



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง	การติดตามตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานสำหรับการผลิตไฟฟ้าในชนบทโดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสม
	Monitoring of Hybrid Power Systems for Rural Electrification by using Appropriate Tools
نامผู้วิจัย	นายนิกร ชัยเจริญ
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม, Ph.D.Eng.(EE))
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(อาจารย์อุสาห์ บุญบำรุง, ปร.ค.)
หัวหน้าภาควิชา	(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การติดตามตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานสำหรับการผลิตไฟฟ้าในชนบทโดยใช้
เครื่องมือที่เหมาะสม

Monitoring of Hybrid Power Systems for Rural Electrification by using Appropriate Tools

โดย

นายนิกร ชัยเจริญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2557

นิกธ ชัยเจริญ 2557: การติดตามตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานสำหรับการผลิตไฟฟ้าในชนบทโดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสม ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม, Ph.D. 82 หน้า

การติดตามตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน สำหรับการผลิตไฟฟ้าในชนบท ประกอบด้วยการแสดงผลมายังปลายทางแบบทันที และการเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล ในงานวิจัยนี้ มีการใช้อุปกรณ์และการสื่อสาร 2 ลักษณะ แบ่งตามความเหมาะสมของสถานที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน วิธีแรกเป็นการสื่อสารผ่านเครือข่าย GSM โดยผ่านการแปลงหมายเลข ไอพี และวิธีที่ 2 เป็นการประยุกต์ใช้ระบบโดเมนเนมทำให้อุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้า สามารถเข้าสู่อินเทอร์เน็ตและรับส่งข้อมูลมายังส่วนกลางได้ ตลอดเวลา จากนั้นทำการเลือกตัวแปรที่ส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูล สำหรับคำนวณค่าประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า เพื่อให้ผู้วิเคราะห์สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ได้โดยสะดวก มีการพัฒนาระบบการแสดงผลผ่าน โปรแกรม LabVIEW และเก็บค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไว้ในฐานข้อมูล เพื่อให้สามารถเรียกดูย้อนหลังในรูปแบบของไฟล์ที่ผู้วิเคราะห์ต้องการ ผลลัพธ์จากการเก็บข้อมูล สามารถเผยแพร่ทาง Website ผ่านเครือข่ายสาธารณะได้

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Nikorn Chaicharoen 2014: Monitoring of Hybrid Power Systems for Rural Electrification by using Appropriate Tools. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Patamaporn Sripadungtham, Ph.D. 82 pages.

The goal of this research is to design and develop monitoring of hybrid power systems for rural electrification by using appropriate tools. The monitoring systems could display parameters and collected data in database format. The communication devices and network topologies were divided into two characteristics depend on the location of the hybrid power systems. The first communication method is data exchange via the GSM network with Network Address Translation (NAT) to transfer data from private network to a public IP address and the second method used the Domain Name System of the organization. The first and second communication methods were applied to monitoring systems at Phukradueng National Park and Bangkhunthien demonstration site, respectively. The parameters from the hybrid power systems were transferred, exchanged, and stored in a central server. The monitoring systems were designed to filter out unnecessary parameters, which were not required for the calculation of the hybrid power systems' efficiency. The LabVIEW program was used to create a user-friendly graphic display of the systems and collected parameters. The monitoring systems at both sites operated successfully and data could be displayed on a public network as designed.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม และอาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม ดร.อุสาห์ บุญบำรุง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ทั้งด้านความรู้และการแนะนำทุกเรื่อง และให้ความกรุณาเรื่องค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย โดยเฉพาะทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก ห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน คุณสาวดี คุณชาติรี คุณกวีดิษ คุณอรรถการ คุณดอกรัก คุณสุกัญญา และนิสิตจาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอขอบคุณความช่วยเหลือด้าน โปรแกรมโดย คุณเฉลิมพล เจ้าหน้าที่จาก บริษัท National Instruments ประเทศไทย

และที่สำคัญที่สุด ขอขอบพระคุณ พ่อสุทัศน์ แม่สมสาย พี่กรรณิการ์ ชัยเจริญ พี่โยธิน น้องสุพพิพัฒน์ ทิพนตร ผู้เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน ขอขอบคุณความช่วยเหลือด้านการตรวจเอกสารจาก คุณบุณชริกา บุญยัง สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ คุณปู่ผู้ที่ยังระลึกถึงเสมอ

หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้ายินดีรับข้อเสนอแนะ และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นิกร ชัยเจริญ
กรกฎาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	32
ผลการทดลองและวิจารณ์	46
ผลการทดลอง	46
วิจารณ์	56
สรุปและข้อเสนอแนะ	57
สรุป	57
ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	60
ภาคผนวก	64
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	82

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	หมายเลขไอพีสำหรับเครือข่ายส่วนบุคคล	25
2	เปรียบเทียบคุณสมบัติของการสื่อสารแต่ละรูปแบบ	39
3	การรับส่งข้อมูลโดยใช้งานเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยวิธีต่างๆ	41
4	หมายเลข ไอพีสำหรับใช้ในเครือข่ายส่วนบุคคล	42
5	เปรียบเทียบการส่งข้อมูลผ่าน Web browser กับ OPC Server	54
ตารางผนวกที่		
1	ตัวแปรที่จะต้องทำการตรวจวัดจากระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์	66
2	ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหลักสมดุลพลังงานและสมรรถนะของระบบ	70

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน อุทยานแห่งชาติภูกระดึง	5
2	ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน	6
3	ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง	7
4	ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน	8
5	การทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์แบบฝังตัวสำหรับการตรวจวัดข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์	9
6	การทำงานของระบบตรวจวัดผ่าน RTAI โดยใช้ระบบปฏิบัติการ Linux	10
7	การตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ โดยแสดงผลผ่าน LabVIEW	11
8	ระบบตรวจวัดข้อมูลผ่าน GSM Modem ด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่สื่อสารในลักษณะ Data Bus	12
9	พัฒนาการการสื่อสารผ่าน โทรศัพท์มือถือ	14
10	สถาปัตยกรรมของเครือข่าย UMTS	15
11	การส่งข้อมูลผ่าน โพรโทคอล TCP/IP	18
12	IP Address ที่ถูกแทนด้วยชื่อที่กำหนดโดย DNS	20
13	โครงสร้างของระบบ DNS	20
14	การทำงานของโปรโตคอล HTTP	21
15	การแบ่งส่วนของหมายเลขไอพีและคอดเดจิมอล โนเตชั่น	22
16	คลาสของหมายเลขไอพี	24
17	การเชื่อมต่อเครือข่ายด้วยเราท์เตอร์	26
18	การเชื่อมต่อเครือข่ายระยะไกลด้วย GSM เราท์เตอร์ ผ่านผู้ให้บริการ HSPA	27
19	โปรโตคอลแบบ Sunny Net	28
20	โปรโตคอลแบบ SMA Net	29

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	การต่ออนุกรมอุปกรณ์สื่อสาร RS-485	33
22	การเชื่อมต่อสายสื่อสารสำหรับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน อุทยานแห่งชาติภูกระดึง	34
23	วิธีเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้ากับอุปกรณ์เก็บข้อมูล	34
24	หน้าหลักสำหรับล็อกอินเพื่อตั้งค่า Data Logger	35
25	การสแกนหาอุปกรณ์ที่ต่อเข้า Data Bus	36
26	รายการอุปกรณ์ที่สามารถสแกนได้	36
27	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวัดผ่านเครือข่ายภายนอก	37
28	รูปแบบการสื่อสารข้อมูลระยะไกลจากอุทยานแห่งชาติภูกระดึง	38
29	ข้อมูลการร้องขอหมายเลข IP โดยจะได้หมายเลขเดิม	43
30	เส้นทางการแปลงหมายเลข IP	43
31	ตั้งค่าเส้นทาง Router เพื่อเข้าสู่อุปกรณ์ปลายทาง	44
32	การตั้งค่า Network เพื่อเข้าสู่ Domain Name Server	45
33	เส้นทางการรับส่งข้อมูล	46
34	การส่งข้อมูลเข้าสู่ OPC Server ด้วยโปรโตคอล TCP	47
35	ข้อมูลที่ส่งมาจาก Remote Site เข้าสู่ OPC Server	47
36	หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการทำโปรแกรมแสดงผล การทำงานของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน	48
37	โปรแกรม SMA OPC Server	49
38	รายการอุปกรณ์ที่ได้จากการเชื่อมต่อผ่าน OPC Server	50
39	การเพิ่ม OPC Server ในโปรแกรม LabVIEW	50
40	บล็อกไดอะแกรมสำหรับระบบแสดงผลและเก็บข้อมูล	51
41	แสดงผลระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานผ่านโปรแกรม LabVIEW	52

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
42	การแสดงผลระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานผ่านเว็บไซต์	52
43	แพคเกจที่ได้จากการรับส่งข้อมูลจากการประยุกต์ใช้เครือข่ายระยะไกล	53
44	เปรียบเทียบการเก็บข้อมูล	54
ภาพผนวกที่		
1	ตัวแปรที่จะต้องทำการตรวจวัดจากระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์	65

การติดตามตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน สำหรับการผลิตไฟฟ้าในชนบท โดยใช้เครื่องมือที่เหมาะสม

Monitoring of Hybrid Power Systems for Rural Electrification by using Appropriate Tools

คำนำ

ในพื้นที่ห่างไกลการเข้าถึงพลังงานไฟฟ้าเป็นเรื่องยาก การติดตั้งระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าไม่สามารถดำเนินการได้ด้วยเหตุผลหลายประการ ทั้งเรื่องของการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ ความลำบากในการเข้าถึง ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยเหล่านี้เป็นเหตุให้ผู้อาศัยอยู่ในพื้นที่ห่างไกล หรือแม้กระทั่งนักท่องเที่ยว ผู้เดินทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ไม่สามารถมีไฟฟ้าใช้ได้อย่างสะดวก (ห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี [มจร.], 2556)

ปัจจุบันการใช้พลังงานจากแหล่งธรรมชาติอย่าง แสงอาทิตย์ พลังงานลม รวมถึงชีวมวล มีการพัฒนามากขึ้น จึงเป็นการเพิ่ม โอกาสให้ผู้ที่อาศัยในพื้นที่ห่างไกล มีโอกาสได้ใช้ไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน อันเป็นการพัฒนาศักยภาพให้กับผู้คนในท้องถิ่น อย่างไรก็ตามแม้จะมีการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดอย่างกว้างขวาง อุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้า ควรได้รับการดูแลรักษา รวมทั้งปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ เป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาและรวบรวมข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่ได้เกิดจากการตรวจวัดจริงในพื้นที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเป็นประโยชน์ในการศึกษาเพื่อนำไปพัฒนาอุปกรณ์ และปรับปรุงวิธีการติดตั้งในอนาคต อีกทั้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลังงานให้มากยิ่งขึ้น เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ เป็นสิ่งที่ควรศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้า ให้เหมาะสมกับพื้นที่และการใช้งานมากที่สุด

แม้ว่าอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน มีการเก็บข้อมูลอยู่ในตัวอุปกรณ์ แต่เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้า ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายประเภท และตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกล การเดินทางทำได้ลำบาก ต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก บางครั้งอุปกรณ์ทำงานผิดพลาดเพียง

เล็กน้อย อาจทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าขัดข้องจนไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เนื่องจากขาดผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ปัญหาประจำอยู่ในพื้นที่ จึงไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ทันทั่วถึง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องยิ่งที่จะต้องติดตามตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าได้จากส่วนกลาง โดยมีผู้เชี่ยวชาญสามารถวิเคราะห์ถึงการทำงานของอุปกรณ์ ก่อนที่จะเกิดปัญหา เช่น อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าบางตัวชำรุด หากไม่มีการแจ้งเตือนให้เจ้าหน้าที่ดูแลทราบทันที ก็จะมีการใช้งานกำลังไฟฟ้าเท่าเดิม ทำให้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าที่เหลือจ่ายกำลังไฟฟ้าเกินกำหนด จึงทำให้เกิดผลเสียต่อระบบผลิตไฟฟ้าโดยรวม หรือในกรณีเกิดปัญหาขึ้นจนระบบผลิตไฟฟ้าหยุดทำงาน ก็จะสามารถทราบถึงลำดับเหตุการณ์และเตรียมการแก้ไขก่อนเดินทางไปยังพื้นที่เกิดเหตุ หากไม่มีการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายมายังส่วนกลาง อาจต้องใช้เวลาในการแก้ไข ดังนั้นเรื่องการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายระยะไกล จึงเป็นสิ่งสำคัญ รวมทั้งการเก็บข้อมูล การสื่อสาร และการแสดงผลมายังส่วนกลางต้องมีเสถียรภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ในพื้นที่ห่างไกลการเข้าถึงข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทำได้ค่อนข้างยาก งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์สื่อสารและเครือข่ายที่เหมาะสม รวมถึงระบบแสดงผลที่สามารถให้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้อุปกรณ์และวิธีการรับ-ส่งข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน สำหรับพื้นที่ห่างไกล เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ที่ส่วนกลางได้อย่างสะดวก พร้อมทั้งสามารถปรับแต่งการทำงานของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานได้ โดยมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

1. ศึกษาและประยุกต์ใช้ระบบรับ-ส่งข้อมูล โดยเลือกใช้การสื่อสารผ่านเครือข่ายที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่
2. แสดงผลข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานในพื้นที่ห่างไกลมายังศูนย์ข้อมูลกลาง โดยใช้เครื่องมือ ที่เหมาะสม
3. ทดสอบและปรับปรุงการแสดงผลข้อมูล ให้มีประสิทธิภาพมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน
4. นำข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ที่ได้จากพื้นที่ห่างไกล บันทึกลงฐานข้อมูลให้ตรงตามความต้องการของผู้วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อสะดวกในการเรียกใช้งาน และเป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานในอนาคต
5. ติดตั้งอุปกรณ์เก็บและรับส่ง-ข้อมูล เพื่อใช้งาน ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง และ ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน

การตรวจเอกสาร

การสื่อสารข้อมูลในงานวิจัยนี้ มีการรับ-ส่งข้อมูล ของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานในพื้นที่ห่างไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งตั้งอยู่ต่างพื้นที่กันจำนวน 2 แห่ง คือ พื้นที่อุทยานแห่งชาติภูกระดึง มีกำลังการผลิต 40 กิโลวัตต์ ด้วยกำลังการผลิตที่มาก จึงทำให้ตัวแปรทางไฟฟ้าและสถานะแวดล้อมที่ทำการบันทึก มีจำนวนตัวแปรข้อมูลมากถึง 1,098 ตัวแปร และอีกหนึ่งแห่งคือ ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน ตั้งอยู่ที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน มีกำลังการผลิต 7.5 กิโลวัตต์ และมีจำนวนตัวแปรข้อมูล 416 ตัวแปร

จากระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ระบบเดิมของอุทยานแห่งชาติที่มีกำลังการผลิต 15 กิโลวัตต์ เมื่อระบบผลิตไฟฟ้าเกิดปัญหาจึงไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้ามากนัก ระบบเก็บข้อมูลเป็นแบบบันทึกภายในตัวโดยใช้ SD การ์ด สำรองข้อมูล เนื่องจากไม่มีระบบสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ต จึงไม่สามารถเข้าถึงจากภายนอกได้ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์มากขึ้นการทำงานมีความซับซ้อน จึงต้องพัฒนาการเข้าถึงข้อมูลให้สามารถติดตามตรวจสอบสถานะได้ตลอดเวลา

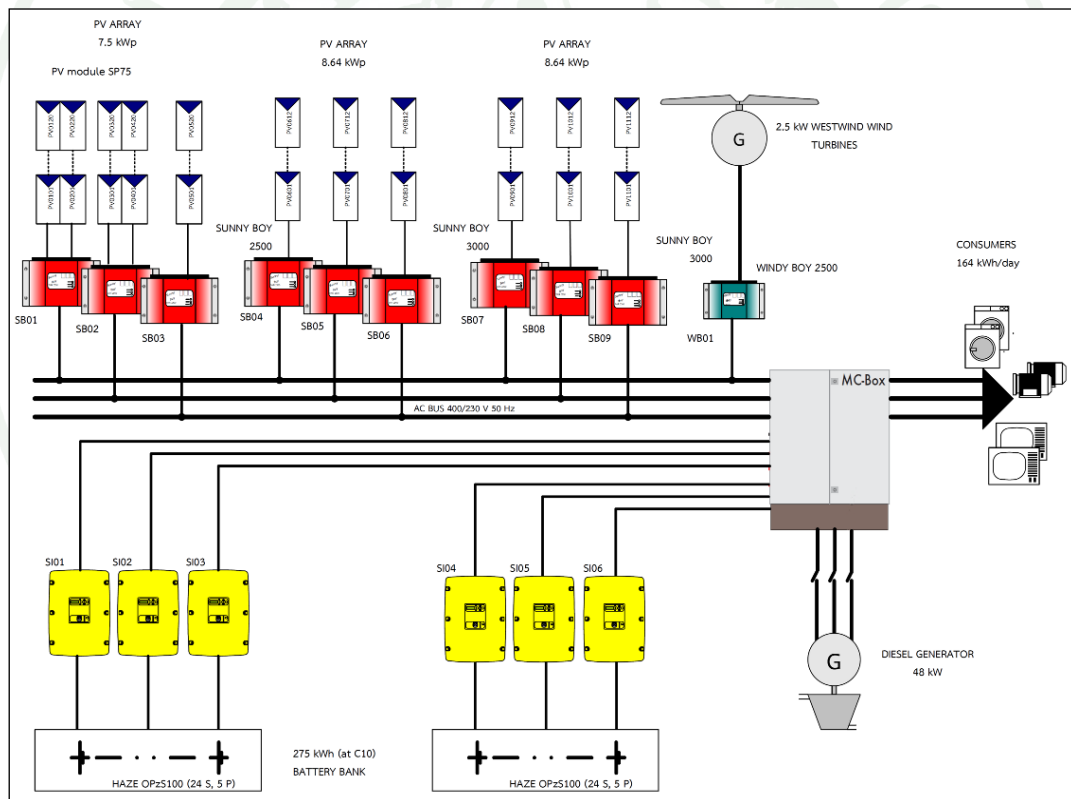
1. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสานสำหรับหมู่บ้านในชนบท (กรณีอุทยานแห่งชาติภูกระดึง และศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

ระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานที่ทำการศึกษาในโครงการนี้ ตั้งอยู่ที่ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง (ศูนย์วังกกวาง) และศูนย์การเรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน

1.1 การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน อุทยานแห่งชาติภูกระดึง

เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ในส่วนที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็น ไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องอาศัย กริด (Grid Connected) เพื่อสร้างสัญญาณในรูปแบบเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องอาศัยระบบผลิตไฟฟ้าที่มีอินเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง (Bidirectional Inverter) ซึ่งเป็นตัวสร้าง กริดไฟฟ้าเสมือนเป็น AC Bus ให้กับระบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 Clusters ประกอบด้วย Main Cluster และ Extension Cluster โดย Main Cluster ทำหน้าที่หลักในการจ่ายกระแสไฟฟ้า เมื่อ Main Cluster เริ่มทำงานและสามารถใช้งานได้เป็นปกติ จากนั้นจึงส่งสัญญาณ

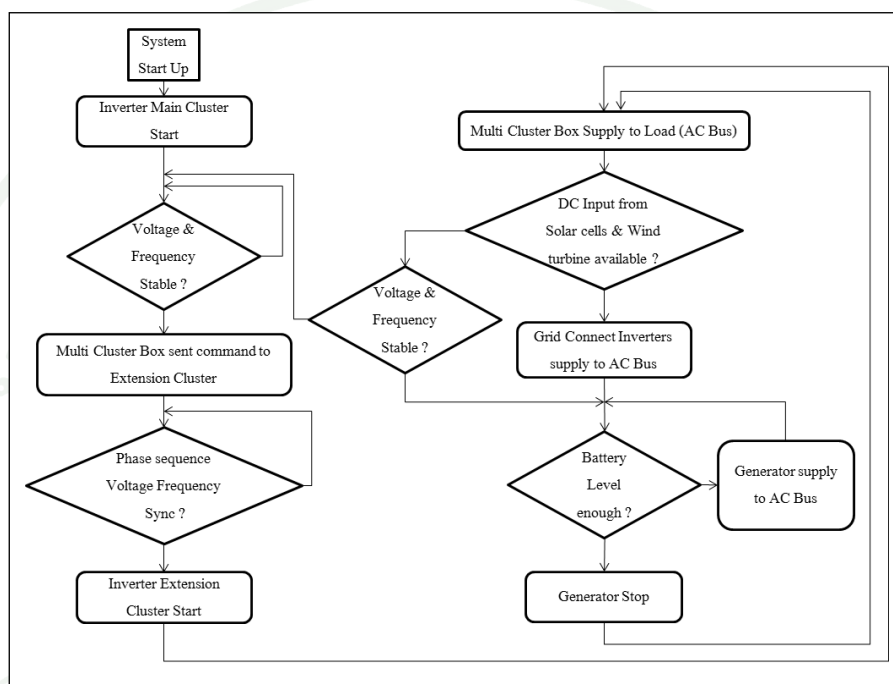
เพื่อสั่งให้ Extension Cluster ทำงานโดยอินเวอร์เตอร์จะทำการซิงโครไนซ์ เมื่อมีลำดับเฟส ความถี่ และระดับแรงดัน ที่เท่ากัน Multi Cluster จะทำการเชื่อมทั้งสอง Cluster เข้าด้วยกัน จากนั้นอินเวอร์เตอร์ในส่วนที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ จึงสามารถใช้ กริดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเพื่อแปลงพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบได้ ในสถานะที่มีพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ และกักหน้ลวมมากเพียงพอสำหรับภาระทางไฟฟ้า พลังงานส่วนที่เหลือจะถูกชาร์ตเข้าสู่แบตเตอรี่ และในสถานะที่ภาระทางไฟฟ้ามีมากกว่า แหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ และลม แบตเตอรี่ที่ถูกชาร์ตไว้จะถูกนำมาจ่ายเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งาน หากยังไม่สามารถจ่ายให้ภาระทางไฟฟ้าได้เพียงพอ เจนเนอเรเตอร์ซึ่งขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซล จะทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าเข้ามาเพิ่มเติม ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน อุทยานแห่งชาติภูกระดึง

ที่มา: ห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2556)

สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานที่ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง มีการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และดีเซลเจนเนอเรเตอร์ ระบบแบ่งออกเป็น 2 Clusters โดยมี Multi Cluster Box เป็นจุดรวมของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งต่างๆ ระบบเป็นแบบ Off-Grid Stand Alone ไม่มีการต่อเข้ากับกริดของการไฟฟ้า เนื่องจากตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกล



ภาพที่ 2 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

อุปกรณ์ในระบบประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็น ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีการติดตั้งอยู่ 2 ขนาดคือ ขนาด 2.5 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ตัว และขนาด 3 กิโลวัตต์ จำนวน 6 ตัว อินเวอร์เตอร์ขนาด 2.5 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ตัว ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากลม โดยอินเวอร์เตอร์ทั้ง 10 ตัว จ่ายไฟเข้าสู่ AC Bus 230/400 โวลต์ 50 เฮิร์ต ซึ่ง AC Bus นี้ สร้างขึ้นจาก อินเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางขนาด 5 กิโลวัตต์ จำนวน 6 ตัว แบ่งออกเป็น Cluster ละ 3 ตัว นอกจากนี้ ยังมีเจนเนอเรเตอร์ ขนาด 60 กิโลวัตต์ สำหรับจ่ายเข้าสู่ AC Bus เพื่อใช้ในกรณีที่ประจุ ไฟฟ้าในแบตเตอรี่เหลือน้อย และยังมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ดังกล่าวมาทั้งหมด นั้น จะถูกรวมเข้าสู่ Multi Cluster Box เพื่อเป็นจุดรวมในการซิงโครไนซ์ เฟสของไฟฟ้า ก่อนที่จะ จ่ายไปยังภาระทางไฟฟ้า ขั้นตอนการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 2 จากระบบที่กล่าวมานั้นมีการ

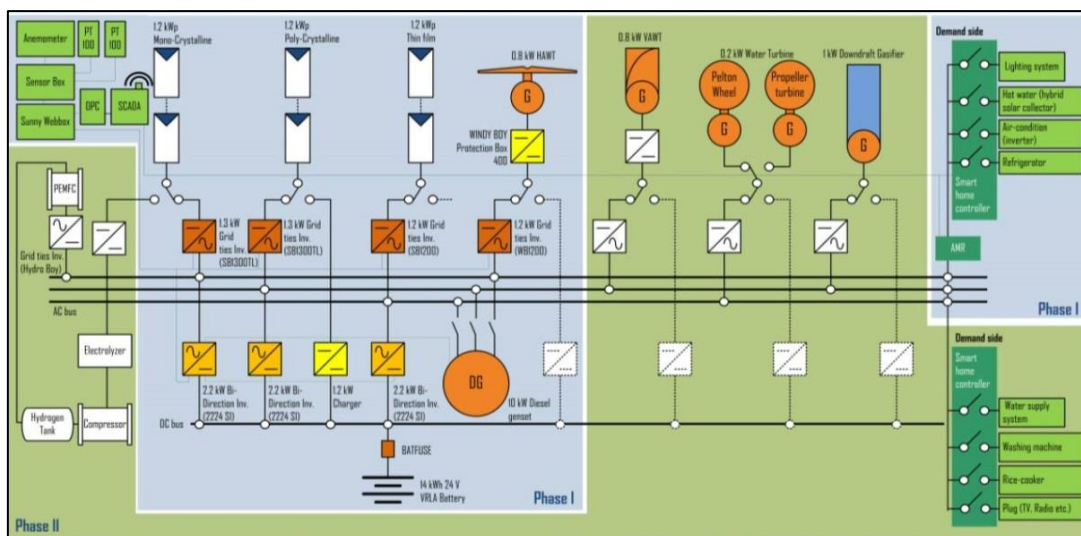
ติดตั้งและใช้งานจริง ดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ตั้งอยู่ที่อุทยานแห่งชาติภูกระดึง



ภาพที่ 3 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง

สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ณ ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มีการผลิตไฟฟ้าโดยใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และดีเซลเจนเนอเรเตอร์ สามารถรองรับการเพิ่มเติมอุปกรณ์ในอนาคต มีการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบเคลื่อนย้ายได้ มีการติดตั้งชุดผลิตไฟฟ้าไว้ในตู้คอนเทนเนอร์ จำนวน 2 จุดเพื่อทดสอบการผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ AC Bus แยกแต่ละจุด

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ณ ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขต บางขุนเทียน ดังแสดงในภาพที่ 4 ประกอบด้วย กังหันลมขนาด 1 กิโลวัตต์ ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง ชาร์ตเข้าสู่แบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์ชนิดเชื่อมต่อกกริด (Grid connected) ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 8 กิโลวัตต์ จ่ายไฟเข้าสู่ AC Bus 230/400 โวลต์ 50 เฮิร์ต ซึ่ง AC Bus นี้ สร้างขึ้นจากอินเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางขนาด 2.2 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ตัว นอกจากนี้ ยังมีเจนเนอเรเตอร์ ขนาด 10 กิโลวัตต์ สำหรับจ่ายเข้าสู่ AC Bus ช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน

ที่มา: ห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาด (2556)

1.2 การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน

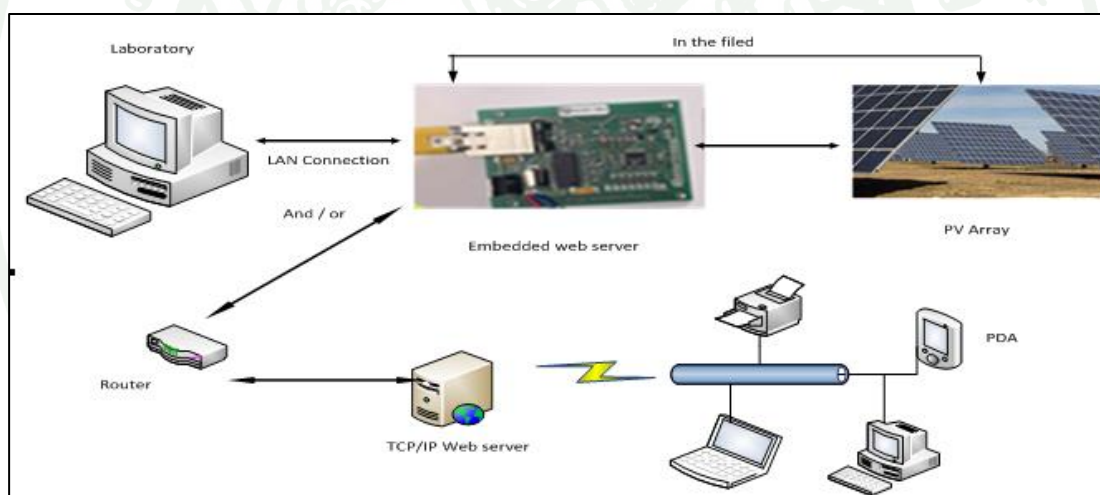
ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ณ ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน มีการผสมผสานพลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม กังหันน้ำจากการทดลองใบกังหัน และพลังงานไฟฟ้าจากเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายกับระบบที่ติดตั้ง ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง เพียงแต่มีการทำงานเฉพาะ Main Cluster และรับพลังงานจากกังหันลมผ่าน DC Bus เพื่อชาร์จแบตเตอรี่ และในกรณีที่ภาระทางไฟฟ้ามากกว่ากำลังการผลิตของแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับกังหันลม ระบบสามารถเลือกรับพลังงานไฟฟ้าจากเจนเนอเรเตอร์หรือต่อเข้ากับกริดของการไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งาน

2. การประยุกต์ใช้เครือข่ายการสื่อสารให้เหมาะสมในแต่ละพื้นที่

การพัฒนาเรื่องการสื่อสารในปัจจุบันมีความก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นจากอดีต ถึงแม้จะมีการรับ-ส่งข้อมูลได้หลายวิธี แต่มีข้อจำกัดของการเข้าถึง

ข้อมูลในพื้นที่ห่างไกล เนื่องจากต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครือข่าย อุปกรณ์ในการรับส่งข้อมูล รวมทั้งเสถียรภาพของเครือข่ายและอุปกรณ์ตรวจวัดในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

จากที่ได้ศึกษาการตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดย Naeem (2011) สามารถทำได้โดยการใช้ Embedded Web Server จากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้เครือข่ายภายใน LAN (Local Area Network) ในการสื่อสารข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ เพื่อทำการตรวจวัดข้อมูล ลักษณะของกระแส-แรงดันของแผงโซลาร์เซลล์ (I-V Characteristic of PV Array) เส้นทางการรับส่งข้อมูลโดยการใช้ Embedded Web Server ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยข้อมูลที่ตรวจวัด สามารถเข้าถึงได้ผ่านเครือข่ายภายใน โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ และส่งข้อมูลไปยัง TCP/IP Webserver เพื่อเข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยผ่าน Router ข้อมูลจึงสามารถแสดงผลไปยังอุปกรณ์อื่นอย่างเช่น PDA, Printer หรือผ่าน Web browser เป็นต้น



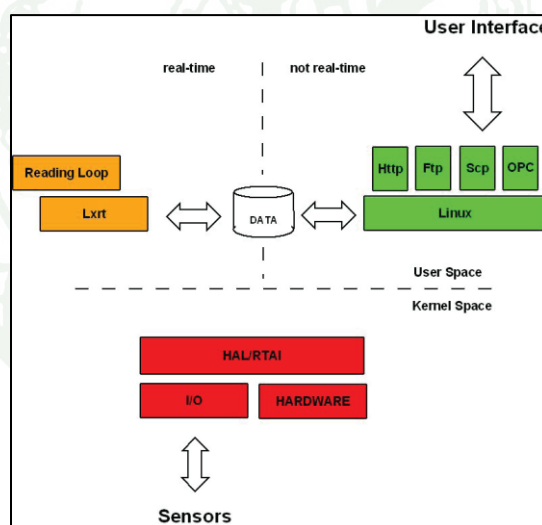
ภาพที่ 5 การทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์แบบฝังตัวสำหรับการตรวจวัดข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์

ที่มา: Naeem (2011)

การสื่อสารด้วยวิธีดังกล่าวมานั้นเป็นการนำอุปกรณ์ตรวจวัดติดตั้งเข้ากับระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งตั้งอยู่ภายใต้เครือข่าย LAN จึงสามารถเข้าถึงเครือข่ายได้ทันที จากนั้นนำข้อมูลที่ส่งไปยังเครือข่ายภายนอก เพื่อให้ผู้ใช้งานที่อยู่นอกเครือข่ายสามารถเข้าถึงข้อมูลได้

สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง เมื่อเทียบกับศูนย์ข้อมูลกลาง จะมีเครือข่าย ตั้งอยู่นอกเครือข่าย LAN เพื่อให้สามารถแสดงข้อมูลการตรวจวัดค่าต่างๆ เช่น สถานะของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้า อุณหภูมิแวดล้อมของแต่ละสถานที่ ความเร็วลม และข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น จึงต้องอาศัยการสื่อสารผ่านเครือข่ายระยะไกล ซึ่งจะทำให้การศึกษาต่อไป

การสื่อสารผ่านเครือข่ายภายใน สามารถนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ในการตรวจวัดค่าได้ หากระบบผลิตไฟฟ้ามีระยะทางจากศูนย์เก็บข้อมูลไม่ไกลมากนัก Chiandone (2009) ประยุกต์ใช้ Linux RTAI (Linux Real Time Application Interface) โดยมีอุปกรณ์ตรวจวัด ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการ Linux โดยมี RTAI เป็นตัวขับเคลื่อนอุปกรณ์ให้สามารถทำงานได้กับระบบปฏิบัติการ ดังภาพที่ 6 เมื่อรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดแล้ว จะส่งค่าที่ได้ไปยังส่วนของผู้ใช้ ซึ่งสามารถส่งผ่านได้หลายช่องทาง เช่น HTTP, FTP, SCP และ OPC โดยขึ้นอยู่กับการใช้งานของผู้ใช้ปลายทาง

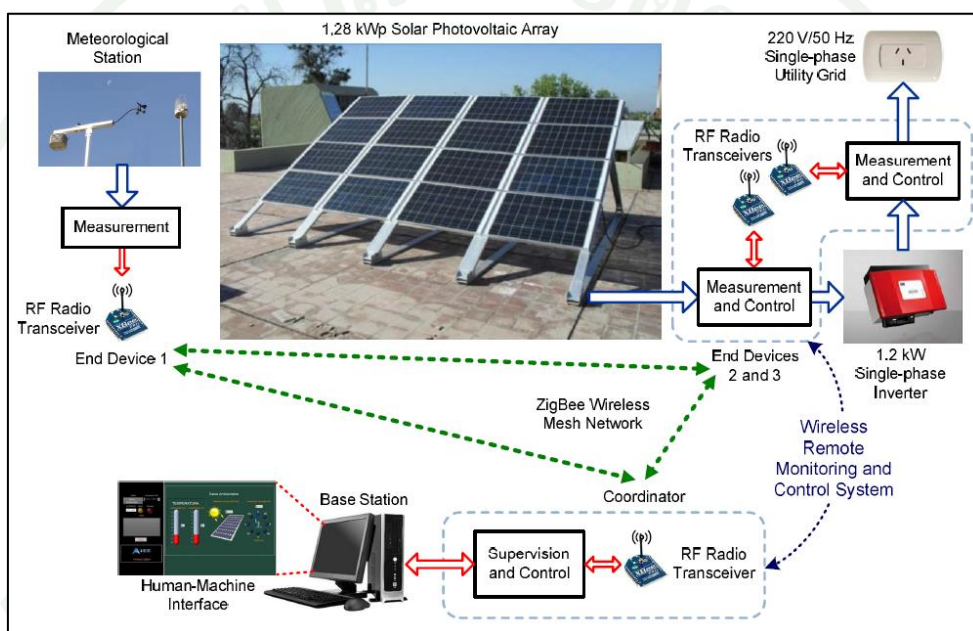


ภาพที่ 6 การทำงานของระบบตรวจวัดผ่าน RTAI โดยใช้ระบบปฏิบัติการ Linux

ที่มา: Chiandone (2009)

รูปแบบการตรวจวัดโดยใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผล มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลได้เร็ว และมีประสิทธิภาพ แต่การดูแลรักษาทำได้ยาก จึงเหมาะสำหรับการตรวจวัดในพื้นที่ซึ่งมีผู้ดูแล และควบคุม โดยเจ้าหน้าที่ผู้มีความชำนาญในระบบตรวจวัดที่สร้างขึ้น

ในการตรวจวัดค่าอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าสามารถทำได้โดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับนำค่าที่ได้เข้าสู่โปรแกรม LabVIEW สามารถแสดงผลแบบกราฟิก ซึ่งง่ายต่อการใช้งาน Martín and Andreoni (2012) ได้ทำการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า และสภาพแวดล้อม ผ่านการสื่อสารด้วย IEEE 802.15.4 หรือ Zig Bee ซึ่งเป็นเครือข่ายไร้สายส่วนตัว (WPAN: Wireless Personal Area Network) ดังภาพที่ 7 ค่าที่ได้ส่งมายัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดแต่ละตัว เพื่อนำค่าที่ได้เข้าสู่คอมพิวเตอร์ และแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW

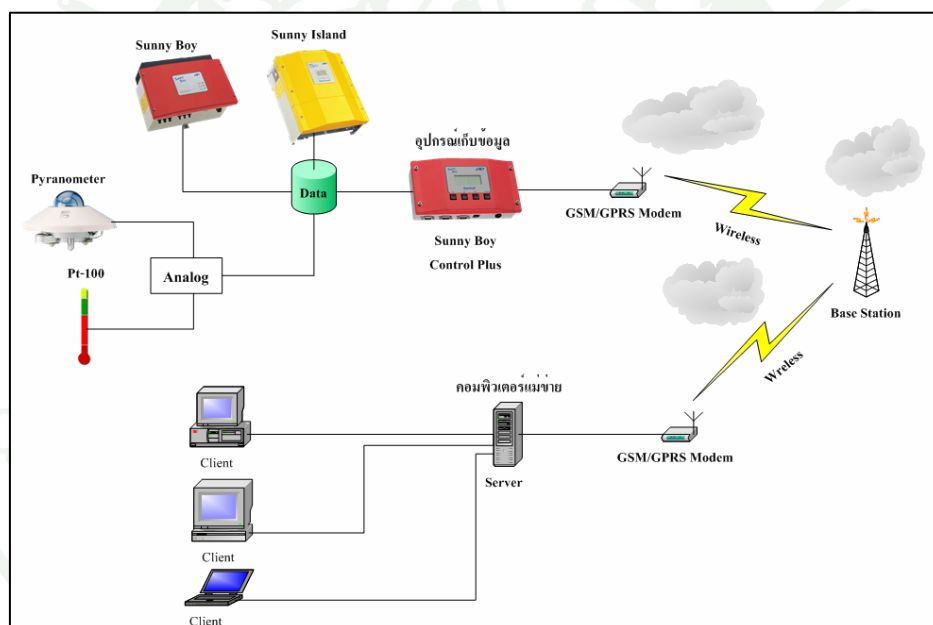


ภาพที่ 7 การตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ โดยแสดงผลผ่าน LabVIEW

ที่มา: Martín and Andreoni (2012)

การตรวจวัดอุปกรณ์ในภาพที่ 7 เป็นการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากการสร้างเครื่องมือวัดขึ้นเพื่อให้สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ Zig Bee สามารถวัดค่าพื้นฐานเช่น แรงดัน กระแส อุณหภูมิแวดล้อม ทิศทางและความเร็วลม แต่ไม่สามารถทราบถึงข้อมูลภายในอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าได้ ความเที่ยงตรงของค่าที่ตรวจวัด ต้องมีการเทียบโดยผู้ใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัด ดังนั้นหากสามารถรับค่าทางไฟฟ้าจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งภายในเครื่อง ที่ถูกส่งมายังอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Data Logger) จะทำให้ทราบถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าได้อย่างครบถ้วน ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่จะช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญรับรู้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์

รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์เก็บข้อมูล ที่มีการติดต่อกันแบบบัสข้อมูล (Data Bus) โดย กฤษฎดากร (2548) ได้ทำการส่งผ่านข้อมูลที่รับจากอุปกรณ์เก็บข้อมูลด้วย GSM Modem ซึ่งอาศัยซิมการ์ด ที่ได้ทำการตั้งค่าหมายเลขไอพี (Fixed IP Address) เพื่อให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารถึงกันได้โดยหมายเลขไอพีที่ไม่เปลี่ยนแปลง โดยข้อมูลจะถูกส่งมายัง โปรแกรมแสดงผล และสร้าง Web Server เพื่อแสดงข้อมูลผ่าน Web browser โดยมี SDC Agent เป็นตัวเชื่อมต่อ ระหว่าง JAVA-Applets และโปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูล การเข้าถึงอุปกรณ์ทำได้โดยกำหนดให้อุปกรณ์เก็บข้อมูลทำหน้าที่เป็น Server มีการกำหนดค่า APN (Access Point Name) เป็นแบบเฉพาะ เพื่อให้ หมายเลขไอพีของต้นทาง และปลายทาง อยู่ภายใต้เครือข่ายเดียวกัน ทำให้รับ-ส่งข้อมูลระหว่าง GSM Modem ทั้งสองได้ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ระบบตรวจวัดข้อมูลผ่าน GSM Modem ด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่สื่อสารในลักษณะ Data Bus

ที่มา: กฤษฎดากร (2548)

ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชนิด ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากแหล่งพลังงานที่ต่างกันให้เป็นพลังงานไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน ยังมีอุปกรณ์ต่อเข้าระบบเป็นจำนวนมาก ก็จะมีพารามิเตอร์ที่ต้อง

ตรวจสอบสถานะ มากขึ้น หากต้องการรับ-ส่งข้อมูล จากพื้นที่ห่างไกลมายังศูนย์ข้อมูลกลาง เครือข่ายการสื่อสารจะต้องมีความเร็ว และเสถียรภาพ เพียงพอสำหรับการรับ-ส่งข้อมูล และระบบ แสดงผลต้องมีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และง่ายต่อการนำไปใช้ ในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล เครือข่ายที่เหมาะสม และระบบแสดงที่มี ประสิทธิภาพ ซึ่งจากการศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา นั้น สามารถรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสำหรับ วิธีการสื่อสารในลักษณะต่างๆ อุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้สำหรับเครือข่ายระยะไกล รวมไปถึง โปรแกรมที่สามารถประยุกต์ใช้สำหรับการแสดงผลข้อมูล ซึ่งการประยุกต์ใช้งาน ในลักษณะต่างๆ นั้นจะคำนึงถึงผลประโยชน์ในระยะยาว ซึ่งจะมีทั้งค่าใช้จ่าย ความเสถียรของระบบ ความเร็วในการ สื่อสาร ความสะดวกในการประยุกต์ใช้งาน และสามารถพัฒนาต่อได้โดยง่าย

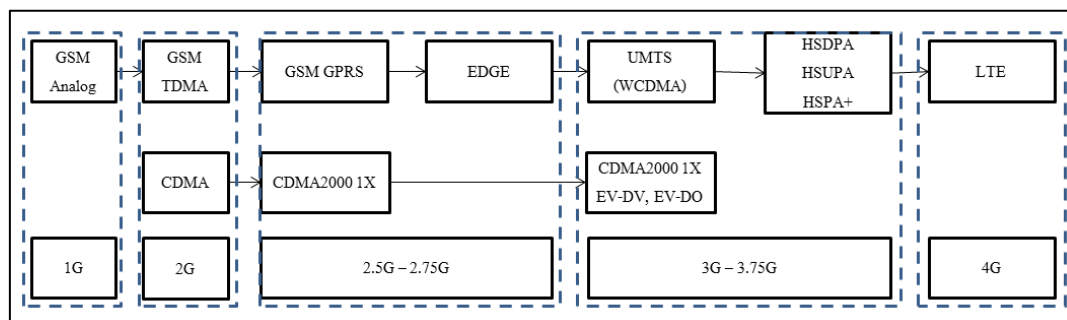
3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในที่นี้จะพิจารณาการสื่อสารที่สามารถรับส่งข้อมูลในพื้นที่ห่างไกล โดยเลือกวิธีการรับส่ง ข้อมูลเครือข่ายที่เหมาะสม ทั้งในเรื่องของ ค่าใช้จ่าย อุปกรณ์ที่รองรับ ความเร็วในการรับส่ง รวมไปถึงความซับซ้อนในการติดตั้งระบบ และการดูแลรักษาอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ สำหรับใน ประเทศไทย มีทั้งการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ (GSM: Global System for Mobile communication) ที่ใช้เทคโนโลยี UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) หรือที่ รู้จักกันในชื่อ 3G จากนั้นจะกล่าวถึงเทคโนโลยีเครือข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ซึ่งเป็นเทคโนโลยี การสื่อสารที่มีการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน และการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เครือข่ายภายใน และเครือข่ายส่วนตัวเสมือน (อริสา, 2551)

3.1 การสื่อสารผ่านเครือข่าย GSM (Global System for Mobile Communication)

การสื่อสารผ่านเครือข่าย GSM (Global System for Mobile Communication) เป็น มาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์มือถือที่ได้รับความนิยมสูงสุด การพัฒนาในยุคแรก เริ่มจากการใช้งาน การสื่อสารด้านเสียง (Voice) การรับส่งข้อมูลเป็นแบบอนาล็อก (Analog) จากนั้นจึงเข้าสู่ยุค 2G (Second Generation wireless telephone technology) เป็นข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดเจน โดยมีการมอดูเลต (Modulate) สัญญาณแบ่งเป็นช่องความถี่ จากนั้นมีการเปลี่ยนเป็นการสื่อสารแบบดิจิทัล และ มีการแบ่งการเข้าถึงช่องสัญญาณ ทั้งแบบแบ่งเวลา TDMA (Time Division Multiple Access) และ แบบเข้ารหัส CDMA (Code Division Multiple Access) ทำให้การใช้คลื่นความถี่ถูกจัดสรรให้มีการ

ใช้งานได้เต็มที่ การสื่อสารในยุคปัจจุบัน จึงเน้นเรื่องของการรับ-ส่งข้อมูล (Data) คลื่นความถี่ GSM จะเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย โดยอุปกรณ์ในปัจจุบัน สามารถทำงานในหลายช่วงความถี่ มีทั้ง 850 MHz 900 MHz 1800 MHz 1900 MHz และ 2100 MHz



ภาพที่ 9 พัฒนาการการสื่อสารผ่านโทรศัพท์มือถือ

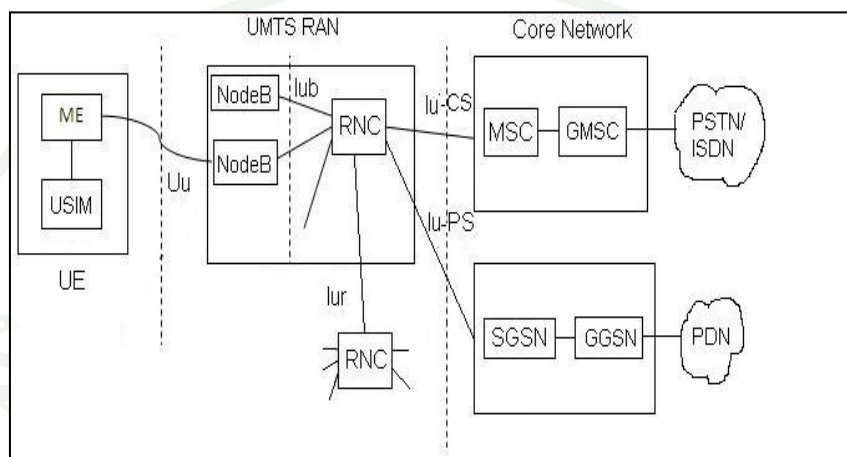
3.1.1 เทคโนโลยี UMTS (3G)

เนื่องจากการสื่อสารในยุคแรก มีการใช้งานคลื่นความถี่เพื่อสื่อสารทางเสียง และเมื่อมีความต้องการใช้งานเพิ่มขึ้น แบนด์วิธที่มีอยู่จึงไม่เพียงพอต่อการใช้งานจึงมีการพัฒนาต่อมาจนถึงปัจจุบัน เมื่อเทคโนโลยีของอุปกรณ์ก้าวหน้ามากขึ้นตามลำดับ ดังภาพที่ 9 จึงมีการใช้ประโยชน์คลื่นความถี่ในการรับส่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน การสื่อสารแบบ 3G (the third generation of mobile telecommunications technology) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่พัฒนาอยู่บนพื้นฐานของระบบ GSM โดยมีชื่อเรียกระบบนี้ว่า UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) มีความเร็วเริ่มแรกอยู่ที่ 384 kbps ต่อมาถูกพัฒนาเป็น HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) โดยใช้เทคโนโลยี Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) เพื่อให้การเข้าถึงคลื่นความถี่ มีประสิทธิภาพมากขึ้น มาตรฐาน UMTS พัฒนามาจากเทคโนโลยี GSM ซึ่ง UMTS เส้นทางการเชื่อมต่อ ดังแสดงในภาพที่ 10 โดยจะมี 3 ส่วนหลัก คือ

- User Equipment (UE) ประกอบด้วย Mobile Equipment (ME) และ UMTS subscriber identity module USIM

- Radio Access Network (RAN) ประกอบด้วย NodeB และ Radio Network Controller

- Core Network (CN) ประกอบด้วย MSC และ GMSC เพื่อทำหน้าที่เชื่อมต่อกับเครือข่าย PSTN/ISDN (Integrated Services for Digital Network) ยังมีอีกส่วนคือ SGSN (Serving GPRS Service Node) และ GGSN (Gateway GPRS Service Node) เพื่อทำหน้าที่เชื่อมต่อกับเครือข่าย PDN (Public Data Network)



ภาพที่ 10 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย UMTS

ที่มา: <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/UMTS-Network-Architecture.html>

การใช้งานสำหรับระบบตรวจวัดในพื้นที่ห่างไกล อุปกรณ์ปลายทางจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลมายังส่วนกลางมากกว่าการรับข้อมูล การใช้งาน HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) จึงเหมาะสมกับการใช้งาน แต่การให้บริการของเครือข่ายส่วนใหญ่ จะเป็นแบบ HSDPA หากระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน มีขนาดของข้อมูลไม่ใหญ่มาก ความเร็วของการ Upload ในแบบ HSDPA ซึ่งมีค่าประมาณ 1 Mb/s ก็สามารถส่งข้อมูลได้ โดยไม่กระทบต่อเวลาในการแสดงผลข้อมูลมายังปลายทาง

3.2 ประเภทของเครือข่าย

การเชื่อมต่อของอุปกรณ์สื่อสารจะสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลร่วมกันได้ ต้องมีการต่ออุปกรณ์เข้าสู่เครือข่าย การจะใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ได้มากน้อย สามารถติดต่อสื่อสารได้

หลากหลายหรือไม่ ขึ้นอยู่กับประเภทของเครือข่ายที่ทำการเชื่อมต่อเข้าใช้งาน เกณฑ์การแบ่งประเภทของเครือข่ายแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ

3.2.1 ใช้ลักษณะทางกายภาพของเครือข่ายเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทดังนี้

- LAN (Local Area Network) หมายถึงเครือข่ายท้องถิ่น มีการสื่อสารภายในบ้าน องค์กร หรือระหว่างองค์กร โดยเครื่องที่อยู่นอกเครือข่ายไม่สามารถเข้าถึงทรัพยากรที่แบ่งปันภายในเครือข่ายแบบท้องถิ่นได้
- WAN (Wide Area Network) หมายถึงเครือข่ายบริเวณกว้าง เป็นการเชื่อมต่อที่ใหญ่กว่า LAN โดยอาจเป็นการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ผ่านเครือข่ายระยะไกล

3.2.2 ใช้หน้าที่การทำงานของคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทดังนี้

- Peer-to-Peer Network (เครือข่ายแบบเท่าเทียม) เครือข่ายประเภทนี้จะไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญของอุปกรณ์ที่ต่อเข้าใช้งานเครือข่าย จึงไม่ต้องมีอุปกรณ์หลักเพื่อทำหน้าที่จัดการเครือข่าย
- Client-Server Network (เครือข่ายแบบผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการ) เป็นการใช้งานที่ต้องมีอุปกรณ์หลักที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อควบคุมการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในเครือข่าย การเชื่อมต่อลักษณะนี้ มีใช้แพร่หลายเช่น Web Server, File Server เป็นต้น

3.3.3 ใช้ขอบเขตความเป็นเจ้าของเป็นเกณฑ์ สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

- Intranet (เครือข่ายส่วนบุคคล) เป็นเครือข่ายที่การแบ่งปันทรัพยากรร่วมกันสามารถเข้าถึงได้เฉพาะผู้ที่เชื่อมต่อในเครือข่ายเท่านั้น
- Internet (เครือข่ายสาธารณะ) เป็นเครือข่ายที่ทุกคนสามารถเข้าถึงได้ง่าย ข้อมูลที่อยู่ในเครือข่ายนี้ มีความปลอดภัยน้อยมาก
- Extranet (เครือข่ายร่วม) เป็นเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อข้อมูลเฉพาะบางอย่างระหว่างอุปกรณ์ในเครือข่าย นิยมใช้ระหว่างองค์กร มีการควบคุมโดยผู้บริหารเครือข่าย ทำให้การใช้งานหลากหลายมากกว่า Intranet และปลอดภัยกว่า Internet หากมีการบริหารจัดการที่ดี

การเลือกใช้งานเครือข่ายแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานและสถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ หากต้องการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ห่าง อาจมีความจำเป็นต้องใช้เครือข่ายสาธารณะในการสื่อสารข้อมูล

3.3 โพรโทคอล TCP/IP

โพรโทคอล TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol) เป็นโพรโทคอลที่นิยมใช้ในเครือข่ายมากที่สุด เนื่องจากบริษัทที่ผลิตอุปกรณ์หรือซอฟต์แวร์ของเครือข่ายนำมาใช้เป็นมาตรฐาน และพื้นฐานของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) เนื่องจากขั้นตอนการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์เป็นสิ่งที่ค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้น โพรโทคอลจึงแบ่งเป็นชั้นย่อยหรือเลเยอร์ (Layer) เพื่อเป็นการแยกการทำงานของแอปพลิเคชันของผู้ใช้ออกจากฮาร์ดแวร์ที่ใช้รับส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ทำให้อุปกรณ์จากหลายบริษัท สามารถทำงานร่วมกันได้ เนื่องจากอุปกรณ์แต่ละชิ้นผลิตตามมาตรฐานที่กำหนดโดยองค์กรกลาง ดังนั้น เครือข่ายสมัยใหม่จึงจำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์ให้สามารถรองรับมาตรฐานนี้ ลำดับชั้นของโพรโทคอลในระบบอินเทอร์เน็ตมีทั้งหมด 4 ชั้น ประกอบด้วย

1) ชั้นการเชื่อมต่อ (Link layer) เป็นลำดับชั้นที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการสื่อสารผ่าน ระบบอินเทอร์เน็ตโดยตรง แต่เป็นระบบพื้นฐานของการเชื่อมต่อที่ระบบอินเทอร์เน็ตใช้ส่งข้อมูลภายในเครือข่าย หน้าที่ของชั้นนี้ใช้สำหรับการส่งข้อมูล เนื่องจากโพรโทคอล TCP/IP ไม่ได้กำหนดมาตรฐานในชั้นตอนนี้อีกมากนัก กำหนดไว้เพียงว่าให้สามารถส่งข้อมูลสู่เครือข่ายได้เท่านั้น ทำให้สามารถใช้การเชื่อมต่อเช่น MAC (Ethernet, Wi-Fi, ADSL, ISDN), Tunnel, GPRS เป็นต้น

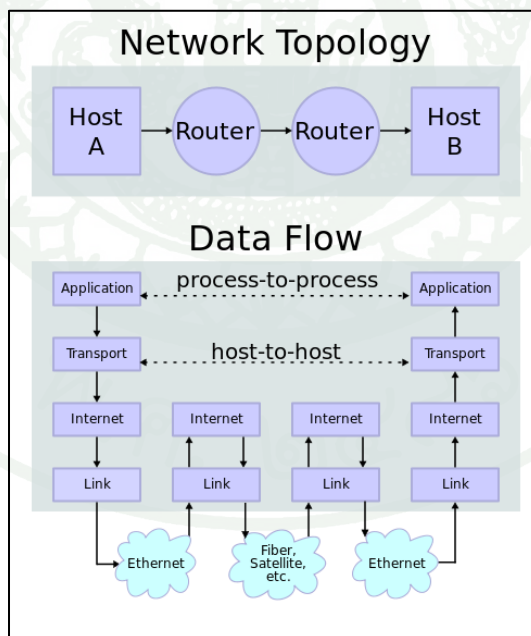
2) ชั้นอินเทอร์เน็ต (Internet layer) เป็นชั้นที่มีหน้าที่ส่งข้อมูลจากจุดเริ่มต้นไปยังปลายทาง โดยหาเส้นทางที่ข้อมูลจะใช้เดินทางผ่านเครือข่ายหนึ่งไปยังอีกเครือข่ายหนึ่งจนกระทั่งถึงปลายทาง โพรโทคอลที่ใช้ในชั้นนี้คือ IP (Internet Protocol) ทำหน้าที่ระบุถึงที่อยู่ของต้นทางและปลายทางตามที่กำหนดใน IP Address (หมายเลขไอพี) โดยมีเราเตอร์ที่ทำหน้าที่ค้นหาเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลไปจนถึงปลายทาง

3) ชั้นขนส่ง (Transport layer) มีหน้าที่ควบคุมการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์สองเครื่องที่ติดต่อกัน ซึ่งอาจแบ่งได้สองลักษณะคือ บริการการส่งข้อมูลแบบตรวจสอบการเชื่อมต่อ

(Connection Oriented) และบริการการส่งข้อมูลแบบไม่ตรวจสอบการเชื่อมต่อ (Connectionless Oriented) เพื่อจัดส่งข้อมูลไปยัง Application ที่ต้องการข้อมูล โพรโทคอลที่นิยมใช้ในชั้นนี้ได้แก่ TCP, UDP, RTP

4) ชั้นการประยุกต์ใช้งาน (Application Layer) การทำงานในชั้นนี้ จะครอบคลุมบริการที่เกี่ยวข้องกับการรักษาความปลอดภัย การเข้ารหัส การเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมประยุกต์ และเป็นชั้นที่โปรแกรมประยุกต์ใช้งานโดยตรง โพรโทคอล ที่อยู่บนชั้นนี้จะถูกออกแบบให้เหมาะสมสำหรับประเภทของโปรแกรมประยุกต์เฉพาะทาง เช่น DNS (Domain Name System) สำหรับเรียกหา IP Address ด้วยชื่อ HTTP สำหรับเรียกดูเว็บเพจ FTP สำหรับโอนถ่ายข้อมูล เป็นต้น

การรับส่งข้อมูลผ่าน TCP/IP เริ่มจากโปรแกรมประยุกต์จะส่งผ่านข้อมูลที่ใช้งาน เช่น HTTP หรือ SMTP ผ่านไปยังลำดับชั้นต่างๆของ โครงสร้างแบบ TCP/IP ซึ่งโปรแกรมประยุกต์จะต้องกำหนดหมายเลข IP เพื่อให้ข้อมูลที่ผู้รับส่งสามารถส่งถึงโปรแกรมประยุกต์ที่เรียกใช้งานได้ถูกต้อง ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล TCP/IP

ที่มา: Prior Wikipedia artwork by en:User:Cburnett (2008)

การสื่อสารด้วยโปรโตคอล TCP/IP สามารถใช้ประโยชน์ โดยอาศัยชั้นการประยุกต์ใช้งาน เพราะสามารถเชื่อมต่อการทำงานกับ โปรแกรมของผู้ใช้ จากการศึกษาอุปกรณ์เพื่อประยุกต์ใช้ในการเชื่อมต่อเครือข่าย มีโปรโตคอลที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ คือ DNS และ HTTP ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

3.3.1 Domain Name System (DNS)

เครือข่ายที่ใช้โปรโตคอล TCP/IP แต่ละอุปกรณ์จะใช้ IP Address เพื่อให้ผู้ใช้กำหนดตัวตนในเครือข่าย มีลักษณะเป็นชุดตัวเลข เช่น หากต้องการเข้าสู่เว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สามารถเข้าถึงได้ด้วย IP Address 158.108.216.5 ดังภาพที่ 12 แต่เนื่องจากการจำ IP Address เป็นเรื่องยาก จึงได้มีการพัฒนาระบบเพื่อตั้งชื่อ แทนการจำ IP Address ซึ่งระบบนี้เรียกว่า DNS (Domain Name System) โครงสร้างของระบบ DNS จะเป็นแบบมีลำดับชั้น (Hierarchy) ดังแสดงในภาพที่ 13 โดยมีสิทธิ์ในการจัดการโดเมนแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ

1) Root Domain: ลำดับสูงสุดของระบบโดเมนคือ รุทโดเมน (Root Domain) ทุกๆโดเมนจะอยู่ภายใต้รุทโดเมนหมด ดังนั้น รุทโดเมนจึงเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในระบบ DNS ในระบบอินเทอร์เน็ต

2) Top-Level Domain: ระดับโดเมนที่ถัดลงมาจากรุทโดเมนจะเรียกว่า โดเมนระดับที่หนึ่ง (Top-level Domain) โดเมนในระดับนี้จะถูกกำหนดโดยประเภทขององค์กรและประเทศ

3) Second-Level Domain: สำหรับโดเมนระดับรองลงมา จะเป็นโดเมนที่แจกจ่ายให้กับองค์กรหรือบุคคลที่ต้องการมีชื่อโดเมน

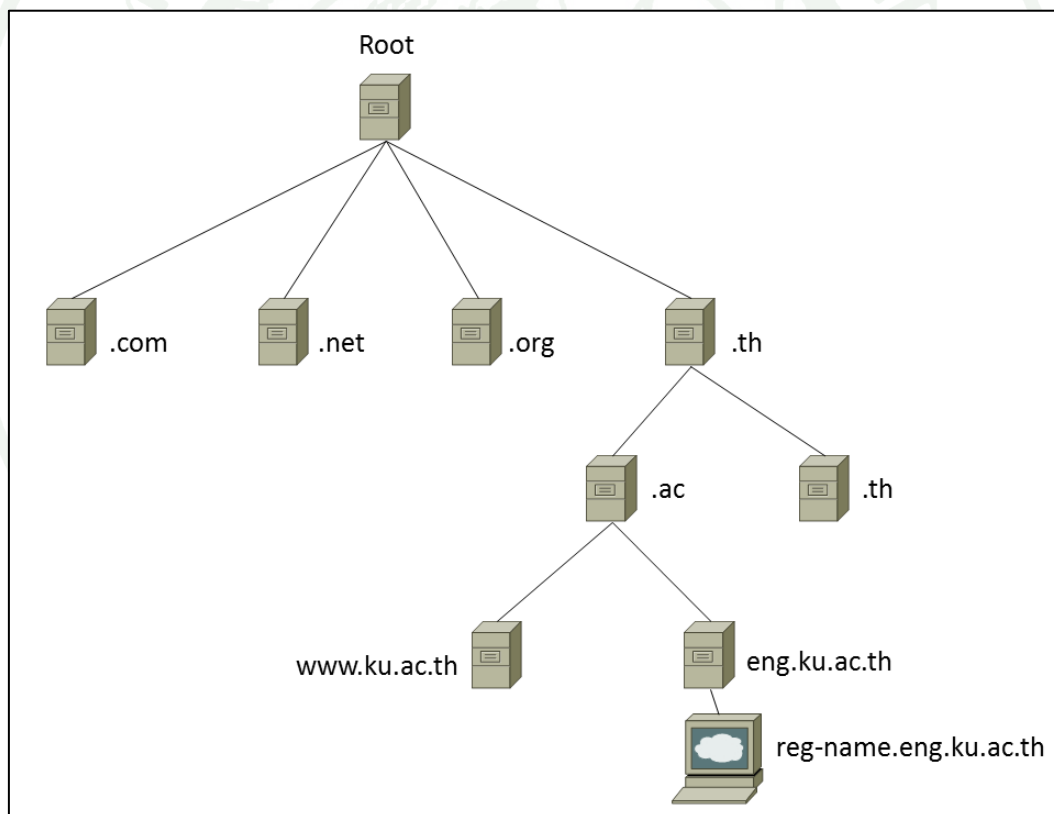
การใช้งาน DNS อุปกรณ์เครือข่ายต้องอยู่ภายใต้ DNS Domain หรือต้องสามารถระบุตัวตนด้วย IP Address แบบสาธารณะ

```

C:\Users\Nikorn>nslookup ku.ac.th
Server: UnKnown
Address: 192.168.43.1

Non-authoritative answer:
Name:    ku.ac.th
Addresses: 2001:3c8:1303:160a::5
          158.108.216.5
  
```

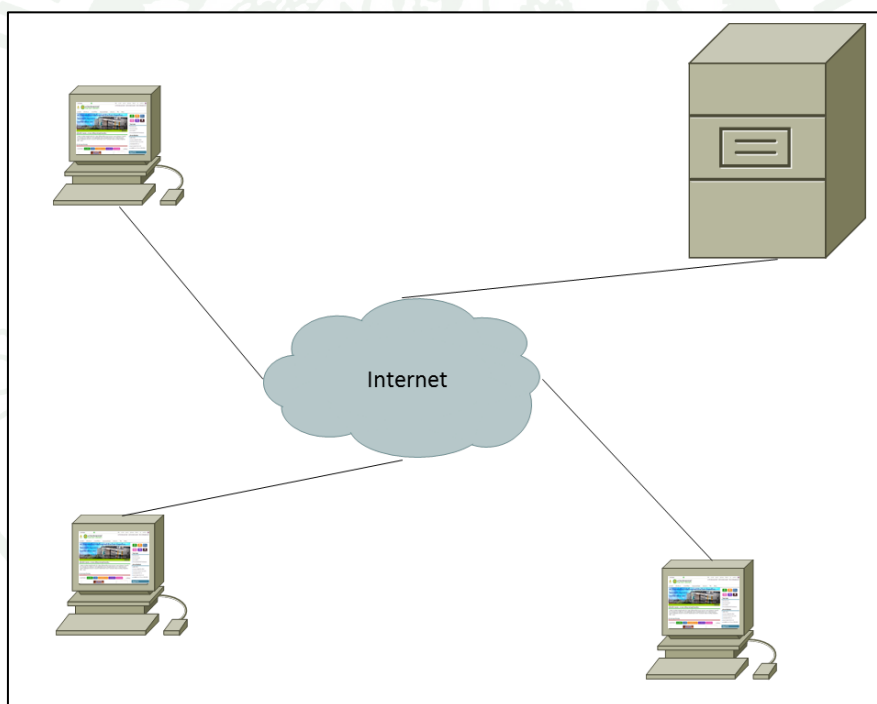
ภาพที่ 12 IP Address ที่ถูกแทนด้วยชื่อที่กำหนดโดย DNS



ภาพที่ 13 โครงสร้างของระบบ DNS

3.3.2 เวิลด์ ไวด์ เว็บ (World Wide Web: HTTP)

เวิลด์ ไวด์ เว็บ (World Wide Web) หรือเรียกว่า เว็บ (Web) หรือ WWW เป็นแอปพลิเคชันหนึ่งที่ทำให้อินเทอร์เน็ตเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน WWW ใช้โปรโตคอล HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ใช้รับส่งไฟล์ HTML (Hyper Text Markup Language) โดยเป็นภาษาที่ใช้อธิบายการแสดงผลเว็บเพจ แอปพลิเคชันนี้ทำงานแบบไคลเอนท์เซิร์ฟเวอร์ จะมีโฮสต์เครื่องหนึ่งที่ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์เรียกว่า เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) คอยให้บริการเอกสาร HTML ส่วนเครื่องไคลเอนท์ จะใช้โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) เช่น อินเทอร์เน็ตเอกซ์พลอเรอร์ (IE) Firefox หรือ Safari เพื่อร้องขอไฟล์ HTML จากเว็บเซิร์ฟเวอร์และแสดงผลมายังหน้าเว็บเบราว์เซอร์



ภาพที่ 14 การทำงานของโปรโตคอล HTTP

โปรโตคอล HTTP เป็นโปรโตคอลที่อยู่ในชั้นการประยุกต์ใช้งาน ของชุดโปรโตคอล TCP/IP เป็นตัวกำหนดรูปแบบการร้องขอไฟล์ของไคลเอนท์ (เว็บเบราว์เซอร์) จากเว็บเซิร์ฟเวอร์ และรูปแบบการถ่ายโอนไฟล์จากเว็บเซิร์ฟเวอร์ไปยังไคลเอนท์ ดังแสดงในภาพที่ 14 การทำงานเริ่มจากฝั่งไคลเอนท์ โดยผู้ใช้คลิกที่ลิงค์ในเว็บเพจ หรือ พิมพ์ URL (Uniform Resource Location) ใน

ช่องที่อยู่ (Address) ของเว็บเบราว์เซอร์ หลังจากนั้นเว็บเบราว์เซอร์จะส่งการร้องขอ (HTTP Request) ผ่านเครือข่ายไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ เมื่อเว็บเซิร์ฟเวอร์ได้รับการร้องขอก็จะขอค้นหาไฟล์ที่กำหนดใน URL ซึ่งถ้าพบก็จะตอบกลับ (HTTP Response) พร้อมไฟล์กลับไปยังฝั่งไคลเอนต์ เว็บเบราว์เซอร์เมื่อได้รับการตอบกลับก็จะแสดงไฟล์นั้นให้ผู้ใช้ดู โพรโทคอล HTTP ไม่ได้กำหนดรูปแบบการแสดงผลให้ผู้ใช้ดู ซึ่งหน้าที่นี้เป็นของเว็บเบราว์เซอร์ ดังนั้น เว็บเบราว์เซอร์ที่ต่างกันอาจแสดงเว็บเพจไม่เหมือนกัน เว็บเพจหรือไฟล์ที่อยู่ในรูปแบบ HTML จะสามารถประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ เช่น รูปภาพ (ไฟล์ .jpg, .gif เป็นต้น) เสียง และวิดีโอ เป็นต้น ส่วนผ่านการเชื่อมต่อ TCP ที่สร้างไว้ก่อนหน้า

3.4 หมายเลขไอพี (IP Address)

หมายเลขไอพี (IP Address) คือ เลขที่บอกที่อยู่เฉพาะของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเครือข่าย โดยหมายเลขไอพีของแต่ละเครื่องที่อยู่ในเครือข่ายเดียวกัน ต้องไม่ซ้ำกัน ปัจจุบัน โพรโทคอล IP ที่ใช้งานอยู่ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะเป็นเวอร์ชัน 4 (เริ่มมีการใช้งานเวอร์ชัน 6 เนื่องจากหมายเลข IP ไม่เพียงพอ) หรือเรียกสั้นๆว่า “IPv4” ซึ่งในเวอร์ชันนี้ หมายเลขไอพีจะมีขนาด 32 บิต เนื่องจากเลขฐานสอง 32 บิตเป็นตัวเลขที่ยาวและยากต่อการจดจำ ดังนั้น หมายเลขไอพีจึงนิยมเขียนให้อยู่ในรูปแบบ คอตเดซิมาลโนเตชัน (Dotted Decimal Notation) โดยการจัดกลุ่มเลขฐานสองเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 8 บิต หลังจากนั้นให้แปลงเลขฐานสองของแต่ละกลุ่มให้เป็นเลขฐานสิบ โดยใช้จุดเป็นตัวเชื่อม ตัวอย่างเช่น เลขไอพี 10101100 00010000 00010100 10001001 เขียนให้อยู่ในรูปแบบ คอตเดซิมาลโนเตชันได้เป็น 172.16.20.137 ดังภาพที่ 15

32 Bits			
Network		Host	
8 Bits	8 Bits	8 Bits	8 Bits
10101100	00010000	00010100	10001001
172.	16.	20.	147

ภาพที่ 15 การแบ่งส่วนของหมายเลขไอพีและคอตเดซิมาลโนเตชัน

เนื่องจากหมายเลขไอพีที่เป็นเลขฐานสิบนี้เป็นการแปลงมาจากเลขฐานสอง 8 บิต ดังนั้นเลขฐานสิบแต่ละตัวจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เพราะฉะนั้นหมายเลขไอพีที่ถูกต้องจะอยู่ระหว่าง 0.0.0.0 ถึง 255.255.255.255

3.4.1 คลาสของหมายเลขไอพี

โพรโทคอลไอพีเวอร์ชัน 4 (IPv4) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะแบ่งหมายเลขไอพีออกเป็น 5 ประเภท (Class) คือ A, B, C, D และ E โดยหมายเลขไอพีทั้ง 32 บิต และถูกจัดให้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้คือ กลุ่มแรกจะเป็นตัวเลขที่ใช้ออกหมายเลขเครือข่าย (Network ID) และกลุ่มที่สองจะเป็นตัวเลขที่ใช้ออกหมายเลขโฮสต์ที่อยู่ในเครือข่ายดังกล่าวที่มี 16 ซึ่งมีข้อกำหนดที่ใช้ในการแบ่งประเภทของหมายเลขไอพีมีดังนี้

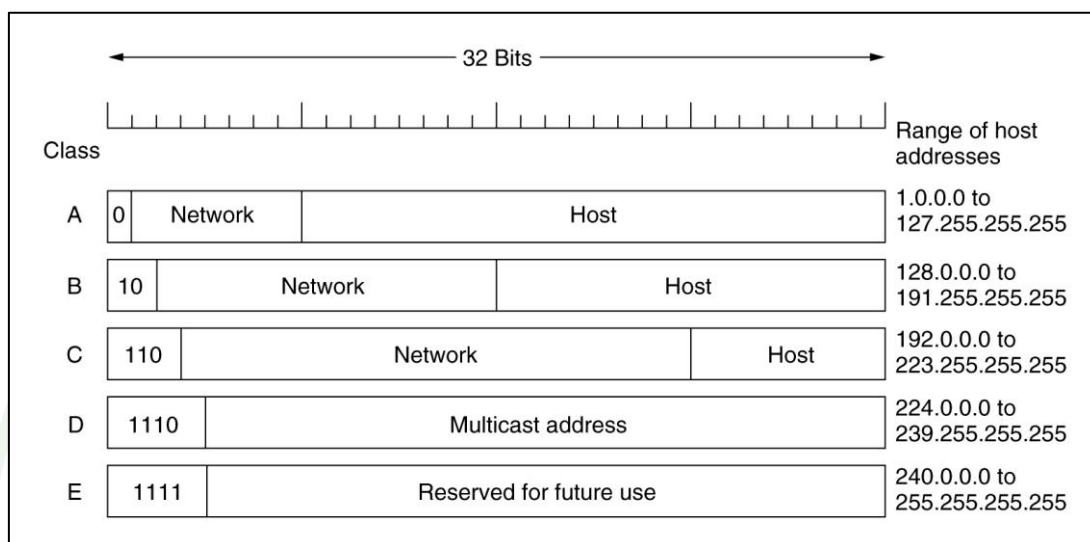
- Class A : สำหรับหมายเลขไอพีคลาส A บิตแรกจะเป็นเลข 0 เท่านั้น และส่วนที่บอกหมายเลขเครือข่าย (Network ID) คือ 8 บิตแรก ดังนั้น จะมีได้ทั้งหมด 126 เครือข่าย (หมายเลขเครือข่าย 0 จะไม่ใช้) ส่วนอีก 24 บิตที่เหลือจะเป็นเลขที่ใช้ออกหมายเลขโฮสต์ (Host ID) เนื่องจากเครือข่ายมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนโฮสต์ หมายเลขไอพีประเภทนี้จึงไม่เหมาะสำหรับเครือข่ายขนาดใหญ่ซึ่งประกอบด้วยหลายเครือข่ายเชื่อมต่อกัน เช่น ระบบอินเทอร์เน็ต เพราะในการส่งข้อมูลระหว่างเครือข่ายนั้น เราเตอร์จะใช้เฉพาะหมายเลขเครือข่ายเท่านั้น จึงเหมาะสำหรับใช้กับเครือข่ายส่วนบุคคล

- Class B: สำหรับหมายเลขไอพีคลาส B สองบิตแรกจะเป็น 10 เท่านั้น ส่วนหมายเลขเครือข่ายจะใช้ 16 บิตแรก สำหรับอีก 16 บิตที่เหลือเป็นหมายเลขโฮสต์

- Class C: สำหรับหมายเลขไอพีคลาส C นั้นจะมีบิตเริ่มต้นเป็น 110 และเมื่อรวมกับอีก 21 บิตต่อมาก็จะเป็นหมายเลขเครือข่าย ส่วน 8 บิตสุดท้ายเป็นหมายเลขโฮสต์ ซึ่งมีทั้งหมด 254 เครื่อง

- Class D: ส่วนประกอบที่สำคัญคือ เลขไอพีที่เริ่มต้นด้วย 1110 ซึ่งเป็นเลขไอพีที่ใช้สำหรับ มัลติคาสต์ (Multicast) หรือสำหรับการส่งข้อมูลแบบมีโฮสต์ปลายทางหลายเครื่องแต่อาจจะอยู่คนละเครือข่ายกัน

- Class E: ประเภทสุดท้ายคือ เลขไอพีที่เริ่มต้นด้วย 11110 เป็นหมายเลขที่สงวนไว้ใช้ในอนาคต หมายเลขเหล่านี้จะถูกกำหนดให้โดยศูนย์ข้อมูลเครือข่าย หรือ InterNIC (Internet Network Information Center)



ภาพที่ 16 คลาสของหมายเลขไอพี

3.4.2 ประเภทของหมายเลขเครือข่ายแบบส่วนตัว และแบบสาธารณะ (Private/Public Internet)

การที่จะเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับอินเทอร์เน็ตนั้น จำเป็นต้องร้องขอหมายเลขไอพีจากอินเทอร์เน็ต (InterNIC) ซึ่งเป็นองค์กรที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการแจกจ่ายหมายเลขไอพี เนื่องจากหมายเลขไอพีของแต่ละเครื่องที่อยู่ในเครือข่ายเดียวกันจะต้องไม่ซ้ำกัน ดังนั้น ถ้าเป็นเครือข่ายส่วนบุคคลที่ไม่มีการเชื่อมต่อเข้ากับอินเทอร์เน็ต สามารถใช้หมายเลขไอพีได้ตามความเหมาะสม ไม่ต้องร้องขอหมายเลขไอพีจากอินเทอร์เน็ต เพียงแต่กำหนดให้หมายเลขไอพีให้กับอุปกรณ์ในเครือข่ายไม่ซ้ำกัน

เมื่อมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้าสู่เครือข่ายส่วนบุคคลเข้ากับอินเทอร์เน็ต อาจทำให้หมายเลขไอพีที่ใช้ในเครือข่ายส่วนบุคคลไปซ้ำกับโฮสต์ ที่อยู่ในอินเทอร์เน็ต ดังนั้น เพื่อป้องกัน

ปัญหาดังกล่าว องค์กร IETF (Internet Engineering Task Force) ได้กำหนดหมายเลขไอพีบางกลุ่ม ให้เป็นหมายเลขไอพีส่วนบุคคล ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หมายเลขไอพีสำหรับเครือข่ายส่วนบุคคล

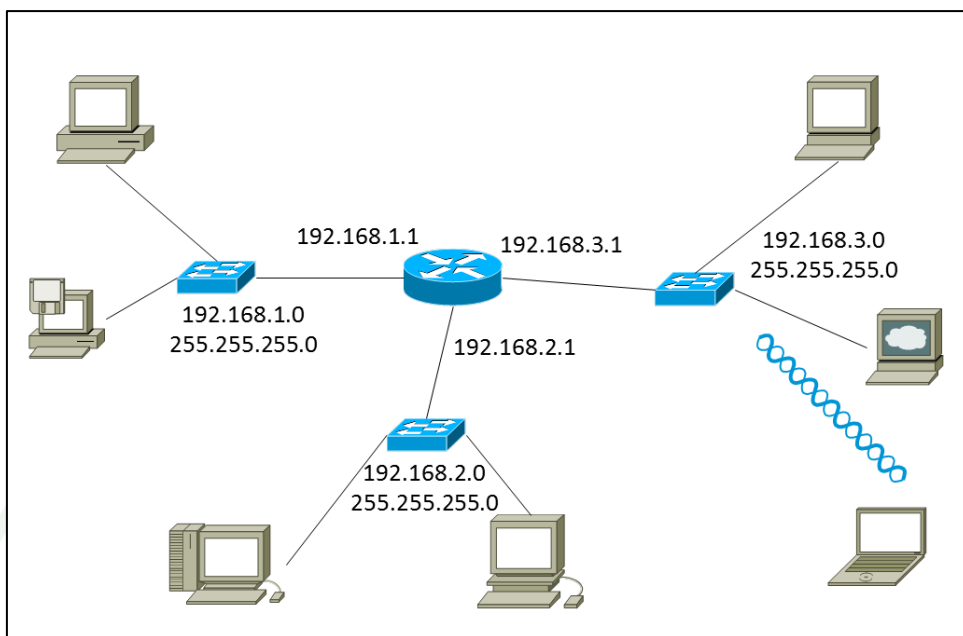
ประเภท	ไอพีต่ำสุด	ไอพีสูงสุด
A	10.0.0.0	10.255.255.255
B	172.16.0.0	172.31.255.255
C	192.168.0.0	192.168.255.255

ที่มา: จตุชัย (2551)

หมายเลขไอพี ที่แสดงในตารางที่ 1 จะเป็นหมายเลขที่ไม่ถูกใช้ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และหมายเลขเหล่านี้จะไม่ถูกส่งโดยเราท์เตอร์ของระบบอินเทอร์เน็ต สำหรับหมายเลขไอพีที่แจกจ่ายไปแล้วสามารถดูรายละเอียดได้ที่ <http://www.iana.org/assignments/ipv4-address-space>

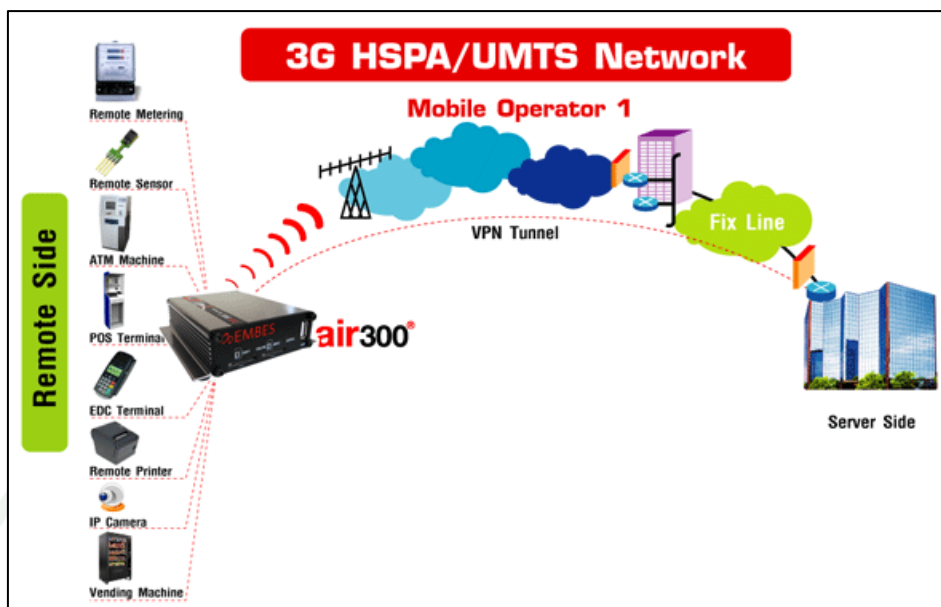
3.5 หลักการทำงานของเราท์เตอร์

การส่งข้อมูลข้ามเครือข่าย หรือเรียกว่า การเราท์ติ้ง (Routing) มีจุดประสงค์เพื่อทำให้อุปกรณ์ที่อยู่คนละเครือข่าย สามารถส่งข้อมูล ถึงกันได้ โดยการค้นหาเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายอื่น ที่อยู่ในตารางเส้นทาง หรือเราท์ติ้งเทเบิล (Routing Table) ซึ่งเราท์เตอร์แต่ละเครื่องจะต้องมี เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์เครือข่ายโดยทั่วไปจะไม่สามารถจัดการเรื่องเส้นทางได้ (Routing) และต้องใช้ทรัพยากรของเครื่องมาก จึงต้องส่งแพคเกจข้อมูลไปยังเราท์เตอร์ ซึ่งแต่ละเครือข่ายจะมีเราท์เตอร์หลักที่เรียกว่า “ดีฟอลต์เราท์เตอร์ (Default Router)” หรือ ดีฟอลต์เกตเวย์ (Default Gateway) ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การเชื่อมต่อเครือข่ายด้วยเราท์เตอร์

เมื่ออุปกรณ์ในเครือข่ายต้องการส่งแพคเกจข้อมูลไปยังอุปกรณ์ที่อยู่คนละเครือข่ายกัน โดยจะทราบได้จากหมายเลขเครือข่าย ซึ่งจะคำนวณจากหมายเลขไอพีและซับเน็ตมาสก์ เมื่อพบว่าต้องการส่งข้อมูลไปยังนอกเครือข่ายอุปกรณ์นั้นก็จะส่งแพคเกจข้อมูลไปยังเราท์เตอร์แทน จากนั้นจะเป็นหน้าที่ของเราท์เตอร์ที่รับผิดชอบการส่งต่อแพคเกจข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง การทำงานของเราท์เตอร์สามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ไปยังอุปกรณ์ที่อยู่ไกลกันได้ ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การเชื่อมต่อเครือข่ายระยะไกลด้วย GSM เราท์เตอร์ ผ่านผู้ให้บริการ HSPA

ที่มา: embes (2010)

4. รูปแบบการสื่อสารของอุปกรณ์เก็บข้อมูลด้วย โพรโทคอล SMA-Net

การส่งข้อความโดยใช้โปรโตคอล Sunny Net Telegram Frame โดย Bröring (2003) ข้อมูลที่ได้มีลักษณะเป็นชุดข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 19 ทำให้ได้รับข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบได้หลากหลายตัวแปร และสามารถประยุกต์ใช้กับ OPC Server เพื่อส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายระยะไกล โดยข้อมูลที่ได้รับจะมาเป็นรูปของชุดข้อมูล เหมือนกับค่าที่เก็บไว้ในอุปกรณ์เก็บข้อมูลซึ่งตั้งอยู่ที่พื้นที่ห่างไกล แต่จะได้รับข้อมูลบ่อยครั้งกว่าการบันทึกข้อมูลที่อยู่ภายในตัวอุปกรณ์

Sunny Net Telegram									
Powerline Synchroni- zation (optional)		Frame				Content SMA Data Telegram		Frame	
Sync	Sync	Start	Length	Length	Start	Protocol header	User data	16 Bit CS	Stop
1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	7 Bytes	0..255 Bytes	2 Bytes	1 Bytes
AA	AA	68			68				16

ภาพที่ 19 โปรโตคอลแบบ Sunny Net

ที่มา: Bröring (2003)

1) Telegram Frame พิจารณาจากการเริ่มส่งตัวอักษร ความยาวของข้อความที่ใช้ตรวจสอบผลรวม 16 บิต และการหยุดส่งตัวอักษร

2) Telegram Content ส่งโดย protocol header 7 ไบต์ ประกอบด้วยที่อยู่ (Addressing) คำสั่ง (Command) และสามารถส่งข้อมูลได้มากที่สุด 255 ไบต์ต่อการส่งหนึ่งครั้ง

การเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลกับคอมพิวเตอร์หรือโมเด็มตามข้อมูลด้านล่างนี้

- 1) ชนิดการเชื่อมต่อ (Type): RS485
- 2) อัตราความเร็ว (Baudrate): 1200
- 3) โปรโตคอล (Protocol): SMA - Net

การส่งข้อมูลแบบ SMA Net Telegram Frame สามารถผนึกข้อมูลของเฟรมแบบ Point to Point Protocol: PPP ติดต่อสื่อสารกัน โดยใช้โปรโตคอล TCP/IP ดังแสดงในภาพที่ 20

SMA Net Telegram						
Frame			Content		Frame	
Start	Address	Control	Protocol header	SMA Data	FCS	Stop
1 byte	1 byte	1 byte	2 bytes	255 bytes	2 bytes	1 byte
7E	FF	03				7E

ภาพที่ 20 โพรโทคอลแบบ SMA Net

ที่มา: Bröring (2003)

- 1) Start and Stop Flag ในการส่งข้อมูลทุก ๆ ครั้งจะต้องมี Start และ Stop
- 2) Address เป็นแบบ Broadcast – Address ใช้เพื่อส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ทั้งหมด
- 3) Control ใช้ควบคุมการส่งข้อมูล
- 4) Protocol header มีสองส่วนคือ MSB (Most Significant Byte) และ LSB (Least Significant Byte)
- 5) SMA Data เป็นข้อมูลที่ใช้ในการส่งมากถึง 255 ไบต์
- 6) FCS (Frame Check Sequence) การตรวจสอบค่า 16 บิต

ข้อมูลจากอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานที่ได้ทำการทดลอง มีลักษณะข้อมูลเป็นแบบ ซึ่งต้องมีการบริหารจัดการข้อมูลเพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลได้อย่างสะดวก

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

การใช้อุปกรณ์ในงานนี้ นอกจากแผงโซลาร์เซลล์ และอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้า ที่ได้ทำการติดตั้ง เพื่อใช้ในการทดลอง ยังมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการพัฒนาระบบการแสดงผลและเก็บข้อมูลดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ Workstation Dell Precision

- CPU 4th Generation Intel i7-4770, 3.4 GHz
- 8GB 1600 MHz DDR3
- ฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ 500 GB 7200 รอบ/นาที
- 16X DVD
- 512 MB NVIDIA Quadro NVS

สำหรับการใช้โปรแกรม LabVIEW และเป็นเครื่องแม่ข่าย

2. ระบบปฏิบัติการ Windows 7 (Professional)

3. อุปกรณ์เก็บข้อมูล (Sunny Webbox)

ใช้ในการตรวจวัดข้อมูล และควบคุมอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ผ่านเครือข่ายระยะไกล

4. อุปกรณ์ที่เป็นโปรแกรมประยุกต์

- โปรแกรม SMA OPC Server

สำหรับติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ให้สามารถเป็น Server รับข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูล Sunny Webbox

- โปรแกรม LabVIEW Academic Premium Suite

ใช้สำหรับแสดงผล และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล

- โปรแกรม Google Sketch Up

ใช้สำหรับออกแบบรูปภาพอุปกรณ์ในระบบแสดงผลแบบกราฟิก

- โปรแกรม Ethereal

ใช้สำหรับบันทึกการทำงานของแพคเกจข้อมูล และรายละเอียดของโปรโตคอล

5. โมเด็มไร้สาย (GSM/3G Modem) จำนวน 1 เครื่อง (EMBES Air-300H850)

3G HSPA Triple-Band HSPA/UMTS (WCDMA) 850/1900/2100 MHz

UMTS download and upload up to 384 Kbps

GSM GPRS/EDGE

Quad band 850/900/1800/1900 MHz

EDGE Class 12 Throughput up to 240 kbps

GPRS Class 12 Throughput up to 80 kbps

6. SIM card แบบ FIX Private IP จำนวน 1 เลขหมาย

เพื่อใช้เป็นปลายทางของการกำหนดเส้นทางจาก Public IP Address

7. อุปกรณ์อินพุต เอาท์พุท National Instruments myDAQ

- 8 channels Programmable Digital I/O

- 2 channels Analog Input

- 2 channels Analog Output

- 1 Audio Input

- 1 Audio Output

ใช้สำหรับตรวจวัดค่าที่ไม่สามารถเข้าสู่ OPC Server ได้

วิธีการ

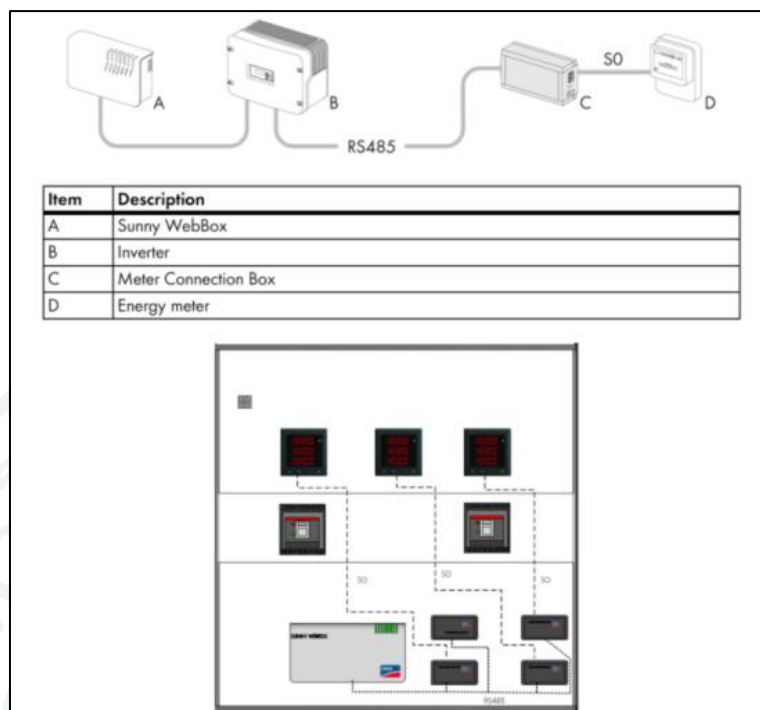
การตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน มีการใช้งานอุปกรณ์เก็บข้อมูล ซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่อุทยานแห่งชาติภูกระดึง และศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน อุปกรณ์ทั้งสองแห่ง เชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่าย Internet เพื่อรับส่งข้อมูลสำหรับงานวิจัย มายังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ตั้งอยู่ ณ ที่ใดก็ได้ที่สามารถเข้าถึงเครือข่าย Internet เช่นกัน งานวิจัยนี้ใช้การสื่อสารหลายแบบ ทั้งแบบ สาธารณะ แบบส่วนตัว และแบบส่วนตัวเสมือน ในการเชื่อมต่อข้อมูลระยะไกล สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ใช้โปรโตคอลเฉพาะของผู้ผลิต จึงต้องอาศัย OPC Server สำหรับเป็นตัวกลางสามารถในการนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW

การเก็บข้อมูลโดยอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Sunny Webbox) สามารถตั้งค่าให้สามารถจัดเก็บข้อมูลทุก ๆ 5, 10 หรือ 15 นาที เช่น ค่าของแรงดันระบบ กระแสของระบบ อุณหภูมิ และพารามิเตอร์อื่น ๆ นอกจากจะเก็บไว้ที่ตัวเครื่องได้แล้วยังสามารถทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการบันทึกข้อมูล เพื่อทำระบบการแสดงผลค่าและบริหารจัดการข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าได้ ข้อมูล ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง และสามารถส่งผ่านพารามิเตอร์ต่างๆ มายัง ศูนย์กลาง หรือที่อื่นๆ ที่สามารถเข้าสู่อินเทอร์เน็ตได้ ทำให้สามารถบันทึกพารามิเตอร์ ได้ Sampling Rate ที่มากกว่า โดยได้รับค่าน้อยทุกๆ 1 นาที

วิธีดำเนินงานเริ่มจาก ติดตั้งระบบสื่อสารให้กับระบบผลิตไฟฟ้า การประยุกต์ใช้เครือข่ายสื่อสารที่เหมาะสมเพื่อเข้าถึงข้อมูลระยะไกล ประยุกต์ใช้โปรแกรมเพื่อสร้างระบบแสดงผล และการเก็บข้อมูลเพื่อให้ผู้วิเคราะห์ระบบสามารถนำไปใช้งาน พร้อมทั้งเผยแพร่ข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

1. เชื่อมต่อการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

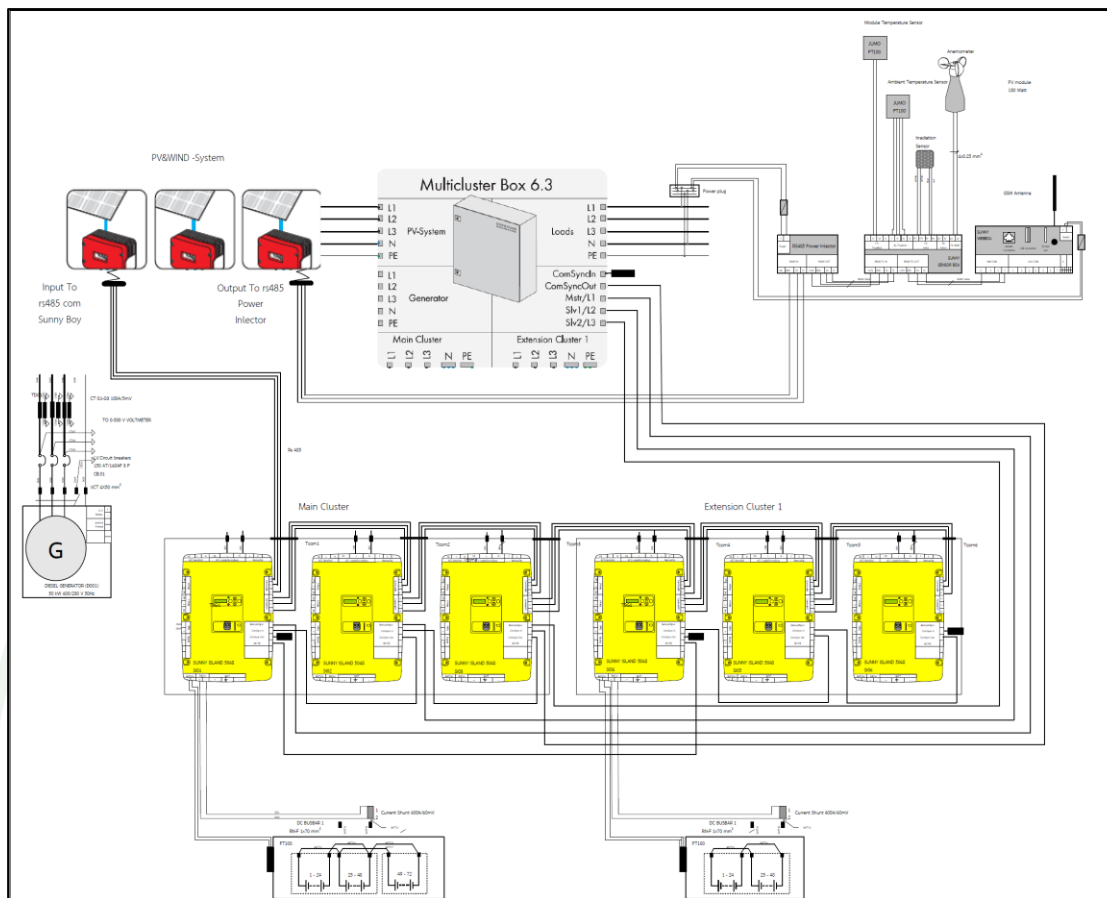
ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชนิดที่มีการทำงานแตกต่างกัน มีการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ด้วยสายสัญญาณที่ต่อกันกัน ดังแสดงในภาพที่ 21 ซึ่งมีการสื่อสารกันแบบ Data Bus ชนิดการเชื่อมต่อ RS-485 สามารถรับส่งข้อมูลเป็นชุดแพคเกจ (Package) โดยอุปกรณ์แต่ละตัวจะมีรหัสประจำเพื่อให้อุปกรณ์เก็บข้อมูล (Sunny Webbox) สามารถรับรู้ถึงชนิดข้อมูลได้



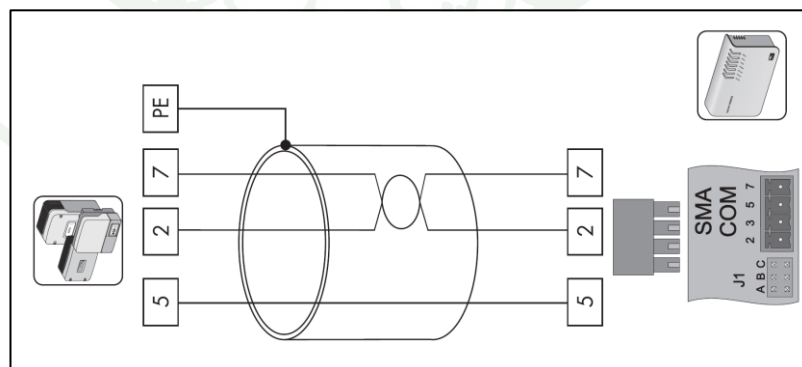
ภาพที่ 21 การต่ออนุกรมอุปกรณ์สื่อสาร RS-485

รูปแบบการเชื่อมต่อ RS 485 เริ่มจากอุปกรณ์ตรวจวัดตัวแรกต่อเข้ากับ Data Logger เชื่อมเข้ากับ Inverter ไปจนตัวสุดท้าย โดยมีตัว Terminator Resistor ต่อเข้ากับสายสัญญาณเพื่อเป็นการลดผล Interference และเพื่อให้อุปกรณ์ สามารถตรวจจับค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไป ในกรณีสายสัญญาณเกิดปัญหา ดังภาพที่ 22 อุปกรณ์ทุกตัว ถูกเชื่อมต่อการสื่อสารระหว่างกันด้วยสาย Flexible Multicores Shielded

การต่อสายนำสัญญาณเข้าสู่ Data Logger มีลำดับการต่อดังภาพที่ 23 โดย หมายเลข 2 คือ D+ หมายเลข 5 คือ GND และหมายเลข 7 คือ D- สำหรับ Shield ให้ต่อเข้ากับสายดิน



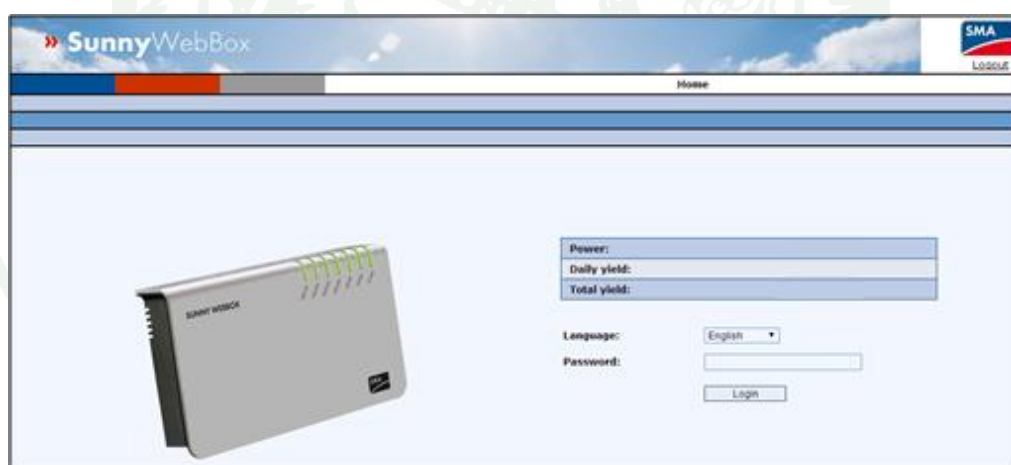
ภาพที่ 22 การเชื่อมต่อสายสื่อสารสำหรับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน อุทยานแห่งชาติภูกระดึง



ภาพที่ 23 วิธีเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้ากับอุปกรณ์เก็บข้อมูล

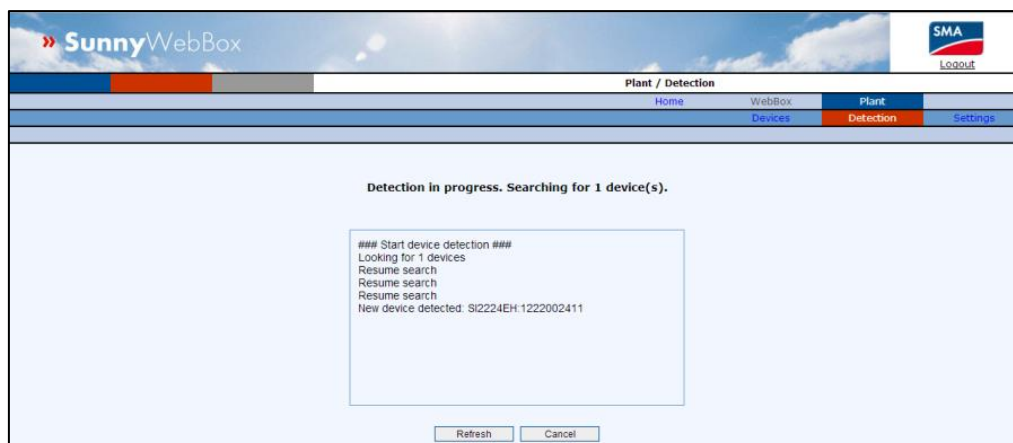
เมื่ออุปกรณ์ทุกตัวถูกต่อเข้า Data Bus ทั้งหมดแล้ว ต้องทำการสแกนเพื่อให้ Data Logger สามารถรับรู้ อุปกรณ์ที่ได้ต่อเข้าไปใน Data Bus ตามขั้นตอนดังนี้

1) ปรับตั้งค่าผ่านทาง Webpage โดยตั้งค่า IP Address ของคอมพิวเตอร์เป็น 192.168.0.100 จากนั้นใช้ Webpage เปิดไปยังที่อยู่ 192.168.0.168 จะปรากฏ หน้า Webpage ดังภาพที่ 24 จะเป็นการเข้าสู่การตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งมีการตั้งความปลอดภัยด้วยรหัสผ่าน เพื่อป้องกันการเข้าสู่ข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาต เนื่องจากการปรับตั้งพารามิเตอร์บางตัว อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ เช่น หากปรับความถี่ของ อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกรีดไฟฟ้า ให้มีความถี่ไม่อยู่ในช่วงที่จะสามารถชิ่งโครโนซ์ ก็จะทำให้อินเวอร์เตอร์ตัวนั้น ไม่สามารถเชื่อมเข้าสู่ระบบได้ สำหรับในที่นี้จะเน้นในเรื่องของการสื่อสารข้อมูล ทั้งภายในเครือข่ายและการสื่อสารออกสู่เครือข่ายสาธารณะ ค่าที่มีการปรับตั้งจะอยู่ในส่วนของ Detection และ Network Setting แต่การปรับตั้งค่าโดยไม่ระวัง หรือมีการปรับค่าเครือข่ายไม่เป็นไปตามเงื่อนไข ตามหัวข้อที่กล่าวมาแล้วนั้น อาจทำให้ไม่สามารถเชื่อมต่อข้อมูลได้ และหากอยู่ต่างพื้นที่ ก็อาจต้องเสียเวลาเดินทางมายังพื้นที่ติดตั้ง เพื่อทำการแก้ไข



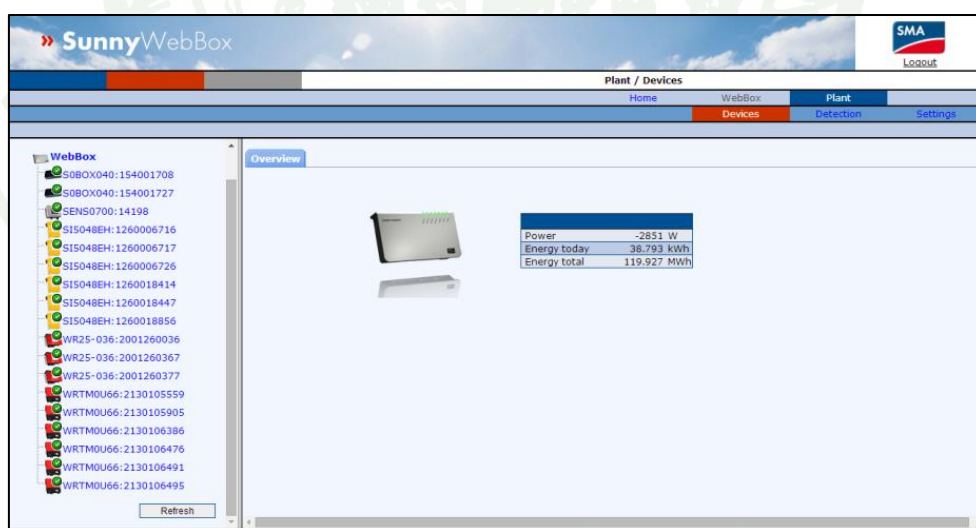
ภาพที่ 24 หน้าหลักสำหรับล็อกอินเพื่อตั้งค่า Data Logger

2) ล็อกอินเข้า Data Logger เพื่อสแกนหาอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ใน Data Bus ดังแสดงในภาพที่ 25 ซึ่งอุปกรณ์จะถูกรับรู้ โดย Data Logger และเก็บรายละเอียดของอุปกรณ์ไว้ สำหรับการเก็บข้อมูลในครั้งต่อไปจะอ้างอิงค่าของพารามิเตอร์ มายังส่วนที่เก็บไว้ก่อนหน้านี้



ภาพที่ 25 การสแกนหาอุปกรณ์ที่ต่อเข้า Data Bus

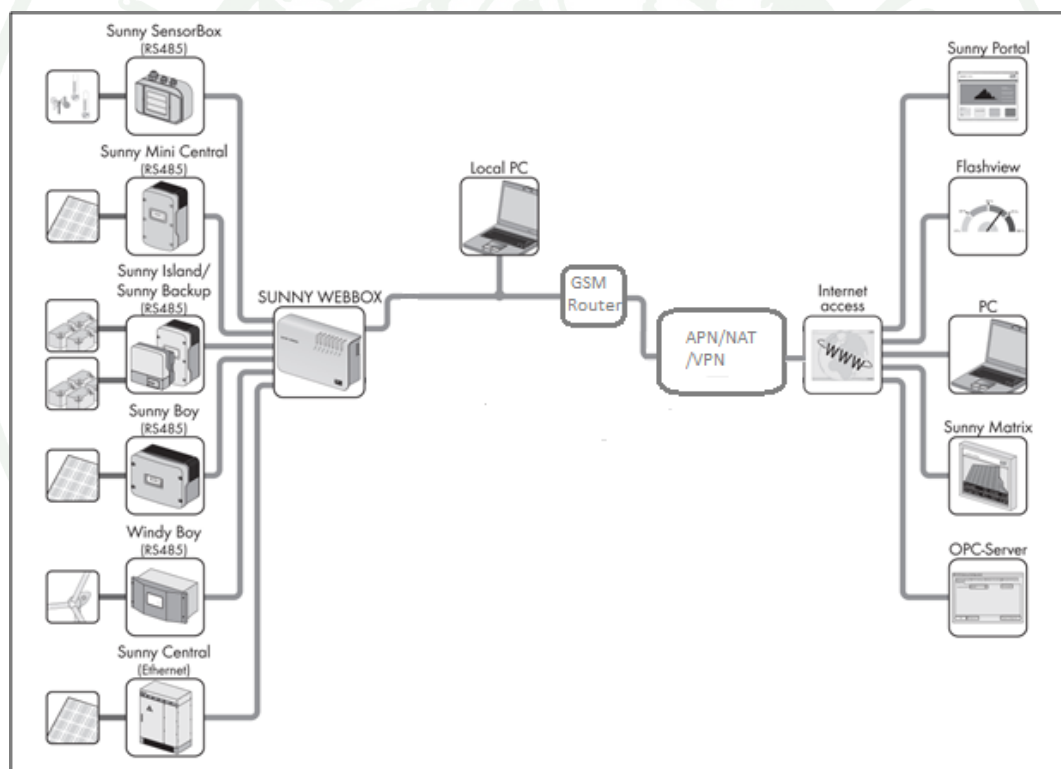
3) เมื่ออุปกรณ์ถูกรับรู้โดย Data Logger ครบทุกตัวแล้ว การดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถดูได้ ปรากฏในรูปแบบของ Webpage ดังภาพที่ 26 แสดงรายการอุปกรณ์ที่มีอยู่ในระบบ แบ่งออกเป็นหลายชนิด โดยแต่ละชนิดอุปกรณ์ จะมีพารามิเตอร์อยู่ภายในอีกจำนวนมาก ที่จะต้องทำการเลือกมาใช้ประโยชน์ ตามความต้องการของงานแต่ละประเภท



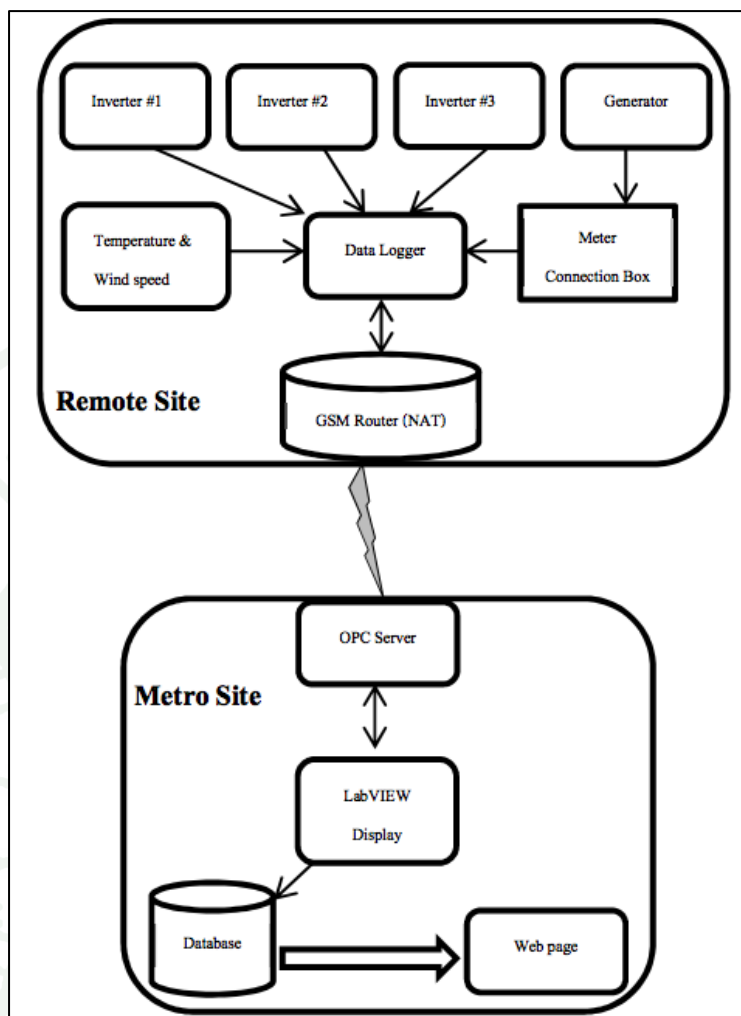
ภาพที่ 26 รายการอุปกรณ์ที่สามารถสแกนได้

2. การรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายระยะไกล

การพิจารณาเลือกใช้เครือข่าย คำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 2 โดยอุปกรณ์และรูปแบบการสื่อสารที่เลือกต้องมีเสถียรภาพเพียงพอ และมีราคาที่ไม่สูงจนเกินไป จากการศึกษา รูปแบบการสื่อสารในงานวิจัยนี้เลือกใช้ การสื่อสารผ่านโครงข่าย GSM ในรูปแบบเทคโนโลยี HSDPA (3G) เนื่องจากสัญญาณครอบคลุม และราคาไม่สูงมากนัก และสามารถเชื่อมต่อได้ตลอดเวลา สำหรับศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชนเลือกใช้งานผ่านระบบ DNS เนื่องจากอุปกรณ์ ติดตั้งอยู่ ภายใต้อุปกรณ์ในองค์กร จึงไม่มีค่าใช้จ่ายโดยตรงสำหรับการรับ-ส่งข้อมูล และยังสามารถใช้การเข้าถึงระบบผลิตไฟฟ้า ผ่าน VPN (เครือข่ายส่วนตัวเสมือน)



ภาพที่ 27 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวัดผ่านเครือข่ายภายนอก



ภาพที่ 28 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลระยะไกลจากอุทยานแห่งชาติภูกระดึง

อุปกรณ์ที่ติดต่อกันภายในระบบผลิตไฟฟ้า มีการรับส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูล ในที่นี้คือ Sunny Webbox ดังภาพที่ 27 ซึ่งทำงานโดย Inverter สื่อสารด้วยอินเทอร์เฟซแบบ RS-485 โปรโตคอล SMA-net สื่อสารกันภายใน โดยข้อมูลจะเก็บรวบรวมไว้ใน Data Logger แล้วส่งผ่านอินเทอร์เฟซ RJ-45 โปรโตคอล TCP/IP จากนั้นส่งผ่าน GSM Modem ดังภาพที่ 28 โดยหมายเลขไอพีผ่านการแปลงจาก Private IP Address ที่ได้ทำการคงค่า IP Address เดิม ด้วยการใช้ Private APN (Access Point Name) ผ่านพอร์ตที่ได้กำหนดไว้ในเราเตอร์ ให้เป็น Public IP Address หรืออาจใช้การเข้าสู่เครือข่ายส่วนตัวเสมือน (VPN: Virtual Private Network) เพื่อให้สามารถเข้าถึงได้จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ลักษณะการสื่อสารแต่ละวิธี มีความสามารถในการใช้งาน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของการสื่อสารแต่ละรูปแบบ

คุณสมบัติ	IPSTAR	ADSL	Dial-up	CDMA (2000 1x EV-DO)	HSPA
ชนิดการสื่อสาร	อินเทอร์เน็ต ความเร็วสูง ผ่านระบบ ดาวเทียม IPSTAR	อินเทอร์เน็ต ความเร็วสูงผ่าน สายโทรศัพท์	อินเทอร์เน็ต ความเร็วต่ำ ผ่าน สายโทรศัพท์	อินเทอร์เน็ต ความเร็วสูงผ่าน ระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA	อินเทอร์เน็ต ความเร็วสูงผ่าน ระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่ HSPA
อุปกรณ์เชื่อมต่อ	จานรับ สัญญาณ และ Satellite โมเด็ม ขนาด เล็กเพียง 84- 120 cm	สายโทรศัพท์และ ADSL โมเด็ม	สายโทรศัพท์ และ โมเด็ม	โทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ CDMA และ Router	โทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบ HSPA และ Router
ความเร็ว	สูงสุด 4Mbps (ไม่ขึ้นอยู่กับ ระยะทาง)	สูงสุด 8Mbps (ขึ้นอยู่กับ ระยะทาง)	สูงสุด 56kbps	สูงสุด 700kbps	7.2-14.4Mbps
การเชื่อมต่อ	- เชื่อมต่อ ตลอดเวลา	- เชื่อมต่อ ตลอดเวลา	- เชื่อมต่อเมื่อ ต้องการใช้ งาน (Dial-up)	- เชื่อมต่อ ตลอดเวลา	- เชื่อมต่อ ตลอดเวลา
ข้อดี	- ความเร็วไม่ ขึ้นอยู่กับ ระยะทาง - สามารถใช้ งานแบบ ความเร็วคงที่ ได้ (Fixed Link)	- ความเร็วสูง - เชื่อมต่อ ตลอดเวลา (Always On) - ไม่เสียค่า เชื่อมต่อ	- ค่าบริการคิด เป็นชั่วโมง - ไม่ต้องใช้ อุปกรณ์ เพิ่มเติมใน การเชื่อมต่อ	- อุปกรณ์สามารถ เคลื่อนย้ายได้ (Mobile Broadband)	- อุปกรณ์สามารถ เคลื่อนย้ายได้ (Mobile Broadband) - พื้นที่บริการ ครอบคลุมพื้นที่ ส่วนใหญ่ของ ประเทศ

ตารางที่ 2 (ต่อ)

คุณสมบัติ	IPSTAR	ADSL	Dial-up	CDMA (2000 1x EV-DO)	HSPA
ข้อเสีย	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าบริการรายเดือนค่อนข้างสูง - สัญญาณอาจมีการลดทอนในกรณีที่มีฝนตกหนัก - ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งงานรับสัญญาณ 	<ul style="list-style-type: none"> - พื้นที่ให้บริการจำกัด - ความเร็วขึ้นอยู่กับระยะทางไปยังชุมสายโทรศัพท์ - ไม่สามารถใช้งานแบบความเร็วคงที่ได้ (Fixed Link) - ใช้งานรับ-ส่งไฟล์ มัลติมีเดียได้ไม่ดีหากอยู่ห่างจากชุมสายโทรศัพท์มาก 	<ul style="list-style-type: none"> - ความเร็วต่ำ - ใช้งานโทรศัพท์พร้อมอินเทอร์เน็ตไม่ได้ - เสียค่าโทรศัพท์ทุกครั้งที่ต้องการเชื่อมต่อ 	<ul style="list-style-type: none"> - ความเร็วการเชื่อมต่อขึ้นกับความแรงของสัญญาณในพื้นที่ที่ใช้บริการ - ต้องซื้ออุปกรณ์ซึ่งมีราคาสูงเพื่อทำการเชื่อมต่อ - พื้นที่ให้บริการไม่ครอบคลุมทั้งประเทศ 	<ul style="list-style-type: none"> - ความเร็วการเชื่อมต่อขึ้นกับความแรงของสัญญาณในพื้นที่ที่ใช้บริการ - ต้องซื้ออุปกรณ์ซึ่งมีราคาสูงเพื่อทำการเชื่อมต่อ
ค่าบริการ	2600 บาท / เดือน	590 บาท / เดือน	15 บาท / ชั่วโมง	590 บาท / เดือน	650 บาท / เดือน
สถานที่ซึ่งสามารถใช้งานได้	PKD* , BKT**	BKT	PKD, BKT	PKD, BKT	PKD, BKT

*PKD: อุทยานแห่งชาติภูกระดึง

**BKT: ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน

ตารางที่ 3 การรับส่งข้อมูลโดยใช้งานเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยวิธีต่างๆ

วิธีการ	ความต้องการของระบบ	ความสามารถของระบบ	ข้อจำกัดของระบบ
Virtual Private Network (VPN)	<ul style="list-style-type: none"> - บริการVPN Server ที่ต่อเข้ากับ Public IP Address - Account สำหรับใช้งานเครือข่าย - อุปกรณ์รองรับการใช้งาน VPN 	<ul style="list-style-type: none"> - เข้าถึงบริการภายในได้ - Account ที่ลงทะเบียน - ข้อมูลมีความปลอดภัยสูง - ใช้กับ Private IP Address ได้ 	<ul style="list-style-type: none"> - ผู้อยู่นอกเครือข่ายไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้
Network Address Translation (NAT)	<ul style="list-style-type: none"> - Private IP Address (Fix) - Public IP Address (Fix) - Router สำหรับจัดเส้นทางข้อมูล 	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถแบ่งพอร์ต สำหรับการเข้าถึงอุปกรณ์ปลายทางหลายตัว - เข้าถึงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทั่วไปได้ - เข้าถึงอุปกรณ์ได้ตลอดเวลา 	<ul style="list-style-type: none"> - อาศัย IP Address (Fix)
Domain Name System (DNS)	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้ Server เพื่อบริหารจัดการเครื่อง Client - ระบบต้องมี Public Static IP Address 	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถกำหนด URL สำหรับการเข้าถึงอุปกรณ์ปลายทางหลายตัว - เข้าถึงผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทั่วไปได้ - เข้าถึงอุปกรณ์ได้ตลอดเวลา - อุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้ Domain สามารถเข้าใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย 	<ul style="list-style-type: none"> - การติดตั้งระบบเริ่มแรกมีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากใช้กับองค์กรใหญ่ - อุปกรณ์ต้องสามารถติดต่อ DNS ได้

ติดตามตรวจวัดข้อมูลผ่านอุปกรณ์เก็บข้อมูลผ่านเครือข่ายการสื่อสารสามารถได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ ดังตารางที่ 3 ในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็นข้อมูลจากภูกระดึง ใช้การเข้าถึงโดย NAT ผ่านเครือข่าย GSM และข้อมูลจากศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เข้าถึงด้วยการลงทะเบียนเข้าสู่ DNS จากนั้นจึงสามารถส่งค่าไปยัง ศูนย์กลางข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อไปยัง OPC Server ที่ตั้งอยู่ Metro Site

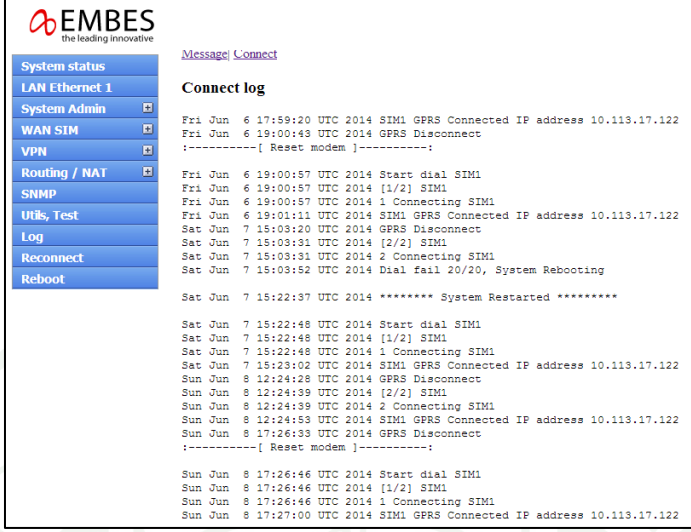
2.1 การใช้งาน GSM โมเด็ม สำหรับทำ Network Address Translation ณ อุทยานแห่งชาติ ภูกระดึง

เมื่อเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านเครือข่าย GSM หมายเลข IP ที่ได้รับเป็นแบบส่วนตัว ตามตารางที่ 4 จึงไม่สามารถระบุตัวตนกับเครือข่ายสาธารณะได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยการแปลงเลข เครือข่ายจาก Private IP Address ให้เป็น Public IP Address

ตารางที่ 4 หมายเลขไอพีสำหรับใช้ในเครือข่ายส่วนบุคคล

ประเภท	IP ต่ำสุด	IP สูงสุด
A	10.0.0.0	10.255.255.255
B	172.16.0.0	172.31.255.255
C	192.168.0.0	192.168.255.255

โดยปกติ IP Address ที่ได้รับจากผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต ผ่านโทรศัพท์มือถือ เป็นแบบส่วนตัว อุปกรณ์ที่ต่อเข้าใช้ในแต่ละครั้งอาจไม่ได้รับ IP Address หมายเลขเดิม ดังนั้นจึงต้องทำการลงทะเบียน SIM card ก่อนด้วยการติดต่อกับผู้ให้บริการเครือข่าย เพื่อขอบริการ APN (Access Point Name) ส่วนตัว สำหรับการกำหนด หมายเลข IP ให้เป็นเลขเดิมทุกครั้ง ดังภาพที่ 29 จากนั้นกำหนดค่าใน Router ที่ต่อเข้ากับ Public IP Address ให้ระบุเส้นทาง (Routing Table) มายัง IP Address ของ Data Logger ผ่านพอร์ตที่ได้กำหนดไว้



EMBES
the leading innovative

System status
LAN Ethernet 1
System Admin
WAN SIM
VPN
Routing / NAT
SNMP
Utils, Test
Log
Reconnect
Reboot

Message | Connect

Connect log

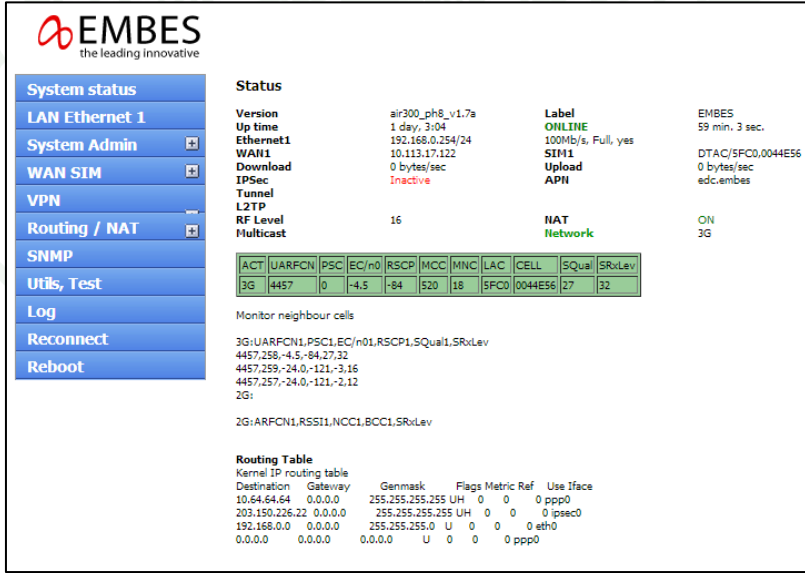
```
Fri Jun 6 17:59:20 UTC 2014 SIM1 GPRS Connected IP address 10.113.17.122
Fri Jun 6 19:00:43 UTC 2014 GPRS Disconnect
:-----[ Reset modem ]-----
Fri Jun 6 19:00:57 UTC 2014 Start dial SIM1
Fri Jun 6 19:00:57 UTC 2014 [1/2] SIM1
Fri Jun 6 19:00:57 UTC 2014 1 Connecting SIM1
Fri Jun 6 19:01:11 UTC 2014 SIM1 GPRS Connected IP address 10.113.17.122
Sat Jun 7 15:03:20 UTC 2014 GPRS Disconnect
Sat Jun 7 15:03:31 UTC 2014 [2/2] SIM1
Sat Jun 7 15:03:31 UTC 2014 2 Connecting SIM1
Sat Jun 7 15:03:52 UTC 2014 Dial fail 20/20, System Rebooting

Sat Jun 7 15:22:37 UTC 2014 ***** System Restarted *****

Sat Jun 7 15:22:48 UTC 2014 Start dial SIM1
Sat Jun 7 15:22:48 UTC 2014 [1/2] SIM1
Sat Jun 7 15:22:48 UTC 2014 1 Connecting SIM1
Sat Jun 7 15:23:02 UTC 2014 SIM1 GPRS Connected IP address 10.113.17.122
Sun Jun 8 12:24:28 UTC 2014 GPRS Disconnect
Sun Jun 8 12:24:39 UTC 2014 [2/2] SIM1
Sun Jun 8 12:24:39 UTC 2014 2 Connecting SIM1
Sun Jun 8 12:24:53 UTC 2014 SIM1 GPRS Connected IP address 10.113.17.122
Sun Jun 8 17:26:33 UTC 2014 GPRS Disconnect
:-----[ Reset modem ]-----
Sun Jun 8 17:26:46 UTC 2014 Start dial SIM1
Sun Jun 8 17:26:46 UTC 2014 [1/2] SIM1
Sun Jun 8 17:26:46 UTC 2014 1 Connecting SIM1
Sun Jun 8 17:27:00 UTC 2014 SIM1 GPRS Connected IP address 10.113.17.122
```

ภาพที่ 29 ข้อมูลการร้องขอหมายเลข IP โดยจะได้หมายเลขเดิม

จากหมายเลข IP ดังแสดงในภาพที่ 30 ในส่วนของ WAN1 คือหมายเลข IP สำหรับ
เครือข่ายส่วนบุคคล ตามตารางที่ 4 สำหรับ Routing Table มีการกำหนดเส้นทางไปยัง Public IP
Address เพื่อให้สามารถติดต่อกับเครือข่ายภายนอกได้ โดยไม่ต้องผ่านการใช้งาน VPN



EMBES
the leading innovative

System status
LAN Ethernet 1
System Admin
WAN SIM
VPN
Routing / NAT
SNMP
Utils, Test
Log
Reconnect
Reboot

Status

Version air300_ph8_v1.7a
Up time 1 day, 3:04
Ethernet1 192.168.0.254/24
WAN1 10.113.17.122
Download 0 bytes/sec
IPSec Inactive
Tunnel
L2TP
RF Level 16
Multicast
Label ONLINE
100Mb/s, Full, yes
SIM1
Upload 0 bytes/sec
API
DTAC/SFC0.004E56
edc.embes

NAT ON
Network 3G

ACT	UARFCN	PSC	EC/n0	RSCP	MCC	MNC	LAC	CELL	SQual	SRxLev
3G	4457	0	-4.5	-84	520	18	SFC0	004E56	27	32

Monitor neighbour cells

```
3G:UARFCN1,PSC1,EC1,n01,RSCP1,SQual1,SRxLev
4457,258,-4.5,-84,27,32
4457,259,-24.0,-121,-3,16
4457,257,-24.0,-121,-2,12
2G:
2G:ARFCN1,RSS11,NCC1,BCC1,SRxLev
```

Routing Table
Kernel IP routing table

Destination	Gateway	Genmask	Flags	Metric	Ref	Use	Iface
10.64.64.64	0.0.0.0	255.255.255.255	UH	0	0	0	ppp0
203.150.226.22	0.0.0.0	255.255.255.255	UH	0	0	0	ipsec0
192.168.0.0	0.0.0.0	255.255.255.0	U	0	0	0	eth0
0.0.0.0	0.0.0.0	0.0.0.0	U	0	0	0	ppp0

ภาพที่ 30 เส้นทางการแปลงหมายเลข IP

เมื่อ GSM โมเต็มสามารถเชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่ายสาธารณะเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการกำหนดค่า NAT สำหรับเครือข่ายภายใน เพื่อให้การเข้าถึงอุปกรณ์จากภายนอกสามารถเข้าถึงอุปกรณ์ได้ ผ่านพอร์ตที่กำหนดไว้ ดังภาพที่ 31 มีการกำหนดไว้ 4 เส้นทาง

- Router Management ผ่านพอร์ต 16001 หมายเลข IP ปลายทางคือ 192.168.0.254
- ช่องทางเข้าถึง Data Logger สำรอง ผ่านพอร์ต 16002 หมายเลข IP ปลายทางคือ 192.168.0.111
- ช่องทางเข้าถึง Data Logger หลัก ผ่านพอร์ต 16003 หมายเลข IP ปลายทางคือ 192.168.0.168
- สำรองไว้เพื่อ Remote Desktop ผ่านพอร์ต 16004 หมายเลข IP ปลายทางคือ 192.168.0.42

EMBES
the leading innovative

NAT Setup

Enable Network Address Translation (NAT)
Default Interface NAT

Forward port

Protocol: TCP
Source port: [] Destination port: [] Destination IP Address: [] [Add]

Protocol	Source port	Destination port	Destination IP Address	
TCP	16001	80	192.168.0.254	Delete
TCP	16002	80	192.168.0.111	Delete
TCP	16003	80	192.168.0.168	Delete
TCP	16004	3389	192.168.0.42	Delete

Iptables view

[Reload](#)

```
Chain PREROUTING (policy ACCEPT)
target    prot opt source                destination
DNAT      tcp  --  anywhere              anywhere            tcp dpt:16001 to:192.168.0.254:80
DNAT      tcp  --  anywhere              anywhere            tcp dpt:16002 to:192.168.0.111:80
DNAT      tcp  --  anywhere              anywhere            tcp dpt:16003 to:192.168.0.168:80
DNAT      tcp  --  anywhere              anywhere            tcp dpt:16004 to:192.168.0.42:3389

Chain POSTROUTING (policy ACCEPT)
target    prot opt source                destination
MASQUERADE all  --  anywhere              anywhere

Chain OUTPUT (policy ACCEPT)
target    prot opt source                destination
```

ภาพที่ 31 ตั้งค่าเส้นทาง Router เพื่อเข้าสู่อุปกรณ์ปลายทาง

2.2 การลงทะเบียนเข้าสู่ DNS สำหรับอุปกรณ์ ณ ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน

สามารถทำได้โดยการลงทะเบียนอุปกรณ์ Data Logger กับระบบ Domain Name Server (DNS) ซึ่งต้องอาศัยผู้ดูแลเครือข่าย เพื่อตั้งค่าอุปกรณ์ให้เครือข่ายรับรู้ ซึ่งจะทำให้เมื่ออุปกรณ์ Data Logger ตั้งอยู่ในเครือข่ายที่สามารถเข้าถึง DNS ได้โดยตรง ซึ่งเมื่อลงทะเบียนแล้วจะได้ URL (Uniform Resource Locator) ทำให้สามารถเข้าถึงได้เสมือนเว็บไซต์หนึ่ง ผ่านพอร์ต 80 การตั้งค่าใน Data Logger ดังภาพที่ 32 จากนั้นจึงสามารถเข้าถึงได้ด้วย URL ที่ได้ลงทะเบียนไว้คือ <http://cesi.ipc.kmutt.ac.th> ผ่านพอร์ต 80

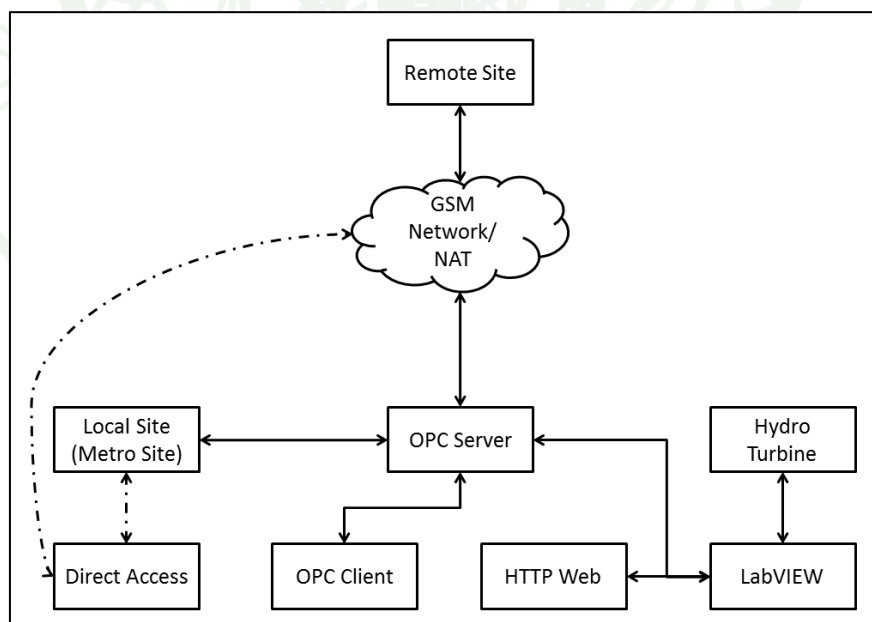
Network settings		
Obtain IP address	<input checked="" type="radio"/> Static	<input type="radio"/> Dynamic (DHCP)
IP address	<input type="text" value="10.128.30.168"/>	192.168.28.56
Subnet mask	<input type="text" value="255.255.252.0"/>	255.255.255.0
Gateway address	<input type="text" value="10.128.28.1"/>	192.168.28.1
DNS server address	<input type="text" value="202.28.6.34"/>	192.168.28.1
Public IP address	---	
Public virtual HTTP port	<input type="text" value="80"/>	
Webserver port	<input type="text" value="80"/>	
Webservice port	<input type="text" value="80"/>	
Use modbus	<input type="radio"/> yes	<input checked="" type="radio"/> no
Modbus port	<input type="text" value="502"/>	

ภาพที่ 32 การตั้งค่า Network เพื่อเข้าสู่ Domain Name System

ผลการทดลองและวิจารณ์

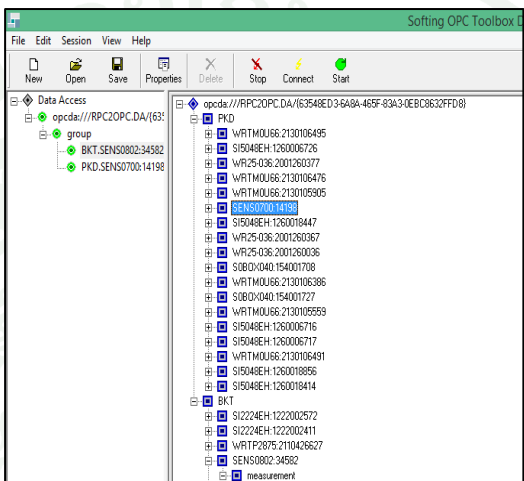
ผลการทดลอง

การรับส่งข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากอุทยานแห่งชาติภูกระดึง และศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชนจากการทดลองในโครงการนี้ สามารถรับส่งข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ โดยไม่ต้องรอการเข้าไปยังพื้นที่หรือมีการส่งหน่วยความจำข้อมูลกลับมายังศูนย์ปฏิบัติงาน อย่างเช่นที่ผ่านมา การสื่อสารสามารถเข้าถึงอุปกรณ์เก็บข้อมูลได้โดยตรง หรือผ่าน OPC Server และมีการเก็บข้อมูลไว้ยังศูนย์ปฏิบัติงาน ซึ่งมีความละเอียดของข้อมูล มากกว่าการเก็บข้อมูลด้วย Data Logger ปลายทาง เส้นทางการเข้าถึงข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 33 ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลของ Remote Site และ Local Site ได้สองแบบ คือผ่านทาง OPC Server หรือการเข้าถึงโดยตรงด้วย Web browser โดยระบบสื่อสารข้อมูลระยะไกลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ ด้วยการทำ Network Address Translation (NAT) สำหรับอุทยานแห่งชาติภูกระดึง และระบบสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต โดยใช้ระบบโดเมนเนม “Domain Name System (DNS)” สำหรับศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน



ภาพที่ 33 เส้นทางการรับส่งข้อมูล

การรับส่งข้อมูลจาก Remote Site ส่งมาทางอินเทอร์เน็ตด้วย การทำ NAT มายัง Metro Site ผ่าน OPC (Object Linking and Embedding (OLE) for Process Control) ข้อมูลส่งมาเป็น Tags ที่เป็นชุดข้อมูล ดังภาพที่ 34 โดยส่งมาด้วยโปรโตคอล TCP ดังภาพที่ 35 เพื่อนำค่าที่ได้มาประมวลผล และแสดงผล ผ่าน โปรแกรม LabVIEW และเก็บไว้ยังฐานข้อมูล เพื่อให้ง่ายสำหรับแสดงผลผ่านเว็บไซต์ สำหรับเผยแพร่สู่สาธารณะ



ภาพที่ 34 ข้อมูลที่ส่งมาจาก Remote Site เข้าสู่ OPC Server

No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	192.168.43.217	203.150.226.21	TCP	51087 > 16001 [SYN] Seq=0 Len=0 MSS=1460 WS=8
2	0.250929	192.168.43.217	203.150.226.21	TCP	51088 > 16001 [SYN] Seq=0 Len=0 MSS=1460 WS=8
3	0.473378	203.150.226.21	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]
4	0.473690	192.168.43.217	203.150.226.21	TCP	50954 > 16003 [ACK] Seq=0 Ack=1024 win=1024 Len=0
5	0.483174	202.28.6.62	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]
6	0.483290	192.168.43.217	202.28.6.62	TCP	49532 > http [ACK] Seq=0 Ack=1400 win=1024 Len=0
7	0.493056	202.28.6.62	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]
8	0.493182	192.168.43.217	202.28.6.62	TCP	49532 > http [ACK] Seq=0 Ack=800 win=1024 Len=0
9	0.503175	202.28.6.62	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]
10	0.503287	192.168.43.217	202.28.6.62	TCP	49532 > http [ACK] Seq=0 Ack=4200 win=1024 Len=0
11	0.512740	202.28.6.62	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]
12	0.512856	192.168.43.217	202.28.6.62	TCP	49532 > http [ACK] Seq=0 Ack=5600 win=1024 Len=0
13	0.523863	202.28.6.62	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]
14	0.523941	192.168.43.217	202.28.6.62	TCP	49532 > http [ACK] Seq=0 Ack=6640 win=1019 Len=0
15	0.532141	202.28.6.62	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]
16	0.532247	192.168.43.217	202.28.6.62	TCP	49532 > http [ACK] Seq=0 Ack=8040 win=1024 Len=0
17	0.542572	202.28.6.62	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a reassembled PDU]
18	0.542667	192.168.43.217	202.28.6.62	TCP	49532 > http [ACK] Seq=0 Ack=9440 win=1024 Len=0

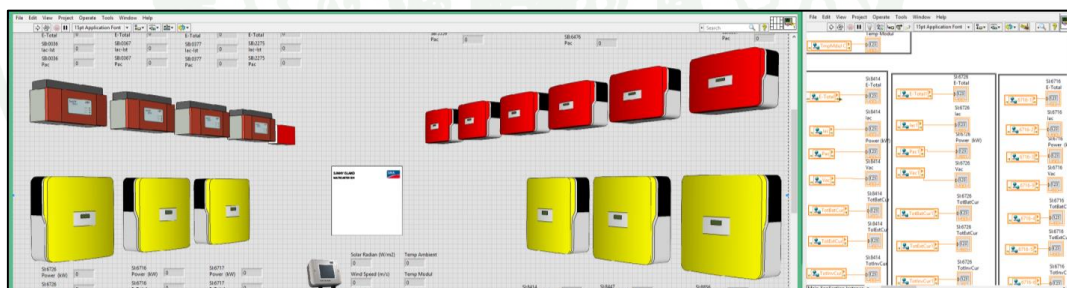
Frame 278 (247 bytes on wire, 247 bytes captured)					
Ethernet II, Src: b8:8d:12:42:4f:36 (b8:8d:12:42:4f:36), Dst: 4c:3c:16:52:c7:1c (4c:3c:16:52:c7:1c)					
Internet Protocol, Src: 192.168.43.217 (192.168.43.217), Dst: 203.150.226.21 (203.150.226.21)					
Transmission Control Protocol, Src Port: 50954 (50954), Dst Port: 16003 (16003), Seq: 756, Ack: 32227, Len: 193					

0000	4c 3c 16 52 c7 1c b8 8d 12 42 4f 36 08 00 45 00	L<.R.... .B06..E.
0010	00 e9 71 ad 40 00 80 06 ee 33 c0 a8 2b d9 cb 96	..q.8... 3.+... .
0020	e2 15 c7 0a 3e 83 95 aa 1e 82 34 1d 05 d7 50 184...P
0030	03 fa a3 b8 00 00 50 4f 53 54 20 2f 72 70 63 20PO ST /rpc
0040	48 54 54 50 2f 31 2e 31 0d 0a 43 6f 6e 74 65 6e	HTTP/1.1 ..Conten
0050	74 2d 54 79 70 63 a2 50 61 70 70 6c 69 63 61 74	t-type: applicat
0060	069 6f 6e 2f 78 2d 77 77 77 2d 66 6f 72 6d 2d 75	ion/x-ww w-Form-u
0070	72 6c 65 6e 63 6f 64 65 64 0d 0a 55 73 65 72 2d	rIencode d..User-
0080	41 67 65 6e 74 3e 20 52 50 43 20 43 6c 69 65 6e	Agent: R PC client
0090	74 0d 0a 48 6f 73 74 3a 20 32 30 33 2e 31 35 30	t..Host: 203.150
00a0	2e 32 32 36 2e 32 31 3a 31 36 30 30 33 0d 0a 43	.226.21: 16003..c
00b0	6f 6e 74 65 6e 74 2d 4c 65 6e 67 74 68 3a 20 35	otent=L length: 5
00c0	36 38 0d 0a 43 6f 6e 6e 65 63 74 69 6f 6e 3a 20	68..connection:
00d0	4b 65 65 70 2d 41 6c 69 76 65 0d 0a 43 61 63 68	Keep-All ve..cach
00e0	65 2d 43 6f 6e 74 72 6f 6c 3a 20 6e 6f 2d 63 61	e-Control I: no-ca

ภาพที่ 35 การส่งข้อมูลเข้าสู่ OPC Server ด้วยโปรโตคอล TCP

หลังจากอุปกรณ์สามารถต่อเข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้แล้ว การจัดการข้อมูลเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ ต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของโปรแกรมดังต่อไปนี้

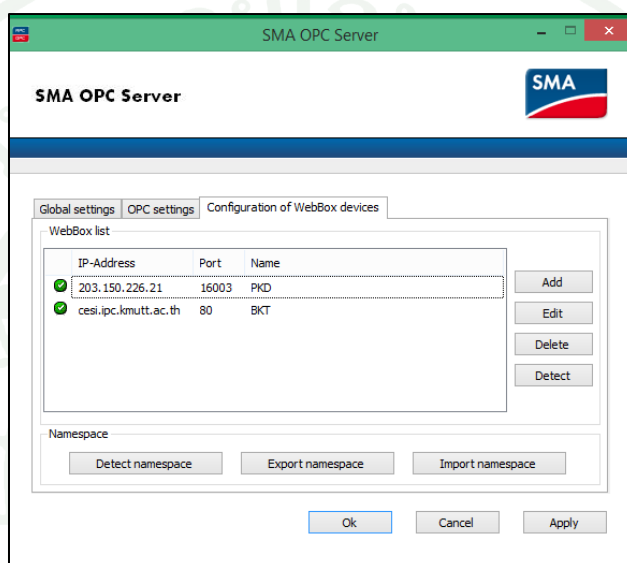
1) โปรแกรม LabVIEW ใช้สำหรับการแสดงผลค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้า และเป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ที่มีการทำงานอยู่นอกเหนือการส่งค่าผ่าน OPC ภายในโปรแกรมประกอบด้วยเครื่องมือหลายประเภท สำหรับงานทางด้านตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) สำหรับการแสดงผล โดยประยุกต์ใช้ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูล การเขียนโปรแกรมใน LabVIEW เป็นแบบภาษากราฟิก (Graphical Language) โดยแบ่งส่วนควบคุมเป็น 2 ส่วนคือ Front Panel และ Block Diagram ดังภาพที่ 36 เป็นการเชื่อมต่อ LabVIEW เพื่อทำระบบแสดงผลระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน สามารถเลือกใช้ฟังก์ชัน ที่มีลักษณะเป็น Icon มาวางแล้วลากเส้นเชื่อมโยงการทำงาน เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วจะได้ไฟล์ที่พร้อมใช้งาน มีนามสกุลไฟล์เป็น .vi (Virtual Instrument) และยังสามารถนำไปใช้กับเครื่องอื่น ที่ไม่ได้ติดตั้งโปรแกรม LabVIEW ได้ โดยการสร้างไฟล์ .exe (Execution file) ถือเป็นข้อดีอีกอย่างของการพัฒนาโปรแกรมด้วย LabVIEW



ภาพที่ 36 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ในการทำโปรแกรมแสดงผลการทำงานของอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

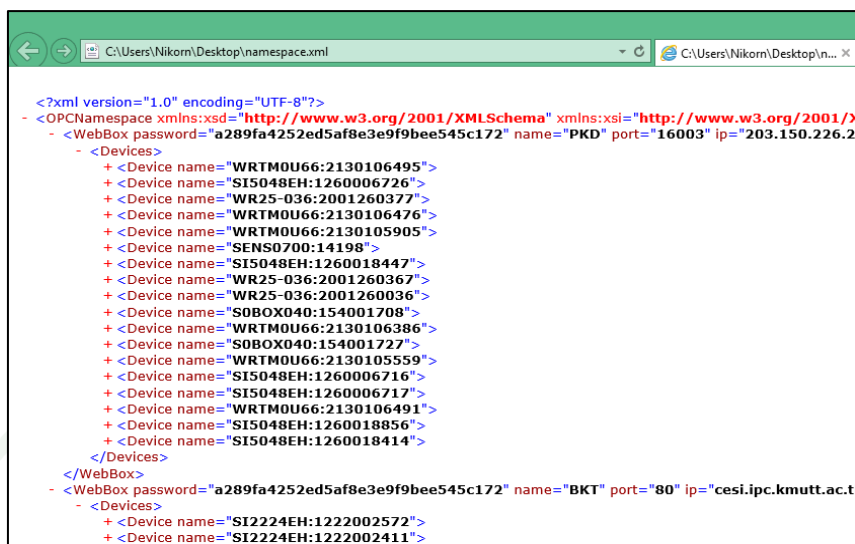
2) โปรแกรม SMA OPC Server ใช้สำหรับรับค่าจากอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าของบริษัท SMA มีความสามารถในการรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยเป็นชุดข้อมูลส่งมายัง OPC Server ด้วยโปรโตคอล TCP ดังภาพที่ 37 การประยุกต์ใช้การสื่อสารสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้ศึกษา แบ่งออก 2 ระบบคือ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง โดยใช้การสื่อสารผ่านเครือข่าย GSM และ ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ใช้การลงทะเบียนเข้าสู่โดเมนของ มหาวิทยาลัย ตามที่

กล่าวในหัวข้อการรับส่งข้อมูลจากเครือข่ายระยะไกล เมื่อโปรแกรมเริ่มทำการเชื่อมต่อ ระบบจะสร้าง name space เพื่อรับข้อมูลรายละเอียดอุปกรณ์และข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ โดยแสดงรายการของตัวแปรที่มีอยู่ในระบบ ออกมาในรูปแบบไฟล์ xml (Extensible Markup Language) จึงสามารถแสดงตัวแปรที่อยู่ภายใต้ รายการอุปกรณ์ได้ทันที และเป็นส่วนสำคัญในการใช้งานใน OPC Client เพื่อประยุกต์ใช้ในระบบแสดงผล และวิเคราะห์ข้อมูล



ภาพที่ 37 โปรแกรม SMA OPC Server

การติดต่อข้อมูลผ่าน OPC มีความรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูลมากกว่า การเข้าถึงโดยตรงผ่าน webpage เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่รับส่ง มีเฉพาะส่วนข้อมูลภายใน ไม่มีการแสดงผลประกอบสำหรับอธิบายอุปกรณ์ ดังนั้น เมื่อติดต่อผ่าน OPC Server จึงต้องมี OPC Client เพื่อช่วยให้การแสดงผลมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อเป็น OPC Client โดยเริ่มจากการเพิ่มการอ้างอิง OPC Server เข้าไปในโปรแกรม LabVIEW ตามภาพที่ 38 ข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ถูกนำเข้าไปยังโปรแกรม ดังภาพที่ 39 เพื่อสร้างตัวแปรสำหรับการตรวจวัดข้อมูล

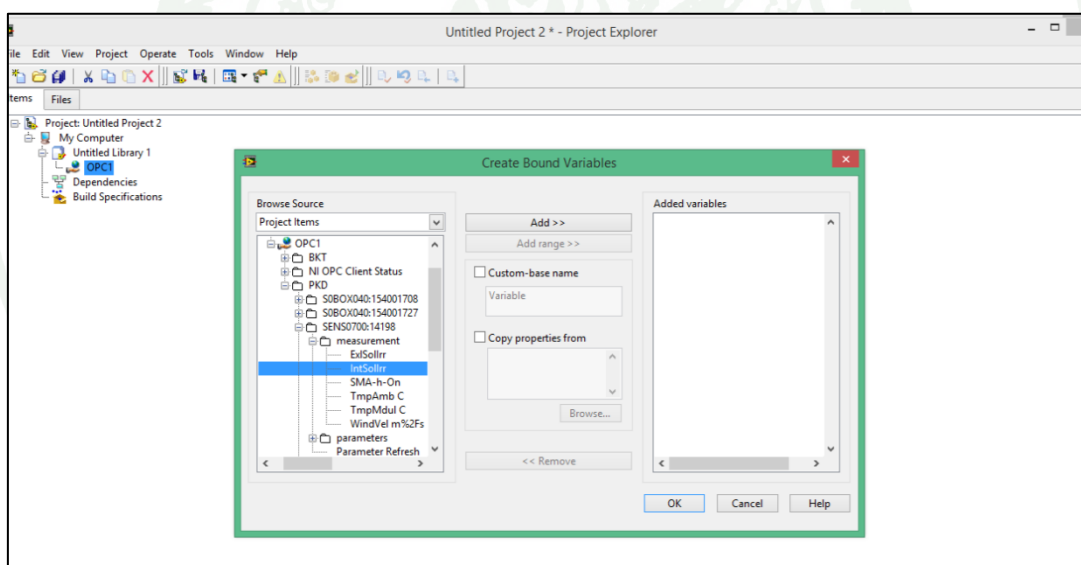


```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <OPCNamespace xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
- <WebBox password="a289fa4252ed5af8e3e9f9bee545c172" name="PKD" port="16003" ip="203.150.226.2"
- </Devices>
+ <Device name="WRTM0U66:2130106495">
+ <Device name="SI5048EH:1260006726">
+ <Device name="WR25-036:2001260377">
+ <Device name="WRTM0U66:2130106476">
+ <Device name="WRTM0U66:2130105905">
+ <Device name="SENS0700:14198">
+ <Device name="SI5048EH:1260018447">
+ <Device name="WR25-036:2001260367">
+ <Device name="WR25-036:2001260036">
+ <Device name="SOBOX040:154001708">
+ <Device name="WRTM0U66:2130106386">
+ <Device name="SOBOX040:154001727">
+ <Device name="WRTM0U66:2130105559">
+ <Device name="SI5048EH:1260006716">
+ <Device name="SI5048EH:1260006717">
+ <Device name="WRTM0U66:2130106491">
+ <Device name="SI5048EH:1260018856">
+ <Device name="SI5048EH:1260018414">
</Devices>
</WebBox>
- <WebBox password="a289fa4252ed5af8e3e9f9bee545c172" name="BKT" port="80" ip="cesi.ipc.kmutt.ac.th"
- </Devices>
+ <Device name="SI2224EH:1222002572">
+ <Device name="SI2224EH:1222002411">

```

ภาพที่ 38 รายการอุปกรณ์ที่ได้จากการเชื่อมต่อผ่าน OPC Server

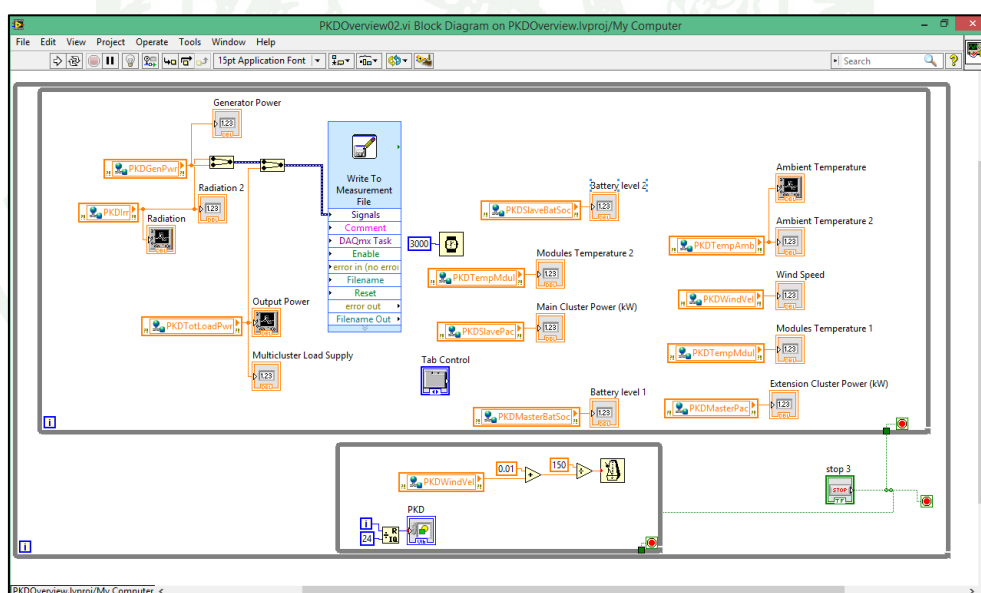


ภาพที่ 39 การเพิ่ม OPC Server ในโปรแกรม LabVIEW

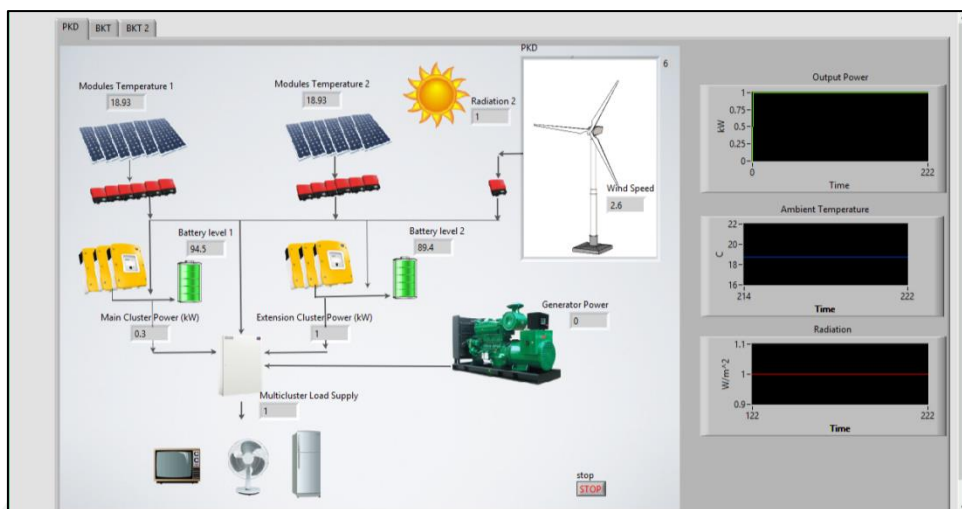
เมื่อโปรแกรม LabVIEW สามารถอ้างอิงค่าพารามิเตอร์ จากอุปกรณ์เก็บข้อมูลได้แล้ว จากนั้นต้องมีการเขียนโปรแกรมให้กับระบบแสดงผล และเก็บข้อมูล ซึ่งมีระยะเวลาในการทำงานไม่เท่ากัน เนื่องจากการแสดงผลต้องการให้ข้อมูลเปลี่ยนแปลงให้มากที่สุด แต่ในส่วนของ การเก็บข้อมูลต้องการให้มีการเก็บเป็นช่วงเวลายาวนานกว่า เพื่อลดการเก็บข้อมูลที่ซ้ำกัน เพราะโดย

ปกติ Data Logger มีการเก็บค่าทุก 5 นาที แต่สำหรับการเก็บข้อมูลปลายทางสามารถเก็บข้อมูลได้ทุกๆ 1 วินาที ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของผู้ใช้ข้อมูล

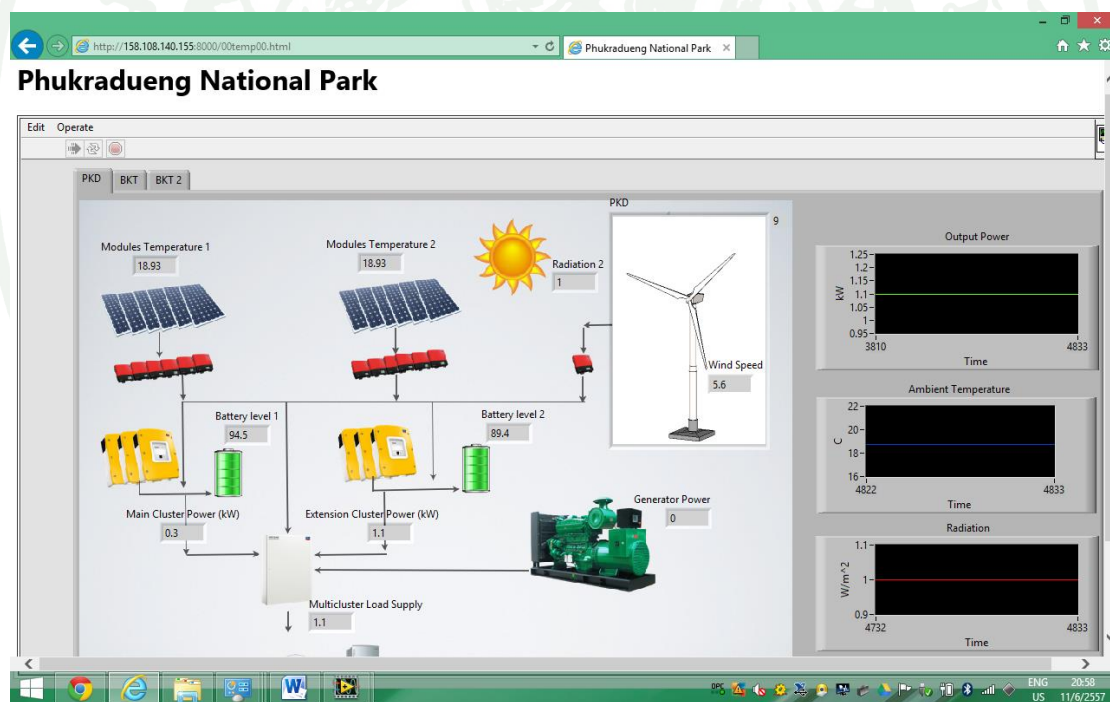
จากการทำระบบแสดงผล เพื่อให้เกิดความน่าสนใจ จึงต้องมีการแสดงวัตถุที่สามารถเคลื่อนไหวได้ ตามตัวแปรของค่าที่ได้รับ ซึ่งในโปรแกรม LabVIEW สามารถสร้างวัตถุเคลื่อนไหวโดยอาศัยการเปลี่ยนภาพทีละเฟรม โดยใช้ข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงเป็นตัวกำหนดความเร็วของการเลื่อนเฟรม การเขียนโปรแกรมใน LabVIEW คล้ายกับการเขียนโปรแกรมทั่วไป แต่มีความสะดวกกว่าในเรื่องของการใช้งานฟังก์ชัน และการวนรอบที่สามารถทำได้โดยใช้ Block diagram เพื่อให้ได้การทำงานของโปรแกรมเป็นไปตามลำดับขั้นตอน จากภาพที่ 40 แสดง Block diagram เพื่อแสดงผลพร้อม วัตถุเคลื่อนไหว ซึ่งแต่ละการทำงานแยก Loop ประมวลผล เพราะการใช้งานช่วงเวลาที่ต่างกัน จากนั้นจึงได้หน้าตาแสดงผลดังภาพที่ 41 และสามารถสร้างไฟล์สำหรับดูผ่านเว็บไซต์ได้ ดังภาพที่ 42 จึงเป็นการเพิ่มความสะดวกให้กับบุคคลทั่วไป ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรม



ภาพที่ 40 บล็อกไดอะแกรมสำหรับระบบแสดงผลและเก็บข้อมูล



ภาพที่ 41 แสดงผลระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานผ่านโปรแกรม LabVIEW



ภาพที่ 42 การแสดงผลระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานผ่านเว็บไซต์

นอกจากนี้ยังสามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่ได้ ในการวัดประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าการติดตามการทำงานของอินเวอเตอร์ ในสภาวะต่างๆหรือการประมวลผลข้อมูลจาก

โรงไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานของโหลด หรือการทำงานของเจนเนอเรเตอร์ และการประยุกต์ใช้งานกับชุดทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า

ผลที่ได้เป็นไปตามที่กำหนดเส้นทางใน Routing Table คือ พอร์ต 16003 สำหรับอุปกรณ์ Data Logger ที่อุทยานแห่งชาติภูกระดึง และพอร์ต 80 ที่ศูนย์การเรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน ข้อมูลที่ได้มีการรับส่งด้วยโปรโตคอล TCP ในรูปแบบของแพคเกจ ซึ่งแบ่งการส่งมาเป็นเฟรม ดังแสดงในภาพที่ 43

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	192.168.43.217	203.150.226.21	TCP	51087 > 16001 [SYN]
2	0.250929	192.168.43.217	203.150.226.21	TCP	51088 > 16001 [SYN]
3	0.473578	203.150.226.21	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a
4	0.473690	192.168.43.217	203.150.226.21	TCP	50954 > 16003 [ACK]
5	0.483174	202.28.6.62	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a
6	0.483290	192.168.43.217	202.28.6.62	TCP	49532 > http [ACK]
7	0.493056	202.28.6.62	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a
8	0.493182	192.168.43.217	202.28.6.62	TCP	49532 > http [ACK]
9	0.503175	202.28.6.62	192.168.43.217	TCP	[TCP segment of a

Offset	Length	Protocol	Info
0	20	Transmission Control Protocol	Src Port: 16003 (16003), Dst Port: 50954 (50954), Seq: 0, Destination port: 50954 (50954)
0000	60	Raw	...806L< .R....E. 0010 04 28 63 8a 40 00 2f 06 4a 18 cb 9e e2 15 c0 a8 .(c.@./ J..... 0020 2b d9 38 53 05 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 ..+..... 0030 01 7f b7 25 00 00 48 54 54 50 2f 31 2e 31 20 32 ..HT TP/1.1 2 0040 30 30 20 4f 4b 0d 0a 53 65 72 76 65 72 3a 20 53 00 Ok..5 erver: 5 0050 75 6e 6e 79 20 57 65 62 42 6f 78 0d 0a 43 61 63 unny Web Box: cac 0060 68 65 2d 43 6f 6e 74 72 6f 6c 3a 20 6e 6f 2d 73 he-Contr ol: no-s 0070 74 6f 72 65 2c 20 6e 6f 2d 63 61 63 68 65 2c 20 tore, no -cache, 0080 6d 61 78 2d 61 67 65 3d 30 0d 0a 44 61 74 65 3a max-age: 0.,Date: 0090 20 54 68 73 2c 20 30 35 20 4a 73 6e 20 32 30 31 Thu, 05 Jun 201 00a0 34 20 30 35 3a 34 38 3a 34 36 20 47 4d 54 0d 0a 4 05:48: 46 GMT.. 00b0 50 72 61 67 6d 61 3a 20 6e 6f 2d 63 61 63 68 65 Pragma: no-cache 00c0 0d 0a 43 6f 6e 65 63 4 69 6f 6e 3a 20 6b 65 .-Conne ction: ke 00d0 65 70 2d 61 6c 69 76 65 0d 0a 4b 65 65 70 2d 41 ep-alive ..Keep-A 00e0 6c 69 76 65 3a 20 33 30 30 0d 0a 43 6f 6e 74 65 live: 30 0..Conte 00f0 6e 74 2d 34 79 70 65 3a 20 74 65 75 74 2f 68 74 nt-Type: text/ht 0100 6d 6c 0d 0a 43 6f 6e 74 65 6e 74 2d 4c 65 6e 67 ml..Cont ent-Leng 0110 74 68 3a 20 31 39 38 38 31 0d 0a 0d 0a 7b 22 66 th: 1988 1...{F 0120 6f 72 6d 61 74 22 3a 22 4a 53 4f 4e 22 2c 22 72 ormat: " JSON", r 0130 65 73 75 6c 74 22 3a 7b 22 64 65 76 69 63 65 73 esult": { "devices 0140 22 3a 5b 7b 22 6b 65 79 22 3a 22 5f 52 54 4d 30 + [{"key": "WRTMO 0150 55 36 3a 32 31 33 30 31 30 36 34 39 35 22 2c u6:2130 10649", 0160 22 63 68 61 6e 6e 65 6c 73 22 3a 5b 7b 22 75 6e "channel 5": {"un 0170 69 74 22 3a 22 41 22 2c 22 6d 65 74 61 22 3a 22 it": "A", "meta": 0180 41 2d 4d 73 2d 41 6d 70 22 2c 6e 61 6d 65 70 A.Ms.Amp 70 "name 0190 3a 22 41 2e 4d 73 2e 41 6d 70 22 2c 22 76 61 6c ": "A.Ms.A mp", "val 01a0 75 65 22 3a 22 31 2e 38 32 37 22 7d 2c 7b 22 75 ue": "1.8 27"}, {"u 01b0 6e 69 74 22 3a 22 56 22 2c 22 6d 65 74 61 22 3a nit": "v", "meta": 01c0 22 41 2e 4d 73 2e 56 6f 6c 22 2c 22 6e 61 6d 65 "A.Ms.No i": "name

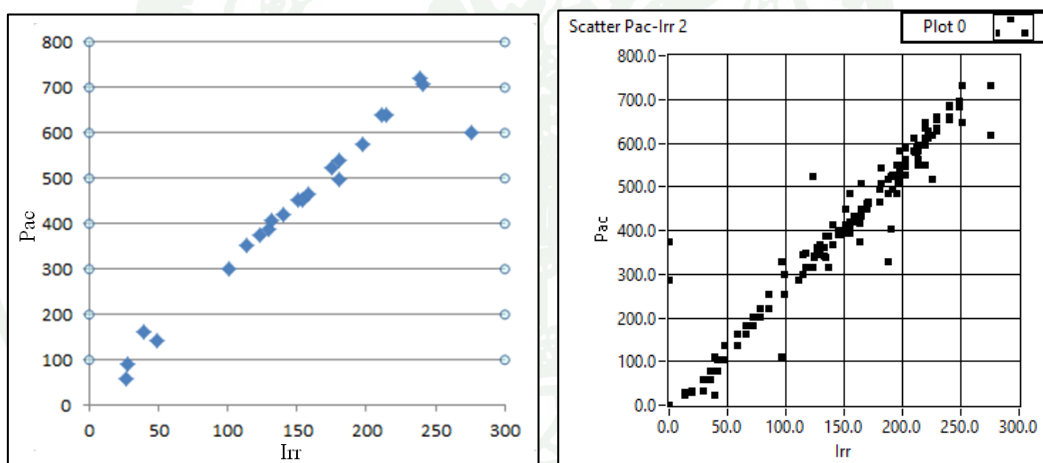
ภาพที่ 43 แพคเกจที่ได้จากการรับส่งข้อมูลจากการประยุกต์ใช้เครือข่ายระยะไกล

จากการทดสอบการสื่อสารเมื่อเข้า Login เข้าสู่ Data Logger ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง ผ่านทาง Web browser จะมีค่าความเร็วในการอัปโหลดอยู่ที่ประมาณ 8,500 ไบต์ต่อวินาที และเมื่อทำการดาวน์โหลดข้อมูลจากเครือข่ายภายนอก ทำให้ค่าความเร็วในการอัปโหลดอยู่ที่ประมาณ 15,000 ไบต์ต่อวินาที เมื่อเทียบกับการส่งข้อมูลผ่าน OPC Server จะใช้แบนด์วิธน้อยกว่า ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลที่ต้องโอนถ่ายระหว่างกันรวดเร็วยิ่งขึ้น ขนาดของข้อมูลโดยเฉลี่ย ดังแสดงในตารางที่ 5 เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการรับข้อมูล พารามิเตอร์ของระบบผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบการส่งข้อมูลผ่าน Web browser กับ OPC Server

สถานที่	ขนาดข้อมูลโดยเฉลี่ย	
	Web browser	OPC Server
อุทยานแห่งชาติภูกระดึง	300 kB	120 kB
ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน	250 kB	100 kB

จากข้อมูลในตารางมีการทดสอบการโอนถ่ายข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Etheral เพื่อจับการรับส่งข้อมูลในการรับค่าพารามิเตอร์ ช่วงเวลา 14.00 น. จำนวน 15 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย



(ก)

(ข)

ภาพที่ 44 เปรียบเทียบการเก็บข้อมูล (ก) กราฟที่ได้จาก Data Logger ที่มีการเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที (ข) กราฟจากระบบเก็บข้อมูลที่สร้างขึ้นจาก LabVIEW เก็บข้อมูลทุกๆ 10 วินาที

ผลจากการเก็บข้อมูลความเข้มแสงเทียบกับกำลังไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ ผลจากการเก็บข้อมูลที่ทำการเก็บด้วยอุปกรณ์บันทึกภายในตัวที่มีการกำหนดระยะเวลาบันทึกทุกๆ 15 นาที ในภาพที่ 44 (ก) และการเก็บข้อมูล ที่ได้จากระบบแสดงผลและเก็บข้อมูล ที่สร้างขึ้นจากการทดลองประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW 10 วินาที ในภาพที่ 44 (ข) จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้มีความ

ละเอียดต่างกัน ภาพที่ 44 (ก) ข้อมูลบางชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้งจึงไม่แสดงค่าที่ระบบที่มีการเปลี่ยนไปก่อนจะมีการบันทึก สามารถเห็นได้จากข้อมูลในช่วงความเข้มแสง 50 – 100 W/m² มีความหนาแน่นของข้อมูลไม่มาก เนื่องจากเกิดข้อมูลในค่าช่วงนี้เป็นระยะเวลาสั้นๆ จึงไม่สามารถบันทึกลงใน Data Logger ได้ สำหรับข้อมูลที่มีการบันทึกด้วยอัตราการ Sampling ที่บ่อยครั้ง มีประโยชน์ต่อการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ สามารถชี้ให้เห็นถึงความเป็นปกติ หรือผิดปกติของอุปกรณ์นั้นๆ ได้ เช่น อุปกรณ์ผลิตกำลังไฟฟ้าไม่เป็นไปตามลักษณะที่แจ้งไว้ตามคู่มือจากผู้ผลิต ทำให้ได้กำลังการผลิตไม่เต็มประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ส่งมาสามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามมาตรฐานอย่างเช่น IEC 61724 ดังภาคผนวก เพื่อหาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ โดยสามารถดึงข้อมูลที่เก็บไว้มาใช้ในการคำนวณได้ สามารถเลือกใช้ได้

วิจารณ์

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้เครือข่ายการสื่อสาร และการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล ในการใช้งานจริงสามารถช่วยให้การวิเคราะห์ และรวบรวมข้อมูลสามารถทำได้รวดเร็ว และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง มีการประยุกต์ใช้โปรแกรมสำหรับแสดงผล ข้อมูลที่ได้รับมีลักษณะเป็นชุดข้อมูลที่มีการส่งมาเป็นแพคเกจ สามารถเลือกเฉพาะค่าที่ต้องการเพื่อนำเข้าสู่ฐานข้อมูล ผู้ใช้ข้อมูลสามารถตั้งโปรแกรมการทำงาน เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ ได้ตามต้องการ ทั้งนี้ยังสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ปลายทาง เพื่อทดลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า แต่สิ่งที่ควรคำนึงถึงคือ หากมีข้อผิดพลาดจะต้องมีผู้เชี่ยวชาญที่สามารถแก้ไขปัญหาได้

ประโยชน์ของการส่งข้อมูลในแบบออนไลน์ ทำให้สามารถเก็บข้อมูลปลายทางซึ่งมีหน่วยความจำที่มากกว่า ภายในตัวของอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกล และข้อมูลที่ได้ยังมีความละเอียดของช่วงเวลาที่สามารถเก็บได้มากกว่า ภายในตัวอุปกรณ์ที่สามารถกำหนดการสุ่มตรวจวัดค่า (Sampling) เพื่อเก็บข้อมูล เริ่มที่ 5 นาที แต่ข้อมูลปลายทางสามารถสุ่มตรวจวัดค่าได้ที่ 1 นาที

การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดที่สร้างขึ้นเองสามารถนำเข้าสู่ระบบแสดงผลได้ โดยผ่านพอร์ตเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ อย่างเช่น พอร์ต USB พอร์ต RS232 และสามารถใช่ Single Board computer อย่างเช่น Raspberry Pi หรือ Arduino เพื่อใช้งาน พอร์ตอินพุต-เอาต์พุต แล้วส่งค่าการตรวจวัดผ่าน เครือข่ายอินเทอร์เน็ต หรือผ่าน พอร์ต USB

การแสดงผลสามารถทำให้น่าสนใจโดยการสร้างวัตถุเคลื่อนไหว ที่มีความเร็วในการเคลื่อนไหวสอดคล้องกับอุปกรณ์จริง ทั้งนี้ยังสามารถตั้งระดับการแจ้งเตือนการทำงานของอุปกรณ์ อย่างเช่น แจ้งเตือนระดับพลังงานในแบตเตอรี่ แจ้งเตือนเมื่อมีการใช้กำลังไฟฟ้าเกินกำหนด รวมถึงกำหนดลำดับความสำคัญของโหลด แบ่งประเภทการจ่ายไฟฟ้า โดยอาศัยข้อมูลจากการผลิตไฟฟ้าในอดีต เพื่อวิเคราะห์ความต้องการพลังงานไฟฟ้า ในอนาคต ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงระบบผลิตไฟฟ้า ทั้งสำหรับสถานที่เดิม และสถานที่ใกล้เคียง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยที่ศึกษาได้ทำการประยุกต์ใช้ระบบรับ-ส่งข้อมูล โดยเลือกใช้การสื่อสารผ่านเครือข่ายที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ ซึ่งใช้การสื่อสารผ่านเครือข่าย GSM โดยใช้เทคโนโลยี HSPA ผ่านการแปลงหมายเลขไอพีแบบส่วนตัวให้เป็น หมายเลขไอพีแบบสาธารณะ สำหรับการสื่อสาร ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง ข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีตัวแปรชนิดตัวอักษรมีขนาดข้อมูล 120 กิโลไบต์ สามารถแสดงผลมายังศูนย์กลางข้อมูล ในทุกๆ 10 วินาที โดยมีการส่งค่าผ่าน OPC Sever แล้วนำค่าเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW เพื่อแสดงผล

สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ณ ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน ได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เก็บข้อมูลเข้าสู่เครือข่ายภายใน มหาวิทยาลัยฯ และทำการลงทะเบียนอุปกรณ์เข้าไปยังระบบโดเมนเนม (DNS) เพื่อให้สามารถเข้าถึงอุปกรณ์เก็บข้อมูลได้จากเครือข่ายภายนอก และยังสามารถเข้าถึงได้ด้วยการใช้เครือข่ายส่วนตัวเสมือน (VPN) สำหรับการรับส่งข้อมูลเพื่อแสดงผลได้เช่นกัน

ระบบผลิตไฟฟ้าทั้งสองแห่งสามารถเข้าถึงได้จากเครือข่ายภายนอกได้ทุกที่ เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจวัดระบบผลิตไฟฟ้า มีการระบุหมายเลขเครือข่ายที่เป็นสาธารณะ ดังนั้นระบบแสดงผลจึงสามารถรับส่งข้อมูลได้หากเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์ไม่จำเป็นต้องได้รับหมายเลขไอพีแบบสาธารณะ

การแสดงผลข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานในพื้นที่ห่างไกลมายังศูนย์กลาง ใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ Excel เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ผู้วิเคราะห์ข้อมูลสามารถนำไปใช้ได้ทันที การแสดงสถานะของระบบ สำหรับบุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ผ่าน Web browser ซึ่งมีความยืดหยุ่นสำหรับการใช้งาน โดยผู้ใช้ไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมเพิ่มเติม

วิธีการสื่อสารที่เลือกนั้นคำนึงถึงความเป็นไปได้ ประโยชน์ที่ได้รับ การบำรุงรักษา และค่าใช้จ่าย ดังนั้น การรับ-ส่งข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ณ อุทยานแห่งชาติภูกระดึง

จึงเลือกใช้การสื่อสารผ่านเครือข่าย GSM ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเริ่มต้น 15,900 บาท สำหรับ GSM โมเด็ม และมีค่าใช้จ่ายรายเดือนเพื่อการรับส่งสัญญาณ 600 บาทต่อเดือน

สำหรับการสื่อสาร ณ ศูนย์เรียนรู้ไฟฟ้าชุมชนที่ตั้งอยู่ภายในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน สามารถนำอุปกรณ์ใช้งานได้กับ Domain Name Server โดยไม่มีค่าใช้จ่าย

ในอดีตข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เก็บข้อมูล มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 1,098 ค่า จะถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำของอุปกรณ์เก็บข้อมูล ซึ่งตั้งอยู่ที่พื้นที่ห่างไกล แต่สำหรับระบบแสดงผลและเก็บข้อมูลที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถเลือกเก็บข้อมูลที่ตรงกับความต้องการของผู้วิเคราะห์ข้อมูล ช่วยให้ผู้ใช้วิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงผู้ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน สามารถนำข้อมูลไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง อีกทั้งผู้ดูแลระบบยังสามารถตรวจสอบสถานะของระบบผลิตไฟฟ้าได้อีกด้วย ในขณะที่ก่อนหน้านี้ ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน จากอุทยานแห่งชาติภูกระดึงถูกส่งมาทางไปรษณีย์ ใช้เวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมงในการขนส่ง และมีหลายครั้งข้อมูลที่ส่งมาไม่ครบถ้วน ขาดหายเป็นระยะเวลายาวนาน เนื่องจากสายสัญญาณที่ต่อเข้าอุปกรณ์เก็บข้อมูลเกิดชำรุดโดยที่ไม่สามารถทราบได้ เนื่องจากความผิดพลาดลักษณะนี้ไม่มีผลทำให้ไฟฟ้าดับ เจ้าหน้าที่อุทยานจึงไม่ทราบว่ามีการชำรุดในการเก็บข้อมูล ปัญหานี้แก้ไขได้ด้วยการใช้ระบบติดตามตรวจวัดข้อมูลแบบออนไลน์ เพราะเมื่อการสื่อสารของอุปกรณ์ขาดหาย ทางศูนย์กลางสามารถแจ้งให้เจ้าหน้าที่อุทยานช่วยตรวจสอบเบื้องต้นได้ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายการเดินทาง และที่สำคัญที่สุดคือการลดเวลาการดำเนินงานอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

การทำงานบนโปรโตคอล TCP นั้นมีข้อดีคือ ข้อมูลที่ได้รับปลายทางส่งมาได้อย่างถูกต้อง เพราะมีการตรวจสอบระหว่างการรับ-ส่งเสมอ แต่มีข้อเสียคือ เมื่อมีการส่งข้อมูลผิดพลาดก็ต้องเริ่มส่งข้อมูลใหม่ เนื่องจากการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ อาจมีบางช่วงเวลาที่ผู้ใช้หนาแน่น ในบางครั้งจึงประสบปัญหาเรื่องการแสดงผลข้อมูลที่ไม่เปลี่ยนไปตามเวลาจริง เนื่องจากหากข้อมูลใหม่ที่เข้ามามีข้อผิดพลาด สามารถแก้ไข โดยการหน่วงเวลาการแสดงผล ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเก็บข้อมูลที่จะไม่ซ้ำซ้อนกันมากเกินไป การแก้ไขสามารถทำได้หลายวิธี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย สามารถทำได้โดยการปิดช่องทางการเชื่อมต่อเข้าสู่เครือข่ายภายนอกที่ไม่จำเป็น เพื่อให้แบนด์วิธว่างสำหรับการใช้งานสำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานเท่านั้น แต่การจำกัดแบบนี้ไม่สามารถทำได้เต็มประสิทธิภาพ หากมีผู้ใช้งานเซลล์ไซต์ร่วมกันจำนวนมาก เนื่องจากข้อมูลบางประเภทมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก การปรับช่วงเวลาสำหรับการสุ่มตรวจวัด (Sampling) และบันทึกข้อมูลให้ยาวนานขึ้นจะช่วยลดปริมาณข้อมูลที่ซ้ำกัน ตัวอย่างเช่น ข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย จึงจะสามารถพิจารณาหาช่วงเวลาสุ่มตรวจที่เหมาะสม

การใช้งานโปรแกรม LabVIEW สามารถพัฒนาได้ง่าย เพราะมีความสามารถทางด้านการติดต่อฐานข้อมูลเกือบทุกชนิด เช่น SQL, MySQL, MS Access, MS Excel เป็นต้น และยังสามารถเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์ผ่านเครือข่าย การเข้าถึงด้วยสมาร์ตโฟน การใช้งานผ่านเว็บไซต์ และการสร้างแอปพลิเคชัน สำหรับใช้งานกับเครื่องอื่นที่ไม่ได้ติดตั้งโปรแกรม LabVIEW ทำให้เกิดความสะดวกเร็วในการเผยแพร่ข้อมูล อีกทั้งยังมีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน สามารถนำมาใช้ในการคำนวณได้โดยง่าย ทำให้สามารถใช้สำหรับควบคุมการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า และควบคุมการจ่ายไฟให้กับโหลด โดยประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้หลายประเภท เช่น Micro Controller, Single Board Computer, Digital and Analog I/O และยังสามารถสร้างวงจรตรวจวัดขึ้นเองเพื่อใช้งานอีกด้วย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จตุชัย แพงจันทร์, อนุโชต วุฒิพรพงษ์. 2551. เจาะระบบ Network 2nd. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ IDC, กรุงเทพฯ.

กฤษดากร อินทรวงษ์. 2548. การพัฒนาระบบรับส่งข้อมูลระยะไกลแบบไร้สายของระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสานบนเกาะจิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อริสา ปานแจ่ม. 2551. การประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลสแตกชั้นที่ 2 ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาด. ม.ป.ป. รายงานการปฏิบัติงานโครงการปรับปรุงระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานด้วยพลังงานสะอาด อุทยานแห่งชาติภูกระดึง (อุทยานแห่งชาติภูกระดึง: ต้นแบบอุทยานแห่งชาติพลังงานทดแทนเพื่อการท่องเที่ยวที่ยั่งยืน). สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

กนต์ธร ชำนิประศาสน์. 2545. การวัดเชิงกลด้วย LabVIEW. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ม.ป.ป.

ดวงเดือน เทพจินดาธร. 2547. บนเส้นทางเทคโนโลยีไร้สาย GPRS และ G3. ไอที ซอฟต์ 11(142): 139-141.

พงษ์ศักดิ์ สุสัมพันธ์ไพบูลย์. 2543. เรื่องนำรู้เทคโนโลยีโทรคมนาคม. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

พิชัย ชัยพูน และ ดุสิต นิยะโต. 2546. เจาะลึกระบบโทรศัพท์ผ่านไอพี. พีซี แม็กกาซีน 4(58): 146-155.

ไฟโรจน์ ไววานิชกิจ. 2545. **เปิดโลกมือถือ GSM สู่ UMTS**. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

International Electrotechnical Commission. 1998. **Photovoltaic system performance**

Monitoring - Guidelines for Measurement, data exchange and Analysis. IEC.61724-1998.

Stefan K, Thomas D. 2003. Monitoring of Remote PV- System via Satellite, pp. 2202-2205. *In Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*. 11-18 May 2003, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Osaka, Japan.

Li Wang, Kuo-Hua Liu. 2007. Implementation of a Web-Based Real-Time Monitoring and Control System for a Hybrid Wind-PV-Battery Renewable Energy System, pp. 182-187. *In Proceedings of the 14th Intelligent Systems Applications to Power Systems (ISAP) International Conference*. 5-8 November 2007, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Niigata, Japan.

Hu Yujie, Zhang Xihuang. 2011. Research and Application of PV Monitoring System Based on ZigBee and GPRS, pp. 338-342. *In Proceedings of the 10th 10th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science (DCABES)*. 14-17 October 2011, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Wuxi, Jiangsu, China.

Chiandone M, Cleva S, Pavan A.M. and Sulligoi G. 2009. Monitoring applications of electrical and climate data for PV systems using Linux RTAI, pp. 264-267. *In Proceedings of the 2nd International Conference on Clean Electrical Power*. 9-11 June 2009, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Capri, Italy.

Andreoni Lopez M.E., Galdeano Mantinan F.J., Molina M.G. 2012. Implementation of wireless remote monitoring and control of solar photovoltaic (PV) system, pp. 1-6. *In Proceedings of the 6th Transmission and Distribution Latin America Conference and Exposition*. 3-5 September 2012, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Montevideo, Uruguay.

Gonzalez S, Stein J, Fresquez A, Ropp M, Schutz D. 2013. **Performance of utility interconnected photovoltaic inverters operating beyond typical modes of operation**, pp. 2879-2884. *In Proceedings of the 29th Photovoltaic Specialists Conference*. 16-21 June 2013, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Florida, USA.

National Instruments. 2008. **Database Connectivity Toolkit User Manual**. National Instruments. Texas, USA

Achim W, Mauricio R, David M, Nils R, Mike G, Stefan M and Hans B. 2014. **Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems Good Practices for Monitoring and Performance Analysis**. 3E, Belgium, EURAC research, Italy, Fraunhofer ISE, Germany, M.G.Lightning Electrical Engineering, Israel, GL Garrad Hassan, Spain, University of Agder, Norway

Regis, J. 2002. **GPRS General Packet Radio Service**. Professional. McGraw-Hill, United States of America.

RF Wireless world. 2011. **UMTS Network Architecture**. Available Source: <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/UMTS-Network-Architecture.html>, January 14,2014.

European Telecommunications Standards Institute (ETSI). 2000. **Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) Numbering Addressing and Identification.**
Version 7.13.0 Release 1998, France.





หลักการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ ตามมาตรฐาน IEC 61724

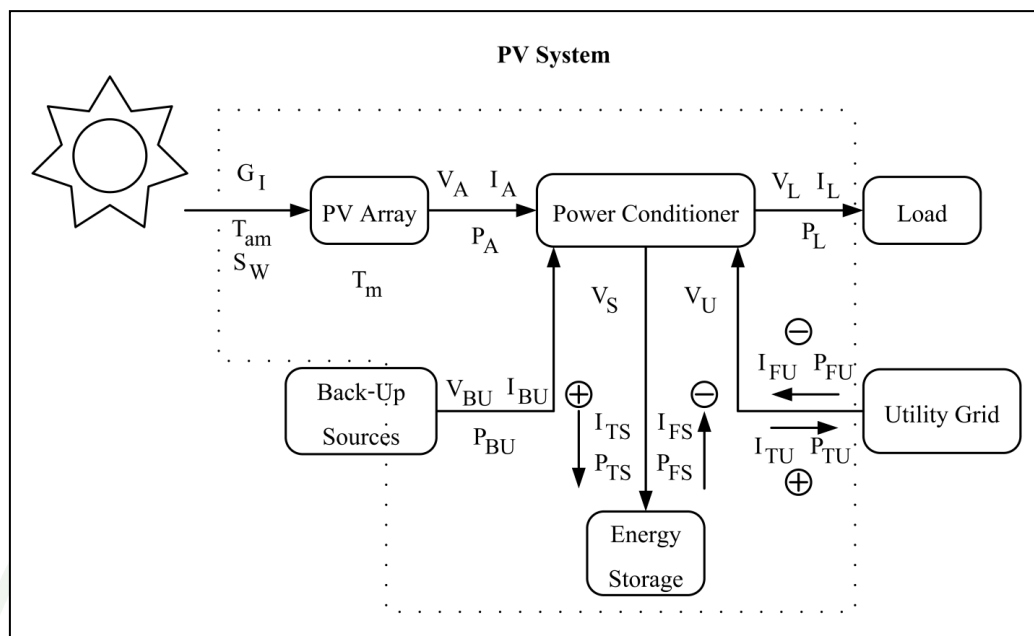
International Electrotechnical Commission (IEC) 61724 Standard เป็นมาตรฐานที่อธิบายถึงวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ โดยจะให้ความสำคัญกับการหาสมรรถนะโดยรวมของระบบโซลาร์เซลล์ มากกว่าการแยกหาสมรรถนะขององค์ประกอบแต่ละส่วน ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักของการวิเคราะห์สมรรถนะก็คือ การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่สนใจ กับระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์อื่นๆ ที่มีรายงานการติดตั้งและทดสอบ เพื่อพิจารณาว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ดังกล่าวมีสมรรถนะอยู่ในระดับใด

1. ขอบเขต

เนื้อหาส่วนใหญ่ของมาตรฐานนี้จึงเป็นการเสนอแนะวิธีการในการตรวจวัด ตัวแปรที่แสดงถึงลักษณะเฉพาะของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ในด้านพลังงาน เช่น ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ แนวราบ, กำลังไฟฟ้าที่ออกจากระบบโซลาร์เซลล์, พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุระบบแบตเตอรี่, พลังงานไฟฟ้าที่เข้าและออกจากระบบ ฯลฯ เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะโดยรวมของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่ได้รับการติดตั้งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบอิสระ (Stand-Alone) และระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง (Utility Grid-Connected) โดยหัวข้อที่สำคัญสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ตัวแปรที่จะต้องทำการตรวจวัดจากระบบ, วิธีการตรวจวัดตัวแปรจากระบบ และ ตัวแปรที่ได้จากการคำนวณ

2. ตัวแปรที่จะต้องทำการตรวจวัดจากระบบ

สิ่งสำคัญอันดับแรกสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ก็คือ การกำหนดตัวแปรต่างๆที่จะต้องทำการตรวจวัดเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ ซึ่งในมาตรฐาน IEC 61724 ได้กำหนดตัวแปรที่จะต้องทำการตรวจวัดจากระบบขึ้นมา 6 กลุ่มหลัก ประกอบด้วย ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology), ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแผงโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic array), ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบเก็บสะสมพลังงาน (Energy storage), ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับภาระทางไฟฟ้า (Load), ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (Utility Grid) และ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตพลังงานสำรอง (Back-up sources) ดังแสดงในภาพผนวกที่ 1 และตารางผนวกที่ 1



ภาพผนวกที่ 1 ตัวแปรที่จะต้องทำการตรวจวัดจากระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์

ตารางผนวกที่ 1 ตัวแปรที่จะต้องทำการตรวจวัดจากระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์

ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย
ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา(Meteorology)		
รังสีอาทิตย์(Total irradiance, in the plane of array)	G_I	W/m^2
อุณหภูมิแวดล้อม(Ambient air temperature in a radiation shield)	T_{am}	$^{\circ}C$
ความเร็วลม(Wind speed)	S_w	$m.s^{-1}$
ตัวแปรที่เกี่ยวกับแผงโซลาร์เซลล์ (Photovoltaic array)		
แรงดันไฟฟ้าด้านออก(Output voltage)	V_A	V
กระแสไฟฟ้าด้านออก(Output current)	I_A	A
กำลังไฟฟ้าด้านออก(Output power)	P_A	kW
อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์(Module temperature)	T_m	$^{\circ}C$
ขนาดของมุมในแนวตั้ง(Tracker tilt angle)	ϕ_T	Degrees
ขนาดของมุมในแนวราบ(Tracker azimuth angle)	ϕ_A	Degrees

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบเก็บสะสมพลังงาน (Energy storage)		
แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน(Operating voltage)	V_S	V
กระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่แบตเตอรี่(Current to storage)	I_{TS}	A
กระแสไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่(Current from storage)	I_{FS}	A
กำลังไฟฟ้าที่เข้าสู่แบตเตอรี่(Power to storage)	P_{TS}	kW
กำลังไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่(Power from storage)	P_{FS}	kW
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับภาระทางไฟฟ้า (Load)		
แรงดันไฟฟ้าของภาระทางไฟฟ้า (Load voltage)	V_L	V
กระแสไฟฟ้าของภาระทางไฟฟ้า (Load current)	I_L	A
กำลังไฟฟ้าของภาระทางไฟฟ้า(Load power)	P_L	kW
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (Utility Grid)		
แรงดันไฟฟ้าของสายส่ง(Utility Voltage)	V_U	V
กระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่สายส่ง(Current to utility grid)	I_{TU}	A
กระแสไฟฟ้าที่ออกจากสายส่ง(Current from utility grid)	I_{FU}	A
กำลังไฟฟ้าที่เข้าสู่สายส่ง(Power to utility grid)	P_{TU}	kW
กำลังไฟฟ้าที่ออกจากสายส่ง(Power from utility grid)	P_{FU}	kW
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตพลังงานสำรอง (Back-up sources)		
แรงดันไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานสำรอง (Output voltage)	V_{BU}	V
กระแสไฟฟ้าด้านออก(Output current)	I_{BU}	A
กำลังไฟฟ้าด้านออก(Output power)	P_{BU}	kW

2.1 วิธีการตรวจวัดตัวแปรจากระบบ

การตรวจวัดรังสีอาทิตย์: G_t (W/m^2) การตรวจวัดรังสีอาทิตย์ในระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ เป็นการตรวจวัดรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบกับระนาบแผงโซลาร์เซลล์ในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดรังสีอาทิตย์

อาจใช้ Reference cell / module หรือ Pyranometers ติดตั้งบนระนาบเดียวกับแผงโซลาร์เซลล์ จากนั้นจึงทำการปรับค่าความแม่นยำในการวัดให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% จากค่าจริง ก่อนการใช้งาน ทั้งนี้ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดดังกล่าวสามารถที่จะติดตั้งในตำแหน่งใดก็ได้บนระนาบเดียวกับแผงโซลาร์เซลล์ ขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างรองรับแผงโซลาร์เซลล์ รวมทั้งความสะดวกในการติดตั้งของแต่ละโครงการ

การตรวจวัดอุณหภูมิแวดล้อม : T_{am} ($^{\circ}\text{C}$) การตรวจวัดอุณหภูมิแวดล้อม ทำได้โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิตั้งบนโครงสร้างแผงโซลาร์เซลล์ ในตำแหน่งที่สามารถแสดงค่าอุณหภูมิแวดล้อมได้ใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุด ตามวิธีการที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิสำหรับการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์โดยเฉพาะ ซึ่งค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่อ่านได้จะต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 K จากค่าอุณหภูมิจริง V_L

การตรวจวัดความเร็วลม : S_w (m.s^{-1}) การตรวจวัดความเร็วลมจะต้องทำการตรวจวัดที่ระดับความสูง 18 เมตร ในตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับแผงโซลาร์เซลล์ โดยค่าที่อ่านได้จะต้องมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5% ของค่าจริง สำหรับความเร็วลมที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 m.s^{-1} และมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10 % ของค่าจริง สำหรับความเร็วลมที่มากกว่า 5 m.s^{-1}

การตรวจวัดอุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ : T_m ($^{\circ}\text{C}$) การวัดอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ ทำได้โดยนำอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิที่ได้รับการปรับเทียบค่าความแม่นยำเป็นที่เรียบร้อยแล้ว นำมาติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางด้านหลังของแผงโซลาร์เซลล์ให้แนบสนิทมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่อ่านได้ควรมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 K จากอุณหภูมิจริง

การตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า: V (V) , I (A) ในการตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าทั้ง ไฟฟ้ากระแสสลับ(AC) และ ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ค่าที่อ่านได้จะต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1% ของค่าจริง

การตรวจวัดกำลังไฟฟ้า: P (kW) การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าทั้งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง(DC power) และกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC power) มีวิธีการตรวจวัดดังนี้ กำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC power) สามารถหาค่าได้ 2 วิธีทั้งการตรวจวัดโดยตรงโดยใช้อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (DC power sensor) หรือ การคำนวณจากการนำค่ากระแสและค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่วัดได้ มาคูณ

กันแบบเวลาจริง ซึ่งในการคำนวณกำลังไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวิธีนี้บางครั้งก็จำเป็นที่จะต้องใช้ DC wattmeter เพื่อใช้ในการปรับค่าความแม่นยำในการตรวจวัดเนื่องจากในการตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยปกติจะมีค่าความพลีวจากสัญญาณกระแสสลับ(AC ripple) ส่วนการตรวจวัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC power) โดยมากจะใช้อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC power sensor) ที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะ เนื่องจากสามารถทนต่อฮาร์มอนิกส์ของสัญญาณกระแสสลับได้เป็นอย่างดีนอกจากนั้นยังมีการออกแบบให้คิดค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor) ในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับอีกด้วยโดยค่าที่อ่านได้จากการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับทั้ง 2 วิธีนี้จะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2% จากค่าจริง

2.2 การกำหนดช่วงเวลาในการสุ่มตรวจข้อมูล

การกำหนดช่วงเวลาในการสุ่มตรวจข้อมูลสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ ได้แก่ การสุ่มตรวจข้อมูลที่มีค่าเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเร็ว เช่น รั้งสีอาทิตย์ จะต้องทำการสุ่มตรวจข้อมูลในทุกๆ 1 นาที หรือน้อยกว่านั้น ส่วนข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้า เช่น อุณหภูมิแวดล้อม การสุ่มตรวจข้อมูลแต่ละครั้ง อาจกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 นาทีได้ ทั้งนี้การสุ่มตรวจข้อมูลทั้งหมดจะต้องกระทำอย่างต่อเนื่อง ภายในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อจะได้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลดังกล่าวอย่างชัดเจน

3. ตัวแปรที่ได้จากการคำนวณ

ตัวแปรที่ได้จากการคำนวณ เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหลักสมดุลพลังงานและสมรรถนะของระบบซึ่งเกิดจากการนำตัวแปรที่ได้จากการตรวจวัดจริงในขั้นต้นมาทำการคำนวณตามวิธีการทางคณิตศาสตร์เช่น การหาผลรวม, การหาค่าเฉลี่ย, การหาค่ามากที่สุด, การหาค่าน้อยสุด และ การหาอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อเวลา เป็นต้น โดยสามารถแบ่งตัวแปรที่ได้จากการคำนวณออกเป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่ ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา(Meteorology), ตัวแปรที่เกี่ยวกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบ (Electrical energy quantities), ตัวแปรที่เกี่ยวกับสมรรถนะของอุปกรณ์ในระบบ (BOS component performance) และ ตัวแปรที่บ่งชี้สมรรถนะของระบบ (System performance indices) ดังแสดงในตารางผนวกที่ 2 โดยในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าในระบบจะอ้างอิงจากสมการที่ 1 เป็นหลัก

$$E_{i,\tau} = \tau_r \times \sum \tau P_i \quad (1)$$

กำหนดให้

$E_{i,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้า (kWh)

P_i = กำลังไฟฟ้า (kW)

$\Sigma \tau$ = ผลรวมทั้งหมดตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

τ_r = ระยะเวลาในการสุ่มตรวจข้อมูล (Hours)

τ = ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล (Hours)

ตารางผนวกที่ 2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหลักสมดุลพลังงานและสมรรถนะของระบบ

ตัวแปร	สัญลักษณ์	หน่วย
ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา(Meteorology)		
พลังงานแสงอาทิตย์รายวัน(Daily global or direct irradiation, in the plane of the array)	$H_{L,d}$	$\text{kWh.m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$
ตัวแปรที่เกี่ยวกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบ (Electrical energy quantities)		
พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบ โซลาร์เซลล์(Net energy from array)	$E_{A,\tau}$	kWh
พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า(Net energy to load)	$E_{L,\tau}$	kWh
พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบจ่ายให้กับระบบแบตเตอรี่(Net energy to storage)	$E_{TSN,\tau}$	kWh
พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบแบตเตอรี่(Net energy from storage)	$E_{FSN,\tau}$	kWh
พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบผลิตไฟฟ้าสำรอง(Net energy from back-up)	$E_{BU,\tau}$	kWh
พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (Net energy to utility grid)	$E_{TUN,\tau}$	kWh

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ได้รับจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า(Net energy from utility grid)	$E_{\text{FUN},\tau}$	kWh
พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบได้รับ(Total system input energy)	$E_{\text{in},\tau}$	kWh
พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบจ่ายออก(Total system output energy)	$E_{\text{use},\tau}$	kWh
สัดส่วนการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ (Fraction of total system input energy contributed by PV array)	$F_{\text{A},\tau}$	Dimension less
ประสิทธิภาพของภาระทางไฟฟ้า(Load efficiency)	η_{LOAD}	Dimension less
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องสมรรถนะของอุปกรณ์ในระบบ (BOS component performance)		
ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบ(BOS efficiency)	η_{BOS}	Dimension less
ตัวแปรที่บ่งชี้สมรรถนะของระบบ (System performance indices)		
ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ (Array yield)	Y_{A}	h.d^{-1}
ความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์(Final PV system yield)	Y_{f}	h.d^{-1}
ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอ้างอิง(Reference yield)	Y_{r}	h.d^{-1}
การสูญเสียในระบบโซลาร์เซลล์(Array capture losses)	L_{C}	h.d^{-1}
การสูญเสียของอุปกรณ์ในระบบ(BOS losses)	L_{BOS}	h.d^{-1}
สัดส่วนของสมรรถนะ(Performance ratio)	RP	Dimension less
ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของระบบโซลาร์เซลล์(Mean array efficiency)	$\eta_{\text{Amean},\tau}$	Dimension less
ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ(Overall PV plant efficiency)	$\eta_{\text{tot},\tau}$	Dimension less

3.1 พลังงานแสงอาทิตย์รายวัน(Global irradiation: $H_{I,d}$)

พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน($H_{I,d}$) หาได้จากการนำข้อมูลรังสีอาทิตย์ที่ได้จากการตรวจวัดในระบบมาทำการคำนวณ ดังแสดงในสมการ

$$H_{I,d} = 24 \times \tau_r \times (\sum \tau_{GI}) / (\sum \tau_{MA} \cdot 1000) \quad (2)$$

กำหนดให้

$H_{I,d}$ = พลังงานแสงอาทิตย์รายวัน ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)

τ_r = ระยะเวลาในการสุ่มตรวจข้อมูล (Hours)

$\sum \tau$ = ผลรวมทั้งหมดตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

G_I = รังสีอาทิตย์ (W/m^2)

τ_{MA} = ความต่อเนื่องในการตรวจวัด (Hours)

3.2 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบ (Electrical energy quantities)

พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบจ่ายให้กับระบบแบตเตอรี่ตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล (τ) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_{TSN,\tau} = E_{TS,\tau} - E_{FS,\tau} \quad (3)$$

กำหนดให้

$E_{TSN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบจ่ายให้กับระบบแบตเตอรี่
(kWh) โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0

$E_{TS,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าที่เข้าสู่ระบบแบตเตอรี่ (kWh)

$E_{FS,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ออกจากระบบแบตเตอรี่ (kWh)

พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบได้รับจากระบบแบตเตอรี่ตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล (τ) สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$E_{FSN,\tau} = E_{FS,\tau} - E_{TS,\tau} \quad (4)$$

กำหนดให้

$E_{FSN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบได้รับจากระบบแบตเตอรี่ (kWh) โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0

$E_{FS,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ออกจากระบบแบตเตอรี่ (kWh)

$E_{TS,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าที่เข้าสู่ระบบแบตเตอรี่ (kWh)

พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล (τ) สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$E_{TUN,\tau} = E_{TU,\tau} - E_{FU,\tau} \quad (5)$$

กำหนดให้

$E_{TUN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (kWh) โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0

$E_{TU,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า(kWh)

$E_{FU,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า(kWh)

พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ได้รับจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล (τ) สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$E_{FUN,\tau} = E_{FU,\tau} - E_{TU,\tau} \quad (6)$$

กำหนดให้

$E_{FUN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ได้รับจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (kWh) โดยมีค่า

ต่ำสุดเท่ากับ 0

$E_{FU,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (kWh)

$E_{TU,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (kWh)

พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบได้รับ สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$E_{in,\tau} = E_{A,\tau} + E_{BU,\tau} + E_{FUN,\tau} + E_{FSN,\tau} \quad (7)$$

กำหนดให้

$E_{in,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบได้รับ (kWh)

$E_{A,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบโซลาร์เซลล์ (kWh)

$E_{BU,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบผลิตไฟฟ้าสำรอง (kWh)

$E_{FUN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (kWh)

$E_{FSN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบแบตเตอรี่ (kWh)

พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบจ่ายออก สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$E_{use,\tau} = E_{L,\tau} + E_{TUN,\tau} + E_{TSN,\tau} \quad (8)$$

กำหนดให้

$E_{use,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบจ่ายออก (kWh)

$E_{L,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า (kWh)

$E_{TUN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (kWh)

$E_{TSN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายให้กับระบบแบตเตอรี่ (kWh)

สัดส่วนการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$F_{A,\tau} = E_{A,\tau} / E_{in,\tau} \quad (9)$$

กำหนดให้

$F_{A,\tau}$ = สัดส่วนการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์

$E_{A,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบโซลาร์เซลล์ (kWh)

$E_{in,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบได้รับ (kWh)

ประสิทธิภาพของภาระทางไฟฟ้า สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$\eta_{LOAD} = E_{use,\tau} / E_{in,\tau} \quad (10)$$

กำหนดให้

η_{LOAD} = ประสิทธิภาพของภาระทางไฟฟ้า

$E_{use,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบจ่ายออก (kWh)

$E_{in,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ระบบได้รับ (kWh)

4. สมรรถนะของอุปกรณ์ในระบบ

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบ เป็นอัตราส่วนระหว่างผลรวมของพลังงานที่ออกจากระบบต่อผลรวมของพลังงานที่เข้าสู่ระบบ ขององค์ประกอบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทพลังงานของระบบ ดังแสดงในสมการ

$$\eta_{BOS} = (E_{L,\tau} + E_{TSN,\tau} - E_{FSN,\tau} + E_{TUN,\tau} - E_{FUN,\tau}) / (E_{A,\tau} + E_{BU,\tau}) \quad (11)$$

กำหนดให้

η_{BOS} = ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบ

$E_{L,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า (kWh)

$E_{TSN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายให้กับระบบแบตเตอรี่ (kWh)

$E_{FSN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบแบตเตอรี่ (kWh)

$E_{TUN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (kWh)

$E_{FUN,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (kWh)

$E_{A,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบโซลาร์เซลล์ (kWh)

$E_{BU,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าสุทธิจากระบบผลิตไฟฟ้าสำรอง (kWh)

สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบผสมผสาน (PV hybrid system) และแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (Utility grid-connected system) ซึ่งมีค่า $E_{L,\tau}$ น้อยกว่า $E_{A,\tau} \times \eta_{BOS}$ รวมทั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบอิสระ (PV stand-alone) กำหนดให้ค่า η_{LOAD} เท่ากับค่า η_{BOS} ส่วนระบบระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์แบบที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (Utility grid-connected system) ซึ่งมีค่า $E_{L,\tau}$ มากกว่า $E_{A,\tau} \times \eta_{BOS}$ กำหนดให้ค่า η_{LOAD} มีค่ามากกว่าค่า η_{BOS} เนื่องจากถือว่าความสูญเสียจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (Utility grid-connected system) มีค่าน้อยมาก

นอกจากนั้นประสิทธิภาพรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงานของระบบแบตเตอรี่ยังส่งผลต่อค่า $E_{FS,\tau}$ และ $E_{TS,\tau}$ ซึ่งผลกระทบดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้ 2 กรณีประกอบด้วย

1) ในกรณีที่ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล (τ) มีระยะเวลานานซึ่งส่งผลให้ค่า $E_{TS,\tau}$ และ $E_{FS,\tau}$ มีค่ามากกว่าความสามารถในการเก็บพลังงานของระบบแบตเตอรี่ และเมื่อสมมติให้ค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบมีผลกระทบน้อยมากต่อการคำนวณสมรรถนะของระบบ พบว่าค่าผลต่างระหว่างค่า $E_{TS,\tau}$ และ $E_{FS,\tau}$ ในกรณีนี้มีความสำคัญสำหรับการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบเท่านั้น

ดังนั้นจึงสามารถตัดค่า $E_{TS,\tau}$ และ $E_{FS,\tau}$ ออกจากสมการทุกสมการที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบรวมทั้งการคำนวณหาค่า η_{LOAD} และ η_{BOS} โดยเงื่อนไขดังกล่าวนี้ เหมาะสำหรับระบบที่จะต้องมีการรายงานผลการทำงานของระบบในทุกๆเดือน ซึ่งผลกระทบที่เกิดกับค่า $E_{TS,\tau}$ และ $E_{FS,\tau}$ เนื่องจากเปลี่ยนแปลงพลังงานในระบบแบตเตอรี่ สามารถคำนวณได้จากผลลัพธ์ที่เกิดจากการนำความสามารถในการเก็บพลังงานของระบบแบตเตอรี่หารด้วยค่า $E_{TS,\tau}$ หรือ $E_{FS,\tau}$

2) ในกรณีที่ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล (τ) มีระยะเวลาค้นซึ่งส่งผลให้ค่าความสามารถในการเก็บพลังงานของระบบแบตเตอรี่มีค่ามากกว่าค่า $E_{TS,\tau}$ และ $E_{FS,\tau}$ และเมื่อสมมติให้ค่าประสิทธิภาพของ อุปกรณ์ในระบบมีผลกระทบน้อยมากต่อการคำนวณสมรรถนะของระบบ พบว่าค่าผลต่างระหว่างค่า $E_{TS,\tau}$ และ $E_{FS,\tau}$ ในกรณีนี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณพลังงานที่ถูกสะสมในระบบแบตเตอรี่ ทำให้ค่า $E_{TS,\tau}$ และ $E_{FS,\tau}$ เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการคำนวณหาค่าสมรรถนะของระบบ โดยเงื่อนไขดังกล่าวนี้เหมาะสำหรับระบบที่จะต้องมีการรายงานผลการทำงานของระบบในทุกๆ 2-3 วัน ซึ่งผลกระทบที่เกิดกับค่า $E_{TS,\tau}$ และ $E_{FS,\tau}$ เนื่องจากประสิทธิภาพ

ของอุปกรณ์ในระบบสามารถคำนวณได้จากการตรวจวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบแต่ละส่วน

5. ดัชนีบ่งชี้สมรรถนะของระบบ (System performance indices)

ดัชนีบ่งชี้สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์มีอยู่ด้วยกัน 4 ส่วน ประกอบด้วย

5.1 ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายวัน (Daily mean yields)

ความสามารถในการผลิตพลังงานรายวัน (Daily Mean Yield) คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ระบบโซลาร์เซลล์ผลิตได้ ต่อ พิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ในการติดตั้ง (P_o มีหน่วยเป็น kW) โดยมีหน่วยเป็น $kWh.d^{-1}.kW^{-1}$ หรือ $h.d^{-1}$ ซึ่งเป็นหน่วยที่แสดงถึงเวลา (ชั่วโมง) ในการผลิตไฟฟ้า ณ พิกัดกำลังไฟฟ้าในการติดตั้ง (P_o) ของระบบโซลาร์เซลล์ โดยดัชนีซึ่งบ่งชี้ค่าความสามารถในการผลิตพลังงานรายวัน (Daily Mean Yield) ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 ส่วนด้วยกัน ประกอบด้วย

ก. ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ (Array Yield: Y_A) คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวัน ต่อ พิกัดกำลังไฟฟ้าในการติดตั้งของระบบโซลาร์เซลล์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Y_A = E_{A,d} / P_o = \tau_r \times (\sum_{day} P_A) / P_o \quad (12)$$

กำหนดให้

$E_{A,d}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ระบบโซลาร์เซลล์ผลิตได้ใน 1 วัน (kWh)

P_o = พิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ในการติดตั้ง

τ_r = ช่วงเวลาที่ทำการเก็บบันทึกข้อมูล (Hours)

P_A = กำลังไฟฟ้าที่ระบบโซลาร์เซลล์ผลิตได้ (W)

\sum_{day} = แสดงถึง ผลรวมใน 1 วัน

ค่าความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่แสดงถึงจำนวนชั่วโมงซึ่งระบบโซลาร์เซลล์สามารถทำงานได้ ณ พิกัดกำลังไฟฟ้าในการติดตั้ง (P_0) เพื่อจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับระบบ ($\tau_r \times (\sum_{\text{day}} P_A)$) ใน 1 วัน

ข. ความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ (Final PV System Yield: Y_f) คือ สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบโซลาร์เซลล์ต่อพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของระบบที่จ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าในแต่ละวัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Y_f = Y_A \times \eta_{\text{LOAD}} \quad (13)$$

กำหนดให้

Y_A = ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ (Hours / day)

η_{LOAD} = ประสิทธิภาพของภาระทางไฟฟ้า

โดยค่าความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่แสดงถึงจำนวนชั่วโมงซึ่งระบบโซลาร์เซลล์สามารถทำงานได้ ณ พิกัดกำลังไฟฟ้าในการติดตั้ง (P_0) เพื่อจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า ที่ผลิตได้ให้กับภาระทางไฟฟ้าในแต่ละวัน

ค. ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Yield: Y_r) สามารถคำนวณได้ จากการนำค่าความเข้มรังสีจากแสงอาทิตย์ในแนวระนาบที่วัดได้จากระบบโซลาร์เซลล์หารด้วยความเข้มรังสี จากแสงอาทิตย์ในแนวระนาบที่วัดได้จากโมดูลอ้างอิง (Module's reference in-plane irradiance: $G_{\text{I,ref}}$ ($\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Y_r = \tau_r \times (\sum_{\text{day}} G_I) / G_{\text{I,ref}} \quad (14)$$

กำหนดให้

τ_r = ช่วงเวลาที่ทำการเก็บบันทึกข้อมูล (Hours)

\sum_{day} = ผลรวมใน 1 วัน

G_I = ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ (kW/m^2)

$G_{I,ref}$ = ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบกับโมดูลอ้างอิง (kW/m²)

โดยค่าความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอ้างอิง เป็นค่าที่แสดงถึงจำนวนชั่วโมงที่รังสี จากดวงอาทิตย์ ซึ่งมีกำลังงานเท่ากับพิกัดกำลังงานของโมดูลอ้างอิงตกกระทบมาที่ระบบโซลาร์เซลล์ในแต่ละวัน โดยถ้า $G_{I,ref} = 1 \text{ kW.m}^{-2}$ หน่วยของ Y_r ก็จะมีค่าเท่ากับ $\text{kWh.m}^{-2}\text{d}^{-1} / \text{kW.m}^{-2}$ ซึ่งเมื่อหารกันแล้วก็จะเหลือผลลัพธ์เท่ากับ h.d^{-1} ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นหน่วยที่แสดงจำนวนชั่วโมงที่มีแดดในแต่ละวัน

5.2 การสูญเสียในระบบ (Normalize losses)

การสูญเสียในระบบ(Normalized losses) สามารถแยกพิจารณาออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ประกอบไปด้วย

ก) การสูญเสียในระบบโซลาร์เซลล์ (Array capture losses: LC) เป็นค่าที่แสดงถึงการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบโซลาร์เซลล์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (15)$$

กำหนดให้

Y_r = ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอ้างอิง (Hours / day)

Y_A = ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ (Hours / day)

ข) การสูญเสียของอุปกรณ์ในระบบ (BOS losses: L_{BOS}) เป็นค่าที่แสดงการสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุปกรณ์ในระบบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$L_{BOS} = Y_A \times (1 - \eta_{BOS}) \quad (16)$$

กำหนดให้

Y_A = ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ (Hours / day)

η_{BOS} = ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบ

ค) สัดส่วนของสมรรถนะ (Performance ratio: R_p) เป็นค่าที่แสดงถึงผลกระทบ ที่เกิดขึ้นกับความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบเนื่องจากการสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์, ประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีค่าน้อย หรือ การทำงานของอุปกรณ์ในระบบมี ประสิทธิภาพต่ำ เป็นต้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R_p = Y_f / Y_r \quad (17)$$

กำหนดให้

Y_f = ความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์
(Hours / day)

Y_r = ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอ้างอิง (Hours / day)

5.3 ประสิทธิภาพของระบบ (System efficiencies)

ก) ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของระบบโซลาร์เซลล์ (Mean array efficiency: η_{Amean}) ตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล (τ) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_{Amean,\tau} = E_{A,\tau} / (A_a \times \tau_r \times \sum_{\tau} G_I) \quad (18)$$

กำหนดให้

$E_{A,\tau}$ = พลังงานไฟฟ้าที่ระบบโซลาร์เซลล์ผลิตได้ในช่วงเวลาที่ทำการเก็บบันทึกข้อมูล
(kWh)

A_a = พื้นที่ทั้งหมดของแผงโซลาร์เซลล์ (m^2)

τ_r = ช่วงเวลาที่ทำการเก็บบันทึกข้อมูล (Hours)

\sum_{τ} = ผลรวมทั้งหมดของช่วงเวลาที่ทำการเก็บบันทึกข้อมูล (Hours)

G_I = ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ (W/m^2)

ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของระบบโซลาร์เซลล์ เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพเฉลี่ยในการเปลี่ยนพลังงานของระบบโซลาร์เซลล์ ซึ่งใช้สำหรับเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพของระบบโซลาร์เซลล์ (Array efficiency: η_{AO}) ซึ่งค่าผลต่างที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงประสิทธิภาพในการทำงานของไดโอด, สายไฟฟ้า รวมทั้งความเกิดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการทำงานในระบบอีกด้วย

ข) ประสิทธิภาพรวมของระบบ (Overall PV plant efficiency: $\eta_{tot, \tau}$) ตลอดระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

(τ) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_{tot, \tau} = \eta_{Amean, \tau} \times \eta_{LOAD} \quad (19)$$

กำหนดให้

$\eta_{Amean, \tau}$ = ประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบโซลาร์เซลล์

η_{LOAD} = ประสิทธิภาพของภาระทางไฟฟ้า

6. การคำนวณแบบรายเดือนหรือรายปี (Monthly or Annual)

ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือน หรือรายปี สามารถหาได้จากการเลือกใช้ค่าพลังงานและผลรวมที่เหมาะสมจากสมการที่ (12) ($E_{A,m}$ สำหรับรายเดือน และ $E_{A,y}$ รายปี, \sum_m สำหรับรายเดือน และ \sum_y สำหรับรายปี) โดยค่าความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายเดือนมีหน่วย เป็น $h.m^{-1}$ ส่วนค่าความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปีมีหน่วยเป็น $h.y^{-1}$ นอกจากนี้ ยังสามารถทำการคำนวณเพื่อหาค่าของตัวแปรอื่นๆ ในระบบ เช่น Y_f , Y_r , การสูญเสีย และ ประสิทธิภาพ ฯลฯ แบบรายเดือนและรายปี

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-สกุล	นายนิกร ชัยเจริญ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 16 ตุลาคม 2526
สถานที่เกิด	อ.พาน จ.เชียงราย
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (ไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-