romania**, Oct. 2012. Pp.314-317.
- [4] Leccese F., “Remote-Control System of High Efficiency and Intelligent Street Lighting Using a Zigbee Network of Devices and Sensors.” **IEEE Trans. On Power Delivery**, vol.28, no.1, Dec. 2012. pp.21-28.
- [5] Siregar S. and Soegiarto D., “Solar Panel and Battery Street Light Monitoring System Using GSM Wireless Communication System.” **Proc. IEEE-ICoICT, Bandung, Indonesia**, May 2014. pp.272-275.
- [6] Kaleem Z., Ahmad I. and Lee C., “Smart and Energy Efficient LED Street Light Control System using Zigbee Network.” **Proc. IEEE-FIT, Islamabad, Pakistan**, Dec. 2014. pp.361-365.
- [7] Chacon J., Vargas H., Farias G., Sanchez J. and Dormido S., “EJS, JIL, and LabVIEW: An Architecture for Rapid Development of Remote Labs.” **IEEE Trans. On Learning Technologies**, vol.8, no.4, Jan. 2015. pp.393-401.
- [8] Parekar S. R. and Dongre M. M., “An Intelligent System for Monitoring and Controlling of Street Light using GSM Technology.” **Proc. IEEE-ICIP, Pune, India**, Dec. 2015. pp.604-609.
- [9] Behrouz A. Forouzan. **Data Communications and Networking**. 5th ED. New York : McGraw-Hill. 2012.
- [10] จตุชัย แพงจันทร์ และ อนุชิต วุฒิพรพงษ์. **เจาะระบบ Network ฉบับสมบูรณ์**. นนทบุรี : ไอทีซี. 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Lynne Demaio. “How To Better Your Business By Network Marketing.” [Online]. Available : <http://oswegokc.org/better-business-network-marketing/>. 2016.
- [12] Nuttapon Kosantor. “การสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายคอมพิวเตอร์.” [Online]. Available : <https://sites.google.com/site/roomonline3/hxngreiyn-m-2/>. 2018.
- [13] ประทีน ทับไทร. “ระบบการสื่อสารข้อมูล.” [Online]. Available : https://sites.google.com/a/kts.ac.th/it_kts/home. 2015.
- [14] ปิยพร นุรารักษ์. “การสื่อสารข้อมูล.” [Online]. Available : <http://www.stou.ac.th/Schools/sst/main/Subject96101/96101-12.pdf>. 2015.
- [15] TechTerms. “Protocol Definition.” [Online]. Available : <https://techterms.com/definition/protocol>. 2018.
- [16] “Protocol คืออะไร มีกี่ประเภท ประโยชน์ของ Protocol มีอะไรบ้าง.” [Online]. Available : <http://www.เกร็ดความรู้.net/protocol/>. 2018.
- [17] TechTerms. “WLAN Definition.” [Online]. Available : <https://techterms.com/definition/wlan>. 2018.
- [18] น้าทิพย์ รัตนาวงษ์ไชยยา, สุมาลี โสณำเที่ยง และธรรมนุญ ดิษเจริญ. “ระบบเครือข่ายของคอมพิวเตอร์.” [Online]. Available : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/computer/network/net_index.htm. 2547.
- [19] National Instruments. LabVIEW User Manual. 2003.
- [20] กิจไพบุลย์ ชิวพันธุ์ศรี. LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2557.
- [21] Bilal. “Labview Tutorial: Getting Started with LabVIEW.” [Online]. Available : <http://microcontrollerslab.com/getting-started-labview-tutorial/>. 2017.

ภาคผนวก

บทความทางวิชาการ

ก.) บทความนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ, ICEE 2018

“A Smart Management Platform for Solar Street Lighting Networks Based-on a TCP/IP technology and LabVIEW™ program”, *Proc. ICEE 2018, Seoul, Korea, Jun. 2018.*

ข.) บทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ, JICEE 2017

“Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program”, *Journal of International Council on Electrical Engineering (JICEE)*, vol.7, no.1, 2017. pp.142-152. (DOI: 10.1080/22348972.2017.1345226).

ค.) บทความนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ, ICEE 2016

“Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program”, *Proc. ICEE 2016, Okinawa, Japan, Jul. 2016.*



ก.) บทความนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ, ICEE 2018

“A Smart Management Platform for Solar Street Lighting Networks Based-on a TCP/IP technology and LabVIEW™ program”, Proc. ICEE 2018, Seoul, Korea, Jun. 2018.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ICEE 2018

24th International Conference on Electrical Engineering

June 24-28, 2018 | Korea University, Seoul, Korea

2017
Dec. 15
Abstract
Submission

2018
Jan. 15
Abstract
Acceptance

2018
Mar. 10
Final Paper
Submission

2018
Mar. 31
Final Paper
Acceptance

2018
Apr. 15
Author/
Early Registration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

A Smart Management Platform for Solar Street Lighting Networks Based-on a TCP/IP technology and LabVIEW™ program

Nutthaka Chinomi*, Suttipong Boontaklang** and Chow Chompoo-Inwait†

Abstract – This research paper proposed ideas and implementations of a smart management platform to be used where there are more than two solar street lighting (SSL) fixtures installed in any area. Any group of multiple SSL fixtures will be called as an SSL network in this paper. The proposed smart platform intends to be used in either already-exist SSL networks or any newly-designed network. The idea of arranging and controlling the SSL networks may sound simple. In fact, there are lists of difficulties along the line of managing multiple SSL devices, for instances, real-time and continuous operations, sequencing problems, success rates of data transfer, long-distance issues and many more. Many SMART features such as variety of control capabilities, monitoring options, data analyzing, data logging, events alarming and finally report generating choices will be included in the proposed platform. The TCP/IP protocol will be used to identify each device entity in the networks. The wireless internet network will be used as medians for two-way communications between each SSL device and central server platform. The LabVIEW algorithms and programs will be configured as central server for this proposed platform. This platform is capable of simultaneously communicating with multiple SSL fixtures which have their own IP addresses. It is designed to manage at a maximum of 4,096 devices for each platform. Since this platform uses TCP/IP protocol, the like of acquiring and data transferring modules can practically be anything. It could be a microcontroller, as exemplify in this paper, a zigbee module or any other device which has the same ability. This will add the flexibility to apply this platform concept to any broad range of existing SSL fixtures. The detailed concepts, algorithms, the smart platform demonstrations of all functions mentioned above, the verification process and the conclusion will be elaborated here in this paper. The system demonstration of the proposed platform is done and illustrated using three microcontroller boards to generate three SSL matrix parameters. The experimental results are well beyond the expectations.

Keywords: Solar Street Lighting (SSL), Network, TCP/IP, LabVIEW™, Smart Management Platform

1. INTRODUCTION

Globally, conventional street lighting fixtures have long been used and installed. Meanwhile, more modern solar street lighting (SSL) fixtures are also gradually implemented lately. In Thailand, for example, more than thirty thousand SSL fixtures have been installed, countrywide, during the last two years, as for the energy conservation trends and concerns. Unfortunately, all of them are stand-alone type of SSL fixtures which operate independently. In some areas or site locations, i.e. many industrial estates, national stadiums, government office locations or public parks, stand-alone type of solar street lighting fixtures may not be the best solutions. It would be

much better in every aspect if we are somehow able to reconfigure, like grouping or do the zoning, controlling, monitoring or adding the necessary features when needed.

There are several researches on street lighting system based on various wireless network communications. Most of them emphasizes on a design that could increase the efficiency of the lighting, optimize management and reduce the costs related to energy consumption and maintenance. Some of them emphasizes on using zigbee as a transmitter to control and check the state of the street light [1]-[6].

From reasons given above, there is an idea on using a different method to approach a smart management platform for solar street lighting network, where TCP/IP technology and LabVIEW program are used. This research proposed the concept and implementations of a smart management platform, where several features included in the platform are control capabilities, monitoring options, data analyzing, data logging, events alarming and report generation.

† Corresponding Author : EE. Dept., Faculty of Engineering, KMUTL, Bangkok, Thailand (chompoo@kmutl.ac.th)

* EE. Dept., Faculty of Engineering, KMUTL, Bangkok, Thailand (nutthaka.c@kmutl.ac.th)

** EE. Dept., Faculty of Engineering, KMUTL, Bangkok, Thailand (suttipong_ce@hotmail.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

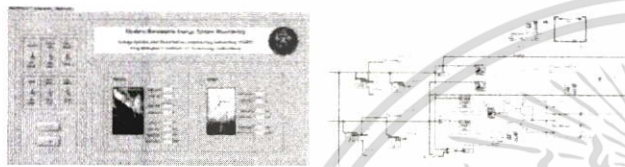
2. RELATED THEORIES

2.1 LabVIEW™

LabVIEW is an engineering software specializes in test, measurement and control solutions. It consists of two main parts: front panel and block diagram [7]-[10].

A) *Front Panel* is used as a mean to communicate between users and the program (user interface). An example of a front panel is shown in Fig. 1(a).

B) *Block Diagram* is similar to a source code of LabVIEW. An example of a block diagram is shown in Fig. 1(b).



(a) Front panel (b) Block diagram
Fig. 1. LabVIEW environment

2.2 TCP/IP technology

TCP/IP stands for Transmission Control Protocol/Internet Protocol, defines a communication between two or more devices (a server and clients). A server opens a port on a network, waits and listens to any client connecting to the same port and network. The server is able to identify every client connected to the network by their IP addresses. Both server and client can do a two-way communications; they can both send and receive data [11]-[12].

3. PLATFORM CONCEPTUAL DESIGNS

This section will explain four parts of the platform conceptual design: SSL network system overview, platform overview, client and server.

3.1 SSL Network System Overview

The overall system conceptual design is shown in Fig. 2. The system consists of an SSL network, a central managing server and a communication protocol. The proposed LabVIEW-based platform is acting as a central server here, responsible for control, monitor and management. An SSL network comprises of multiple SSL fixtures separated into multiple zones. They are acting as clients to the system. TCP/IP connection is a protocol in which both the server and the clients communicate by connecting to the same wireless network.

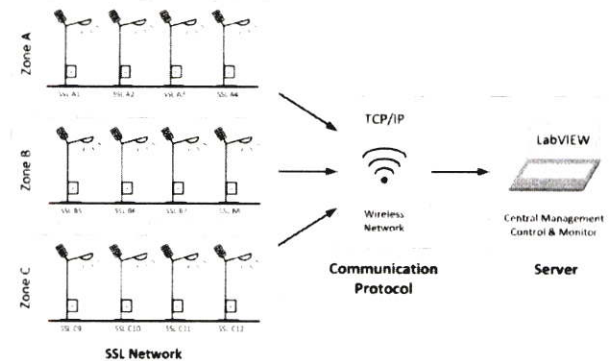


Fig. 2. Overall system concept

3.2 Platform Overview

The platform, shown in Fig. 3, consists of a client (SSL fixture), a server (LabVIEW) and a TCP/IP communication protocol. Each client is to be capable of sending acquired data to the server, receiving and executing commands from server. The server is responsible for receiving, storing and processing real-time data sent by clients in a network and sending on/off commands to control SSL fixture.

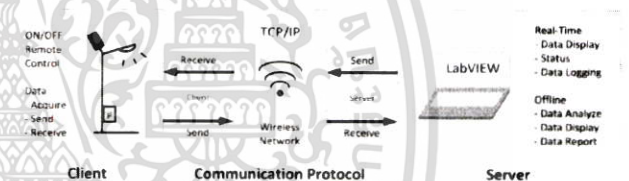


Fig. 3. Platform concept

The working process details of the platform are shown in Fig. 4. The client acquires and sends data every ten seconds. While not sending, it checks for any received command. The server is divided into real-time and offline part. In real-time part, once the server is running, it will check for any IP connection and wait to receive or send data. During this process, the sequencing problems might occur due to receiving data from multiple SSL. However, they are solved so the data are received in order. The data is then displayed and recorded automatically. In offline part, the data are displayed after the file is selected, and only then the summary report can be generated.

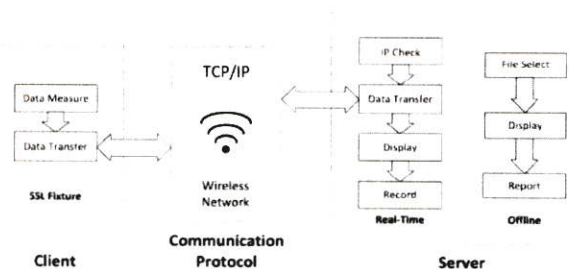


Fig. 4. Platform working process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Platform Client

An SSL fixture is defined as a client. For each client, both acquiring and data transferring modules are needed in order to acquire and send data to the wireless network via TCP/IP protocol. The module is responsible for acquiring various SSL parameters i.e. voltage, current, power, energy, total harmonic distortions and power factor, energy saving, cost saving, CO₂ reduction and SSL status. It is also responsible for sending the client's data i.e. IP address, geolocation information (latitude and longitude), date, time and the acquired parameters to the network in real-time. For the module, a zigbee, arduino or any devices capable of the same abilities are usable. The client conceptual design is shown in Fig. 5.



Fig. 5. Platform client concept

This platform uses a microcontroller and a wifi board to create both acquiring and transferring modules. However, in this case, the microcontroller shown in Fig. 6 is used to generate sets of the mentioned data and sends them to the network to verify the server in the next section.

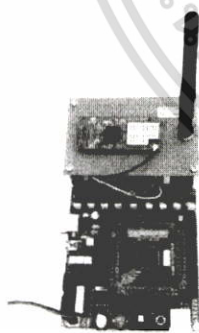


Fig. 6. Microcontroller

3.4 Platform Communication Protocol

TCP/IP protocol is a median for communication between server and clients. A wireless network where every clients and server can connect to is needed. It can either be a newly established wireless network or an existing wireless network. This paper uses an existing local wireless network.

3.5 Platform Server

The proposed central server has two main working conditions: in real-time part and offline part. The server conceptual design is shown in Fig. 7.

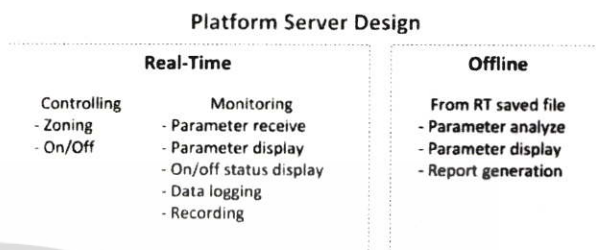


Fig. 7. Platform server concept

The real-time part is divided into controlling and monitoring part. The controlling part is capable of zoning and controlling the on/off status. The idea on zoning is to group multiple clients together in multiple zones so it is easier for users to identify and control the clients. The monitoring part is capable of continuous receiving and displaying data, stating SSL status and data logging. The file saved in this real-time part can later be opened and displayed in the offline part.

The offline part is for data analyzing, displaying and report generation. This part uses data from the saved file in the real-time part to display and create a summary report in pdf file format. It can be done in daily, monthly and annual.

3.6 Platform Server Application and Process

The running process of server starts once the application is executed. The main page, which is the selection of the existing running mode, is shown in Fig. 8. The screen will prompt and wait for user selections. The selection is between to run Real-Time mode, Offline mode or to stop the application. Both Real-Time and Offline mode can run simultaneously.

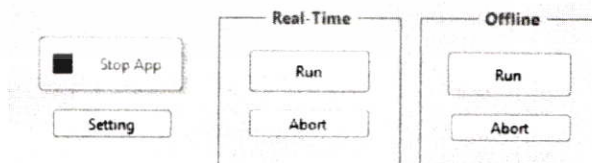


Fig. 8. Main page selection

A. The Real-Time Part

Once the Run button is selected, the Initial Settings will prompt up asking for project name and saving locations, shown in Fig. 9. The real-time features are then ready to use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Fig. 9. Initial settings

The user interface consists of four main features: main monitoring, zoning, data display and status. The main monitoring tab is shown in Fig. 10. The left side shows server and client connection status with some of the server settings, whereas the right side displays real-time data and parameters. The server is capable of communicating with a maximum of 4096 devices simultaneously.

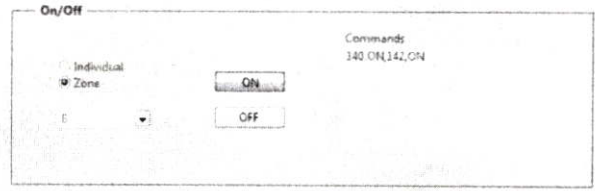


Fig. 10. Real-time interface

This real-time part is divided into two sub-parts: real-time controlling and real-time monitoring.

a. Real-Time Controlling

The controlling part comprises of two features: Zoning and Control. In zoning, the total number of zone should first be set. Then clients could be assigned to each zone as shown in Fig. 11(a). In control mode, the selection to turn on/off a group (zone) of clients or an individual can be done as shown in Fig. 11(b). The server will then send set of commands to the network so each client could receive and execute as commanded.

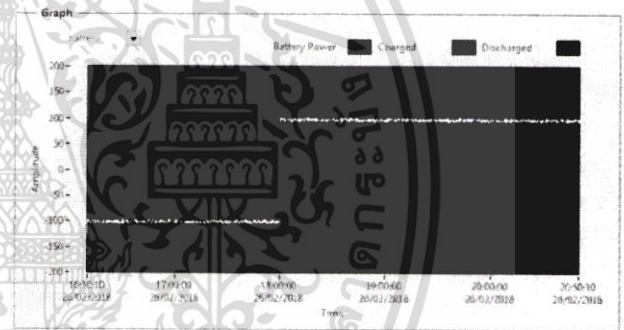


(b) Control

Fig. 11. Real-time controlling features

b. Real-Time Monitoring

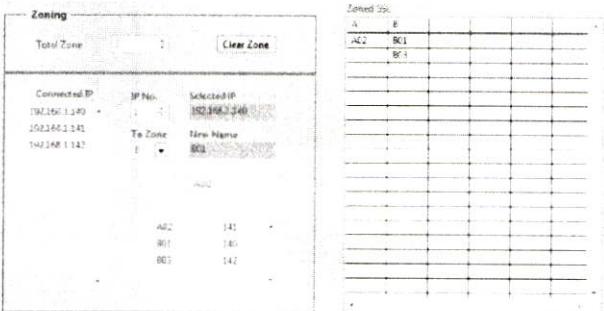
This part is where parameters are continuously being received and displayed. The data logging are also being processed at the same time. Parameters recorded are IP address, latitude and longitude, date, time, energy saving cost saving, CO₂ reduction, SSL status, voltage, current, power, energy, total harmonic distortions and power factor. It is divided into three types: daily record, monthly record and annual record, for further usage in the next offline part. Example of parameter displays and saving report location are shown in Fig. 12(a)-(c).



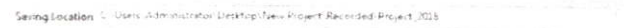
(a) Example of graphical parameter display

Time	IP	Power	Energy	Power Factor	THD	SSL	CO2	Cost
16:00:00	192.168.1.143	100.00	100.00	0.95	0.05	ON	0.00	0.00
17:00:00	192.168.1.143	100.00	100.00	0.95	0.05	ON	0.00	0.00
18:00:00	192.168.1.143	100.00	100.00	0.95	0.05	ON	0.00	0.00
19:00:00	192.168.1.143	100.00	100.00	0.95	0.05	ON	0.00	0.00
20:00:00	192.168.1.143	100.00	100.00	0.95	0.05	ON	0.00	0.00
20:40:10	192.168.1.143	100.00	100.00	0.95	0.05	ON	0.00	0.00

(b) Example of numerical parameter display



(a) Zoning



(c) Example of data logging location

Fig. 12. Real-time monitoring features

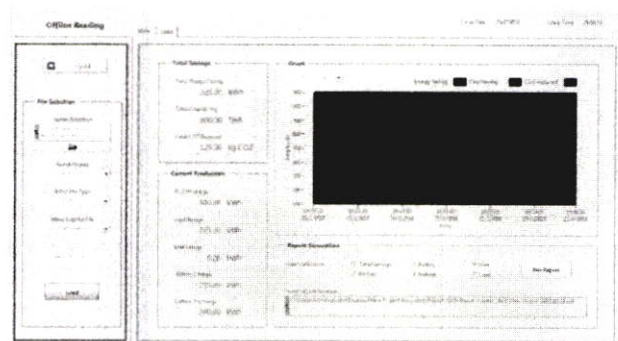
B. The Offline Part

Once the Run button is selected, the offline reading will prompt up and is ready to use.

The user interface consists of two tabs of data displays. The main display tab is shown in Fig. 13(a). The left side shows file selection, whereas the right side shows data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

display and report generation. Fig. 13(b) is an especially rearranged version of the file selection for a clearer view.



(a) Main display tab



(b) File selection

Fig. 13. Offline interface

A file that was recorded in the real-time monitoring needs to be first selected for the data to be displayed. The file is selected by choosing from the drop down button: the main folder, project folder, file type (daily, monthly or annual) and lastly the file name. Once the load button is pressed, the parameters are displayed the same way with real-time part as shown before in Fig. 12(a)-(b).

As for the report generation, the lists of graph to display in the report can be selected. The parameters are also included in the report. Once the Generate button is pressed, the summary report is generated and saved in the presented saved report location shown in Fig. 14.

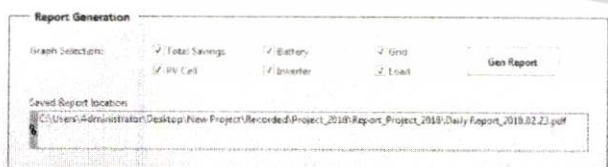


Fig. 14. Report generation

4. IMPLEMENTATION RESULTS

The platform implementation is verified using three microcontroller modules as clients to generate and send

SSL parameters every ten second to the wireless network. The verification is done on the following features.

4.1 Microcontroller-based Client Module

The module is test on data sending with a freeware that supports TCP/IP client and server terminal called Hercules SETUP utility from HW Group. Fig. 15 shows the Hercules software running as a server and the data received from connecting to the same wireless network as the module.



Fig. 15. Client verification

4.2 Real-Time Monitoring

This verification shows that during the continuous monitoring, the display feature is properly displayed as shown before in Fig. 10 and Fig. 16.



Fig. 16. Real-time monitoring verification

4.3 Real-Time Controlling

This verification shows that the real-time controlling features: zoning and control are properly working as mentioned and shown before in Fig. 11(a)-(b).

Since the microcontroller module in Fig. 6 cannot display the status command received, the Hercules software is used to represent the module. An example of a received command can be seen in Fig. 17.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

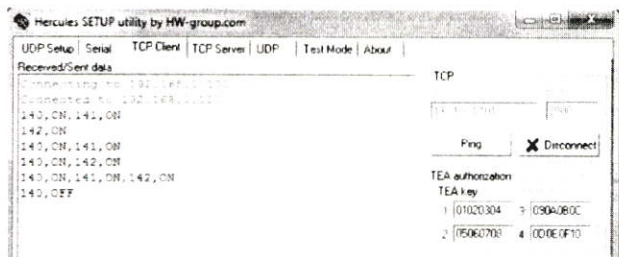


Fig. 17. Real-time controlling verification

4.4 Real-Time Recording

As the data are continuously received in the real-time monitoring part, they are also recorded simultaneously. An example of recorded parameters is shown in Table 1, 2 and 3. It was recorded according to the order they are received.

Table 1. An example of recorded parameters

IP Address	Latitude	Longitude	Date	Time	Energy Saving (kWh)	Cost Saving (THB)	CO ₂ Reduced (kg.CO ₂)	Lighting Status On (1) Off (0)
192.168.1.141	13.7297	100.7769	3/10/17	12:30:00	75	300	12	0
192.168.1.142	13.7293	100.7725	3/10/17	12:30:00	75	300	12	0
192.168.1.140	13.7291	100.7756	3/10/17	12:30:00	75	300	12	0
192.168.1.142	13.7293	100.7725	3/10/17	12:30:00	75	300	12	0
192.168.1.141	13.7297	100.7769	3/10/17	12:30:03	75	300	12	0
192.168.1.140	13.7291	100.7756	3/10/17	12:30:00	75	300	12	0
192.168.1.141	13.7297	100.7769	3/10/17	12:30:20	75	300	12	0
192.168.1.141	13.7293	100.7745	3/10/17	12:30:00	75	300	12	0
192.168.1.140	13.7291	100.7756	3/10/17	12:30:20	75	300	12	0

Table 2. An example of recorded parameters (Continued)

Battery				Inverter							
In (A)	P (W)	Energy		V _{in} (V)	I _{in} (A)	P (W)	Freq. (Hz)	P.F.	THD _v (%)	THD _i (%)	Energy (kWh)
		Charge	Discharge								
4.7	19.7	85	80	276	0.77	6.7	50.7	0.97	1.8	1.32	7.4
1.6	57.2	85	80	227	0.27	6.0	50.2	0.98	2.97	13.22	7.4
1.3	46.4	85	80	226	0.28	6.1	50.1	0.97	3.96	11.19	7.4
4	48.7	85	80	228	0.27	6.1	50.8	0.96	4.4	13.24	7.4
3.5	50.8	85	80	225	0.26	5.7	50.9	0.96	1.28	10.68	7.4
3.9	46.2	85	80	226	0.26	59.6	49.9	0.97	3.08	13.43	7.4
4.1	48.6	85	80	226	0.28	6.3	50.9	0.95	2.77	13.63	7.4
3.5	49.7	85	80	227	0.26	66.7	50.6	0.97	1.17	12.39	7.4
1.2	47.6	85	80	228	0.26	58.9	50.7	0.95	2.18	12.11	7.4

Table 3. An example of recorded parameters (Continued)

Grid								Load	
V _{in} (V)	I _{in} (A)	P (W)	Freq. (Hz)	P.F.	THD _v (%)	THD _i (%)	Energy (kWh)	P (W)	Energy (kWh)
0	0	0	0	0	0	0	0	62.12	75 (0)
0	0	0	0	0	0	0	0	61.09	75 (0)
0	0	0	0	0	0	0	0	64.17	75 (0)
0	0	0	0	0	0	0	0	61.56	75 (0)
0	0	0	0	0	0	0	0	57.45	75 (0)
0	0	0	0	0	0	0	0	59.8	75 (0)
0	0	0	0	0	0	0	0	63.36	75 (0)
0	0	0	0	0	0	0	0	60.26	75 (0)
0	0	0	0	0	0	0	0	59.96	75 (0)

4.5 Offline

Once the file is selected and the load button is pressed, data of the selected file are displayed, as shown before in Fig. 13(a) and Fig. 18.

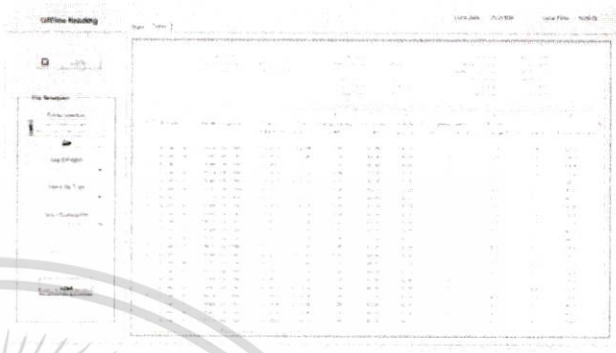


Fig. 18. Offline verification

4.6 Report Generation

As the Generate button is pressed, the summary report is generated and opened. An example of a report generated file is shown in Fig. 19.

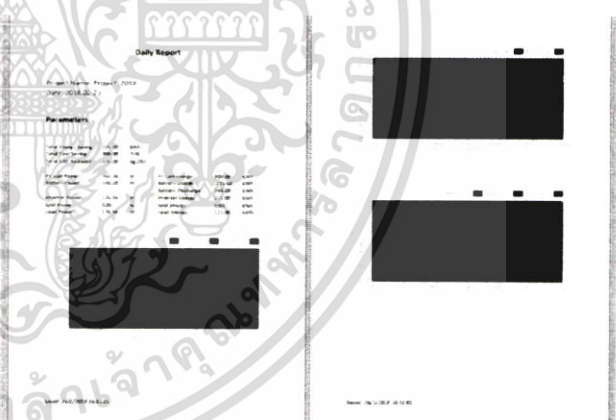


Fig. 19. Example of a summary report

5. CONCLUSIONS

The proposed smart management platform for SSL networks comprises of server, clients and communication protocol. The proposed server is capable of controlling, monitoring, data analyzing, data logging and report generation. The SSL clients are responsible for acquiring and data transferring. Both the server and clients are connected to a network with TCP/IP protocol. The proposed server can simultaneously manage multiple SSL clients where the sequencing problems are now resolved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The platform-implementation verifications are done using three microcontroller-based clients to generate three SSL matrix parameters. The success rate on data transferring from the experiment is between 85-95% which is highly satisfied. The success rate depends on network stability. It can be concluded that the proposed platform is well functioning as desired in both real-time and offline modes.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank KMITL's Electrical Engineering Department and members of the ESIRC for their contributions and supports put in this work.

REFERENCES

- [1] Fabio Leccese, "Remote-Control System of High Efficiency and Intelligent Street Lighting Using a ZigBee Network of Devices and Sensors," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol.28, no.1, pp 21-28, Jan 2013.
- [2] Zeeshan Kaleem, Ishtiaq Ahmad and Chankil Lee, "Smart and Energy Efficient LED Street Light Control System using ZigBee Network," in *Proceedings of IEEE FIT Conference*, Islamabad, Pakistan, Dec 2014.
- [3] Simon Siregar and Duddy Soegiarto, "Solar Panel and Battery Street Light Monitoring System Using GSM Wireless Communication System," in *Proceedings of IEEE ICOT Conference*, Bandung, Indonesia, May 2014.
- [4] M. Karthikeyan, V. Saravanan, S. Vijayakumar, "Cloud Based Automatic Street Light Monitoring System," in *Proceedings of IEEE ICGCEE Conference*, Coimbatore, India, March 2014.
- [5] N. Javaid, A. Sharif, A. Mahmood, S. Ahmed, U. Qasim and Z. A. Khan, "Monitoring and Controlling Power Using Zigbee Communications," in *Proceedings of IEEE BWCCA Conference*, Victoria, BC, Canada, Nov 2012.
- [6] Swati Rajesh Parekar and Manoj M. Dongre, "An Intelligent System for Monitoring and Controlling of Street Light using GSM Technology," in *Proceedings of IEEE ICIP Conference*, Pune, India, Dec 2015.
- [7] Chow Chompoo-Inwai and Jade Mungkomassawakul, "Data Acquisition System and Labview Program In Being a Smart and Low Cost Three Phase Disturbance Measuring Unit," in *Proceedings of ICEE2012 Conference*, Kanazawa, Japan, July 2012.
- [8] Chow Chompoo-Inwai and Jade Mungkomassawakul, "A Smart Recording Power Analyzer Prototype Using LabVIEW™ and Low-Cost Data Acquisition (DAQ) in Being a Smart Renewable Monitoring System," in *Proceedings of IEEE Green Technologies Conference*, Denver, CO, USA, April 2013.
- [9] Nutthaka Chinomi, Monthon Leelajindakraierk, Suttipong Boontaklang and Chow Chompoo-Inwai, "Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program," *Journal of International Council on Electrical Engineering*, vol.7, no.1, pp.142-152, June 2017.
- [10] National Instrument, [online] Available at: <http://www.ni.com>.
- [11] Margaret Rouse, *TCP/IP* [online] Available at: <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/TCP-IP>.
- [12] *A brief overview of TCP/IP communications*, [online] Available at: http://www.taltech.com/datacollection/articles/a_brief_overview_of_tcp_ip_communications.



Nutthaka Chinomi

She received her B.E. degree in Electrical Engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, in 2015. Currently, she is pursuing her M.E. in Electrical Engineering from the same school. Her research interests are Power Systems

Quality and Renewable Energy, Modern automation monitoring and control using new data acquisition system and PLC technologies.



Suttipong Boontaklang

He received his B.E. degree in Electrical Engineering from Rajamangala University of Technology Lanna Chiangmai (RMUTL), Thailand, in 2010 and M.E. degree in Electrical Engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, in 2013. Currently, he is pursuing his

doctoral degree in Electrical Engineering from KMITL. His research interests are Biomedical Engineering Equipment and Technologies, Power Systems Quality, Renewable Energy and Digital Signal Processing.



Chow Chompoo-Inwai, Ph.D.

He got his Ph.D. in Electrical and Computer Engineering from Clarkson University, New York, USA since 2009. He is now working as an assistant professor and a head of the Energy System and Illumination Research Center (ESIRC), Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology

Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand. He has more than twenty years of research and academics experiences in the field of Electrical Engineering. His research interests are various fields in Power Engineering i.e. Renewable Energy Generation & Applications, High Voltage Engineering & Modern diagnostic techniques, Modern Power Systems and Protections, Energy Efficient Management and Digital Signal Processing applications in Power Engineering and Illumination Engineering.

ข.) บทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ, JICEE 2017

“Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program”, *Journal of International Council on Electrical Engineering (JICEE)*, vol.7, no.1, 2017. pp.142-152. (DOI: 10.1080/22348972.2017.1345226).

Journal of International Council on

Electrical Engineering

Volume 5

Issue 1

September 2014

ISSN 2234-8972

JICEE

Journal of International Council on
Electrical Engineering



CSEE
Chinese Society for
Electrical Engineering



IEEJ

Institute of Electrical
Engineers of Japan

HKIE

HKIE
The Hong Kong
Institute of Engineers



KIEE

The Korean Institute of
Electrical Engineers



Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program

Nutthaka Chinomi, Monthon Leelajindakraierk, Suttipong Boontaklang & Chow Chompoo-Inwai

To cite this article: Nutthaka Chinomi, Monthon Leelajindakraierk, Suttipong Boontaklang & Chow Chompoo-Inwai (2017) Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program, Journal of International Council on Electrical Engineering, 7:1, 142-152, DOI: 10.1080/22348972.2017.1345226

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/22348972.2017.1345226>



© 2017 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group



Published online: 27 Jun 2017.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 418



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at

เอกสารนี้เป็นเอกสาร <http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tjee20> ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program

Nutthaka Chinomi, Monthon Leelajindakraierk, Suttipong Boontaklang and Chow Chompoo-Inwai

Faculty of Engineering, Electrical Engineering Department, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

ABSTRACT

This paper focuses on designing and implementing a prototype of smart monitoring system capable of doing multi functions i.e. monitoring, analysing and communicating with devices in a small micro-grid system. This research proposes the use of a combination between a low-cost data acquisition (NI compact DAQ) device and a commercially-used LabVIEW™ program in being a smart renewable monitoring and analysing system. The proposed set of equipment is capable of doing all the functions needed by utilities and users in the aforementioned micro-grid system. The proposed prototype is capable of measuring, monitoring and recording in both normal system operating conditions and when faults occurred. A number of power quality parameters that can be monitored and analysed are as follows: voltage (V), current (I), real power (P), reactive power (Q), apparent power (S), energy consumption (kWhr), power factor (PF), harmonics distortion (THDi and THDv), over/under voltage, sag as well as swell. Extensively in this paper, the principle design concepts, hardware implementations, the LabVIEW™ algorithm, how the overall system works, experimental results, the accuracy verification process and the conclusions will be thoroughly elaborated.

ARTICLE HISTORY

Received 28 April 2017
 Accepted 15 June 2017

KEYWORDS

LabVIEW™; data acquisition system (DAQ); power quality; smart monitoring; IEC61000-4-7 and IEEE1159–1995

1. Introduction

Generally, traditional analogue and digital measuring instruments are used to measure the system parameters, i.e. voltmeter, ammeter, etc. and not only these devices tend to be expensive, it also cannot be detected and monitored remotely (online measuring). It can only be measured in the same location it presents (on-site measuring). It cannot detect malfunctions or faults. Thus will show only quantitative data and cannot display qualitatively. Moreover, it cannot store the measured signals automatically in a desirable period of time. As a result, the analysis and display from these measuring instruments are not as effective as it should.

From the reason given above, there is a rough idea to design a set of measuring equipment for electrical signals analysis on renewable energy systems using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ designed, in which can measure and analyse like other measuring devices can with further features mainly to automatically store data in a desirable period of time and can be remotely controlled.

2. Related theories

2.1. Related parameters

There are various parameters to be calculated in this designed LabVIEW™ program. [1–4].

- (1) *Apparent Power (S), Real Power (P) and Reactive Power (Q)* are measured in Volt-Ampere (VA), watts (W) and Volt-Amperes Reactive (Var) respectively.


$$S_{3\phi} = 3V_{rms}I_{rms}\angle\theta \quad (1)$$

$$P_{3\phi} = 3V_{rms}I_{rms}\cos\theta \quad (2)$$

$$Q_{3\phi} = 3V_{rms}I_{rms}\sin\theta \quad (3)$$

- (2) *Power Factor (PF)* is a ratio between the applied real power and the apparent power.

$$PF = \cos\theta = P_{3\phi}/S_{3\phi} \quad (4)$$

CONTACT Chow Chompoo-Inwai  chompoooc@gmail.com, kcchow@kmit.ac.th

© 2017 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

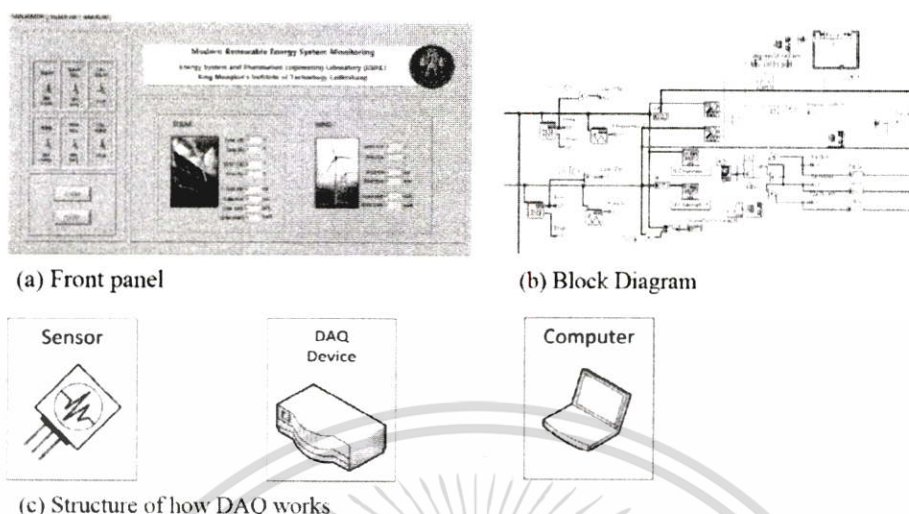


Figure 1. LabVIEW™ environment.

- (3) *Total Harmonic Distortions (THD_i, THD_v)* is a commonly used power quality index to quantify the distortion of a waveform. It is also defined as the relative signal energy present at non fundamental frequencies.

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n V_i^2}}{V_1} \times 100, i = 2, 3, 4, \dots, n \quad (5)$$

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_i^2}}{I_1} \times 100, i = 2, 3, 4, \dots, n \quad (6)$$

- (4) *Sag* is a decrease in rms voltage to between 0.1 and 0.9 pu for durations from 0.5 cycles to 1 min. Typical values are between 0.1 and 0.9 pu.
- (5) *Swell* is an increase in rms voltage above 1.1 pu for durations from 0.5 cycle to 1 min. Typical magnitudes are between 1.1 and 1.2 pu.
- (6) *Frequency variations* are the deviation of the power system fundamental frequency from its specified nominal value (e.g. 50 Hz, 60 Hz).

2.2. LabVIEW™

LabVIEW™ consists of two main parts, which are front panel and block diagram. The functions of these two components are as follows:

- (1) *Front Panel* is used as a mean to communicate between users and the program (also known as

user interface). An example of a front panel is as shown in Figure 1(a).

- (2) *Block Diagram* is similar to a source code of LabVIEW™. An example of a block diagram is as shown in Figure 1(b).

2.3. Data acquisition (DAQ)

DAQ hardware is a device that acts as an interface between a computer and external signals i.e. analogue signals, digital signal, sensors, transducers, etc. Figure 1(c) shows a structure of how DAQ works [5–7].

3. Conceptual design

The concept is to design a smart monitoring system for a modern renewable energy micro-grid system. The overall system considered in this paper consisted of solar plant, wind plant, load and storage system as shown in Figure 2.

3.1. Hardware configuration

The structure of smart monitoring system of solar plant, wind plant, load and storage system are shown in Figure 3–5 respectively. These structures have two meter to measure both the DC side and the AC side of a micro-grid system.

3.2. System functionalities

The designed concept is that the program is easy to use even for beginners. Its features comprise measuring, monitoring, analysing, displaying data quantitatively and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

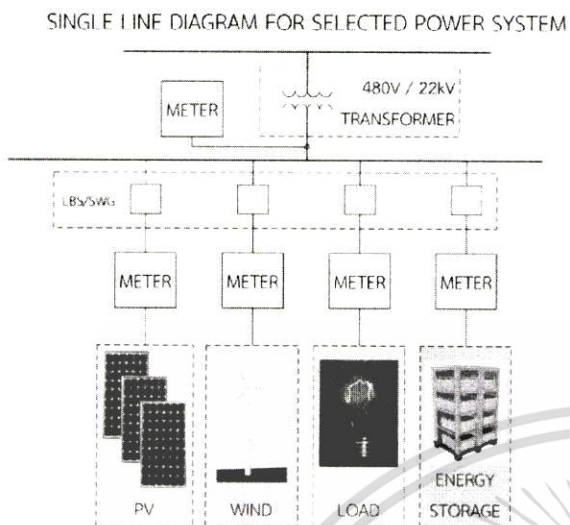


Figure 2. Overall concept for a smart grid monitoring.

qualitatively and detecting faults. The program should also be able to monitor three-phase energy system. And since the program is flexible, some other features can be added later on.

4. Implementations

To start monitoring an energy system, the program will get the basic data needed for analysis: voltage and current. They are sent to LabVIEW™ via DAQ. Voltage is reduced not to exceed ± 10 V (maximum for DAQ Model USB-6212). The results will be shown in the main monitoring tab. The other parameters such as temperature, wind speed, solar radiation, etc. will be converted into a voltage signal before being sent to DAQ for further analysis.

4.1. Hardware requirements

The devices used with the designed measuring program are:

- PC or Laptop with LabVIEW™ program
- NI DAQ Model: USB-6212
- Current Transformers (CTs)
- Potential Transformers (PTs)
- Sensors i.e. thermistor, solar irradiation sensor, wind vane, anemometer, etc.

4.2. Software implementations

The software is designed mainly for solar and wind energy system. The battery and load's parameters are parts of these two systems. The operational structure of the software implementation is shown in Figure 6. There are 3 main parts of the implementation: initial section, control section and multi-tab monitoring.

(1) Initial section

The first part is a button to run/stop the program. The second is a selection to operate on solar or wind (or further energy systems to be designed in the future). Then, the two operating modes selection (see also Control Section): the *monitoring mode* and the *simulating mode*. The front panel and block diagram are shown in Figure 7.

(2) Control section (mode selection)

The basic parameters can be received, either from monitoring mode or simulating mode. The monitoring mode receives real-time input signals via DAQ and sends them for analysis in the multi-tab

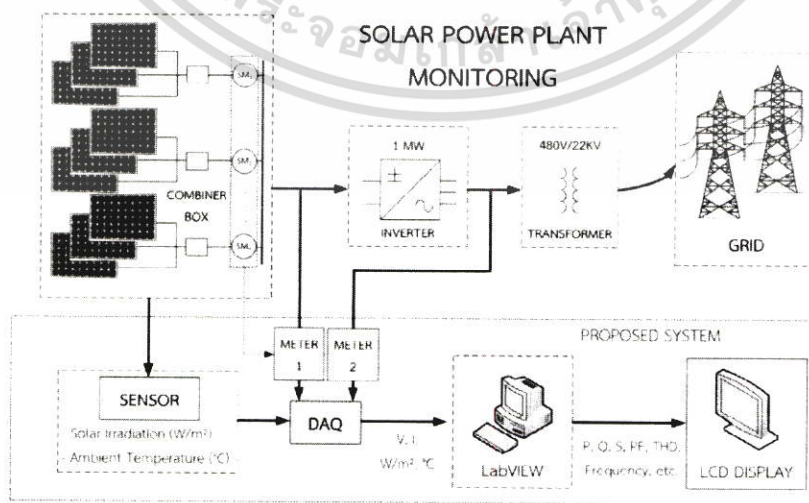


Figure 3. Solar plant monitoring structure.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

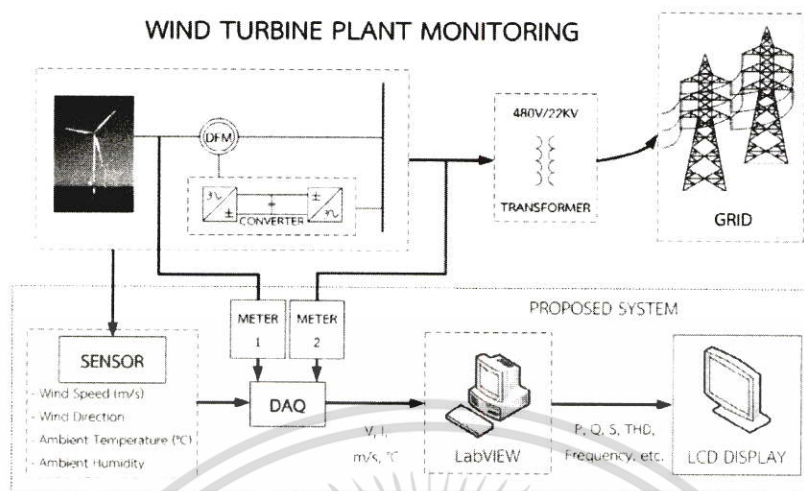


Figure 4. Wind plant monitoring structure.

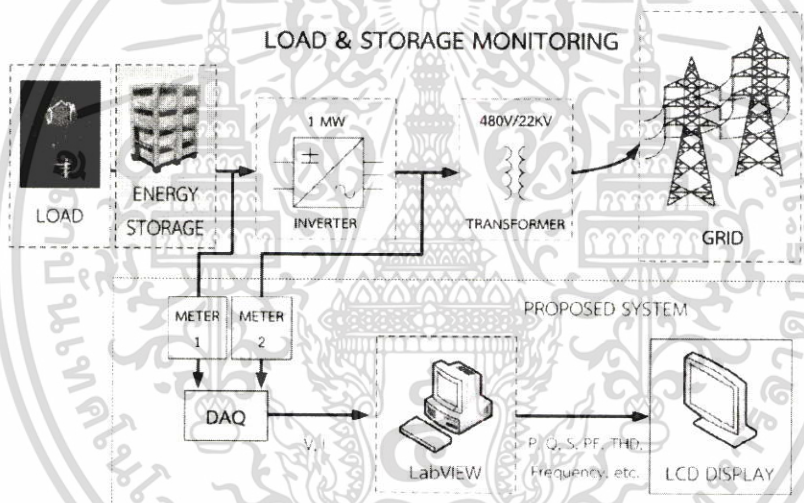


Figure 5. Load and storage configuration structure.

monitoring explained in the following section. There are two sub-modes to the simulating mode: one is simulation via DAQ and the other is manual simulation by users.

- DAQ Simulation: The DAQ device automatically simulates voltage, current, frequency and phase.
- Manual Simulation: The basic parameters are manually customized by users via the designed simulation panel: voltage, current, frequency and phase.

(3) Multi-tab Monitoring

The multi-tab monitor shows real-time system data along the operating period. There are 9 tabs and each tab represents the following features:

- Parameter: shows overall system parameters e.g. V, I, S.
- Waveform: shows systems specific data and waveforms
- VI Phase: shows each phase V, I data and waveforms
- Power Phase: shows each phase S, P, Q data and waveforms
- Power 3-Phase: shows three-phase S, P, Q data and waveforms
- %THDv, %THDi: shows total harmonic distortion
- SAVE: record signals and data
- REPORT: import and display saved data
- STATUS: shows Fault event status and alarm

Figure 8 shows these multi-tab features: (a) Parameter, (b) Waveform, (c) VI Phase, (d) Power Phase, (e) Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

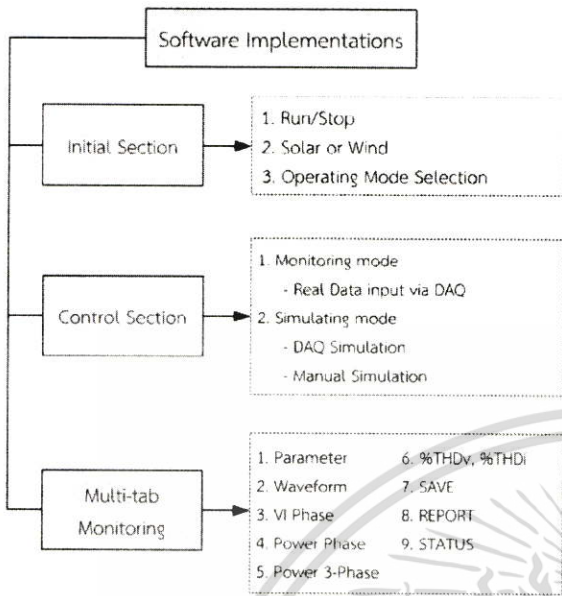


Figure 6. Software implementations structure.

3-Phase, (f) %THDv, %THDi, (g) SAVE, (h) REPORT and (i) STATUS.

5. Experimental results

5.1. Accuracy verification

The data collected from the proposed method will be compared with the data from the referenced measuring device. The hardware configuration for the verification is shown in Figure 9 and 10. This verification process consists of 5 stages.

(1) The ratio calibration

Test for the tolerances of the CTs and PTs to assure the accuracy. The calibration uses three-phase

power supply, CTs and PTs with three-phase star-connected load (incandescent lamps). The input voltage supply in this experiment to the load is 20%–110% of 220 Vrms. The result from ratio calibration is shown in Table 1 and the verification test result done after calibrating is shown in Table 2.

(2) Phase angle calibration (caused by CTs)

The possible instruments that can cause phase shift are CTs and PTs because they comprise core and coil. When tested and compare the phase shift of the two: voltage and current, it is shown that only current has a phase shift. Therefore, phase angle calibration is conducted with linear and non-linear load. The result from the experiment shows that with different load, the phase angle calibration differs. An example of linear load test is shown in Figure 11. Table 3 shows the result phase angle calibration of linear load.

(3) Frequency variation

This test used function generator to generate sinusoidal signals at various frequency: 50 Hz, 150 Hz, 1 kHz, 1.5 kHz to 2.5 kHz, and record the frequency measured by the designed program. The results are compared to the referenced device shown in Table 4.

(4) Total harmonic distortion

Voltage and current harmonics are analysed by conducting RL Load test. From the comparison of the designed measuring instruments (DAQ and LabVIEW™) and referenced measuring device (CA-8335 Qualistar+), the harmonic distortions are shown in Table 5 and example of phase A in Figure 12.

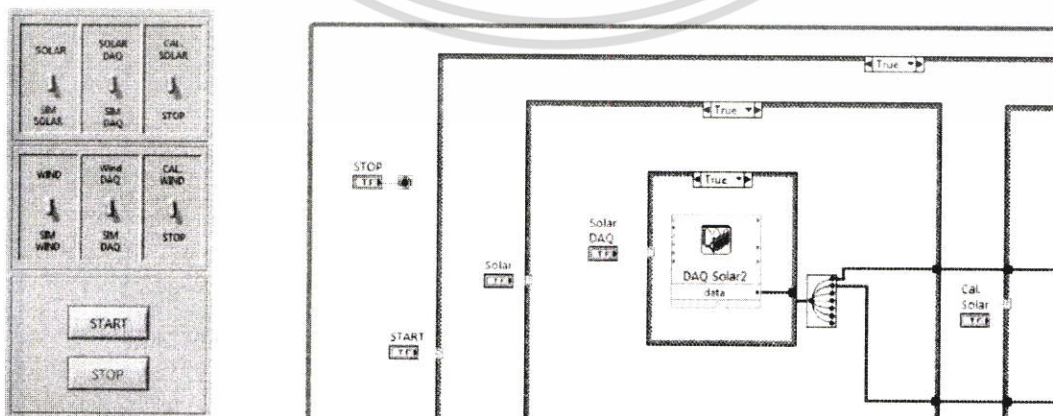
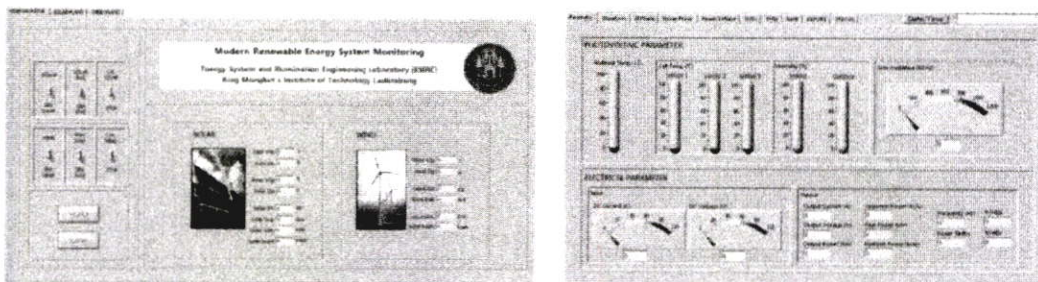
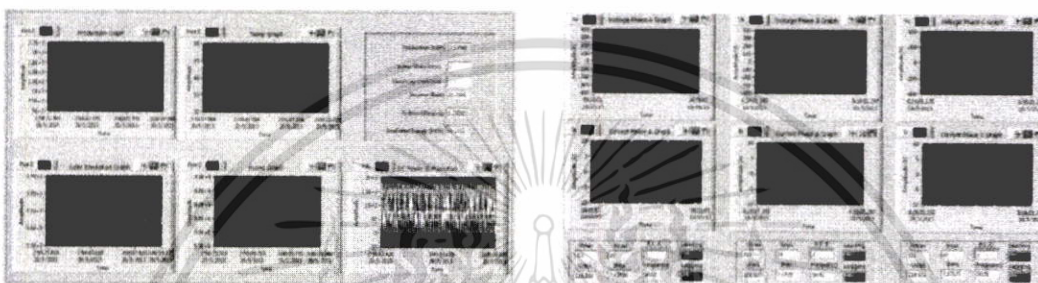


Figure 7. Front panel and block diagram for the initial section.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Main and Parameter



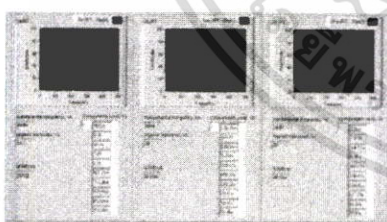
(b) Waveform

(c) VI Phase



(d) Power Phase

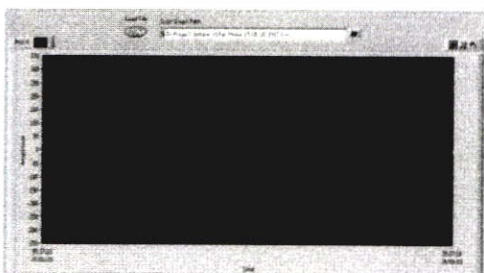
(e) Power 3-Phase



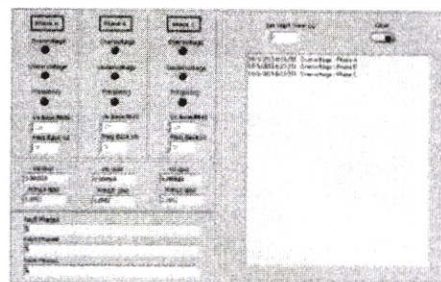
(f) %THDv, %THDi



(g) Save



(h) Report



(i) Status

Figure 8. The multi-tab monitoring display.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 1. CTs and PTs ratio calibration.

Phase	Current Transformer		Potential Transformer	
	Nameplate ratio	Actual ratio	Nameplate ratio	Actual ratio
A	40	44.28	50	49.32
B	40	43.65	50	49.32
C	40	45.80	50	49.41

Table 2. Test after ratio calibration.

Phase		V (V)	I (A)	S (VA)
A	CA-8335 Qualistar+	220.40	1.68	368.30
	DAQ and LabVIEW™	220.20	1.67	367.85
	%Error	0.091	0.595	0.122
B	CA-8335 Qualistar+	220.70	1.68	369.90
	DAQ and LabVIEW™	221.30	1.68	372.89
	%Error	-0.271	0	-0.808
C	CA-8335 Qualistar+	219.40	1.67	366.30
	DAQ and LabVIEW™	220.13	1.73	381.60
	%Error	-0.333	-3.592	-4.177

Table 3. Phase angle calibration.

CTs	Phase Angle Calibration (Degree)
Phase A	-12.509
Phase B	-7.817
Phase C	-13.00

Table 4. Test for frequency variation.

Function Generator	LabVIEW™	Error Percentage
Frequency (Hz)	Frequency (Hz)	(%)
50	50.01	-0.020
150	150.08	-0.053
1000	1001.26	+0.126
1500	1503.52	-0.235
2500	2499.42	0.023

Table 5. Total harmonic distortion comparison.

Phase	Total Harmonic Distortion (%)		
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW™	%Error
A	1.4122	1.4576	-3.151
B	1.3513	1.4168	-4.847
C	1.3720	1.4349	-4.584

Table 6. Parameters comparison for linear load test.

Parameter	Linear Load					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW™	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW™	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW™
V (V)	220.40	220.20	220.70	221.30	219.40	220.13
I (A)	1.68	1.67	1.68	1.68	1.67	1.73
S (VA)	368.30	367.85	369.90	372.89	366.30	381.60
P (W)	368.30	367.38	369.90	373.07	366.30	380.39
Q (VAR)	0.50	13.25	3.30	11.75	3.10	27.60
PF	1.00	0.9994	1.00	0.9995	1.00	0.997
THDv (%)	1.90	1.97	1.90	2.03	1.90	1.87
THDi (%)	2.00	2.14	2.10	2.11	1.90	1.99

(5) Experiment using Linear load and non-linear load

The experiment data of the proposed device was compared with a reference measuring device (CA-8335 Qualistar+) at 220 V, 50 Hz. The results of the test are shown in Table 6 and 7.

5.2. Online measurement

The two computers or laptops using this designed program need to be connected through the internet, so the measuring data can be transferred online. There are two ways of doing this: one is using remote access software i.e. TeamViewer™, the other is using LabVIEW™ online features as shown in Figure 13.

5.3. Data recording

The recording can be done in two ways: one is recording data by the desired time interval and the other is recording data by the desired numbers of cycle. The parameter data will be recorded in a file via the SAVE tab. This function recorded all parameters: voltage, current, power, solar irradiation, wind speed, temperature, etc. An example of recorded data file is shown in Figure 14(a).

5.4. Fault event alarm

The fault alarm is in the STATUS tab as shown in Figure 14(b). It will detect overvoltage, undervoltage, frequency variations according to the base value customized by users and the IEEE Std. 1159-1995 [1]. If fault occurs, it is set to show on the status panel and recorded in a file automatically.

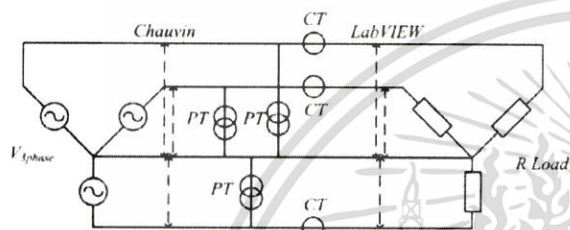
5.5. Real-time measuring

The designed program was used to measure the actual renewable energy system, in this case, solar and wind

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 7. Parameters comparison for non-linear load test.

Parameter	Non-Linear Load					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW™	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW™	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW™
V (V)	220.40	220.20	220.40	221.03	219.60	220.25
I (A)	0.79	0.78	0.79	0.79	0.78	0.80
S (VA)	174.70	170.96	173.90	174.82	171.90	176.77
P (W)	88.50	88.10	88.10	88.76	87.70	84.62
Q (VAR)	150.50	146.04	149.70	150.59	148.40	155.41
PF	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51	0.48
THDv (%)	1.60	1.73	1.80	1.82	1.90	1.92
THDi (%)	10.10	11.34	10.20	10.78	10.20	11.20

**Figure 9.** Circuit used for calibration.

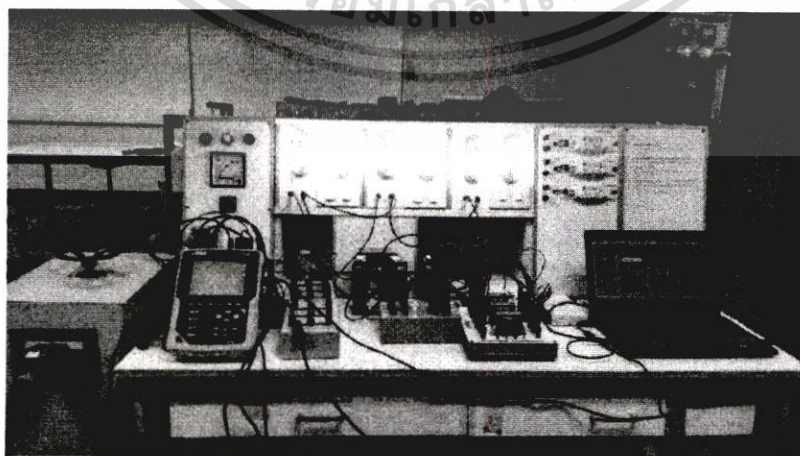
system. The measurements of the solar irradiation, wind speed, wind direction, temperature, humidity and the power output of solar cells are performed using sensors sending the signals via DAQ to LabVIEW™ to do real-time processing and recording as shown in Figure 15.

The experiment was conducted at a laboratory within the KMITL, Bangkok on May 17, 2015, for three hours. The purpose of this is to assure that the program runs perfectly during the real-time monitoring. The experiment was divided into two parts:

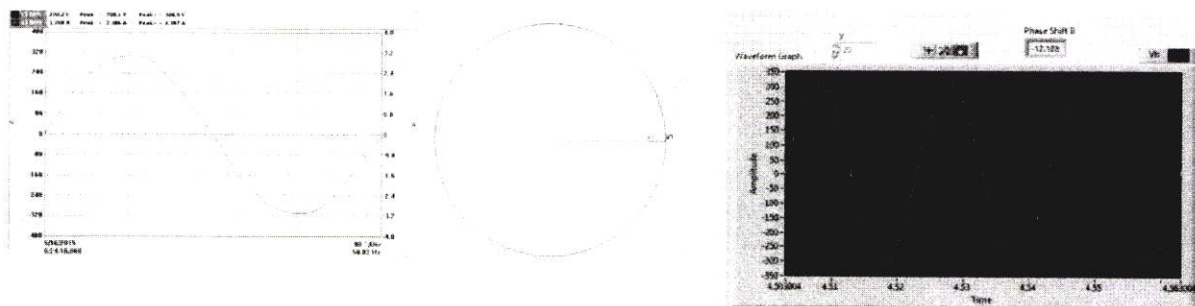
(1) *The DC Input:* measures wind speed, temperature, humidity, solar irradiation, DC power, voltage and current. The experiment used anemometer (Davis 7911) and one solar panel of 245 W and 50 units of 100 W incandescent lamps as a single phase load to the system. The results from the experiment are recorded and plotted. Example of the plotted data is shown in Figure 16.

(2) *The AC Output:* measures parameters after an inverter i.e. AC power, voltage and current, power factor, %THD. The experiment is conducted at 230 V, single phase with 55 W LED light as load. The results from the experiment are recorded and plotted. Example of plotted data is shown in Figure 17.

The designed measuring equipment worked effectively in both wind and solar energy and was able to meet the prior objectives of measuring in both quantitative and qualitative data and to get input from the sensors efficiently. Although this experiment was conducted in a single phase system, the designed program is capable of monitoring in

**Figure 10.** Hardware set up for calibration.

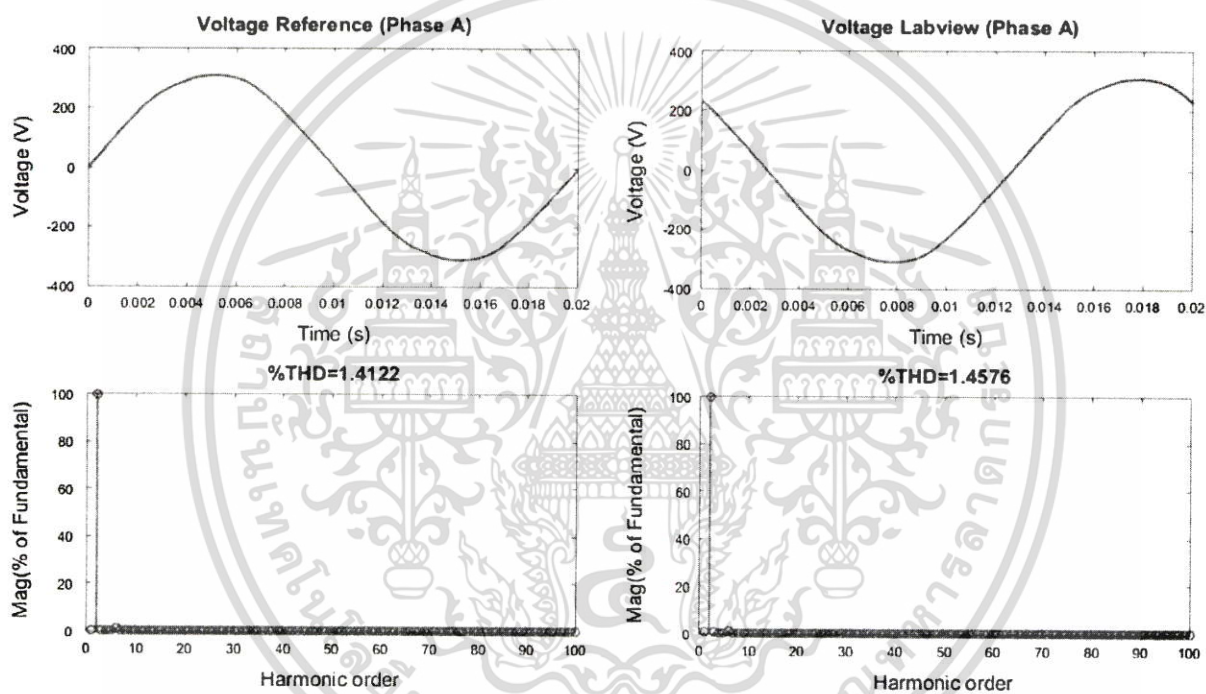
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) CA-8335 Qualistar+

(b) DAQ and LabVIEW™

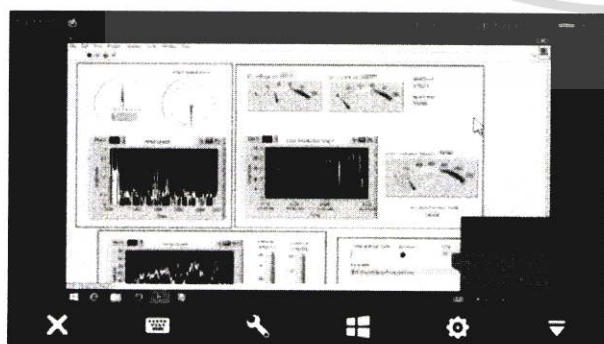
Figure 11. Linear load phase shift.



(a) CA-8335 Qualistar+

(b) DAQ and LabVIEW™

Figure 12. Total harmonic distortion comparison in phase A.



(a) TeamViewer™



(b) LabVIEW™

Figure 13. Online measuring.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	Solar Voltage	Solar Current	Production	Output Power	Solar irradiation	Irradiated Energy	Ambient Temp.	Wind Direction	Wind Speed
5/24/2015 13:22:20.857	31.958086	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:22:40.853	31.910727	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:23:00.849	31.863368	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:23:20.845	31.816009	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:23:40.841	31.768650	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:24:00.837	31.721291	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:24:20.833	31.673932	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:24:40.829	31.626573	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:25:00.825	31.579214	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:25:20.821	31.531855	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:25:40.817	31.484496	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:26:00.813	31.437137	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:26:20.809	31.389778	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:26:40.805	31.342419	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:27:00.801	31.295060	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:27:20.797	31.247701	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:27:40.793	31.200342	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:28:00.789	31.152983	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:28:20.785	31.105624	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:28:40.781	31.058265	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:29:00.777	31.010906	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:29:20.773	30.963547	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:29:40.769	30.916188	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:30:00.765	30.868829	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:30:20.761	30.821470	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:30:40.757	30.774111	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:31:00.753	30.726752	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:31:20.749	30.679393	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:31:40.745	30.632034	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:32:00.741	30.584675	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:32:20.737	30.537316	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:32:40.733	30.489957	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:33:00.729	30.442598	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:33:20.725	30.395239	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:33:40.721	30.347880	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:34:00.717	30.300521	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:34:20.713	30.253162	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:34:40.709	30.205803	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:35:00.705	30.158444	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:35:20.701	30.111085	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:35:40.697	30.063726	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:36:00.693	30.016367	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:36:20.689	29.969008	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:36:40.685	29.921649	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:37:00.681	29.874290	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:37:20.677	29.826931	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:37:40.673	29.779572	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:38:00.669	29.732213	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:38:20.665	29.684854	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:38:40.661	29.637495	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:39:00.657	29.590136	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:39:20.653	29.542777	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:39:40.649	29.495418	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:40:00.645	29.448059	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:40:20.641	29.400700	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:40:40.637	29.353341	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:41:00.633	29.305982	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:41:20.629	29.258623	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:41:40.625	29.211264	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:42:00.621	29.163905	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:42:20.617	29.116546	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:42:40.613	29.069187	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:43:00.609	29.021828	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:43:20.605	28.974469	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:43:40.601	28.927110	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:44:00.597	28.879751	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:44:20.593	28.832392	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:44:40.589	28.785033	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:45:00.585	28.737674	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:45:20.581	28.690315	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:45:40.577	28.642956	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:46:00.573	28.595597	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:46:20.569	28.548238	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:46:40.565	28.500879	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:47:00.561	28.453520	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:47:20.557	28.406161	2.625706	0.177584	68.071266	969.474725	8.597928	33.735279	2.765596	2
5/24/2015 13:47:40.553	28.358802	2.625706	0.177584						

a three-phase system as the verification process cover all the three-phase.

6. Conclusions

The proposed method is designed to have the ability to measure various electrical parameters, to determine power quality parameters, to simulate and analyse the signals, to record parameters and to detect faults. The recording can be done in two ways: one is recording data by the desired time interval and the other is recording data by the desired numbers of cycle. The fault event alarm will detect overvoltage, undervoltage and frequency variations. This virtual instrument operates in both normal conditions and when fault occurs.

The advantages of the proposed device are plenty. It can detect various parameters and recorded automatically, can measure and analyse parameters accurately and can also be used via remote control. When compare the prices and the performance this method has given, it is totally worthy than some of the traditional measuring devices.

Geolocation information: KMITL, Bangkok, Thailand, 10520.

Acknowledgement

The author would like to thank KMITL's Electrical Engineering Department and members of the ESIRC for their contributions and supports put in this work.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Notes on contributors

Nutthaka Chinomi received her BE degree in Electrical Engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, in 2015. Currently, she is pursuing her ME in Electrical Engineering from the same school. Her research interests are Power Systems Quality and Renewable Energy, Modern automation monitoring and control using new data acquisition system and PLC technologies.

Monthon Leelajindakraierk received his BE degree in Electrical Engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand. He got his DE degree in Electrical Engineering from Tokai University, Japan, in 2009. His research interests are Power System Protections, Power system Control and Power system Stability.

Suttipong Boontaklang received his BE degree in Electrical Engineering from Rajamangala University of Technology Lanna Chiangmai (RMUTL), Thailand, in 2010 and ME degree in Electrical Engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, in 2013. Currently, he is pursuing his doctoral degree in Electrical Engineering from KMITL. His research interests are Biomedical Engineering Equipment and Technologies, Power Systems Quality, Renewable Energy and Digital Signal Processing.

Chow Chompoo-Inwai, PhD, is now a head of the Energy System and Illumination Research Center (ESIRC), Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand. He has more than twenty years of research and academics experiences in the field of Electrical Engineering. His research interests are various fields in Power Engineering i.e. Renewable Energy Generation & Applications, High voltage Engineering & Modern diagnostic techniques, Modern Power Systems and Protections, Energy Efficient Management and Digital Signal Processing applications in Power Engineering and Illumination Engineering.

ORCID

Chow Chompoo-Inwai  <http://orcid.org/0000-0002-4411-2640>

References

- [1] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. New York: IEEE; 1995. Standard No. 1159-1995: 1995.
- [2] Chompoo-inwai C, Mungkornassawakul J. Data acquisition system and labview program in being a smart and low cost three phase disturbance measuring unit. Paper presented at: The International Conference on Electrical Engineering (ICEE); 2012 Jul 8–12; Kanazawa, Japan.
- [3] Chompoo-inwai C, Mungkornassawakul J. A smart recording power analyzer prototype using LabVIEW and low-cost data acquisition (DAQ) in being a smart renewable monitoring system. Paper presented at: IEEE Green Technologies Conference; 2013 Apr 4–5; Denver, CO.
- [4] Norasing S. Electrical power quality (in Thai). 2002. Thai.
- [5] Hongsakul P, Yotha P. The study and analysis of the electrical faults using Data Acquisition System and LabVIEW program [Bachelor's Thesis]. Bangkok: KMITL; 2009.
- [6] Cheewapantusri K. LabVIEW for development of instrument (in Thai). Bangkok: SE-Education Public Company Limited; 2014. Thai.
- [7] National Instruments. Measurements manual. Texas: National Instruments Corporation; 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค.) บทความนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ, ICEE 2016

“Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program”, Proc. ICEE 2016, Okinawa, Japan, Jul. 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ICEE 2016 Okinawa

The International Conference on Electrical Engineering 2016
3 - 7 July 2016, Okinawa Jichikaikan, Okinawa, Japan



一般社団法人 電気学会



HKIE

The theme of ICEE 2016 is
“Future Technology for
Bridging Nations”

CALL FOR PAPERS

ICEE 2016 Website ☉ <http://www.okinawa-congre.co.jp/icee2016>



Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW program

Nutthaka CHINOMI, Monthon LEELAJINDAKRAIRERK,
Suttipong BOONTAKLANG and Chow CHOMPOO-INWAI
Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering,
King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok, THAILAND.

Abstract

Power flow and power quality measurement and monitoring in the power system have long been an important issue in the power generation, transmission and distribution systems. Especially, today's trend of having all kind of renewable/alternative energy sources connected to the existing grid system, the importance of understanding and being able to monitor and analyze the power flow and power quality of the system is double its roles. Another big issue coming in a very near future is called smart grid that comprised of several micro-grid system in order to improve the electricity supply chain that runs from a major power plant all the way to inside our homes. The principle of a smart grid or micro-grid system is to add a smart monitoring, smart control and smart communication capabilities to the existing grid system to maximize the throughput of the system while reducing the energy consumption. The smart grid or micro-grid concept will also allow utilities to transfer electricity around the system as efficient and economical as possible. This paper focuses on designing and implementing a prototype of smart monitoring system that are capable of doing multi-functions to monitor, analysis and communicate with all the devices in a small micro-grid system. Such a demonstrated system comprises of one solar panel of 245W and wind vane with 5kW incandescent lamps as load to the DC input and with 55W LED light as load to the AC output. This research proposes the use of a combination between a low-cost data acquisition (NI compact DAQ) device and a commercially-used LabVIEW™ program in being a smart renewable monitoring and analyzing system. The proposed set of equipment is capable of doing all the functions needed by utilities and users in the above demonstrating micro-grid system. The proposed prototype is capable of measuring and monitoring in both normal system operating conditions and when faults occur. The examples of parameters which can monitored at each point of interests e.g., voltage (V), current (I), real power (P), reactive power (Q), apparent power (S), energy consumption (kWhr), power factor (PF), Harmonics distortion (IEC61000-4-7, IEEE1159-1995), over and under voltage, Sag and Swell. In this paper, the design concepts, the hardware requirements, the LabVIEW algorithm elaborations, how the overall system works, the experimental results, the accuracy verification process and the conclusions will be thoroughly explained.

Keywords: LabVIEW, Data acquisition system (DAQ), Power quality, Power flow

1 INTRODUCTION

Thailand relies on energy imports from foreign countries. The ratio of oil import is up to 80 percent of total domestic oil consumption and is likely to rise due to the inability to increase production in the country to keep up with the demand. Renewable energy development will seriously reduce our dependence on imported oil and gas and other energy. It also helps to diversify the risk of fuel supply for power generation. The renewable energy is one of the fuels that are expected to replace natural gas in the electricity generation, especially solar, wind, hydro, biomass, biogas and waste may develop to be a major fuel for power generation in the future.

Generally, traditional analog and digital measuring instruments are used to measure the system parameters, i.e. voltmeter, ammeter, etc. and not only these devices tend to

be expensive, it also cannot be detected and monitored remotely (online measuring). It can only be measured in the same location it presents (on-site measuring). When a malfunction or fault occurs, such devices will not be able to tell what happened to the system. Thus will show only quantitative data and cannot display qualitatively. Moreover, such devices do not have a memory for storing the measured signal automatically in a desirable period of time. As a result, the analysis and display from these measuring instruments are not as effective as it should.

From the reason given above, there is a rough idea to design a set of measuring equipment for electrical signals analysis on renewable energy systems using a low-cost data acquisition system and LabVIEW designed, in which can measure and analyze like other measuring devices can with further features mainly to automatically store data in a desirable period of time and can be remotely controlled.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 RELATED THEORIES

2.1 Related Parameters

There are various parameters to be calculated in this designed LabVIEW program. [1-4]

A) *Apparent Power (S), Real Power (P) and Reactive Power (Q)* are measured in Volt-Ampere (VA), watts (W) and Volt-Amperes Reactive (Var) respectively.

$$S_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \angle \theta \tag{1}$$

$$P_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \cos \theta \tag{2}$$

$$Q_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \sin \theta \tag{3}$$

B) *Power Factor (PF)* is a ratio between the applied real power and the apparent power.

$$PF = \cos \theta = P_{3\phi} / S_{3\phi} \tag{4}$$

C) *Total Harmonic Distortions (THDi, THDv)* is a commonly used power quality index to quantify the distortion of a waveform. It is also defined as the relative signal energy present at non fundamental frequencies.

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n V_i^2}}{V_1} \times 100, i = 2, 3, 4, \dots, n \tag{5}$$

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_i^2}}{I_1} \times 100, i = 2, 3, 4, \dots, n \tag{6}$$

D) *Sag* is a decrease in rms voltage to between 0.1 pu and 0.9 pu for durations from 0.5 cycles to 1 min. Typical values are between 0.1 pu and 0.9 pu.

E) *Swell* is an increase in rms voltage above 1.1 pu for durations from 0.5 cycle to 1 min. Typical magnitudes are between 1.1 pu and 1.2 pu.

F) *Frequency variations* are the deviation of the power system fundamental frequency from its specified nominal value (e.g., 50Hz, 60Hz).

2.2 LabVIEW

LabVIEW consists of two main parts, which are front panel and block diagram. The functions of these two components are as follows:

A) *Front Panel* is used as a mean to communicate between users and the program (also known as user interface). An example of a front panel is as shown in Figure 1(a).

B) *Block Diagram* is similar to a source code of LabVIEW. An example of a block diagram is as shown in Figure 1(b).

2.3 Data Acquisition (DAQ)

DAQ hardware is a device that acts as an interface between a computer and external signals i.e. analog signals, digital signal, sensors, transducers, etc. Figure 1(c) shows a structure of how DAQ works. [5-7]

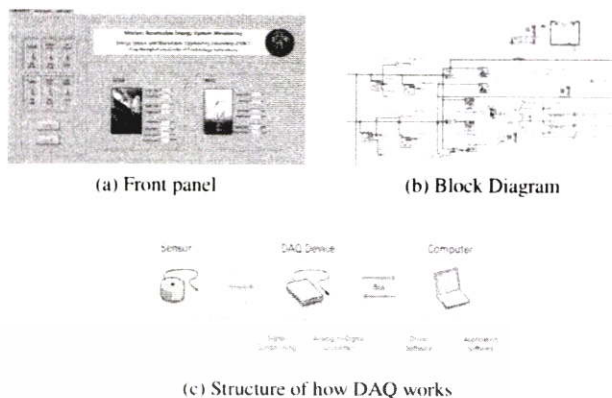


Figure 1. LabVIEW Environment

3 CONCEPTUAL DESIGN

The concept is to design a smart monitoring system for a modern renewable energy micro-grid system. The overall system considered in this paper consisted of solar plant, wind plant, load and storage system as shown in Figure 2.

SINGLE LINE DIAGRAM FOR SELECTED POWER SYSTEM

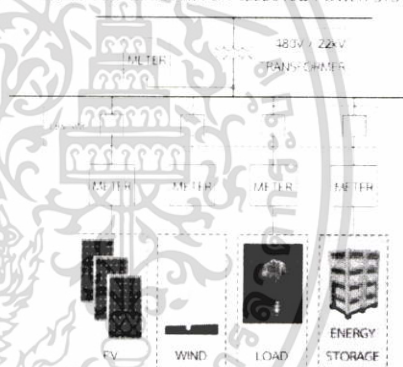


Figure 2. Overall concept for a smart grid monitoring

3.1 Hardware Configuration

The structure of smart monitoring system of solar plant, wind plant, load and storage system are shown in Figure 3-5 respectively. These structures have two meter to measure both the DC side and the AC side of a micro-grid system.

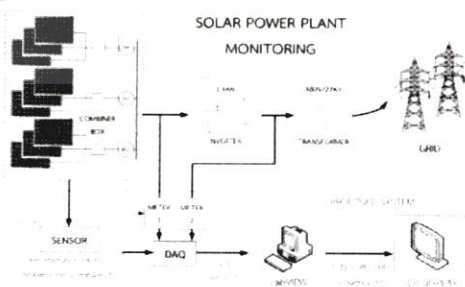


Figure 3. Solar plant monitoring structure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

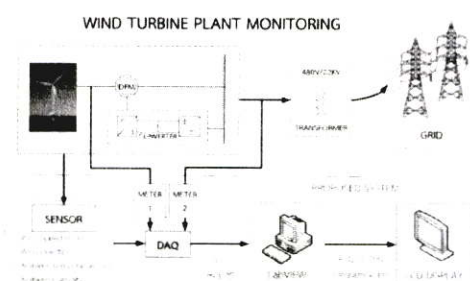


Figure 4. Wind plant monitoring structure

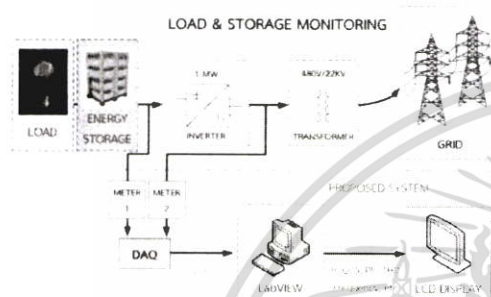


Figure 5. Load and storage configuration structure

3.2 System Functionalities

For the smart monitoring program, the designed concept is that the proposed program has a simple and easy to understand function even for beginners. The other features are to be capable of measuring, monitoring and analyzing accurately, capable of displaying data quantitatively and qualitatively, capable of detecting faults. The program should also be available for monitoring three-phase energy systems i.e. wind and solar. And since the program is flexible, some other features can be added later on.

4 IMPLEMENTATIONS

The LabVIEW program designed to monitor an energy system will start by getting the basic data needed for analysis: voltage and current. They are sent to LabVIEW via DAQ. Voltage needs to be reduced so it does not exceed $\pm 10V$ (maximum for DAQ Model USB-6212). The results will be shown in the main monitoring tab. The other parameters such as temperature, wind speed, solar radiation, etc. will be converted into a voltage signal before being sent to DAQ for further analysis.

4.1 Hardware Requirements

The devices used with the designed LabVIEW measuring program are:

- PC or Laptop with LabVIEW program
- NI DAQ Model: USB-6212
- Current Transformers (CTs)
- Potential Transformers (PTs)
- Sensors i.e. thermistor, solar irradiation sensor, wind vane, anemometer, etc.

4.2 Software Implementations

The software is designed mainly for solar and wind energy system. As for the battery and load, their parameters are shown as part of these two systems. The operational structure of the software implementation is shown in Figure 6. There are 3 main parts of the implementation: initial Section, control section and multi-tab monitoring.

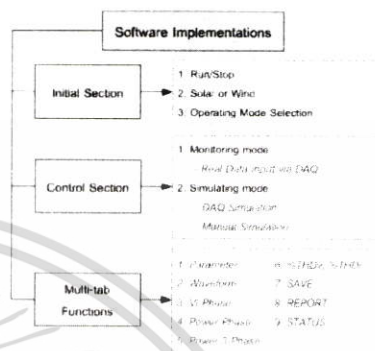


Figure 6. Software implementations structure

A) Initial Section

The first part is a button to run/stop the program. The second is a selection to operate on solar or wind (or further energy systems to be designed in the future). Then, the two operating modes selection (see also Control Section): the *monitoring mode* and the *simulating mode*. The front panel and block diagram are shown in Figure 7.

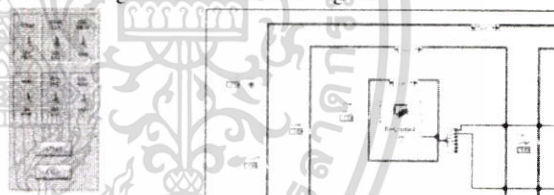


Figure 7. Front Panel and Block Diagram for the initial section

B) Control Section (Mode Selection)

The basic parameters can be received, either from monitoring mode or simulating mode. The monitoring mode received real-time input signals via DAQ and sends them for analysis in the multi-tab monitoring explained in the following section. There are two sub-modes to the simulating mode: one is simulation via DAQ and the other is manual simulation by users.

- DAQ Simulation: The DAQ device has a function to simulate signals. This sub mode is designed that DAQ automatically simulates voltage, current, frequency and phase.
- Manual Simulation: The basic parameters are manually customized by users via the designed simulation panel: voltage, current, frequency and phase.

C) Multi-tab Monitoring

The multi-tab monitor shows real-time system data along the operating period. There are 9 tabs monitoring and each tab represents the following features:

- Parameter: shows overall system parameters e.g. V, I, S.
- Waveform: shows systems specific data and waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- VI Phase: shows each phase V, I data and waveforms
- Power Phase: shows each phase S, P, Q data and waveforms
- Power 3-Phase: shows three-phase S, P, Q data and waveforms
- %THDv, %THDi: shows total harmonic distortion
- SAVE: record signals and data
- REPORT: import and display saved data
- STATUS: shows Fault event status and alarm

Figure 8 shows these multi-tab features: (a) Parameter, (b) Waveform, (c) VI Phase, (d) Power Phase, (e) Power 3-Phase, (f) %THDv, %THDi, (g) SAVE, (h) REPORT and (i) STATUS

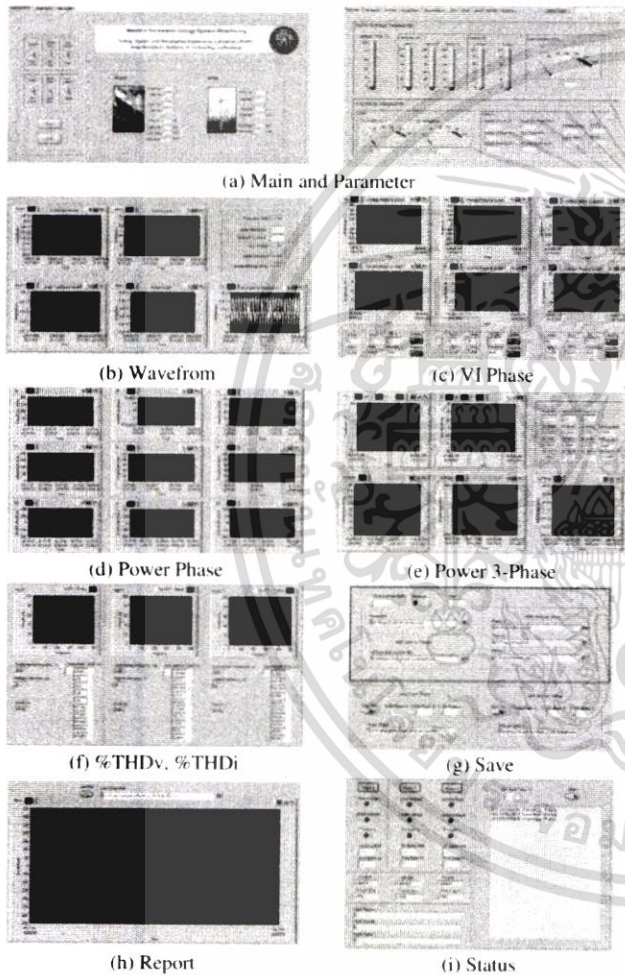


Figure 8. The multi-tab monitoring display

5 EXPERIMENTAL RESULTS

5.1 Accuracy Verification

The data collected from the proposed method will be compared with the data from the referenced measuring device. The hardware configuration for the verification is shown in Figure 9-10. This verification process consists of 5 stages:

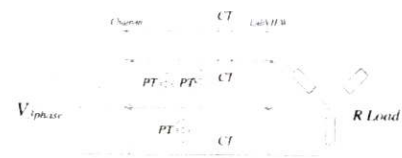


Figure 9. Circuit used for calibration

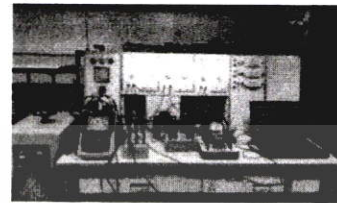


Figure 10. Hardware set up for calibration

A) The ratio calibration

Test for the tolerances of the CTs and PTs to assure the accuracy. The calibration uses three-phase power supply, CTs and PTs with three-phase star-connected load (incandescent lamps). The input voltage supply in this experiment to the load is 20%-110% of 220Vrms. The result from ratio calibration is shown in Table 1 and the verification test result done after calibrating is shown in Table 2.

Table 1 CTs and PTs ratio calibration

Phase	Current Transformer		Potential Transformer	
	Nameplate Ratio	Actual Ratio	Nameplate Ratio	Actual Ratio
A	40	44.28	50	49.32
B	40	43.65	50	49.32
C	40	45.80	50	49.41

Table 2 Test after ratio calibration

Phase		V (V)	I (A)	S (VA)
A	CA-8335 Qualistar+	220.40	1.68	368.30
	DAQ and LabVIEW	220.20	1.67	367.85
	% Error	0.091	0.595	0.122
B	CA-8335 Qualistar+	220.70	1.68	369.90
	DAQ and LabVIEW	221.30	1.68	372.89
	% Error	-0.271	0	-0.808
C	CA-8335 Qualistar+	219.40	1.67	366.30
	DAQ and LabVIEW	220.13	1.73	381.60
	% Error	-0.333	-3.592	-4.177

B) Phase angle calibration (caused by CTs)

The possible instruments that can cause phase shift are CTs and PTs because they are comprised of a core and coil. When tested and compare the phase shift of the two: voltage and current, it is shown that only current has a phase shift. Therefore, phase angle calibration is conducted with linear and non-linear load. The result from the experiment shows that with different load, the phase angle calibration differs. An example of linear load test is shown in Figure 11. Table 3 shows the result phase angle calibration of linear load.



Figure 11. Linear load phase shift

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3 Phase angle calibration

CTs	Phase Angle Calibration (Degree)
Phase A	12.509
Phase B	-7.817
Phase C	-13.00

C) Frequency variation

This test used function generator to generate sinusoidal signals at various frequency: 50 Hz, 150 Hz, 1 kHz, 1.5 kHz to 2.5 kHz, and record the frequency measured by the designed program. The results are compared to the referenced device shown in Table 4.

Table 4 Test for frequency variation

Function Generator Frequency (Hz)	LabVIEW Frequency (Hz)	Error Percentage (%)
50	50.01	-0.020
150	150.08	-0.053
1000	1001.26	-0.126
1500	1503.52	-0.235
2500	2499.42	0.023

D) Total Harmonic Distortion

Voltage and current harmonics are analyzed by conducting RL Load test. From the comparison of the designed measuring instruments (DAQ and LabVIEW) and referenced measuring device (CA-8335 Qualistar+), the harmonic distortions are shown in Table 5 and example of phase A in Figure 12.

Table 5 Total harmonic distortion comparison

Phase	Total Harmonic Distortion (%)		
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVIEW	% Error
A	1.4122	1.4576	-3.151
B	1.3513	1.4168	-4.847
C	1.3720	1.4349	-4.584



Figure 12. Total harmonic distortion comparison in phase A

E) Experiment using Linear load and non-linear load

The experiment data of the proposed device was compared with a reference measuring device (CA-8335 Qualistar +) at 220V, 50Hz. The results of the test are shown in Table 6-7.

Table 6 Parameters comparison for linear load test

Parameter	Linear Load					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVI EW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVI EW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVI EW
V (V)	220.40	220.20	220.70	221.30	219.40	220.13
I (A)	1.68	1.67	1.68	1.68	1.67	1.73
S (VA)	368.30	367.85	369.90	372.89	366.30	381.60
P (W)	368.30	367.38	369.90	373.07	366.30	380.39
Q (VAR)	0.50	13.25	3.30	11.75	3.10	27.60
PF	1.00	0.9994	1.00	0.9995	1.00	0.997
THDv (%)	1.90	1.97	1.90	2.03	1.90	1.87
THDi (%)	2.00	2.14	2.10	2.11	1.90	1.99

Table 7 Parameters comparison for non-linear load test

Parameter	Non-Linear Load					
	Phase A		Phase B		Phase C	
	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVI EW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVI EW	CA-8335 Qualistar+	DAQ and LabVI EW
V (V)	220.40	220.20	220.40	221.03	219.60	220.25
I (A)	0.79	0.78	0.79	0.79	0.78	0.80
S (VA)	174.70	170.96	173.90	174.82	171.90	176.77
P (W)	88.50	88.10	88.10	88.76	87.70	84.62
Q (VAR)	150.50	146.04	149.70	150.59	148.40	155.41
PF	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51	0.48
THDv (%)	1.60	1.73	1.80	1.82	1.90	1.92
THDi (%)	10.10	11.34	10.20	10.78	10.20	11.20

5.2 Online Measurement

The two computers or laptops using this designed program need to be connected through the internet, so the measuring data can be transferred online. There are two ways of doing this: one is using remote access software i.e. TeamViewer, the other is using LabVIEW online features as shown in Figure 13.

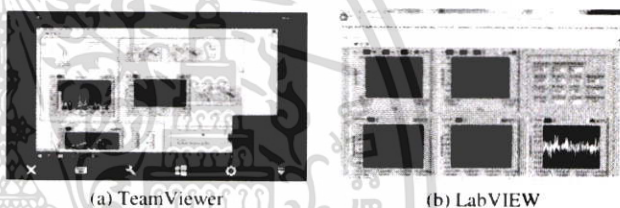


Figure 13. Online Measuring using LabVIEW

5.3 Data Recording

The recording can be done in two ways: one is recording data by the desired time interval and the other is recording data by the desired numbers of cycle. The parameter data will be recorded in a file via the SAVE tab. This function recorded all parameters: voltage, current, power, solar irradiation, wind speed, temperature, etc. An example of recorded data file is shown in Figure 14 (a).

5.4 Fault Event Alarm

The fault alarm is in the STATUS tab as shown in Figure 14 (b). It will detect overvoltage, undervoltage, frequency variations according to the base value customized by users and the IEEE Std. 1159-1995 [1]. If fault occurs, it is set to show on the status panel and recorded in a file automatically.

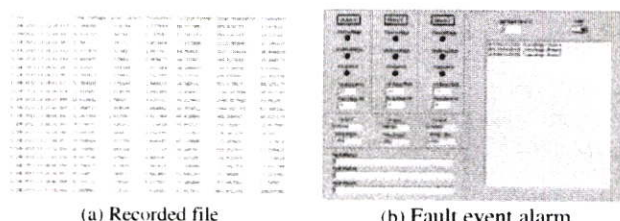


Figure 14. Example of 5.3 and 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 Real-Time Measuring

The designed program was used to measure the actual renewable energy system, in this case, solar and wind energy system. The measurements of the solar irradiation, wind speed, wind direction, temperature, humidity and the power output of solar cells are performed using sensors sending the signals via DAQ to LabVIEW to do real-time processing and recording as shown in Figure 15.

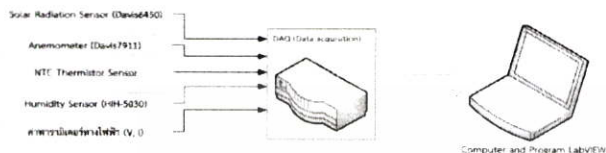


Figure 15. System Diagram

The experiment was conducted at a laboratory within the KMITL, Bangkok on May 17, 2015, for three hours. The purpose of this is to assure that the program runs perfectly during the real-time monitoring. The experiment was divided into two parts:

A) *The DC Input:* measures wind speed, temperature, humidity, solar irradiation, DC power, voltage and current. The experiment used anemometer (Davis 7914) and one solar panel of 245W and 50 units of 100W incandescent lamps as a single phase load to the system. The results from the experiment are recorded and plotted. Example of the plotted data is shown in figure 16.

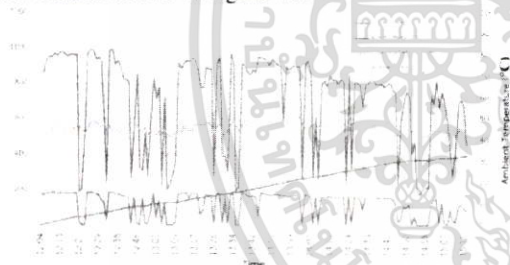


Figure 16. The relationship of energy, solar irradiation, temperature, power and time

B) *The AC Output:* measures parameters after an inverter i.e. AC power, voltage and current, power factor, %THD. The experiment is conducted at 230V, single phase with 55W LED light as load. The results from the experiment are recorded and plotted. Example of plotted data is shown in figure 17.

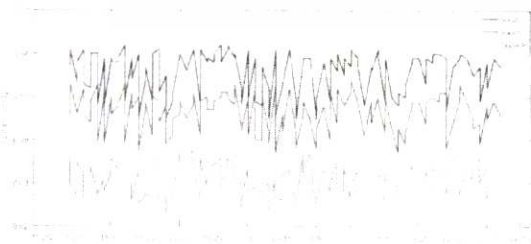


Figure 17. The relationship of S, P, Q and time

The designed measuring equipment worked effectively in both wind and solar energy and was able to meet the prior objectives of measuring in both quantitative and qualitative data and to get input from sensors such as wind speed, wind direction, solar radiation, temperature and humidity efficiently. These various parameters can be taken into consideration for the installations of renewable energy generation such as wind or solar energy. Although this experiment was conducted in a single phase system, the designed program is capable of monitoring in a three-phase system as the verification process cover all the three-phase.

6 CONCLUSIONS

The proposed method of measuring and data recording for renewable energy systems using DAQ and LabVIEW, are designed to have the ability to measure various electrical parameters and to determine power quality parameters. The designed instrument can also simulate and analyze the signals. It is also designed to be able to record parameters and detect faults. The recording can be done in two ways: one is recording data by the desired time interval and the other is recording data by the desired numbers of cycle. The fault event alarm will detect overvoltage, undervoltage, and frequency variations. This virtual monitoring instrument operates in both normal conditions and when fault occurs.

The advantages of the proposed device are plenty. It can detect various parameters and recorded automatically. It can measure and analyze parameters accurately. It can also be used via remote control. When compare the prices and the performance this proposed instrument has given, it is totally worthy than some of the traditional measuring devices.

ACKNOWLEDGEMENT

The author would like to thank the advisor, Asst.Prof.Dr. Chow Chompoo-inwai, KMITL's Electrical Engineering Department and members of the ESIRC for their contributions and supports put in this work.

REFERENCES

- [1] IEEE 1159-1995 Standard, Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 1995.
- [2] C. Chow and M. Jade, "Data Acquisition System and Labview Program In Being a Smart and Low Cost Three Phase Disturbance Measuring Unit" ICEE2012, Kanazawa, Japan, July 8-12, 2012.
- [3] C. Chow and M. Jade, "A Smart Recording Power Analyzer Prototype Using LabVIEW™ and Low-Cost Data Acquisition (DAQ) in Being a Smart Renewable Monitoring System" IEEE Green Technologies Conference, p.49-56, 2013.
- [4] N. Sakchai, Electrical Power Quality, Industrial, 2002.
- [5] P. Hongsakul, P. Yotha and C. Chompoo-inwai, The study and analysis of the electrical faults using Data Acquisition System and LabVIEW™ program, Master Thesis, EE, Dept., Faculty of Engineering, KMITL, Bangkok, Thailand, 2009.
- [6] C. Kitpaiboon, LabVIEW for Development of Instrument, SE-Education Public Company Limited, 2014.
- [7] National Instrument, LabVIEW, Measurement Manual, July 2000.

Contact E-mail Address: nutthaka.c@gmail.com,
chompoo@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวณัฐภา ชินอมี่
วัน เดือน ปีเกิด 29 กรกฎาคม 2536 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ 128/376 แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพมหานคร 10120
ประวัติการศึกษา 2557 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยมอันดับ 2)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานทางวิชาการ

1. Nutthaka C., Suttipong B. and Chow C., "A Smart Management Platform for Solar Street Lighting Networks Based-on a TCP/IP technology and LabVIEW™ program", *Proc. ICEE 2018, Seoul, Korea*, Jun. 2018.
2. Nutthaka C., Monthon L., Suttipong B. and Chow C., "Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program", *Journal of International Council on Electrical Engineering (JICEE)*, vol.7, no.1, 2017. pp.142-152. (DOI: 10.1080/22348972.2017.1345226).
3. Nutthaka C., Monthon L., Suttipong B. and Chow C., "Design and Implementation of a smart monitoring system of a modern renewable energy micro-grid system using a low-cost data acquisition system and LabVIEW™ program", *Proc. ICEE 2016, Okinawa, Japan*, Jul. 2016.