เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด

THE PROTOTYPE OF SOLAR CELL CLEANING WARNER FOR THE HIGHEST ENERGY EFFICIENCY

ภิรมย์สุข สวยสม

PHIROMSOOK SUAYSOM

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2560

เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด

THE PROTOTYPE OF SOLAR CELL CLEANING WARNER FOR THE HIGHEST ENERGY EFFICIENCY

ภิรมย์สุข สวยสม

PHIROMSOOK SUAYSOM

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อการค้นคว้าอิสระ	เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด
ชื่อ นามสกุล	ภิรมย์สุข สวยสม
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ เดชฟุ้ง

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการค้นคว้าอิสระฉบับนี้แล้ว

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ มีนคร)

..... กรรมการและที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ เดชฟุ้ง)

..... กรรมการ
(ดร. ปริญญ์ บุญกนิษฐ)

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้นับการค้นคว้าอิสระฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง)

วันที่ 12 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2560

ชื่อการค้นคว้าอิสระ เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด
ชื่อ นามสกุล ภิรมย์สุข สวยสม
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเป็นตัวติดตามวัดผลกระทบจากฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ ที่มาปิดบังผิวรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่ำลง ทั้งนี้เพื่อให้มีเครื่องแจ้งเตือนที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดและลดค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะต้องทำ 12 ครั้งต่อปี ผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยีด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มาต่อร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เป็นแผงอ้างอิง โดยติดตั้งร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นทำความสะอาดผิวแผงอ้างอิงช่วงเช้าทุกๆ วัน และเครื่องต้นแบบนี้จะทำการประมวลผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าระหว่างแผงอ้างอิงกับโรงไฟฟ้าทุกวัน หลังจากนั้นแจ้งผลที่ได้ผ่านระบบอินเตอร์เน็ตและบันทึกลงหน่วยความจำ ผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่า ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่ำลงร้อยละ 9 ใน 3 เดือน และร้อยละ 10.47 ใน 1 ปี เนื่องจากสิ่งสกปรก ฝุ่นละอองปกคลุม หลังจากที่ได้ทำการล้างทำความสะอาด 2 ครั้งทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กลับมาสูงเหมือนเดิมซึ่งจะเป็นการเตือนแจ้งให้ทราบว่าการล้างไม่จำเป็นต้องทำ 12 ครั้ง ตามที่ปฏิบัติกันมาในโซล่าฟาร์มทำให้ลดต้นทุนได้ 10 ครั้ง

คำสำคัญ : เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือน, ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า, ลดต้นทุน

Independent Study Title The prototype of solar cell Cleaning warn for the Highest energy efficiency
Author Phiromsook Suaysom
Degree Degree Master Degree of Engineering
Major program Department of Sustainable Industrial Management Engineering (Graduate Studies) Faculty of Engineering
Academic Year 2017

ABSTRACT

Research presents the design and construction of a prototype device alert to clean the solar panels. The measure monitoring of dust and blocking dirt surface of solar panel, causes generation Energy low efficiency, the devices are alerted to clean solar panel to ensure generation Energy highest efficiency and reduce the cost of solar cell cleaning, which will be done 12 times a year. Researchers have introduced electrical and electronic technology with solar panels to provide a reference. Take an installed prototype in process with solar panel energy factory. After that, clean the panel referred to the morning every day. This prototype will be processing performance comparison between the solar panels reference with the solar panels factory every day and results via the Internet and record the data in memory. The results of this research found that. Efficiency of electricity production is down 9% as 3 months and 10.47% of the year due to impurities. Dust cover doing have been cleaned twice, the efficiency of the electricity production has remained high. This will alert you that washing does not have to be done 12 times as practiced in a solar farm, reducing costs 10 times a year.

Keywords : Prototype warning devices, energy efficiency, reduce costs.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลงได้ ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งของ ผศ.ดร. สุรเชษฐ เดชฟุ้ง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการศึกษาวิจัยที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือการทำงานวิจัยตลอดจนทำรูปเล่มโครงการการศึกษาวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผศ. สหรัตน์ วงศ์ศรีษะ ดร. ปริญญ์ บุญกนิษฐ ดร. ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล และ ดร.อรรณพ ปิยะสินธ์ชาติ ที่ช่วยให้คำแนะนำในสิ่งที่ยังขาดตกบกพร่อง ตลอดจนช่วยตรวจสอบรูปเล่มในการทำงานวิจัยฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าของงานวิชาการต่างๆ ที่ผู้ศึกษาได้อ้างถึง ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณจรูญ สีเหลืองและเจ้าหน้าที่บริษัท ไทยชูการ์เทอร์มิเนิล จำกัด (มหาชน) และ บริษัท บริษัท กันกุล เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) ซึ่งให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกและให้ความร่วมมือเป็นอย่างยิ่งในการเก็บข้อมูลเป็นอย่างดี

ขอบพระคุณ ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล และ ผศ.ดร.สมศักดิ์ มีนคร ที่สละเวลามาเป็นประธานและกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณ ดร. นิชชรี นิลนนท์ ที่ช่วยให้คำแนะนำในสิ่งที่ยังขาดตกบกพร่อง ตลอดจนช่วยตรวจสอบรูปเล่มในการทำงานวิจัยฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา สมาชิกทุกคนในครอบครัว และเพื่อนๆ ทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือ ทำให้ข้าพเจ้ามีแรงผลักดันทำให้สามารถจัดทำการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ได้สำเร็จเป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาค้นคว้าฉบับนี้ ผู้ศึกษาค้นคว้าขอมอบความดีให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ภิรมย์สุข สวยสม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ช)
สารบัญภาพ	(ฌ)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 กรอบแนวความคิด	5
1.5 สมมติฐานการวิจัย	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ	7
บทที่ 2 การศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรม	9
2.1 S-curve เกี่ยวกับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสะอาด	9
2.2 วิเคราะห์อุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย	11
2.3 วิเคราะห์การเติบโตการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	11
2.4 วิเคราะห์การส่งเสริมการลงทุนด้านการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	20
2.5 เครื่องมือทดสอบการติดตั้งและบำรุงรักษา สถานีไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์	22
2.6 การตรวจสอบและบำรุงรักษา สถานีไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์	27
2.7 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท ไทยชูการ์เทอมิเนิ้ล จำกัด (มหาชน)	32
2.8 แนวความคิดช่องว่าง โอกาส และความต้องการในการดำเนินงาน	33
2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับแผงโซล่าเซลล์	34
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบทางวิศวกรรมและสร้างเครื่องต้นแบบ	38
3.1 การออกแบบเชิงวิศวกรรม	38
3.2 แหล่งข้อมูลที่ใช้ศึกษา	47
3.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	48
3.4 ระเบียบวิธีวิจัย	48
3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	50
3.6 สร้างโปรแกรมซอฟแวร์ทดสอบ	52
บทที่ 4 กระบวนการทดสอบเครื่องต้นแบบ	57
4.1 เครื่องมือในการทดสอบเครื่องต้นแบบ	57
4.2 ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องต้นแบบกับสถานี	58
4.3 ทดสอบเครื่องต้นแบบระหว่างเครื่องต้นแบบกับสถานีแบบระยะยาว	60
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	63
4.5 การทดสอบการแจ้งเตือนบนโทรศัพท์เคลื่อนที่	65
บทที่ 5 ผลการวิจัย	67
5.1 ผลการวิจัยรายวันระหว่างวันที่ 13 -18 มกราคม 2559	68
5.2 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 13 มกราคม – 30 กันยายน 2559	75
5.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสมมติฐาน	98
5.4 ผลการแจ้งเตือนทางโทรศัพท์เคลื่อนที่	102
บทที่ 6 อภิปรายผลการวิจัย	105
บทที่ 7 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	109
7.1 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	109
7.2 ข้อเสนอแนะ	110
บทที่ 8 การนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์	111
8.1 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน	111
8.2 แผนเผยแพร่และการพัฒนาอย่างยั่งยืน	117
เอกสารอ้างอิง	120

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	123
ภาคผนวก ก เอกสารตีพิมพ์ เกรียติบัตร และรางวัล	124
เกียรติบัตร การประชุมวิชาการและการนำเสนอ ผลงานงานการวิจัยในการประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติด้านการวิจัยเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 5	127
รางวัลเหรียญเงินระดับชาติหรือนานาชาติ งานประกวดสิ่งประดิษฐ์โลกครั้งที่ 45 31 มีนาคม 2017 ณ กรุงเจนิวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์	131
ภาคผนวก ข โปรแกรมการออกแบบและการปรับปรุงการทดลอง	132
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	142

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	แสดงแผนการดำเนินการศึกษา	3
2.1	แสดงการผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กจากพลังงานแสงอาทิตย์ ใน พ.ศ. 2555 2557	16
2.2	ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) สำหรับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นดิน	17
2.3	การเปรียบเทียบผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (VSPP) สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ 10 อันดับแรกใน พ.ศ. 2556 – 2557	17
2.4	งานวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	19
2.5	งานวิจัยด้านการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	20
2.6	การส่งเสริมการลงทุนในกิจการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	21
2.7	อัตราการรับไฟฟ้าอัตราคงที่ Feed-in-Tariff (FiT)	22
2.8	ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบโซล่าเซลล์	36
4.1	แสดงตารางการบันทึกผลรายวัน สำหรับวันที่ 13 -18 ม.ค 2559	59
4.2	ตัวอย่างตารางการบันทึกผลรายวันของแต่ละเดือน	62
4.3	ตารางสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าของสถานีและเครื่องต้นแบบ	63
4.4	ตารางทดสอบสมมติฐาน t-test	64
5.1	แสดงตารางการบันทึกผลรายวัน วันที่ 13 มกราคม 2559	68
5.2	แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 14 มกราคม 2559	69
5.3	แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 15 มกราคม 2559	70
5.4	แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 16 มกราคม 2559	72
5.5	แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 17 มกราคม 2559	73
5.6	แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 18 มกราคม 2559	74
5.7	ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 13-31 มกราคม 2559	75
5.8	ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-29 กุมพาพันธ์ 2559	76
5.9	ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 มีนาคม 2559	78
5.10	ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 เมษายน 2559	80
5.11	ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 พฤษภาคม 2559	82
5.12	ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 มิถุนายน 2559	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
5.13 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 กรกฎาคม 2559	86
5.14 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 สิงหาคม 2559	88
5.15 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 กันยายน 2559	90
5.16 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 ตุลาคม 2559	92
5.17 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 พฤศจิกายน 2559	94
5.18 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 ธันวาคม 2559	96
5.19 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าของสถานีและเครื่องต้นแบบ	99
5.20 ตารางทดสอบสมมติฐานที่ 1	100
5.21 ตารางทดสอบสมมติฐานที่ 2	101
8.1 รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือในการลงทุน	112
8.2 รายละเอียดข้อมูลได้จากเครื่องต้นแบบ	113
8.3 ตาราง Cash Flow โครงการเดิมรายเดือนใน 1 ปี และดอกเบี้ย 2.5 % ต่อเดือน	113
8.4 ตารางแสดงการผลลัพธ์ของโครงการเดิมในการตัดสินใจลงทุน (R=2.5%)	114
8.5 ตาราง Cash Flow โครงการใหม่รายเดือนใน 1 ปี และดอกเบี้ย 2.5 % ต่อเดือน	115
8.6 ตารางแสดงการผลลัพธ์ของโครงการใหม่การตัดสินใจลงทุน (R=2.5%)	116

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1.1	กรอบแนวความคิด	6
2.1	S-curve การเปลี่ยนแปลงของโลกของเศรษฐกิจที่ใช้ Solar cell	10
2.2	S-curve แสดงการวิเคราะห์การแทนที่ของพลังงานทดแทน	11
2.3	แสดงสัดส่วนของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	12
2.4	กำลังการผลิตติดตั้งสะสมและติดตั้งรายปีของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พ.ศ. 2545 – 2558	14
2.5	สัดส่วนแบ่งตามประเภทการใช้งานของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พ.ศ. 2545 – 2558	15
2.6	แสดงเครื่องมือทดสอบการติดตั้ง PV150 Solar Installation Test Kit	23
2.7	เครื่องมือวัด Amprobe SOLA-500	24
2.8	วัดค่ากำลังแสงอาทิตย์ ด้วย SOLAR-100	26
2.9	Fluke Ti27 Thermal Imager	27
2.10	ผิวแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควรมีการตรวจสอบตลอดเวลา	28
2.11	ผิวแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควรมีการตรวจสอบตลอดเวลา	29
2.12	หลักการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	34
3.1	องค์ประกอบของระบบ Solar Cell	39
3.2	หลักการทำงานปกติของระบบ	39
3.3	หลักการทำงานปกติของระบบโดยละเอียด	40
3.4	แหลักการทำงานของระบบที่มีแผงอ้างเพิ่ม	42
3.5	โปรแกรม Auto Cad ออกแบบโครงสร้าง	43
3.6	โครงร่างของวงจร	44
3.7	วงจรเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์	45
3.8	วงจรควบคุมที่ประกอบเสร็จแล้วของเครื่องต้นแบบ	46
3.9	ส่วนควบคุมไฟฟ้าของเครื่องต้นแบบ	46
3.10	ประกอบแผงกับส่วนโครงสร้าง	47
3.11	ผังแสดงกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิด้วยมือสำหรับ 6 วัน	48
3.12	กระบวนการทำงานและขั้นตอนการวิจัย	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
3.13	ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดแรงดัน	51
3.14	ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดกระแส	51
3.15	ดิจิตอลมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า	52
3.16	Platform as a Service Thingspeak	53
3.17	Platform as a Virtuino บนโทรศัพท์เคลื่อนที่	54
3.18	การแสดงผลบนหน้าจอ LCD	55
3.19	ผังแสดงหลักการทำงานของซอฟแวร์เครื่องต้นแบบ	56
4.1	แสดงไดอะแกรมการทดสอบเครื่องต้นแบบกับสถานี	58
4.2	ตำแหน่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของเครื่องต้นแบบกับสถานี	59
4.3	กราฟตัวอย่างแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบ	60
4.4	ไดอะแกรมทดสอบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบ	61
4.5	ตัวอย่างกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้า	62
4.6	แสดงผลแจ้งเตือนผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	66
5.1	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 13 มกราคม 2559	69
5.2	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 14 มกราคม 2559	70
5.3	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 15 มกราคม 2559	71
5.4	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 16 มกราคม 2559	72
5.5	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 17 มกราคม 2559	73
5.6	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 18 มกราคม 2559	74
5.7	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน มกราคม 2559	76
5.8	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน กุมภาพันธ์ 2559	78
5.9	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน มีนาคม 2559	80
5.10	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน เมษายน 2559	82
5.11	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน พฤษภาคม 2559	84
5.12	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน มิถุนายน 2559	86
5.13	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน กรกฎาคม 2559	88
5.14	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน สิงหาคม 2559	90
5.15	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน กันยายน 2559	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
5.16	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน ตุลาคม 2559	94
5.17	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน พฤศจิกายน 2559	96
5.18	การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน ธันวาคม 2559	98
5.19	ผลแจ้งเตือนต้องล้างบนโทรศัพท์	102
5.20	ผลแจ้งเตือนสกปรกบนโทรศัพท์	103
5.21	ผลแจ้งเตือนปกติบนโทรศัพท์	104
6.1	การเปรียบเทียบพฤติกรรมการประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้า	107
8.1	ใบรับรองการได้รับรางวัลเหรียญเงิน	118
8.2	ใบประกาศของสภาวิจัยแห่งชาติ	118
8.3	หนังสือรับเชิญบริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)	119

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โซล่าเซลล์หรือเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงซึ่งถือว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สะอาดและได้รับความนิยมกันเป็นอย่างมาก บางแห่งสร้างเป็นโรงงานผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าเซลล์ที่เรียกกันว่าโซล่าฟาร์มหรือโซล่ารูฟและในอนาคตจะเพิ่มจำนวนผู้ใช้มากขึ้น โดยปกติพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมายังพื้นโลกแล้วจะได้รับพลังงานประมาณ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ($^{\circ}$C) สภาพอากาศโปร่ง Standard Test Conditions (STC) ดังนั้น แผงโซล่าเซลล์จะผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ประมาน 4-5 ชั่วโมงจากเวลาทั้งหมดที่มีประมาณ 12-13 ชั่วโมงใน 1 วัน เมื่อติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ที่มีขนาด 100 วัตต์ต่อตารางเมตร จะให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้วันละประมาณร้อยละ 10 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559) สิ่งสำคัญสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือทำอย่างไรประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุด เมื่อพิจารณาจากจากการกำหนดเวลาล้างทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเวลาทุกๆ เดือนใน 1 ปี ในโรงผลิตไฟฟ้าโซล่าฟาร์มขนาด 38 เมกะวัตต์ (MW)ในพื้นที่ 500 ไร่ เสียค่าใช้จ่ายค่าแรงครั้งละ 416,600 บาท ต่อ 1 เดือน (บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด มหาชน, 2558) โรงผลิตไฟฟ้าโซล่าฟาร์มขนาด 10 เมกะวัตต์(MW)ในพื้นที่ 180 ไร่ เสียค่าใช้จ่ายค่าแรงครั้งละ 67,600 บาท ต่อ 1 เดือน (บริษัท กันกุล เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด มหาชน, 2558) คิดเป็นเงินลงทุนในการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 562 วัตต์ต่อบาท และในโรงผลิตไฟฟ้าโซล่ารูฟขนาด 100 (kW) ในพื้นที่ 700 ตารางเมตร ค่าใช้จ่ายครั้งละ 30,000 บาท ต่อ เดือน (บริษัทไทชูการ์เทอร์มิเนิลจำกัด มหาชน,2558) คิดเป็นเงินลงทุนในการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 148 วัตต์ต่อบาท ซึ่งการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจเป็นการล้างทำความสะอาดที่ความถี่มากเกินความจำเป็นผู้วิจัยคิดว่าผู้ที่ประกอบกิจการโรงผลิตไฟฟ้าทดแทนรายใหญ่ต้องการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะเดียวกันต้องการเพิ่มมูลค่าในการใช้ประโยชน์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดและ

เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งนี้เพื่อจะได้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

1.2.2 เพื่อให้มีเครื่องแจ้งเตือนที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีใช้นำมาสร้างเป็นเครื่องต้นแบบ กำหนดให้เป็นแผงอ้างอิงพร้อมทั้งติดอุปกรณ์นี้ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีใช้ในโรงงานผลิตไฟฟ้าทดแทน โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าที่ได้จะลดลงเนื่องจากอิทธิพลที่มาจากฝุ่นละออง และเตือนเพื่อให้ผู้ดูแลระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลแสงอาทิตย์ให้ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ใช้อยู่ทั้งหมดให้เหมาะสมและให้ประหยัดเวลาลดต้นทุนในการทำความสะอาดทั้งระบบ โดยการเปรียบเทียบการกำหนดการล้างทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท บริษัท ไทชูการ์เทอร์มิเนิล จำกัด (มหาชน) ระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม 2559 ซึ่งใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบโซล่ารูฟ ขนาด 100 kW กับกระบวนการทำงานปกติโดยไม่มีเครื่องต้นแบบจะล้างทำความสะอาดตามการกำหนดเวลา (สูญเสียค่าใช้จ่ายทุกๆ เดือนๆ 30,000 เท่ากับ 360,000 บาทต่อปี) กระบวนการทำงานที่ได้รับการปรับปรุงให้มีระบบตรวจสอบประสิทธิภาพพลังงานที่ผลิตได้แต่ละวัน จะเริ่มใช้ในเดือนมกราคม 2559 โดยเครื่องต้นแบบจะรายงานผล เพื่อเตือนให้กับผู้ดูแลระบบได้รับทราบและกำหนดการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามที่เครื่องต้นแบบเตือน

1.3.2 ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นตัวแปรของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ซึ่งมีการเก็บค่าทุกๆ 15 นาที การใช้งานเครื่องต้นแบบระหว่าง 6.00 น.- 18.00 น. รวม 12 ชั่วโมงหรือ 48 ครั้งในแต่ละวันที่ใช้งานในเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม 2559 โดยเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้า (kWh) จากเครื่องต้นแบบมาเป็นค่าเปรียบเทียบอ้างอิงและใช้ข้อมูลของโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้แต่ละวัน และแต่ละเดือน เพื่อนำผลต่างมาใช้ โดยใช้กลุ่มตัวอย่างในเวลา 355 วัน คิดเป็น 17,040 ตัวอย่าง แล้ว มาทำเปรียบเทียบค่า หากประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากันเนื่องจากมีแสงตก

กระทบลงแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยลงแบบเป็นสัดส่วนกัน และเครื่องแจ้งเตือนให้ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออัตราส่วนของพลังงานที่ได้ระหว่างแผงอ้างอิงกับโรงไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามที่ได้กำหนดไว้

1.3.3 ขอบเขตด้านเวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดอยู่ระหว่างเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม 2559 ระยะเวลาประมาณ 12 เดือน

ตาราง 1.1 แสดงแผนการดำเนินการศึกษา

กิจกรรม	2558						2559											
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. กำหนดหัวเรื่องและวัตถุประสงค์ที่ใช้ศึกษา	↔																	
2. ใช้ประสบการณ์การทำงานและวรรณกรรมเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องในการกำหนดกรอบแนวความคิดและวิธีการดำเนินวิจัย		↔																
3. ปรึกษาหัวหน้าสายตรงถึงความเป็นไปได้ในการศึกษา			↔															

ตาราง 1.1 แสดงแผนการดำเนินการศึกษา (ต่อ)

กิจกรรม	2558		2559												2560			
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
4. ขอความอนุเคราะห์จากทุกสถานที่ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	↔																	
5. เริ่มทำการทดลองและเก็บรวบรวมขอมูลปฐมภูมิ			↔											↔				
6. ทำการทบทวนวรรณกรรมเพิ่มเติมและเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ			↔											↔				
7. จัดทำและนำเสนอรายงานวิจัย											↔			↔				
8. สรุปเนื้อหาหลักเพื่อจัดทำบทความนำเสนอและตีพิมพ์											↔	↔						
9. ทบทวนและปรับปรุงความเหมาะสมของรายงานวิจัย												↔		↔				
10. นำเสนอรายงานวิจัยฉบับเต็ม																	↔	

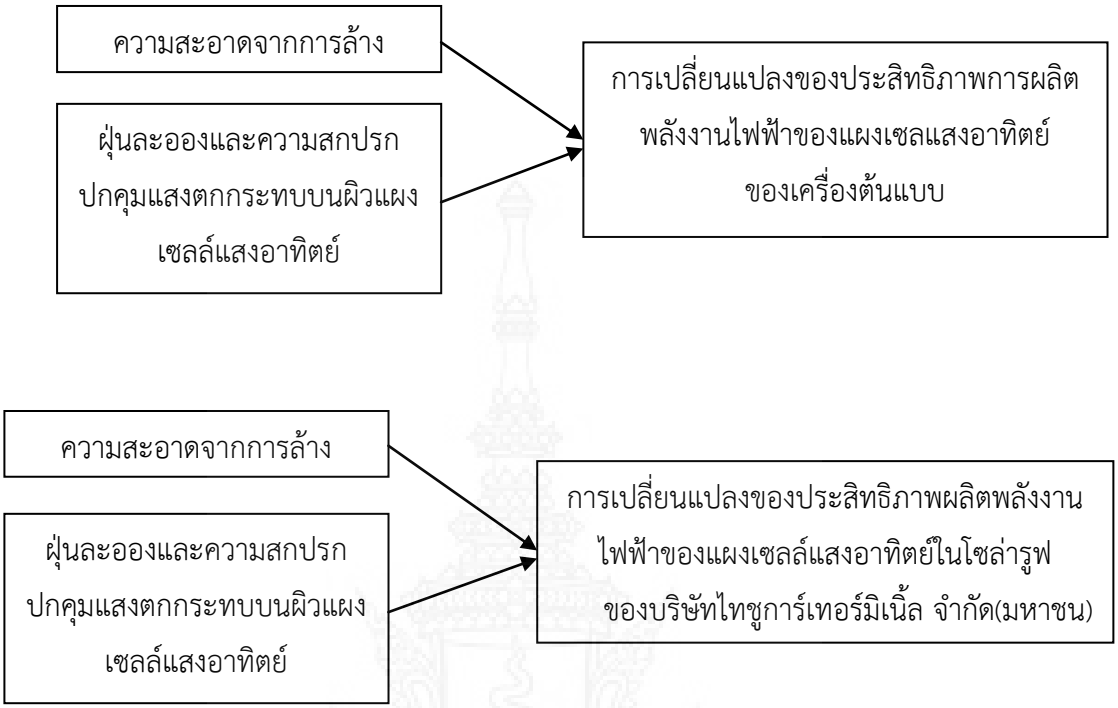
ตาราง 1.1 แสดงแผนการดำเนินการศึกษา (ต่อ)

กิจกรรม	2558							2559										2560	
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
4. ขอความอนุเคราะห์จากทุกสถานที่ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงาน	←→																	
11. ปรับปรุงรายงานตามคำแนะนำของคณะกรรมการ										←→								
12. จัดส่งรายงานฉบับสมบูรณ์											←→							

1.4 กรอบแนวความคิด

ผู้วิจัยนำข้อมูลได้จากประสบการณ์การทำงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงร่วมกับการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องมาใช้กำหนดกรอบความแนวคิดภายใต้สมติฐานที่ว่าการล้างทำความสะอาดผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในโรงผลิตพลังงานทดแทนนั้นต้องทำการล้างทุกๆ เดือนในการทำความสะอาดทุกๆ 1 เดือนต่อการล้างทำความสะอาด 1 ครั้ง ในแต่ละครั้งค่าใช้จ่าย 1 ตารางเมตรต่อ 120 บาทจะสูญเสียค่าใช้จ่ายเปล่าประโยชน์ หรือข้อเท็จจริงแล้วการทำการความสะอาดไม่จำเป็นต้องล้างทำความสะอาดทุกๆ เดือน แต่ก็ไม่สามารถกำหนดได้ว่าช่วงไหนระยะเวลาไหนจะต้องถึงเวลาทำความสะอาดโดยใช้น้ำล้างสิ่งเหล่านั้นออกให้หมด เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดอยู่ตลอดเวลา โดยงานวิจัยนี้ผู้วิจัยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางสร้างเครื่องต้นแบบเป็นอุปกรณ์เตือนเพื่อในการบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไปนี้

ตัวแปรอิสระ ตัวแปรตาม



ภาพ 1.1 กรอบแนวความคิด

1.5 สมมติฐานการวิจัย

การดำเนินการในขบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท ไทชูการ์เทอร์มิเนิล จำกัด (มหาชน) เมื่อเวลาผ่านไปทุกๆ วันและทุกๆ เดือนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้มีประสิทธิภาพสูงสุดมีความสันพันธ์กับความสะอาดและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้มีประสิทธิต่ำลงที่มีความสัมพันธ์กับความสกปรกหรือฝุ่นที่ปกคลุมผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการทดสอบการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างโรงงานผลิตและเครื่องต้นแบบ

1.5.1 เมื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงงานได้ค่าพลังงานไฟฟ้าได้น้อยกว่าเครื่องต้นแบบแสดงว่าโรงงานมีการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพต่ำลงเนื่องจากผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สกปรกเนื่องจากฝุ่นปกคลุม จึงทำให้มีเครื่องต้นแบบและอุปกรณ์เตือนแจ้งถึงความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจะได้ทำการล้างทำความสะอาดผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมทดแทนการปฏิบัติกันมาทุกๆ เดือนสามารถส่งผลให้ลดต้นทุนในการล้างทำความสะอาดได้

1.5.2 เมื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงงานได้ค่าพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับเครื่องต้นแบบแสดงว่าโรงงานมีการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุดลงเนื่องจากผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ความสะอาด

ไม่มีสิ่งสกปรกเนื่องจากฝุ่นปกคลุม จึงทำให้มีเครื่องต้นแบบและอุปกรณ์ตรวจติดตามเตือนแจ้งถึงความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ประโยชน์ทางวิชาการ

เพื่อให้ได้ผลการศึกษาเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเหมาะสมเนื่องมาจากความสรกปรกและฝุ่นละอองที่ทำให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้ามีค่าลดต่ำลง สามารถนำไปประยุกต์ใช้อ้างอิงและต่อยอดในอนาคตได้

1.6.2 ประโยชน์ทางพาณิชย์

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทน โดยเฉพาะผู้ที่ประกอบกิจการโรงผลิตไฟฟ้าทดแทนด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์รายใหญ่ต้องการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ตามมาเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มในการใช้ประโยชน์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ของบริษัท ไทชูการ์เทอร์มิเนิล จำกัด (มหาชน) ได้อย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืน

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) หมายถึง เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อขับเคลื่อนการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ ในโรงงานบริษัท ไทชูการ์เทอร์มิเนิล จำกัด (มหาชน)

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมายถึง ผลลัพธ์กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด ประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์สูง หมายถึงภายในหนึ่งพื้นที่ที่ทำการวัดค่าจะมีกำลังไฟฟ้ามาก ยิ่งมีประสิทธิภาพสูงมากเท่าไรก็ยิ่งมีความคุ้มค่ามากขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้ ประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซลล์ที่ได้จะมีตัวแปรอยู่หลายตัวด้วยกัน ได้แก่ ชนิดของโซล่าเซลล์ที่นำมาประกอบโครงสร้างของแผง วัสดุส่วนประกอบแผง นอกจากนี้ยังรวมถึงการติดตั้งรับแสงอาทิตย์ของแผงโซล่าเซลล์ รวมถึง ฝุ่นละอองที่ตกกระทบผิวในแต่ละวันอีกด้วย

ฝุ่นละออง หมายถึง ของแข็งขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศหรือน้ำ ซึ่งเกิดจากธรรมชาติหรือมนุษย์โดยนับเป็นมลพิษทางอากาศและมลพิษทางน้ำประเภทหนึ่งฝุ่นละอองมีที่มาหลากหลายทั้งจากธรรมชาติ อาทิเช่น ภูเขาไฟ พายุทราย ไฟป่า ไอเกลือ หรือการกระทำของมนุษย์เช่น ไอของเสียจากรถยนต์ โรงงานไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม รวมไปถึง การเผาหญ้า และการเผาป่า ในประเทศกำลังพัฒนาฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นมักจะเกิดจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหิน ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจำนวนมากส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ ก่อให้เกิดปัญหาหลากหลาย การกำจัดฝุ่นละอองนั้น

ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่จะตกอยู่บนพื้นตามแรงโน้มถ่วงของโลก ขณะที่ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร จะลอยอยู่ในอากาศได้หลายสัปดาห์ และจะถูกกำจัดโดยฝนหรือหยาดน้ำฟ้าประเภทอื่น

พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) หมายถึง พลังงานที่ได้จากพลังงานศักย์หรือพลังงานจลน์ พลังงานนี้ถูกจ่ายออกมาโดยการผสมกันของกระแสไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้าโดยส่งออกมาในกริด (ไฟฟ้า) ที่ถูกดูดซับหรือถูกนำส่งโดยวงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ณ จุดที่พลังงานศักย์ไฟฟ้านี้ถูกเปลี่ยนให้เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของพลังงาน

กำลังไฟฟ้า หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในเวลา 1 นาที มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือจูลต่อวินาที เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า กำลังไฟฟ้า (วัตต์) = พลังงานไฟฟ้า (จูล)/เวลา (วินาที) เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดจะใช้พลังงานไฟฟ้าต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งทราบได้จากตัวเลขที่กำกับไว้บนเครื่องใช้ไฟฟ้า ที่ระบุทั้งความต่างศักย์ (V) และกำลังไฟฟ้า (W)

โรงผลิตไฟฟ้า หรือ สถานีไฟฟ้า หมายถึง สถานที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการไหลของพลังงานไฟฟ้าในระบบและอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือต่ำลง

บทที่ 2

การศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรม

ในการศึกษาการลดต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในงานวิจัยในครั้งนี้ พิจารณาจากการกำหนดเวลาล้างทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเวลาทุกๆ เดือนใน 1 ปี การล้างทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจความถี่มากเกินความจำเป็นหรือไม่ สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ทำอย่างไรประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุด และต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ตามมาต่ำที่สุดเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดอย่างยั่งยืน ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางกำหนดแนวทางการศึกษาในครั้งนี้ โดยครอบคลุมเนื้อหาต่างๆ ดังนี้

2.1 S-curve เกี่ยวกับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสะอาด

2.2 อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.3 วิเคราะห์สถานภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

2.4 วิเคราะห์การส่งเสริมการลงทุนด้านการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.5 เครื่องมือทดสอบการติดตั้งและบำรุงรักษา สถานีไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

2.6 การตรวจสอบและบำรุงรักษา สถานีไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

2.7 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บริษัท ไทยชูการ์เทอมิเน้ล จำกัด (มหาชน)

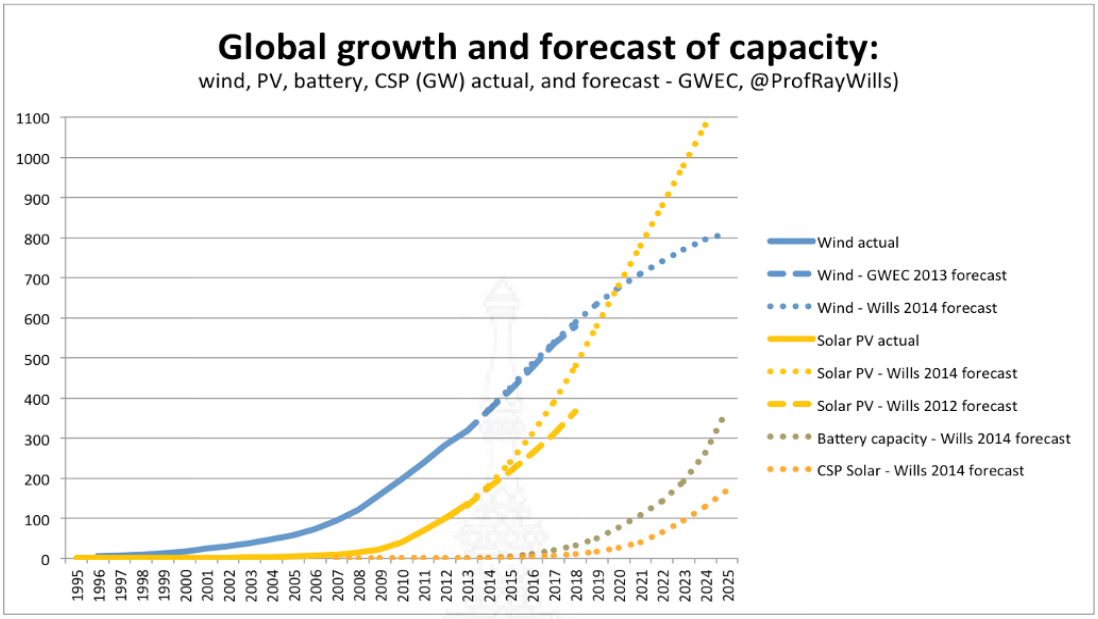
2.8 แนวความคิดช่องว่าง โอกาส และความต้องการในการดำเนินงานวิจัย

2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับแผงโซล่าเซลล์

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 S-curve เกี่ยวกับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีสะอาด

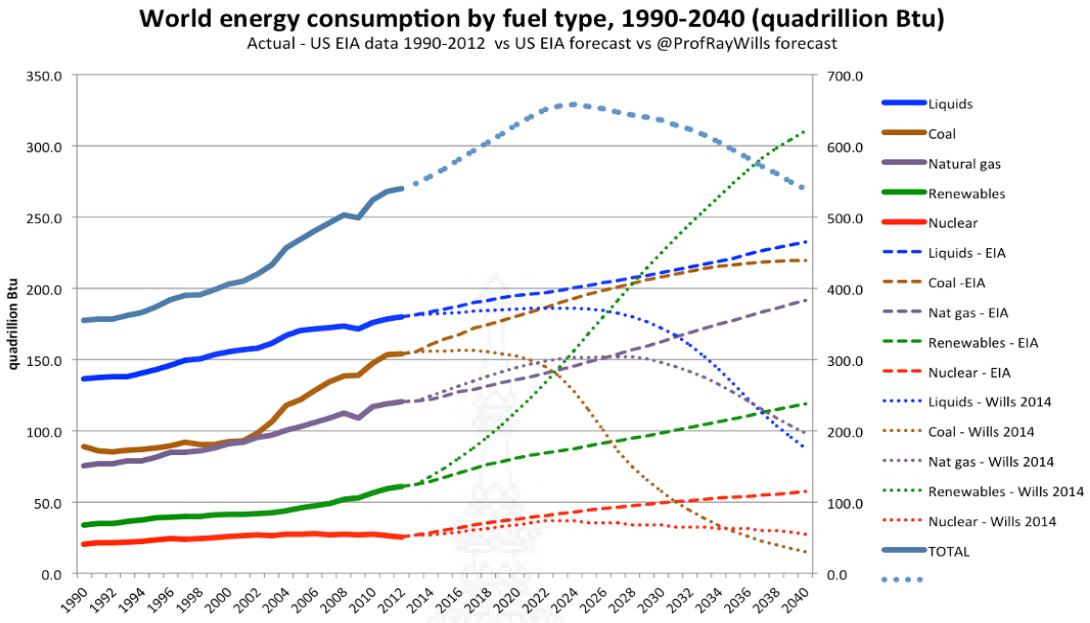
เป็นเส้นทางสู่ความสำเร็จของนวัตกรรมทางเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงในศตวรรษที่ 21 คือการใช้เทคโนโลยีที่ชาญฉลาดขึ้นในเครื่องใช้ในบ้านและธุรกิจโบราณการที่ดีขึ้นและการจัดการพลังงานอย่างชาญฉลาดในการใช้พลังงานการเชื่อมต่อสมาร์ทโฟนผ่านสื่อสังคมออนไลน์และสมาร์ทโฟนสู่เมืองที่ชาญฉลาดและยั่งยืนมากยิ่งขึ้นตลาดทำการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วมาเร็ว ๆ นี้เราจะบรรลุวิสัยทัศน์นี้ของเมืองศตวรรษที่ 21 และเศรษฐกิจที่ใช้เทคโนโลยีที่สะอาด การเปลี่ยนแปลงของโลกได้เร็วแค่ไหนพิจารณา ดังภาพ 2.1



ภาพ 2.1 S-curve การเปลี่ยนแปลงของโลกของเศรษฐกิจที่ใช้ Solar cell

ที่มา : http://members.iinet.net.au/~cwills/rtwtechadopt.html,14 Apr 2014

จากภาพ 2.1 ดังนั้นโลกที่หมุนเวียนเร็วแค่ไหนอัตราการยอมรับของเทคโนโลยีที่ประสบความสำเร็จอยู่เสมออย่างรวดเร็วและอธิบายโดยโรเจอร์ S-Curve ของการแพร่กระจายของนวัตกรรมการยอมรับเทคโนโลยีที่สะอาดและประสิทธิภาพด้านพลังงานและพลังงานทดแทนพิสูจน์ได้ว่าไม่แตกต่างกัน อัตราการยอมรับของแหล่งพลังงานหมุนเวียนกำลังเป็นไปตามเส้นทางที่สามารถคาดการณ์ได้ของเทคโนโลยีที่ประสบความสำเร็จทั้งหมดเมื่อมีการนำเข้าสู่ตลาดโลกแล้วการถอยหลังของพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะเป็นไปตามที่คาดการณ์ได้ของเทคโนโลยีที่ได้รับการทดแทน (10 May 2014 Disruptive technology and technology transitions Going clean tech) ดังภาพ 2.2



ภาพ 2.2 ภาพ S-curve แสดงการวิเคราะห์การแทนที่ของพลังงานทดแทน

ที่มา : http://members.iinet.net.au/~cwills/rtwtechadopt.html, 14 Apr 2014

จากภาพ 2.2 จากการวิเคราะห์ S-curve แล้วตามที่คาดการณ์ได้ของเทคโนโลยีพลังงานทดแทนจะเริ่มมาแทนที่พลังงานที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะเห็นว่าจะเริ่มถอยหลังไป

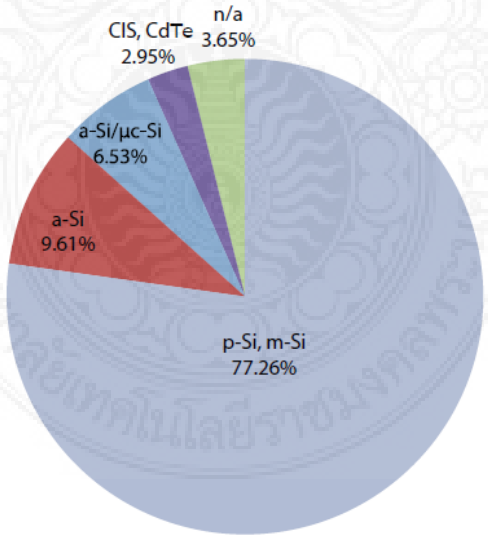
2.2 วิเคราะห์อุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย

ในปีพ.ศ. 2557 ผู้ประกอบการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยทั้งสิ้น 5 ราย มีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 235 เมกะวัตต์ ประกอบด้วย บริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด, บริษัท เอกรัฐ โซลาร์ จำกัด, บริษัท ฟูโซลาร์ จำกัด, บริษัท โซลาร์ลตรอน จำกัด (มหาชน) และ บริษัท โซลาร์ เพาเวอร์ เทคโนโลยี จำกัด ในปี พ.ศ. 2558 ผู้ผลิตเซลล์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์รายใหม่เพิ่มอีก 7 รายมีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 3,634 เมกะวัตต์ จึงมีผู้ผลิตเซลล์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสิ้น 12 ราย รวมกำลังการผลิตติดตั้งทั้งสิ้น 3,869 เมกะวัตต์

2.3 วิเคราะห์การเติบโตการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

อุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยเริ่มเมื่อ พ.ศ. 2547 สอดคล้องไปกับโครงการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของภาครัฐและเติบโตอย่างค่อยเป็นค่อยไป ต่อมามีการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อขายไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้าโดยเริ่มต้นจาก พ.ศ. 2551 เป็นต้นมา ทำให้การประกอบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยโดยภาคเอกชนเติบโตอย่างก้าว

กระโดดในปี พ.ศ. 2551 การเติบโตของอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศจีนในตลาดโลกมีความชัดเจนและราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างมาก ผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยได้รับผลกระทบไม่สามารถแข่งขันด้านราคาได้งานวิจัยและพัฒนา รวมถึงการสาธิตระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยได้ดำเนินไปควบคู่กับการเติบโตของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งบนพื้นดินและบนหลังคา ได้แก่การประเมินประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะยาว เพื่อการปรับปรุงและพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงการศึกษาเปรียบเทียบการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เทคโนโลยีแตกต่างกันในกรณีของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระดับเมกะวัตต์การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีกำลังการติดตั้ง 1,419 เมกะวัตต์สูงสุด (ข้อมูล ณ สิ้นปี พ.ศ. 2558) โดยส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าอุปกรณ์ในระบบงานวิจัยพัฒนาที่ควบคู่ไปกับการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของภาคเอกชนให้ความสนใจการผลิตเซลล์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ทางหน่วยงานวิจัยและสถาบันการศึกษาของภาครัฐให้ความสนใจเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่ และการติดตามประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อสร้างองค์ความรู้และถ่ายทอดความรู้ไปยังส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังภาพ 2.3



ภาพ 2.3 แสดงสัดส่วนของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย
ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (2558)

ตามภาพ 2.3 สัดส่วนของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (ข้อมูล ณ พฤษภาคม 2558) พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนแบบหลายผลึกและแบบผลึกเดี่ยว (p-Si, m-Si) มีสัดส่วนการใช้งานมากที่สุด คือ 77.26% รองลงมาคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si) 9.61% อะมอร์ฟัสซิลิคอนบนไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอน (a-Si/μc-Si) 6.53 % และ คอปเปอร์อินเดียมซิลิไนด์ (CIS) แคดเมียมเทลลูไลด์ (CdTe) 2.95 % ส่วนที่เหลืออีก 3.65% ไม่ระบุชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

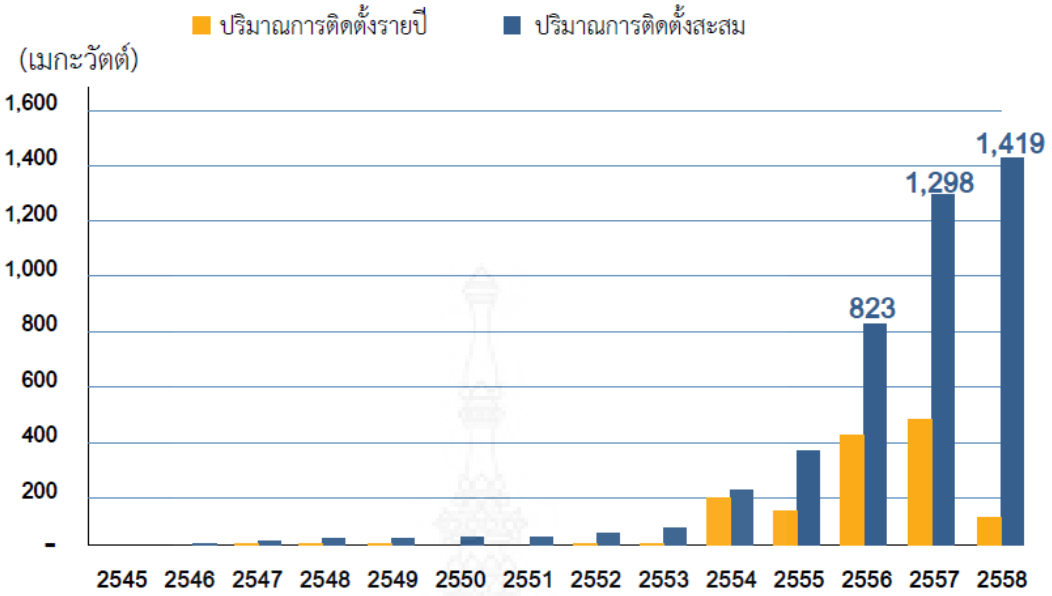
2.3.1 การใช้งานระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์

การเติบโตอย่างรวดเร็วของระบบผลิตไฟฟ้าไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยที่เราเห็นในปัจจุบันนั้น มีจุดเริ่มต้นมานานกว่า 20 ปีเป็นการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระใช้งานในพื้นที่ห่างไกล เพื่อเป็นแหล่งไฟฟ้าให้แสงสว่างในครัวเรือน การสูบน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค และการเกษตร กิจกรรมในโรงเรียนเพื่อการศึกษา รวมถึงการประจุแบตเตอรี่เพื่อเป็นแหล่งสำรองพลังงาน โดยมีปริมาณการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ 30 เมกะวัตต์สูงสุดและแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย20 เมกะวัตต์สูงสุดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นที่รู้จักแพร่หลายและเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วจากการผลิตไฟฟ้าขายให้แก่การไฟฟ้าทั้งการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดินหรือที่เรียกว่า โซลาร์ฟาร์ม และที่ติดตั้งบนหลังคาหรือที่เรียกว่า โซลาร์รูฟท็อป เนื่องจากราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างมากและราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่จูงใจ ซึ่งเป็นมาตรการส่งเสริมของภาครัฐ พ.ศ. 2557

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งพื้นดินมีปริมาณสูงกว่าที่ติดตั้งบนหลังคา และมีแนวโน้มที่จะเติบโตเพิ่มขึ้นตามมติของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ.2557 ในการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.3.2 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์

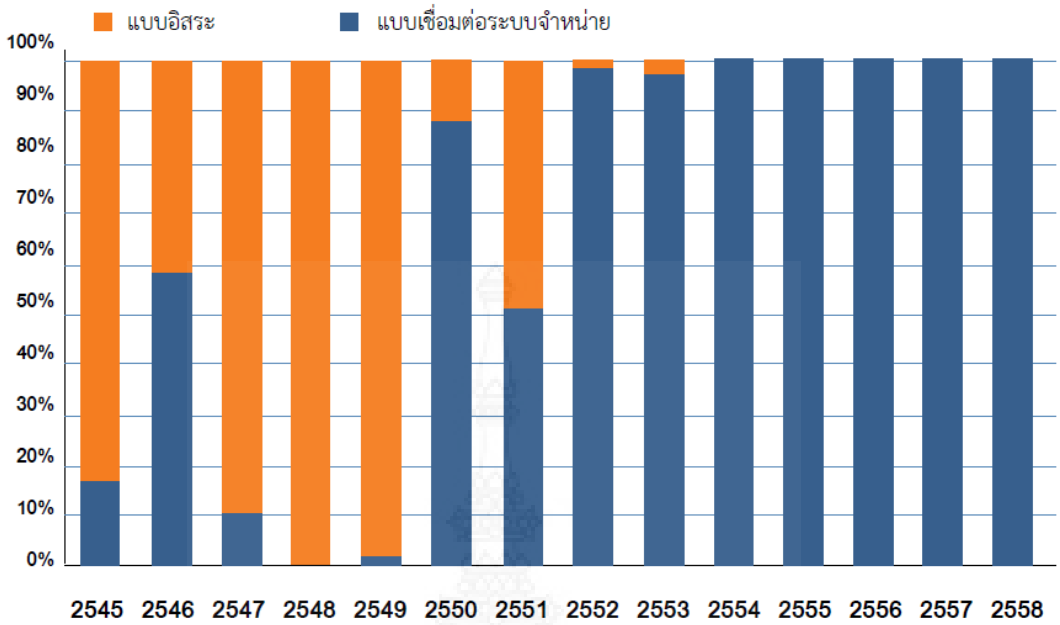
ปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 35,668 เมกะวัตต์ และมีกำลังการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สะสม 1,298 เมกะวัตต์สูงสุด ในปีเดียวกันมีปริมาณการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าของพลังงานทดแทน 706 เมกะวัตต์ คิดเป็น 12 เปอร์เซ็นต์ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์พลังงานลม พลังงานน้ำชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะมูลฝอยชุมชน โดยที่การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลมีปริมาณสูงสุด รองลงมาคือ พลังงานแสงอาทิตย์ และก๊าซชีวภาพ ตามลำดับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่ายมีปริมาณการติดตั้งสะสม 1,269 เมกะวัตต์สูงสุดโดยที่รวมการติดตั้งบนพื้นดินและที่ติดตั้งบนหลังคา ส่วนการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระมีปริมาณติดตั้งสะสม 29 เมกะวัตต์สูงสุด ดังภาพ 2.4



ภาพ 2.4 กำลังการผลิตติดตั้งสะสมและติดตั้งรายปีของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยปี พ.ศ. 2545-2558

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รายปีพ.ศ. 2557 เป็น 475 เมกะวัตต์สูงสุด ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับปีที่ผ่านมา ในปี พ.ศ. 2558 ปริมาณการติดตั้งสะสมของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่ายเป็น 1,389 เมกะวัตต์สูงสุด และการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ 30 เมกะวัตต์ในปีเดียวกัน นโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศไทยถูกกำหนดเป้าหมายใหม่สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเพิ่มจาก 3,000 เมกะวัตต์สูงสุดเป็น 3,800 เมกะวัตต์สูงสุด สอดคล้องกับการปริมาณข้อเสนอโครงการที่ยื่นไว้เดิมในมาตรการ ADDER ทั้งนี้การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558 มีปริมาณเพิ่มขึ้นสนองตอบ 12 ตามนโยบายส่งเสริมของภาครัฐ ดังภาพ 2.5



ภาพ 2.5 สัดส่วนแบ่งตามประเภทการใช้งานของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545 – 2558

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

2.3.3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่าย

ผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 10-90 เมกะวัตต์ ซึ่งบริษัท พัฒนาพลังงานธรรมชาติ จำกัดเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รายแรกที่ขายไฟฟ้าให้แก่ กฟผ. เมื่อเดือนธันวาคม 2554 กำลังผลิตติดตั้งที่ 55 เมกะวัตต์สูงสุด ต่อมาบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ขายไฟฟ้าให้แก่ กฟผ. ในเดือน กรกฎาคม 2555 กำลังการผลิตติดตั้ง 30 เมกะวัตต์สูงสุด ซึ่งในปี พ.ศ. 2558 มีการเปลี่ยนแปลงโครงการบริหารและเปลี่ยนเป็นบริษัท บางจากโซลาร์เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด เป็นบริษัทย่อยของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ในเดือนธันวาคม 2556 บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (นครสวรรค์) ขายไฟฟ้าให้แก่ กฟผ. มีกำลังการผลิตติดตั้ง 126 เมกะวัตต์สูงสุด ทั้งนี้จากการอัพเดทข้อมูลกำลังการผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าบริษัทพัฒนาพลังงานธรรมชาติ จำกัด และ บริษัท บางจากโซลาร์เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด เพิ่มกำลังการผลิตติดตั้งเป็น 73.16 เมกะวัตต์ และ 35.64 เมกะวัตต์ ตามลำดับปี พ.ศ. 2558 ในเดือนมกราคม บริษัท เสริมสร้างพลังงาน จำกัด ขายไฟฟ้าให้แก่ กฟผ. มีกำลังการผลิตติดตั้ง 52 เมกะวัตต์สูงสุด และในเดือนกุมภาพันธ์ บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (ลำปาง) ขายไฟฟ้าให้แก่ กฟผ. มีกำลังการผลิตติดตั้ง 128.39 เมกะวัตต์สูงสุด ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.1 แสดงการผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2555-2557

ปี พ.ศ.	ผู้ผลิตรายเล็ก (SPP)	ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (VSPP)	รวม (กิกะวัตต์-ชั่วโมง)
2555	120.37	319.48	439.85
2556	161.37	781.60	942.97
2557	368.33	1,560.33	1,928.66
รวม	650.07	2,661.41	3,311.48

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

2.3.4 ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP)

ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 10-90 เมกะวัตต์ ซึ่งบริษัท พัฒนาพลังงานธรรมชาติ จำกัดเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รายแรกที่ขายไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) เมื่อเดือนธันวาคม 2554 กำลังผลิตติดตั้งที่ 55 เมกะวัตต์สูงสุด ต่อมาบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ขายไฟฟ้าให้แก่ กฟผ. ในเดือนกรกฎาคม 2555 กำลังการผลิตติดตั้ง 30 เมกะวัตต์สูงสุด ซึ่งในปี พ.ศ. 2558 มีการเปลี่ยนแปลงโครงการบริหารและเปลี่ยนเป็นบริษัท บางจากโซลาร์เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด เป็นบริษัทย่อยของบริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)ในเดือนธันวาคม 2556 บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (นครสวรรค์) ขายไฟฟ้าให้แก่ กฟผ. มีกำลังการผลิตติดตั้ง 126 เมกะวัตต์สูงสุด ทั้งนี้จากการอัพเดทข้อมูลกำลังการผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า บริษัท พัฒนาพลังงานธรรมชาติ จำกัด และ บริษัท บางจากโซลาร์เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด เพิ่มกำลังการผลิตติดตั้งเป็น 73.16 เมกะวัตต์ และ 35.64 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ปี พ.ศ. 2558 ในเดือนมกราคม บริษัท เสริมสร้างพลังงาน จำกัด ขายไฟฟ้าให้แก่ กฟผ. มีกำลังการผลิตติดตั้ง 52 เมกะวัตต์สูงสุด และในเดือนกุมภาพันธ์ บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (ลำปาง) ขายไฟฟ้าให้แก่ กฟผ. มีกำลังการผลิตติดตั้ง 128.39 เมกะวัตต์สูงสุด ตาราง 2.2 แสดงการผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กจากพลังงานแสงอาทิตย์ใน พ.ศ. 2555 – 2557

ตาราง 2.2 ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) สำหรับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นดิน

บริษัท	จัดหวัดที่ตั้ง	กำลังการติดตั้ง (เมกะวัตต์)	สถานะ
บริษัท พัฒนาพลังงานธรรมชาติ	ลพบุรี	73.16	ขายไฟฟ้า ธ.ค. 2554
บริษัท บางจากโซลาร์เอ็นเนอร์ยี่	อยุธยา	35.64	ขายไฟฟ้า ก.ค. 2555
บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด	นครสวรรค์	126.12	ขายไฟฟ้า ธ.ค. 2556
บริษัท เสริมสร้างพลังงาน จำกัด	ลพบุรี	52.00	ขายไฟฟ้า ม.ค. 2558
บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด	ลำปาง	128.39	ขายไฟฟ้า ก.พ. 2558
รวม		415.31	

ที่มา : นางกุลวรีย์ และคณะ (2558)

2.3.5 ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (VSPP)

ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (VSPP) มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ และขายไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยใน พ.ศ. 2557 มีกำลังการผลิตติดตั้งทั้งสิ้น 965.80 เมกะวัตต์สูงสุด (จำนวน 242 โครงการ)คิดเป็น 80.5% ของกำลังการผลิตติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ตาราง 2.3 แสดงรายการผู้ประกอบการ

ตาราง 2.3 การเปรียบเทียบผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (VSPP) สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 10 อันดับแรกใน พ.ศ. 2556 – 2557

ผู้ประกอบกิจการ	ลำดับและการเปลี่ยนแปลง	ปี พ.ศ. 2557		ปี พ.ศ. 2556	
		กำลังการติดตั้ง (MWp)	จำนวน (โครงการ)	กำลังการติดตั้ง (MWp)	จำนวน (โครงการ)
บริษัท โซลาร์ เพาเวอร์ จำกัด	1 (1)*	129.48	23	228.91	36
บริษัท บางจากโซลาร์เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด	2 (4)	32	4	124.78	10

ตาราง 2.3 การเปรียบเทียบผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (VSPP) สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 10 อันดับแรกใน พ.ศ. 2556 – 2557 (ต่อ)

ผู้ประกอบกิจการ	ลำดับและการเปลี่ยนแปลง	ปี พ.ศ. 2557		ปี พ.ศ. 2556	
		กำลังการติดตั้ง (MWp)	จำนวน (โครงการ)	กำลังการติดตั้ง (MWp)	จำนวน (โครงการ)
บริษัท ไทย โซลาร์ เอ็นเนอรี่ จำกัด (มหาชน)	3 (2)	40	5	91.16	10
บริษัท เอ็กโก เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ เซอร์วิส จำกัด	4 (6)	30	4	72.40	6
บริษัท กันกุลเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน)	5 (5)	30.90	6	61.70	10
บริษัท โซลาร์ต้า จำกัด	6 (3)	35	8	35.22	8
บริษัท บางกอกโซลาร์ พาวเวอร์ จำกัด	7 (7)	27.25	12	33.38	13
บริษัท ไทย ฟิวเจอร์ เอ็นเนอร์ยี จำกัด	8 (-)	-	-	30.23	6
บริษัท โรจนะ เอ็นเนอร์จี จำกัด	9 (-)	-	-	28.62	3
บริษัท สยามโซลาร์ เจนเนอเรชั่น จำกัด	10 (9)	22.5	9	26.06	9
รวมทั้งสิ้น				**732.46**	**111**

ที่มา : นางกุลวรีย์ และคณะ (2558)

2.3.6 งานวิจัยและพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

งานวิจัย พัฒนา และสาธิตเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทยเริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ.2518 การทำวิจัยและพัฒนาเพื่อประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์โดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันเทคโนโยยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ต่อมาการวิจัยพัฒนาและสาธิตการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการสูบน้ำและประจุแบตเตอรี่รวมถึงการผลิตไฟฟ้าเพื่อสนับสนุนการศึกษาในโรงเรียนในพื้นที่ห่างไกลรวมถึงเพื่อการสื่อสารและการสาธารณสุขงานวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทยแบ่งได้ 4 กลุ่ม ดังนี้ (1) เซลล์แสงอาทิตย์และวัสดุที่เกี่ยวข้อง(2) อุปกรณ์ในระบบที่เกี่ยวข้อง คือ อินเวอร์เตอร์ และเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (3) การใช้งานระบบ

ผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ และ (4) นโยบายส่งเสริมด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ดังรายละเอียดในตาราง 2.4

ตาราง 2.4 งานวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

กลุ่มงานวิจัยและพัฒนา	**หน่วยงาน**
เซลล์แสงอาทิตย์และวัสดุที่เกี่ยวข้อง	
- ซิลิคอน	บริษัท จี.เอส.เอ็นเนอร์จี จำกัด และ บริษัท ชีก้า นิวแมททีเรียลส์ จำกัด
- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนแบบรอยต่อหลายชั้น	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัลซิลิคอนและบนไมโครคริสตัสไลน์ซิลิคอน	สวทช.
- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์อินเดียมแกลเลี่ยมซิลิไนต์ (CIGS)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (จุฬาฯ)
- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์ และสีย้อม	จุฬาฯ มข. ม.อุบล. มอ. มจพ. และ มจส.
- เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอรอฟสไกด์	สวทช. และ ม.สุรนารี
อุปกรณ์ในระบบ	
- อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อระบบจำหน่าย	บริษัท ลีโอนิกส์ จำกัด และ บริษัท ไทยตาบูชิอีเล็กทริค จำกัด
- อินเวอร์เตอร์แบบอิสระ	บริษัท ลีโอนิกส์ จำกัด
การใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์	
- สาธิตใช้งานและประเมินประสิทธิภาพ	สวทช. มจธ. จุฬาฯ มน. มทร. ล้านนา มทร . ธัญบุรี ม.พะเยา ม.ราชภัฏเชียงใหม่ กฟผ. และ ปตท.
นโยบายและมาตรการส่งเสริม	
- Solar PV roadmap	จุฬาฯ

ที่มา : สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

การวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยถูกจัดแบ่งไปตามเป้าหมายของแต่ละองค์กร ภาคเอกชนดำเนิน การเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และเพิ่มประสิทธิภาพของผลการผลิตทั้งเซลล์แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ รวมถึงระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนหน่วยงานวิจัยในภาครัฐมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ และนำไปใช้ประโยชน์ด้านการพัฒนาและแก้ไขปัญหาให้แก่ส่วนรวมในระดับอุตสาหกรรมและระดับชุมชนในปี พ.ศ. 2558 สกว. ให้ความสนใจงานวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ให้สอดคล้องไปกับการเติบโตและยกระดับอุตสาหกรรมของประเทศ ซึ่งให้การสนับสนุนเงินทุนเพื่อการวิจัยภายใต้ความร่วมมือ กฟผ.-สกว. ทิศทางงานวิจัย พัฒนา และสาธิตที่ได้รับความสนใจในช่วง 3-4 ปีนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในทุกๆ มิติ ได้แก่ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมการประเมินประสิทธิภาพระบบ ผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การติดตามการทำงานในระยะยาวและการเสื่อมสภาพ เป็นต้น ดังแสดงในตาราง 2.5

ตาราง 2.5 งานวิจัยด้านการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

กลุ่มงาน/ประเภทงาน	**หน่วยงาน**
Environmental effects	มน. สวทช. และจุฬาฯ
Evaluation of off-grid system	พพ.
Impact of PV penetration	จุฬาฯ กฟผ. กฟภ. และ มจธ.
Improving the PV performance	มจธ. และ สวทช.
Long term monitoring	สวทช. และ มจธ.
Loss analysis	สวทช.
PV floating plant	กฟผ. และ มจธ.
PV sysems monitoring and evaluation	มน. พพ. มจธ. สวทช. และ ปตท.
Smart grid, smart mini grid	กฟภ. มน. สวทช. มจธ. ม.พะเยา และ กฟผ.
Tracking system	มน. และ กฟผ.

ที่มา : สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

2.4 วิเคราะห์การส่งเสริมการลงทุนด้านการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การส่งเสริมการลงทุนในอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งประเภท Solar Farm และ Solar Rooftop สะสมถึงปี 2557 มีจำนวนโครงการที่ได้รับอนุมัติการส่งเสริมทั้งสิ้น 360 โครงการ กำลังผลิตรวม 1,379.9 MW เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น 143,671 ล้านบาท ประกอบด้วย (1) Solar Farm จำนวน 221 โครงการ กำลังผลิตรวม 1,302.9 MW เงินลงทุน 139,556 ล้านบาท (2) Solar Rooftop จำนวน 138 โครงการ กำลังผลิตรวม 76.0 MW เงินลงทุน 4,115 ล้านบาท ดังตาราง 2.6

ตาราง 2.6 การส่งเสริมการลงทุนในกิจการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ปี พ.ศ.	โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์			การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคา		
	จำนวนโครงการ	กำลังการผลิต (เมกะวัตต์)	เงินลงทุน (ล้านบาท)	จำนวนโครงการ	กำลังการผลิต (เมกะวัตต์)	เงินลงทุน (ล้านบาท)
สะสมถึง 2554	107	541.4	63,742	-	-	-
2555	78	621.5	57,073	-	-	-
2556	35	139.0	18,661	10	6.2	62
2557	1	1.0	80	129	70.8	4,053
รวมทั้งสิ้น	221	1,302.9	139,556	139	77.0	4,115

ที่มา: สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

โครงการส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของภาครัฐที่ยังดำเนินต่อเนื่องมีดังนี้

(1) การรับซื้อไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคา ระยะที่ 2 เพื่อให้ครบ 100 MW สำหรับบ้านอยู่อาศัยขนาดระบบไม่เกิน 10 kW

(2) การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งบนพื้นดินสำหรับผู้ที่ยื่นความประสงค์ไว้เดิมมาตรการ ADDER (สิ้นสุดมาตรการ ADDER ใน พ.ศ. 2556)

(3) การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับหน่วยงาน

ราชการและสหกรณ์การเกษตรเปลี่ยนจากโครงการพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อ ชุมชน 800 เมกะวัตต์ ตาราง 2.7 แสดงอัตราการรับซื้อไฟฟ้าอัตราคงที่ Feed-in-Tariff (FiT) นอกจากนี้มี

โครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เอง (self-consumption) สำหรับหน่วยงานการศึกษาและหน่วยงานเพื่อความมั่นคง รวมถึงโครงการส่งเสริมการติดตั้งโซล่ารูฟท็อปเสรีซึ่งอยู่ระหว่างการกำหนดรายละเอียดของการปฏิบัติงาน

ตาราง 2.7 อัตราการรับไฟฟ้าอัตราคงที่ Feed-in-Tariff (FiT)

ลักษณะระบบฯ	กำลังผลิตติดตั้ง	อัตราการับซื้อ (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)		เงื่อนไข	
		พ.ศ. 2556	พ.ศ. 2557 - 2558	Capacity Factor* (%)	ระยะเวลา (ปี)
ติดตั้งบนพื้นดิน	≤ 10 MWP	ยังไม่มี FiT	5.66	16	25
ติดตั้งบนหลังคาบ้านอยู่อาศัย	≤ 10 -250 kWp	6.96	9.85		
ธุรกิจขนาดเล็ก - กลาง	>10 - 250 kWp	6.55	6.40	14.84	25
ธุรกิจขนาดใหญ่ - โรงงาน	>250-1000 kWp	6.16	6.01		

ที่มา : สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558)

2.5 เครื่องมือทดสอบการติดตั้งและบำรุงรักษา สถานีไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

บริษัท เมเชอร์โทรนิกซ์ จำกัด มีเครื่องมือวัดและตรวจสอบเพื่อการติดตั้งและซ่อมบำรุงสถานีระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์และพลังงานลม ที่ครอบคลุมทุกส่วนประกอบและทุกขั้นตอนทำงาน เพื่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดและความต่อเนื่องในการจ่ายไฟฟ้า การแก้ไขปัญหาต่างๆ และการพัฒนาการใช้พลังจากแสงอาทิตย์และพลังงานลมในประเทศไทย SEAWARD เป็นผู้ผลิตเครื่องมือทดสอบที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยทางไฟฟ้า (Electrical Safety) ของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านมายาวนาน อีกทั้ง SEAWARD ยังให้ความสำคัญกับการป้องกันอุบัติเหตุและหายนะที่อาจเกิดขึ้นกับสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จึงได้พัฒนาเครื่องมือวัดที่ใช้ทดสอบครอบคลุมเนื้อหาสำคัญใช้เครื่องมือเพียงน้อยชิ้น ก็สามารถครอบคลุมการทดสอบได้อย่างครบถ้วน ตามมาตรฐาน IEC62446, MCS MIS 3002 เป็นต้น ดังนี้

1. Solar PV150 PV Installation Test Kit เป็นชุดเครื่องมือตรวจสอบการติดตั้งชุดเครื่องมือตรวจสอบการติดตั้ง Solar PV150 ใช้สำหรับทดสอบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้งานง่าย มีความปลอดภัยสูง เพียงเชื่อมต่อโดยตรงเข้ากับระบบก็สามารถตรวจสอบแรงดันวงจรเปิด, กระแสสูงสุดเมื่อลัดวงจร และความต้านทานฉนวน ได้ทันทีด้วยปุ่มกดเดียว เครื่องมือทดสอบการติดตั้ง PV150 Solar Installation Test Kit ประกอบไปด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้ เครื่องทดสอบการติดตั้ง (PV150 Solar Installation Tester) โพรบวัดกระแส (AC/DC Current Clamp) เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Survey 200R) อุปกรณ์ประกอบ เช่น Probe & Cable connector with MC3 or MC4, ดังภาพ 2.6

ภาพ 2.6 แสดงเครื่องมือทดสอบการติดตั้ง PV150 Solar Installation Test Kit
ที่มา : http://www.measuretronix.com/en/content, 12 มกราคม 2558

2. Amprobe SOLA-500 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งและตรวจสอบเซลล์แสงอาทิตย์ มีเครื่องมือเพิ่มเติมสำหรับงานตรวจสอบและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า การเลือกจุดติดตั้งที่ได้รับแสงอาทิตย์สูงสุด และการตรวจสอบประสิทธิภาพการเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ และเป็นเครื่องวิเคราะห์ระดับมืออาชีพที่ช่วยท่านติดตั้ง ทดสอบ ค้นหาที่มาของปัญหา และบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในระหว่างติดตั้งจะช่วยพิจารณาขนาดของอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมกับขนาดกำลังเอาต์พุตของแผงพลังแสงอาทิตย์ วัดประสิทธิภาพของเซลล์แต่ละเซลล์เพื่อแยกเซลล์ที่มีปัญหาออก เครื่องมือวัดจะแสดงกราฟส่วนโค้ง I-V เพื่อทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ค้นหากำลังสูงสุดของเซลล์ (Pmax) โดยการสแกนแบบอัตโนมัติ (60V, 6A) วัดแรงดันสูงสุด (Vmaxp) ที่ Pmax วัดกระแสสูงสุด (Imaxp) ที่ Pmax แรงดันเมื่อเปิดวงจร (Vopen) กระแสเมื่อลัดวงจร

(Ishort) แสดงกราฟ I-V พร้อมเคอร์เซอร์คำณวนประสิทธิภาพของเซล (%) วัดทีละจุดแบบปรับตั้งเองได้รุ่นใหม่ Solar-600 ทำ Real-time Data Logging ดาวน์โหลดข้อมูลไปยัง PC ได้ ดังภาพ 2.7

ภาพ 2.7 เครื่องมือวัด Amprobe SOLA-500
ที่มา : http://www.measuretronix.com/products/solar-500-solar-600-เครื่องวิเคราะห์พลังแสงอาทิตย์, 12 มกราคม 2558

เครื่องมือทั้งสองดังกล่าวมาสามารถทดสอบประสิทธิภาพการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62446, BS EN 62446, EN 62446 ครอบคลุมทั้ง 4 ขั้นตอน คือ

1. Solar Site-Survey ตรวจสอบพลังงานที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
2. Commissioning Test ตรวจสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพของระบบ เช่น Earth Continuity, Polarity, PV String Open Circuit, PV String Short Circuit, Array Installation Resistance, PV String Operation Current
3. System Document บันทึกข้อมูล รวมทั้งการจัดการด้านข้อมูล
4. Performance Maintenance & Diagnostics การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบในระยะยาว รวมทั้งการบำรุงรักษาตามเวลา

2.5.1 เก็บบันทึกข้อมูลการวัดต่อเนื่อง (Data Logging)

เป็นการบันทึกข้อมูลระหว่างการทดสอบสถานีไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ต่างๆ จากเครื่อง Solar Servey 200R ไปยังตัวเครื่องทดสอบ PV150 Solar Tester ผ่านการสื่อสารแบบไร้สาย SolarLink โดยแสดงค่าที่จอเครื่องทดสอบและบันทึกข้อมูลเมื่อกด SAVE Data Logging ค่า

ทดสอบของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่บันทึกในเครื่อง PV150 ช่วยลดงานการจดบันทึกข้อมูลที่หน้างาน และสามารถส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB และโปรแกรม SolarCert Element เป็นการบันทึกข้อมูลระหว่างการทดสอบสถานีไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ต่างๆ จากเครื่อง Solar Servey 200R ไปยังตัวเครื่องทดสอบ PV150 Solar Tester ผ่านการสื่อสารแบบไร้สาย SolarLink โดยแสดงค่าที่จอเครื่องทดสอบและบันทึกข้อมูลเมื่อกด SAVE ค่าทดสอบของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่บันทึกในเครื่อง PV150 ช่วยลดงานการจดบันทึกข้อมูลที่หน้างาน และสามารถส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านสาย USB และโปรแกรม SolarCert Element

2.5.2 การรายงานผลการทดสอบ

เครื่องทดสอบการติดตั้ง PV150 Solar Installation Tester สามารถทำรายงานผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Solar Cert Element โดยค่าต่างๆ จะถูกดาวน์โหลดจากตัวเครื่องทดสอบผ่านสาย USB เข้าสู่คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Solar Cert Element รายงานที่ได้จะเป็นไปตามความต้องการของ IEC62446, MCS MIS3002 ยกตัวอย่างเครื่องทดสอบการติดตั้ง PV150 Solar Installation Test Kit สามารถทำการวัดและทดสอบหัวข้อต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. Polarity Test เป็นการทดสอบการต่อเชื่อมของระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Connection) ต่อถูกต้องหรือไม่ ควรทำการทดสอบนี้ตอนติดตั้ง ก่อนที่จะทำการทดสอบในหัวข้ออื่นๆ ต่อไป

2. Earth/Ground Continuity เป็นการตรวจสอบการต่อเชื่อมของระบบกราวด์ของระบบว่าต่ออยู่และสมบูรณ์หรือไม่ เป็นการป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ดูแลระบบและอุบัติเหตุอื่นๆ

3. Array Insulation Resistance เป็นการทดสอบฉนวนที่เป็นโครงสร้างของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Panel) เมื่อผ่านการใช้งานไปนานๆ ก็อาจจะเสื่อมสภาพจากผลกระทบของ ระดับอุณหภูมิ แสงแดด ฝนตก ความร้อน ความชื้น การกระแทก หรือฟ้าผ่า

4. PV String Open Circuit Voltage เป็นการทดสอบและตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage) ที่ผลิตออกมาจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Panel) ว่าทำงานปกติหรือไม่

5. PV String Short Circuit Current เป็นการทดสอบและตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) ที่ผลิตออกมาจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Panel) ว่าทำงานปกติหรือไม่

6. PV String Operation Current เป็นการทดสอบและตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) ที่ผลิตออกมาจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Panel) ที่รวมเป็นหน่วยย่อยๆ (String)

2.5.3 เพื่อการค้นหาตำแหน่งติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือมิเตอร์วัดกำลังงานแสง

หากต้องการค้นหาตำแหน่งที่จะติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุด SOLAR-100 ช่วยท่านได้ นอกจากจะคำนวณพลังงานและประสิทธิภาพโดยรวมแล้ว ยังวิเคราะห์ช่องแสงที่ผ่านให้กับแผงแสงอาทิตย์ด้วย โดยการคำนวณและตรวจสอบค่าความร้อน หรือค่าการลดความร้อนของแสงอาทิตย์ที่ได้รับ แล้วแสดงค่าการทำงานที่เหมาะสมของกราฟ PV ดังภาพ 2.8

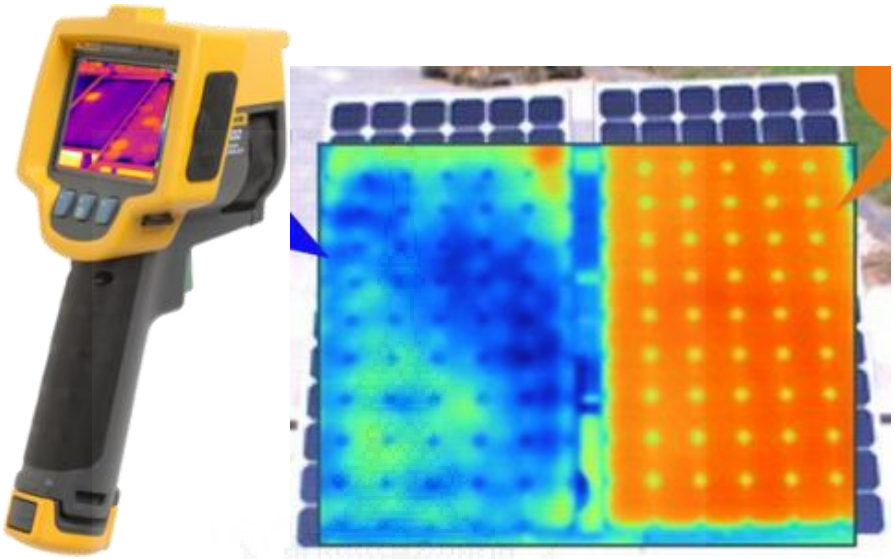
ภาพ 2.8 วัดค่ากำลังแสงอาทิตย์ ด้วย SOLAR-100
ที่มา: http://www.measuretronix.com/products/solar-100, 12 มกราคม 2558

วัดค่ากำลังแสงอาทิตย์และการส่งผ่านได้สูงสุดถึง 2000W/m2, 634BTU/(ft2xh) มีโหมดการวัดกำลัง ให้ค่ากำลังต่อหน่วยพื้นที่ของการกระจายแสงอาทิตย์ในโหมดของการวัดการส่งผ่านจะคำนวณค่าเปอร์เซนต์ของส่งผ่านกำลังแสงอาทิตย์ผ่านช่องแสงที่ทำจากวัสดุต่างๆอ่านค่าสะดวกด้วยเซนเซอร์ที่แยกจากส่วนแสดงผลเลือกหน่วยการวัดได้ W/m2 หรือ BTU/(ft2xh) บันทึกค่าต่ำสุด/สูงสุด เพื่อกำหนดตำแหน่งที่ให้ค่าพลังงานสูงสุดได้

2.5.4 เครื่องมืออื่นๆ เพื่องานติดตั้งและซ่อมบำรุงระบบโซล่าร์เซลล์

การทดสอบส่วนที่เป็นแผงโซลาร์เซลล์ในระดับแผงย่อยๆ (PV Array) หรือระดับ String ในแต่ละ terminal box ต้องทำการทดสอบแล้ว ยังมีเครื่องมืออื่นๆ ที่สามารถสนับสนุนการวัดและทดสอบเพิ่มเติมดังต่อไปนี้ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Imaging)เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดอุณหภูมิของแผง PV Array เป็นภาพความร้อน ซึ่งสามารถตรวจสอบค่าอุณหภูมิทั่วทั้งแผ่นของ PV Array ได้ภายในการตรวจวัดภายในครั้งเดียว ซึ่งง่าย สะดวก และรวดเร็ว ทำให้ผู้ตรวจวัดสามารถตรวจสอบแผ่น PV Array ที่มีจำนวนมาก ทำงานสำเร็จลุล่วงด้วยเวลาอันสั้น

สามารถเก็บภาพความร้อนไว้ในหน่วยความจำภายในตัวเครื่องได้ และสามารถนำข้อมูลกลับมาวิเคราะห์ได้ในภายหลัง ดังภาพ 2.9



ภาพ 2.9 Fluke Ti27 Thermal Image
ที่มา: http://www.measuretronix.com/content/fluke, 12 มกราคม 2558

จากภาพ 2.9 วัดค่าอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ ตรวจหาจุดเสื่อมของแผง วัดได้จากระยะไกลรวดเร็ว และปลอดภัยข้อได้เปรียบของการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้นก็คือ เราสามารถมองเห็นการกระจายความร้อนพร้อมทั้งค่าอุณหภูมิของทุกจุดบนแผงโซล่าร์เซลล์ได้พร้อมกันในครั้งเดียว ทำให้เห็นความผิดปกติได้ในทันที อีกทั้งมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไม่ต้องสัมผัส หรือแม้แต่เข้าใกล้แผงโซล่าเซลล์ในระยะประชิด

2.6 การตรวจสอบและบำรุงรักษา สถานีไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

การบำรุงรักษา (Maintenance) ที่จะกล่าวนี้เป็นการดูแลรักษาระบบ PVs เพื่อสามารถผลิตไฟฟ้าได้ยาวนานเท่าที่เป็นไปได้ เมื่อเทียบค่าบำรุงรักษากับระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเรือนด้วยวิธีอื่นๆ เช่น เครื่องปั่นไฟโดยใช้น้ำมันดีเซล เป็นต้น ถือว่าค่าบำรุงรักษาระบบโซล่าเซลล์นี้มีราคาที่ถูกกว่ามาก โดยทั่วไปจะมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์หลัก ๆ ของระบบ PVs ได้แก่

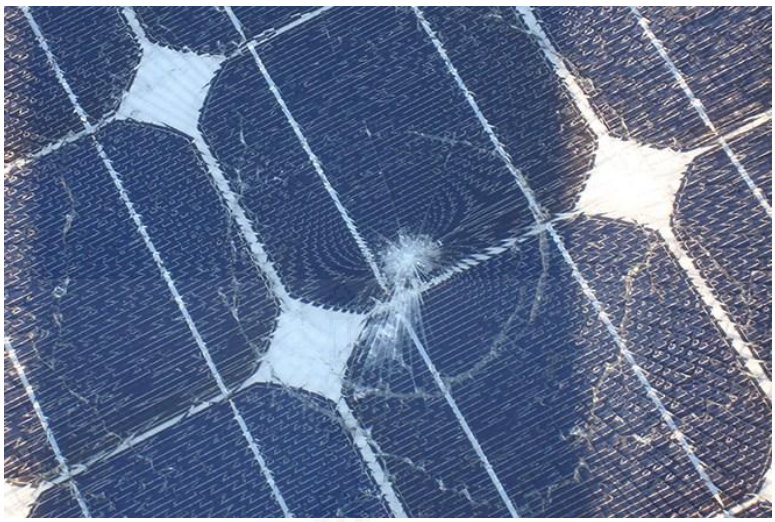
2.6.1 การบำรุงรักษาแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Panels)

อย่างที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าแผงพลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นหัวใจสำคัญในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ฉะนั้นผู้ใช้งานควรมีการตรวจสอบดูแลและบำรุงรักษาแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนี้

ทำความสะอาดคราบสกปรกและฝุ่นที่เกาะบนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการล้างด้วยน้ำสะอาดและเช็ดคราบสกปรกออก บางครั้งคราบสกปรกจะเป็นพวกยางหรือมูลนกให้ใช้น้ำเย็นทำล้างและขัดด้วยฟองน้ำ ข้อควรระวังในการทำความสะอาดแผงพลังงานแสงอาทิตย์คือ ห้ามใช้แปรงที่มีขนเป็นโลหะทำความสะอาดผิวของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ผงซักฟองก็ไม่ควรใช้ในการทำความสะอาดเพราะอุปกรณ์และน้ำยาทำความสะอาดดังกล่าวจะทำให้เกิดรอยที่ผิวแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังภาพ 2.10

ภาพ 2.10 ผิวแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควรมีการตรวจสอบตลอดเวลา
ที่มา: https: //fbcdn-photos-b-a.akamaihd.net, 12 มกราคม 2558

ตรวจสอบดูสภาพแผงพลังงานแสงอาทิตย์ว่ายังมีสภาพที่สมบูรณ์หรือไม่ เช่น รอยร้า, รอยแตก, รอยฝ้าบริเวณผิว, มีรอยรั่วของน้ำภายในผิวแผงพลังงานแสงอาทิตย์ และ สีของแผงเปลี่ยน เป็นต้นให้มีการจดบันทึกและสังเกตการณ์สิ่งผิดปรกติต่างๆ ถ้าประสิทธิภาพลดลง อาจจะมีการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีปัญหาดังกล่าวดังภาพ 2.11



ภาพ 2.11 ผิวแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ควรมีการตรวจสอบตลอดเวลา
ที่มา : http://essgllc.com, 12 มกราคม 2558

จากภาพ 2.11 ควรตรวจสอบอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานเสมอ หากมีข้อผิดพลาดให้ทำการแก้ไขให้เร็วที่สุด

2.6.2 การบำรุงรักษาตัวแปลงกระแสไฟฟ้าและระบบควบคุมต่างๆ

ระบบแปลงกระแสไฟฟ้าและระบบควบคุมต่างๆ ควรมีสภาพสะอาดปราศจากฝุ่นเกาะสะสม ฉะนั้นควรใช้ผ้าแห้งเช็คทำความสะอาดฝุ่นที่เกาะอุปกรณ์เหล่านี้ และใช้ไฟฉาย LED ส่องดูในช่องที่ตรวจสอบได้ยากเช่น รอยต่อต่างๆ ภายในอุปกรณ์ว่าอยู่ในสภาพสมบูรณ์หรือไม่ หากมีสภาพไม่พร้อมใช้งานหรือชำรุด เช่น สายไฟมีการหลุดออกมา ถ้าตรวจพบให้ทำการแก้ไขให้เร็วที่สุด นอกจากนี้ต้องตรวจสอบกล่องที่ครอบอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ นี้ต้องไม่มีแมลงหรือหนูมาทำรัง หากมีให้กำจัดทิ้งเพื่อป้องกันแมลงและหนูมาทำให้ระบบมีปัญหา

2.6.3 การบำรุงรักษาระบบสายไฟและระบบเชื่อมต่อต่างๆ

การตรวจสอบระบบสายไฟและระบบเชื่อมต่อต่างๆ นั้นควรตรวจสอบว่าอุปกรณ์ดังกล่าวมีสภาพบ่งบอกถึงความไม่สมบูรณ์หรือชำรุดหรือไม่ เช่น รอยร้าว รอยแตก ความเสื่อมสภาพของฉนวนและท่อ รอยกัดกร่อนต่างๆ รอยไหม้ การเกิดประกายไฟตอนสับสวิตช์ไฟ สภาพของสายดิน เป็นต้น หากเกิดปัญหาดังกล่าวให้แจ้งผู้ที่มาติดตั้งมาซ่อมบำรุงให้เร็วที่สุดเท่าที่ทำได้

2.6.4 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ใช้ในระบบที่ต้องการสำรองไฟฟ้าเอาไว้ใช้งานนั้น ต้องมีการตรวจสอบสภาพแบตเตอรี่ เช่น ปริมาณสารละลายเล็กโทรไลท์ รอยแตกร้าวบริเวณก้อนแบตเตอรี่ รอยกัดกร่อนบริเวณขั้วแบตเตอรี่ ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ เป็นต้น แบตเตอรี่ที่มีสภาพดีควรสะอาด ไม่มีฝุ่นหรือ

คราบสกปรก และไม่ควรมีรอยกัดกร่อน และการรั่วของสารละลายเล็กโทรไลท์ การเกิดปัญหาที่กล่าวมาให้ทำการซ่อมบำรุงดังนี้

หากปริมาณสารละลายเล็กโทรไลท์น้อยเกินไปให้ทำการเติมสารละลายเข้าไปเพิ่มให้อยู่ในระดับที่ใช้งานปรกติ

การเกิดรอยกัดกร่อนบริเวณขั้วให้ทำความสะอาดซึ่งลักษณะการกัดกร่อนบริเวณขั้วจะเป็นคราบสีขาว โดยปรกติให้ทำความสะอาดเดือนละครั้ง

ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ควรมีการตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ เมื่อมีความผิดปรกติให้ทำการตรวจสอบ ซ่อมบำรุง หรือเปลี่ยนก้อนแบตเตอรี่นั้น

2.6.5 ต้นทุนการติดตั้งระบบและระยะการคืนทุนของระบบ Solar Cell สำหรับบ้านเรือน

ต้นทุนในการติดตั้งระบบ PVs สำหรับบ้านเรือนนี้จะมีต้นทุนรวมๆ อยู่ที่ราวๆ 50 – 200 บาทต่อวัตต์ซึ่งราคาต้นทุนนี้ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตไฟฟ้าของ PVs ที่ติดตั้ง ฉะนั้นระยะเวลาคืนทุนของระบบดังกล่าวจะอยู่ที่ราวๆ 7- 20 ปี ซึ่งระยะเวลาคืนทุนจะขึ้นอยู่หลายปัจจัย เช่น คุณภาพของแสงอาทิตย์, ประสิทธิภาพของระบบ, พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้, การขายไฟฟ้าให้แก่รัฐบาลหรือใช้งานเองภายในบ้าน และ การสนับสนุนด้านการเงินของรัฐบาล เป็นต้น (สุรเชษฐ, 2558)

2.6.6 แผนการดูแลบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผนการดูแลการบำรุงรักษานั้นเป็นสิ่งสำคัญ ที่ไม่ควรละเลย เพราะหากไม่เอาใจใส่แล้วประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าอาจลดลงจากเริ่มต้น โดยเฉพาะแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Panel) ที่ทำหน้าที่ดูดซับพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุด การดูแลระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สามารถดูแลรักษาได้เหมือนกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆทั่วไปในบ้าน เริ่มต้นดังนี้

1. Keep them out of the shade อย่าให้เงามาบดบังดูแลอย่าให้เงาของต้นไม้ บริเวณโดยรอบ มาบดบังแสงอาทิตย์ เพราะหากเงาพาดบนแผง โซล่าร์เซลล์ แค่เพียงบางส่วน จะทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้า ได้ปริมาณลดลงได้มากถึง 25% เลยทีเดียว ฉะนั้นควรตัดแต่งต้นไม้เสียบ้าง ไม่ให้เงามารบกวนการทำงานของระบบโซล่าร์รูฟ

2. Monitor the panels หมั่นสังเกตการทำงานระบบผลิตไฟฟ้าให้สังเกตว่า ไฟสีเขียวติดอยู่หรือไม่ หากติดอยู่ก็แสดงว่า การทำงานปกติ หากไฟกระพริบหรือไม่ติดแสดงว่า มีปัญหา ให้แจ้งช่างมาตรวจสอบ เพียงง่ายๆ แค่นี้ ก็ช่วยให้ระบบผลิตไฟฟ้าให้คุณ ต่อเนื่องได้ทุกๆ วัน

3. Keep a record of your panel's performance day-to-day

จดบันทึกการทำงานย้อนหลัง เก็บเอาไว้บ้าง เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ แม้ว่าอินเวอเตอร์สามารถบันทึกได้ แต่ก็เพียง 6 เดือนย้อนหลังเท่านั้น ปัจจุบันสามารถตรวจสอบการทำงานได้หลายทางเช่น อ่านบันทึกจากตัวเครื่อง หรือ ดาวน์โหลดข้อมูลจากระบบออนไลน์ (หากมี)

4. Keep them clean

คำถามที่ถูกถามบ่อยครั้งว่า ควรทำความสะอาดแผงบ่อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับสถานที่ติดตั้งเป็นสำคัญ ว่าตั้งอยู่ในบริเวณที่มีฝุ่นมาก, มีละอองไอน้ำมัน, ใกล้บริเวณการก่อสร้าง หรือมีฝูงนกอาศัยอยู่มาก อาจจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดบ้างเป็นครั้งคราว เพื่อดูแลให้ระบบทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

5. How to clean your solar panels แล้วทำความสะอาดเพียงใช้ฟองน้ำชุบน้ำยาทำความสะอาดกระจกก็เพียงพอ (ระวังอย่าขัดแรงจนทำให้เกิดรอยขูดขีดบนผิวหน้ากระจก) ล้างตามด้วยน้ำสะอาดแล้วเช็ดให้แห้งสนิท

เจ้าของผลิตภัณฑ์ย่อมต้องการให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงการลดต้นทุนการผลิตและมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตออกมาขายในท้องตลาด จึงต้องเข้าสู่กระบวนการทดสอบคุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามมาตรฐาน มอก. 1843 หรือ IEC61215 (แผงเซลล์ชนิดผลึกซิลิคอน) และ มอก. 2210 หรือ IEC61646 (แผงเซลล์ชนิดฟิล์มบาง) รวมทั้งการทดสอบทางด้านความปลอดภัย กำหนดให้มีการทดสอบคุณสมบัติด้านความปลอดภัยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามมาตรฐาน มอก. 2580 หรือ IEC61730 เพื่อการป้องกันการเกิดอันตราย และผลกระทบต่อบุคคล ทั้งในภาวะระบบปกติและระบบได้รับความเสียหายจากเงื่อนไขต่างๆอายุการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ในช่วง 20-30 ปี ซึ่งจะมีการเสื่อมสภาพทุกๆ ปี จากสภาพแวดล้อม แสงแดด ความร้อน และความชื้น รวมถึงระบบของกระแสและแรงดันไฟฟ้า การเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีปัจจัยจากคุณสมบัติทางวัสดุที่ใช้ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้นตอนการผลิตและการดูแลบำรุงรักษาระบบ จึงมีความสำคัญที่จะควรทราบปัจจัยที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เสื่อมสภาพและวิธีการป้องกันการเสื่อมสภาพการวิเคราะห์ข้อมูลและสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่าย (An Analysis of PV Performance - Grid Tied System)

ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่ายได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ติดตั้งบนหลังคา (Solar Roof Top) ปัจจัยการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม คุณภาพการออกแบบและติดตั้ง อายุการใช้งานระบบ และการดูแลบำรุงรักษาระบบ ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีคุณลักษณะเฉพาะในการผลิตไฟฟ้า ขึ้นกับปัจจัยที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นสมรรถนะของระบบจะทราบได้จากการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจริง ซึ่งมีหลักการและวิธีการคำนวณที่มีพื้นฐานความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ

2.7 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานีไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บริษัท ไทยชูการ์เทอมิเนิ้ล จำกัด (มหาชน)

บริษัท ไทยชูการ์เทอมิเนิ้ล จำกัด (มหาชน) ก่อตั้งขึ้นในปี 2550 ภายใต้ชื่อสามัญนิติบุคคล โรงงานไทยชูการ์เทอมิเนิ้ล เพื่อดำเนินธุรกิจผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์กระสอบใส่อาหาร ซึ่งธุรกิจมีการเจริญเติบมาอย่างต่อเนื่องกับบริษัทเครือข่ายโดยส่งสินค้าตามความต้องการของบริษัทคู่ค้าโดยตลอดมา

บริษัทฯ มีโรงงานตั้งอยู่เลขที่ 90 หมู่ 1 ถนนปู่เจ้าสมิงพราย ตำบลสำโรงกลาง อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ เพื่อผลิตกระสอบใส่แป้งสาลี โดยให้ความสำคัญต่อกระบวนการผลิตตลอดห่วงโซ่การผลิตเป็นอย่างมากในการผลิตภัณฑ์คุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) และมาตรฐานสากลอย่างเช่นระบบคุณภาพ ISO 9001: 2008 และได้รับการรองรับระบบ GMP/HACCP และระบบคุณภาพมาตรฐาน HAL นอกจากนี้ บริษัทฯ ให้ความสำคัญในความรับผิดชอบที่มีต่อสังคม สิ่งแวดล้อม และพลังงานตามนโยบายอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (จป.) นโยบายสิ่งแวดล้อม (EMS) และนโยบายการอนุรักษ์พลังงาน โดยทำการติดตั้งระบบสถานีผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ใช้เองในปี 2558 แบบโซล่ารูฟ กำลังผลิตที่ 100 Kw จากการศึกษาข้อมูลทางการเงินที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่าบริษัทฯ ได้ประสบปัญหาเกี่ยวกับการมีต้นทุนขายที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากการใช้พลังงานและวัตถุดิบที่เพิ่มสูงขึ้น รวมไปถึงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่ลดลง ถึงแม้บริษัทฯ จะให้ความสำคัญและได้ทำการพัฒนาปรับปรุงมาโดยตลอดแล้วก็ตาม ในการทำสถานีไฟฟ้าพลังงานทดแทนในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อ องค์การในการทำสถานีไฟฟ้าพลังงานทดแทนหลังจากนั้นได้ใช้สถานีไฟฟ้าพลังงานทดแทนมาเป็นระยะหนึ่งจะต้องทำการซ่อมบำรุงระบบสถานีผลิตไฟฟ้าโดยจัดการซ่อมบำรุงตามแผนงานทุกเดือนเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของสถานีตนเองแต่จะมีความไม่สะดวกไม่ปลอดภัยและต้นทุนค่าจ้างทำการซ่อมบำรุงที่สูงในขณะนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาเพื่อลดการล้างเพื่อลดต้นทุนการซ่อมบำรุงระบบสถานีไฟฟ้าแล้วต้องให้สถานีผลิตพลังงานที่ดีให้กับบริษัทฯ ได้อย่างยั่งยืน

2.8 แนวความคิดช่องว่าง โอกาส และความต้องการในการดำเนินงาน

หลังจากได้มีการทบทวนสถานการณ์ภายในและภายนอกของสถานีผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่ในบริษัทไทยชูการ์เทอมิเน้ล บริษัทจำกัด (มหาชน) และได้มีการกำหนดเป้าหมายประสงค์ขององค์กรแล้ว การจะขับเคลื่อนองค์กรผ่านอุปสรรคและโอกาสไปสู่จุดหมายที่ตั้งไว้ จะต้องพิจารณาถึงความเป็นไปได้ต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า การวิเคราะห์ช่องว่าง (Gap Analysis) ตรวจสอบประเด็นที่ถูกระบุในนโยบายและแผนพัฒนาต่าง ๆ ที่กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมมีส่วนเกี่ยวข้อง บนพื้นฐานของการประเมินใน 4 มิติ ได้แก่

2.8.1 ความเกี่ยวเนื่อง (Relevancy) โดยการพิจารณาว่าประเด็นการรับซื้อพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าโดยเข้าข่ายของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม เครื่องมือใช้การวัดมีราคาสูงและใช้ได้เมื่อมีความต้องการวัดไม่ได้ติดตั้งถาวร

2.8.2 ความสามารถ (Competency) โดยการพิจารณาขีดความสามารถของบริษัทที่จะทำการผลิตไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงทั้งในด้านของทรัพยากรบุคคล งบประมาณ เครื่องมืออุปกรณ์ และเครือข่ายการดำเนินงานทั้งหมดในการปฏิบัติภารกิจ รวมถึงความเสี่ยงด้านความปลอดภัยจากการจัดจ้างหน่วยงานภายนอกด้วยแล้วรวมแล้วจะมีต้นที่สูงในการซ่อมบำรุงระบบ

2.8.3 ขอบข่ายการให้บริการ (Share of Services) โดยการบริษัทพิจารณาส่วนแบ่งการขายพลังงานในวันอาทิตย์หรือวันหยุดของการทำงานของบริษัทเมื่อบริษัทไม่ทำงานอัตราการผลิตพลังงานไฟฟ้าของสถานีจะแบ่งขายให้กับการไฟฟ้าในอนาคต

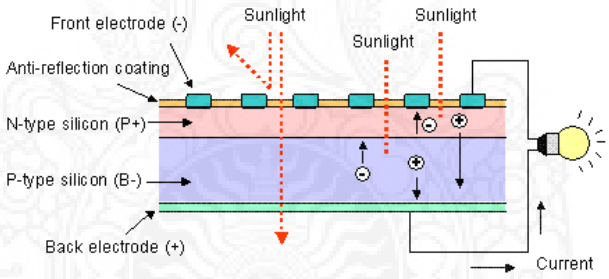
2.8.4 แนวโน้มความต้องการ (Growth of Needs) โดยการพิจารณาความต้องการบริการต่าง ๆ ของ กลุ่มเป้าหมายที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับภารกิจของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมคือสามารถไปทำการทดสอบหาการแจ้งเตือนกำหนดการให้ซ่อมบำรุงสถานีไฟฟ้าเพื่อให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดโดยอัตโนมัติแบบไม่ต้องใช้ต้นทุนเกี่ยวกับเครื่องมือวัดระบบประสิทธิภาพมีราคาแพงและขยายผลใช้ที่สถานีอื่น ๆ ที่ต้องการได้ ทั้งในปัจจุบันและในอนาคตอย่างยั่งยืน

ผู้วิจัยให้ความสนใจและเห็นโอกาสจึงทำงานงานวิจัยและพัฒนาการซ่อมบำรุงให้สถานีผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ให้สอดคล้องไปกับการเติบโตและยกระดับอุตสาหกรรมของประเทศ ซึ่งให้การสนับสนุนเงินทุนเพื่อการวิจัยภายใต้ความร่วมมือของบริษัท ทิศทางงานวิจัย พัฒนา และสาธิตที่ได้รับความสนใจของบริษัท เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในทุกๆ มิติ ได้แก่ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมการประเมินประสิทธิภาพระบบ ผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อคุณภาพไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การติดตามการทำงานในระยะยาวและการเสื่อมสภาพ จึงทำให้เกิดงานวิจัยงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเป็นตัวติดตามวัดผลกระทบจากฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ

ที่มาปิดบังผิวรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่ำลง ทั้งนี้เพื่อให้มีเครื่องแจ้งเตือนที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดและเผยแพร่ตลอดจนส่งเสริมงานการซ่อมบำรุงงานสถานีผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมและต้นทุนที่ถูกที่สุดและปลอดภัยในการซ่อมบำรุงสถานีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้ด้วยตนเองอย่างยั่งยืน

2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับแผงโซล่าเซลล์

2.9.1 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์ คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์จากการวิจัยแผงโมดูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์นำประยุกต์ใช้ในงานโดยศึกษาหลักการทำงานแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง เมื่อแสงตกกระทบผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเลคตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ (ไพสิฐ, 2554) ดังภาพ 2.12



ภาพ 2.12 หลักการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm

คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1.1 ความเข้มของแสง กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็น

มาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้ม ของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลิวัตต์ ต่อ ตารางเซนติเมตร (mW) : ตร.ซม.) หรือ 1,000 วัตต์ ต่อ ตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ Air Mass 1.5 (AM 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

1.2 อุณหภูมิกระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา C ก็จะหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศา C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศา C เช่น อุณหภูมิ 30 องศา C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% (0.5% x 5 องศา C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V oc จะลดลง 0.525 V (21 V x 2.5%) เหลือเพียง 20.475 V (21V – 0.525V) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 สุรเชษฐ ย่านวารี (2558) รายงานว่าการศึกษาปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์อาทิตย์ตามตาราง 2.8 จะเห็นได้ว่าผลกระทบด้านความร้อนของแผงพลังงานแสงอาทิตย์นี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 89% ของค่า STC. (f_{temp}=0.89) เมื่อใช้ไประยะหนึ่งจะมีฝุ่นละอองหรือคราบสกปรกมาเปื้อนบนหน้าแผงซึ่งปัจจัยนี้ส่งผลให้ความสามารถในการรับแสงอาทิตย์ลดลงทำให้ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลงตามไปด้วยโดยทั่วไปผลกระทบที่เกิดจากสิ่งสกปรกและฝุ่นละอองนี้ทำให้ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 93% ของค่า STC. (f_{dirt}=0.93) การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการต่อแผงที่ไม่สม่ำเสมอและสูญเสียภายในสายไฟทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าลดลงเหลือ 95% ของค่า STC. (f_{mis}=0.95) การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 90 % ของค่า STC. (f_{inv}=0.90) ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเมื่อใช้แผงเซลล์อาทิตย์มีค่า Power output = 100 วัตต์ เท่ากับ 70.8 วัตต์ ถ้าลดสิ่งสกปรกและฝุ่นละอองได้จะมีค่าประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ 76.1 วัตต์ เพิ่มขึ้น 5.3 วัตต์

ตาราง 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบโซล่าเซลล์

ปัจจัยส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลงของค่าSTC.	เปอร์เซ็นต์
ความร้อนของแผง (f temp = 0.89)	89%
สิ่งสกปรกและฝุ่นละออง (f dirt = 0.93)	93%
ความต้านทานในสายไฟ (f mis = 0.95)	95%
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (f inv = 0.90)	90%
ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า(Power output = 100 W)	70.8 วัตต์

ที่มา : สุรเชษฐ (2558)

2.10.2 ชาติชาย โสบุญ (2556) รายงานว่าศึกษาวิจัยเรื่องการศึกษาเชิงเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการล้างทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 18.59% และพบว่าการเพิ่มขึ้นความเข้มแสงโดยการติดตั้งกระจกและทำการปรับมุมสะท้อนที่เหมาะสมทำให้ค่าพลังงานต่อชั่งโมงเพิ่มขึ้น 19.48% แต่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานที่สั้นลงและทำการลดอุณหภูมิใต้แผงมีค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 5.27% ในส่วนของการระบายความร้อนใต้แผงมีข้อเสียของวิธีนี้คือต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งสองวิธีควบคู่กันแต่ปัญหาก็กลับมาเรื่องเดิมคือต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นไปอีก

2.10.3 สิริชัย ปัญญาสมาธิ (2548) รายงานว่าการวิจัยเรื่องการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโฟโต้โวลตาอิคที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Solar Cell) โดยการออกแบบแผงระบายความร้อนแบบท่อขดเซอร์เพนไทน์ และนำไปประกอบติดตั้งที่ด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อดึงความร้อนเปล่าประโยชน์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานในรูปของน้ำร้อน การศึกษาได้ขยายผลไปถึงการจำลองระบบการต่อแผงระบายความร้อนเป็นระบบใหญ่ขึ้น ที่มีการต่อในแบบอนุกรมหรือขนานกันโดยใช้แผงระบายความร้อนทั้งหมด 6 แผง ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบท่อขดเซอร์เพนไทน์ต้นแบบให้มีระยะห่างระหว่างท่อเป็น 10 เซนติเมตร มีการระบายความร้อนได้ดีที่สุด และมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 43-50 องศาเซลเซียส จากการทดลองระบบโดยการต่อแผงระบายความร้อนจำนวน 6 แผง ในแบบต่างๆ 4 แบบพบว่า ปัจจัยหลักในการเพิ่มประสิทธิภาพทั้งทางไฟฟ้าและทางระบบน้ำ ความร้อนขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลและค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบในทุกแบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลเชิงมวลและค่ารังสีดวงอาทิตย์มากขึ้น อัตราการไหลเชิงมวลต่อพื้นที่ที่เหมาะสมคือ 0.0352 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที การเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลที่มากเกินกว่านี้ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นไม่มากนักนอกจากนี้ ในการต่ออนุกรมกันไม่ควรจะต่อเกินกว่า 3 แผง เพราะระบบโฟโต้โวลตาอิคจะได้รับผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำขาเข้าในแถวอนุกรม เมื่อ

เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการระบายความร้อนโดยน้ำแล้ว พบว่า ระบบโฟโต้โวลตาอิคแบบผสมระบบผลิตน้ำร้อนจะมีประสิทธิภาพของระบบโฟโต้โวลท์ตาอิคสูงกว่าประมาณ 1.20% -1.45%

2.10.4 นิพนธ์ เกตุจ้อย และ มารุพงษ์ กอนอยู่ (2556) รายงานว่าการศึกษาผลกระทบของฝุ่นที่ตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า จากการเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นบริเวณสถานที่ติดตั้งเซลลแสงอาทิตย พบวาในระยะเวลา 7 วันบริเวณสถานที่ติดตั้งเซลลแสงอาทิตยมีปริมาณฝุ่นเฉลี่ย 55 มิลลิกรัมตอตารางเมตรตอวันในระยะเวลา 14 วัน บริเวณสถานที่ติดตั้งเซลลแสงอาทิตยมีปริมาณฝุ่นเฉลี่ย 144 มิลลิกรัมตอตารางเมตรตอวัน ในระยะ เวลา 30 วันบริเวณสถานที่ติดตั้งเซลลแสงอาทิตยมีปริมาณฝุ่น เฉลี่ย 260 มิลลิกรัมตอตารางเมตรตอวัน และในระยะเวลา 60 วันบริเวณสถานที่ติดตั้งเซลลแสงอาทิตยมีปริมาณฝุ่นเฉลี่ย 426 มิลลิกรัมตอตารางเมตรตอวันการสองผานแสงของฝุ่นที่สะสมบนกระจกนิรภัยเทมเปอรพบวา ปริมาณฝุ่นสงผลใหการสองผานแสงลดลง โดยที่ปริมาณฝุ่น 30 วันสงผลใหการสอง ผานแสงลดลงร้อยละ 3.71 และปริมาณฝุ่น 60 วันส่งผลให้การสองผานแสงลดลงร้อยละ 11.15 และฝุ่นที่ตกสะสมอยูบนแผงเซลลแสงอาทิตยชนิดซิลิกอนอสัณฐานในระยะเวลา 60 วัน พบวามี กระแสไฟฟาลัดวงจรลดลงจาก 1.21 แอมแปร ลดลงเหลือ 1.20 แอมแปร ในระยะเวลา 30 วัน และลดลงเหลือ 1.08 แอมแปร ในระยะเวลา 60 วัน กระแสไฟฟาสูงสุดลดลงจาก 0.93 แอมแปร ลดลงเหลือ 0.93 แอมแปร ในระยะเวลา 30 วัน และลดลงเหลือ 0.85 แอมแปร ในระยะเวลา 60 วัน และ มีกำลังไฟฟาสูงสุดลดลงจาก 41.79 วัตต ลดลงเหลือ 40.58 วัตต ในระยะเวลา 30 วัน และลดลงเหลือ 36.61 วัตต ในระยะ เวลา 60 วัน กำลังไฟฟาลดลงคิดเปนร้อยละ 3.50 และ 7.28

บทที่ 3

การออกแบบวิศวกรรมและการสร้างเครื่องต้นแบบ

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นสร้างเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้มีเครื่องแจ้งเตือนที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากฝุ่นเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดโดยผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินวิจัยไว้ ดังนี้

3.1 การออกแบบเชิงวิศวกรรม

3.2 แหล่งข้อมูลที่ใช้ศึกษา

3.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.4 ระเบียบวิธีวิจัย

3.5 สร้างโปรแกรมซอฟแวร์แบบเวลาจริง

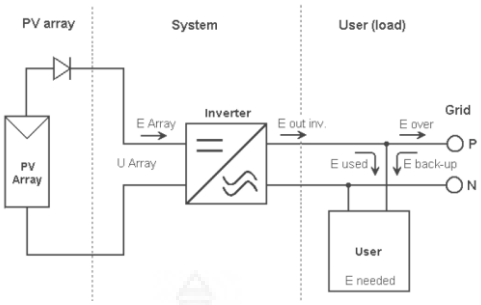
3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.7 เครื่องมือวิจัย

3.1 การออกแบบเชิงวิศวกรรม

3.1.1 องค์ประกอบของระบบ Solar Cell

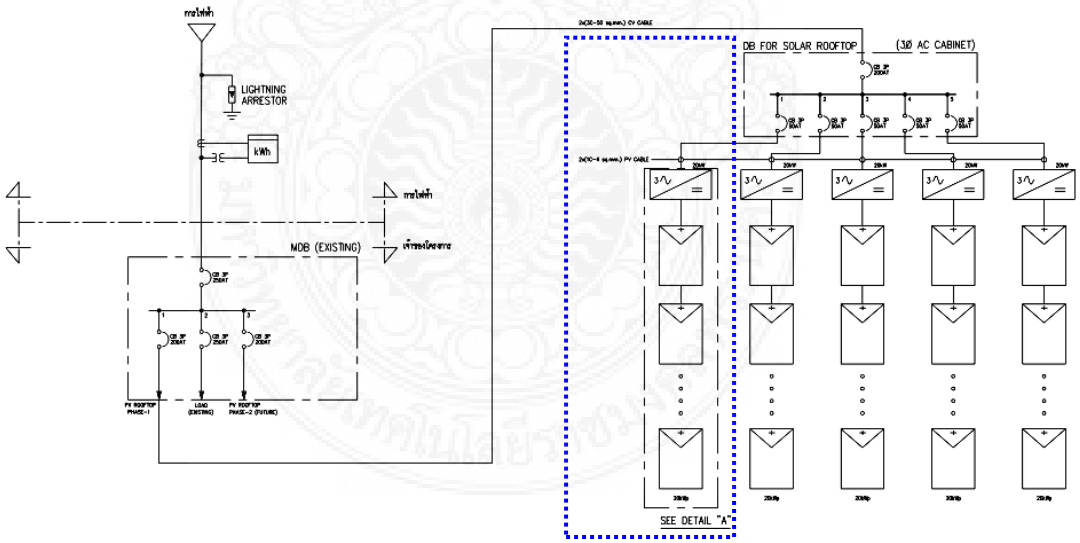
ระบบการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ PV Grid connected system จะประกอบด้วยอุปกรณ์และระบบย่อยต่างๆ ดังภาพ 3.1 ได้แก่ 1.แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell, Photovoltaic) 2. Inverter 3. Load 4. สายนำไฟฟ้า พื้นฐานการทำงานของระบบสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์ต่อผ่านสายนำไฟฟ้าเข้ากับ Inverter โดยซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับผ่านอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรเข้ายังระบบสายส่งไฟฟ้าการไฟฟ้าหรือ Load โดยตรง ดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 แสดงองค์ประกอบของระบบ Solar Cell

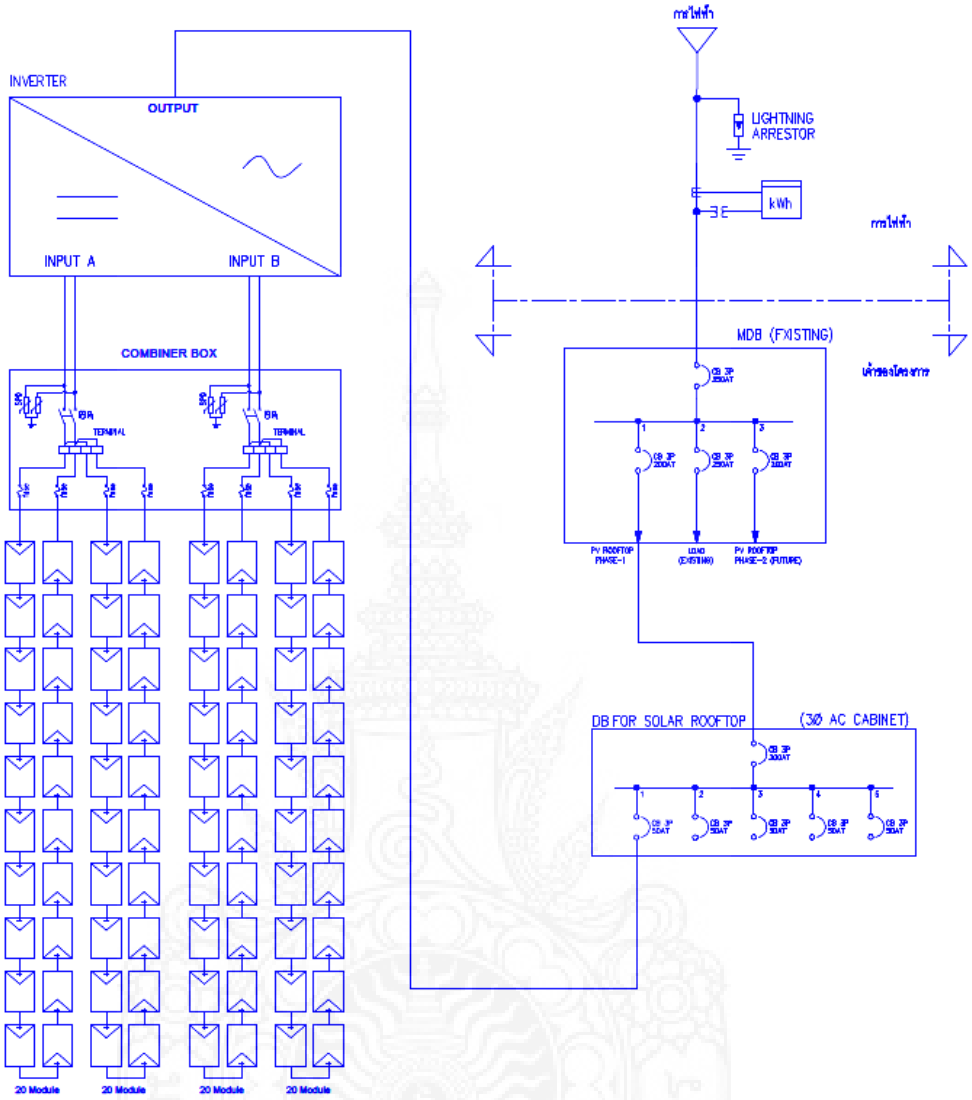
3.1.2 การทำงานปกติของระบบ Solar Cell (Photovoltaic)

ระบบการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ PV Grid connected system สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ 100 kWh โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดแรงดัน 29.88 โวลต์ กระแส 8.37 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้า 250 วัตต์ ทั้งหมด 400 โมดูล (Module) มาแยกออกเป็น 5 Sub-Array ต่อ 80 Module โดยทำการแบบอนุกรมจำนวน 20 Modules แล้วนำมาต่อแบบขนานจำนวน 4 Strings ต่อเข้ากับ Inverter ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับผ่านอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรเข้ายังระบบสายส่งไฟฟ้าการไฟฟ้าโดยตรงดังภาพ 3.2



ภาพ 3.2 แสดงหลักการทำงานปกติของระบบ

จากภาพ 3.2 ผู้วิจัยยก Sub-Array แรกมาเขียนแบบลงในโปรแกรม Auto-cad เพื่อศึกษารายละเอียดอย่างละเอียดเพื่อการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ดังภาพ 3.1.3



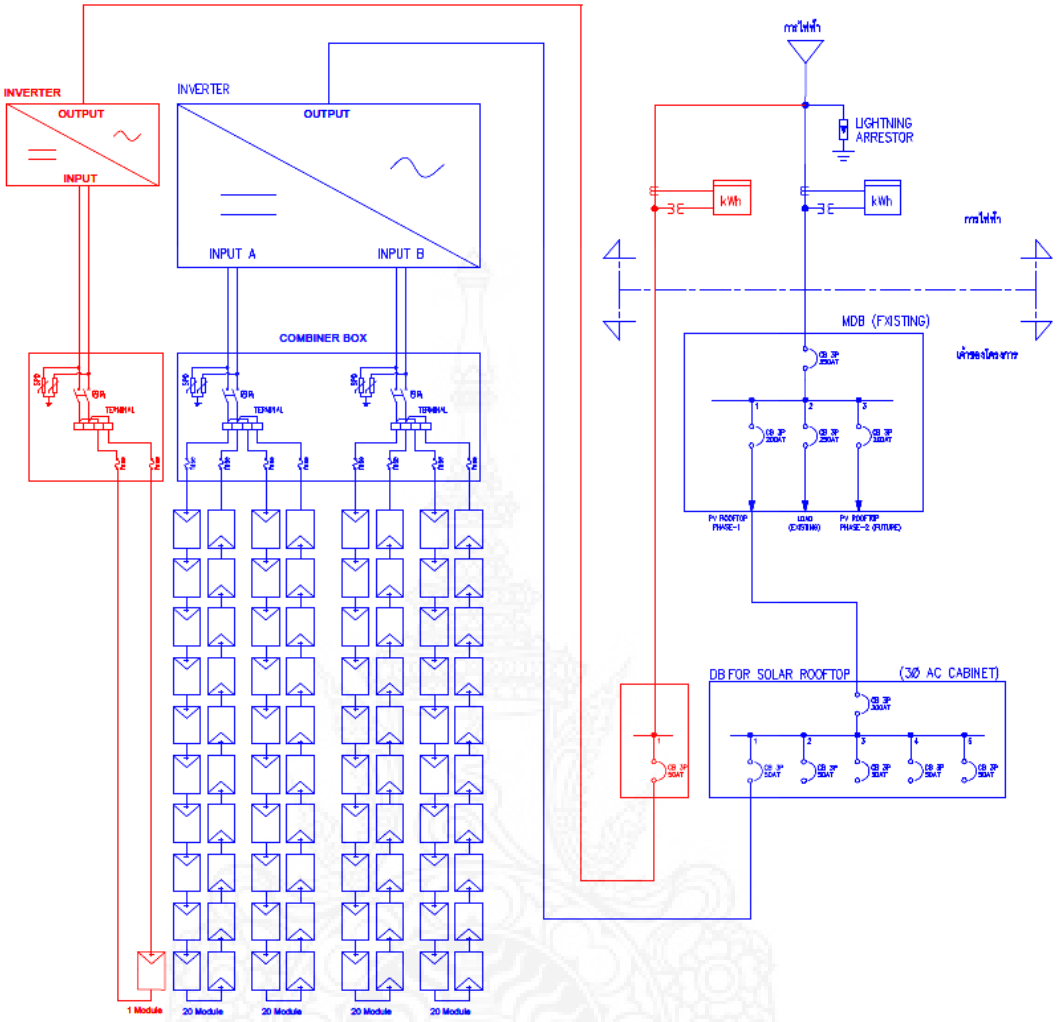
ภาพ 3.3 แสดงหลักการทำงานปกติของระบบโดยละเอียด

จากภาพ 3.3 ในแต่ละวันระบบใช้งานตามวันและเวลาปกติ 24 ชั่วโมงแต่จะทำงานช่วงเวลา 6.00 น.- 18.00 น. โดยเริ่มทำงานเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ทุกแผ่นทำหน้าที่เหมือนกันก็จะเกิดการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 29.88 โวลต์ (V) และกระแส 8.37 แอมแปร์ (A) ที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะทำงานผลิตไฟฟ้าอิสระต่อกันไหลมาตามสายนำทองแดงที่ได้ออกแบบการต่อไว้ดังกล่าวจะได้แรงดัน 20 x 29.88 = 597.6 โวลต์ต่อสตริงส์ (Strings) แต่ละ Strings จะจ่ายกระแสได้ 8.37 แอมแปร์ ทั้งหมด 4 Strings จะจ่ายการแสได้ 33.48 แอมแปร์และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ 597.6 x 33.48 = 20 กิโลวัตต์ (kWh) ต่อ สับ-อเรย์ (Sub-Array) เมื่อการทำงานครบทุกวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลเวียนขึ้นในระบบ มีทั้งหมด 5 Sub-Array

จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 100 kWh ในแต่ละวันทุกแผงจะทำงานแตกต่างกันไปตามสถานการณ์ของสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิของแต่ละสถานที่ในระบบจะมีวัดค่าการผลิตพลังงานทั้งหมดในรูปกิโลวัตต์มิเตอร์เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ

3.1.3 หลักการและแนวคิดและการทำงานของระบบใหม่

แนวคิดของการสร้างเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สามารถตอบสนองการใช้งานในการใช้งานทั่วไปหรืองานในภาคธุรกิจ ซึ่งทุกๆ ที่มีปัญหาเรื่องฝุ่นละออง มลภาวะที่ทำให้โซล่ารูฟหรือโซล่าฟาร์มผลิตพลังงานประสิทธิภาพต่ำลง โดยโครงสร้างมีขนาดกลมกลืนไปกับสถานที่ที่มีอยู่แล้วเมื่อศึกษารายละเอียดอย่างละเอียดเพื่อการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ดังนั้นเมื่อได้ศึกษาระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell , Photovoltaic) แล้วเห็นโอกาสที่จะนำโอกาสนั้นมาออกแบบและพัฒนาระบบให้เป็นเครื่องต้นแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกแบบระบบเดิมนั้นเป็นการบอกถึงระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จำนวนเป็น kWh ไม่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เมื่อเวลาผ่านไปในช่วงหนึ่งจะเกิดการสูญเสียของแรงดันและกระแสเนื่องจากการปกคลุมของฝุ่นหรือสิ่งสกปรกต่างๆ บนผิวรับแสงของแผงโซล่าเซลล์ในระบบ ทางเจ้าของโครงการจะวางแผนไว้ให้ทำการซ่อมบำรุงโดยการล้างทำความสะอาดผิวดังกล่าว ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมองเห็นโอกาสในการออกแบบระบบใหม่ที่สำคัญมาเสริมกับระบบเก่า คือ การออกแบบวงจรทดสอบกระแสและแรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้แล้วทำการคำนวณเป็นกำลังและพลังงานไฟฟ้า ทุกๆ 15 นาที ในแต่ละวันและรวบรวมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ในแต่ละเดือนบนระบบ Internet of Things (IOT) เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ต่อไปและผู้วิจัยได้ออกแบบระบบใหม่ ดังภาพ 3.4



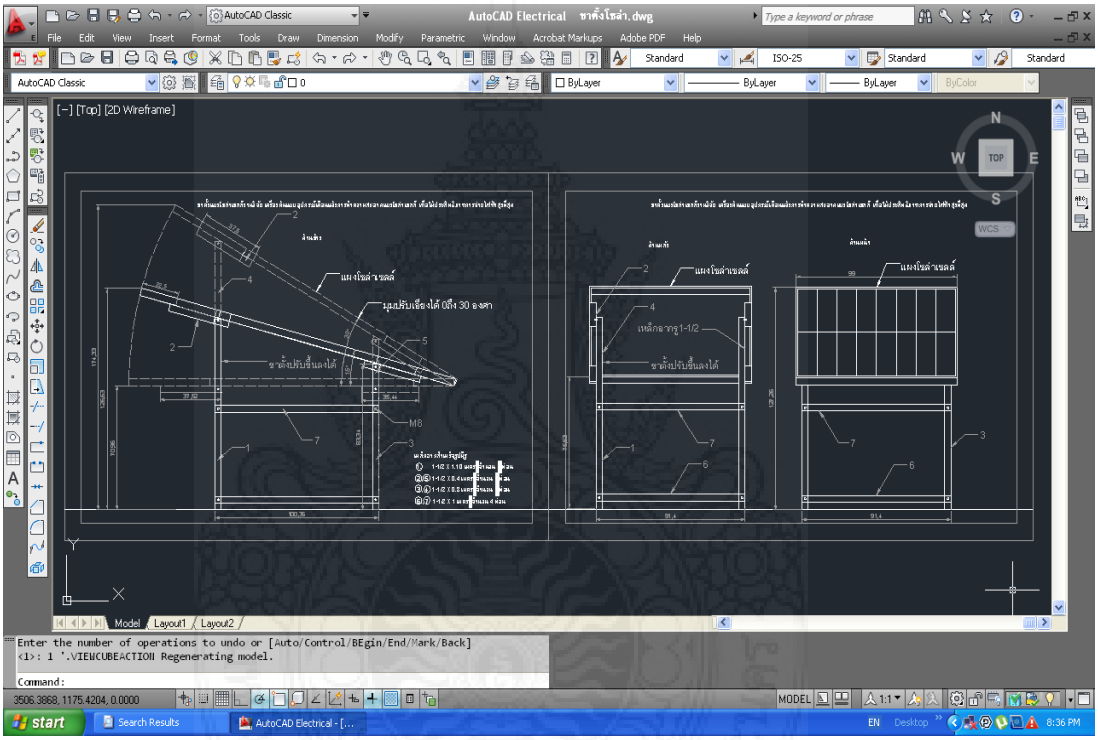
ภาพ 3.4 แสดงหลักการทำงานของระบบที่มีแผงอ้างอิงเพิ่ม

จากภาพ 3.4 ในแต่ละวันระบบใช้งานตามวันและเวลาปกติเหมือนดังกล่าวในหัวข้อที่ 3.1.2 แต่จะมีเพิ่มเติมทางแผงเซลแสงอาทิตย์จำนวน 1 แผงนั่นคือ เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุดจะทำงาน 24 ชั่วโมงแต่จะทำงานช่วงเวลา 6.00 น.- 18.00 น. โดยเริ่มทำงานเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผ่นทำหน้าที่เหมือนกันก็จะเกิดการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 30.3 โวลต์และกระแส 8.26 แอมแปร์ ที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะทำงานผลิตไฟฟ้าอิสระต่อกันไหลมาตามสายนำทองแดงที่ได้ออกแบบการต่อไว้ดังกล่าวจะได้แรงดัน 1 x 30.3 = 30.3 โวลต์ เนื่องจากไม่มี Strings จ่ายกระแสได้ 8.26 แอมแปร์ และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ 30.3 x 8.26 = 250/1000 = 0.25 kWh เมื่อการทำงานครบทุกวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลเวียนขึ้นในระบบ แตกต่างกันไปตามสถานการของ

สภาพแวดล้อมและอุณหภูมิของแต่ละสถานที่ในระบบจะมีวัดค่าการผลิตพลังงานทั้งหมดในรูปกิโลวัตต์มิเตอร์เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ จะได้ค่าสัดส่วนของจำนวนแผง 1:20 แผง หรือสัดส่วนของการจ่ายกำลังจะได้ 0.25 : 5 kWh ซึ่งค่าที่ได้จะทำการบันทึกเปรียบเทียบระหว่างค่าพลังงานที่เครื่องต้นแบบผลิตและระบบโซ่ล่ารูฟจ่ายกำลังไฟฟ้าได้และนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.1.4 การออกแบบโครงสร้าง

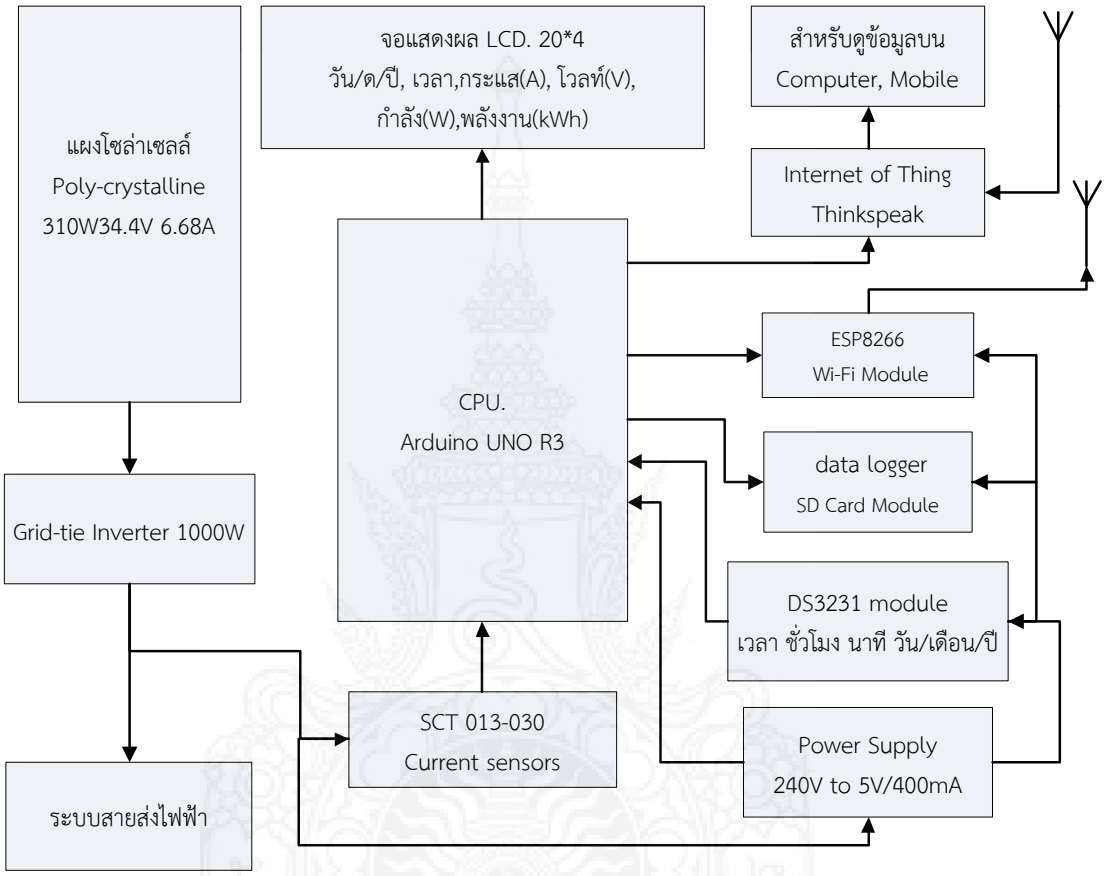
หลังจากนั้นนำข้อมูลขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดมาออกแบบโครงสร้างวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเตรียมนำไปติดตั้งที่สถานีด้วยโปรแกรม Auto Cad ดังภาพ 3.5



ภาพ 3.5 โปรแกรม Auto Cad ออกแบบโครงสร้าง

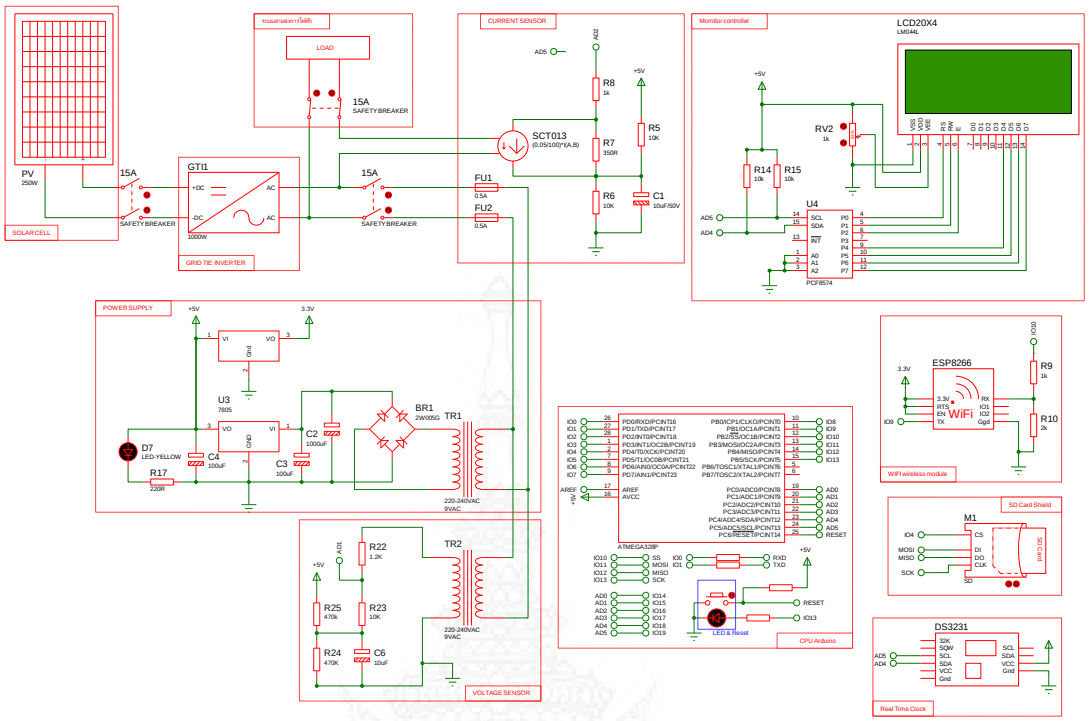
3.1.5 การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

หลังจากได้ทำการศึกษาการทำงานของในระบบจะนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ต่อรวมกัน โดยจะวางโครงร่างของงานเบื้องต้นได้ดังภาพ 3.6



ภาพ 3.6 แสดงโครงร่างของวงจรเครื่องต้นแบบ

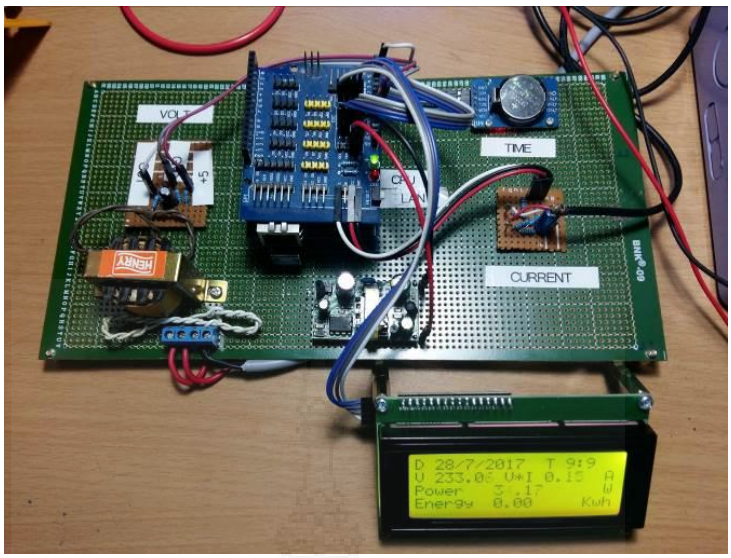
จากภาพ 3.6 จะนำการวางโครงร่างมาต่อวงจรทดสอบและแก้ไขให้วงจรทำงานได้ตามต้องการใช้งานออกมาโดยจะมีการนำอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จะได้วงจรดัง ภาพ 3.7



ภาพ 3.7 วงจรเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์

จากภาพ 3.7 การทำงานของวงจรเมื่อเวลา 6.00 น.-18.00 น. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงเซลแสงอาทิตย์จะทำงานตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้อ 3.1.3 เมื่อแหล่งจ่ายป้อนให้วงจร หน่วยประมวลผลกลาง จะทำการอ่านเวลาฐานเวลาจริงจาก AD5,AD4 อ่านแรงดันไฟฟ้าจาก AD2 และกระแสไฟฟ้าจาก AD1 เข้าสู่หน่วยประมวนผลกลางทำการคำนวณเป็นกำลังไฟฟ้าและทำการคำนวณค่าพลังงาน หลังจากนั้นส่งค่าที่ได้ทั้งหมดไปที่ IO10, IO11, IO12 และ IO13 เพื่อบันทึกที่ลงใน SD Card และ IO6,IO9 ส่งข้อมูลไปยัง ESP8266 จะทำการจัดการข้อมูลออกไป IOT. และส่งข้อมูลที่ขา AD4,AD5 ออกไปยังหน้าจอ LCD 20X4 แสดงค่า วันที่ เดือน ปี เวลา แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงาน เพื่อการจดบันทึกด้วยมือและนำไปวิเคราะห์ต่อไป

หลังจากออกแบบวงจรเสร็จแล้วนำอุปกรณ์มาประกอบรวมกันและทำการต่อวงจรดังภาพ 3.7 จะได้ส่วนควบคุมทั้งหมดที่ควบคุมด้วย (Arduino) เบื้องต้นทดสอบการจ่ายไฟฟ้าแล้วทำงานได้พร้อมที่จะติดตั้งลงในกล่องไฟฟ้ากันน้ำเพื่อทดสอบ ดังภาพ 3.8



ภาพ 3.8 แสดงวงจรควบคุมที่ประกอบเสร็จแล้วของเครื่องต้นแบบ

จากภาพ 3.8 เมื่อทดสอบการจ่ายไฟฟ้าเข้าไปใช้ได้แล้วจึงนำมาประกอบลงกล่องให้เรียบร้อยจะได้ส่วนควบคุมเครื่องต้นแบบ ดังภาพ 3.9

ภาพ 3.9 แสดงส่วนควบคุมไฟฟ้าของเครื่องต้นแบบ

จากภาพ 3.9 เมื่อทดสอบการระบบไฟฟ้าใช้ได้แล้วจึงนำมาประกอบกับส่วนโครงสร้างตามที่ออกแบบไว้ ดังภาพ 3.10

ภาพ 3.10 ประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับส่วนโครงสร้าง

3.2 แหล่งข้อมูลที่ใช้ศึกษา

3.2.1 แหล่งข้อมูลปฐมภูมิ

ได้จากการใช้อุปกรณ์การวัดและซอฟแวร์แบบเวลาจริงในการเก็บรวบรวมค่าที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อนำมาประมวลและวิเคราะห์ผลสำหรับตอบวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

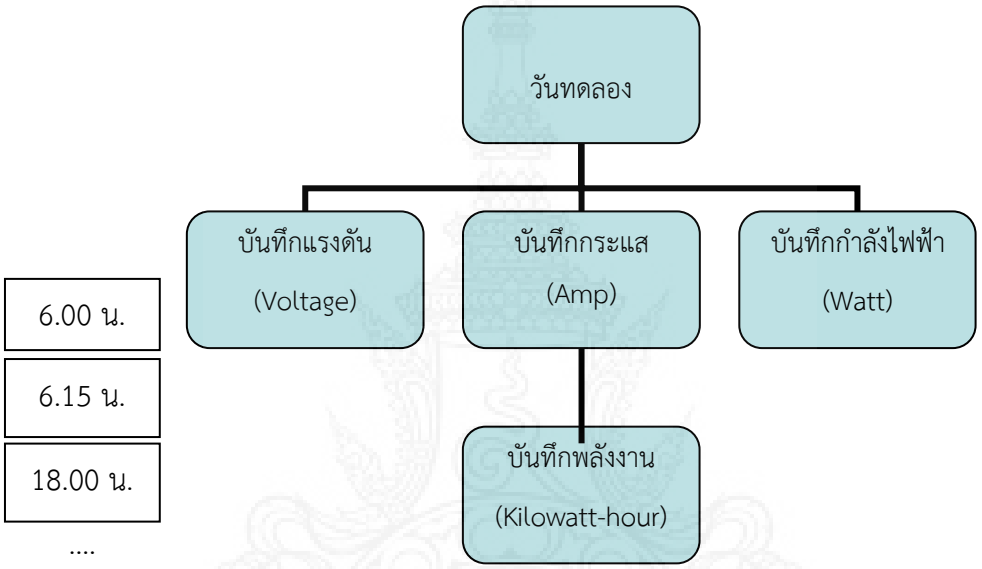
3.2.2 แหล่งข้อมูลทุติยภูมิ

ได้จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจากหลายแหล่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและมีความทันสมัย ได้แก่ รายงานวิจัยประเภทต่างๆ บทความวิชาการในวารสาร หนังสือเรียน และข้อมูลออนไลน์ เป็นต้น

3.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.3.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างเป็นค่าต่างๆ ที่ได้ในขณะที่เครื่องต้นแบบและโรงงานโซล่ารูฟยังทำงานอยู่ ทุกๆ เวลา ทุกๆ 15 นาที ระหว่างเวลา 6.00 น.ถึง 18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สภาพอากาศภายนอกอาคารมีแสงอาทิตย์ในระหว่างวันสำหรับวันที่ 13 ถึง 18 มกราคม 2559 วันละ 49 ครั้งอย่างต่อเนื่อง รวม 6 วัน คิดเป็น 294 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ค่าการใช้พลังงาน ดังภาพ 3.11

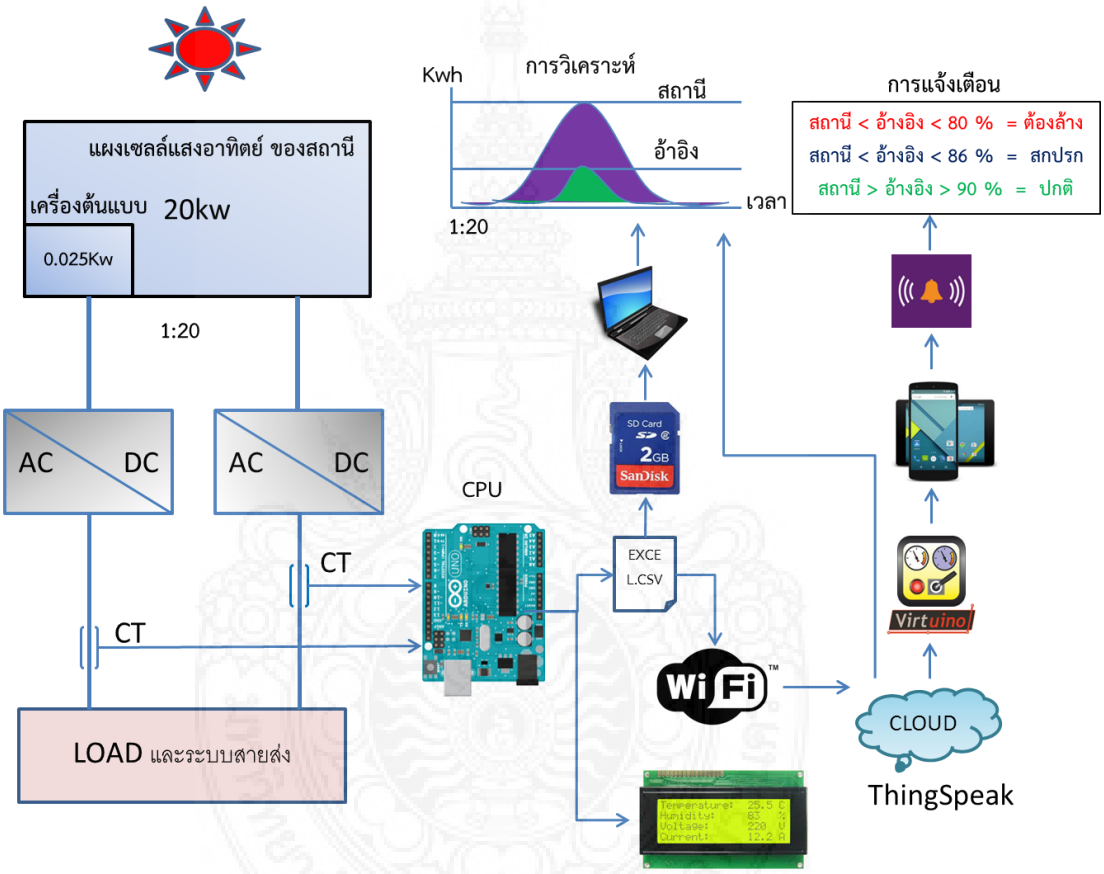


ภาพ 3.11 ผังแสดงกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิด้วยมือสำหรับ 6 วัน

3.4 ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณจากการเก็บข้อมูลที่เป็นค่าต่างๆ จากการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ของบริษัท บริษัท ไทชูการ์เทอร์มิเนิล จำกัด (มหาชน) ภายใต้กระบวนการทำงานปกติ และทำการวางแผงเซลแสงอาทิตย์ของเครื่องต้นแบบเทียบเคียงในพื้นที่เดียวกันกับโรงงาน ดังกล่าวด้วยในเดือนมกราคม 2559 และกระบวนการทำงานที่มีการตรวจติดตามผลช่วงแรกในเดือนมกราคม 2559 ระหว่างวันที่ 13-18 มกราคม และเดือนกันยายน 2559 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบหาความเป็นไปได้ในการ การวัดและเปรียบเทียบค่าหนึ่งจากการข้อมูลที่เป็นค่าต่างๆ ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าแบบ On Grid บนหลังคาเพื่อติดตามการทำงานทั้งสองแหล่งหาสิ่งที่แตกต่างด้วยกลุ่มตัวอย่าง และให้มีการแจ้งเตือนเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สองแหล่งระหว่างเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นและโรงผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์โดยเป็นตัวติดตามวัดผลกระทบจากฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ ที่มาปิดปังผิวรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดต่ำลง ประกอบด้วยการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสทั้งระบบที่มีอยู่ โดยรวมมาเทียบกับระบบอ้างอิง โดยใช้ 2 แนวทางในการเก็บรวบรวมข้อมูลพร้อมกันในช่วงเวลาทดลองเดียวกัน คือ อุปกรณ์การวัดค่าด้วยมือคือเครื่องมือวัด และซอฟแวร์แบบเวลาจริงในการเก็บข้อมูลจากการรับสัญญาณอัตโนมัติ เพื่อนำข้อมูลของ 2 วิธีมาทำการการบันทึกค่าของซอฟแวร์แบบเวลาจริงแล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพและนำโดยนำผลการศึกษาที่ได้มานำเสนอแบบเชิงพรรณนาในรูปแบบต่างๆ ประกอบด้วย ตาราง ภาพกราฟ และคำบรรยาย ดังภาพ 3.12



ภาพ 3.12 แสดงกระบวนการทำงานและขั้นตอนการวิจัย

3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัยได้มาจากการออกแบบและประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน ดังนี้

3.5.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องของบริษัท บริษัท ไทชูการ์เทอร์มิเนิล จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีสภาพการทำงานที่สมบูรณ์และได้รับการตรวจสภาพและประเมินความเที่ยงตรงอย่างสม่ำเสมอตามตารางการบำรุงรักษาที่กำหนดไว้

ประเภทของระบบเป็นแบบติดตั้งบนหลังคา (Solar Roof Top) สร้างกำลังไฟฟ้าออกจากระบบแบบต่อตรงกับระบบสายส่งไฟฟ้า (On Grid) กำลังการผลิตติดตั้ง 100 กิโลวัตต์ ใช้พื้นที่สำหรับวางระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 700 ตาราง คิดเป็นต้นทุนด้านการลงทุนประมาณ 45,000 บาทต่อกิโลวัตต์ ในการผลิตจริงสูงสุด 100 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงโดยประมาณ และมีการวางแผนการซ่อมบำรุงแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการล้างทำความสะอาดผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยน้ำและน้ำยาเช็ดกระจกเพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงที่สุด งบประมาณ 30,000 บาทต่อเดือนคิดเป็นต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งหมด 3.33 วัตต์ต่อบาท ในขณะที่โรงงานมีความต้องการลดการล้างแต่ไม่มีใครตอบได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานคงประสิทธิภาพเมื่อเวลาผ่านไป

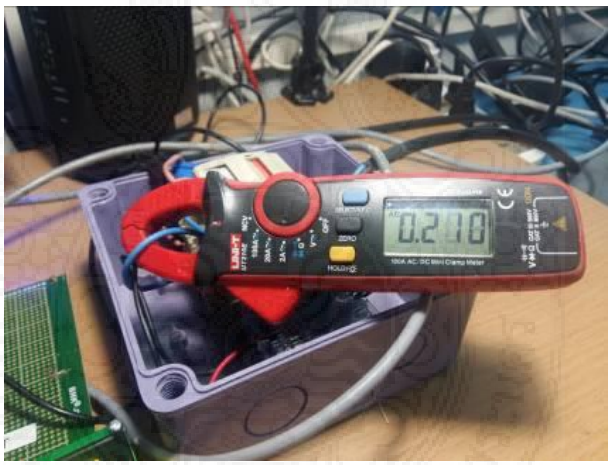
3.5.2 เครื่องต้นแบบที่เป็นเครื่องมือที่ได้มาจากการออกแบบ ที่มีระดับการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ 250 วัตต์ สูงสุด ซึ่งกระบวนการทำงานปกติและมีการทำความสะอาดตลอดระหว่างวันที่ 13-18 มกราคม 2559 ใช้เป็นเครื่องมือวัดเปรียบเทียบค่าการจ่ายไฟฟ้าสูงสุดและมีการบันทึกค่าจ่ายไฟฟ้าที่ได้ลงใน SD Card ทุกๆ 15นาทีและสรุปเป็นรายวันหาค่าสัดส่วนเปรียบเทียบระหว่างอ้างอิงกับโซล่ารูฟ 1:20 แผง เท่ากับ ร้อยละ 5 และทั้งหมดของระบบ 1:400 แผง

3.5.3 เครื่องมือดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่ผ่านการสอบเทียบมาแล้วในงานวิจัยนี้ต้องใช้ในการวัดเทียบเคียงด้วยกันดังนี้

1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดแรงดัน ยี่ห้อ FLUKE 289 TRUE RMS MULTIMETER ดังภาพ 3.13

ภาพ 3.13 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดแรงดัน

2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดกระแส ยี่ห้อ UNI-T UT210E ดังภาพ 3.14



ภาพ 3.14 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์วัดกระแส

3. ดิจิตอลมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าใช้วัดได้ทั้งกระแสไฟฟ้าและแรงดันในตัวเดียวกัน ยี่ห้อ ABB B21-113-100 ดังภาพ 3.15

ภาพ 3.15 ดิจิตอลมิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า

4. เครื่องรับส่งสัญญาณแบบไร้สาย เป็น TURBO SPEED WIFI จำนวน 1 เครื่องสำหรับใช้ติดต่อกับบอร์ด ESP8266 ของเครื่องต้นแบบเพื่อนำข้อมูลส่งไปเก็บไว้บนระบบ CROUD ของ https://thingspeak.com/

5. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น หลอดไฟฟ้า ขาตั้ง ปลั๊กไฟฟ้า ใช้เป็นโหลดในการทดสอบเทียบเคียงของระบบเครื่องต้นแบบและมิเตอร์ที่ผ่านการสอบเทียบมาแล้ว

6. อุปกรณ์จดบันทึกด้วยมือ ประกอบด้วย สมุดจด ปากกา และกล้องถ่ายรูปเพื่อบันทึกภาพ จำนวน 1 ชุด

3.6 สร้างโปรแกรมซอฟแวร์ทดสอบ

3.6.1 การพัฒนาโปรแกรมซอฟแวร์

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมซอฟแวร์ใช้โปรแกรมบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ XP หรือรุ่นที่ใหม่กว่า โดยทำการพัฒนา 3 ส่วน ดังนี้

1. การป้อนข้อมูลโดยการใช้ทำหน้าที่เขียนและคอมไฟล์โปรแกรมให้กับบอร์ด Arduino (อาดูโน่ หรือ อาดูยอีโน่) ที่เป็นซิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่างๆ มาใช้ร่วมกันในภาษา C ซึ่งภาษา C นี้เป็นลักษณะเฉพาะของ Arduino ขึ้นมาเพื่อให้การสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกันออกไปตามการออกแบบโครงการ

2. การประยุกต์ สร้าง Sensor Electronic ผ่าน Platform Arduino แล้วส่งข้อมูลที่ได้ไปเก็บบันทึก (Data Logger) ในการจัดเก็บที่บอร์ด SD Card และผ่านบอร์ด WiFi ESP8266 ไปจัดเก็บที่ Thingspeak เป็นบริการ Platform as a Services ที่ให้บริการ เก็บข้อมูลแบบ Real-time

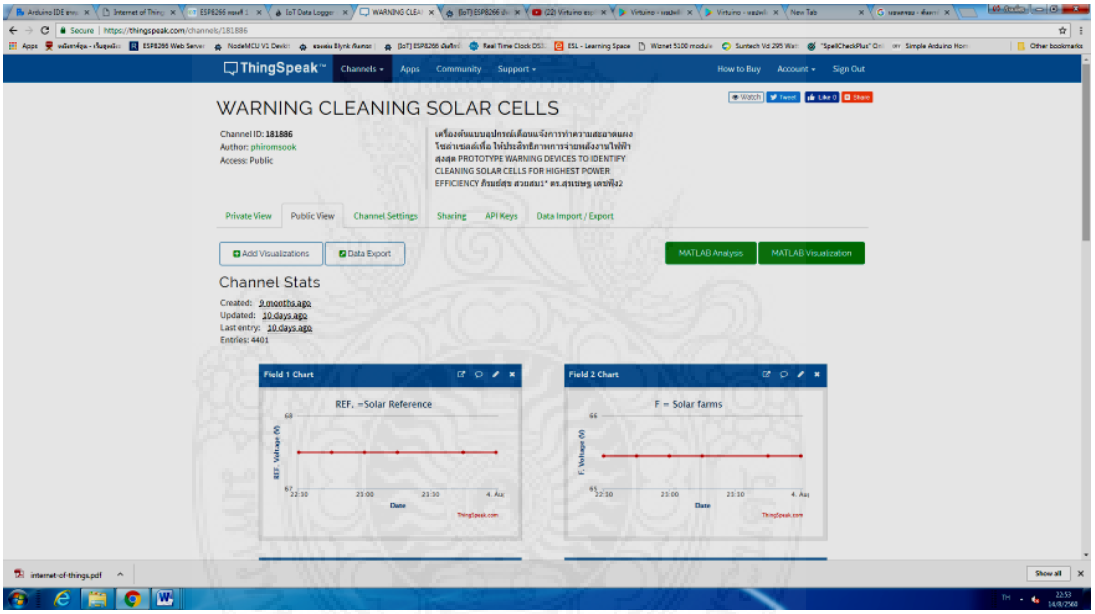
เป็นระบบ Internet of Thing (IoT) ที่กำลังจะมีบทบาท และ จะเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของเราต่อไป

3. โปรแกรม Virtuino เป็นโปรแกรมที่ทำงานด้วยระบบปฏิบัติการ Andorid บนมือถือ เป็นเครื่องมือสร้างการเชื่อมต่อด้วยภาพและเครื่องมือเช่นไฟ LED, ปุ่มสวิทช์ เสียงเตือนแสดงค่าสถานะ และจอแสดงผลโดยดึงข้อมูลออกจากระบบบน Platform as a Service Thingspeak ผ่านทางอินเทอร์เน็ต สู่ระบบโทรศัพท์มือถือ แบบ Real-time ทุกที่ทั่วโลก ให้เห็นภาพความแตกต่างระหว่างเครื่องต้นแบบและโครงการโดยตรงตลอดเวลา

3.6.2 การแสดงผล

ซึ่งสามารถทำได้ 3 วิธี ประกอบด้วย

1. การแสดงผลทางจอภาพบน Platform as a Service Thingspeak



ภาพ 3.16 Platform as a Service Thingspeak

3.6.3 การแจ้งเตือนบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ตั้งค่าเตือนแจ้งในโปรแกรมโทรศัพท์เคลื่อนที่คือไม่ยอมให้สิ่งสกปรกและฝุ่นละออง มาทำให้ประสิทธิภาพจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 93 ไม่เกินร้อยละ 7 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนำมากำหนดและออกแบบการแจ้งเตือนโดยเทียบสัดส่วนกับเครื่องต้นแบบโดยไม่รวมปัจจัยอื่นๆ ในการแจ้งเตือนของงานวิจัยนี้จะมี 3 ระดับดังนี้

1. เมื่อสัดส่วนเทียบกับเครื่องต้นแบบแล้ว มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 92 ทำให้แจ้งเตือนต้องล้าง

2. เมื่อสัดส่วนเทียบกับเครื่องต้นแบบแล้ว มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 92 ถึง 96 ทำให้แจ้งเตือน สกปรก

3. เมื่อสัดส่วนเทียบกับเครื่องต้นแบบแล้ว มีค่ามากกว่าร้อยละ 96 ทำให้แจ้งปกติ การแจ้งเตือนทั้ง 3 ระดับโดยเขียน Platform ของโปรแกรม Virtuino ที่เขียนบนระบบปฏิบัติการ Android ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังภาพ 3.17

ภาพ 3.17 Platform ของ Virtuino บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

3. การแสดงผลทางหน้าจอ LCD 20*4 ของเครื่องต้นแบบสำหรับทดสอบการวัดค่าดังภาพ 3.18

ภาพ 3.18 การแสดงผลบนหน้าจอ LCD

3.6.3 การจัดเก็บฐานข้อมูล

ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี ประกอบด้วย

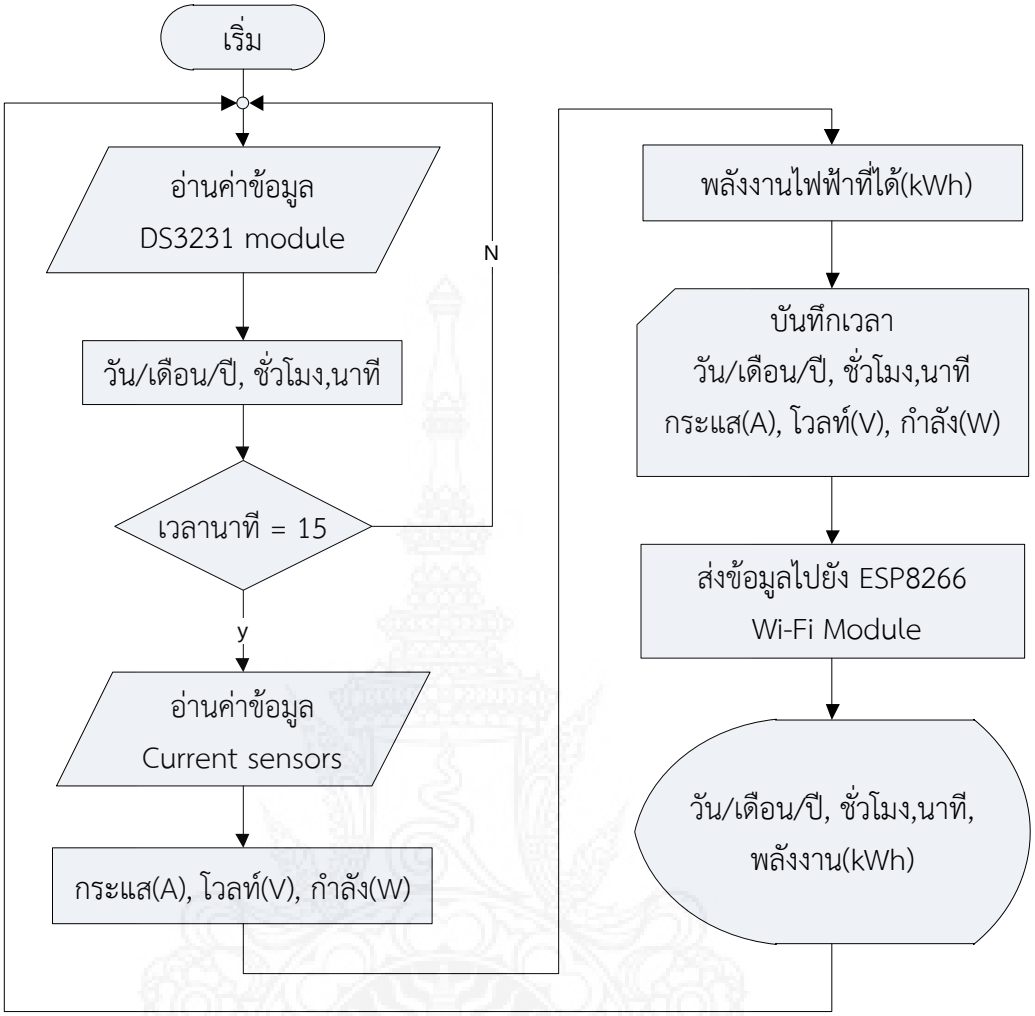
1. ซึ่งสามารถจัดเก็บเป็น Platform ที่สร้างขึ้นด้วย โปรแกรม Arduino บันทึกใน SD Card ในรูปแบบ เอกสารรายงานประเภทไฟล์เอกเซลล์มีนามสกุล *.CSV โดยสามารถนำกลับมาแสดงผลซ้ำได้โดยใช้โปรแกรม Micro Soft Excel

2. เก็บบันทึก (Data Logger) ในการจัดเก็บผ่านบอร์ด Wi-Fi ESP8266 ไปจัดเก็บที่ Thingspeak เป็นบริการ Platform as a Services ที่ให้บริการ เก็บข้อมูลแบบ Real-time

3.6.4 หลักการทำงานของโปรแกรมซอฟแวร์แบบเวลาจริง

เมื่อโปรแกรมซอฟแวร์แบบเวลาจริงทำงานจะอ่านค่าข้อมูลวัน เดือน ปี เวลา ชั่วโมง นาที วินาทีจาก DS3231 เป็นฐานเวลาจริงแบบ Real time จากนั้นไปอ่านค่าการวัดแรงดันไฟฟ้าและการวัดกระแสไฟฟ้า โดยนำคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า ในช่วงที่มีการเปลี่ยนโหลดอย่างต่อเนื่องและทุกๆ 15 นาที ทำการประมวลต่อการบันทึกข้อมูลหนึ่งครั้ง (Dynamic test) เพื่อใช้ศึกษาพฤติกรรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างเครื่องต้นแบบและโครงการ และส่งค่าดังกล่าวแสดงผลให้รับทราบและไปบันทึกยัง SD card และส่งไปยัง Internet Router ข้อมูลดังกล่าวนำไปคิดวิเคราะห์ประสิทธิ์สมรรถนะการจ่ายกำลังไฟฟ้าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน และแสดงระดับประสิทธิภาพเครื่องแผงเซลแสงอาทิตย์

ในการทดลองเบื้องต้น โปรแกรมซอฟแวร์แบบเวลาจริงที่สร้างขึ้นใช้เก็บข้อมูลเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าคำนวณออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังภาพ 3.19



ภาพ 3.19 ผังแสดงหลักการทำงานของซอฟแวร์เครื่องต้นแบบ

บทที่ 4

กระบวนการทดสอบเครื่องต้นแบบ

ในการทดสอบเครื่องต้นแบบงานวิจัยเรื่อง เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเป็นตัวติดตามวัดผลกระทบจากฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆที่มาปิดบังผิวรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่ำลง โดยทำการทดลองเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าของแผงโซ่ลาเซลล์ที่เป็นเครื่องต้นแบบและการผลิตไฟฟ้าของแผงโซ่ลาเซลล์ที่ใช้ในระบบผลิตแบบโซล่ารูฟที่มีอยู่แล้ว ทำการบันทึกผลการผลิตไฟฟ้าในแต่ละวันมาเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างกันเพื่อให้เตือนแจ้งให้ทำความสะอาดแผงในระบบโดย“เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด ”มีโครงสร้างขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 310 วัตต์ Grid tie Inverter 1000 วัตต์ ทำการติดตั้งวางแผงเซลแสงอาทิตย์ของเครื่องต้นแบบเทียบเคียงในพื้นที่เดียวกันกับโรงงานผลิตไฟฟ้าแบบโซล่ารูฟ ขนาด 100 กิโลวัตต์ (kW) ในกระบวนการทดสอบเครื่องต้นแบบตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 เครื่องมือในการทดสอบเครื่องต้นแบบ

4.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อยู่ในระบบผลิตแบบโซล่ารูฟ จำนวน 400 แผง

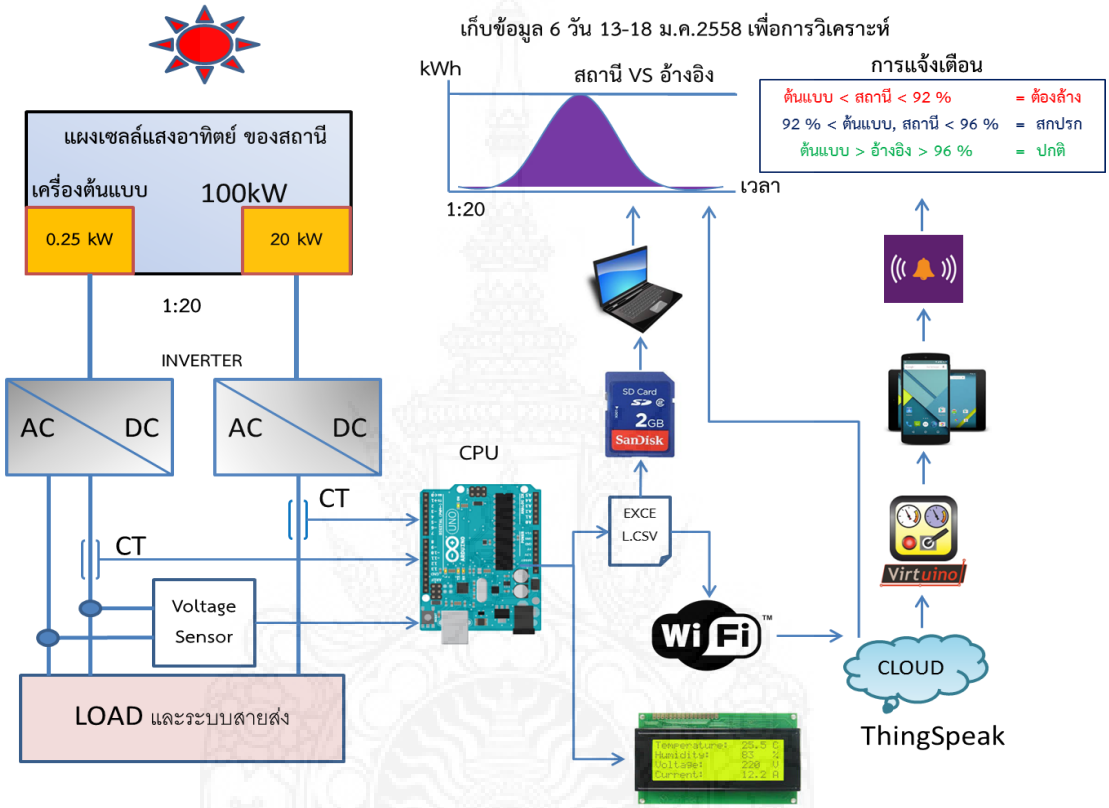
4.1.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับเครื่องต้นแบบ 1 แผง

4.1.3 สถานีผลิตไฟฟ้าทดแทนด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ที่

4.1.4 คอมพิวเตอร์หรือ ตารางบันทึกผล และอื่นๆ

4.2 ทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องต้นแบบกับสถานี

การทดสอบเครื่องต้นแบบ ในขั้นตอนนี้ทำการติดตั้งวางแผงเซลแสงอาทิตย์ของเครื่องต้นแบบเทียบเคียงบนพื้นที่เดียวกันกับสถานีผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โซล่ารูฟ ขนาด 20 kW ต่อ 0.25 kW เป็นไปตามตามไดอะแกรม ภาพ 4.1



ภาพ 4.1 แสดงไดอะแกรมการทดสอบเครื่องต้นแบบกับสถานี

จากภาพ 4.1 วางตำแหน่งของแผงของเครื่องต้นแบบเวลาติดตั้งต้องให้ง่ายและสะดวกต่อการตรวจสอบและทำความสะอาด ดังภาพ 4.2

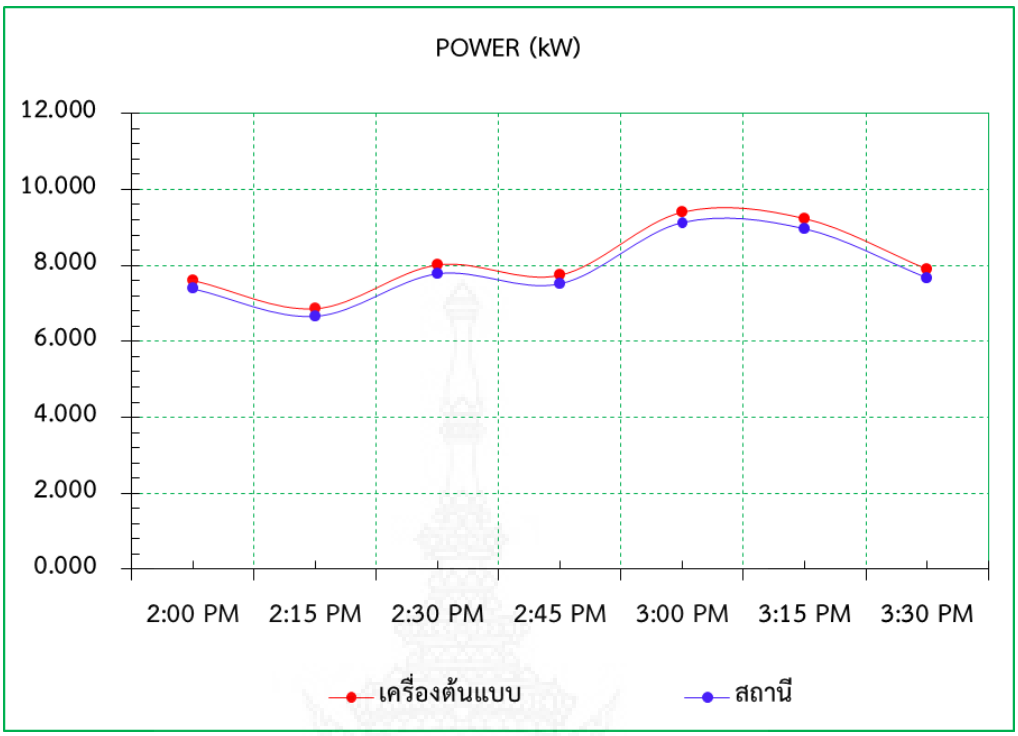
ภาพ 4.2 ตำแหน่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของเครื่องต้นแบบกับสถานี

จากภาพ 4.2 หลังจากนั้นทำความสะอาดแผงอ้างอิงให้เรียบร้อยทดสอบในการเก็บข้อมูลของเครื่องต้นแบบจะบันทึกผลอัตโนมัติอย่างต่อเนื่องใน Memory Card ทุก 15 นาที เป็นเวลา 6 วันๆ ละ 12 ชั่วโมง ตั้งแต่ วันที่ 13 - 18 มกราคม 2559 เวลา 06.00 - 18.00 นาฬิกา แล้วนำข้อมูลที่ได้ใน Memory Card มาวิเคราะห์ผลการทดลองหาค่าสัดส่วนประสิทธิภาพ ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 แสดงตารางการบันทึกผลรายวัน สำหรับวันที่ 13 -18 ม.ค. 2559

เวลา	กำลังไฟฟ้า (kW)	
	สถานี	เครื่องต้นแบบ
12:15 AM		
12:30 AM		
.....		
.....		
11:45 PM		
12:00 AM		

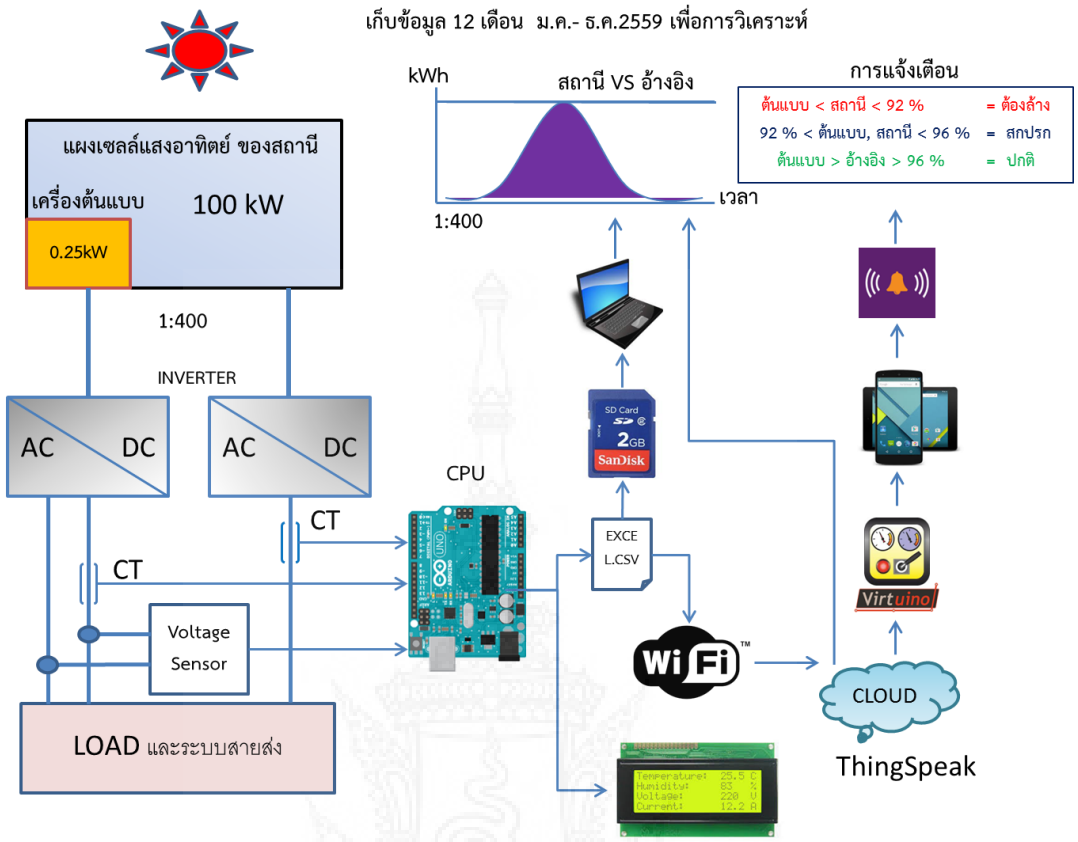
จากตาราง 4.1 ให้เลือกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ค่าสูงๆมาพอร์ทกราฟเปรียบเทียบ ดังภาพ 4.3



ภาพ 4.3 กราฟตัวอย่างแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบ

4.3 ทดสอบเครื่องต้นแบบกับสถานีทั้งหมดแบบระยะยาว

การทดสอบขั้นตอนนี้ทำการติดตั้งวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของเครื่องต้นแบบเทียบเคียงบนพื้นที่เดียวกันกับสถานี โซล่ารูฟจำนวนทั้งหมด ขนาดกำลังจ่ายไฟฟ้า 100 kW และของเครื่องต้นแบบ 0.25 kW จำนวน 400 แผงของจำนวนแผงทั้งหมด 1 แผง เป็นไปตามตามไดอะแกรม ภาพ 4.4



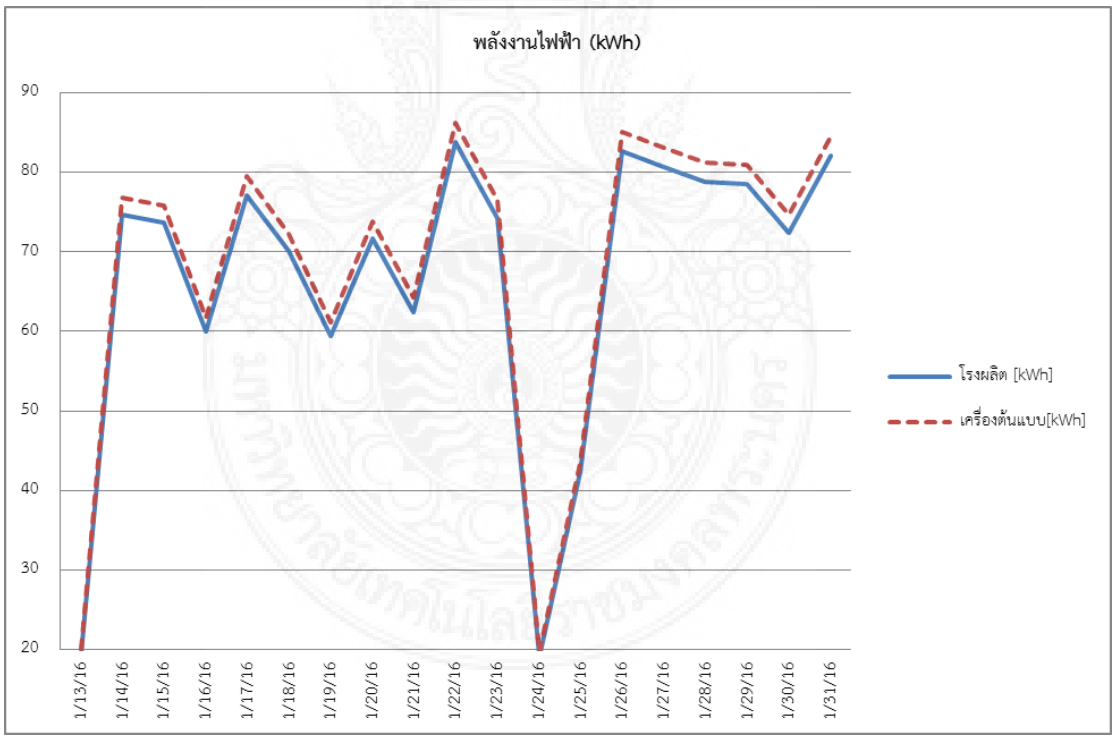
ภาพ 4.4 ไดอะแกรมทดสอบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบ

จากการทดสอบเครื่องต้นแบบกับสถานีผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบโซล่ารูฟและติดตามผลในการบันทึกค่าประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างวันที่ 13 มกราคม- 31 ธันวาคม 2559 เครื่องต้นแบบจะบันทึกผลอัตโนมัติอย่างต่อเนื่องใน Memory Card ทุก 15 นาที เป็นเวลาทุกวันๆ ละ 12 ชั่วโมง ตั้งแต่ วันที่ 19 มกราคม – 30 ธันวาคม 2559 เวลา 06.00 – 18.00 นาฬิกา และเก็บผลมาเป็นวันแต่ละวันใน 1 เดือนดังตารางดังต่อไปนี้ใช้เก็บบันทึกผลแต่ละเดือนดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ตัวอย่างตารางการบันทึกผลรายวันของแต่ละเดือน

เดือน วัน ปี	สถานีผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ[kWh]
1/19/2016		
.		
...		
.....		
1/31/2016		
รวม		

จากตาราง 4.2 ตารางการบันทึกผลรายวันของแต่ละเดือนนำมามาพอร์ทกราฟเปรียบเทียบดังภาพ 4.5



ภาพ 4.5 ตัวอย่างกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้า

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลปฐมภูมิที่เก็บรวบรวมได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติ 2 ชุด ดังนี้

4.4.1 สถิติเชิงพรรณนา

ใช้ค่าเฉลี่ยเพื่อบรรยายคุณลักษณะเป็นกราฟและตารางต่างๆ โดยรวมของข้อมูลที่ทำการศึกษาทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยเป็นค่าที่ได้จากการนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกัน แล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ซึ่งเป็นการวัดแนวโน้มเข้าสู่กลางประเภทหนึ่งที่นิยมใช้กัน โดยมีสูตร $x = \Sigma X / n$ (ถาวร ทันใจ, 2556) และทำการเปรียบเทียบค่าแตกต่างกันในตาราง 4.3 เป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง กล่าวคือให้ปริมาณผลพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากผล 2 กลุ่ม กำหนดให้ X1 คือ ค่าที่วัดได้จากโรงงานผลิต X2 คือ ค่าที่ได้จากเครื่องต้นแบบ (เป็นค่าอ้างอิง) โดยใช้สูตรเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage Difference) ทดสอบ ดังนี้

$$\text{Percentage Difference} = (|X_1-X_2| / \Sigma X_2)\times 100 \; ; \; \Sigma V_2 = (X_1+ X_2) / 2 \qquad (1)$$

$$= (X_1-X_2) / (X_1+ X_2) / 2) \times 100$$

และออกแบบตารางสำหรับวิเคราะห์และเปรียบเทียบในการเปลี่ยนแปลงขบวนการทดสอบสรุปรายเดือนได้ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ตารางสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าของสถานีและเครื่องต้นแบบ

เดือน	โรงไฟฟ้า[kWh]	เครื่องต้นแบบ[kWh]	เปรียบเทียบ[kWh]	ร้อยละแตกต่าง
JAN				
FEB				
MAR				
APR				
MAY				
JUN				
JUL				
AUG				
SEP				
OCT				
NOV				
DEC				
รวม				

4.4.2 สถิติเชิงอนุมาน

ในการทดสอบค่าเฉลี่ยสองค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ที่ไม่เป็นอิสระจากกันหรือกล่าวได้ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดใช้ ทดสอบสมมติฐานที่ 1 และ 2 ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 เป็นการทดสอบแบบทางเดียว ($H_0 : \mu_0 = \mu_1$) และ($H_1 : \mu_0 < \mu_1$) โดยใช้ T – test มีสูตรที่ใช้ทดสอบ ดังนี้

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N\sum D^2 - \left(\sum D\right)^2}{N-1}}}; \text{ (Degree of freedom) df = N-1} \qquad (2)$$

เมื่อ t แทน ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณาใน t – distribution

D แทน ความแตกต่างของค่าพลังงานไฟฟ้าแต่ละคู่

N แทน จำนวนค่าพลังงานไฟฟ้าที่เปรียบเทียบ

$\sum D$ แทน ผลรวมทั้งหมดของผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่วัดแต่ละคู่

$\sum D^2$ แทน ผลรวมของกำลังสองของผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่วัดแต่ละคู่

และนำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบสมมติฐาน ในตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ตารางทดสอบสมมติฐาน t – test

รายการ	สัญลักษณ์	การคำนวณ	ผล
จำนวนข้อมูล	-	N	-
Degree of freedom	df	N-1	-
ผลรวมของผลต่างข้อมูล	∑D		-
ผลรวมของผลต่างข้อมูลกำลังสอง	-	$(\sum D)^2$	-
-	-	N * $\sum D^2$	-
t คำนวณ	t Stat	SQRT((N * $\sum D^2$)-($\sum D^2$)/(N-1))	-
ระดับความเชื่อมั่น 0.01	α	α = 0.01	-
t Critical one-tail	t ตาราง	T.INV(α,df)	-

การตัดสินใจพิจารณา

เมื่อ t Stat > t ตาราง จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เมื่อ t Stat < t ตาราง จะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

การแปลความหมาย

ผลหากยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 แสดงว่าโรงผลิตมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สะอาดไม่มีสิ่งสกปรกเนื่องจากฝุ่นปกคลุมได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

ผลหากปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ โรงงานหรือสถานีผลิตพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สกปรกหรือมีฝุ่นปกคลุมได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

4.5 การแจ้งเตือนบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ตั้งค่าเตือนแจ้งในโปรแกรมโทรศัพท์เคลื่อนที่คือไม่ยอมให้สิ่งสกปรกและฝุ่นละอองมาบดบังทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง ประสิทธิภาพจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 93ไม่ให้ร้อยละสะสมเกินร้อยละ 7 โดยเทียบสัดส่วนกับเครื่องต้นแบบโดยไม่รวมปัจจัยอื่นๆ ในการแจ้งเตือนของงานวิจัยนี้จะมี 3 ระดับดังนี้

1. เมื่อสัดส่วนเทียบกับเครื่องต้นแบบแล้ว มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 92 ให้แสดงแจ้งเตือน ต้องล้าง ดังภาพ 4.6

2. เมื่อสัดส่วนเทียบกับเครื่องต้นแบบแล้ว มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 92 และ 96 ให้แสดงแจ้งเตือนสกปรก ดังภาพ 4.6

3. เมื่อสัดส่วนเทียบกับเครื่องต้นแบบแล้ว มีค่ามากกว่า 96 ให้แสดงให้แสดงแจ้งเตือน ปกติ ทำให้ส่งผลดังตัวอย่างภาพ 4.6

ภาพ 4.6 แสดงผลแจ้งเตือนผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

บทที่ 5

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยเรื่องเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุดเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งและให้มีการแจ้งเตือนที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้การบริหารจัดการด้วยซอฟแวร์แบบเวลาจริงเป็นการศึกษาเชิงสำรวจจากการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่ค่าต่างๆ จากการทำงานของเครื่องต้นแบบจะทำการบันทึกค่าค่าประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของเครื่องต้นแบบกับประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงผลิตพลังงานไฟฟ้าที่และการบันทึกผลกับการทำงานของโรงผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบโซล่ารูฟและติดตามผลทุกๆ วินาที รวบรวมบันทึกอีกครั้งทุก 15 นาที และ 1 วัน เมื่อมีแสงตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างเวลา 06.00 น.ถึง 18.00 น. ทุกๆ วันละ 12 ชั่วโมง ระหว่างวันที่ 13 มกราคม – 31 ธันวาคม 2559 รวม 355 วันๆ ละ 48 ครั้งอย่างต่อเนื่อง เท่ากับ 17,040 ตัวอย่าง ผลการวิจัยได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาได้ ดังนี้

5.1 ผลการวิจัยรายวันระหว่างวันที่ 13 -18 มกราคม 2559 เป็นการรายงานผลการวิจัยจากการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของเครื่องต้นแบบกับสถานี 20 kW รายวันเพื่อการปรับแต่งเครื่อง

5.2 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 13 มกราคม – 30 ธันวาคม 2559 เป็นการรายงานผลการวิจัยจากการทดสอบเครื่องต้นแบบกับสถานีทั้งหมด 100 kW แบบระยะยาวประมาณ 12 เดือน

5.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสมมติฐาน

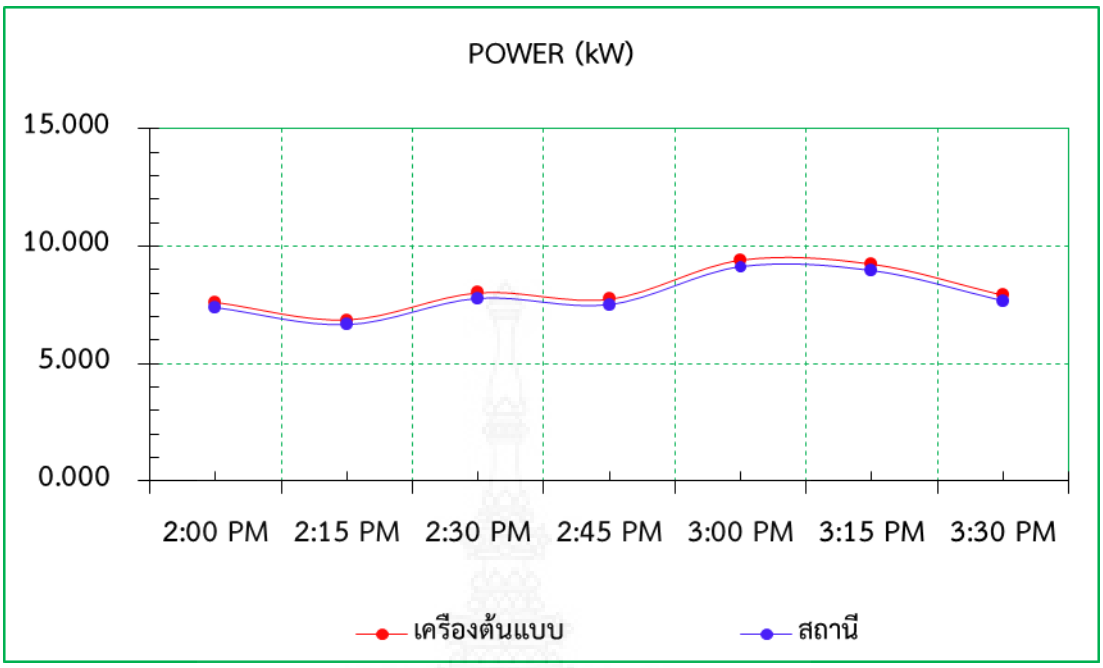
5.4 ผลการแจ้งเตือนทางโทรศัพท์เคลื่อนที่

5.1 ผลการวิจัยรายวันระหว่างวันที่ 13 -18 มกราคม 2559 ดังนี้

ตาราง 5.1 แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 13 มกราคม 2559

เวลา	กำลังไฟฟ้า (kW)	
	สถานี	เครื่องต้นแบบ
1:45 PM	0	0
2:00 PM	7.388	7.610
2:15 PM	6.66	6.860
2:30 PM	7.78	8.013
2:45 PM	7.516	7.741
3:00 PM	9.128	9.402
3:15 PM	8.964	9.233
3:30 PM	7.672	7.902
3:45 PM	4.632	4.771
4:00 PM	3.22	3.317
4:15 PM	2.532	2.608
4:30 PM	2.68	2.760
4:45 PM	1.936	1.994
5:00 PM	1.592	1.640
5:15 PM	1.172	1.207
5:30 PM	0.816	0.840
5:45 PM	0.52	0.536
6:00 PM	0.164	0.169
6:15 PM	0.02	0.021
6:30 PM	0	0

จากตาราง 5.1 เลือกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ค่าสูงๆ จากการบันทึกมาเขียนกราฟดังภาพ 5.1

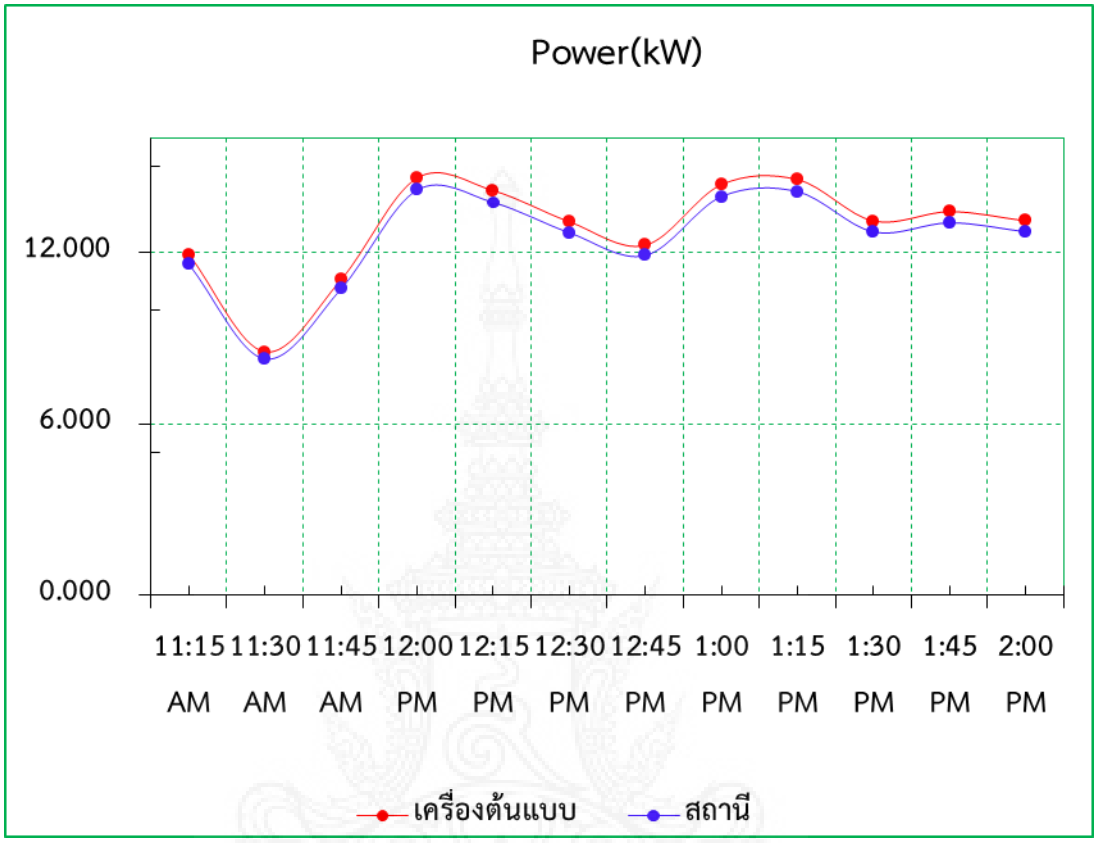


ภาพ 5.1 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 13 มกราคม 2559

ตาราง 5.2 แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 14 มกราคม 2559

เวลา	กำลังไฟฟ้า (kW)	
	สถานี	เครื่องต้นแบบ
10:45 AM	11.58	11.927
11:00 AM	8.268	8.516
11:15 AM	10.724	11.046
11:30 AM	14.18	14.605
11:45 AM	13.748	14.160
12:00 PM	12.692	13.073
12:15 PM	11.892	12.249
12:30 PM	13.952	14.371
12:45 PM	14.124	14.548
1:00 PM	12.716	13.097
1:15 PM	13.036	13.427
1:30 PM	12.72	13.102

จากตาราง 5.2 เลือกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ค่าสูงๆ จากการบันทึกมาเขียนกราฟดังภาพ 5.2



ภาพ 5.2 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 14 มกราคม 2559

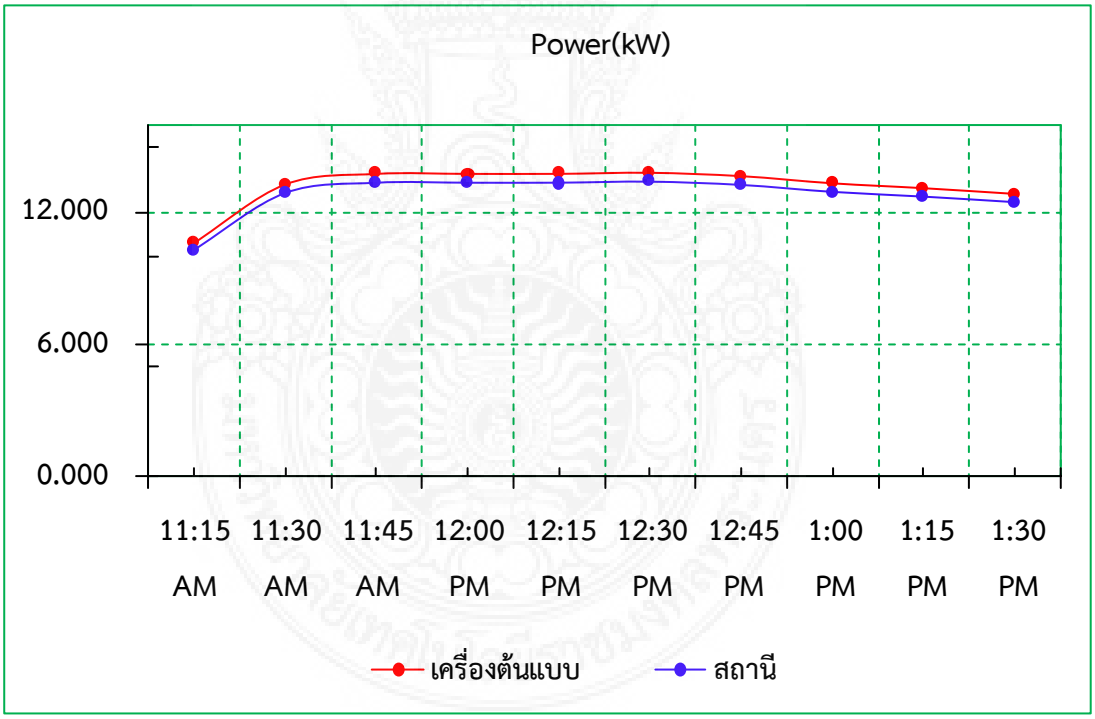
ตาราง 5.3 แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 15 มกราคม 2559

เวลา	กำลังไฟฟ้า (kW)	
	สถานี	เครื่องต้นแบบ
12:00 PM	10.332	10.642
12:15 PM	12.916	13.303
12:30 PM	13.384	13.786
12:45 PM	13.384	13.786

ตาราง 5.3 แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 15 มกราคม 2559 (ต่อ)

เวลา	กำลังไฟฟ้า (kW)	
	สถานี	เครื่องต้นแบบ
1:00 PM	13.386	13.788
1:15 PM	13.432	13.835
1:30 PM	13.284	13.683
1:45 PM	12.968	13.357
2:00 PM	12.752	13.135
2:15 PM	12.5	12.875

จากตาราง 5.3 เลือกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ค่าสูงๆ จากการบันทึกมาเขียนกราฟดังภาพ 5.3

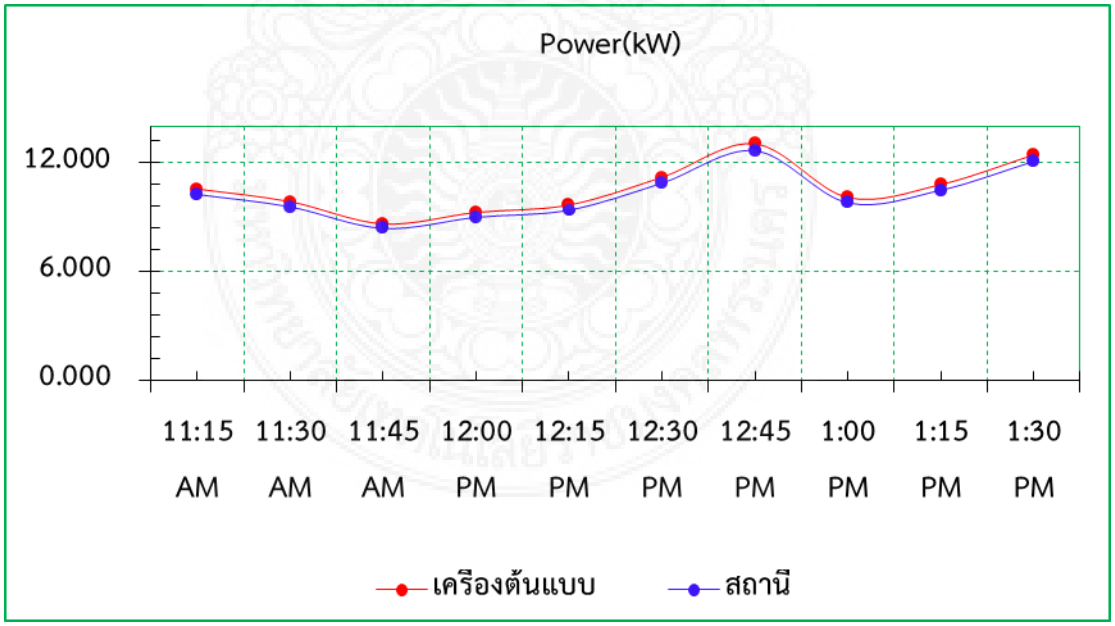


ภาพ 5.3 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 15 มกราคม 2559

ตาราง 5.4 แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 16 ม.ค 2559

เวลา	กำลังไฟฟ้า (kW)	
	สถานี	เครื่องต้นแบบ
12:15 PM	10.26	10.568
12:30 PM	9.576	9.863
12:45 PM	8.388	8.640
1:00 PM	9.000	9.270
1:15 PM	9.400	9.682
1:30 PM	10.888	11.215
1:45 PM	12.676	13.056
2:00 PM	9.800	10.094
2:15 PM	10.500	10.815
2:30 PM	12.088	12.451

จากตาราง 5.4 เลือกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ค่าสูงๆ จากการบันทึกมาเขียนกราฟดังภาพ 5.4

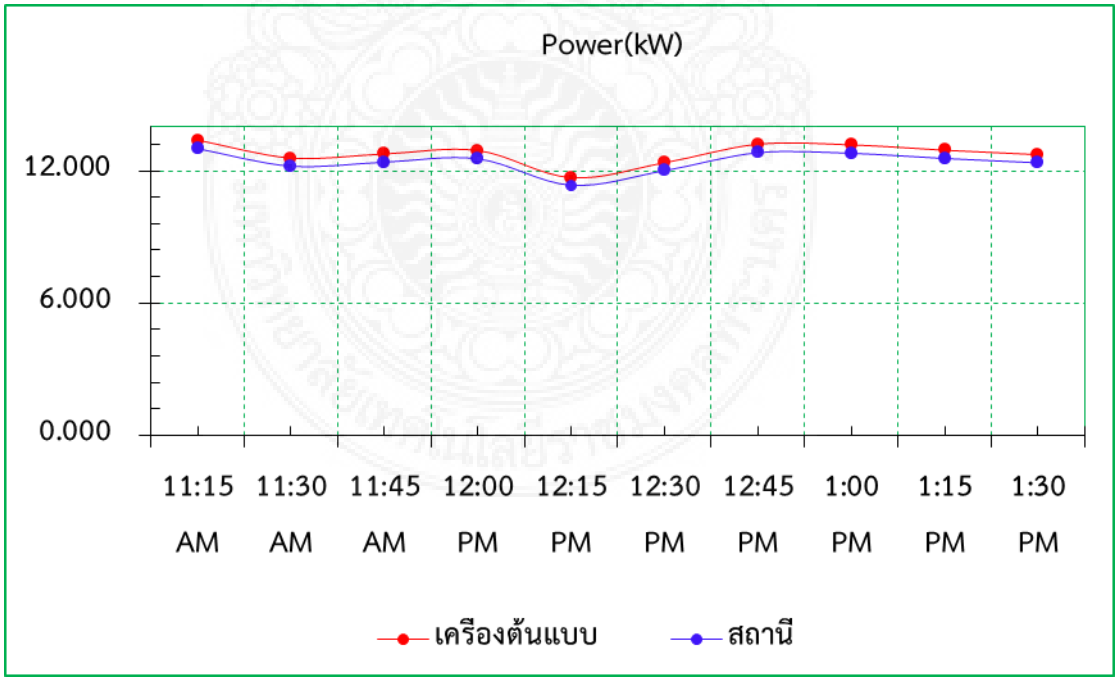


ภาพ 5.4 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 16 มกราคม 2559

ตาราง 5.5 แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 17 ม.ค 2559

เวลา	กำลังไฟฟ้า (kW)	
	สถานี	เครื่องต้นแบบ
12:00 PM	13.008	13.398
12:15 PM	12.216	12.582
12:30 PM	12.396	12.768
12:45 PM	12.548	12.924
1:00 PM	11.352	11.693
1:15 PM	12.008	12.368
1:30 PM	12.824	13.209
1:45 PM	12.796	13.18
2:00 PM	12.56	12.937
2:15 PM	12.364	12.735

จากตาราง 5.5 เลือกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ค่าสูงๆ จากการบันทึกมาเขียนกราฟดังภาพ 5.5

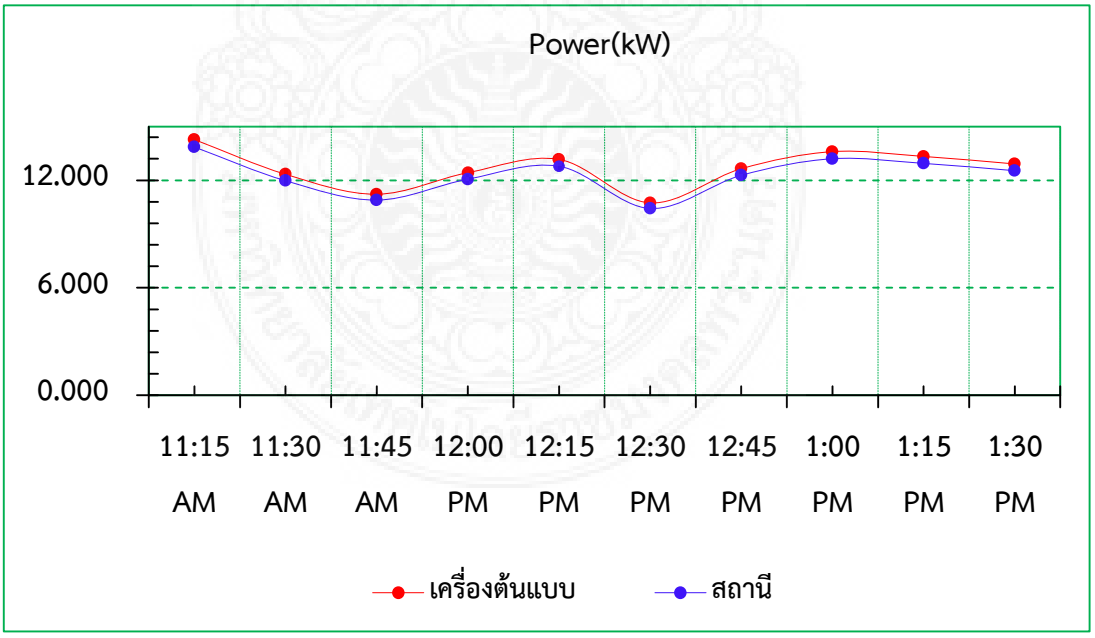


ภาพ 5.5 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 17 มกราคม 2559

ตาราง 5.6 แสดงผลบันทึกค่ารายวัน วันที่ 18 มกราคม 2559

เวลา	กำลังไฟฟ้า (kW)	
	สถานี	เครื่องต้นแบบ
11:45 AM	13.856	14.272
12:00 PM	11.976	12.335
12:15 PM	10.896	11.223
12:30 PM	12.064	12.426
12:45 PM	12.784	13.168
1:00 PM	10.428	10.741
1:15 PM	12.28	12.648
1:30 PM	13.204	13.600
1:45 PM	12.944	13.332
2:00 PM	12.536	12.912

จากตาราง 5.6 เลือกค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ค่าสูงๆ จากการบันทึกมาเขียนกราฟดังภาพ 5.6



ภาพ 5.6 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบวันที่ 18 มกราคม 2559

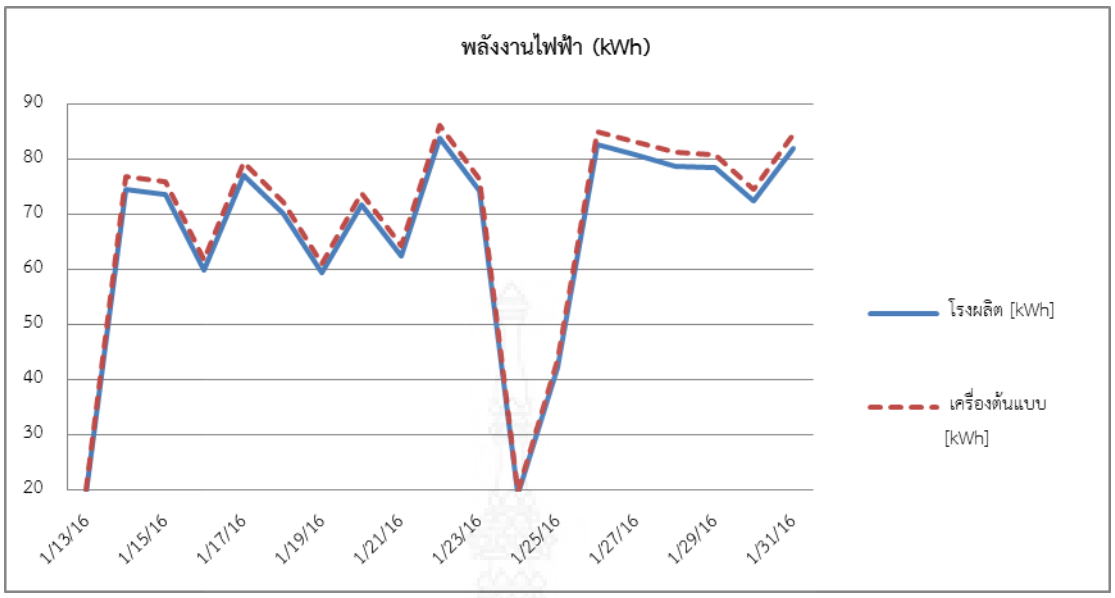
5.2 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 13 มกราคม – 30 กันยายน 2559

จากการวิจัยจาก บันทึกค่าแบบรายวันแล้วและบันทึกผลใหม่เหมือนเดิมตั้งแต่วันที่ 13 มกราคม-30 กันยายน 2559 ตามตาราง 5.7 ดังนี้

ตาราง 5.7 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 13-31 มกราคม 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
1/13/2016	19.48	20.06
1/14/2016	74.63	76.86
1/15/2016	73.67	75.88
1/16/2016	59.96	61.75
1/17/2016	77.18	79.49
1/18/2016	70.11	72.21
1/19/2016	59.37	61.15
1/20/2016	71.65	73.80
1/21/2016	62.38	64.25
1/22/2016	83.77	86.28
1/23/2016	74.29	76.51
1/24/2016	19.12	19.69
1/25/2016	42.25	43.51
1/26/2016	82.62	85.09
1/27/2016	80.72	83.14
1/28/2016	78.82	81.19
1/29/2016	78.56	80.92
1/30/2016	72.46	74.63
1/31/2016	82.10	84.56
รวม	1263.11	1301.01

จากตาราง 5.7 มาพอร์ทกราฟ ได้ดังภาพ 5.7



ภาพ 5.7 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน มกราคม 2559

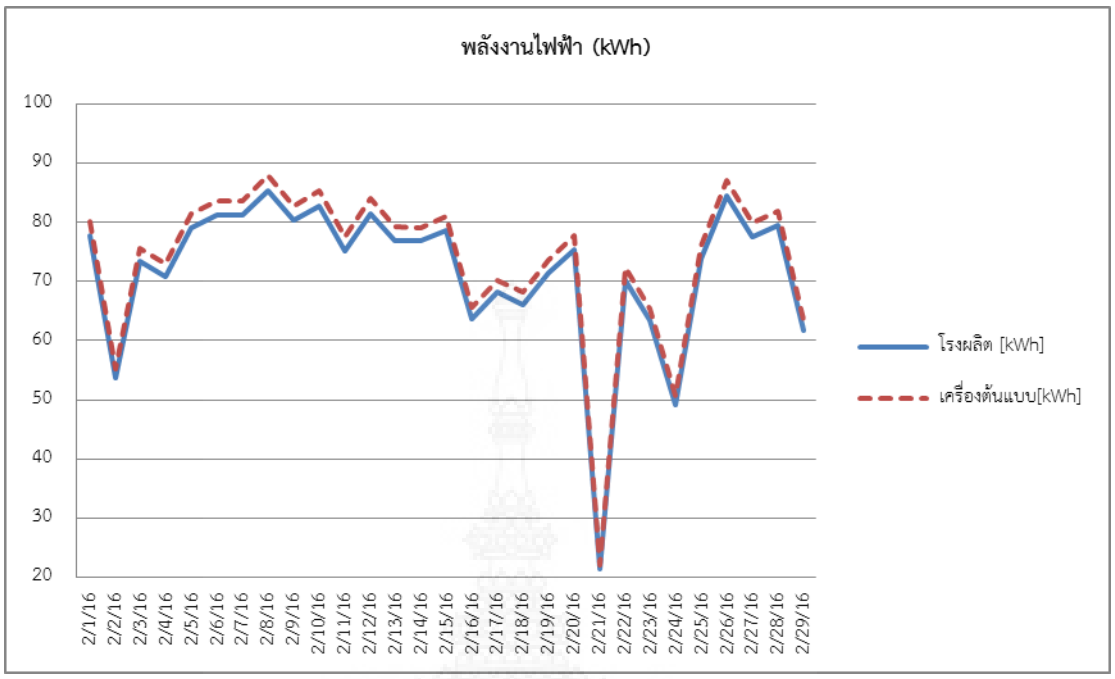
ตาราง 5.8 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-29 กุมภาพันธ์ 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
2/1/2016	77.82	80.16
2/2/2016	53.63	55.24
2/3/2016	73.40	75.60
2/4/2016	70.83	72.95
2/5/2016	79.08	81.45
2/6/2016	81.25	83.69
2/7/2016	81.25	83.69
2/8/2016	85.44	88.01
2/9/2016	80.45	82.86
2/10/2016	82.84	85.32
2/11/2016	75.22	77.48

ตาราง 5.8 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-29 กุมภาพันธ์ 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
2/12/2016	81.56	84.01
2/13/2016	76.94	79.25
2/14/2016	76.84	79.14
2/15/2016	78.61	80.97
2/16/2016	63.68	65.59
2/17/2016	68.17	70.22
2/18/2016	66.15	68.13
2/19/2016	71.58	73.73
2/20/2016	75.48	77.75
2/21/2016	21.32	21.96
2/22/2016	70.18	72.29
2/23/2016	63.55	65.46
2/24/2016	49.23	50.71
2/25/2016	73.81	76.03
2/26/2016	84.52	87.06
2/27/2016	77.52	79.84
2/28/2016	79.43	81.81
2/29/2016	61.69	63.54
รวม	2,081.49	2143.93

จากตาราง 5.8 จากการบันทึกผลเดือน มกราคม มาเขียนกราฟ ได้ดังภาพ 5.8



ภาพ 5.8 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน กุมภาพันธ์ 2559

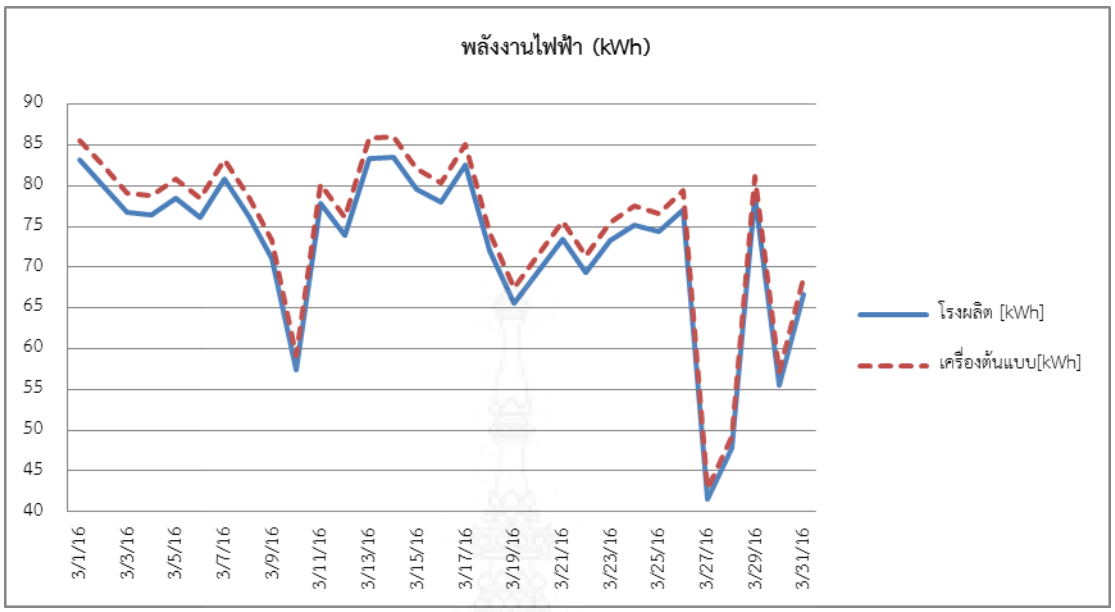
ตาราง 5.9 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 มีนาคม 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
3/1/2016	83.10	85.59
3/2/2016	80.09	82.50
3/3/2016	76.73	79.03
3/4/2016	76.44	78.73
3/5/2016	78.51	80.87
3/6/2016	76.10	78.39
3/7/2016	80.82	83.24
3/8/2016	76.26	78.54
3/9/2016	71.11	73.25
3/10/2016	57.36	59.08
3/11/2016	77.78	80.12

ตาราง 5.9 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 มีนาคม 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
3/12/2016	73.84	76.05
3/13/2016	83.31	85.81
3/14/2016	83.57	86.07
3/15/2016	79.63	82.01
3/16/2016	77.95	80.29
3/17/2016	82.58	85.05
3/18/2016	72.02	74.18
3/19/2016	65.53	67.49
3/20/2016	69.52	71.60
3/21/2016	73.44	75.65
3/22/2016	69.38	71.46
3/23/2016	73.33	75.53
3/24/2016	75.21	77.47
3/25/2016	74.36	76.59
3/26/2016	77.13	79.44
3/27/2016	41.49	42.73
3/28/2016	47.83	49.27
3/29/2016	78.83	81.20
3/30/2016	55.46	57.12
3/31/2016	66.67	68.67
รวม	2255.37	2323.03

จากตาราง 5.9 จากการบันทึกผลเดือน มีนาคม มาเขียนกราฟ ได้ดังภาพ 5.9



ภาพ 5.9 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน มีนาคม 2559

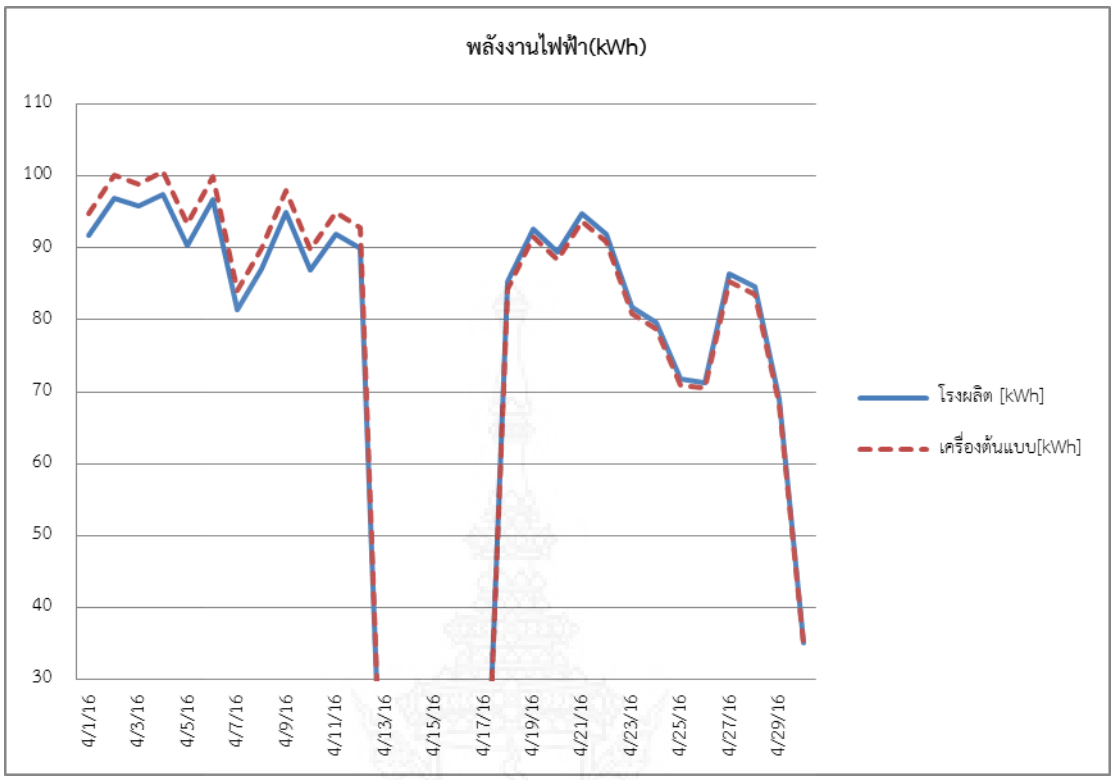
ตาราง 5.10 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 เมษายน 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
4/1/2016	91.67	94.71
4/2/2016	96.99	100.2
4/3/2016	95.76	98.93
4/4/2016	97.39	100.6
4/5/2016	90.38	93.36
4/6/2016	96.66	99.86
4/7/2016	81.47	84.17
4/8/2016	87.03	89.91
4/9/2016	94.93	98.07
4/10/2016	86.86	89.72
4/11/2016	91.97	95.01
4/12/2016	89.89	92.86

ตาราง 5.10 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 เมษายน 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
4/13/2016	0	0
4/14/2016	0	0
4/15/2016	0	0
4/16/2016	0	0
4/17/2016	0	0
4/18/2016	85.27	84.33
4/19/2016	92.58	91.56
4/20/2016	89.37	88.38
4/21/2016	94.70	93.66
4/22/2016	91.86	90.85
4/23/2016	81.84	80.94
4/24/2016	79.66	78.78
4/25/2016	71.72	70.93
4/26/2016	71.30	70.51
4/27/2016	86.33	85.38
4/28/2016	84.55	83.62
4/29/2016	69.01	68.25
4/30/2016	35.15	34.76
รวม	2134.38	2159.35

จากตาราง 5.10 จากการบันทึกผลเดือน เมษายน มาเขียนกราฟ ได้ดังภาพ 5.10



ภาพ 5.10 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน เมษายน 2559

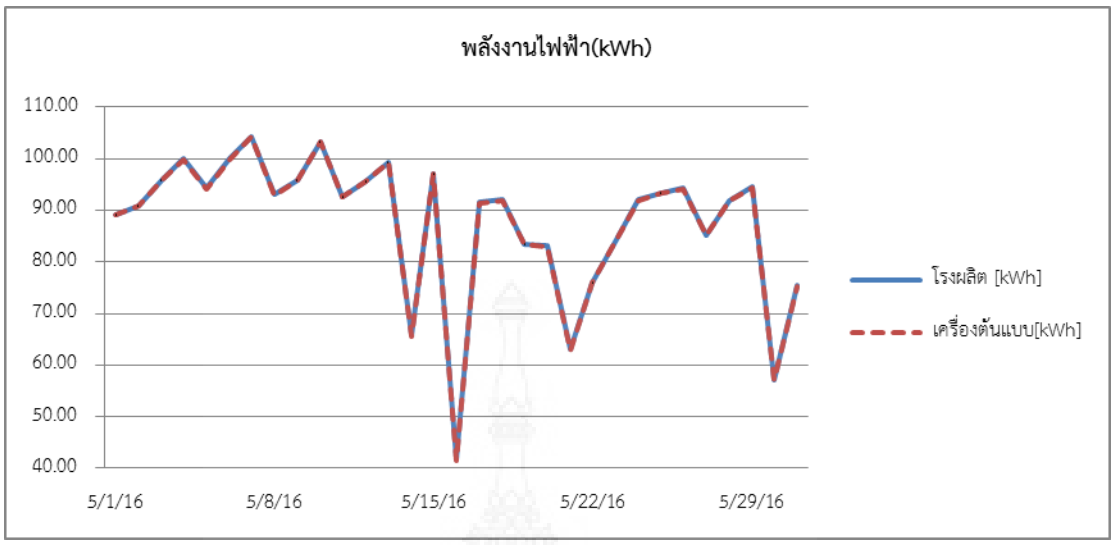
ตาราง 5.11 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 พฤษภาคม 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ[kWh]
5/1/2016	89.16	89.07
5/2/2016	90.93	90.84
5/3/2016	95.90	95.80
5/4/2016	99.97	99.87
5/5/2016	94.29	94.20
5/6/2016	99.99	99.89
5/7/2016	104.37	104.27
5/8/2016	93.03	92.93
5/9/2016	95.90	95.81
5/10/2016	103.36	103.26
5/11/2016	92.68	92.59

ตาราง 5.11 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 พฤษภาคม 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
5/12/2016	95.67	95.58
5/13/2016	99.39	99.29
5/14/2016	65.69	65.62
5/15/2016	97.13	97.04
5/16/2016	41.65	41.61
5/17/2016	91.57	91.48
5/18/2016	92.01	91.91
5/19/2016	83.47	83.39
5/20/2016	83.05	82.97
5/21/2016	63.00	62.94
5/22/2016	76.00	75.93
5/23/2016	83.90	83.81
5/24/2016	91.98	91.89
5/25/2016	93.41	93.32
5/26/2016	94.29	94.20
5/27/2016	85.16	85.07
5/28/2016	91.84	91.75
5/29/2016	94.50	94.40
5/30/2016	57.11	57.05
5/31/2016	75.40	75.32
รวม	2715.80	2713.09

จากตาราง 5.11 จากการบันทึกผลเดือน พฤษภาคม มาเขียนกราฟ ได้ดังภาพ 5.11



ภาพ 5.11 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน พฤษภาคม 2559

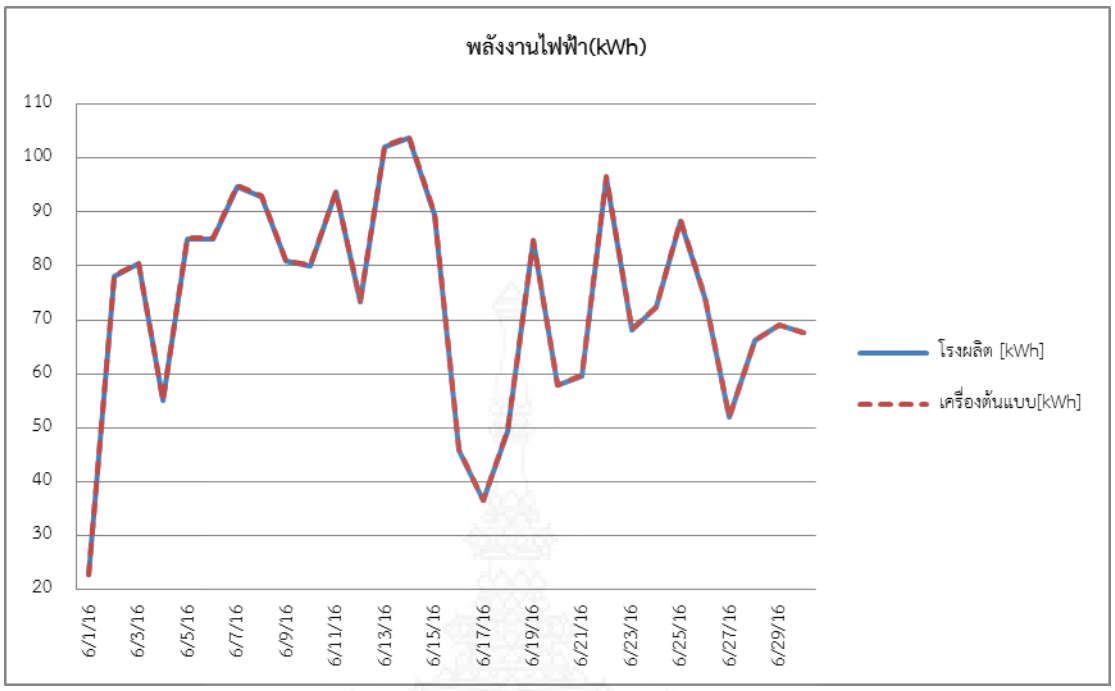
ตาราง 5.12 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 มิถุนายน 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
6/1/2016	22.76	22.81
6/2/2016	78.14	78.30
6/3/2016	80.38	80.54
6/4/2016	54.92	55.03
6/5/2016	84.94	85.11
6/6/2016	84.98	85.15
6/7/2016	94.68	94.86
6/8/2016	92.89	93.07
6/9/2016	80.87	81.04
6/10/2016	80.01	80.17
6/11/2016	93.66	93.84
6/12/2016	73.43	73.58
6/13/2016	102.08	102.28
6/14/2016	103.70	103.90
6/15/2016	89.42	89.60

ตาราง 5.12 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 มิถุนายน 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
6/16/2016	45.82	45.92
6/17/2016	36.50	36.57
6/18/2016	49.45	49.55
6/19/2016	84.64	84.81
6/20/2016	57.80	57.92
6/21/2016	59.60	59.72
6/22/2016	96.40	96.60
6/23/2016	68.18	68.32
6/24/2016	72.26	72.40
6/25/2016	88.30	88.47
6/26/2016	74.06	74.21
6/27/2016	51.85	51.96
6/28/2016	66.17	66.30
6/29/2016	69.03	69.16
6/30/2016	67.54	67.68
รวม	2204.44	2208.85

จากตาราง 5.12 จากการบันทึกผลเดือน มิถุนายน มาเขียนกราฟ ได้ดังภาพ 5.12



ภาพ 5.12 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน มิถุนายน 2559

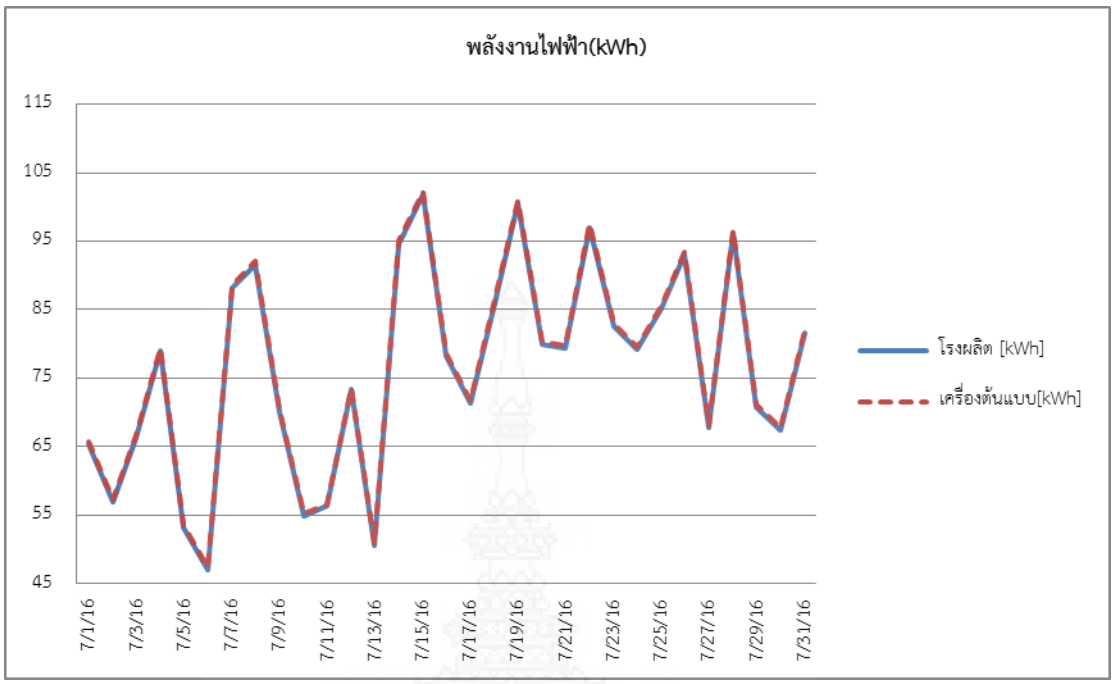
ตาราง 5.13 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 กรกฎาคม 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
7/1/2016	65.35	65.68
7/2/2016	56.94	57.23
7/3/2016	66.32	66.65
7/4/2016	78.94	79.33
7/5/2016	53.27	53.53
7/6/2016	47.09	47.33
7/7/2016	88.19	88.63
7/8/2016	91.60	92.06
7/9/2016	70.11	70.46
7/10/2016	54.90	55.18
7/11/2016	56.34	56.62
7/12/2016	73.31	73.68
7/13/2016	50.65	50.91

ตาราง 5.13 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 กรกฎาคม 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
7/14/2016	94.57	95.04
7/15/2016	101.78	102.29
7/16/2016	78.29	78.68
7/17/2016	71.32	71.67
7/18/2016	85.24	85.67
7/19/2016	100.45	100.95
7/20/2016	79.89	80.28
7/21/2016	79.33	79.73
7/22/2016	96.98	97.47
7/23/2016	82.54	82.96
7/24/2016	79.16	79.56
7/25/2016	85.18	85.61
7/26/2016	92.97	93.43
7/27/2016	67.88	68.22
7/28/2016	96.17	96.65
7/29/2016	70.72	71.08
7/30/2016	67.46	67.79
7/31/2016	81.68	82.09
รวม	2364.62	2376.45

จากตาราง 5.13 จากการบันทึกผลเดือน กรกฎาคม มาพอร์ทกราฟ ได้ดังภาพ 5.13



ภาพ 5.13 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน กรกฎาคม 2559

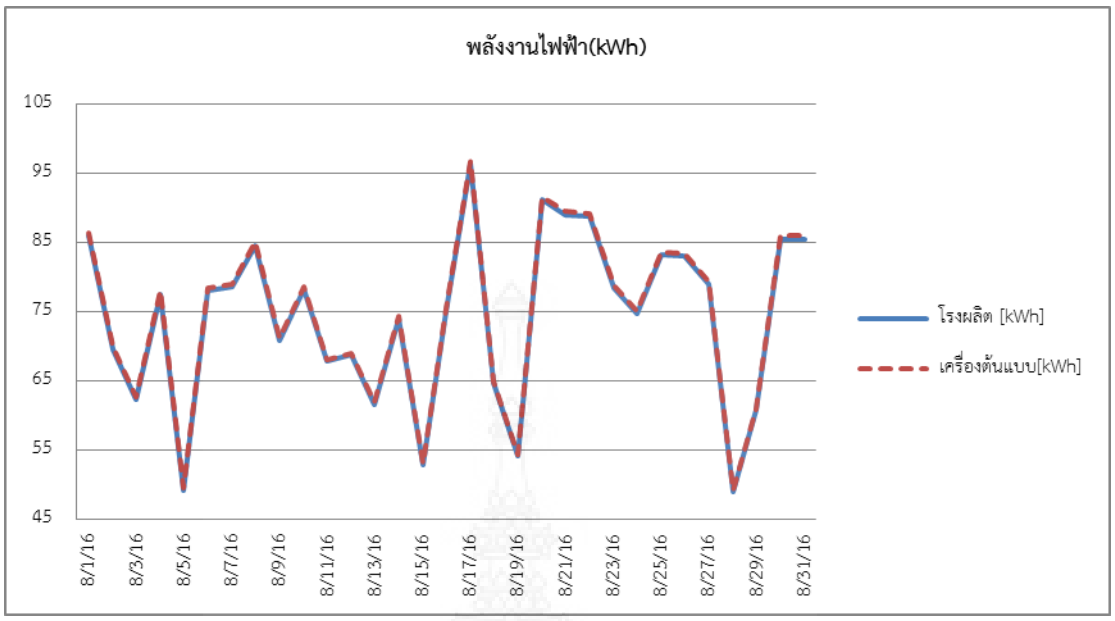
ตาราง 5.14 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 สิงหาคม 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
8/1/2016	86.02	86.45
8/2/2016	69.52	69.86
8/3/2016	62.32	62.63
8/4/2016	77.58	77.96
8/5/2016	49.20	49.44
8/6/2016	78.04	78.43
8/7/2016	78.59	78.98
8/8/2016	84.57	84.99
8/9/2016	70.87	71.22
8/10/2016	78.29	78.68
8/11/2016	67.76	68.10

ตาราง 5.14 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 สิงหาคม 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
8/12/2016	68.69	69.03
8/13/2016	61.52	61.82
8/14/2016	74.04	74.41
8/15/2016	52.80	53.07
8/16/2016	75.04	75.42
8/17/2016	96.31	96.79
8/18/2016	64.62	64.94
8/19/2016	54.12	54.39
8/20/2016	91.21	91.66
8/21/2016	89.00	89.45
8/22/2016	88.75	89.20
8/23/2016	78.44	78.83
8/24/2016	74.68	75.05
8/25/2016	83.22	83.64
8/26/2016	83.06	83.47
8/27/2016	78.97	79.36
8/28/2016	48.88	49.13
8/29/2016	60.76	61.06
8/30/2016	85.54	85.97
8/31/2016	85.51	85.94
รวม	2297.91	2309.39

จากตาราง 5.14 จากการบันทึกผลเดือน สิงหาคม มาเขียนกราฟ ได้ดังภาพ 5.14



ภาพ 5.14 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน สิงหาคม 2559

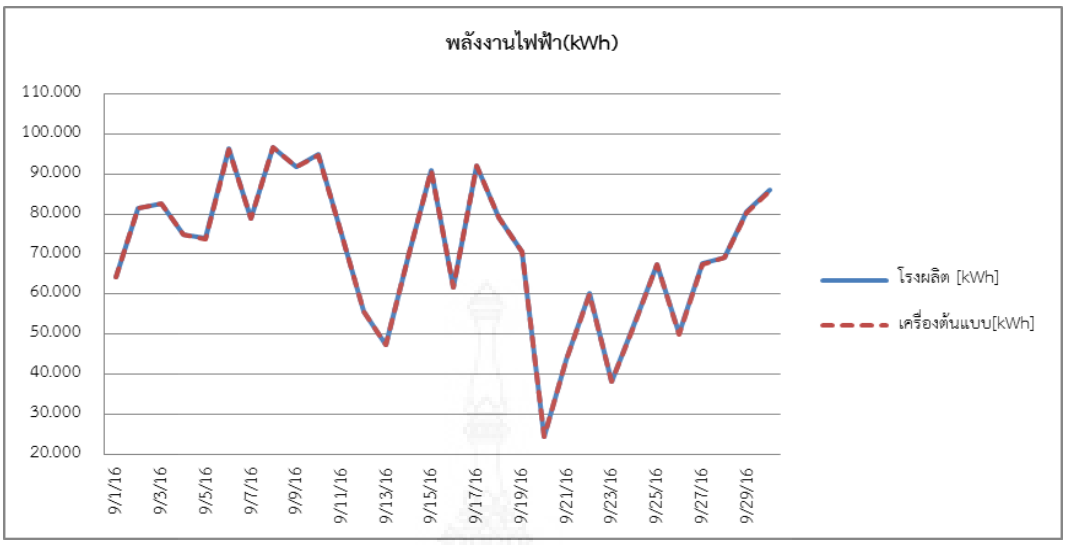
ตาราง 5.15 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 กันยายน 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
9/1/2016	64.23	64.10
9/2/2016	81.58	81.42
9/3/2016	82.65	82.48
9/4/2016	74.97	74.82
9/5/2016	73.96	73.81
9/6/2016	96.39	96.19
9/7/2016	79.00	78.84
9/8/2016	96.79	96.59
9/9/2016	91.90	91.72
9/10/2016	94.93	94.74
9/11/2016	74.97	74.82
9/12/2016	55.68	55.57
9/13/2016	47.31	47.22
9/14/2016	70.30	70.16

ตาราง 5.15 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 กันยายน 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
9/15/2016	90.98	90.80
9/16/2016	61.69	61.57
9/17/2016	92.17	91.98
9/18/2016	79.25	79.09
9/19/2016	70.58	70.44
9/20/2016	24.24	24.19
9/21/2016	43.69	43.60
9/22/2016	60.18	60.06
9/23/2016	38.07	37.99
9/24/2016	52.05	51.94
9/25/2016	67.52	67.39
9/26/2016	50.10	50.00
9/27/2016	67.60	67.46
9/28/2016	69.15	69.01
9/29/2016	80.54	80.38
9/30/2016	86.00	85.83
รวม	2118.44	2114.20

จากตาราง 5.15 จากการบันทึกผลเดือน กันยายน มาเขียนกราฟ ได้ดังภาพ 5.15



ภาพ 5.15 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน กันยายน 2559

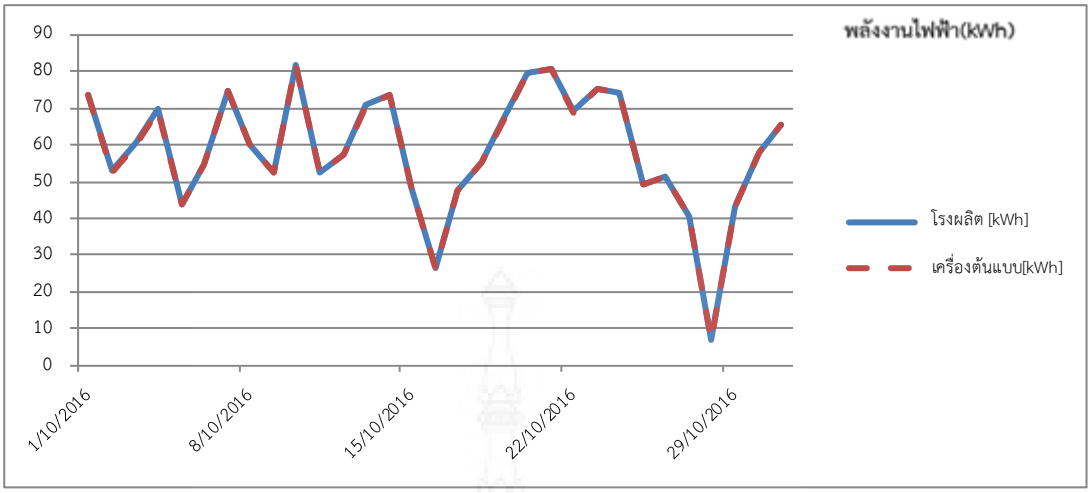
ตาราง 5.16 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 ตุลาคม 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
10/1/2016	73.82	73.67
10/2/2016	52.81	52.70
10/3/2016	60.34	60.22
10/4/2016	69.60	69.46
10/5/2016	43.84	43.75
10/6/2016	54.88	54.77
10/7/2016	74.76	74.61
10/8/2016	60.09	59.97
10/9/2016	52.55	52.45
10/10/2016	81.78	81.61
10/11/2016	52.67	52.57
10/12/2016	57.32	57.21
10/13/2016	70.73	70.59
10/14/2016	73.68	73.53
10/15/2016	48.37	48.28

ตาราง 5.16 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 ตุลาคม 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
10/16/2016	26.17	26.12
10/17/2016	47.62	47.52
10/18/2016	55.44	55.33
10/19/2016	66.91	66.77
10/20/2016	79.68	79.52
10/21/2016	80.61	80.45
10/22/2016	69.13	68.99
10/23/2016	75.54	75.39
10/24/2016	74.28	74.14
10/25/2016	49.44	49.34
10/26/2016	51.51	51.41
10/27/2016	40.45	40.37
10/28/2016	7.02	7.01
10/29/2016	43.38	43.29
10/30/2016	57.75	57.64
10/31/2016	65.76	65.63
รวม	1817.91	1814.28

จากตาราง 5.16 จากการบันทึกผลเดือน ตุลาคม มาเขียนกราฟ ได้ดังภาพ 5.16



ภาพ 5.16 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน ตุลาคม 2559

ตาราง 5.17 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 พฤศจิกายน 2559

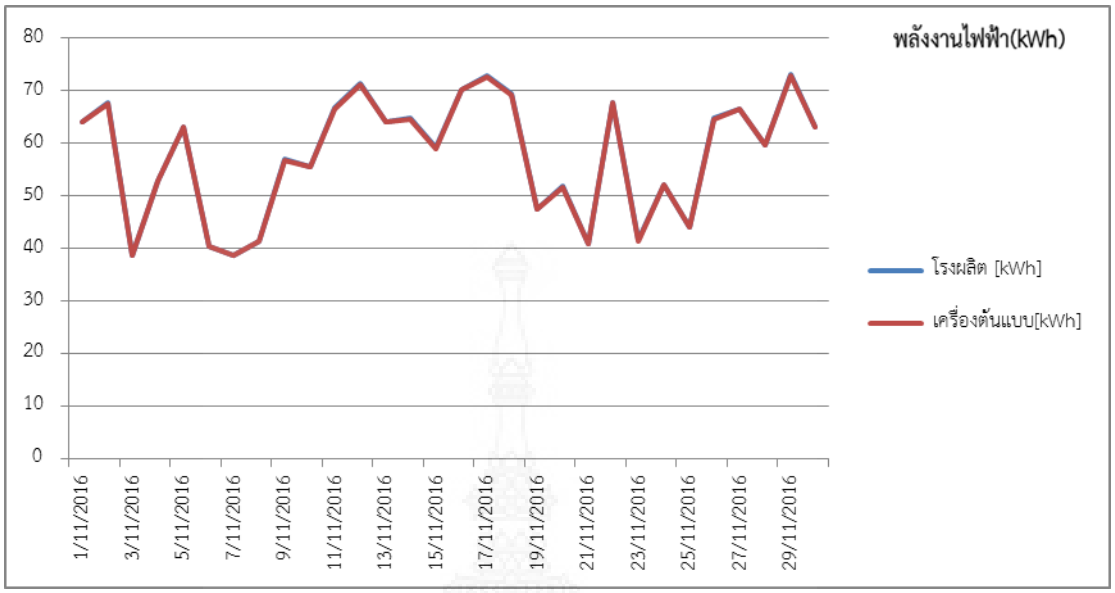
เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
11/1/2016	64.12	63.99
11/2/2016	67.68	67.55
11/3/2016	38.75	38.67
11/4/2016	52.95	52.84
11/5/2016	63.11	62.98
11/6/2016	40.45	40.37
11/7/2016	38.77	38.69
11/8/2016	41.33	41.25
11/9/2016	56.92	56.81
11/10/2016	55.63	55.52
11/11/2016	66.68	66.54
11/12/2016	71.34	71.19
11/13/2016	64.15	64.02
11/14/2016	64.79	64.66
11/15/2016	59.16	59.04

ตาราง 5.17 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-30 พฤศจิกายน 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
11/16/2016	70.27	70.13
11/17/2016	72.77	72.63
11/18/2016	69.43	69.29
11/19/2016	47.45	47.35
11/20/2016	51.79	51.69
11/21/2016	40.98	40.89
11/22/2016	67.76	67.62
11/23/2016	41.49	41.41
11/24/2016	52.20	52.09
11/25/2016	44.16	44.07
11/26/2016	64.78	64.65
11/27/2016	66.58	66.45
11/28/2016	59.77	59.65
11/29/2016	73.05	72.90
11/30/2016	63.12	62.99
รวม	1731.39	1727.92

จากตาราง 5.17 จากการบันทึกผลเดือน พฤษภาคม มาเขียนกราฟ ได้ดังภาพ 5.17

\



ภาพ 5.17 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน พฤศจิกายน 2559

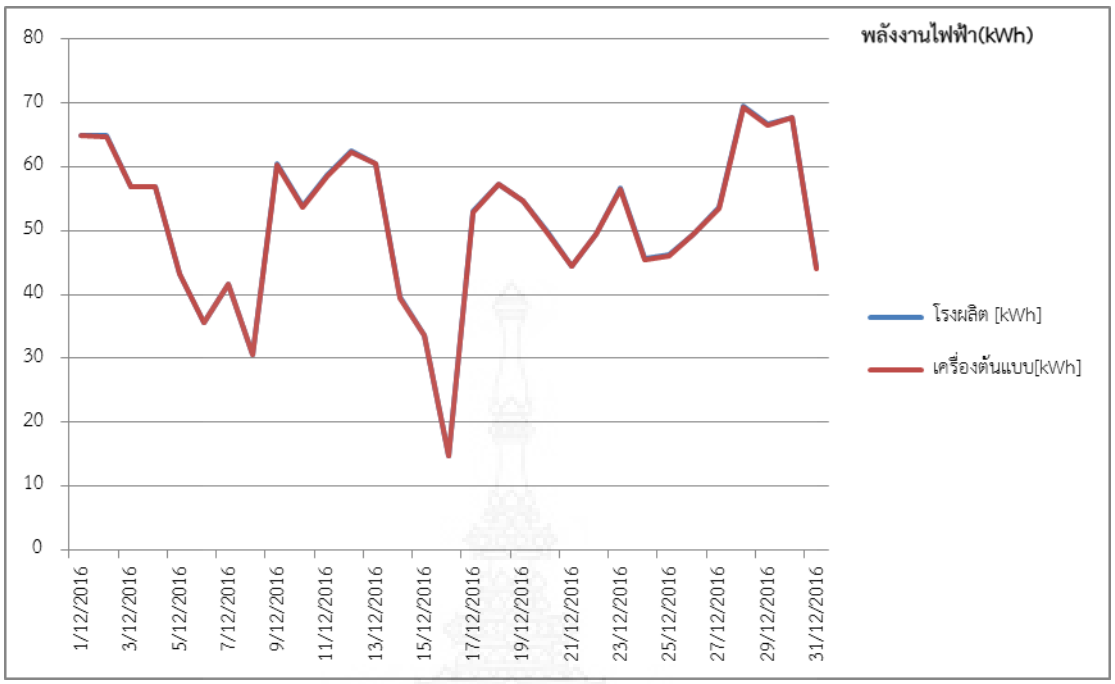
ตาราง 5.18 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 ธันวาคม 2559

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
12/1/2016	64.98	64.85
12/2/2016	64.87	64.74
12/3/2016	56.91	56.80
12/4/2016	56.91	56.80
12/5/2016	43.24	43.15
12/6/2016	35.61	35.54
12/7/2016	41.67	41.59
12/8/2016	30.60	30.54
12/9/2016	60.49	60.37
12/10/2016	53.80	53.69
12/11/2016	58.58	58.46
12/12/2016	62.48	62.35
12/13/2016	60.52	60.40
12/14/2016	39.57	39.49

ตาราง 5.18 ผลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 1-31 ธันวาคม 2559 (ต่อ)

เดือน วัน ปี	โรงผลิต [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]
12/15/2016	33.63	33.56
12/16/2016	14.67	14.64
12/17/2016	52.96	52.86
12/18/2016	57.31	57.20
12/19/2016	54.72	54.61
12/20/2016	49.79	49.69
12/21/2016	44.46	44.38
12/22/2016	49.46	49.36
12/23/2016	56.61	56.50
12/24/2016	45.54	45.45
12/25/2016	46.19	46.10
12/26/2016	49.53	49.43
12/27/2016	53.56	53.46
12/28/2016	69.54	69.40
12/29/2016	66.68	66.55
12/30/2016	67.79	67.65
12/31/2016	44.20	44.11
รวม	1586.85	1583.68

จากตาราง 5.18 จากการบันทึกผลเดือน ธันวาคม มาเขียนกราฟ ได้ดังภาพ 5.18



ภาพ 5.18 การเปรียบเทียบระหว่างสถานีกับเครื่องต้นแบบเดือน ธันวาคม 2559

5.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการทดสอบสมมติฐาน

ผลข้อมูลการวิจัยปฐมภูมิที่เก็บรวบรวมได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติ 2 ชุด ดังนี้

5.3.1 สถิติเชิงพรรณนา

เป็นการนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อบรรยายคุณลักษณะตารางต่างๆในการเปลี่ยนแปลงขบวนการทดสอบได้ดังตาราง 5.19

Percentage Difference = $(|X_1-X_2| / \Sigma X_2)\times 100$; $\Sigma V_2 = (X_1+ X_2) / 2$

$= (1263.11-1301.01) / (1263.11+1301.01) / 2) \times 100$

$= (37.89 / 1282.06) \times 100$

$= 3\ \%$

ตาราง 5.19 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าของสถานีและเครื่องต้นแบบ

เดือน	โรงไฟฟ้า [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]	เปรียบเทียบ (kW)	ร้อยละแตกต่าง
JAN	1,263.11	1,301.01	-37.89	-3
FEB	2,081.49	2,143.93	-62.44	-3
MAR	2,255.37	2,323.03	-67.66	-3
APR	2,134.38	2,159.35	-24.97	-1.17
MAY	2,715.80	2,713.09	2.72	0.1
JUN	2,204.44	2,208.85	-4.41	-0.2
JUL	2,364.62	2,376.45	-11.82	-0.5
AUG	2,297.91	2,309.40	-11.49	-0.5
SEP	2,118.44	2,114.20	4.24	0.2
OCT	1,817.91	1,814.28	3.64	0.2
NOV	1,731.39	1,727.92	3.46	0.2
DEC	1,586.85	1,583.68	3.17	0.2
รวม	24,571.70	24,775.17	-203.46	-10.47

จากตาราง 5.19 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าของสถานีและเครื่องต้นแบบ สถานีจะมีค่าพลังงานที่วัดได้ของแต่ละเดือนรวมทั้งหมด 12 เดือนน้อยกว่าเครื่องต้นแบบ 203.46 คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 10.47

5.3.1 สถิติเชิงอนุมาน

การทดสอบผลการวิจัยค่าเฉลี่ยสองค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง 2 ามสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดใช้ที่ไม่เป็นอิสระจากกันหรือกล่าวได้ว่ามีควกลุ่ม ทดสอบสมมติฐานที่ 1 และ 2 ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 เป็นการทดสอบแบบทางเดียว

$(H_0 : \mu_0 = \mu_1)$ และ $H_1 : \mu_0 < \mu_1$ จะดังนี้

5.3.1.1 สมมุติฐานที่ 1 เมื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงงานได้ค่าพลังงานไฟฟ้าได้น้อยกว่าเครื่องต้นแบบแสดงว่าโรงงานมีการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพต่ำลงเนื่องจากผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สกปรกเนื่องจากฝุ่นปกคลุม จึงทำให้มีเครื่องต้นแบบและอุปกรณ์เตือนแจ้งถึงความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจะได้ทำการล้างทำความสะอาดผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมทดแทนการปฏิบัติกันมาทุกๆ เดือนสามารถส่งผลให้ลดต้นทุนในการล้างทำความสะอาดได้ จากผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบเบื้องต้นแล้วในตาราง 5.19 ทำให้ทราบทิศทางประสิทธิภาพ

ต่ำลงผลคือติดลบคือเดือน มกราคม - เมษายน และเดือน กรกฎาคม - สิงหาคม จึงได้นำตัวอย่างข้อมูลของเดือน มกราคม ที่ได้มาทดสอบสมมติฐานที่ 1 ดังตาราง 5.20

ตาราง 5.20 ตารางทดสอบสมมติฐานที่ 1

รายการ	สัญลักษณ์	การคำนวณ	ผล
จำนวนข้อมูล	N	-	19.00
Degree of freedom	df	N-1	18.00
ผลรวมของผลต่างข้อมูล	∑D	-	-37.89
ผลรวมของผลต่างข้อมูลกำลังสอง	-	$\sum D^2$	1435.9
-	-	$N * \sum D^2$	-720.0
t คำนวณ	t Stat	$SQRT((N * \sum D^2)-(\sum D^2)/(N-1))$	-3.46
ระดับความเชื่อมั่น 0.01	α	α = 0.01	0.01
t Critical one-tail	t ตาราง	T.INV(α,df)	-2.55

การตัดสินใจพิจารณา

เมื่อ t Stat > t ตาราง จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เมื่อ t Stat < t ตาราง จะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

เนื่องจาก t Stat =3.46 > t ตาราง = 2.55 โดยไม่คิดเครื่องหมายดังนั้น จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ โรงงานหรือสถานีผลิตพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สกปรกหรือมีฝุ่นปกคลุมได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 จากตารางที่ 5.19 และ 5.20 สรุปเดือนมกราคม – เมษายน และเดือน กรกฎาคม-สิงหาคม จำนวน 6 เดือน ที่โรงผลิตมีประสิทธิภาพการจ่ายพลังงานไฟฟ้าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบเนื่องจากผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สกปรกหรือมีฝุ่นปกคลุมและเครื่องสามารถแจ้งเตือนให้ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

5.3.1.2 สมมติฐานที่ 2 เมื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตได้ค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับเครื่องต้นแบบแสดงว่าโรงผลิตมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สะอาดไม่มีสิ่งสกปรกเนื่องจากฝุ่นปกคลุม จึงทำให้มีเครื่องต้นแบบและอุปกรณ์ตรวจติดตามเตือนแจ้งถึงความสะอาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ จากผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบเบื้องต้นแล้วในตาราง 5.19 ประสิทธิภาพสูงกว่าคือเดือน พฤษภาคม – มิถุนายน และเดือน กันยายน- ธันวาคม จึงได้นำตัวอย่างข้อมูลของเดือน พฤษภาคม ที่ได้มาทดสอบสมมติฐานที่ 2 ดังตาราง 5.21

ตาราง 5.21 ตารางทดสอบสมมติฐานที่ 2

รายการ	สัญลักษณ์	การคำนวณ	ผล
จำนวนข้อมูล	-	N	31.0
Degree of freedom	df	N-1	30.0
ผลรวมของผลต่างข้อมูล	∑D		2.72
ผลรวมของผลต่างข้อมูลกำลังสอง	-	$\sum D^2$	7.38
-	-	$N * \sum D^2$	84.2
t คำนวณ	t Stat	$SQRT((N * \sum D^2)-(\sum D^2)/(N-1))$	1.70
ระดับความเชื่อมั่น 0.01	α	$\alpha = 0.01$	0.01
t Critical one-tail	t ตาราง	T.INV(α,df)	-2.46

การตัดสินใจพิจารณา

เมื่อ t Stat > t ตาราง จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เมื่อ t Stat < t ตาราง จะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

เนื่องจาก t Stat = 1.70 < t ตาราง = 2.46 โดยไม่คิดเครื่องหมายดังนั้น จึงยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1 แสดงว่าโรงผลิตมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สะอาดไม่มีสิ่งสกปรกเนื่องจากฝุ่นปกคลุมได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 จากตารางที่ 5.19 และ 5.20 สรุปเดือนพฤษภาคม – มิถุนายน และเดือน กันยายน-ธันวาคม จำนวน 6 เดือน สำหรับโรงผลิตมีประสิทธิภาพการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบเนื่องจากผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์สะอาดหรือมีฝุ่นปกคลุมและเครื่องสามารถแจ้งเตือนถึงความสะอาดของแผงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ต้องทำสะอาดทุกๆ เดือน ส่งผลให้ลดต้นทุนในการล้างทำความสะอาดได้ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

5.4 ผลการแจ้งเตือนทางโทรศัพท์เคลื่อนที่

จะเป็นการนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบในการเปลี่ยนแปลงขบวนการทดสอบได้ดังตาราง 5.19

5.4.1 เมื่อสัดส่วนเทียบกับเครื่องต้นแบบแล้ว มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 92 = ต้องล้างทำให้ส่งผลออกทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังภาพ 5.19

ภาพ 5.19 แสดงผลแจ้งเตือน ต้องล้าง บนโทรศัพท์เคลื่อนที่

5.4.2 เมื่อสัดส่วนเทียบกับเครื่องต้นแบบแล้ว มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 92 และ 96 = สกปรกทำให้ส่งผลออกทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังภาพ 5.20

.

ภาพ 5.20 แสดงผลแจ้งเตือนสกปรกบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

5.4.3 เมื่อสัดส่วนเทียบกับเครื่องต้นแบบแล้ว มีค่ามากกว่า 96 % = ปกติทำให้ส่งผลดังภาพ 5.21

ภาพ 5.21 แสดงผลแจ้งเตือนปกติบนโทรศัพท์เคลื่อนที่

บทที่ 6

อภิปรายผลการวิจัย

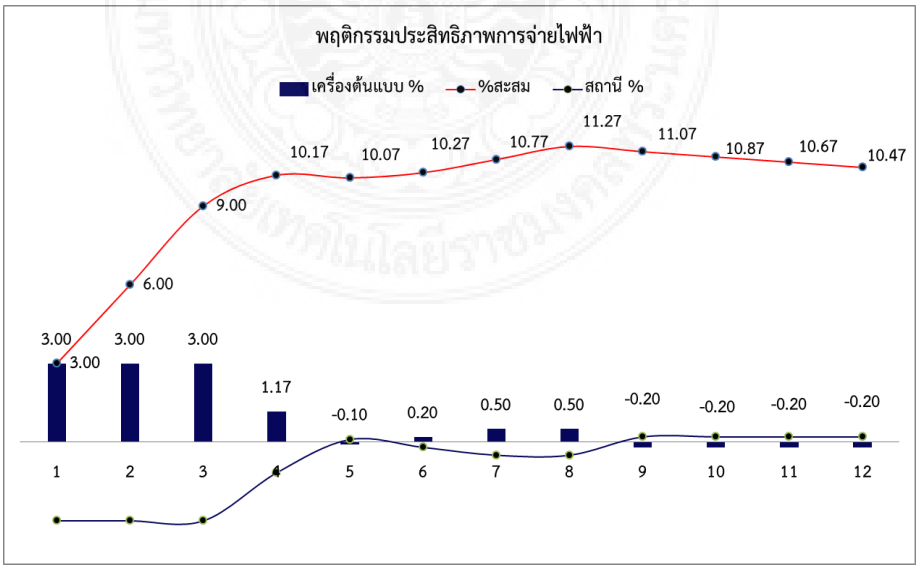
จากผลการวิจัยมีประเด็นที่น่าสนใจนำมาอภิปรายผลดังนี้

1. ผลจากการทดลองประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแหล่งระหว่างสถานีและเครื่องต้นแบบรายวันระหว่างวันที่ 13 -18 มกราคม 2559 เป็นเวลา 6 วัน นำข้อมูลมาทำการเคราะห์ พบว่า วันที่ 13 มกราคม 2560 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เริ่มตั้งแต่เวลา 14.00 น. ถึง เวลา 18.15 น. ถูกบันทึกไว้ทุกๆ 15 นาทีรวมเวลาที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์ 4.5 ชั่วโมง จะได้กลุ่มตัวอย่าง 18 ตัวอย่างจากสองแหล่งเปรียบเทียบกันแต่ละค่าที่ได้แตกต่างกันออกไปแล้วแต่แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวแผงรวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 74.39 กิโลวัตต์ (kW) และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 76.62 kW แตกต่างกัน 2.29 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 2.91 ในวันที่ 14 มกราคม 2560 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เริ่มตั้งแต่เวลา 07.15 น. ถึง เวลา 18.00 น. ถูกบันทึกไว้ทุกๆ 15 นาทีรวมเวลาที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์ 11 ชั่วโมง จะได้กลุ่มตัวอย่าง 44 กลุ่มตัวอย่างจากสองแหล่งเปรียบเทียบกันแต่ละค่าที่ได้แตกต่างกันออกไปแล้วแต่แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวแผงรวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 298.55 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 307.55 kW แตกต่างกัน -8.96 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 2.91 วันที่ 15 มกราคม 2560 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เริ่มตั้งแต่เวลา 7.15 น. ถึง เวลา 18.00 น.ถูกบันทึกไว้ทุกๆ 15 นาทีรวมเวลาที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์ 11 ชั่วโมง จะได้กลุ่มตัวอย่าง 44 ตัวอย่างจากสองแหล่งเปรียบเทียบกันแต่ละค่าที่ได้แตกต่างกันออกไปแล้วแต่แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวแผงรวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 294.69 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 303.53 kW แตกต่างกัน 8.84 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 2.91 วันที่ 16 มกราคม 2560 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เริ่มตั้งแต่เวลา 7.15 น. ถึง เวลา 18.15 น. ถูกบันทึกไว้ทุกๆ 15 นาทีรวมเวลาที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์ 11.25 ชั่วโมง จะได้กลุ่มตัวอย่าง 45 ตัวอย่างจากสองแหล่งเปรียบเทียบกันแต่ละค่าที่ได้แตกต่างกันออกไปแล้วแต่แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวแผงรวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 239.83 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 247.023 kW แตกต่างกัน 7.20 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 2.91 เปอร์เซ็นต์ วันที่ 17 มกราคม 2560 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เริ่มตั้งแต่เวลา 7.00 น. ถึง เวลา 18.15 น. ถูกบันทึกไว้ทุกๆ15 นาทีรวมเวลาที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์ 11.5 ชั่วโมง จะได้กลุ่มตัวอย่าง 46 ตัวอย่างจากสองแหล่งเปรียบเทียบกันแต่ละค่าที่ได้แตกต่างกันออกไปแล้วแต่แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวแผงรวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จาก

สถานีนั้นเท่ากับ 308.70 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 317.96 kW แตกต่างกัน 9.26 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 2.91 เปอร์เซ็นต์ วันที่ 18 มกราคม 2560 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เริ่มตั้งแต่เวลา 7.15 น. ถึง เวลา 18.15 น. ถูกบันทึกไว้ทุกๆ 15 นาทีรวมเวลาที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์ 11.25 ชั่วโมง จะได้กลุ่มตัวอย่าง 45 ตัวอย่างจากสองแหล่งเปรียบเทียบกันแต่ละค่าที่ได้แตกต่างกันออกไปแล้วแต่แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวแผงรวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 280.43 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 288.85 kW แตกต่างกัน 8.41 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 2.91 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างจำนวนที่แตกต่างกันระหว่างสถานีผลิตไฟฟ้าและเครื่องต้นแบบคิดเป็นร้อยละที่ลดลง 2.91 ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละที่ลดลง 2.91

2. จากผลการนำข้อมูลการวิจัยรายเดือนระหว่างวันที่ 13-31 ธันวาคม 2559 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เริ่มตั้งแต่เวลา 7.15 น. ถึง เวลา 18.15 น. ถูกบันทึกไว้ทุกๆ 15 นาทีรวมเวลาที่ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์ 11.5 ชั่วโมง กลุ่มตัวอย่างประมาณวันละ 48 ตัวอย่าง จำนวน 12 เดือนหรือ 355 วันเท่ากับ 17,040 ตัวอย่าง รวมตัวย่างแต่ละวันเข้าให้เป็นรายวันของแต่ละเดือนจะได้กลุ่มตัวอย่างเป็นรายเดือนทั้งหมด 365 หรือ 1 ปี จากกลุ่มตัวอย่างจะสรุปค่ากำลังไฟฟ้าจากสองแหล่งเปรียบเทียบกันแต่ละค่าที่ได้แตกต่างกันออกไปแล้วแต่แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวแผงแล้วพบว่าวันที่ 13-31 มกราคม 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 1,263.11 kW และเครื่องต้นแบบเท่ากับ 1,301.007 kW แตกต่างกัน 37.89 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 3 วันที่1-29 กุมภาพันธ์ 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 2,081.49 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 2,143.93 kW แตกต่างกัน 62.44 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 3 วันที่1-31 มีนาคม 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 2,255.37 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 2,323.03 kW แตกต่างกัน 67.66 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 3 ในเดือนเมษายนแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงที่ 1 ระหว่างวันที่1-12 เมษายน 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 1,101.05 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 1,137.38 kW แตกต่างกัน 36.33 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 3.3 เปอร์เซ็นต์ ช่วงที่ 2 ระหว่างวันที่ 13-17 เมษายน 2559 เครื่องต้นแบบและอุปกรณ์จะแจ้งเตือนให้ทำการล้างทำความสะสาดผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของสถานีและปิดสถานีและเครื่องต้นแบบทำความสะอาดไม่มีการบันทึกข้อมูลจะเท่ากับ 0 kW ช่วงที่ 3 ระหว่างวันที่ 18-30 เมษายน 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 1,033.33 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 1,021.97 kW แตกต่างกัน 11.37 kW คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 0.01 ในเดือนนี้จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าของสถานีและเครื่องต้นแบบจะมีค่าความแตกต่างกันในช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 จากร้อยละที่ลดลง 3.3 เป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 0.01 เกิดจากสาเหตุมีการตัดสินใจล้างทำความสะอาดผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเวลา 5 วันเพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และในการทำงานในครั้งนี้จะตรงกับวันหยุดสงกรานต์จะไม่กระทบต่อการผลิตไฟฟ้าแต่

อย่างใดและปรับปรุงระบบให้มีการแจ้งเตือนบนมือถือ หลังจากนั้นเปิดระบบบันทึกต่อไปอย่างต่อเนื่องแล้วพบว่า วันที่ 1-31 พฤษภาคม 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 2,715.80 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 2,713.09 kW แตกต่างกัน 2.27 kW คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 0.1 ต่อมาผลระหว่างวันที่ 1- 30 มิถุนายน 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 2,204.44 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 2,208.85 kW แตกต่างกัน 4.41 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 0.2 เปอร์เซ็นต์ในเดือนนี้ค่าเปรียบเทียบจะเปลี่ยนเป็นลบต่อมาผลระหว่างวันที่ 1-31 กรกฎาคม 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 2,364.62 kW และเครื่องต้นแบบเท่ากับ 2,376.45 kW แตกต่างกัน 11.82 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาผลระหว่างวันที่ 1- 31 สิงหาคม 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 2,297.90 kW และเครื่องต้นแบบเท่ากับ 2,309.39 kW แตกต่างกัน 11.41 kW คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 0.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาผลระหว่างวันที่ 1- 30 กันยายน 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 2,118.44 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 2,114.20 kW แตกต่างกัน 4.24 kW คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาผลวันที่ 1- 31 ตุลาตม 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 1,817.91 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 1,814.28 KW แตกต่างกัน 3.36 kW คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาผลวันที่ 1- 30 พฤศจิกายน 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 1,731.386 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 1,727.92 kW แตกต่างกัน 3.46 kW คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาผลวันที่ 1- 31 ธันวาคม 2559 รวมค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสถานีนั้นเท่ากับ 1,586.85 kW และเครื่องต้นแบบ เท่ากับ 1,583.68 kW แตกต่างกัน 3.17 kW คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ ผลในการวัดเปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้งปีเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังภาพ 6.1



ภาพ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้า

จากภาพ 6.1 พบว่าเดือน มกราคม-มีนาคม ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีสัดส่วนอยู่เดือนละ 3 % รวมสามเดือนประสิทธิภาพหายไปร้อยละ 9 (ค่าที่ได้จากการวัดจริง) เนื่องจากสิ่งสกปรก ฝุ่นละอองปกคลุม สะสมและในเดือน เมษายนจะมีสัดส่วนอยู่ 1.17 เนื่องจากรวมทั้งหมดประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าลดต่ำลงสะสมถึง 10.17% เครื่องต้นแบบและอุปกรณ์เกิดการแจ้งเตือนทำให้ตัดสินใจล้างทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งระบบทั้งหมด ในวันที่ 13-17 เมษายน 2559 หลังจากล้างทำความสะอาดผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งระบบแล้ว ในวันที่ 18 เมษายน 2559 เป็นต้นไป เครื่องต้นแบบก็ทำการบันทึกข้อมูลการผลิตไฟฟ้าใหม่และทำการติดตามผลใหม่โดยที่ทำความสะอาดแผงอ้างอิงตลอดทุกวันอาจมีทิ้งช่วงในการทำความสะอาดแผงบ้างเป็นสัปดาห์ละครั้ง ตั้งแต่ เดือน เมษายน ถึง เดือน ธันวาคม รวมเป็นเวลา 9 เดือนไม่ได้รับการแจ้งเตือนจากเครื่องต้นแบบอีกเลยแต่ผู้วิจัยเห็นประสิทธิภาพทั้งสองมีสัดส่วนสะสมที่เพิ่มขึ้นในเดือน ก.ค.-ส.ค.รวมร้อยละที่ลดลง 1.1 จึงตรวจสอบและล้างระบบแผงสถานีอีกครั้งโดยไม่ปิดระบบ อีกทั้งผู้วิจัยตรวจสอบข้อมูลที่ถูกบันทึกการผลิตไฟฟ้าของข้อมูลทั้งสองแหล่งจากระบบ Data logger โดยเก็บข้อมูลใน Secure Digital Card (SD Card) และ การบันทึกด้วยระบบ Data Wi-fi link, internet of things(IoT) บันทึกบน Thingspeak.com ซึ่งระบบ Cloud Service ที่ให้บริการด้าน Internet of Things แล้วนำมาทำแผนภูมิวิเคราะห์ข้อมูลจะได้ว่าการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแหล่งเป็นสัดส่วนกันในเดือนพฤษภาคม ร้อยละที่ลดลง 0.10 เดือนมิถุนายนร้อยละที่เพิ่มขึ้น 0.20 เดือน กรกฎาคม ร้อยละที่เพิ่มขึ้น 0.50 เดือนสิงหาคมร้อยละที่เพิ่มขึ้น 0.50 และเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ร้อยละที่ลดลง 0.20 เท่ากันทุกเดือน รวม 9 เดือน ประสิทธิภาพหต่างกัน รวม 0.47% นั่นก็หมายความว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้รับการทำความสะอาดจะมีประสิทธิภาพลดลงสะสมเป็นร้อยละ 9 ในเวลา 3 เดือน (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่และฤดูกาล) ซึ่งตรงกับข้อมูลในศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวมาแล้ว ปัจจัยมีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเรื่องผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่น หลังจากที่ได้ทำการล้างตามที่อุปกรณ์ต้นแบบที่ส่งสัญญาณเตือนและระบบที่ได้ออกแบบแล้วทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กลับมาสูงเหมือนเดิม ซึ่งจะเป็นการเตือนแจ้งให้ทราบว่าการล้างไม่จำเป็นต้องทำเป็นรอบตามที่ปฏิบัติกันมา 12 ครั้ง ในโรงงานผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการวิจัยในครั้งนี้ทำให้เกิดการล้างทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ครั้งซึ่งจะทำให้ลดต้นทุนได้ 10 ครั้ง ดังนั้นเครื่องต้นแบบสามารถเป็นอุปกรณ์เตือนแจ้งตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

บทที่ 7

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงความสำคัญของการใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานที่สะอาดอย่างยั่งยืนได้นำการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีเพื่อความยังยืนออกมาเป็นความคิดที่ถูกพัฒนาภายใต้สมมติฐานของระบบใหม่โดยใช้คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ เป็นพื้นฐาน ประกอบด้วยระบบโปรแกรมการทำงานที่รับข้อมูลเข้าผ่านกระบวนการคำนวณตลอดจนส่งข้อมูลออกโดย การเตือนแจ้ง และการแสดงผลลัพธ์ให้รับรู้ตอบสนองความต้องการจนสำเร็จได้เครื่องต้นแบบ 1 เครื่อง “เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด” มี โครงสร้างขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 0.8 เมตร ทำมุมเอียง 15 องศา แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 310 วัตต์ ระบบจ่ายไฟฟ้าเป็นแบบ On Grid จ่ายไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 310 วัตต์ การบันทึกโดยใช้สายตา ดูหน้าจอ LCD การบันทึกด้วยระบบ Data Wi-Fi link, internet of things(Iot) บันทึกโดยดูแบบออนไลน์บน thing speak และระบบ Data logger โดยเก็บข้อมูลใน SD card และทำการทดสอบระหว่าง กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในระบบโรงผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทน แบบ ROOF TOP ขนาด 100 กิโลวัตต์ สถานที่บริษัทไทชูการ์เทอมิเนิลจำกัด (มหาชน) เป็นเวลา 12 เดือน โดยเครื่องต้นแบบเป็นตัวติดตามวัดผลกระทบจากฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ ที่มาปิดบังผิวรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่ำลง เครื่องต้นแบบสามารถแจ้งเตือนรายงานและแจ้งเตือนบนมือถือผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เครื่องต้นแบบสามารถแจ้งเตือนให้ทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออัตราส่วนประสิทธิภาพสะสมร้อยละลดลง 10.17 ใน 3 เดือน (ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับพื้นที่และฤดูการ) หลังจากเครื่องต้นแบบเตือนแจ้งแล้วได้ดำเนินการล้างทำความสะอาดผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบในวันที่ 13 -17 เมษายน แล้วประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้ากลับมาสูงเหมือนเดิม ตลอดเวลา 6 เดือนทำให้เห็นว่าไม่จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายในการล้างความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกๆเดือนตามแผนงานเดิมที่ปฏิบัติกันมาในโรงผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนแบบโซล่ารูฟค่าใช้จ่าย 360,000 บาทต่อปีและเมื่อนำผลมาวิเคราะห์ค่าของจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ของงานวิจัยเครื่องต้นแบบ พบว่าการลงทุน 20,580 บาท ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 10 ครั้งคิดเป็นเงิน 300,000 บาทต่อปี มีระยะคืนทุน 0.07 ปีหรือ 0.84 เดือนหรือประมาณ 26 วัน และหากไม่มีแผนการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกเดือนแต่ติดตั้งเครื่องต้นแบบเตือนแจ้งในระบบพบว่ามีพลังงาน

ไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้น 12,747.13 kWh ต่อปี หรือคิดเป็นเงินทั้งหมด 81,851.63 บาทต่อปี ดังนั้นงานวิจัยนี้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้และสามารถเป็นเครื่องต้นแบบนำร่องไปโดยนำไปต่อยอดขยายผลในโซล่าฟาร์มต่อไปในอนาคตอย่างยั่งยืน

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดลองกับโซล่ารูฟ ตอนติดตั้งแผงเครื่องต้นแบบนั้นจะมีการปรับค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้ค่าเสมือนที่แผงของโรงงานผลิตออกมานั้นใช้เวลานานและเป็นขั้นตอนที่ทำยากที่สุดเนื่องจากต้องคอยตรวจสอบความสะอาดของแผงของเครื่องต้นแบบทุกๆวัน เพราะการติดตั้งจะอยู่ร่วมกันกับแผงที่ผลิตจริงบนหลังคาซึ่งเป็นพื้นที่สูงและเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ ตอนบันทึกข้อมูลทางผู้วิจัยต้องปรับเปลี่ยนวิธีการบันทึกเพราะการขึ้นที่สูงเริ่มด้วย การบันทึกโดยใช้สายตา ดูหน้าจอ LCD การบันทึกด้วยระบบ Data Wi-Fi link ,internet of things(IoT) บันทึกโดยดูแบบออนไลน์บน thingspeak และระบบ Data logger โดยเก็บข้อมูลใน SD card มาเปรียบเทียบกันทั้งหมด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยเสนอแนะในการทำการบันทึกข้อมูลเลือกให้เหมาะสมกันหน้างานหรือทำการ โปรแกรมค่าให้แจ้งเตือนแบบมีสัญญาณออกทางโทรศัพท์ให้ชัดเจนว่าตอนนี้แผงเซลแสงอาทิตย์ถึงเวลาทำความสะอาดจะติดเรื่องของโปรแกรมที่เป็นรุ่นที่เปิดให้ใช้บริการฟรีจึงมีข้อจำกัด

2. ในการวิจัยในครั้งนี้ใช้เวลา 12 เดือน ในแต่ละจุดควรจะต้องติดตั้งเครื่องต้นแบบไว้ตลอดเวลาและในการเปรียบเทียบข้อมูลในหนึ่งปีอาจจะมีการแจ้งเตือนให้ทำความสะอาดแผงในเดือนไม่ตรงกัน และในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยเพียงสถานที่เดียวซึ่งไม่ได้ทำหลายสถานที่แต่ละสถานที่ข้อมูลการวิจัยที่ได้อาจนำไปอ้างอิงกับสถานที่อื่นไม่ได้เนื่องจากแต่ละที่จะไม่เหมือนกันทุกที่ทุกเวลา เพราะสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนไปตลอดเวลาจะทำให้ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นทุกที่ ที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในโรงไฟฟ้าโซลล่าฟาร์มหรือโซล่ารูฟจำเป็นที่ต้องติดตั้งหน่วยประมวลผลของเครื่องต้นแบบไว้อย่างน้อย 1 แผงเป็นแผงร่วมเพื่ออ้างอิงและคงไว้เป็นอุปกรณ์เตือนทำความสะอาดแผงทั้งหมด

3. ในการวิจัยครั้งนี้การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของเครื่องต้นแบบนั้นต้องใช้แรงงานทำความสะอาด หากมีการต่อยอดในการทำความสะอาดในอนาคตสามารถติดตั้งระบบแขนกลในการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของเครื่องต้นแบบเพื่อให้ทำความสะอาดทดแทนแรงงานคนได้

4. ในการตัดสินใจที่จะลงทุนในการล้างทำความสะอาดนั้นขึ้นอยู่กับต้นทุนในแต่ละที่และหมายกำหนดการล้างทำความสะอาดและพิจารณาการโดยการใช้เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด เป็นตัวเปรียบเทียบ

5. ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดลองกับโซล่ารูฟจะขยายผลในโซล่าฟาร์มต่อไปในอนาคตและใช้การอ้างอิงโดยงานวิจัยอันเดิม

บทที่ 8

การนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

8.1 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน

เพื่อการลงทุนต้นทุนการผลิตอาศัยองค์ความรู้ด้านบริหารการจัดการห่วงโซ่อุปทานในการจ้างผลิตหรือนำเข้าในส่วนประกอบอื่นๆทั้งหมด โดยการจ้างหรือสั่งของสำเร็จรูปที่มีอยู่แล้วหลายบริษัทแบบแยกชิ้นส่วนกันแล้วนำมาประกอบและเขียนโปรแกรมคำสั่งซึ่งเป็นหัวใจของเครื่องต้นแบบตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน ในการวิเคราะห์โครงการอย่างยั่งยืนนั้นจะให้ความสำคัญกับมูลค่าของผลประโยชน์สุทธิที่ตกอยู่กับผู้เป็นเจ้าของภายในโครงการและมองไปถึงสังคมโดยรวมด้วย ภายใต้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิเคราะห์เป็นการพิจารณาว่า ผลประโยชน์มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าใช้จ่ายซึ่งการที่ผู้วิเคราะห์โครงการจะเปรียบเทียบค่าของผลประโยชน์กับค่าใช้จ่ายเพื่อพิจารณาว่าโครงการเป็นโครงการที่ดีคุ้มค่าแก่การลงทุนหรือไม่นั้นจำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจต้องวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อความยั่งยืนเอาไว้ตัดสินใจลงทุนดังนี้

8.1.1 มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิ (Net Present Value : NPV)

การลงทุนสถานีไฟฟ้าในปีแรก 4,500,000 บาท ต่อกำลังการผลิตไฟฟ้า 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) สถานีนี้เป็นแบบ โซล่ารูฟ อัตรารับซื้อของการไฟฟ้า 6.40 บาท และรายได้ของเดือนแรก 40,4195.65 บาท และมีต้นทุนค่าดำเนินการทำความสะอาดผิวแผง 30,000 บาท ส่วนในเดือนที่ 1-12 ประมาณการว่าได้รายได้เพิ่มขึ้นหรือลดลงบาทต่อเดือนส่วนค่าดำเนินการนั้นเพิ่มขึ้น เดือนละ 30,000 บาทต่อเดือน จากเดือนก่อนหน้าเมื่อครบ 12 เดือน ประมาณการไว้ว่าจะมีรายได้จากการขายพลังงานจากสถานีนี้ มากขึ้นด้วยต้นทุนทางการเงินดอกเบี้ยเดือนละ 2.5% ต่อเดือน ดังตาราง 8.2 ผู้วิจัย ลงทุนประมาณงบกระแสเงินสดขอโครงการวิจัยเครื่องต้นแบบ ซึ่งพบว่าซื้ออุปกรณ์ต่างๆ เป็นจำนวน 20,580 บาท จากตารางที่ 8.1 โดยนำเครื่องต้นแบบมาติดตั้งร่วมสถานีผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นหา NPV IRR และTVM-PB ของโครงการ

ตาราง 8.1 รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือในการลงทุน

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	จำนวน (บาท)
1	แผงโซล่าเซลล์ 310 W	1	ตัว	6,500.00
2	Grid-tie Inverter 1000W	1	ตัว	5,800.00
3	เหล็กฉากสำเหร็จรูปขาตั้งโซล่าเซลล์และน๊อต	8	เมตร	1,500.00
4	Arduino Uno R3	1	ตัว	200
5	กล่องไฟฟ้ากันน้ำ	1	กล่อง	800
6	DS3231 Module โมดูลนาฬิกา	1	ตัว	100
7	สายไฟฟ้า	1	ม้วน	750
8	20x4 LCD with backlight of the LCD screen	1	ตัว	285
9	WeMos D1 WiFi Arduino UNO board ESP8266 Arduino IDE	1	ตัว	360
10	Expansion board Arduino Shield sensor interface	1	ตัว	400
11	Ethernet Shield W5100 R3 Support MEGA R3/Support for Arduino	1	ตัว	385
12	ค่าแรงและเบ็ดเตล็ด	1	งาน	3,500.00
			รวม	20,580.00

ตาราง 8.2 รายละเอียดข้อมูลได้จากเครื่องต้นแบบ

เดือน	โรงไฟฟ้า [kWh]	เครื่องต้นแบบ [kWh]	ความแตกต่าง
JAN	6,315.57	6,505.04	189.47
FEB	10,407.43	10,719.65	312.22
MAR	11,276.85	11,615.15	338.31
APR	10,671.90	10,796.74	124.84
MAY	13,579.01	13,565.43	13.58
JUN	11,022.22	11,044.27	22.05
JUL	11,823.12	11,882.23	59.11
AUG	11,489.53	11,546.98	57.45
SEP	10,592.18	10,571.00	21.18
OCT	9,089.56	9,071.38	18.18
NOV	8,656.93	8,639.62	17.31
DEC	7,934.25	7,918.38	15.87

จากตาราง 8.1 เป็นการลงทุนโครงการและ 8.2 ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้นำมาเปรียบเทียบโครงการเดิมและโครงการใหม่จะได้ Cash Flow โครงการเดิม ดังตาราง 8.3

ตาราง 8.3 Cash Flow โครงการเดิมรายเดือนใน 1 ปี และดอกเบี้ย 2.5 % เดือน

เดือน	cash in flow	cash out flow	Net CF
	0	180,000	180,000
JAN	40,419.65	30,000	10,419.65
FEB	66,607.52	30,000	36,607.52
MAR	72,171.81	30,000	42,171.81
APR	68,300.16	30,000	38,300.16
MAY	86,905.63	30,000	56,905.63
JUN	70,542.21	30,000	40,542.21
JUL	75,667.94	30,000	45,667.94
AUG	73,532.96	30,000	43,532.96
SEP	67,789.95	30,000	37,789.95
OCT	58,173.18	30,000	28,173.18
NOV	55,404.35	30,000	25,404.35
DEC	50,779.17	30,000	20,779.17

จากตาราง 8.3 จากผลของงานวิจัยจะได้ Cash Flow คำนวณหา NPV

NPV = -180K+40419.65-30K(P/F, i ,1) +66,607.52-30K(P/F, i ,2) +72,171.81-30K (P/F, i ,3) +68,300.16-30K (P/F, i ,4) +86,905.63 -30K(P/F, i ,5) +70,542.21-30000 (P/F, i ,6) +75,667.94-30K (P/F, i ,7) +43,532.96-30K (P/F, i ,8) +67,789.95 -30K(P/F, i ,9) +58,173.18-30K (P/F, i ,10) +55,404.35-30K (P/F, i ,11) +50,779.17 -30K(P/F, i ,12)

=-180K+10,419.65(0.9756)+36,607.52(0.9518)+42,171.81(0.9286) +38,300.16(0.9060)+56,905.63(0.8839)+40,542.21(0.8623)+45,667.94(0.8413)+ 43,532.96(0.8207)+37,789.95(0.8007)+28,173.18(0.7812)+25,404.35(0.7621) +20,779.17(0.7436)

= 134,794.52 บาท

ดังนั้น NPV>0 คุ้มค่าแก่การลงทุน จะเห็นได้ว่า โครงการเดิมจะสามารถทำกำไรให้แก่ผู้เป็นเจ้าของโครงการได้อยู่แล้ว แต่ไม่รู้ได้ว่าสูงสุดหรือไม่ จาก Cash Flow คำนวณหา NPVและ IRR ของโครงการเดิมดังตาราง 8.4

ตาราง 8.4 ตารางแสดงการผลลัพธ์ของโครงการเดิมในการตัดสินใจลงทุน (R=2.5%)

เดือน	cash in flow	cash out flow	Net CF	P/F,2.5%,N	PV(Net CF)	CUSUM CF
0	0	180,000	180,000	1	180,000.00	180,000
1	40,419.65	30,000	10,419.65	0.9756	10,165.51	169,834.49
2	66,607.52	30,000	36,607.52	0.9518	34,843.56	134,990.93
3	72,171.81	30,000	42,171.81	0.9286	39,160.72	95,830.21
4	68,300.16	30,000	38,300.16	0.9060	34,698.05	61,132.15
5	86,905.63	30,000	56,905.63	0.8839	50,296.29	10,835.87
6	70,542.21	30,000	40,542.21	0.8623	34,959.42	24,123.55
7	75,667.94	30,000	45,667.94	0.8413	38,418.85	62,542.40
8	73,532.96	30,000	43,532.96	0.8207	35,729.53	98,271.93
9	67,789.95	30,000	37,789.95	0.8007	30,259.49	128,531.41
10	58,173.18	30,000	28,173.18	0.7812	22,008.85	150,540.26
11	55,404.35	30,000	25,404.35	0.7621	19,361.79	169,902.05
12	50,779.17	30,000	20,779.17	0.7436	15,450.47	185,352.53
					NPV	134,794.52
					IRR	13%

ตาราง 8.5 ตาราง Cash Flow โครงการใหม่รายเดือนใน 1 ปี และดอกเบี้ย 2.5% เดือน

เดือน	cash in flow	cash out flow	Net CF
	0	200,580	200,580
JAN	40,419.65		40,419.65
FEB	66,607.52		66,607.52
MAR	72,171.81		72,171.81
APR	68,300.16	30,000	38,300.16
MAY	86,905.63		86,905.63
JUN	70,542.21		70,542.21
JUL	75,667.94		75,667.94
AUG	73,532.96	30,000	43,532.96
SEP	67,789.95		67,789.95
OCT	58,173.18		58,173.18
NOV	55,404.35		55,404.35
DEC	50,779.17		50,779.17

จากตาราง 8.5 จากผลของงานวิจัยจะได้ Cash Flow คำนวณหา NPV ,i=2.5%

NPV = -200,580+40419.65(P/F, i ,1) +66,607.52(P/F, i ,2) +72,171.81 (P/F, i ,3) +38,300.16 (P/F, i ,4) +86,905.63 (P/F, i ,5) +70,542.21 (P/F, i ,6) +75,667.94 (P/F, i ,7) +43,532.96 (P/F, i ,8) +67,789.95 (P/F, i ,9) +58,173.18 (P/F, i ,10) +55,404.35 (P/F, i ,11) +50,779.17 (P/F, i ,12)

= -200,580+40419.65(0.9756) +66,607.52(0.9518) +72,171.81 (0.9286) +38,300.16 (0.9060) +86,905.63 (0.8839) +70,542.21 (0.8623) +75,667.94 (0.8413) + 43,532.96 (0.8207) +67,789.95 (0.8007) +58,173.18 (0.7812) +55,404.35 (0.7621) +50,779.17 (0.7436)

= 334,346.13 บาท

ดังนั้น NPV>0 คุ้มค่าแก่การลงทุน จะเห็นได้ว่า โครงการนี้จะสามารถทำกำไรให้แก่ผู้เป็นเจ้าของโครงการได้เยอะกว่าโครงการเดิมและ จาก Cash Flow คำนวณหา NPVและ IRR ของโครงการใหม่ดังตารางที่ 8.5 และโครงการใหม่เพื่อการตัดสินใจลงทุนได้ดังตารางที่ 8.6

ตาราง 8.6 ตารางแสดงการผลลัพธ์ของโครงการใหม่การตัดสินใจลงทุน (R=2.5%)

เดือน	cash in flow	cash out flow	Net CF	P/F,2.5%,N	PV(Net CF)	CUSUM CF
0	0	200,580	200,580	1	200,580	200,580
1	40,419.65		40,419.65	0.9756	39,433.80	161,146.20
2	66,607.52		66,607.52	0.9518	63,398.00	97,748.20
3	72,171.81		72,171.81	0.9286	67,018.70	30,729.50
4	68,300.16	30,000	38,300.16	0.9060	34,698.05	3,968.55
5	86,905.63		86,905.63	0.8839	76,811.92	80,780.47
6	70,542.21		70,542.21	0.8623	60,828.32	141,608.79
7	75,667.94		75,667.94	0.8413	63,656.80	205,265.60
8	73,532.96	30,000	43,532.96	0.8207	35,729.53	240,995.12
9	67,789.95		67,789.95	0.8007	54,281.34	295,276.46
10	58,173.18		58,173.18	0.7812	45,444.80	340,721.26
11	55,404.35		55,404.35	0.7621	42,226.14	382,947.40
12	50,779.17		50,779.17	0.7436	37,757.15	420,704.55
					NPV	334,346.13
					IRR	25%

จากตารางที่ 8.6 คำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period)การคำนวณ PB โดยใช้วิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ดังนี้ระหว่างเดือนที่ 3 และเดือนที่ 4 จะเข้าใกล้ 0 และแทน X แสดงว่าจะคืนทุน จะได้

X เดือนที่ 3 NPV = -30,729.50

X = 0

X เดือนที่ 4 NPV = 3,968.55

จะได้ $$\frac{x-3}{4-3}=\frac{0-(-30729.5)}{3,968.55-(-30729.5)}$$

$$\frac{x-3}{1}=\frac{30729.5}{34698.05}$$

X = 0.8856 + 3

= 3.8856 เดือนคืนทุน

8.1.2 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Rate of Return on Investment)

ทั้งนี้เราเราจะตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการที่ให้ค่า ROI สูงสุดเป็นอันดับแรกและลดหลั่นลงมาตามลำดับ โดยที่เกณฑ์นี้มีข้อบกพร่องดังเช่นสองเกณฑ์ที่ผ่านมาคือ นอกจากนะไม่คำนึงถึงระยะเวลาของการได้มาซึ่งผลประโยชน์ ยังจะให้ความสำคัญกับมูลค่าของเงินในอนาคตเท่ากับมูลค่าของเงินจำนวนเท่ากันในปัจจุบันถ้าใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 จากเกณฑ์ระยะคืนทุนจะคำนวณหา ROI ได้ดังนี้

$$ROI = \frac{(199{,}551.61)}{200{,}580} \times 100$$

$$= 99.48\ \%$$

ตีความ ค่าตัวเลข 99.48% นี้บอกให้ทราบว่า เมื่อลงทุนโครงการนี้ จะไดผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงานร้อยละ 99.48 อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนสูงมาก

จากตารางที่ 8.5 และ 8.6 จะได้ว่า NPV โครงการใหม่ได้ผลกำไรที่เพิ่มขึ้นและจาก IRR ที่มากขึ้นผลตอบแทนคิดเป็น เพราะมีการลงทุนติดตั้งเครื่องเตือนล้างทำความสะอาดแผงทำให้เตือน 2 ครั้งในเดือนที่ 4 และเดือนที่ 8 ลดการจ้างงานในการล้างทำความสะอาดผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลง 2 เดือนเดิมต้องล้าง 12 เดือน และอัตตารางผลตอบแทนที่ลงทุนไปได้ร้อยละ 99.48

8.2 แผนเผยแพร่และการพัฒนาอย่างยั่งยืน

งานวิจัยและการให้บริการวิชาการซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสังคมและชุมชนที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ด้านด้วยกันคือ 1) การใช้ประโยชน์เชิงวิชาการ 2) การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะ 3) การใช้ประโยชน์เชิงนโยบาย และ 4) การใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ การจัดการความรู้จากงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ที่สนับสนุนให้มีการเผยแพร่ผลงานวิจัย ในการประชุมวิชาการ การตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารและส่งประกวดระดับชาติหรือนานาชาติ การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ใน 4 ด้านตามที่กล่าวการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ หรือข้อเสนอแนะที่ระบุไว้ในรายงานการวิจัยอย่างถูกต้องและมีหลักปรากฏชัดเจน ถึงการนำไปใช้จนก่อให้เกิดประโยชน์ได้จริงอย่างยั่งยืน

8.2.1 ส่งผลงานเข้าประกวดระดับชาติหรือนานาชาติ ครั้งที่ 45 ณ กรุงเจนิวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ได้รับรางวัลเหรียญเงิน งานประกวดสิ่งประดิษฐ์โลก 45th International Exhibition of Inventions of Geneva ณ กรุงเจนิวา สมาพันธรัฐสวิส ระหว่างวันที่ 29 มีนาคม – 2 เมษายน 2560 เรื่อง Solar cell cleaning warner for the highest efficiency. ดังภาพ 8.1

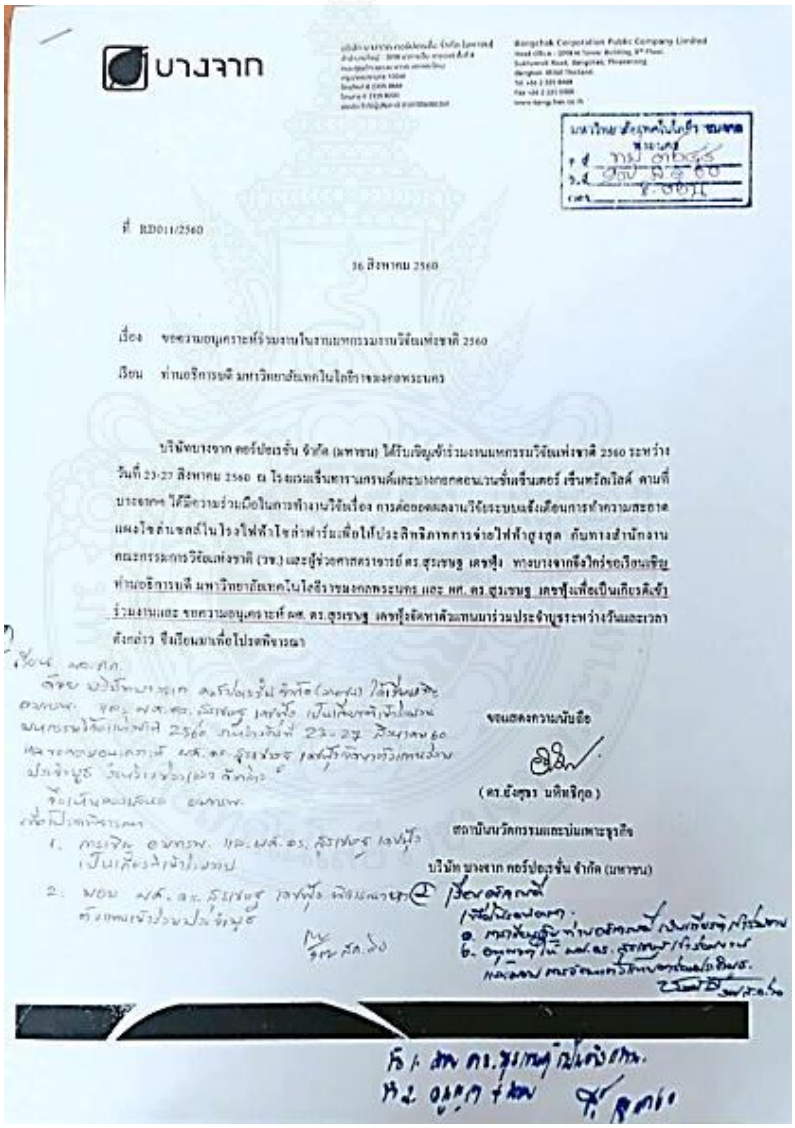
ภาพ 8.1 ใบรับรองการได้รับรางวัลเหรียญเงิน

ได้รับใบรับรองระดับประเทศจาก สภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) และเข้าร่วมกิจกรรมเผยแพร่การนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ ชุมชนและสังคม ดังภาพ 8.2

ภาพ 8.2 ใบประกาศของสภาวิจัยแห่งชาติ

8.2.2 แผนการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

ได้รับเชิญต่อยอดการวิจัยโดยนำระบบการแจ้งเตือนการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ไปใช้ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นำไปใช้กับหน่วยงานขนาดใหญ่กับ บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) เป็นโรงผลิตไฟฟ้าโซล่าฟาร์มพื้นที่ 500 ไร่ บริษัท บางจากเอนเนอร์ยี อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยามีแผงโซล่าเซลล์รวม 157,200 แผ่น กำลังการผลิตติดตั้ง 38 เมกกะวัตต์ โดยสามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ย 63 ล้านหน่วยต่อปี เป็นระยะเวลา 12 เดือน เสียค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดแผ่นโซล่าเซลล์คิดเป็นค่าแรงประมาณ 416,000 บาทต่อเดือน หรือ ประมาณ 5,000,000 บาท โดยดำเนินการปลายปี 2560 ตามหนังสือรับเชิญ ดังภาพ 8.3



บางจาก

ที่ RD011/2560

16 สิงหาคม 2560

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ร่วมงานในงานมหกรรมวิจัยแห่งชาติ 2560

เรียน ท่านอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บริษัทบางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ได้รับเชิญเข้าร่วมงานมหกรรมวิจัยแห่งชาติ 2560 ระหว่างวันที่ 23-27 สิงหาคม 2560 ณ โรงแรมเซ็นทารา แกรนด์ และบางกอก คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ ดังที่ปรากฏ ได้มีความร่วมมือในการทำงานวิจัยเรื่อง การต่อยอดผลงานวิจัยระบบแจ้งเตือนการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ในโรงไฟฟ้าโซล่าฟาร์มเพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด ทางบางจากจึงใคร่ขอเรียนเชิญท่านอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และ ผศ. ดร.สุวะชนฐ เลขฟุ้งเพื่อเป็นเกียรติเข้าร่วมงานและขอความอนุเคราะห์ ผศ. ดร.สุวะชนฐ เลขฟุ้งจัดหาตัวแทนร่วมประชาสัมพันธ์ระหว่างวันและเวลาดังกล่าว จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ธังชุน นทีหิรัญ)

ตำแหน่งวัตกรรมและบ่มเพาะธุรกิจ

บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)

ภาพ 8.3 หนังสือรับเชิญ บริษัท บางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)

เอกสารอ้างอิง

กุลวรีย์ บูรณสัจจะวราพร, และคณะวิชาการ. (2557-2558). **รายงานสถานภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย.** สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

การไฟฟ้านครหลวง. (2558). **ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด**. [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม 2558 จาก http://www.mea.or.th

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2554). **พลังงานแสงอาทิตย์**, 15 ตุลาคม 2558.

หลักการออกแบบและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้นสำหรับบ้านเรือน มิถุนายน 1 2016. in Renewable Energy, พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun_energy.htm

เฉลิมพร แสงแจ่ม . (2558). **SOLAR-100 มิเตอร์วัดกำลังงานแสง.** สืบค้นเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2559.

ชาติชาย โสบุญ. (2556). **การบำรุงรักษาโซล่าเซลล์.** รายงานวิจัยสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ชาติชาย โสบุญ และสร จารุวรรณชัย . (2556). การศึกษาเชิงเปรียบเทียบการเพิ่ม

นิพนธ์ เกตุจ้อย และ มารุพงษ์ กอนอยู่. (2556). “การศึกษาผลกระทบของฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า.” **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.** 32, 5 (กันยายน) : 555-562.

บริษัท สเตเบิลอิเล็กตริกซัพพลาย จำกัด. (2558). **หน่วยวัดทางไฟฟ้า**. บทความวิชาการ, [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2558 จาก http://www.stable.co.th

บริษัท กันกุล ชูบุ พาวเวอร์เจน จำกัด สถานที่ตั้ง จังหวัดนครนายก และ บริษัท กันกุล เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) : พลังงานแสงอาทิตย์ (โซล่าฟาร์ม)

บริษัท ไทยชูการ์เทอมินัล จำกัด(มหาชน) สถานที่ตั้ง ตำบลสำโรงกลาง จังหวัดสมุทรปราการ : พลังงานแสงอาทิตย์ (โซล่ารูฟ)

บริษัทบางจาก คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) และ บริษัทบางจากเอนเนอร์ยี อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา : พลังงานแสงอาทิตย์ (โซล่าฟาร์ม)

บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน). N/A. โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา, บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน), กรุงเทพมหานคร

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์. **Faculty of Engineering**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. (2546). **การคำนวณหาอัตราผลตอบแทน** ,เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

วิเชียร เกตุสิงห์. (2526). **สถิติวิเคราะห์สำหรับการวิจัย.** กรุงเทพมหานคร : ไทยวัฒนาพานิช.

วรรณคนาพล พ., สุวรรณชัยกุล อ., ศรีสุวรรณ์. ป. และตันตสวัสดิ์ ฉ., (N/A), **ประโยชน์ของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา**. กรณีศึกษาอาคารที่พักอาศัยต้นทุนต่ำ, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี

สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. (2553). **ตอนที่ 2 บทที่ 2 ระบบไฟฟ้ากำลัง.** คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน) พ.ศ. 2553

สร จารุวรรณชัย. (2556). **การเพิ่มความเข้มแสงโดยการติดตั้งกระจกและทำการปรับมุมสะท้อนที่เหมาะสม.** รายงานวิจัยสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

สมพงษ์ พันธุรัตน์. (2547). **การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อการวิจัยทางการศึกษา**. (เอกสารประกอบการสอน รายวิชาระเบียบวิธีวิจัยทางการศึกษา) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สุรเชษฐ เดชฟุ้ง. (2554). **อุปกรณ์ช่วยเตือนการบำรุงรักษาเพื่ออนุรักษ์พลังงานเครื่องปรับอากาศ.** รายงานวิจัยสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สุรเชษฐ ย่านวารี. **(2558). การติดตั้งโซล่าเซลล์**. 20 ตุลาคม 2558 จาก ชื่อเว็บไซต์: http://ienergyguru.com/2016/06/การติดตั้งโซล่าเซลล์

สิริชัย ปัญญาสมาธิ. (2548). **การปรับปรุงประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

(2556). การศึกษาเชิงเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์: 13 ธันวาคม 2558 จากชื่อเว็บไซต์: http://www.eng.mut.ac.th/article_detail.php?id=27

(2558). หลักการทำงาน“เซลล์แสงอาทิตย์”: 20 ตุลาคม 2558 จาก ชื่อเว็บไซต์: http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm

(2558). คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์: 20 ตุลาคม 2558 จาก ชื่อเว็บไซต์: http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

(2558). On-grid System ระบบโซลาร์เซลล์ แบบออนกริด**:** 20 ตุลาคม 2558 จาก ชื่อเว็บไซต์: http://www.dhgate.com/store/product/hot-sale-gti-1000w-grid-tie-solar-inverter/193973744.html

(2558). Arduino คืออะไร : 12 ธันวาคม 2558 จาก ชื่อเว็บไซต์: http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic

(2558). โมดูล ESP8266 Serial-to-Wi-Fi สำหรับงานด้าน IoT : 1 พฤศจิกายน 2558 จาก ชื่อเว็บไซต์:http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=esp8266-modules

(2558). Non-invasive AC Current Sensor (30A max): 2 พฤษจิกายน 2558 จาก ชื่อเว็บไซต์: https://www.seeedstudio.com/Noninvasive-AC-Current-Sensor-30A-max-p-519.html

(2558). สอนใช้งาน โมดูล Micro SD Card กับ arduino : 2 พฤษจิกายน 2558 จาก ชื่อเว็บไซต์: http://www.myarduino.net/article/micro-sd-card

(2558). LCD 2004 20x4 Character LCD Module 5V for Arduino : 2 พฤษจิกายน 2558 จาก ชื่อเว็บไซต์:https://www.arduinoall.com/product/48/lcd-2004-20x4-character-lcd-module-5v-for-arduino

Endecon Engineering. 2001. **A GUIDE TO PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEM DESIGN AND INSTALLATION**, California Energy Commission Energy Technology Development Division. USA

Phoonsap W., 2014, **INSTALLATION AND PERFORMANCE OF PARABOLIC TROUGH SOLAR COLLECTOR**, Asian Institute of Technology, Pathumthani

USAID. 2013. **SOLAR PV SYSTEM MAINTENANCE GUIDE**, United States Agency for International Development. USA

Extension Energy Program. 2009. **Solar Electric System Design,** Operation and Installation an Overview for Builders in the Pacific Northwest, Washington State University. USA

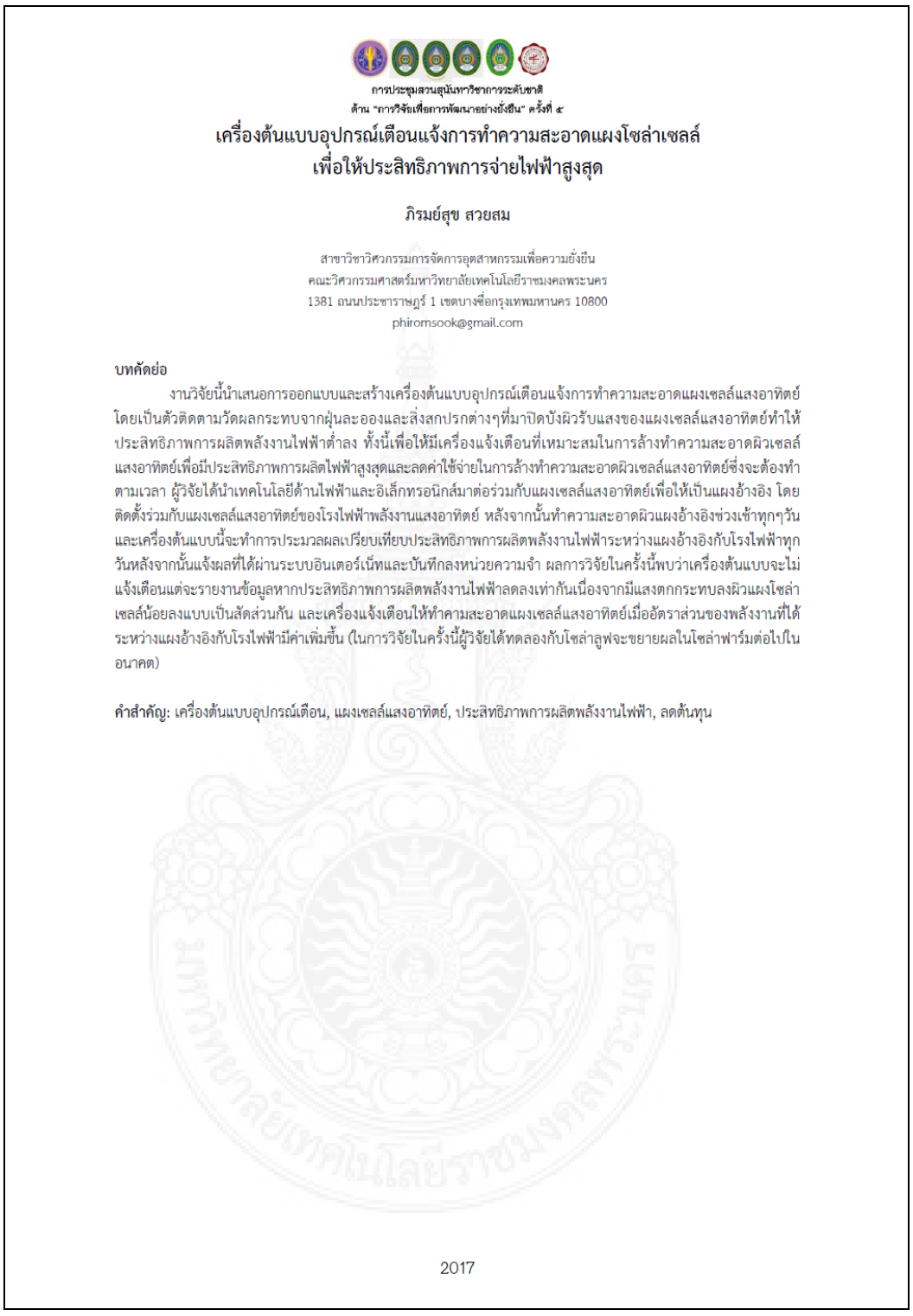
ภาคผนวก

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก เอกสารตีพิมพ์ เกรียติบัตร และรางวัล

ภาคผนวก ข โปรแกรมการออกแบบและการปรับปรุงการทดลอง

ภาคผนวก ก-1 หน้าปกเอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิชาการระดับชาติ ด้านการวิจัยเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 5 ประจำปี พ.ศ.2559



การประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติ
ด้าน "การวิจัยเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน" ครั้งที่ ๕

เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด

ภิรมย์สุข สวยสม

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อกรุงเทพมหานคร 10800
phiromsook@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเป็นตัวติดตามวัดผลกระทบจากฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆที่มาปิดบังผิวรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่ำลง ทั้งนี้เพื่อให้มีเครื่องแจ้งเตือนที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดและลดค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาดผิวเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะต้องทำตามเวลา ผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยีด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มาต่อร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เป็นแผงอ้างอิง โดยติดตั้งร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นทำความสะอาดผิวแผงอ้างอิงช่วงเช้าทุกๆวัน และเครื่องต้นแบบนี้จะทำการประมวลผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าระหว่างแผงอ้างอิงกับโรงไฟฟ้าทุกวันหลังจากนั้นแจ้งผลที่ได้ผ่านระบบอินเตอร์เน็ทและบันทึกลงหน่วยความจำ ผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่าเครื่องต้นแบบจะไม่แจ้งเตือนแต่จะรายงานข้อมูลหากประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากันเนื่องจากมีแสงตกกระทบลงผิวแผงโซล่าเซลล์น้อยลงแบบเป็นสัดส่วนกัน และเครื่องแจ้งเตือนให้ทำคามสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออัตราส่วนของพลังงานที่ได้ระหว่างแผงอ้างอิงกับโรงไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น (ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดลองกับโซล่าลูฟจะขยายผลในโซล่าฟาร์มต่อไปในอนาคต)

คำสำคัญ: เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือน, แผงเซลล์แสงอาทิตย์, ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า, ลดต้นทุน

2017

ภาคผนวก ก-2 เอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิชาการระดับชาติ ด้านการวิจัยเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 5 ประจำปี พ.ศ.2559

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ แก่

ภิรมย์สุข สวยสม

เพื่อแสดงว่าได้ผ่านการนำเสนอผลงานวิจัย

เรื่อง ***เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์ เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด***

ในการประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติ ด้าน"การวิจัยเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน" ครั้งที่ ๕

(The 5th Suan Sunandha Academic National Conference on "Research for Sustainable Development")

ระหว่างวันพฤหัสบดีที่ ๑ – วันศุกร์ที่ ๒ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๕๙

(รองศาสตราจารย์ ดร.ฤๅเดช เกิดวิชัย)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

หมายเลขที่ 259

ภาคผนวก ก-3 เกียรติบัตร การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิชาการระดับชาติ ด้านการวิจัยเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 5 ประจำปี พ.ศ.2559

ภาคผนวก ก-4 หน้าปกงานประกวดและจัดแสดงนิทรรศการในเวทีระดับนานาชาติประจำปีงบประมาณ 2560 งาน “45th International Exhibition of Inventions of Geneva” ณ กรุงเจนีวา สมาพันธรัฐสวิส

Solar cell cleaning warner for the highest efficiency

Inventor Information

Surachet Dechphung EE.,(D.Eng), Mr.Phiromsook Suaysom (M.Eng Student) and Nitcharee Ninlanon (Ph.D.)
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand
Contact: Tel: +66-979269782 E-mail: surachet.d@rmutp.ac.th Facebook: Surachet Dechphung IDLine: motor_esso Website: www.rmutp.ac.th

Highlight

The device alert to clean the solar panels. The measure monitoring of dust and blocking dirt surface of solar panel, causes generation energy low efficiency. The devices are alerted to clean solar panel to ensure generation energy highest efficiency and reduce the cost of cleaning the surface of solar cells in the solar cell efficiency is still working.

The outstanding of the invention

- Warning the solar panels system to have highest efficient at all times.
- It is able to detect dirt on solar PV.
- It can connect to the scada system.
- Save solar PV cleaning cost.
- Available with all types and system of solar PV.
- Low cost.
- Easy for use and installation.

The invention

The Procedure

Study for solar PV system.
↓
Design the electronic circuit.
↓
Create software for testing.
↓
Install the device in solar system.
↓
Test the system.

The examples of solar cell cleaning warner using this invention

The result

Wf=19.2 Wr=1.0 96.0% DIRTY1
Wf=18.4 Wr=1.0 92.0% DIRTY3
Wf=17.3 Wr=1.0 86.5% DIRTY3
Wf=18.4 Wr=1.0 82.5% CLEANING

Inventors Records

1. NATIONAL PRODUCT INVENTION AWARD YEAR 2014., GOOD INVENTION STATUS.
   BY NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THAILAND (NRCT).
2. NATIONAL ENGINEERING AWARD., GOLD STATUS, COMPUTER ENGINEERING 2012.
   BY ENGINEERING INSTITUTE OF THAILAND UNDER KING PATRONAGE.
3. SCIENCES AND TECHNOLOGY EXCELLENT AWARD 2012,
   BY COMMITTEE OF SCIENCES, TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATION, MEDIA COMMITTEE, SENATE, THAILAND PARLIAMENT.
4. AUTOMOBILE INNOVATION EXCELLENT AWARD 2012,
   BY BANGKOK INTERNATIONAL MOTOR SHOW.
5. INVENTION RESEARCHER TECHNOLOGY TRANSFER EXCELLENT AWARD 2013,
   RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKORN.
6. SILVER MEDAL 42th INTERNATIONAL EXHIBITION EXHIBITION OF INVENTIONS OF GENEVA.

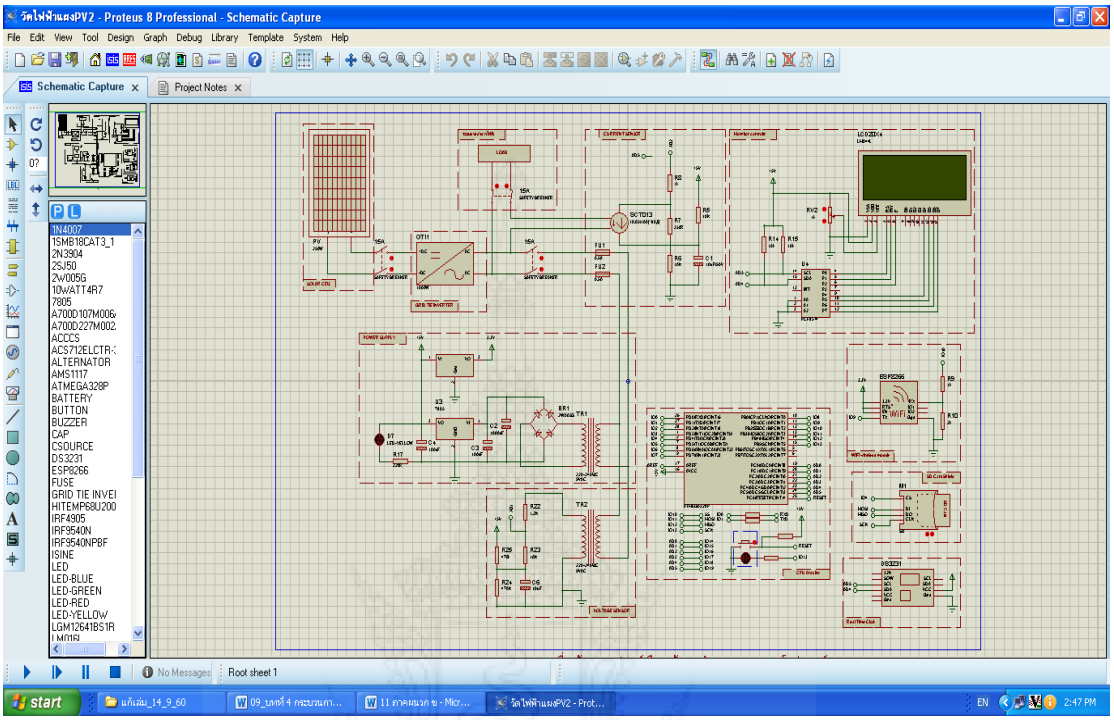
ภาคผนวก ก-5 จัดแสดงนิทรรศการในเวทีระดับนานาชาติงาน “45th International Exhibition of Inventions of Geneva” ณ กรุงเจนีวา สมาพันธรัฐสวิส

ภาคผนวก ก-6 เกียรติบัตรรางวัลเหรียญเงินในเวทีระดับนานาชาติงาน “45th International Exhibition of Inventions of Geneva” ณ กรุงเจนีวา สมาพันธรัฐสวิส

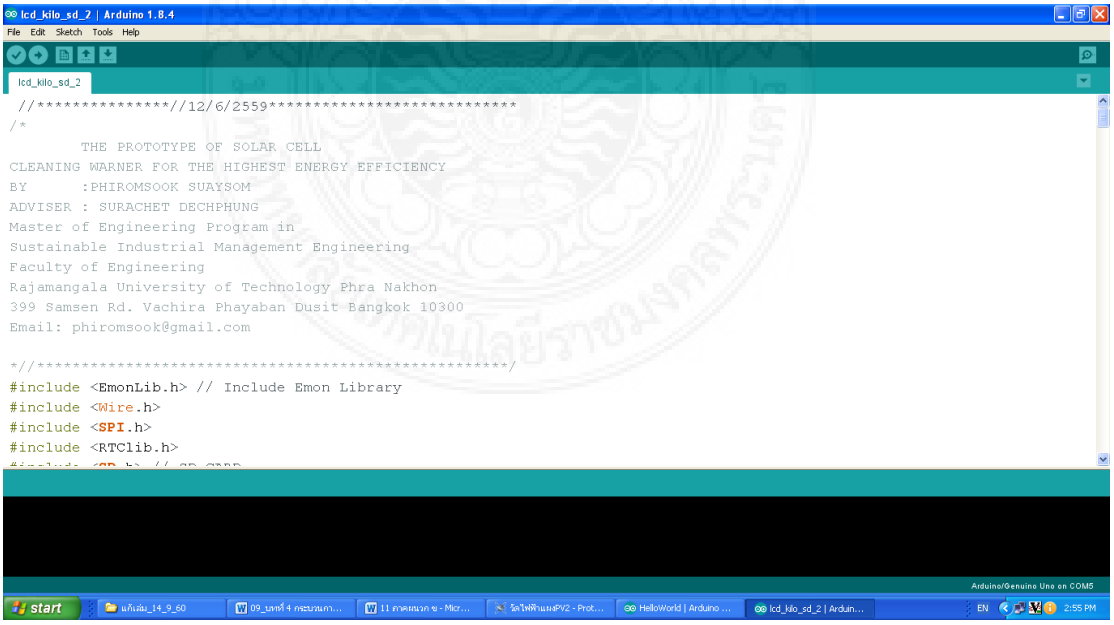
ภาคผนวก ก-7 เกียรติบัตรจาก สภาวิจัยแห่งชาติ ในเวทีระดับนานาชาติงาน "45th International Exhibition of Inventions of Geneva" ณ กรุงเจนีวา สมาพันธรัฐสวิส

ภาคผนวก ก-8 รางวัลเหรียญเงินในเวทีระดับนานาชาติงาน “45th International Exhibition of Inventions of Geneva” ณ กรุงเจนีวา สมาพันธรัฐสวิส

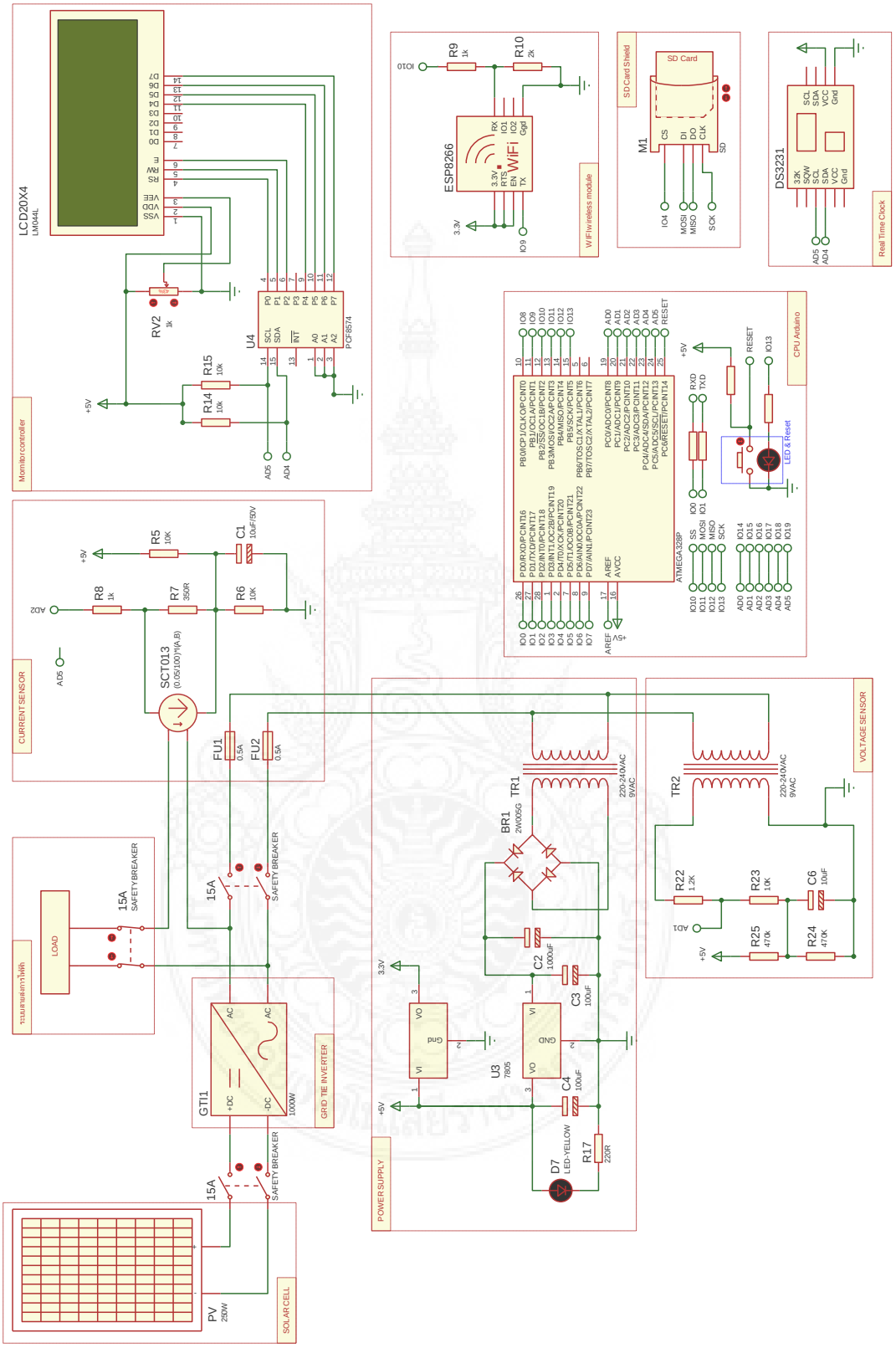
ภาคผนวก ข โปรแกรมการออกแบบและการปรับปรุงการทดลอง



ภาคผนวก ข-1 การออกแบบวงจรด้วย Proteus 8



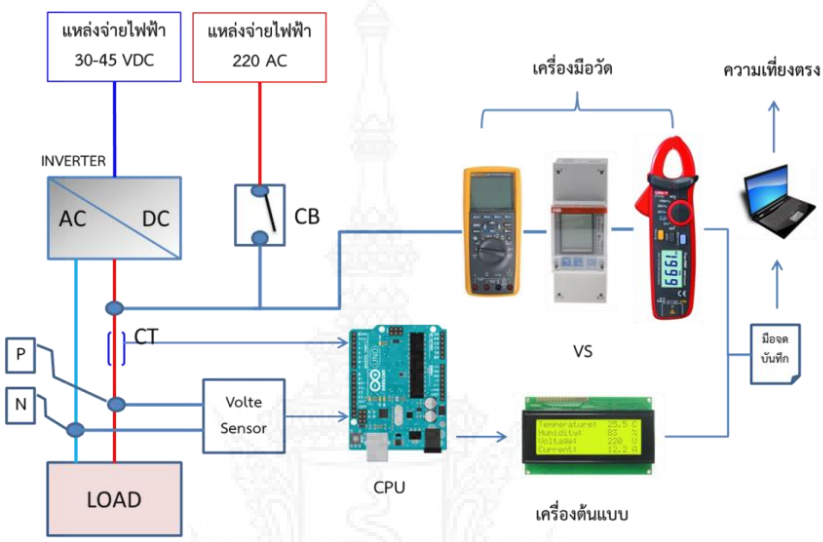
ภาคผนวก ข-2 เขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE. 1.8.4



ภาคผนวก ข-3 วงจรเครื่องต้นแบบ

ทดสอบความถูกต้อง ความเที่ยงตรงการวัดของเครื่องต้นแบบ

ในขั้นตอนแรกของการทดสอบเครื่องต้นแบบต้องทดสอบหาความถูกต้องของการวัดของเครื่องต้นแบบ ตามไดอะแกรมภาพ ข.4 และดังภาพ ข.5 โดยทำการเปรียบเทียบกับการวัดจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานตามลำดับดังต่อไปนี้



ภาคผนวก ข-4 ไดอะแกรมประกอบการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข-5 การทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องต้นแบบ

1. ทดสอบความคลาดเคลื่อน ความถูกต้อง และความเที่ยงตรงในการวัดแรงดัน

นำแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 30-45 VDC ให้ INVERTER ให้ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ 220-240 Volte ต่อขนานกับมัลติมิเตอร์ FLUKE-280 และต่อขนานกับเครื่องวัดแรงดัน (Volte Sensor) ของเครื่องต้นแบบจากนั้นอ่านค่าจากมัลติมิเตอร์และอ่านค่าจากเครื่องวัดแรงดันและกระแสผ่านจอมอนิเตอร์ LCD. ของเครื่องต้นแบบแล้วเปรียบเทียบกับมัลติมิเตอร์และบันทึกค่าที่วัดได้ และปรับเปลี่ยนค่าการวัดของเครื่องต้นแบบแล้วทำซ้ำจนแรงดันที่วัดออกมาจากเครื่องต้นแบบใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดมากที่สุด

2. ทดสอบความคลาดเคลื่อน ความถูกต้อง และความเที่ยงตรงในการวัดกระแส

การวัดกระแสจะต้องต่อแรงดันเข้ากับโหลดแล้วทำการคล้องตัววัดกระแส Clamp Amp Meter ยี่ห้อ UNI-T UT210E และคล้องตัววัดกระแส (CT) ของเครื่องต้นแบบดังภาพ ข.6 หลังจากนั้นทดสอบโดยเปลี่ยนต่อโหลด 5 W, 100 W, 500 W ,2000 W ตามลำดับจากนั้นอ่านค่าจากมัลติมิเตอร์และจอมอนิเตอร์ LCD. และเครื่องต้นแบบ แล้วบันทึกผลการวัดลงในตาราง ข.1

ภาคผนวก ข-6 แสดงการทดสอบเทียบเคียงการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสที่โหลด 5 วัตต์

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบวัดแรงดันเทียบเคียงใช้โหลด 5 วัตต์

ครั้งที่	วัดแรงดันไฟฟ้า (โวลล์)		ผลคลาดเคลื่อน (%)
	มัลติ มิเตอร์ FLUKE-280	เครื่องต้นแบบ	
1	227.65	227.41	0.105
2	225.92	225.70	0.097
3	228.03	227.85	0.079
4	227.31	227.10	0.092
5	228.51	228.29	0.096
6	227.4	227.28	0.053
7	227.2	226.99	0.092
8	228.15	227.93	0.096
9	227.89	227.66	0.101
10	227.27	227.05	0.097

ตาราง ข-2 ผลการทดสอบวัดกระแสเทียบเคียงใช้โหลด 5 วัตต์

ครั้งที่	วัดกระแสไฟฟ้า (แอมป์)		ผลคลาดเคลื่อน (%)
	มัลติ มิเตอร์ UNI-T UT210E	เครื่องต้นแบบ	
1	0.03	0.03	0.00
2	0.03	0.03	0.00
3	0.03	0.03	0.00
4	0.03	0.03	0.00
5	0.03	0.03	0.00
6	0.03	0.03	0.00
7	0.03	0.03	0.00
8	0.03	0.03	0.00
9	0.03	0.03	0.00
10	0.03	0.03	0.00

ทำการเปลี่ยนต่อโหลดเป็นหลอดไฟฟ้า 60 วัตต์ดังภาพที่ ข-7 และบันทึกผลลงในตาราง ข-3

ภาคผนวก ข-7 การทดสอบวัดแรงดันเทียบเคียงใช้โหลด 60 วัตต์

และทำการเปลี่ยนมิเตอร์วัดโหลดเดิมและบันทึกผลลงในตาราง ข.4

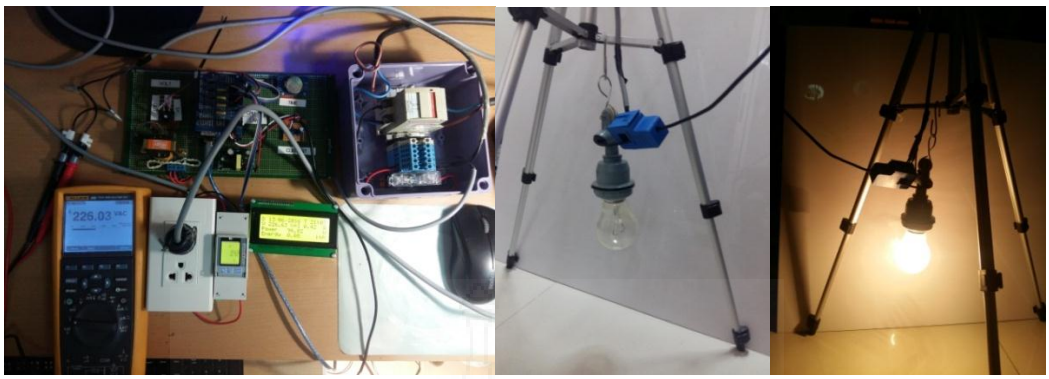
ตาราง ข.3 ผลการทดสอบวัดแรงดันเทียบเคียงใช้โหลด 60 วัตต์

ครั้งที่	วัดแรงดันไฟฟ้า (โวลล์)		ผลคลาดเคลื่อน (%)
	มัลติ มิเตอร์ FLUKE-280	เครื่องต้นแบบ	
1	230.65	230.41	0.104
2	231.05	230.85	0.087
3	231.09	230.85	0.104
4	231.32	231.08	0.104
5	230.65	230.61	0.017
6	230.96	230.74	0.095
7	230.84	230.59	0.108
8	230.89	230.65	0.104
9	231.25	231.11	0.061
10	231.25	231.08	0.074

ตาราง ข.4 ผลการทดสอบวัดกระแสเทียบเคียงใช้โหลด 60 วัตต์

ครั้งที่	วัดกระแสไฟฟ้า (แอมป์)		ผลคลาดเคลื่อน (%)
	มัลติ มิเตอร์ UNI-T UT210E	เครื่องต้นแบบ	
1	**0.298**	0.30	-0.67
2	0.30	0.30	0.00
3	0.30	0.30	0.00
4	0.30	0.30	0.00
5	0.298	0.30	-0.67
6	0.30	0.30	0.00
7	0.30	0.30	0.00
8	0.298	0.30	-0.67
9	0.30	0.30	0.00
10	0.298	0.30	-0.67

ทำการเปลี่ยนเครื่องมือวัด ABB B21-113-10 ต่อโหลดเป็นหลอดไฟฟ้า 100 วัตต์ ดังภาพ ข.8 และบันทึกผลลงในตาราง ข-5



ภาคผนวก ข-8 การทดสอบวัดแรงดันเทียบเคียงใช้โหลด 100 วัตต์

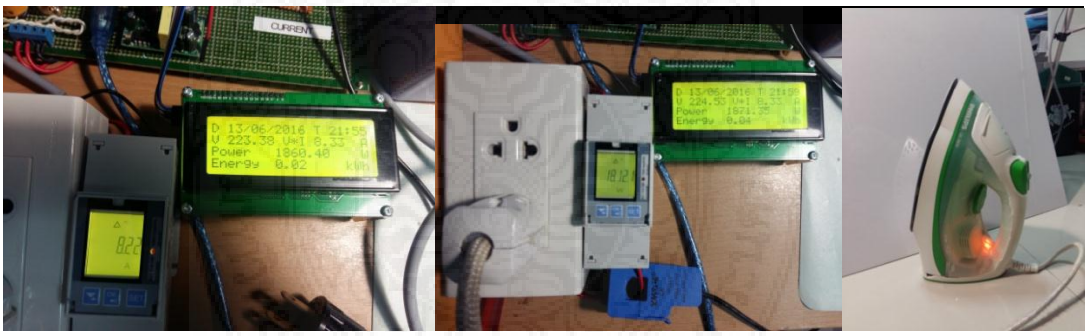
ตาราง ข.5 ผลการทดสอบวัดแรงดันเทียบเคียงใช้โหลด 100 วัตต์

ครั้งที่	วัดแรงดันไฟฟ้า (โวลล์)		ผลคลาดเคลื่อน (%)
	วัตต์มิเตอร์ ABB B21-113-10	เครื่องต้นแบบ	
1	223.50	223.74	-0.107
2	224.46	224.26	0.089
3	225.59	225.35	0.106
4	224.57	224.33	0.107
5	223.65	223.85	-0.089
6	224.55	224.33	0.098
7	224.25	224.31	-0.027
8	224.5	224.28	0.098
9	223.75	223.96	-0.094
10	223.10	223.34	-0.108

ตาราง ข.6 ผลการทดสอบวัดกระแสเทียบเคียงใช้โหลด 100 วัตต์

ครั้งที่	วัดกระแสไฟฟ้า (แอมป์)		ผลคลาดเคลื่อน (%)
	มัลติ มิเตอร์ ABB B21-113-10	เครื่องต้นแบบ	
1	0.42	0.42	0.00
2	0.42	0.42	0.00
3	0.42	0.42	0.00
4	0.42	0.42	0.00
5	0.42	0.42	0.00
6	0.42	0.42	0.00
7	0.42	0.42	0.00
8	0.42	0.42	0.00
9	0.42	0.42	0.00
10	0.42	0.42	0.00

ทำการเปลี่ยนต่อโหลดเป็นเตารีด 2000 วัตต์ ดังภาพ ข.9 และบันทึกผลลงในตาราง ข.7



ภาคผนวก ข-9 การทดสอบวัดแรงดันเทียบเคียงใช้โหลด 2000 วัตต์

ตาราง ข.7 ผลการทดสอบวัดกระเทียบเคียงใช้โหลด เตารีด 2000 วัตต์

ครั้งที่	วัดกระแสไฟฟ้า (แอมป์)		ผลคลาดเคลื่อน (%)
	มัลติ มิเตอร์ ABB B21-113-10	เครื่องต้นแบบ	
1	8.22	8.34	-1.46
2	8.22	8.39	-2.07
3	8.22	8.33	-1.34
4	8.22	8.33	-1.34
5	8.22	8.35	-1.58
6	8.22	8.37	-1.82
7	8.22	8.33	-1.34
8	8.22	8.35	-1.58
9	8.22	8.34	-1.46
10	8.22	8.34	-1.46

จากการทดสอบความคลาดเคลื่อนการวัดแรงดันและ กระแสโดย Clamp Amp Meter ยี่ห้อ UNI-T UT210E และ ABB B21-113-10 อ่านค่าแรงดันและกระแสที่วัดได้จากเครื่องมือวัดจากนั้นอ่านค่าแล้วบันทึกผล แล้วนำมาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน และความเที่ยงตรง การวัดแรงไฟฟ้าและกระแสบนจอ LCD. ของเครื่องต้นแบบเก็บข้อมูลบันทึกลงในตารางเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าที่ได้ระหว่างเครื่องต้นแบบกับเครื่องมือวัด

จากตาราง ข.1 ถึง ช.7 เป็นการทดสอบความคาดเคลื่อน ความเที่ยงตรงของวงจรวัดโดยแหล่งจ่ายแรงดันเท่ากับ 99.91 ความคลาดเลื่อนเท่ากับ 0.1% และกระแสเท่ากับ 98.48% ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดอยู่ที่ 1.5%

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นายภิรมย์สุข สวยสม
วัน เดือน ปีเกิด 2 กันยายน 2519
ภูมิลำเนา เลขที่ 17 หมู่ 1 ตำบลจุน อำเภอจุน จังหวัดพะเยา 56150
ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 199/192 หมู่ บ้านพนาสนธ์ ถนนเทพารักษ์ ซอยจตุรมิตร 9
ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ รหัสไปรษณีย์ 10540
โทรศัพท์ มือถือ 09-18196769
E-mail phiromsook@gmail.com และ phiromsook@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
มัธยมศึกษาปีที่ 6	การศึกษานอกโรงเรียนจังหวัดสมุทรปราการ	2539
วิทยาศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	2545

ประวัติการทำงาน

ปี พ.ศ.	ตำแหน่ง	บริษัท/ลักษณะงานที่ทำ
2545-2548	วิศวกรรมการผลิต	บริษัท เจ็ทไทยพลาสติก อินดัสตรีส์ จำกัด ควบคุมและพัฒนาการผลิตขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้เครื่องฉีดและแม่พิมพ์
2549- 2556	ผู้จัดการแผนกวิศวกรรม	บริษัท เจ็ทไทยพลาสติก อินดัสตรีส์ จำกัด บริหารจัดการและควบคุมการบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์สนับสนุนการผลิตอุตสาหกรรมพลาสติก
2557-ปัจจุบัน	ผู้จัดการส่วนวิศวกรรม	บริษัท ที เอส ฟลาวมิลล์ จำกัด(มหาชน) บริหารจัดการและควบคุมการบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์สนับสนุนการผลิตอุตสาหกรรมอาหาร

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

ผู้จัดการส่วนวิศวกรรม ประจำบริษัท ที เอส ฟลาวมิลล์ จำกัด (มหาชน) สำนักงานใหญ่ เลขที่ 90/9 หมู่ที่ 1 ถนน ปู่เจ้าสมิงพราย ซอยวัดสำโรงใต้ ตำบลสำโรงกลาง อำเภอพระประแดง สมุทรปราการ 10130 โทรศัพท์. 02-017-9999 ต่อ 131

ผลงานดีเด่นและผลงานทางวิชาการ

ปี พ.ศ.	ผลงานดีเด่นและผลงานทางวิชาการ
2544	บทความวิชาเรื่อง ระบบแขนกลควบคุมด้วยด้วยไมโครคอนโทลเลอร์ในจุดอับอากาศแทนมนุษย์ เทคโลโลยีอิเล็กทรอนิคส์ มหาวิทยาลัยรามคำแหงประจำปี
2559	บทความวิชาเรื่อง เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสูงสุด การประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติ ด้าน การวิจัยเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 5
2560	รางวัลเหรียญเงิน ผลงานวิจัย/ผลงานประดิษฐ์คิดค้นเรื่อง เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ประกวดและจัดแสดงนิทรรศการในเวทีระดับนานาชาติประจำปีงบประมาณ ๒๕๖๐ งาน “45th International Exhibition of Inventions of Geneva” ณ กรุงเจนีวา สมาพันธรัฐสวิส