การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก

อังสนา พจน์ศิริ

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์
คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มกราคม 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ อังสนา พจน์ศิริ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์

.....ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ณกร อินทร์พยุง)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ เร้าธนชลกุล)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ณกร อินทร์พยุง)

คณะโลจิสติกส์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะโลจิสติกส์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ เชาวรัตน์)

วันที่ 12 เดือน มกราคม พ.ศ. 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร. ณกร อินทร์พยุง ประธานกรรมการควบคุมมาตรฐานงานนิพนธ์ และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานนิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อแนะนำ และแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขงานนิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ กลุ่มโซล่าเซลล์ทุกกลุ่มที่ทำให้ข้าพเจ้ามีโอกาสเข้าใจถึงพลังงานแสงอาทิตย์ การทำงานของระบบโซล่าเซลล์ และได้ข้อมูลเพื่องานวิจัยในครั้งนี้ ขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ พี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจ ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการศึกษางานในงานนิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งเป็นกำลังใจและแรงในการสนับสนุนให้การศึกษานี้ลุล่วงไปด้วยดี

คุณค่า และประโยชน์จากการศึกษาครั้งนี้ ขอน้อมรำลึกถึงคุณพระบิดา มารดา ตลอดจนบูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณที่ให้การชี้แนะอบรมสั่งสอน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการศึกษาครั้งนี้ ทำให้งานนิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จไปด้วยดี

อังสนา พจน์ศิริ

56920291: สาขาวิชา: การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน; วท.ม. (การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน)
คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา/ ระบบสายส่งของการไฟฟ้า/ ระบบโดดเดี่ยว/ การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน

อังสนา พจน์ศิริ: การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก (COST ANALYSIS OF SOLAR ROOFTOP PROJECT FOR SMALL BUILDING) อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์: ณกร อินทร์พยุง, Ph.D., 81 หน้า. ปี พ.ศ. 2559.

งานนิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการเปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก เพื่อเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป และนำไปสู่การใช้พลังงานทดแทนในอนาคต

การศึกษาวิจัยครั้งนี้พิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาระหว่างระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) และระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) โดยศึกษาความคุ้มค่าทางด้านการเงินและทางด้านเศรษฐศาสตร์ในโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา ซึ่งตัวชี้วัดที่ใช้คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะคืนทุน (Payback period) การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการในครั้งนี้มีระยะเวลาของโครงการ 25 ปี ตามอายุของเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินด้วยอัตราดอกเบี้ย 6.75% พบว่าโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) มีค่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็น 1,694,317.16 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็น 13% ระยะคืนทุน (Payback period) อยู่ที่ 7.23 ปี ส่วนกรณีระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) พบว่าค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็น 324,704.04 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็น -8% ระยะคืนทุน (Payback period) อยู่ที่ 8.05 ปี จึงสรุปได้ว่ากรณีระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) มีความเป็นไปได้ที่จะลงทุนถ้าเทียบกับระบบโดดเดี่ยว (Off grid system)

56920291: MAJOR: LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT; M.SC. (LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT)
KEYWORDS: SOLAR ROOFTOP/ ON GRID SYSTEM/ OFF GRID SYSTEM/ COST-BENEFIT ANALYSIS

ANGSANA POJSIRI: COST ANALYSIS OF SOLAR ROOFTOP PROJECT FOR SMALL BUILDING. ADVISOR: NAKORN INDRA-PAYONG, Ph.D., 81 P. 2016

This thesis work is a study of cost comparing and benefits of installing solar power system on the roof of the small business building. The objective is to provide the guidance of saving Non-renewable Energy and led to the use of renewable energy in the future.

It compared the cost of installing solar panels on the roof between the transmission of electricity (On grid system) and isolated (Off grid system) by studying the value in finance and economics in warehouses. The indicator of the study is a measure of the NPV, IRR and Payback period while the feasibility of project study has period of 25 years base on the lifespan of the solar cell.

The study results based from financial compensation with interest rate 6.75% has shown that the installing of solar power system on the roof project with On grid system has the NPV value of baht 1,694,317.16, IRR at 13% and Payback period at 7.23 years. While Off grid system has the NPV value of baht 324,704.04, IRR at 8% and Payback period at 8.05 years. It was concluded that the transmission of On grid system have the possibility to invest rather than Off grid system

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ช

สารบัญภาพ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4

ขอบเขตของการวิจัย..... 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

นิยามศัพท์เฉพาะ..... 5

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6

แนวคิดเรื่องพลังงานทดแทนในประเทศไทย..... 7

แนวคิดการผลิตไฟฟ้าโดยการติดตั้งโซล่าเซลล์..... 15

ทฤษฎีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ..... 29

หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการ..... 47

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 50

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 53

เก็บรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษา..... 53

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 54

การวิเคราะห์ข้อมูล..... 54

แนวทางและวิธีการศึกษา..... 55

กรอบแนวคิดการวิจัย..... 56

4 ผลการวิจัย..... 57

ต้นทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา

ระบบ On grid system..... 58

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

ต้นทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา ระบบ Off grid system 63

การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน 68

การวิเคราะห์คำนวณต้นทุนต่อตารางเมตร 69

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ 70

การวิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบกับโครงการ 71

5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 76

สรุปผลการวิจัย 76

ข้อเสนอแนะ 77

บรรณานุกรม 78

ประวัติย่อของผู้วิจัย 81

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4-1 รายการการใช้ไฟฟ้าในโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา..... 57

4-2 การเปรียบเทียบ Supplier ที่ขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์..... 59

4-3 การเปรียบเทียบ Supplier ที่ขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์..... 61

4-4 ต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาต่อกับ On grid system..... 62

4-5 อัตรารับซื้อไฟฟ้า Feed-in tariff..... 63

4-6 ต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาระบบ Off grid system..... 66

4-7 เปรียบเทียบเงินลงทุน ผลตอบแทน ค่าบำรุงรักษาระหว่าง On grid system และ Off grid system..... 68

4-8 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางการเงินระหว่าง On grid system และ Off grid system..... 69

4-9 เปรียบเทียบราคาระหว่าง On grid system และ Off grid system ต่อหนึ่งตารางเมตร..... 69

4-10 วิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการระบบ On grid system..... 70

4-11 วิเคราะห์ปัจจัยและอุปสรรคต่าง ๆ เกี่ยวกับโครงการ..... 72

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด	1
1-2	การใช้ไฟฟ้ารายสาขา	2
1-3	การผลิตไฟฟ้าแยกตามชนิดเชื้อเพลิงปี พ.ศ. 2557	3
2-1	การใช้ก๊าซธรรมชาติของไทย	6
2-2	องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ	8
2-3	กังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า	9
2-4	การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพฝางจังหวัดเชียงใหม่	11
2-5	กระบวนการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ	13
2-6	เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในดาวเทียม	16
2-7	เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน	17
2-8	ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	18
2-9	ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single crystalline)	20
2-10	ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly crystalline)	21
2-11	การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 1	22
2-12	การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 2	23
2-13	การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system)	23
2-14	การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)	24
2-15	การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)	25
2-16	เครื่องควบคุมการชาร์จ (Charge controller)	27
2-17	อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	28
2-18	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย	31
2-19	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่าง ๆ	32
2-20	เปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	37
2-21	เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ที่ระดับต่าง ๆ	38
2-22	การเปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีที่ประเทศต่าง ๆ ได้รับ	38
2-23	การแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2-24 กลไกการส่งเสริมพลังงานทดแทน..... 41

2-25 มาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Adder)..... 42

2-26 หลักเกณฑ์และเงื่อนไขให้ปล่อยเงินกู้..... 44

3-1 กรอบแนวคิดการวิจัย..... 56

4-1 ต้นทุนในการผลิตของระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system)..... 58

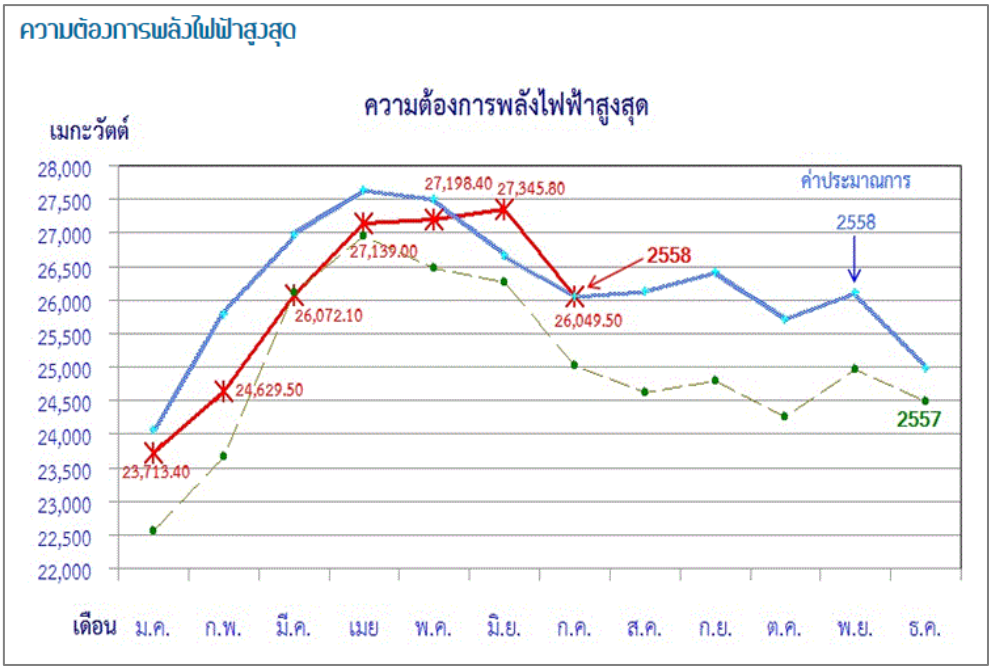
4-2 ต้นทุนในการผลิตของระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) 64

4-3 แบตเตอรี่ Deep cycle ขนาด 51.8 × 27.4 × 24.8 cm 12V/ 200 Ah..... 66

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานทั่วโลกมีความต้องการเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า ในประเทศไทยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในด้านต่าง ๆ เช่น ภาคประชาชนพลังงานไฟฟ้าทำหน้าที่ให้แสงสว่างทั่วทั้งประเทศ ภาคอุตสาหกรรมใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิต เพื่อขับเคลื่อนเครื่องจักรรวมทั้งใช้แสงสว่างด้วย ภาครัฐใช้พลังงานไฟฟ้าในการวางรากฐานทางด้านสาธารณูปโภคต่าง ๆ ดังนั้นความสำคัญของพลังงานไฟฟ้ามีผล และเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาพื้นฐานต่าง ๆ ของประเทศ ทั้งทางด้านสังคม และเศรษฐกิจ เป็นพลังงานที่ช่วยสนับสนุนให้มีการพัฒนาการเศรษฐกิจในทุกภาคส่วนของประเทศ ไม่ว่าจะเป็นภาครัฐ หรือภาคเอกชน จะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าในประเทศไทยเปรียบเทียบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2558 ดังภาพที่ 1-1 แสดงความต้องการพลังไฟฟ้าในแต่ละเดือน จะเห็นได้ว่า ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงถึง 27,139 เมกะวัตต์ ในปี พ.ศ. 2557 และ 27,345.8 เมกะวัตต์ ในปี พ.ศ. 2558 ความต้องการสูงสุดอยู่ที่เดือนเมษายนถึงพฤษภาคมของทุกปี



ภาพที่ 1-1 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2558)

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทย ดังภาพที่ 1-2 ได้แบ่งประเภทการใช้ไฟฟ้าตามสัดส่วนต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในภาคอุตสาหกรรม คิดเป็นร้อยละ 44 รองลงมาคือ ภาคครัวเรือน ร้อยละ 23 ธุรกิจ ร้อยละ 19 ตามลำดับ ภาคอุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด

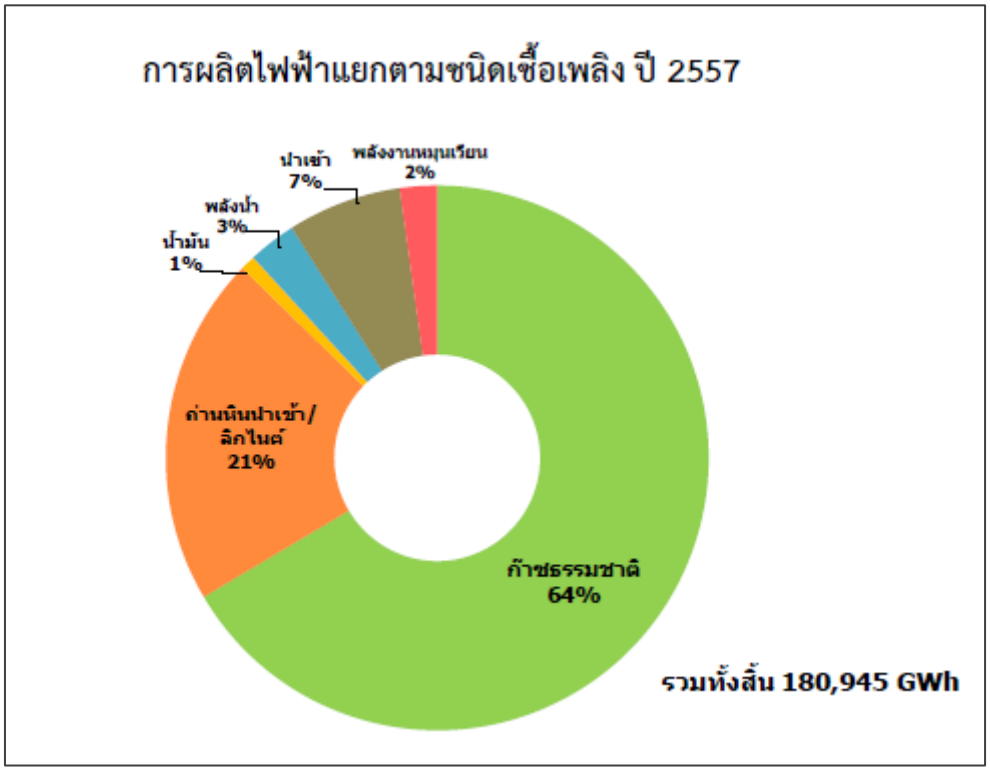
การใช้ไฟฟ้ารายสาขา

หน่วย : กิกะวัตต์ชั่วโมง

สาขา	2554	2555	2556	2557		
				ปริมาณ	เปลี่ยนแปลง	สัดส่วน (%)
ครัวเรือน	32,799	36,447	37,657	38,993	3.5	23
กิจการขนาดเล็ก	15,446	17,013	18,374	18,807	2.4	11
ธุรกิจ	23,660	27,088	30,413	31,362	3.1	19
อุตสาหกรรม	67,942	72,336	72,536	73,782	1.7	44
ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร	4,888	3,799	149	152	2.0	0.1
เกษตรกรรม	297	377	354	414	17.2	0.2
ไฟฟ้าไม่คิดมูลค่า	2,168	2,191	2,379	2,517	5.8	1.5
อื่นๆ	1,655	2,527	2,479	2,592	4.6	2
รวม	**148,855**	**161,779**	**164,341**	**168,620**	**2.6**	**100**

ภาพที่ 1-2 การใช้ไฟฟ้ารายสาขา (ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน, 2558)

จากภาพที่ 1-3 จะเห็นได้ว่าในการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยในปัจจุบันใช้ก๊าซธรรมชาติอันดับสองคือ ลิกไนต์ พลังน้ำ น้ำมัน พลังงานทดแทนตามลำดับรวมไปถึงการนำเข้าพลังงานอีกด้วย โดยสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศ พ.ศ. 2557 มีการใช้ก๊าซธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 64 ลิกไนต์ คิดเป็นร้อยละ 21 พลังน้ำ คิดเป็นร้อยละ 3 สัดส่วนในการใช้พลังงานทดแทน คิดเป็นร้อยละ 2 ซึ่งเป็นจำนวนที่น้อยมากถ้าเปรียบเทียบกับแหล่งเชื้อเพลิงหลักในการนำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะมีทรัพยากรบางส่วนที่จะนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งต่าง ๆ แต่ก็ไม่มากพอกับความต้องการใช้พลังงานของคนในประเทศ ดังนั้นจึงต้องนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน ประเทศ ไทยได้นำเข้าไฟฟ้าจาก สปป. ลาว โครงการน้ำเทิน-หินบุน 187 เมกะวัตต์ โครงการห้วยเฮาะ 126 เมกะวัตต์ไฟฟ้าแลกเปลี่ยนกับมาเลเซีย 330 เมกะวัตต์



ภาพที่ 1-3 การผลิตไฟฟ้าแยกตามชนิดเชื้อเพลิงปี พ.ศ. 2557 (ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน, 2558)

ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ถือเป็นเชื้อเพลิงหลักที่นำมาผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่เรียกว่าแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งใช้แล้วหมดไปแหล่งเชื้อเพลิงเหล่านี้จะมีราคาผันผวนสูงตามราคาน้ำมันโลก ทำให้ต้องแบกรับต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้น มีการคาดการณ์ว่าราคาน้ำมันจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ มีการคาดการณ์ในอนาคตอันใกล้นี้จะเกิดภาวะขาดแคลนพลังงานปัจจุบันประเทศไทยได้นำเข้าน้ำมันเฉลี่ย 0.87 ล้านบาร์เรลต่อวัน เนื่องจากปัญหาวิกฤตการณ์ด้านพลังงานดังกล่าวบทบาทของพลังงานทดแทนจึงมีความสำคัญทำให้ทั่วโลกเห็นความสำคัญกับปัญหาการขาดแคลนพลังงานเพิ่มมากขึ้นอีกทั้งทั่วโลกยังตระหนักถึงอันตรายจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสาเหตุหลักของการเกิดภาวะเรือนกระจก (Green house effect) ซึ่งทำให้โลกร้อนขึ้นและมีผลกระทบมากมายต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้น นอกจากมองหาพลังงานทดแทนแล้ว ยังต้องหาเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย พลังงานทดแทนที่ทั่วโลกใช้มีอยู่หลายประเภท ปัจจุบันในประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน ได้แก่ ความร้อนจากแสงอาทิตย์ พลังงานคลื่น พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานชีวมวล ซึ่งในประเทศไทยพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดน่าจะเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากประเทศไทย

มีปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีที่มากพอที่จะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้ รวมถึงการสนับสนุนจากภาครัฐบาลที่มีนโยบายชัดเจนขึ้นเกี่ยวกับการนำพลังงานทดแทนเข้ามาให้ในแผน PDP10 Rev.3 ของกระทรวงพลังงาน มีการวางแผนการใช้พลังงานทดแทนสูงขึ้นเป็น 10% รวมทั้งพลังงานทดแทนจะต้องเป็นพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วย

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เนื่องจากประเทศไทยมีปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ที่พอเพียงตลอดทั้งปี เป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดไป ไม่ได้สร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม การวิจัยครั้งนี้จะวิเคราะห์ถึงต้นทุนในการลงทุน ปัญหาและอุปสรรค เพื่อเป็นแนวทางให้กับภาครัฐในการวางนโยบายทางด้านพลังงานทดแทนโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ ลดการนำเข้าพลังงานจากประเทศเพื่อนบ้าน ในภาคเอกชนเพื่อลดต้นทุนในประหยัดไฟฟ้า ด้านประชาชนเพื่อในการพิจารณาใช้พลังงานสะอาดเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการเข้าถึงของไฟฟ้า หรือพื้นที่เพาะปลูกที่ ๆ ในพื้นที่ห่างไกล ผลการศึกษาที่ได้มาเสนอแนะรูปแบบของการจัดการพลังงานในอุตสาหกรรมซึ่งจะก่อให้เกิดการวางแผนการจัดการพลังงานของตนเองอย่างมีประสิทธิภาพและนำไปสู่ความสำเร็จในการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบต้นทุน ในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ โดยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จะผลิตได้จากระบบรับซื้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และสามารถจำหน่ายเข้าระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) และกรณีระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) บนหลังคาโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษารวมถึงผลต่อการประหยัดค่าใช้จ่ายของทั้งสองระบบ
2. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในการลงทุนเปรียบเทียบระหว่างระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) และกรณีระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) บนหลังคาโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้จะศึกษาต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จะผลิตได้จากระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) และกรณีระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) ในโกดังเก็บของกรณีศึกษาเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบวิธีการหาต้นทุนผลตอบแทนและระยะเวลาคืนทุนจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าด้วยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาทั้งระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) และกรณีระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) ความคุ้มค่าต่อการลงทุนที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น

2. ทราบถึงอุปกรณ์จำเป็นที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) และกรณีระบบโดดเดี่ยว (Off grid system)

3. เพื่อเป็นแนวทางในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคต รวมถึงพลังงานทดแทนอื่น ๆ จนไปสู่การจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน

นิยามศัพท์เฉพาะ

พลังงานทดแทน (Renewable energy) หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง แบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถหมุนเวียนใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

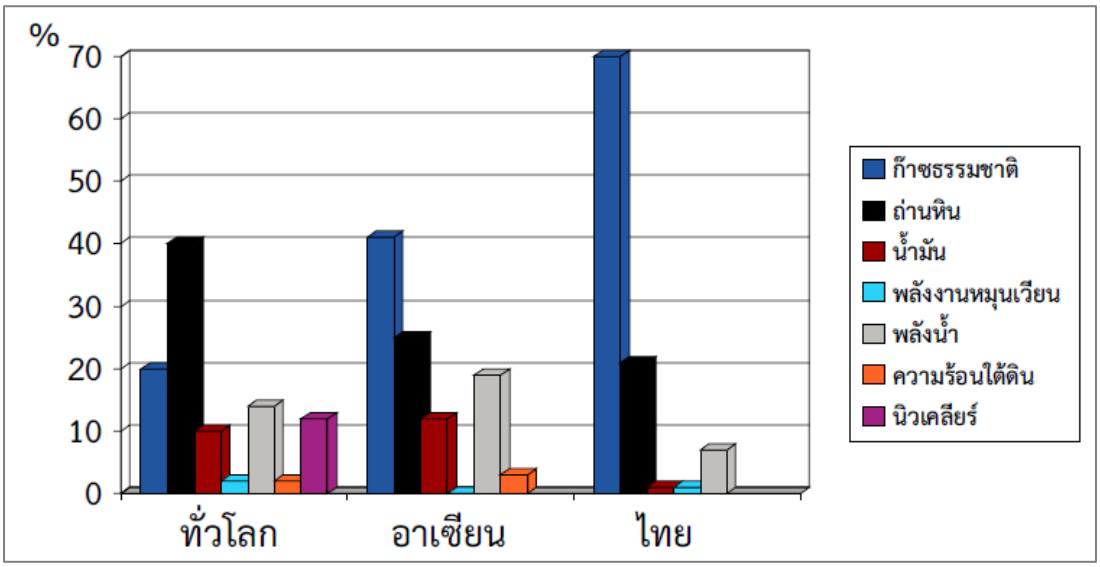
เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) หมายถึง สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดไฟ) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ทันทีที่มีแสงตกกระทบ เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะผลิตไฟฟ้าได้ทันที และไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC current)

ระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system หรือ Grid connected system) หมายถึง ระบบผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ทำงานสัมพันธ์กับผู้ให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้ารายใหญ่ ในประเทศไทยคือการไฟฟ้านครหลวงการไฟฟ้าภูมิภาคและการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ส่วนใหญ่แล้วระบบจะมีเพียงแค่แผงโซล่าเซลล์ต่อเข้ากับกริตไทน์อินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงจากไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับแล้วต่อพ่วงกับไฟที่จ่ายมาจากการไฟฟ้า

ระบบโดดเดี่ยว (Off grid system หรือ Stand alone system) คือระบบที่ผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ที่ไม่ปฏิสัมพันธ์กับผู้ให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้ารายใหญ่ในประเทศไทยคือการไฟฟ้านครหลวงการไฟฟ้าภูมิภาคและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตระบบออฟกริตนี้จะแยกเดี่ยวออกมาโดยผู้ติดตั้งโซล่าเซลล์จะสามารถผลิตไฟฟ้าใช้ได้เอง โดยไม่ต้องพึ่งพาการไฟฟ้า

บทที่ 2
เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาทางด้านพลังงานเป็นปัญหาใหญ่ที่ทั่วทั้งโลกกำลังประสบอยู่ โดยปัจจุบันแหล่งพลังงานที่ใช้เป็นหลักของโลกคือพลังงานฟอสซิล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ฯลฯ ดังภาพที่ 2-1 แสดงปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งปัจจุบันเป็นพลังงานหลักที่นำมาผลิตไฟฟ้าเพื่อให้แสงสว่างแก่มวลมนุษย์ โดยที่ค่าเฉลี่ยทั่วโลกมีการใช้ก๊าซธรรมชาติสูงถึง 20% แต่สำหรับในประเทศไทยมีการใช้ก๊าซธรรมชาติสูงถึง 70%



ภาพที่ 2-1 การใช้ก๊าซธรรมชาติของไทย (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2554)

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2554) มีการคาดการณ์ว่าก๊าซธรรมชาติในประเทศไทยจะมีให้ใช้อีกประมาณ 20 ปี จากนั้นก็จะหมดไป อีกทั้งการผลิตไฟฟ้าด้วยแหล่งพลังฟอสซิลยังสร้างมลพิษในกระบวนการผลิตพลังงานอีกด้วย จากปัจจัยหลาย ๆ ด้าน ทำให้ประชากรโลกเริ่มตระหนักถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และหันมาศึกษาพลังงานทดแทนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด และปลอดภัยกับสิ่งแวดล้อม

เพื่อให้การวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารวิชาการต่าง ๆ และได้จัดทำสรุปดังนี้

1. แนวคิดเรื่องพลังงานทดแทนในประเทศไทย

2. แนวคิดการผลิตไฟฟ้าโดยการติดตั้งโซล่าเซลล์
3. ทฤษฎีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ
4. หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการ

แนวคิดเรื่องพลังงานทดแทนในประเทศไทย

จากที่กล่าวมาข้างต้นเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เราใช้กันในประเทศเพื่อนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มีการนำเข้าจากต่างประเทศเช่นน้ำมันดิบ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ การให้ความสนใจกับพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทดแทนที่สามารถหาได้ภายในประเทศและที่สำคัญต้องไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

พลังงานหมุนเวียนที่ประเทศไทยได้มีการนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้ามีดังนี้ พลังน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล

พลังงานน้ำ

วิสาขา ภู่จินดา (2555) พลังงานน้ำเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีความสำคัญต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งวิธีการนำพลังน้ำมาผลิตกระแสไฟฟ้าจะสร้างเขื่อนปิดกั้นแม่น้ำไว้เป็นอ่างเก็บน้ำให้มีระดับอยู่ในที่สูงจนมีปริมาณน้ำและแรงดันเพียงพอที่จะนำมาหมุนเครื่องกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งอยู่ในโรงไฟฟ้าท้ายน้ำที่มีระดับต่ำกว่าได้ กำลังการผลิตไฟฟ้าจะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเครื่องกังหันไอน้ำหลักการทำงานและองค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ คือการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ของน้ำให้เป็นพลังงานไฟฟ้าไปหมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าพลังน้ำมีตั้งแต่ขนาดเล็กมากกำลังการผลิตต่ำกว่า 100 กิโลวัตต์ ขนาดเล็กกำลังการผลิต 30-100 เมกะวัตต์ เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ภายในครัวเรือนหมู่บ้านฟาร์มหรือขายคืนให้สายส่งของการไฟฟ้าถึงขนาดใหญ่กำลังการผลิตมากกว่า 30 เมกะวัตต์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม สำหรับศักยภาพของแหล่งน้ำที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยมีทั้งสิ้น 2,999.86 เมกะวัตต์ รวมทั้งซื้อไฟฟ้าจากรัฐบาล รัฐบาลสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว จำนวน 3,134 เมกะวัตต์

องค์ประกอบหลักของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำมี 5 องค์ประกอบด้วยกันคือ

1. เขื่อนกักเก็บน้ำ (Dam) สร้างปิดกั้นแม่น้ำเอาไว้เพื่อกักเก็บน้ำไว้ในอ่างเก็บเหนือเขื่อนซึ่งจะต้องคำนึงถึงความต่างระดับหัวน้ำหรือความสูงหัวน้ำสุทธิ (Net head) และอัตราการไหลของน้ำ (Flow rate) เป็นสำคัญ

2. อาคารรับน้ำ (Reservoir) เป็นอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับรับน้ำจากลำน้ำหน้าเขื่อนหรือฝายกักเก็บน้ำเข้าสู่ระบบผันน้ำและระบบส่งน้ำสามารถควบคุมปริมาณการไหลของน้ำที่ใช้ประโยชน์โดยการติดตั้งระบบเปิด-ปิดด้วยบานประตูรวมทั้งการติดตั้งตะแกรงเพื่อป้องกันเศษขยะที่ลอยมากับน้ำเข้าไปทำลายระบบการผลิตกระแสไฟฟ้า

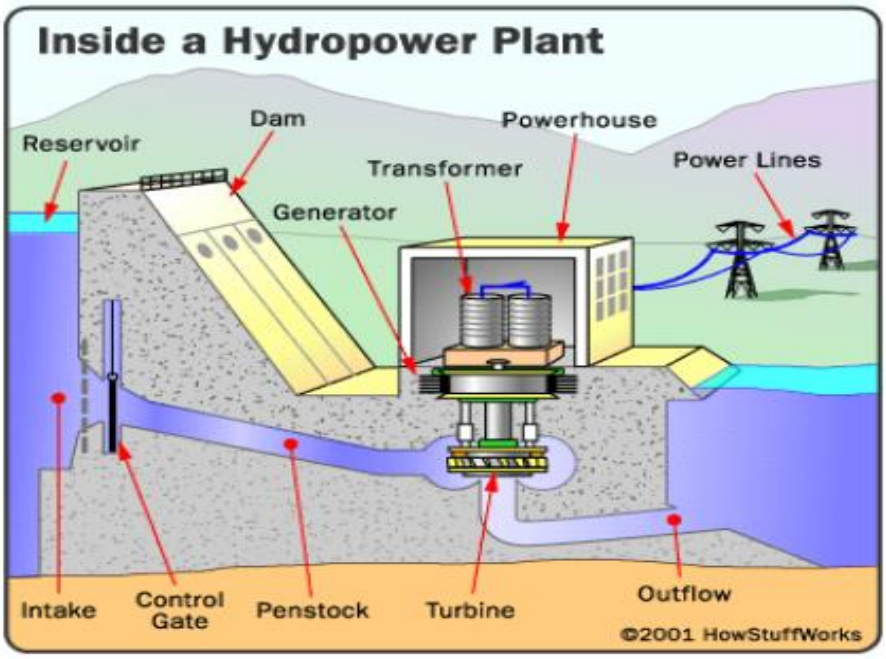
3. ท่อส่งน้ำเข้าโรงไฟฟ้า (Penstock) มีหน้าที่รับน้ำจากอาคารรับน้ำส่งต่อไปยังเครื่องกังหันน้ำที่ติดตั้งอยู่ในโรงไฟฟ้าอาจจะฝังท่ออยู่ใต้ดินหรืออาจจะติดตั้งอยู่ที่ตัวเขื่อน

4. กังหันน้ำ (Turbine) เป็นใบพัดที่รับแรงดันจากน้ำทำให้ใบพัดหมุนรอบแกนแล้วเปลี่ยนพลังงานจลน์ของน้ำให้กลายเป็นพลังงานกล

5. เครื่องกาเนิดไฟฟ้า (Generator) มีหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยมีเพลาต่อจากกังหันน้ำเมื่อกังหันหมุน เพลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะหมุนทำให้เกิดการเหนี่ยวนำภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนพลังงานกลให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า

6. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) มีหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำในสายส่งรวมเพื่อส่งจ่ายไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำสามารถอธิบายโดยสรุปได้จากภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2-2 องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ (วิสาขา ภู่จินดา, 2555)

พลังงานลม

ข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานลมทั่วประเทศพบว่าความเร็วลมในประเทศไทยโดยเฉลี่ยจัดอยู่ในระดับปานกลาง-ต่ำ คือ ต่ำกว่า 4 เมตรต่อวินาที โดยส่วนที่ความเร็วสูงสุดจะอยู่ในบริเวณชายฝั่ง บริเวณเกาะต่าง ๆ ในอ่าวไทยและทางภาคใต้ของประเทศบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก เริ่มตั้งแต่จังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา และปัตตานี ประเทศไทยมีสถานที่ตั้งของสถานีทดลองการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมโดยใช้ชื่อว่าสถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพ ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศเหนือของแหลมพรหมเทพประมาณ 1 กิโลเมตร มีความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 5 เมตรต่อวินาที

การนำพลังงานลมมาใช้จะอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สะอาดและไม่มีวันหมดพลังงานลมโดยแท้จริงแล้วเป็นพลังงานทางอ้อมของพลังงานแสงอาทิตย์ เพราะลมเกิดจากอากาศที่ต่างของพื้นผิวโลกซึ่งมีต้นกำเนิดจากแสงอาทิตย์หลักการทางานในการนำพลังงานลมมาใช้คือ เมื่อใบพัดของกังหันโดนลมและขับเคลื่อนจากแนวนอนไปสู่แนวตั้ง จากนั้นใบพัดจะหมุนเหมือนวงล้อกังหันก็จะติดเครื่องและผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาที่ตั้งของกังหันลมต้องอยู่ในที่ที่มีลมพัดแรงสม่ำสมอพลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ขยายตัวเร็วที่สุดในโลกโดยกำลังการผลิตติดตั้งของพลังงานลมทั่วโลกเพิ่มจาก 1,743 เมกะวัตต์ ในปี พ.ศ. 2533 เป็น 31,000 เมกะวัตต์ ในปลายปี พ.ศ. 2545 ในขณะที่ประเทศไทยมีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมอยู่ในระดับ 1-2 เมกะวัตต์เท่านั้น

ภาพที่ 2-3 กังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

พลังงานแสงอาทิตย์

เป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพมหาศาลและเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ไม่มีวันหมดนอกจากนียังเป็นพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษแต่อย่างใดพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ส่งมายังโลกมนุษย์นั้นพบว่า หากใน 1 เดือน มนุษย์สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์จะสามารถทดแทนการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินได้ถึงแปดล้านตันต่อเดือน ซึ่งเป็นปริมาณของถ่านหินที่ คาดว่ามีทั้งหมดอยู่ทั่วโลก

สำหรับประเทศไทยนั้นมีพื้นที่ที่ตั้งอยู่ใกล้แนวเส้นศูนย์สูตร ซึ่งทำให้มีค่าพลังงานความร้อนเฉลี่ยต่อวันสูงถึง 5.05 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางกิโลเมตร โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์สูงสุดในเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม พื้นที่ของประเทศไทยที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดนั้นจะอยู่ที่จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีษะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี อุดรธานี และบางส่วนของจังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท พระนครศรีอยุธยา รวมทั้งลพบุรี ดังนั้น หากประเทศไทยมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงร้อยละ 1 ของพื้นที่ทั้งหมดต่อปีจะสามารถเทียบเท่ากับการปริมาณการใช้น้ำมันดิบได้ถึง 700 ล้านตันต่อปี

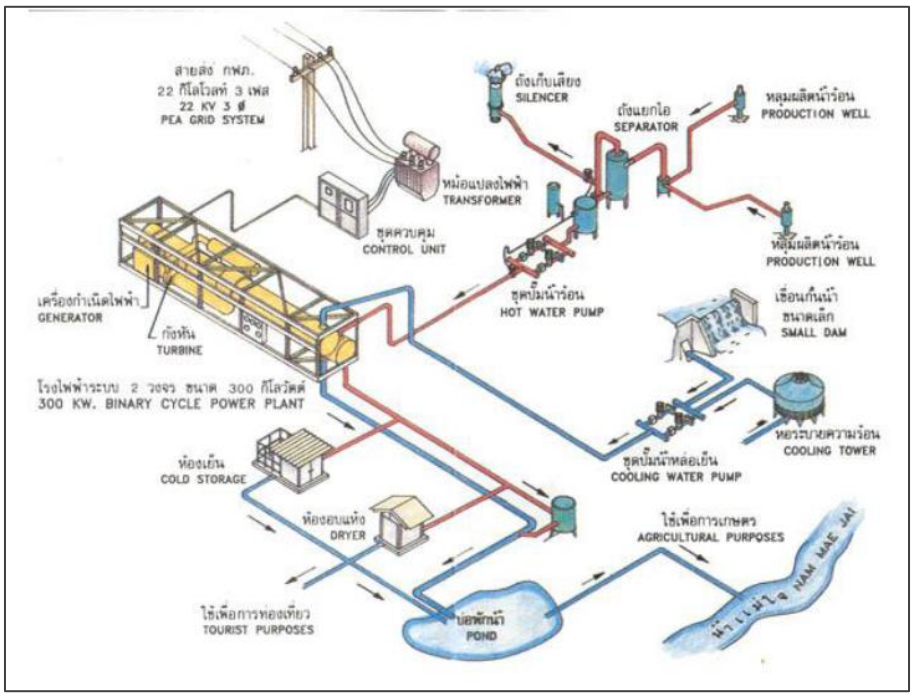
เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นใช้ปัจจุบันใช้เพื่อให้ความอบอุ่นและให้แสงสว่างภายในอาคารทำความร้อนและผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งแสงจากดวงอาทิตย์สามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานได้โดยตรงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic cell: PV) ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องเคลื่อนที่สามารถให้พลังงานแก่ดาวเทียมหลอดไฟแม้กระทั่งเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กเช่นวิทยุพัดลม เป็นต้น ปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าอยู่หลายพื้นที่ เช่น สถานีพลังงานแสงอาทิตย์คลองช่องกล่า อำเภอวัฒนานคร จังหวัดสระแก้ว ที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 20 กิโลวัตต์ เพื่อใช้ประโยชน์ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กในพื้นที่ รวมทั้งยังมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าบนหลังคาบ้านหรือแม้แต่ในอาคารศาลากลางจังหวัดและอาคารของรัฐ ป้ายจราจรอีกด้วย ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วพลังงานแสงอาทิตย์ยังสามารถนำมาผลิตในระบบน้ำร้อนภายในหน่วยงานได้อีกด้วย

พลังงานความร้อนใต้พิภพ

พลังงานความร้อนใต้พิภพเกิดจากพลังงานความร้อนที่เกิดและเก็บอยู่ใต้ผิวโลกมักพบในบริเวณที่เรียกว่า Hot spots คือบริเวณที่มีการไหลของความร้อนจากภายใต้ผิวโลกขึ้นมาสู่ผิวดินมากกว่าปกติโดยมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามความลึก (Geothermal gradient) ยิ่งลึกยิ่งมีความร้อนสูงลักษณะของแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพที่พบในโลกแบ่งเป็น 4 ลักษณะใหญ่ ๆ

คือ แหล่งที่เป็นไอน้ำส่วนใหญ่ (Steam dominated) แหล่งที่เป็นน้ำร้อนส่วนใหญ่ (Hot water dominated)

แหล่งหินร้อน (Hot dry rock) และระบบความดันธรณี (Geopressure system) การนำพลังงานความร้อนใต้พิภพไปผลิตกระแสไฟฟ้าแหล่งกักเก็บพลังงานควรจะต้องมีอุณหภูมิสูงมาก ๆ ของไหลจะอยู่ในสภาพของไอน้ำร้อนปนกับน้ำร้อนในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส และมีความดันมากกว่า 10 บรรยากาศ สามารถแยกไอน้ำร้อนไปหมุนกังหันผลิตไฟฟ้าได้โดยตรงเช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทั่วไป ในกรณีที่แหล่งกักเก็บมีอุณหภูมิต่ำกว่า 180 องศาเซลเซียส การผลิตไฟฟ้าต้องอาศัยสารทำงาน (Working fluid) ซึ่งเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น Freon, Ammonia หรือ Isobutane เป็นตัวรับความร้อนจากน้ำร้อนและเปลี่ยนสภาพเป็นไอและมีความดันสูงขึ้นจนสามารถหมุนกังหันผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ซึ่งโรงไฟฟ้าประเภทนี้เรียกว่าโรงไฟฟ้าระบบ 2 วงจร ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพขนาดศักยภาพปานกลางอยู่เป็นจำนวนมาก การใช้ประโยชน์จากพลังงานธรรมชาติยังอยู่ในวงจำกัด ซึ่งมีการใช้ประโยชน์โดยธรรมชาติที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทยมีกระจายอยู่ทั่วไป



ภาพที่ 2-4 การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพฝางจังหวัดเชียงใหม่ (วิสาขา ภู่จินดา, 2555)

ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีววิทยา (Biological treatment) หรือการใช้จุลินทรีย์ย่อยสลาย ในอุณหภูมิและความชื้นที่พอเหมาะ ก๊าซชีวภาพมีส่วนประกอบหลัก คือก๊าซมีเทน ประมาณร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 30-50 ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไอน้ำ

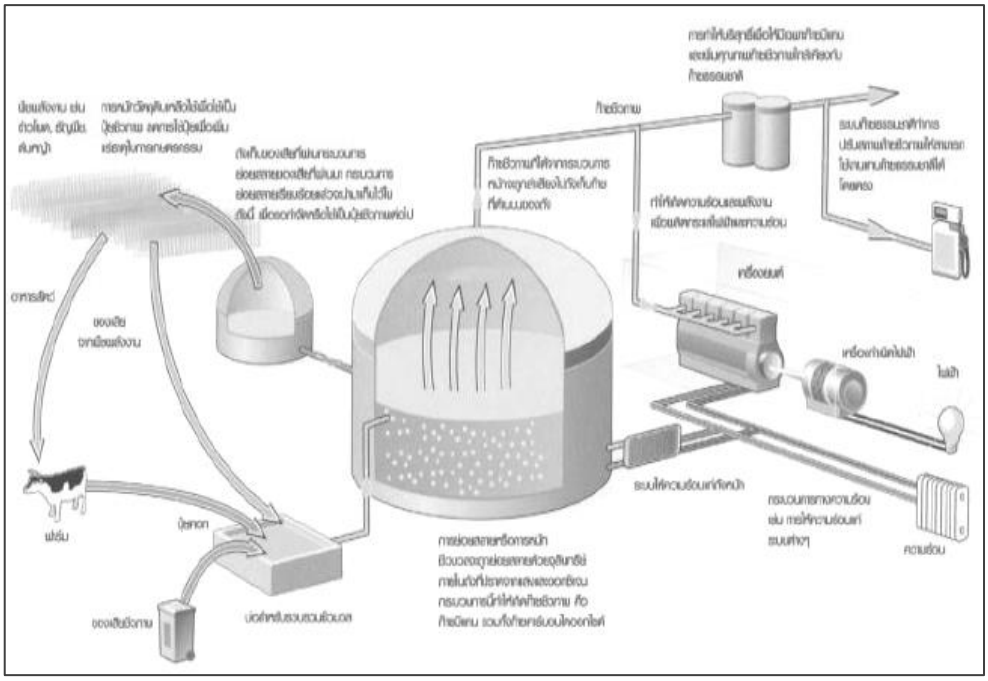
แหล่งของก๊าซชีวภาพ ได้แก่ มูลสัตว์ เช่น ขี้หมู การประกอบการปศุสัตว์ กระบวนการหมักต่าง ๆ ของเสียและน้ำเสียจากกระบวนการแปรรูปอาหารและโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานกระดาษ โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงงานเบียร์

ก๊าซชีวภาพมีส่วนประกอบที่สามารถติดไฟได้ง่าย จึงสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพเผา และสามารถใช้ประโยชน์จากความร้อนได้โดยตรงเช่นการใช้กับเครื่องกกลูกสุกรและหม้อต้มไอน้ำเผาเพื่อให้ความร้อนและขับเคลื่อนเครื่องจักรต่าง ๆ และเผาเพื่อให้ความร้อนและผลิตกระแสไฟฟ้ากระบวนการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพนั้น

อรทัย วรรคาวิสันต์ (2552) อธิบายถึงก๊าชชีวภาพมี 2 กระบวนการใหญ่คือ กระบวนการแบบใช้อากาศ (Aerobic digestion) และกระบวนการแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion)

กระบวนการแบบใช้อากาศ (Aerobic digestion) สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ขึ้นจำนวนมาก (ประมาณร้อยละ 50 ของสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกเปลี่ยนเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์)

กระบวนการแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) กระบวนการนี้สารอินทรีย์ในน้ำเสียประมาณร้อยละ 80-90 จะถูกย่อยสลายไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งรวมเรียกว่าก๊าซชีวภาพ (Biogas)



ภาพที่ 2-5 กระบวนการหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (อรทัย วรรคาวิสันต์, 2552)

ในปัจจุบันการนำพลังงานก๊าซชีวภาพจากการหมักขยะอินทรีย์หรือมูลสัตว์นั้นกำลังได้รับความนิยมค่อนข้างมากเนื่องจากสามารถทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้มได้เป็นอย่างดี

ชีวมวล

ชีวมวล หมายถึง วัตถุหรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้เศษหรือสิ่งที่เหลือใช้ทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรมเกษตร เช่น แกลบชานอ้อย กะลา ปาล์ม ฟางข้าว กากมันสำปะหลัง ซางข้าวโพด ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีชีวมวลมากการที่เรานำชีวมวลมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อนหรือไอน้ำ จึงเป็นการเปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นพลังงานชีวมวลที่สามารถนำมาผลิตพลังงานทดแทนในประเทศไทยมีประมาณ 7,000 เมกะวัตต์ ทั้งนี้ปริมาณชีวมวลจะผันแปรและขึ้นกับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศที่เกิดขึ้น ชีวมวลจัดว่าเป็นแหล่งเชื้อเพลิงราคาถูก ถ้ามีการนำมาใช้ประโยชน์ไม่ไกลจากแหล่งเชื้อเพลิงมากนักเพื่อลดต้นทุนการขนส่งชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนการสังเคราะห์แสงหรือเจริญเติบโต พืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์น้ำและแสงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นแป้งและน้ำตาลแล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืชดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงเราก็จะได้พลังงานออกมา

องค์ประกอบของชีวมวลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักได้แก่

1. ความชื้น (Moisture) ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีความชื้นสูงเพราะเป็นผลิตผลทางการเกษตรการนำชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ความชื้นไม่ควรเกินร้อยละ 50

2. ส่วนที่เผาไหม้ได้ชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงควรมีส่วนที่เผาไหม้ได้สูงจะติดไฟง่าย

3. ส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้คือขี้เถ้าชีวมวลส่วนใหญ่จะมีขี้เถ้าประมาณร้อยละ 1-3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมีสัดส่วนขี้เถ้าประมาณร้อยละ 10-20 ทำให้มีปัญหาการเผาไหม้และการกำจัด

การแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่าง ๆ ในการผลิตไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการเผาไหม้โดยตรง (Combustion) คือการนำชีวมวลมาเผาเพื่อให้ได้ความร้อนซึ่งชีวมวลแต่ละชนิดจะให้ค่าความร้อนไม่เท่ากันความร้อนที่ได้จะถูกนำไปผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูงไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไปหรือสามารถนาชีวมวลมาผลิตเป็นก๊าซ (Gasification) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งหรือชีวมวลให้กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิงเรียกว่าก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งนำไปใช้กับกังหันก๊าซ (Gas turbine) เพื่อผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ชีวมวลยังสามารถนำมาหมัก (Fermentation) ด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ ทำให้ได้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ในการผลิตไฟฟ้า

เชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวภาพหรือ Biofuel เป็นเชื้อเพลิงที่ได้มาจากชีวมวลเป็นพลังงานที่ได้จากพืชและสัตว์โดยมีพื้นฐานจากการสังเคราะห์แสงแล้วเก็บรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์เอาไว้ในรูปของพลังงานเคมีหรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตหรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งการผลิตการเกษตรและป่าไม้เช่นไม้ฟืนแกลบกากอ้อยและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในประเทศไทยนั้นมีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ 2 ชนิด อันได้แก่ เอทานอลและไบโอดีเซล

เอทานอลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพในรูปแบบหนึ่งที่มีคุณสมบัติเป็นของเหลวใสไม่มีสีติดไฟง่าย มีความไวและมีค่าออกเทนสูง (เอทานอลบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.8 มีค่าออกเทนสูงถึง 113) โดยผลิตจากกระบวนการหมัก ซึ่งใช้ยีสต์เปลี่ยนเป็นน้ำตาล เป็นแอลกอฮอล์หรือเอทานอล ส่วนกระบวนการกลั่นคือ การนำเอทานอลที่ได้จากการหมักไปกลั่นที่ความดันบรรยากาศจะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 95.6 โดยปริมาตรแต่ถ้าจะนำไปเป็นเชื้อเพลิงต้องใช้เทคนิคอื่น ๆ มาช่วยแยกน้ำออกอีกครั้งเพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตรซึ่งเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์นี้สามารถนำไปใช้ในการผสมกับเชื้อเพลิงหลัก เช่น ผสมกับน้ำมันเบนซิน 91 กลายเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์

ไบโอดีเซลคือ น้ำมันที่ได้จากการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์หรือน้ำมันปรุงอาหารที่ใช้แล้วโดยผ่านกระบวนการทำให้โมเลกุลเล็กลงอยู่ในรูปของเอทิลเอสเทอร์หรือเมทิลเอสเทอร์ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก สามารถใช้ทดแทนกับน้ำมันดีเซลได้โดยตรง กระบวนการทำให้โมเลกุลเล็กลงในรูปของเอสเทอร์ที่เรียกว่าทรานส์เอสเตอริฟิเคชั่น (Tranesterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมเพื่อเปลี่ยนไขมันหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำมันจาก Triglyceride ให้เป็นอัลคิลเอสเทอร์ ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับน้ำมันดีเซลที่เรียกว่าน้ำมันไบโอดีเซลหรือ B10

แนวคิดการผลิตไฟฟ้าโดยการติดตั้งโซล่าเซลล์

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2552) กล่าวถึงว่าดวงอาทิตย์ เป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.39 × 109 เมตร และมีระยะห่างเฉลี่ยจากโลกประมาณ 1.5 × 1011 เมตร เมื่อสังเกตจากโลก ดวงอาทิตย์จะใช้เวลาในการหมุนรอบแกนตัวเองประมาณ 4 สัปดาห์ อย่างไรก็ตาม ดวงอาทิตย์ไม่ได้หมุนอย่างของแข็ง การหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ที่บริเวณศูนย์สูตรจะใช้เวลาประมาณ 27 วัน และสำหรับบริเวณขั้วโลกประมาณ 30 วันดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประสิทธิผล 5,777 K อุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 8 × 106 ถึง 40 × 106 K และมีความหนาแน่นประมาณ 100 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ ดวงอาทิตย์จึงเปรียบได้กับเตาปฏิกรณ์ที่เกิดปฏิกิริยาฟิวชันของก๊าซที่เป็นส่วนประกอบอย่างต่อเนื่อง พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวหลายชนิด ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดปฏิกิริยาหนึ่ง คือการรวมตัวกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม มวลของนิวเคลียสของฮีเลียมมีค่าน้อยกว่ามวลของไฮโดรเจน มวลส่วนที่หายไปคือ มวลที่เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงาน พลังงานนี้จะเกิดขึ้นที่ภายในดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิหลายล้านเคลวิน พลังงานนี้จะถ่ายเทมาที่ผิวของดวงอาทิตย์และแผ่ออกจากผิวสู่อวกาศ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใด ๆ อันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ

เซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าเนื่องจาก สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ปัจจุบันในประเทศไทยมีหลายหน่วยงาน ได้ทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในลักษณะต่าง ๆ กัน เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 (พ.ศ. 2497) โดยแชปปิน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียสัน (Pearson) แห่งเบลล์เทลเลโฟน (Bell telephon) โดยทั้ง 3 ท่านนี้ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อพี-เอ็น (P-N) แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอน

จนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% แล้ว ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียมหรือยานอวกาศที่ส่งจากพื้นโลกไปโคจรในอวกาศ ดังภาพที่ 2-6 ก็ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังไฟฟ้า ต่อมาจึงได้มีการนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้บนพื้นโลก เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรก ๆ ส่วนใหญ่จะมีสีเทาดำ แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่าง ๆ กันไป เช่น แดง น้ำเงิน เขียว ทอง เป็นต้น

ภาพที่ 2-6 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในดาวเทียม (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเลคทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้น เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

ประพิธาร์ ธนารักษ์ (2554) กล่าวถึงการเริ่มใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยว่า ได้เริ่มมีการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อปี พ.ศ. 2519 โดยหน่วยงานกระทรวงสาธารณสุขและ

มูลนิธิแพทย์อาสา ฯ มีประมาณ 300 แผงแต่ละแผงมีขนาด 15/ 30 วัตต์ และได้มีนโยบายและแผนด้านเซลล์แสงอาทิตย์ บรรจุลงในแผนพัฒนา ฯ ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2520-2524) ซึ่งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ติดตั้งใช้งานอย่างเป็นรูปธรรมในช่วงท้ายของ แผนพัฒนา ฯ ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2530-2534) โดยมีกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน) กรมโยธาธิการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่เป็นหน่วยงานหลัก ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้งานในด้านแสงสว่าง ระบบโทรคมนาคม และเครื่องสูบน้ำ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2552) ได้แบ่งเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. กลุ่มที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึก จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังภาพที่ 2-7

1.1 ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single crystalline silicon solar cell)

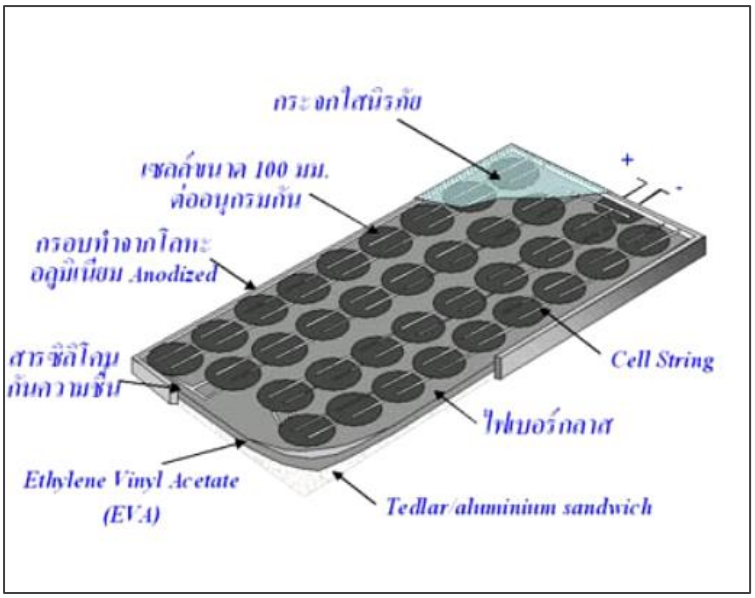
1.2 ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly crystalline silicon solar cell)

1.3 แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous silicon solar cell)

ภาพที่ 2-7 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

2. กลุ่มที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และคาดว่าจะนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7% ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด

การนำแสงอาทิตย์มาทำเป็นไฟฟ้านั้น ถึงแม้เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถทำได้ แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียว จะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar module หรือ Solar panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผง เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่ มีส่วนผสมของเหล็กต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการ ป้องกันความชื้นที่ดีมาก เพราะจะต้องอยู่กลางแดดกลางฝนเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคนและ อีวีเอ (Ethelele vinyl acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์ จึง ต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง ดังภาพที่ 2-8 แต่บางครั้งก็ไม่มีความจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (Laminate) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง



ภาพที่ 2-8 ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

วัสดุที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์

วัสดุสำคัญที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบัน ได้แก่ สารซิลิคอน (Si) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิพในคอมพิวเตอร์และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ซิลิคอนเป็นสารซึ่งไม่เป็นพิษ มีการนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูก คงทน และเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่นที่สามารถนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ CIS และแคดเมียมเทลเลอไรด์ แต่ยังมีราคาสูง และบางชนิดยังไม่มีการพิสูจน์เรื่องอายุการใช้งานว่าสามารถใช้งานได้นาน ข้อเสียของซิลิคอนคือ การทำให้บริสุทธิ์และอยู่ในรูปสารที่พร้อมจะทำเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาแพง และแตกหักง่ายในขบวนการผลิต

ขั้นตอนการผลิตสารซิลิคอนบริสุทธิ์

1. การผลิต MG-Si จากหินควอทไซต์หรือทราย

$SiO_2 + 2C \longrightarrow Si + 2CO$ (ปฏิกิริยาภายในเตาหลอม)

ความบริสุทธิ์ของ Si 98-99%

2. การผลิต SeG-Si จาก MG-Si

2.1 เปลี่ยนสถานะ Si เป็นแก๊ส โดยวิธี Fractional Distillation

$Si + 3\,HCl \longrightarrow SiHCl_3 + H_2$

2.2 $SiHCl_3$ ทำปฏิกริยากับ H_2 ได้ Si บริสุทธิ์ 99.999%

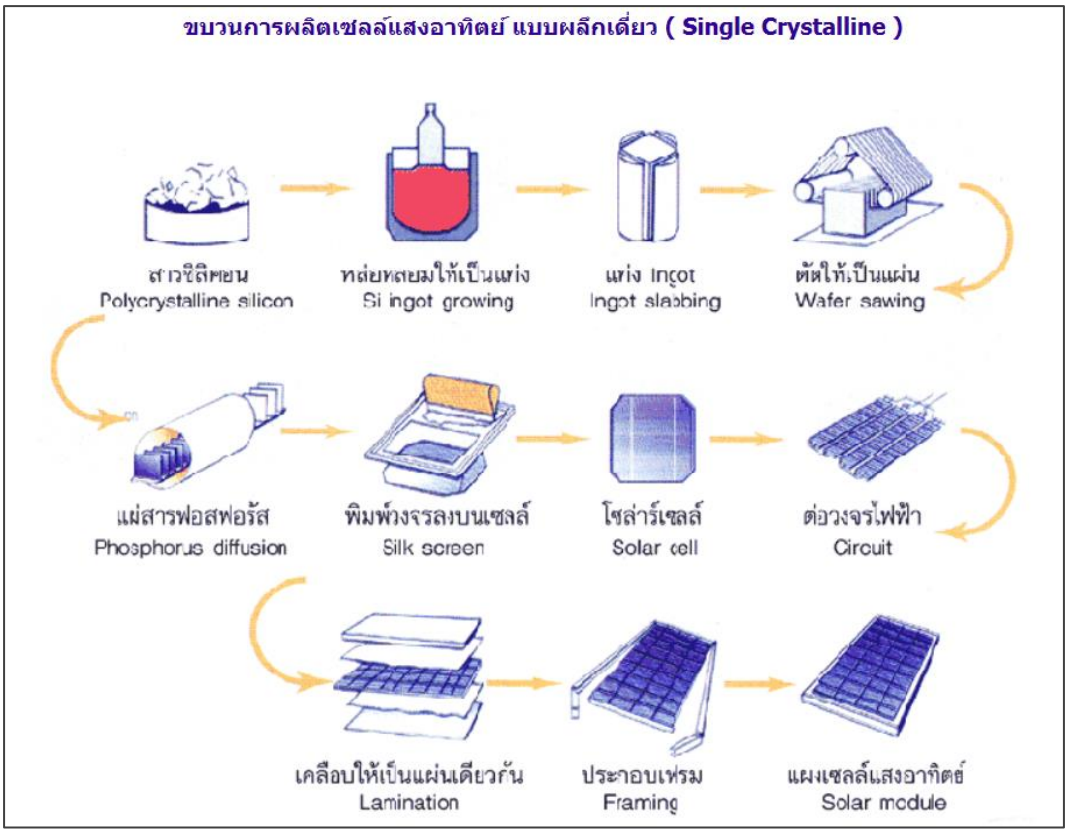
$SiHCl_3 + H_2 \longrightarrow Si + HCl$

เป็นการทำ Si ให้บริสุทธิ์ ขั้นตอนนี้ได้ Polycrystal

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

1. การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single crystalline) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Mono-crystalline การเตรียมสารซิลิคอนชนิดนี้ เริ่มต้นจากนำสารซิลิคอนซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.999%) มาหลอมละลายในเตา Induction furnace ที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 องศาเซลเซียส เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 นิ้ว) พร้อมกับใส่สารเจือปน Boron เพื่อทำให้เกิด p-type แล้วทำให้เกิดการเย็นตัวจับตัวกัน เป็นผลึกด้วย Seed ซึ่งจะตกผลึกมีขนาดหน้าตัดใหญ่ แล้วค่อย ๆ ดึงแท่งผลึกนี้ขึ้นจากเตาหลอม ด้วยเทคโนโลยีการดึงผลึกจะได้แท่งผลึกยาวเป็นรูปทรงกระบอก คุณภาพของผลึกเดี่ยวจะสำคัญมากต่อคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นนำแท่งผลึกมาตัดให้เป็นแผ่นบาง ๆ ด้วยลวดตัดเพชร (Wire cut) เรียกว่าเวเฟอร์ ซึ่งจะได้แผ่นผลึกมีความหนาประมาณ 300 ไมโครเมตร และขัดความเรียบของผิว จากนั้นก็จะนำไปเจือสารที่จำเป็นในการทำให้เกิดเป็น p-n junction ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธีการ Diffusion ที่อุณหภูมิระดับ 1,000 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟออกใช้

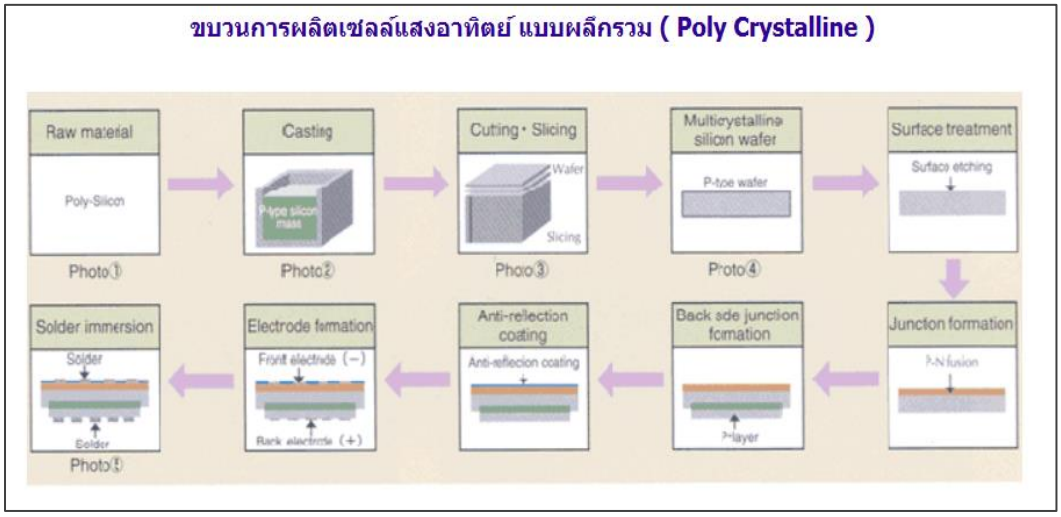
ที่ผิวบนจะเป็นขั้วลบ ส่วนผิวล่างเป็นขั้วบวก ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการเคลือบฟิลม์ผิวหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุด ดังภาพที่ 2-9 ตอนนี้จะได้เซลล์ที่พร้อมใช้งาน หลังจากนั้นก็นำไปประกอบเข้าแผงโดยใช้กระจกเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์ และใช้ซิลิโคน และ อีวีเอ (Ethelele vinyl acetate) ช่วยป้องกันความชื้น ในการใช้งานจริง เราจะนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ได้ตามต้องการ



ภาพที่ 2-9 ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Single crystalline) (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

2. การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกรวม (Poly crystalline) การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีนี้ จะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าวิธีแรกคือ การทำแผ่นเซลล์ จะใช้วิธีการหลอมสารซิลิคอนให้ละลายพร้อมกับใส่สารเจือปน Boron เพื่อทำให้เกิด p-type แล้วเทลงในแบบพิมพ์ เมื่อสารละลายซิลิคอนแข็งตัวก็จะได้เป็นแท่งซิลิคอนแบบผลึกรวม (ตกผลึกไม่พร้อมกัน) จากนั้นนำไปตัดเป็นแผ่นเช่นเดียวกับแบบผลึกเดี่ยว ความแตกต่างระหว่างแบบผลึกเดี่ยวและแบบผลึกรวมสังเกตได้จากผิวผลึก ถ้ามีโทนสีที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากผลึกเล็ก ๆ หลายผลึกในแผ่นเซลล์จะเป็นแบบผลึกรวม

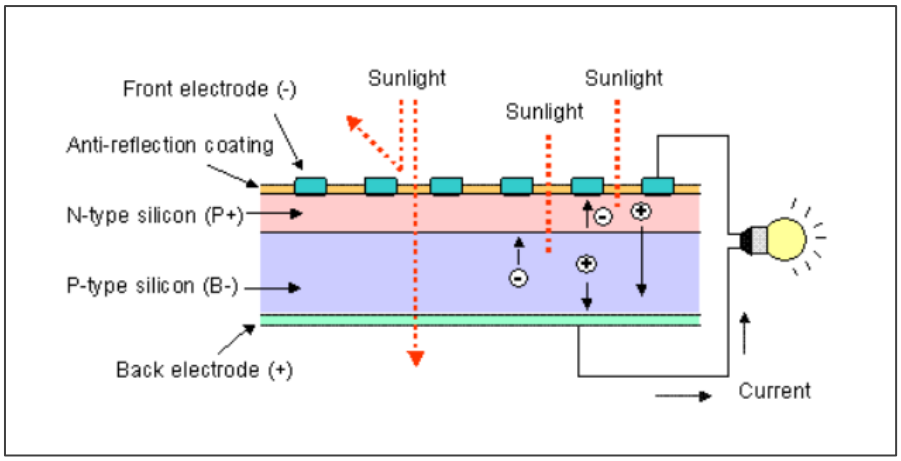
ในขณะที่แบบผลึกเดี่ยวจะเห็นเป็นผลึกเนื้อเดียว คือ มีสีเดียวตลอดทั้งแผ่น ส่วนกรรมวิธีการผลิตเซลล์ที่เหลือจะเหมือนกัน เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly crystalline) จะให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบผลึกเดี่ยว ประมาณ 2-3% อย่างไรก็ตาม เซลล์ทั้ง 2 ชนิด มีข้อเสียในการผลิต คือ แตกหักง่ายเช่นกัน ดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly crystalline) (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้

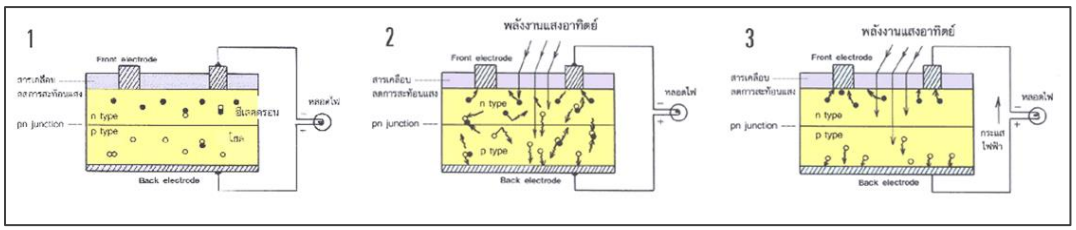


ภาพที่ 2-11 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

1. n-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p-type ซิลิคอน คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโดปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p-n junction จึงทำให้เกิดเป็น “เซลล์แสงอาทิตย์” ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front electrode และ Back electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน

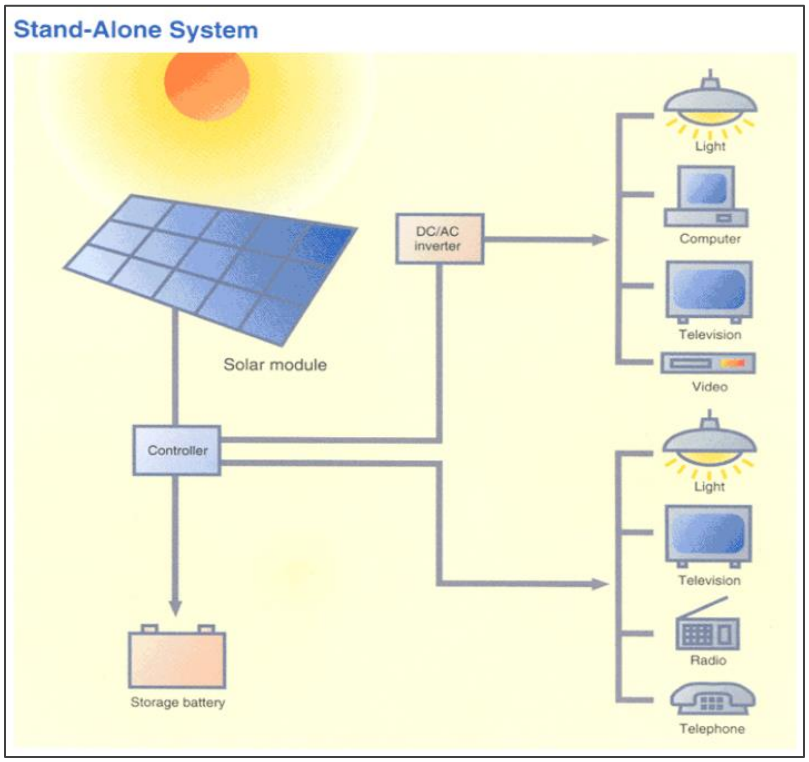


ภาพที่ 2-12 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 2 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

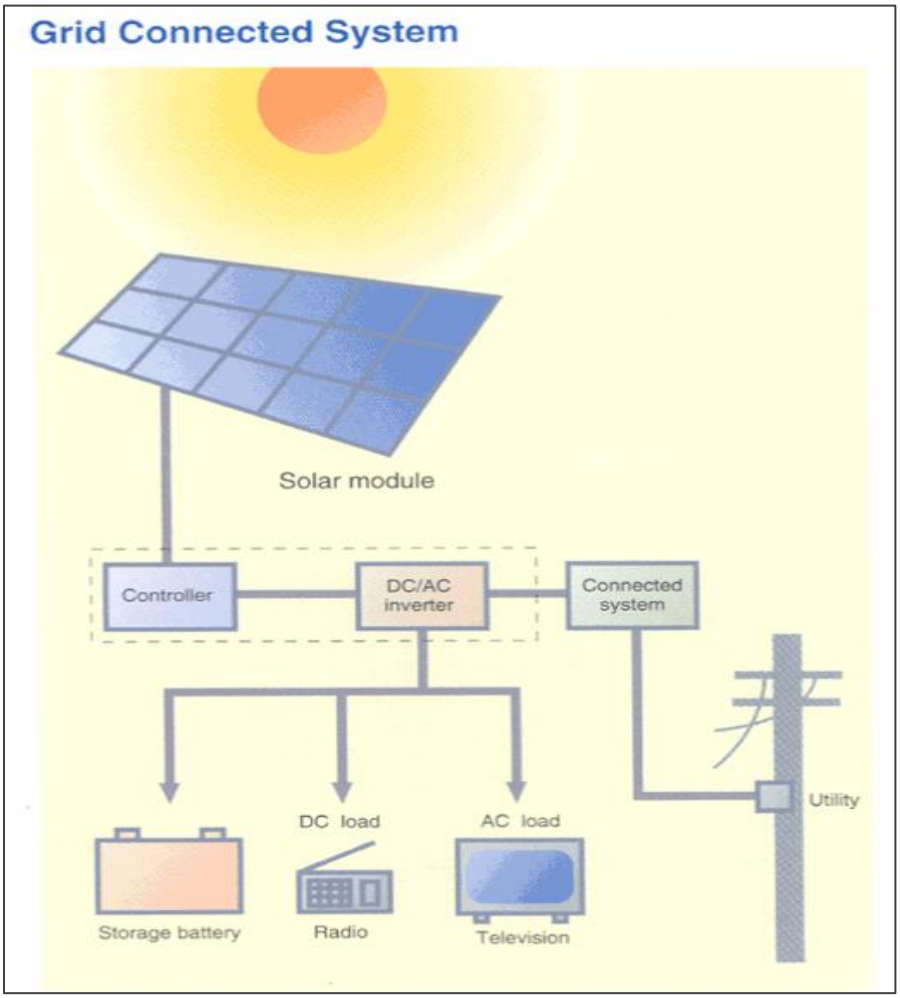
การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

1. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) ดังภาพที่ 2-13 เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ



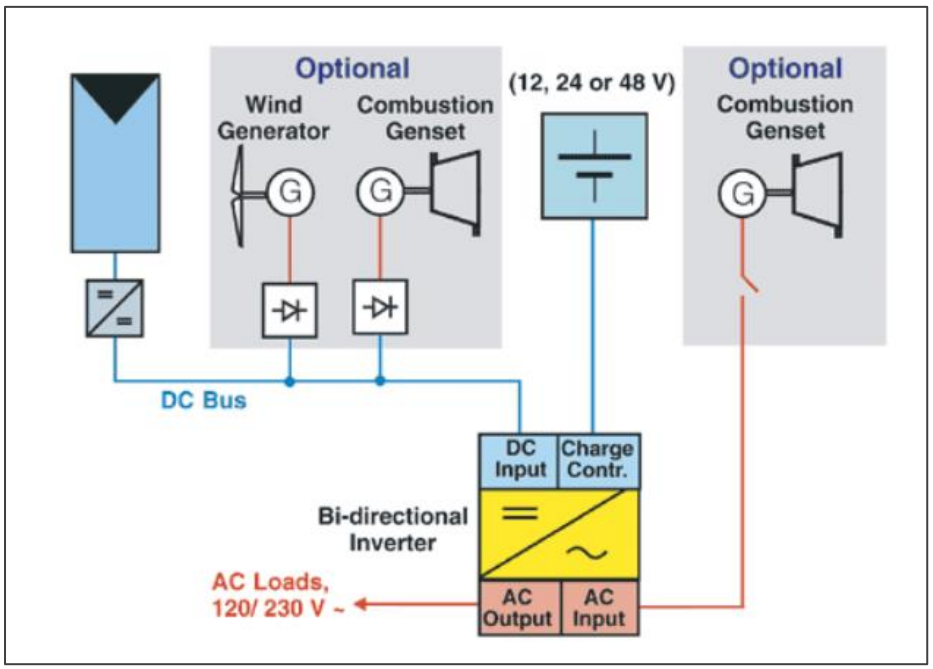
ภาพที่ 2-13 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

2. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) ดังภาพที่ 2-14 เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า



ภาพที่ 2-14 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

3. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) ดังภาพ 2-15 เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ



ภาพที่ 2-15 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2552)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงแสงอาทิตย์เป็นกระแสไฟฟ้า

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555) กล่าวถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงแสงอาทิตย์เป็นกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยปัจจุบัน มีดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไวแสงมากที่สุด สามารถรับแสงที่อ่อน ๆ ได้รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้าต่าง ๆ จึงทำงานได้ในพื้นที่ที่มีเมฆหมอกฝุ่นละออง มีฝนตกชุก สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงได้ดี แต่ก็มีผลเสียคือ ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ

จึงทำให้ต้องใช้พื้นที่มากแผงนิยมนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกา หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ๆ เป็นต้น

เซลล์แสงอาทิตย์ Crystalline เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของผลึกที่ทำให้เป็นแผนฟิล์มชั้นบาง ๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบ Mono crystalline หรือแผงชนิดผลึกเดี่ยวและแบบ Poly crystalline หรือผลึกผสมหรืออาจมีชื่อเป็นอย่างอื่น เช่น Single crystalline และ Multi crystalline เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานมากที่สุดแผงแบบ Mono crystalline จะมีประสิทธิภาพดีกว่าและราคาแพงกว่าแบบ Poly crytalline เล็กน้อย

ทั้งสองชนิดมีข้อดีคือ หาอุปกรณ์ต่อพ่วงได้ง่าย มีราคาถูก อายุการใช้งานยาวกว่า 20 ปี ทนทาน ใช้พื้นที่น้อยกว่า มีน้ำหนักเบา

เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Super amorphous หรืออาจเรียกว่าเป็นแบบ Amorphous triple junction แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะรวมเอาข้อดีของทั้ง Amorphous และ Crystalline มาไว้ด้วยกันโดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Amorphous และสามารถใช้อุปกรณ์ต่อพ่วงร่วมกับแบบ Crytalline บางชนิดยังมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถบิดตัวม้วนได้ เนื่องจากการปลูกเซลล์ทำบนฐานรองประเภทพลาสติก ทำให้มีน้ำหนักเบา การขนส่งสะดวกสามารถติดตั้งตามพื้นผิวของวัสดุต่าง ๆ ได้หลากหลายแต่มีข้อเสียคือมีราคาแพงกว่าชนิดอื่น ๆ 30-40% ในอนาคตเมื่อมีการแข่งขันทางตลาดที่สูงขึ้น ราคาจะถูกลงก็จะได้รับความนิยมนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายต่อไป

2. เครื่องควบคุมการชาร์จ (Charge controller)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุให้กับแบตเตอรี่ซึ่งการประจุนี้จะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัด ทำให้เสื่อมสภาพเร็วและเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วก็จะต้องตัดการชาร์จทันที กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีรูปสัญญาณเป็นพัลส์ (Pulse) และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าแบตเตอรี่ประมาณ 15-20% เนื่องจากมีค่าตัวแปรที่มาเกี่ยวข้องในกระบวนการชาร์จแบตอรี่ ได้แก่ อุณหภูมิของแบตเตอรี่ ความไม่คงที่ของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ป้อนให้ โดยเฉพาะจากแหล่งพลังงานทดแทนอื่น ๆ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากกังหันลมหรืออื่น ๆ จึงต้องใช้อุปกรณ์ประมวลผล (Microcontroller) มาทำการประมวลผลและควบคุมการทำงานวงจรชาร์จประจุและใช้วงจร PWM (Pulse width modulation) มาสร้างรูปสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้การประจุแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

ภาพที่ 2-16 เครื่องควบคุมการชาร์จ (Charge controller) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

3. แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้จัดเก็บพลังงานไฟฟ้ามีการพัฒนาให้มีความเหมาะสมในการใช้งานโดยจะออกแบบให้สามารถจัดเก็บประจุได้มาก ๆ และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้นาน ๆ ยิ่งขึ้นที่เรียกว่าเป็นแบบ Deep cycle โดยการออกแบบให้แผ่นธาตุตะกั่วมีความหนาเป็นพิเศษ เป็นผลทำให้ค่าความต้านทานภายในสูง สามารถจัดเก็บประจุไฟฟ้าได้สูงแต่จะจ่ายกระแสออกมาได้ไม่สูงมากนัก ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูง ๆ ในระยะเวลาสั้น ๆ เช่น การใช้กับรถยนต์ แบตเตอรี่แบบ Deep cycle จะเหมาะสำหรับรถไฟฟ้ารถยกของ (Flock lift) เครื่องสำรองไฟ (Uninterruptible power supply: UPS) หรือการเก็บพลังงานสำรองจากแหล่งพลังงานทดแทนต่าง ๆ รวมทั้งพลังงานจากแสงอาทิตย์ด้วยแบตเตอรี่แบบ Deep cycle นี้จะมีราคาขนาดและน้ำหนักที่ต่างกันกับแบตเตอรี่รถยนต์ (Verhicle battery) มาก ถึงแม้ว่ากำลังวัตต์ต่อชั่งโมง (Watt hour: WH) หรือความจุของกระแสไฟฟ้าจะเท่ากันก็ตาม ในการใช้งาน

แบตเตอรี่ต่าง ๆ ให้ทนทานจะต้องทราบข้อจำกัดทางด้านอุณหภูมิและระดับความลึกในการคายประจุ (Depth of discharge: DOD) ในระหว่างการทำงานด้วยซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่การใช้งานจนพลังงานไฟฟ้าหมดจะเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงอย่างมาก ๆ ดังนั้น การใช้งานจึงไม่ควรใช้ประจุไฟฟ้าที่ต่ำกว่าระดับ 60% และแบตเตอรี่ควรเก็บไว้ในที่อากาศเย็นปกติอุณหภูมิไม่เกิน 25°C ในส่วนการประจุไฟฟ้าจะต้องไม่ประจุกระแสไฟฟ้าที่สูงเกินไปจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น

4. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้านโดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์จะออกแบบวงจรภายในโดยใช้วงจร Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยมีสัญญาณความถี่ไฟฟ้า 50 Hz ในระบบที่มีขนาดเล็ก ๆ ผู้ผลิตอาจจะรวมวงจรอินเวอร์เตอร์เข้าเป็นชุดเดียวกับวงจรควบคุม

การประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Charger and inverter) ในการใช้งานต้องมีค่ากำลังงานที่สูงกว่ากำลังวัตต์ที่ใช้งาน 15-20% ทั้งนี้เนื่องจากอินเวอร์เตอร์จะมีประสิทธิภาพประมาณ 80-85% เช่น กำลังวัตต์ที่ต้องการใช้งาน 800 วัตต์ ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์ เป็นต้น

ภาพที่ 2-17 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

ตัวแปรที่สำคัญในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) (2552) กล่าวถึงตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์ แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ

ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลก ความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 750 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2. อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25°C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open circuit voltage หรือ V oc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25°C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25°C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25°C เช่น อุณหภูมิ 30°C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% (0.5% × 5°C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ V oc จะลดลง 0.525 V (21 V × 2.5%) เหลือเพียง 20.475 V (21 V-0.525 V) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่น แผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 วัตต์ต่อตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 20°C ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25°C แล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

ทฤษฎีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555) ได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมของประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดภาคพื้นดิน หน่วย

ในการวัดความเข้มของแสงอาทิตย์เรียกว่า MJ/ m^2-day เมกกะจูลต่อตารางเมตร คือ หน่วยการวัดความเข้มของแสงอาทิตย์ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ที่ใช้ Thermoelectric sensor หรือแบบ Thermopile เป็นการวัดรังสีรวมของความเข้มแสงอาทิตย์ เครื่องไพรามิเตอร์มี Sensor ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งเชื่อมปลายทั้งสองติดกันโดยปลายข้างหนึ่งทำหน้าที่เป็น Hot junction และอีกข้างหนึ่งเป็น Cold junction เมื่อ Hot junction ถูกรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ Junction ทั้งสอง และก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force) ขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะทั้งสองจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้ ปัจจุบันประเทศไทยมีสถานีวัดความเข้มแสงดวงอาทิตย์ทั้งหมด 37 สถานีทั่วประเทศ

จากการวัดค่าความเข้มของแสงอาทิต์พบว่า การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่าง ๆ ในแต่ละเดือนของประเทศได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคมโดยมีค่าอยู่ในช่วย 20 ถึง 23*MJ/ m^2-day และเมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีพบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี อุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และจังหวัดลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีที่ 19 ถึง 20 MJ/ m^2-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 11.0% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ

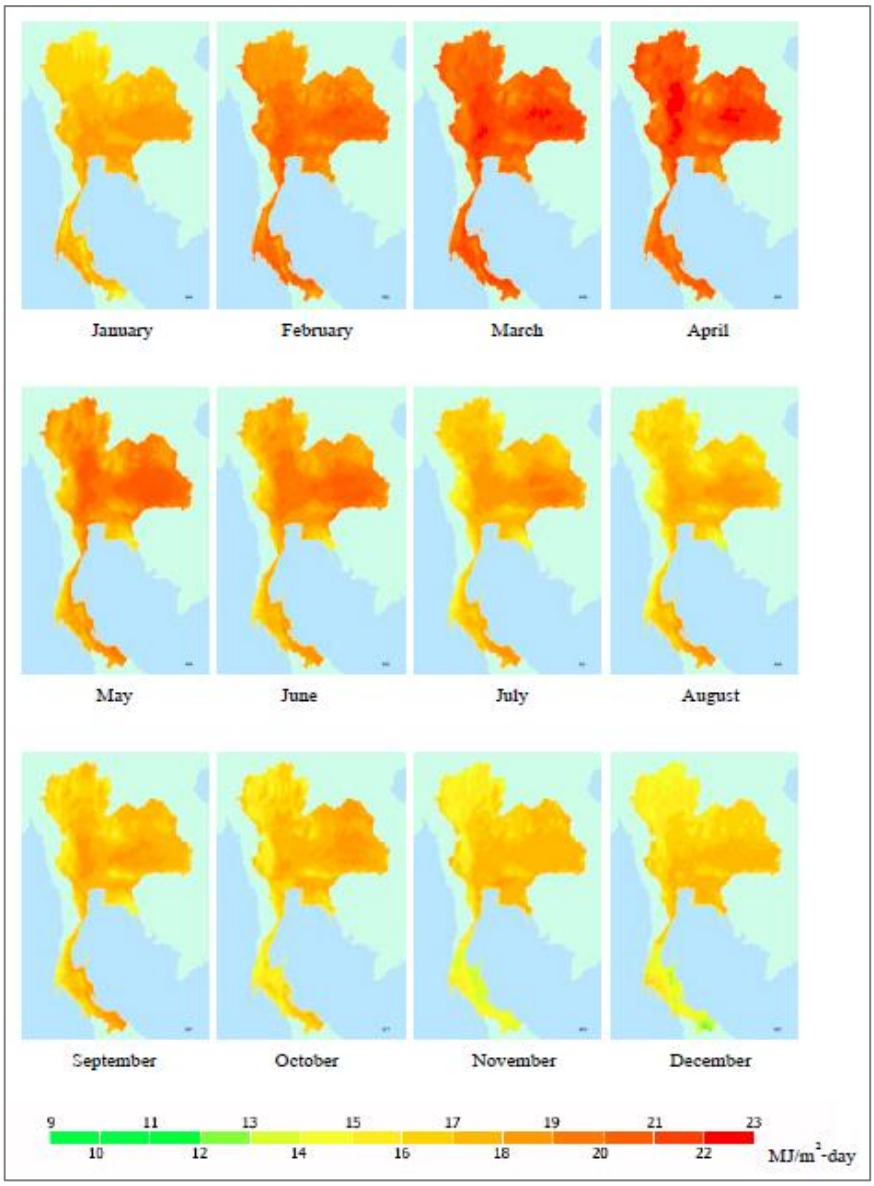
นอกจากนี้ยังพบว่า 35.6% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 MJ/ m^2-day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่า มีค่าเท่ากับ 18.0 MJ/ m^2-day จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงและได้จัดทำเป็นแผนที่ เรียกแผนที่ดังกล่าวว่า “แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย” ในแผนที่จะแสดงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่บริเวณต่าง ๆ ของประเทศไทยได้รับในรูปของค่ารายวันเฉลี่ยต่อปีในหน่วย MJ /m^2-day และภายหลังนำผลที่วิเคราะห์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมไปตรวจสอบกับสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของ พพ. ที่ได้จัดตั้งไว้ 38 แห่ง และสถานีวัดของมหาวิทยาลัยศิลปากร 4 แห่ง จากผลการเปรียบเทียบพบว่าค่าที่ได้จากแผนที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด โดยมีความแตกต่างในรูปของ Root mean square difference RMSD = 7.3% ซึ่งถือว่าความละเอียดถูกต้องของแผนที่ดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ดี ดังปรากฏตารางที่ 1-1 จากแผนที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ จะทำให้ทราบศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย ซึ่งจะเห็นได้ว่าบริเวณที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงแผ่เป็น

บริเวณกว้างตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุดรธานี นอกจากนี้ยังมีบริเวณที่มีศักยภาพสูงในพื้นที่บางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และลพบุรี สำหรับเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ในระดับต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าครึ่งหนึ่งพื้นที่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากกว่า 17 MJ/ m^2-day ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับค่อนข้างสูง

ภาพที่ 2-18 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

รังสีดวงอาทิตย์นอกจากจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและทางเดินของดวงอาทิตย์ตามเวลาในรอบปีแล้ว ยังขึ้นอยู่กับภูมิประเทศด้วย ดังปรากฏตามแผนที่ความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ย

ต่อเดือนของเดือนต่าง ๆ จะเห็นว่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่ทั่วประเทศมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และตามฤดูกาลในรอบปีโดยในช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ ภาคใต้ฝั่งตะวันตกจะได้รับรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ส่วนภาคใต้ฝั่งตะวันออกยังคงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ท้องฟ้ามีเมฆและฝน รังสีดวงอาทิตย์ที่รับจึงมีค่าต่ำกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก สำหรับในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ถึงแม้ท้องฟ้าส่วนใหญ่จะแจ่มใส



ภาพที่ 2-19 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่าง ๆ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (2542) กล่าวถึงการกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนมกราคมบริเวณตอนเหนือของประเทศจะมีค่าโดยเฉลี่ยต่ำกว่าภาคอื่น ๆ ถึงแม้ว่าเดือนมกราคมเป็นช่วงฤดูหนาว สภาพท้องฟ้าโดยทั่วไปมีเมฆน้อย แต่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มิได้ขึ้นกับสภาพท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว หากยังขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก มุมดังกล่าวจะขึ้นกับละติจูดของตำแหน่งบนพื้นโลกและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ในเดือนมกราคมดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าประมาณ 20 องศา ทางซีกฟ้าใต้ ทำให้ค่ามุมตกกระทบรังสีดวงอาทิตย์ในบริเวณทางตอนเหนือของประเทศมีค่ามากกว่าทางตอนใต้ของประเทศ ทำให้ภาคเหนือได้รับรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่า โดยมีค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนในช่วง 15-18 MJ/ m^2-day แผ่เป็นบริเวณกว้างจนถึงภาคกลางตอนบน สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงกว่าภาคอื่น ๆ โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 18-19 MJ/ m^2-day แผ่เป็นบริเวณกว้าง สำหรับภาคใต้ตอนบนและบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกจะมีการกระจายของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 16-18 MJ/ m^2-day ทั้งนี้เนื่องจากด้านตะวันออกได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากกว่าด้านตะวันตก สำหรับภาคใต้ตอนล่างฝั่งตะวันตกจะมีบางพื้นที่ เช่น บริเวณภูเก็ต พังงา และกระบี่ มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ช่วง 18-20 MJ/ m^2-day

การกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนกุมภาพันธ์ รังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม โดยทางตอนเหนือสุดของประเทศมีค่าความเข้มประมาณ 17-19 MJ/ m^2-day ส่วนบริเวณทางตอนกลางของประเทศ ความเข้มสูงขึ้นโดยจะอยู่ในช่วง 20-22 MJ/ m^2-day บริเวณทางตอนใต้ของประเทศและภาคตะวันตกตอนใต้ซึ่งติดกับชายฝั่งมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ในช่วง 19-21 MJ/ m^2-day

การกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนมีนาคม ดวงอาทิตย์จะอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าและเป็นช่วงฤดูร้อน พื้นที่โดยทั่วไปจึงได้รับรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้น โดยทางตอนใต้และตะวันตกของประเทศมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20-22 MJ/ m^2-day ส่วนภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เป็นแถบกว้างซึ่งมีความเข้มอยู่ในช่วง 20-23 MJ/ m^2-day กระจายอยู่ทั่วบริเวณ และภาคเหนือมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์แปรค่าอยู่ในช่วง 18-22 MJ/ m^2-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนเมษายน มุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันจะตั้งฉากหรือเกือบตั้งฉากกับพื้นผิวโลกทั่วทั้งประเทศ เนื่องจากช่วงดังกล่าวอยู่ในช่วงฤดูแล้ง ท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใส ทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงทั่วทั้งประเทศ โดยกระจายอยู่ในช่วง 18-23 MJ/ m^2-day โดยเฉพาะทางภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ของประเทศ รังสีดวงอาทิตย์มีความเข้มสูงกระจายอยู่ระหว่าง 20-23 MJ/ m^2-day เนื่องจากเป็นบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรมากกว่าทางตอนเหนือของประเทศ บริเวณภาคเหนือยังคงมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงประมาณ 19-22 MJ/ m^2-day ในขณะที่ภาคตะวันออกจะมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ประมาณ 17-20 MJ/ m^2-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนพฤษภาคม ในเดือนพฤษภาคมทั่วทั้งประเทศเริ่มได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่งผลให้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมากและบางวันมีฝนตก ทำให้บริเวณทั่วทั้งประเทศมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจากเดือนเมษายน โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กระจายอยู่ในช่วง 16-21 MJ/ m^2-day ตลอดแนวเทือกเขาของภาคตะวันตกค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงอยู่โดยจะในช่วง 15-19 MJ/ m^2-day ส่วนภาคใต้ฝั่งตะวันตกของประเทศมีค่าอยู่ในช่วง 15-18 MJ/ m^2-day เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างมาก แต่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกยังคงมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 18-20 MJ/ m^2-day เพราะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้น้อย สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังคงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างน้อย ทำให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าสูงประมาณ 20-22 MJ/ m^2-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนมิถุนายน อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีผลต่อความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในบริเวณต่าง ๆ ของประเทศสูงขึ้น ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมและมีฝนตกมาก ทำให้ทั่วทั้งประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจากเดือนพฤษภาคม โดยค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศกระจายอยู่ในช่วง 15-21 MJ/ m^2-day สำหรับบริเวณเงาฝนในเขตภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศในจังหวัดสิงห์บุรี ร้อยเอ็ด มหาสารคาม สุรินทร์บุรีรัมย์ ศรีสะเกษและจังหวัดใกล้เคียงยังมีค่าความเข้มสูงอยู่ในช่วง 20-22 MJ/ m^2-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนกรกฎาคม โดยในเดือนนี้พื้นที่ทั่วประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีเมฆและฝนกระจายอยู่ทั่วประเทศซึ่งเป็นผลทำให้ค่ารังสีดวงอาทิตย์ลดลง กล่าวคือมีค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 14-20 MJ/ m^2-day โดยเฉพาะทางภาคเหนือตอนบน ภาคตะวันตกของประเทศซึ่งติดกับเทือกเขาตะนาวศรี และภาคใต้ฝั่งตะวันตกมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำประมาณ 14-17 MJ/ m^2-day โดยบริเวณความเข้มสูง 18-20 MJ/ m^2-day จะปรากฏเป็นหย่อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนสิงหาคม พื้นที่ทั่วประเทศยังคงอยู่ในอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลักษณะการกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศมีค่าลดลงจากเดือนกรกฎาคม โดยการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วทั้งประเทศอยู่ในช่วง 13-19MJ/ m^2-day แต่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศยังคงมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

สูงคือมีค่าอยู่ในช่วง 18-20 MJ/ m^2-day ส่วนทางภาคตะวันตกที่ติดกับเทือกเขาและภาคใต้ฝั่งภาคตะวันตกของประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทำให้มีค่าต่ำสุดในรอบปี โดยมีค่าประมาณ 13-16 MJ/ m^2-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนกันยายน ถึงแม้ว่าดวงอาทิตย์จะเคลื่อนตัวมาอยู่ที่ศูนย์สูตรท้องฟ้า แต่พื้นที่ทั่วประเทศยังถูกปกคลุมด้วยเมฆ อันเนื่องมาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้พื้นที่ทุกภาคของประเทศยังคงมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำ กล่าวคือส่วนใหญ่มีค่ากระจายอยู่ในช่วง 14-19 MJ/ m^2-day มีเพียงบริเวณพื้นที่เล็ก ๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในจังหวัดร้อยเอ็ด มหาสารคาม และกาฬสินธุ์ ซึ่งเป็นบริเวณเงาฝนที่แห้งแล้งมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 19-21 MJ/ m^2-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนตุลาคม โดยทั่วไปในช่วงเดือนตุลาคมประเทศไทยจะเริ่มได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ปริมาณฝนลดลงและท้องฟ้าแจ่มใส แต่เป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปอยู่ทางใต้ของเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า ทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าลดลงจากเดือนกันยายน แต่ด้วยสภาพท้องฟ้าที่แจ่มใสจึงทำให้การกระจายรังสีดวงอาทิตย์ของภาคและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 17-19 MJ/ m^2-day ส่วนบริเวณอื่น ๆ ของประเทศยังคงมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนไม่ต่างกับเดือนกันยายน ยกเว้นทางภาคเหนือตอนบน และภาคใต้ของประเทศที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนลดลงเป็น 14-17 MJ/ m^2-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนพฤศจิกายน พื้นที่ทั่วประเทศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออกจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างมาก ทำให้ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมมาก ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จึงมีค่าน้อยกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันออก ส่วนภาคเหนือก็ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ท้องฟ้าจะมีสภาพของฟ้าหลัว ซึ่งทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับมีค่าน้อยอยู่ในช่วง 13-17 MJ/ m^2-day สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์คล้ายคลึงกัน คือมีค่าอยู่ในช่วง 18-19 MJ/ m^2-day

การกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของเดือนธันวาคม ในเดือนนี้ดวงอาทิตย์เคลื่อนตัวไปอยู่ทางตอนใต้ของเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ามากที่สุด ทำให้รังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบมีค่าต่ำสุด ถึงแม้ว่าท้องฟ้าจะมีสภาพแจ่มใส แต่รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกบริเวณประเทศไทยยังคงมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจากเดือนพฤศจิกายนโดยเป็นผลมาจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ กล่าวคือทางตอนใต้ รังสีดวงอาทิตย์กระจายอยู่ในช่วง 12-16 MJ/ m^2-day ส่วนบริเวณอื่นของประเทศค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 17-19 MJ/ m^2-day

โดยทางภาคเหนือตอนบนของประเทศ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 13-16 MJ/ m^2-day (ภาพที่ 2-19)

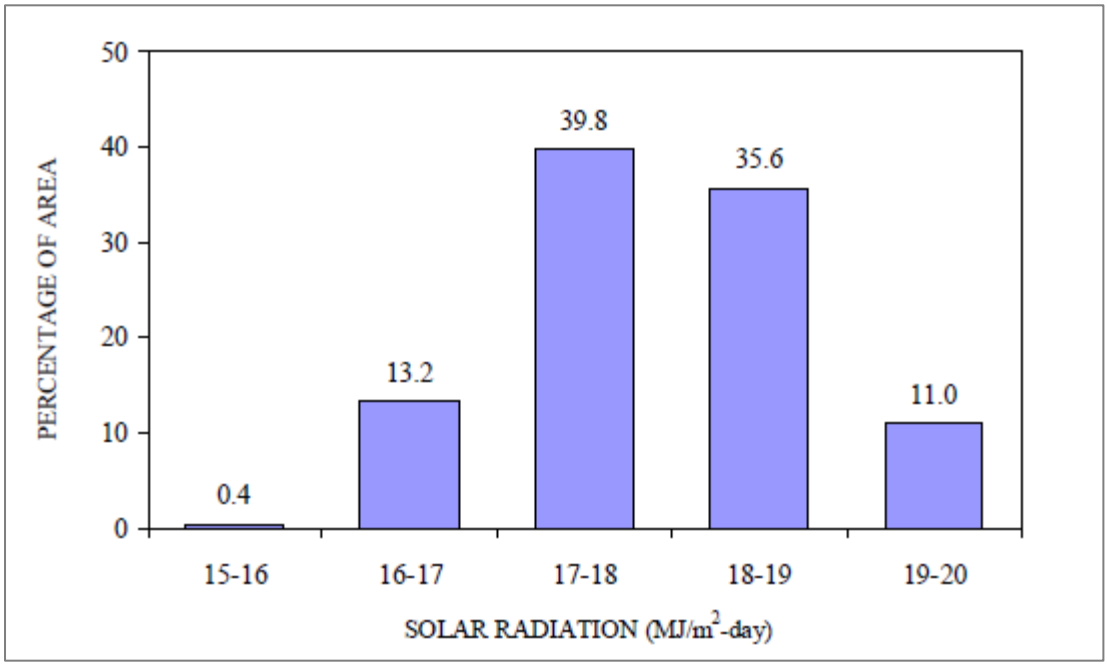
จากลักษณะของการกระจายตามพื้นที่ของรังสีดวงอาทิตย์รายเดือนจะเห็นว่าการกระจายตามพื้นที่ดังกล่าวได้รับอิทธิพลสำคัญมาจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ในกรณีของแผนที่รายปี (ภาพที่ 2-18) จะเห็นว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด (19-20 MJ/ m^2-day) จะอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ ขอนแก่น บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร และอุบลราชธานี เนื่องจากเป็นบริเวณที่ราบสูงค่อนข้างแห้งแล้งมีการก่อตัวของเมฆน้อย จึงทำให้รังสีดวงอาทิตย์มีค่าสูง นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ที่รับรังสีดวงอาทิตย์สูงอยู่ในบางส่วนของภาคกลางในบริเวณจังหวัดกำแพงเพชร พิจิตร ชัยนาท สิงห์บุรีอ่างทอง สุพรรณบุรี และกาญจนบุรี ทั้งนี้เพราะบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ราบลุ่ม ซึ่งมีการก่อตัวของเมฆน้อยกว่าบริเวณอื่น สำหรับภาคเหนือ ด้านตะวันตกของภาคกลาง และภาคใต้ รอยต่อระหว่างภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออกจะได้รับรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เพราะบริเวณดังกล่าวเป็นภูเขา และป่าไม้ ซึ่งมีการก่อตัวของเมฆและฝนมากกว่าบริเวณพื้นราบ รังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่ดังกล่าวจึงมีค่าต่ำ กรณีของภาคใต้จะมีทั้งบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงและต่ำกระจายกันอยู่ ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของลมมรสุมและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของแต่ละพื้นที่ อย่างไรก็ตามเมื่อเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทุกพื้นที่ตลอดทั้งปี พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.0 MJ/ m^2-day ซึ่งถือว่ามีค่าค่อนข้างสูง

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย จากข้อมูลแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สามารถบอกได้ในรูปของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบในบริเวณนั้น ๆ ในรูปของค่าเฉลี่ยระยะยาว ซึ่งสามารถแสดงในรูปแผนที่รายเดือน และรายปี เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจน ผู้ดำเนินโครงการได้นำค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองในทุกพิกเซลมาทำการเขียนกราฟแจกแจงความถี่ ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 2-21 จากกราฟจะเห็นว่า 39.8% ของพื้นที่ในประเทศไทย มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีอยู่ในช่วง 17-18MJ/ m^2-day และ 35.6% ของพื้นที่ทั้งหมดจะได้รับรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 18-19 MJ/ m^2-day ส่วนบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานค่อนข้างต่ำในช่วง 15-16 MJ/ m^2-day มีเพียงประมาณ 0.4% ของพื้นที่ทั้งหมด เมื่อทำการเฉลี่ยค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศไทยจากทุกพื้นที่เป็นค่ารายวันเฉลี่ยต่อปีจะได้เท่ากับ 18.0 MJ/ m^2-day เมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากประเทศอื่น ๆ ดังภาพที่ 2-20 และภาพที่ 2-22 จะเห็นว่าประเทศไทยมีค่าศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

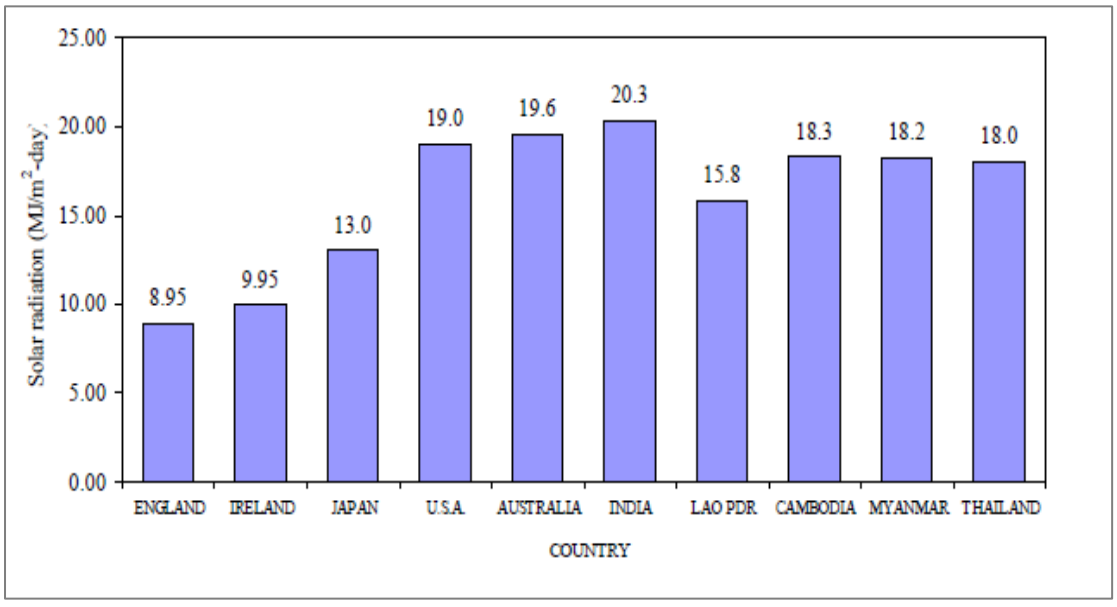
ตารางที่ 1-1 แสดงผลการเปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากแผนที่ฯ กับค่าที่ได้จากสถานีวัด

สถานี	จังหวัด	H (map) MJ/m^2	H (measurement) MJ/m^2	Difference (%)
1	กรุงเทพมหานคร	17.9	17.5	2.2
2	กาญจนบุรี (กรมอุตุนิยมวิทยา)	18.0	18.4	2.0
3	กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ)	17.1	17.3	0.8
4	ขอนแก่น	17.9	18.5	3.0
5	ชลบุรี	17.3	17.9	3.2
6	ชุมพร	17.5	17.5	0.1
7	เชียงราย	17.0	17.1	0.6
8	เชียงใหม่	17.2	18.0	4.8
9	ดอยอินทนนท์ (แม่กลาง)	17.0	16.8	0.8
10	ดอยอินทนนท์ (เรดาร์)	17.0	16.1	5.3
11	ดอยอินทนนท์ (สำนักงาน)	17.0	15.4	9.1
12	ตรัง	16.9	17.9	5.8
13	ตราด	17.2	17.1	0.3
14	ตาก	16.7	16.5	1.3
15	นครพนม	17.4	17.4	0.5
16	นครราชสีมา	18.1	18.1	0.1
17	นครสวรรค์	18.3	17.9	2.2
18	นราธิวาส	18.8	18.6	1.0
19	น่าน	17.2	17.3	0.3
20	ประจวบคีรีขันธ์	18.7	18.5	1.1
21	ปราจีนบุรี	17.9	17.6	1.7
22	พิษณุโลก	17.9	18.2	1.8
23	เพชรบูรณ์	17.6	17.8	1.1
24	แพร่	17.1	17.6	2.9
25	ภูเก็ต	17.9	19.1	6.7
26	แม่ฮ่องสอน	16.8	16.8	0.0
27	แม่ฮ่องสอน	17.0	16.3	4.5
28	ร้อยเอ็ด	18.1	18.9	4.3
29	ระนอง	15.8	16.0	1.0
30	ลพบุรี	17.9	18.4	2.7
31	เลย	17.1	16.8	1.6
32	สงขลา	17.1	17.7	3.3
33	สระแก้ว	18.2	16.8	7.5
34	สุราษฎร์ธานี (เกาะสมุย)	18.2	18.7	2.8

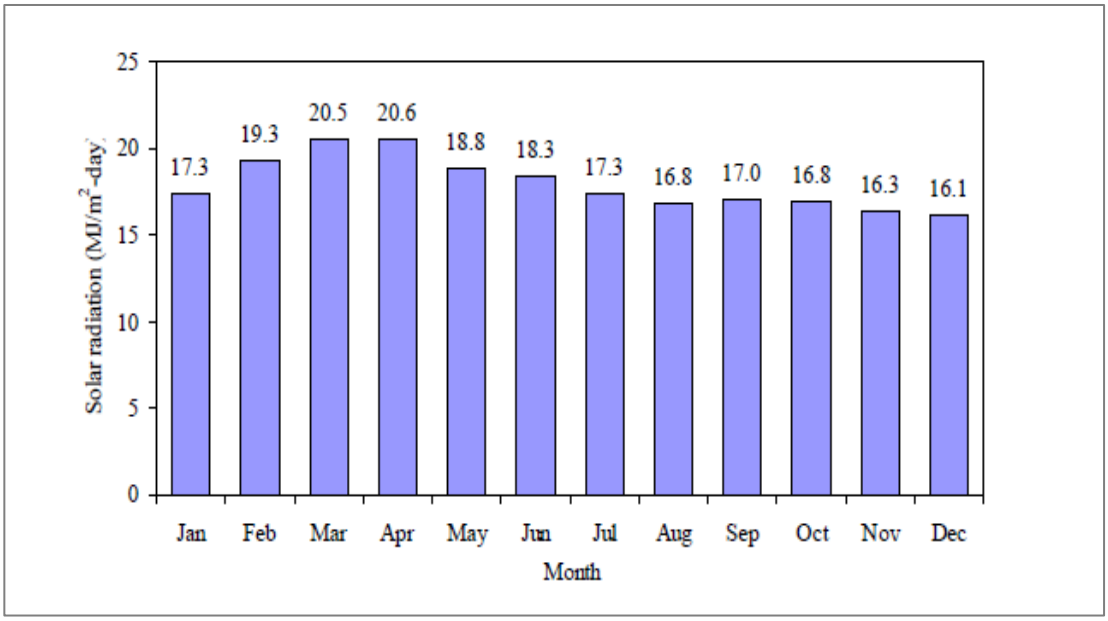
ภาพที่ 2-20 เปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)



ภาพที่ 2-21 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ที่ระดับต่าง ๆ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542)



ภาพที่ 2-22 การเปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีที่ประเทศต่าง ๆ ได้รับ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542)



ภาพที่ 2-23 การแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542)

จะเห็นว่าปริมาณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้ที่ที่คำนวณได้จะแปรค่าในรอบปีอยู่ในช่วงระหว่าง 16-21 MJ/ m^2-day โดยมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมและสูงสุดในเดือนเมษายน แล้วค่อย ๆ ลดลงต่ำอีกครั้งในเดือนสิงหาคมและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอีกครั้งในเดือนกันยายนแล้วจึงลดลงต่ำสุดในเดือนธันวาคม จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าระดับของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทยมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นผลดีต่อการประยุกต์ใช้ด้านพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับติดตั้งบนหลังคาบ้าน

ดุสิต เครืองาม (ม.ป.ป.) กล่าวถึงการกำหนดกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ควรติดตั้งก่อนจัดหาซื้อเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน ผู้ใช้ควรพิจารณาว่าจะใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าใดบ้าง ทั้งนี้เพื่อจะได้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้เพียงพอกับความต้องการและไม่ติดตั้งมากจนเกินความจำเป็นซึ่งจะทำให้ระบบมีราคาแพงโดยไม่จำเป็น โดยใช้สูตรการคำนวณต่อไปนี้

$$Pcel = \frac{PL}{Q \times A \times B \times C / D}$$

โดยที่ PL แทน ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน

Q แทน พลังงานแสงอาทิตย์ในหนึ่งวัน (Wh/ m^2) สำหรับประเทศไทยเท่ากับ 4,000 Wh/ m^2 โดยประมาณ

A แทน ค่าชดเชยการสูญเสียของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.8

B แทน ค่าชดเชยการสูญเสียเชิงความร้อนโดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.85

C แทน ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.85-0.9

D แทน ความเข้มแสงโดยปกติความเข้มแสงประมาณ 1,000 W/ m^2

เมื่อทราบกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะต้องติดตั้งแล้วขั้นตอนต่อไปคือจะต้องคำนวณว่าจะต้องใช้เซลล์แสงอาทิตย์กี่แผงจำนวนแผงของเซลล์แสงอาทิตย์คำนวณได้โดยใช้กำลังไฟฟ้าของระบบหารด้วยกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผงผลิตได้

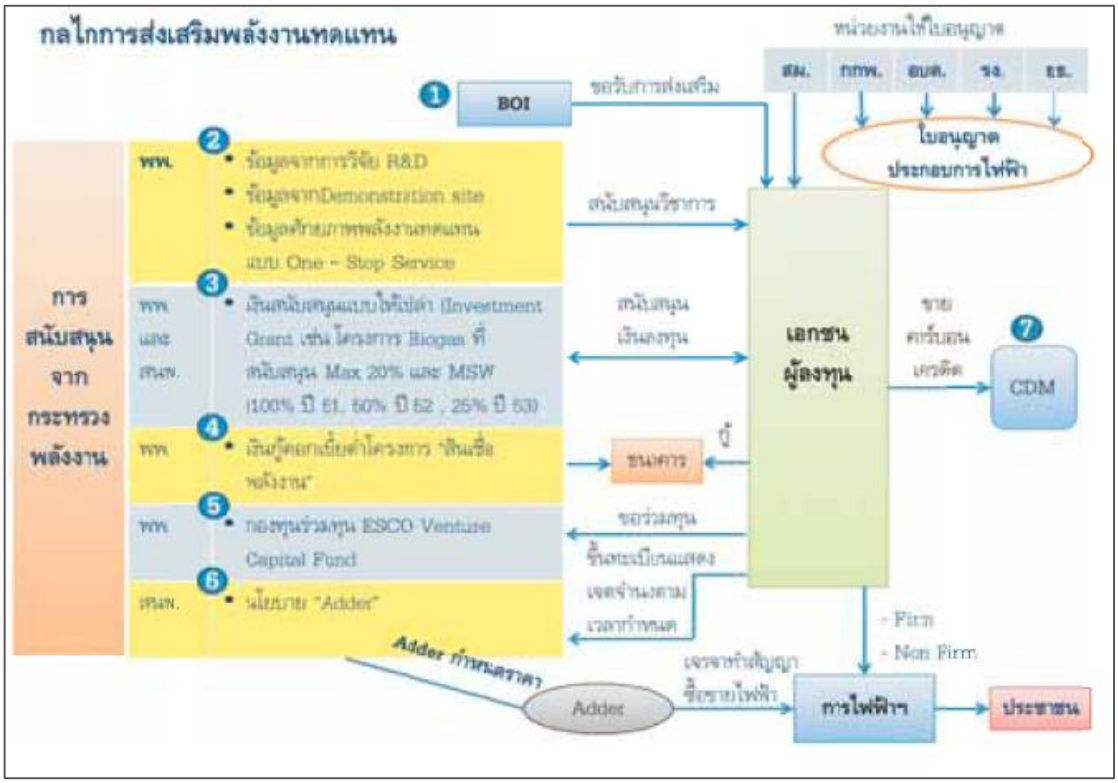
การบำรุงรักษาเซลล์แสงอาทิตย์และอายุการใช้งาน

อายุการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปยาวนานกว่า 20 ปี และบริษัทผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์รับประกันในระยะเวลาที่นานหลายปี ดังนั้น ผู้ใช้จึงไม่จำเป็นต้องกังวลเกี่ยวกับอายุการใช้งานการบำรุงรักษาก็ง่ายเพียงแต่คอยดูแลว่ามีสิ่งสกปรกตกค้างบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือไม่เช่นฝุ่นมูลนกใบไม้ ถ้าพบว่ามีสิ่งสกปรกก็ใช้น้ำล้างทำความสะอาดบ้างเป็นครั้งคราว เช่น ปีละ 1-2 ครั้ง ก็เพียงพอ ห้ามใช้น้ำยาพิเศษล้างหรือใช้กระดาษทรายขัดผิวกระจกโดยเด็ดขาด เมื่อฝนตก น้ำฝนจะช่วยชำระล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตามธรรมชาติ ในบางครั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบไม่ดี เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ความชื้นจากอากาศอาจซึมเข้าสู่ภายในแผง และจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีสีเหลืองน้ำตาลซึ่งเป็นสีที่แสดงว่าแผ่นโพลิเมอร์ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์เสื่อมคุณภาพลง หรือบางครั้งอาจพบว่าฉนวนอิปอกซีซึ่งถูกอัดอยู่ที่ขอบของแผงมีน้ำขังหรือเปราะ

การสนับสนุนโครงการจากภาครัฐบาลในประเทศไทย

เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพทางพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ อีกทั้งอายุการใช้งานที่ยาวนานถึง 20 ปี รวมถึงวิธีการบำรุงรักษาเซลล์แสงอาทิตย์ก็ไม่ได้ยุ่งยาก ทางรัฐบาลยังมีนโยบายส่งเสริมพลังงานทดแทนดังนี้

1. มาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Adder cost) รูปที่ 2-25 เป็นการให้เงินสนับสนุนการผลิตต่อหน่วยการผลิต เป็นการกำหนดราคารับซื้อในอัตราพิเศษหรือเฉพาะสำหรับไฟฟ้าที่มาจากพลังงานหมุนเวียน เพื่อนสะท้อนต้นทุนการผลิตจากพลังงานหมุนเวียน ภายในระยะเวลารับซื้อไฟฟ้าที่ชัดเจนและแน่นอน ซึ่งเป็นการจูงใจให้เกิดการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น โดยมีกลไกตามรูปที่ 2-24



ภาพที่ 2-24 กลไกการส่งเสริมพลังงานทดแทน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

เชื้อเพลิง	ส่วนเพิ่ม (บาท/kwh)	ส่วนเพิ่มพิเศษ (บาท/kwh)[1]	ส่วนเพิ่มพิเศษใน 3 จว.ภาคใต้ (บาท/kwh)[2]	ระยะเวลาสนับสนุน (ปี)
❑ ชีวมวล				
- กำลังผลิตติดตั้ง <= 1 MW	0.50	1.00	1.00	7
- กำลังผลิตติดตั้ง >1 MW	0.30	1.00	1.00	7
❑ ก๊าซชีวภาพ (ทุกประเภทแหล่งผลิต)				
- กำลังผลิตติดตั้ง <= 1 MW	0.50	1.00	1.00	7
- กำลังผลิตติดตั้ง >1 MW	0.30	1.00	1.00	7
❑ ขยะ (ขยะชุมชนขยะอุตสาหกรรมไม่อันตรายและไม่เป็นขยะอินทรีย์วัตถุ)				
- ระบบหมักหรือหลุมฝังกลบขยะ	2.50	1.00	1.00	7
- พลังงานความร้อน (Thermal Process)	3.50	1.00	1.00	7
❑ พลังงานลม				
- กำลังผลิตติดตั้ง <= 50 kw	4.50	1.50	1.50	10
- กำลังผลิตติดตั้ง > 50 kw	3.50	1.50	1.50	10
❑ พลังงานแสงอาทิตย์	**8.00/6.50[3]**	**1.50**	**1.50**	**10**
❑ พลังน้ำขนาดเล็ก				
- กำลังผลิตติดตั้ง50kw -<200 kw	0.80	1.00	1.00	7
- กำลังการผลิตติดตั้ง<50 kw	1.50	1.00	1.00	7

หมายเหตุ 1. สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่มีการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล

2. กพช. เห็นชอบให้เพิ่มพื้นที่อีก 4 อำเภอคือ อ.จะนะ อ.เทพา อ.สะบ้าย้อย และอ.นาทวี จังหวัดสงขลา เมื่อ 25 พ.ย. 53

3. ผู้ที่ยื่นขอเสนอขายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับหนังสือตอบรับแล้วก่อนวันที่ 28 มิ.ย.53 จะได้ Adder 8 บาท และผู้ที่ได้รับหนังสือตอบรับหลัง วันที่ 28 มิ.ย. 53 จะได้ Adder 6.50 บาท

ภาพที่ 2-25 มาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Adder)
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

2. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนโครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนขึ้นมาเพื่อเป็นแหล่งเงินทุนในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนให้แก่โรงงาน อาคาร และบริษัทจัดการพลังงาน โดยผ่านทางสถาบันการเงิน ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นให้เกิดการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน รวมทั้งสร้างความมั่นใจและความคุ้นเคยให้กับสถาบันการเงินที่เสนอตัวเข้าร่วมโครงการในการปล่อยสินเชื่อในโครงการดังกล่าวในการปล่อยสินเชื่อโดยใช้เงินกองทุน ฯ ให้แก่ โรงงาน อาคารและบริษัทจัดการพลังงานแล้วกองทุน ฯ ยังต้องการให้เน้นการมีส่วนร่วมในการสมทบเงินจากสถาบันการเงินเพิ่มมากขึ้นด้วยโดยตั้งแต่เริ่มโครงการ จนถึง ณ ปัจจุบันได้มีการดำเนินการเสร็จสิ้นไปแล้วและอยู่ระหว่างดำเนินการทั้งหมด จำนวน 6 โครงการ ดังนี้

2.1 โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยสถาบันการเงิน ระยะที่ 1 จำนวน 1,000 ล้านบาท เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

2.2 โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยสถาบันการเงิน ระยะที่ 2 จำนวน 2,000 ล้านบาท เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

2.3 โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนโดยสถาบันการเงิน ระยะที่ 1 จำนวน 1,000 ล้านบาท เพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน

2.4 โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานโดยสถาบันการเงิน ระยะที่ 3 จำนวน 1,000 ล้านบาท เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

2.5 โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยสถาบันการเงิน ระยะที่ 3 เพิ่มเติม จำนวน 942.5 ล้านบาท เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

2.6 โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานโดยสถาบันการเงิน ระยะที่ 4 จำนวน 400 ล้านบาท เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

ลักษณะโครงการ/ หลักเกณฑ์ และเงื่อนไขกำหนดให้สถาบันการเงินนำเงินที่ พพ. จัดสรรให้ไปเป็นเงินกู้ผ่านต่อให้โรงงาน/ อาคารควบคุมหรือโรงงาน/ อาคารทั่วไป ตลอดจนบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) นำไปลงทุนเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน โดยมีหลักเกณฑ์และเงื่อนไขดังภาพที่ 2-26

วงเงินโครงการ	1. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน ระยะที่ 1 จำนวน 1,000 ล้านบาท 2. โครงการเงินหมุนเวียนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 3 จำนวน 1,000 ล้านบาท
อายุเงินกู้	ไม่เกิน 7 ปี
ช่องทางปล่อยกู้	ผ่านสถาบันการเงินที่เข้าร่วมโครงการโดยต้องรับผิดชอบเงินที่ปล่อยกู้ทั้งหมด
ผู้มีสิทธิ์กู้	เป็นอาคารควบคุมและโรงงานควบคุมตาม พรบ.ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ประสงค์จะลงทุนในด้านการประหยัดพลังงานหรือโรงงาน/อาคารทั่วไป ตลอดจนบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO) นำไปลงทุนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
วงเงินกู้	ไม่เกิน 50 ล้านบาทต่อโครงการ
อัตราดอกเบี้ย	ไม่เกินร้อยละ 4 ต่อปี (ระหว่างสถาบันการเงินกับผู้กู้)
โครงการที่มีสิทธิ์ขอรับการสนับสนุนต้องเป็น	โครงการอนุรักษ์พลังงานหรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 มาตรา 7 และมาตรา 17

ภาพที่ 2-26 หลักเกณฑ์และเงื่อนไขให้ปล่อยเงินกู้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555)

3. โครงการส่งเสริมการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน (ESCO FUND) เป็นโครงการที่กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้นำวงเงินจำนวน 500 ล้านบาท จัดตั้ง “กองทุนร่วมทุนพลังงาน หรือ ESCO Capital fund” ผ่านการจัดการของผู้จัดการกองทุน (Fund manager) 2 แห่ง ได้แก่ มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (มพส. หรือ E for E) และมูลนิธิอนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย (มอพท.) โดยปัจจุบัน Fund manage ทั้ง 2 แห่ง เข้าร่วมลงทุนแล้วจำนวน 26 โครงการ คิดเป็นเงินสนับสนุนจำนวน 407 ล้านบาท และก่อให้เกิดการลงทุนมากกว่า 5,000 ล้านบาท ในรอบ 2 ปีที่ผ่านมา และในระยะต่อไปคณะกรรมการกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้อนุมัติวงเงินต่อเนื่องอีก 500 ล้านบาท สำหรับรอบการลงทุนในปี 2553-2555 เพื่อส่งเสริมการลงทุนด้านการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพทางเทคนิค แต่ยังขาดปัจจัยการลงทุนและช่วยผู้ประกอบการหรือผู้ลงทุนให้ได้

ประโยชน์จากการขายคาร์บอนเครดิตโดยมีรูปแบบการจะส่งเสริมในหลายลักษณะ อาทิเช่น ร่วมลงทุนในโครงการ (Equity investment), ร่วมลงทุนในบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO Venture capital), ร่วมลงทุนในการพัฒนาและซื้อขายคาร์บอนเครดิต (Carbon market), การเช่าซื้ออุปกรณ์ (Equipment leasing), การอำนวยเครดิตให้สินเชื่อ (Credit guarantee facility) และการให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิค (Technical assistance)

ผู้มีสิทธิยื่นข้อเสนอได้แก่ ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรม และ/ หรือ บริษัทจัดการพลังงาน (Energy service company: ESCO) ที่มีโครงการด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน วัตถุประสงค์เพื่อจะลดปริมาณการใช้พลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน หรือต้องการปรับปรับเปลี่ยนการใช้เชื้อเพลิงมาเป็นพลังงานทดแทน

ลักษณะการส่งเสริมการลงทุน

3.1 การเข้าร่วมทุนในโครงการ (Equity investment) โครงการส่งเสริมการลงทุน ฯ จะเข้าร่วมลงทุนในโครงการที่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานหรือพลังงานทดแทนเท่านั้น เพื่อก่อให้เกิดผลประหยัดพลังงานทั้งนี้จะต้องมีการแบ่งผลประหยัดพลังงาน (Shared saving) ตามสัดส่วนเงินลงทุนที่ได้รับการส่งเสริมระยะเวลาในการส่งเสริมประมาณ 5-7 ปี ผู้ที่ได้รับการส่งเสริมทำการคืนเงินลงทุนแก่โครงการภายในระยะเวลาที่ส่งเสริม

3.2 การเข้าร่วมทุนกับบริษัทจัดการพลังงาน (ESCO Venture capital) การเข้าร่วมทุนกับบริษัทจัดการพลังงาน โดยช่วยให้บริษัทที่ได้รับพิจารณาร่วมทุนนั้น มีทุนในการประกอบการโดยโครงการจะได้รับผลตอบแทนขึ้นอยู่กับผลประกอบการของบริษัท ทั้งนี้โครงการจะร่วมหุ้นไม่เกินร้อยละ 30 ของทุนจดทะเบียนและมีส่วนในการควบคุมดูแลการบริหารจัดการของบริษัท

3.3 การช่วยให้โครงการอนุรักษ์พลังงาน/ พลังงานทดแทนได้รับผลประโยชน์จากการขาย Carbon credit market (CDM)

3.4 โครงการส่งเสริมการลงทุน ฯ จะดำเนินการจัดทำแบบประเมินเบื้องต้นของโครงการ หรือ Project idea note (PIN) ซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการสามารถเห็นภาพรวมของโครงการที่จะพัฒนาให้เกิดการซื้อขายหรือได้รับประโยชน์จาก Carbon credit หรือ เป็นตัวกลางในการรับซื้อ Carbon credit จากโครงการอนุรักษ์พลังงาน/ พลังงานทดแทนที่มีขนาดเล็ก และรวบรวม (Bundle up) เพื่อนำไปขายในมูลค่าที่สูงขึ้น

3.5 การเช่าซื้ออุปกรณ์ประหยัดพลังงาน/ พลังงานทดแทน (Equipment leasing)

3.6 โครงการส่งเสริมการลงทุน ฯ จะทำการซื้ออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนให้กับผู้ประกอบการก่อนและทำ สัญญาเช่าซื้อระยะยาวระหว่างผู้ประกอบการกับโครงการโดยผู้ประกอบการจะต้องทำการผ่อนชำระคืนเงินต้นพร้อมดอกเบี้ยเป็นรายงวด งวดละเท่า ๆ กันตลอดอายุสัญญาเช่าซื้อ การสนับสนุนในการเช่าซื้ออุปกรณ์ได้ 100% ของราคาอุปกรณ์นั้น แต่ไม่เกิน 10 ล้านบาท ระยะเวลาการผ่อนชำระคืน 3-5 ปี โดยคิดอัตราดอกเบี้ยต่ำ

3.7 การอำนวยเครดิตให้สินเชื่อ (Credit guarantee facility) โครงการส่งเสริมการลงทุน ฯ จะดำเนินการจัดหาสถาบันหรือองค์กรที่ให้การสนับสนุนในเรื่อง Credit guarantee

เพื่อให้โครงการลงทุนได้รับการปล่อยสินเชื่อจากธนาคารพาณิชย์ทั้งนี้โครงการอาจจะเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในเรื่องค่าธรรมเนียมรับประกันสินเชื่อทั้งหมดหรือบางส่วนโดยคิดค่าธรรมเนียมต่ำในการส่งเสริมในด้านนี้

3.8 การช่วยเหลือทางเทคนิค (Technical assistance) โครงการส่งเสริมการลงทุน ฯ จะให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคในการอนุรักษ์พลังงานและพลังงานแก่ผู้ประกอบการหรือหน่วยงานองค์การต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ประกอบการโดยกองทุนจะให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิคตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดระยะเวลาโครงการโดยคิดค่าธรรมเนียมต่ำในการส่งเสริมหรือ อาจมีการแบ่งผลการประหยัดพลังงาน

4. กลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) มาจาก Clean development mechanism เป็นกลไกที่จะสนับสนุนการพัฒนาโครงการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสามารถนำปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้จากโครงการ ไปขายให้กับประเทศที่พัฒนา เพื่อตอบสนองข้อผูกพันในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามเป้าหมายที่ได้ตกลงในพิธีสารเกียวโต (Kyoto protocol) และได้มีการให้สัตยาบัณต่ออนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nation Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) เพื่อเป็นการส่งเสริมการลงทุนเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนและเกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับประเทศที่กำลังพัฒนา

กลไกการพัฒนาที่สะอาดเปรียบเสมือนแรงจูงใจให้ประเทศกำลังพัฒนาหันมาใช้เทคโนโลยีสะอาดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศลดน้อยลง แรงจูงใจจากการดำเนินโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดคือ คาร์บอนเครดิตหรือ CER ผู้ดำเนินโครงการจะดั้บการสนับสนุนทางการเงินจากประเทศที่มีพันธกรณีในการลดก๊าซเรือนกระจก นอกจากนี้ประเทศเจ้าของโครงการก็จะเกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน ทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศในด้านสิ่งแวดล้อม มีการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมระดับชุมชน

5. โครงการส่งเสริมการลงทุน โดยสำนักคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ภาครัฐได้ยกระดับให้อุตสาหกรรมพลังงานทดแทน เป็นกิจการที่มีระดับความสำคัญสูงสุดและจะได้รับการส่งเสริมการลงทุนในระดับสูงสุดเช่นกัน จึงมีมาตรการส่งเสริมการลงทุนเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน BOI จึงได้กำหนดสิทธิประโยชน์ที่ยกเว้นอากรขาเข้าสำหรับเครื่องจักร ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลเป็นเวลา 8 ปี และหลังจากนั้นอีก 5 ปี หรือตั้งแต่ปีที่ 9-13 จะลดหย่อนภาษีเงินได้นิติบุคคลได้ 50% รวมทั้งมาตราการจูงใจด้านภาษี อาทิการลดภาษีเครื่องจักร อุปกรณ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ รวมทั้งการอนุญาตให้นำต้นทุนในการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ เช่น ไฟฟ้า ประปา ขอหักลบภาษีได้สูงสุด 2 เท่าสำหรับโครงการที่เป็นประโยชน์ต่อสาธารณะ เป็นต้น

หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการ

ใช้ทฤษฎีด้านการศึกษาความเป็นไปได้ในวิธีต่าง ๆ และเพื่อเป็นเครื่องมือที่สามารถบ่งชี้ว่าโครงการนี้มีเหมาะสมต่อการลงทุนหรือไม่ ซึ่งประกอบด้วยดังนี้

1. การวิเคราะห์ด้านเทคนิค (Technical analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาความเหมาะสมทางเทคนิคของโครงการ ซึ่งต้องพิจารณาถึงเป้าหมายของโครงการโดยมีต้นทุนที่ต่ำที่สุด และรูปแบบที่เลือกนี้ควรมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมเช่นกันที่สามารถทาให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด รูปแบบของโครงการต้องมีความยืดหยุ่นเพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนตามสถานการณ์ในปัจจุบันได้ และไม่ควรก่อให้เกิดผลในทางลบต่อสิ่งแวดล้อม

2. การวิเคราะห์ทางด้านสังคม (Social analysis) เป็นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสิ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากโครงการต่อสิ่งแวดล้อมของมนุษย์ในรูปขององค์กรทางสังคมและมีมาตรฐานของการครองชีพ รวมทั้งการเข้าใจกระบวนการทางสังคมที่สัมพันธ์กันด้วย ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกสังคมต้องให้ความร่วมมือกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อเป็นประโยชน์ต่อคุณภาพชีวิตของทุกคน

3. การวิเคราะห์ทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environment analysis) เป็นการพิจารณาถึงผลกระทบในการปล่อยของเสียจากการทำโครงการ

4. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic analysis) เป็นการช่วยให้การพิจารณาตัดสินใจจะรับหรือปฏิเสธโครงการเพื่อการลงทุนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีการบ่งชี้ถึงความสมเหตุสมผลและความคุ้มค่าในการลงทุนนั้น ๆ

เทคนิคการวิเคราะห์ทางการเงินของโครงการ

อภิชาติ พงศ์สุพัฒน์ (2551) กล่าวถึงเทคนิคในการประเมินโครงการเพื่อจัดอันดับโครงการและตัดสินใจว่าจะยอมรับโครงการหรือไม่ มีเทคนิคต่อไปนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการ คือ ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับและกระแสเงินสดจ่าย โดยนำกระเงินสดรับและกระแสเงินสดจ่ายมาคิดลดด้วยอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (Requiredrate of return) ซึ่งหมายถึงต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน (Marginal cost of capital) โดยคำนวนได้จากสูตร

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+k)^1} + \ldots + \frac{CF_n}{(1+k)^n}$$

กำหนดให้

CF_n = กระแสเงินสด ณ ปีที่ n

n = ระยะเวลาสิ้นสุดโครงการ

k = ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน

โดยที่เกณฑ์การยอมรับสำหรับวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPVAcceptance criterion) กิจการจะยอมรับโครงการลงทุนเมื่อ NPV มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และจะปฏิเสธโครงการเมื่อมีค่าน้อยกว่า 0

2. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return) หรือเรียกว่าอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง (IRR) ของโครงการ เท่ากับอัตราคิดลด (Discount rate, r) ซึ่งหมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดของโครงการเท่ากับศูนย์ ดังนั้น อัตราคิดลดซึ่งทำให้ NPV เท่ากับศูนย์ คือจุดตัดกับแกนนอน (Horizontal axis) สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$NPV = 0 = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+k)^1} + \ldots + \frac{CF_n}{(1+k)^n}$$

โดยที่เกณฑ์การยอมรับสำหรับวิธีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR Acceptance criterion) แบ่งได้ดังนี้

โครงการปกติ (Conventional project) จะได้รับการยอมรับถ้าอัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าหรือเท่ากับต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน และจะถูกปฏิเสธเมื่ออัตราผลตอบแทนภายในน้อยกว่าต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน

โครงการกู้ยืมเงิน (Loan project) จะได้รับการยอมรับถ้าอัตราผลตอบแทนภายใน (ต้นทุนที่แท้จริง) น้อยกว่าหรือเท่ากับต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน และจะถูกปฏิเสธเมื่ออัตราผลตอบแทนภายใน (ต้นทุนที่แท้จริง) มากกว่าหรือเท่ากับต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน

กล่าวโดยสรุป

IRR > r คุ้มค่าแก่การลงทุนและยอมรับข้อเสนอโครงการ

IRR < r ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุนและไม่ยอมรับข้อเสนอโครงการ

IRR = r เสมอตัว

3. ระยะคืนทุน (Payback period) ระยะเวลาคืนทุน (PB) คือ จำนวนปีที่กิจการจะได้รับเงินที่ลงทุนเริ่มแรกของโครงการกลับคืนมา กล่าวอีกนัยหนึ่งคือระยะเวลาที่กระแสเงินสดสะสม (Cumulative cash flows) ของโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยคำนวณจากสูตรต่อไปนี้

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก/ ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี

โดยทั่วไปแล้วระยะเวลาคืนทุนใช้เพื่อประกอบการตัดสินใจเพื่อชี้ให้เห็นสภาพคล่องของโครงการเท่านั้นเท่านั้น เพราะไม่ได้มีการคำนึงถึงมูลค่าของเงินตามระยะเวลา ระหว่างระยะเวลาคืนทุน กระแสเงินสดที่ได้รับเข้ามาในช่วงต้น และกระแสเงินสดที่ได้รับในช่วงหลัง ดังนั้นโครงการที่ให้ผลประโยชน์คืนเร็วในระยะเวลาอันสั้นก็น่าจะพิจารณามากกว่า เนื่องจากลดความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงด้านต่าง ๆ ในแง่ของเวลา เช่น นโยบายทางการเมือง สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ เทคโนโลยีที่มีการปรับเปลี่ยนได้ตลอดเวลา

4. ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted payback period) วิธีนี้จะเหมือนกันกับระยะเวลาคืนทุนแบบไม่ปรับค่าเวลา ยกเว้นจะนำกระแสเงินสดมาคิดลดเป็นมูลค่าปัจจุบัน ณ ปีศูนย์ โดยใช้ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุนเป็นอัตราคิดลด

5. อัตราผลตอบแทนทางบัญชี (Account rate of return) หรือที่มักเรียกกันว่า ผลตอบแทนเฉลี่ยของมูลค่าตามบัญชี (Average return of book value) หาได้โดยนำกำไรหลังภาษีถัวเฉลี่ยมาหารด้วยมูลค่าตามบัญชีถัวเฉลี่ย

6. อัตราผลตอบแทนภายในที่ปรับอัตราผลตอบแทน (Modified IRR) คือ อัตราคิดลดซึ่งทำให้ค่าสัมบูรณ์ ของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของมูลค่าปลายทางของกระแสเงินสดรับ มูลค่าปลายทาง (Terminal value) คือ มูลค่าอนาคตเมื่อสิ้นสุดโครงการของกระแสเงินสดรับ โดยคิดดอกเบี้ยทบต้น ด้วยต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน

7. ดัชนีกำไร (Profitability index) คืออัตราของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับของโครงการหารด้วยค่าสัมบูรณ์ของมูลปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity analysis)

สุมาลี อุณหะนันทน์ (2552) ได้กล่าวไว้ว่าในการวิเคราะห์ความไวของโครงการว่า คือ การประเมินค่าการลงทุนโดยวิธีต่าง ๆ เช่น NPV หรือ IRR ค่า NPV และ IRR ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ผู้รับผิดชอบโครงการประมาณการขึ้นทั้งเงินทุนเริ่มแรก อายุโครงการ และที่สำคัญก็คือ กระแสเงินสดรายปีตลอดอายุโครงการ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ มากมาย เช่น ปริมาณขาย ราคาขายต่อหน่วย ต้นทุนแปรได้ต่อหน่วย ราคาวัตถุดิบต่อหน่วย เป็นต้น ถ้าปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เปลี่ยนแปลงไป NPV หรือ IRR ของโครงการจะเปลี่ยนแปลงเช่นกัน ซึ่งอาจมีผลต่อการตัดสินใจการลงทุนได้ ข้อมูลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ประมาณการขึ้นโดยคาดว่าควรจะเป็นข้อมูลที่น่าจะเกิดขึ้นกับโครงการมากที่สุด ข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงในอนาคตอาจไม่เป็นไปตามประมาณการไว้ จึงทำให้ต้องวิเคราะห์

ความไม่แน่นอนของข้อมูลดังกล่าวเพื่อประเมินความเสี่ยงของโครงการที่ต้องการวิเคราะห์อย่างละเอียด

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่สำคัญทีละตัว โดยให้ตัวแปรอื่น ๆ คงที่ และดูการเปลี่ยนแปลงของ NPV และนำข้อมูลที่ได้มารวบรวมเพื่อวิเคราะห์โครงการต่อไป

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิชยดา จิรวรรยวงศ์ (2556) ได้ทำการศึกษาต้นทุนในการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในบ้านที่อยู่อาศัย โดยทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน ความเป็นไปได้ของโครงการ กรณีศึกษาคือบ้านเดี่ยวที่มีพื้นที่ใช้สอย 125 ตารางเมตร แบ่งการศึกษาเป็น 2 กรณี คือ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มพื้นที่หลังคา กับกรณีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอดีความต้องการใช้ภายในบ้าน ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินพบว่าอัตราดอกเบี้ย 5% และค่าไฟเพิ่มขึ้นปีละ 3% พบว่า เป็นทางเลือกที่มีค่าติดลบน้อยที่สุด ผลสรุปคือโครงการไม่คุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูงในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุก ๆ 5 ปี โดยต้นทุนด้านแบตเตอรี่เป็นร้อยละ 44 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด แต่ถ้าหากต้นทุนและรายได้ของโครงการมีการเปลี่ยนแปลงตามการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ คือมีการสนับสนุนในค่าอุปกรณ์การติดตั้ง 50% และค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นปีละ 10% ของทั้งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มพื้นที่หลังคา กับกรณีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอดีความต้องการใช้ภายในบ้าน พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก และอัตราผลตอบแทนของโครงการเป็นบวก โดยมีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ย ส่วน BCR ก็มีค่ามากกว่า 1

อรทัย วรรคาวิสันต์ (2552) ได้วิเคราะห์ความเป็นไปได้โครงการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เพื่อหาผลตอบแทนของโครงการ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนทั้งหมดที่ประกอบได้ด้วยต้นทุนในการลงทุนสร้างบ่อ และต้นทุนของการดำเนินงานต่าง ๆ ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และใช้การวิเคราะห์เชิงพรรณนาโดยการอธิบายตัวเลขที่ได้มาว่ามีผลเป็นอย่างไร โดยพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PB) จากผลการศึกษาพบว่าในปีแรกมีการลงทุนของเงินทุนค่อนข้างสูงถึง 5,200,000 บาท เนื่องจากต้องลงทุนในเรื่องการสร้างระบบบ่อเก็บก๊าซชีวภาพที่ต้องติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนและต้องมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบระบบ ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงมากกว่าจะได้ระบบที่สมบูรณ์ ดังนั้น จากการคำนวณพบว่า ณ อัตราคิดลด (ต้นทุนของเงินทุน) ที่ 8.45% ได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 2,324,303 บาท อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ

16% และมีระยะคืนทุน (PB) เท่ากับ 5.3 ปี โครงการจึงเหมาะกับการลงทุนและมีความคุ้มค่าต่อการฟื้นฟูสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมได้

วรธนพลฐ์ ศิริสังวรณ์ (2553) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี การศึกษาแบ่งเป็นการศึกษาในด้านต่าง ๆ ต่อไปนี้ สภาพทั่วไปของการผลิตและการตลาดของพลังงานไฟฟ้า เทคโนโลยีของการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และความเป็นไปได้ในทางด้านการเงินในการลงทุนโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี โดยใช้การศึกษาข้อมูลปฐมภูมิจากการสัมภาษณ์ผู้ที่ความรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้ และข้อมูลทุติยภูมิได้จากเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งทางภาครัฐและภาคเอกชน จากนั้นนำข้อมูลทั้ง 2 ส่วนมาวิเคราะห์เชิงพรรณนาและเชิงปริมาณเกี่ยวกับด้านต้นทุนและผลตอบแทน โดยใช้หลักเกณฑ์การตัดสินใจจาก มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ อัตราส่วนผลตอบแทนสุทธิต่อการลงทุน และตรวจสอบความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนของโครงการด้วยวิธีการทดสอบค่าความแปรเปลี่ยน ผลจาการศึกษาพบว่าลักษณะที่ตั้งของโครงการมีพลังงานแสงอาทิตย์เหมาะสมในการทำโครงการเพื่อตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เทคโนโลยีที่ควรนำมาใช้ได้แก่ ระบบการรวมแสงแบบรางผิวโค้งคู่ขนานอย่างเช่นที่ใช้อยู่ในประเทศสเปน ในกำลังการผลิตที่ 10 เมกะวัตต์ ระยะเวลารับแสงวันละ 6 ชั่วโมง ระยะเวลาโครงการ 26 ปี โดยมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 454,928,610.84 บาท อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเท่ากับร้อยละ 19.86 ต่อปี เมื่อทำการปรับค่าแล้วได้เท่ากับร้อยละ 10.98 ต่อปี และอัตราส่วนผลตอบแทนสุทธิต่อการลงทุนเท่ากับ 1.5 เท่า ส่วนการทดสอบค่าความแปรเปลี่ยนปรากฏผลว่า ผลตอบแทนของโครงการสามารถลดลงได้ร้อยละ 27.10 หรือต้นทุนรวมของโครงการสามารถเพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 37.17 ก่อนที่จะทำให้โครงการขาดทุน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าโครงการมีความเป็นไปได้ในการลงทุน และความเสี่ยงของโครงการค่อนข้างต่ำ

Spitzley (2557) ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับกฎระเบียบและปัญหาในการพัฒนาการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์บนหลังคาในประเทศไทย กล่าวถึงโครงการการพัฒนาผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ว่าได้ริเริ่มออกกฎระเบียบ และกำหนดขั้นตอนการดำเนินโครงการตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 ได้มีการประกาศรับสมัครผู้สนใจเข้าร่วมโครงการให้สาธารณชนทราบ ซึ่งมีผู้สมัครเข้าร่วมโครงการจำนวนมาก แต่ก็มีปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ดังนี้ ปัญหาในกระบวนการคัดเลือกและประเมิน Fit รวมถึงความไม่แน่นอนของกระบวนการกำหนด Fit ในอนาคต เกณฑ์การคัดเลือกตามกฎหมาย คือเรื่องความพร้อมและเกณฑ์การคัดเลือกในการลำดับก่อนหลัง และความพร้อมในการต่อเชื่อกับสายส่งไฟฟ้า ใบอนุญาตประกอบกิจการ ใบรับรองอุปกรณ์แปลงไฟที่ยังไม่ได้มีมาตรฐานเดียวกันระหว่าง กฟน. และกฟภ. อิทธิพลของผู้มีส่วนได้เสียที่มีอำนาจในการกำหนดทิศทางและ

ค่าธรรมเนียมพิเศษที่เกี่ยวกับการบริหารจัดการ รวมถึงต้นทุนที่ยังคงสูงอยู่ ทั้งนี้มีการเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างประเทศเยอรมันและอเมริกา พบว่าประเทศเยอรมันมีต้นทุนที่ต่ำกว่า ซึ่งปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ประเทศไทยควรมีการศึกษาจากประสบการณ์ในต่างประเทศ เพื่อพัฒนาโครงการต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยชิ้นนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) เพราะผู้ศึกษาต้องการศึกษาความเป็นไปได้และความคุ้มค่าของต้นทุนและผลตอบแทนของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในประเภทอาคารธุรกิจขนาดเล็กในกรณีเข้าร่วมโครงการรับซื้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และสามารถจำหน่ายเข้าระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) และกรณีระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ 10-250 kWp โดยการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้โกดังเก็บสินค้าเป็นกรณีศึกษา เพื่อเป็นแนวทางให้นักลงทุนได้พิจารณาและวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษา
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การวิเคราะห์ข้อมูล
4. แนวทางและวิธีการศึกษา

เก็บรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษา

ผู้ศึกษาใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษาซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

โรงงานขนาดเล็กที่ยกมาเป็นกรณีศึกษานี้ เป็นโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ อยู่ในเขตปริมณฑล เพื่อส่งไปยังโรงงานต่าง ๆ ทั่วประเทศ โดยมีลักษณะดังนี้

1. รายละเอียดของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา ลักษณะพื้นที่ใช้สอยเป็นลักษณะโกดังเก็บสินค้าประเภท พาเลทไม้ กล่องกระดาษ พื้นที่ใช้สอย 949 ตารางเมตร
2. ค่าไฟฟ้าต่อเดือนของโกดังสินค้ากรณีศึกษา ประมาณอยู่ที่ 30,000 บาท เนื่องจากโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษาแห่งนี้อยู่ในบริเวณพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งเขตปริมณฑล โดยค่าไฟฟ้าคิดตามโครงการกำหนด หน่วยละ 8 บาทต่อหน่วย มีการใช้ไฟฟ้าในเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการทางด้านการเงิน โดยใช้ตัวชี้วัดดังนี้

1. การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) โดยทั่วไปการวิเคราะห์โครงการจะใช้วิธีการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิโดยการหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับหรือผลตอบแทน (มูลค่าปัจจุบันของผลได้) กับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายหรือต้นทุน (มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = มูลค่าปัจจุบันของผลได้-มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

2. อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal rate of return: IRR) มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิหรือผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายสุทธิหรือต้นทุน

3. ระยะเวลาการคืนทุน (Payback period: PB) ระยะเวลาการดาเนินงานที่มีผลทำให้ผลตอบแทนสุทธิจากโครงการสามารถชดเชยเงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการวิธีการหาระยะเวลาคืนทุนหรือหาจำนวนปีที่จะทำให้ได้รับผลตอบแทนคุ้มกับเงินที่ลงทุนนี้

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน/ ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้จะใช้หลักการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive method) จะใช้ในส่วนของการอธิบายให้ผู้สนใจศึกษาเห็นภาพรวมของโครงการที่เน้นเรื่องการใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์อันเป็นผลทำให้ทราบว่าจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้จำนวนเท่าไรต่อปี ต้นทุนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาการอธิบายตัวเลขที่เกิดขึ้นจากการคำนวณ หรือการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อนำมาประกอบการวิจัย

2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative method) เป็นการคำนวณโดยใช้ตัวเลขมาวิเคราะห์ซึ่งจะใช้วิธีการวิเคราะห์เพื่อหาระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนในการลงทุนรวมถึงมูลค่าของการประหยัดค่าไฟฟ้าที่ได้จากการแปลงแสงอาทิตย์ไปเป็นไฟฟ้าที่ใช้ในกรณีศึกษา โดยใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ (Cost-benefit analysis) โดยการนำต้นทุนและ

ผลประโยชน์มาเปรียบเทียบกัน เป็นการวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางการเงินส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะรวมถึงการใช้ทรัพยากร นโยบายของรัฐบาล ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแนวโน้มในอนาคต

แนวทางและวิธีการศึกษา

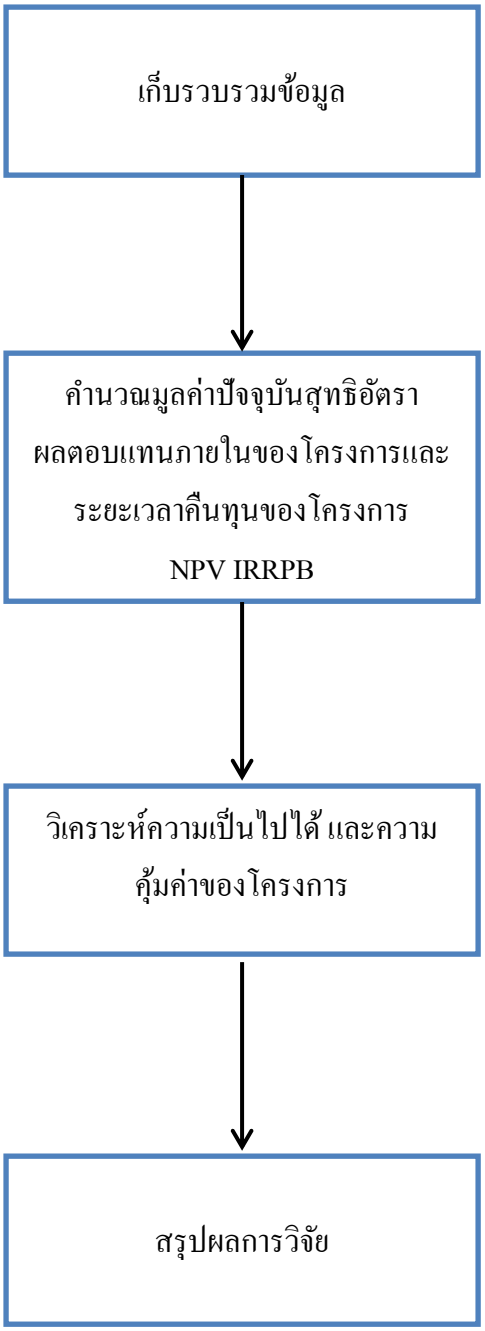
ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดมีทั้งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) ซึ่งได้จากการสัมภาษณ์จากผู้ที่ทำโครงการทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาถึงปัญหาและอุปสรรคในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในองค์กร รวมถึงนโยบายทางภาครัฐบาล ข้อกำหนดต่าง ๆ ศึกษาถึงรูปแบบการใช้ประโยชน์จากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เพื่อขายให้กับการไฟฟ้า โดยต้นทุนคิดจาก เซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ ค่าแรงการติดตั้ง ค่าดำเนินการ

2. ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยต้นทุนคิดจาก เซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า อินเวอเตอร์ ค่าแบตเตอรี่ ค่าแรงการติดตั้ง ค่าดำเนินการ

ข้อมูลแบบทุติยภูมิ (Secondary data) โดยเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการค้นคว้าจากรายงาน บทความสถิติงานวิจัยและเอกสารทางด้านวิชาการต่าง ๆ จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงพลังงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิต เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลเชิงตัวเลขมาผ่านการคำนวณก่อน

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 3-1 กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในการทำการวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยการศึกษาจะคิดว่าพื้นที่บนหลังคาเพียงพอกับการปูแผงโซล่าเซลล์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและนำไปใช้ในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา โดยรายละเอียดการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า และปริมาณการใช้ไฟฟ้าตามตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบ 2 ทางเลือก นอกจากนั้นยังศึกษาถึงอุปสรรคและปัจจัยต่าง ๆ

ข้อมูลการใช้ไฟของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษาแห่งนี้ ประกอบด้วยจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าในโกดังเก็บของแห่งนี้ คำนวณความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าตามเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีอยู่ คิดเป็นระยะเวลาการใช้ไฟฟ้าเป็นชั่วโมงต่อวัน มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4-1 รายการการใช้ไฟฟ้าในโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา

รายการเครื่องใช้ไฟฟ้า	**จำนวน**	**กำลังไฟฟ้า (วัตต์)**	**เวลาที่เปิดใช้ (ชั่วโมง)**	**พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)**
หลอดฟูออเรสเซนต์หลอดยาว	100	46	12	55.2
เครื่องปรับอากาศ 16,000 BTU	5	1,520	10	76
ตู้เย็น	3	61	24	4,392
โทรทัศน์	1	58	5	0.29
คอมพิวเตอร์	10	120	10	12
เครื่องถ่ายเอกสาร	3	175	10	5.25
รวม		1,980		153.132

ดังนั้น ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา ภายในหนึ่งวัน คำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

$$= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (วัตต์)} \times \text{เวลาที่เปิดใช้งาน (ชั่วโมง)}}{1{,}000}$$

หน่วยที่ออกมาจะเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือหน่วย หรือ Unit

จากการคำนวณ ประมาณการได้ว่าโกดังกรณีศึกษาแห่งนี้ต้องการพลังงานไฟฟ้า 153.132 หน่วยในหนึ่งวัน

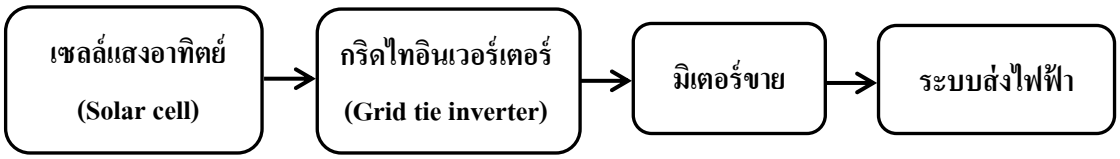
ทางเลือกที่นำมาศึกษามี 2 ทางเลือกดังนี้

1. การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา แบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) เพื่อขายให้กับการไฟฟ้า

2. การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา แบบระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ระบบโดดเดี่ยว (Off grid system)

ต้นทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษาระบบ On grid system

ระบบนี้จะคำนวณพลังงานไฟฟ้าเพื่อขายให้กับการไฟฟ้าทั้งหมด โดยต้นทุนคิดจากเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ ค่าแรงการติดตั้ง ค่าดำเนินการ (มิเตอร์ขาย และค่าดำเนินการยื่นเรื่องขอต่อไฟกับการไฟฟ้า) ดังภาพที่ 4-1 โดยมีแผนการต่ออุปกรณ์ต่อดังนี้



ภาพที่ 4-1 ต้นทุนในการผลิตของระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system)

การเลือกซื้ออุปกรณ์ เลือกเปรียบเทียบจากอุปกรณ์หลัก คือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบกัน 10 ผู้ให้บริการในท้องตลาดต่อไปนี้

ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบ Supplier ที่ขายแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแทนจำหน่าย	แผงเซลล์แสงอาทิตย์							
	ยี่ห้อ	Type	Spec	ขนาด กว้าง ยาว สูง (CM)	ราคา	หน่วย	พื้นที่คิดเป็นตารางเมตร	ราคาต่อ 1 ตารางเมตร (บาท)
ร้านเมคคาช็อป	Tianwei	Polycrystalline	250 W	164 × 99 × 4	5,500	บาท/ แผง	1.63	3,380.70
ร้านเมคคาช็อป	Yingli	Polycrystalline	255 W	164 × 99 × 4	5,600	บาท/ แผง	1.62	3,449.13
ร้านSolartech Center Ltd.	Suntech	Polycrystalline	300 W	194 × 99 × 4	8,900	บาท/ แผง	1.94	4,586.80
ร้านSolartech Center Ltd.	Schutten	Polycrystalline	250 W	164 × 99 × 4	7,400	บาท/ แผง	1.63	4,548.58
ร้านSolartech Center Ltd.	Jetion Solar	Polycrystalline	250 W	164 × 98 × 4	7,000	บาท/ แผง	1.61	4,351.84
ร้านเกษตรพอเพียง	Jinshi	Polycrystalline	300 W	196 × 99 × 5	7,500	บาท/ แผง	1.94	3,865.28
ร้านเกษตรพอเพียง	Solarland	Polycrystalline	300 W	196 × 99 × 5	7,500	บาท/ แผง	1.94	3,865.28
อมรโซล่า	SunSolar	Monocrystalline	120 W	111 × 68 × 3	4,200	บาท/ แผง	0.75	5,617.56
อมรโซล่า	Solarland	Polycrystalline	290 W	196 × 99 × 5	8,700	บาท/ แผง	1.94	4,483.72
Alibaba	Sunsun Solarenergy	Polycrystalline	320 W	195 × 98 × 5	200	ดอลลาร์/ แผง	1.91	104.66

การเลือกชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เลือกแบบ Polycrystalline เนื่องจากมีประสิทธิภาพพอ ๆ กันแต่ราคาถูกกว่า ข้อแตกต่างระหว่าง Polycrystalline กับ Monocrystalline คือ Monocrystalline จะมีขนาดเล็กกว่าเล็กน้อย เนื่องจากซัพพายเออร์ที่ 10 ถึงแม้ราคาจะถูก แต่ราคาที่ให้เป็นราคา FOB ที่ประเทศจีน ดังนั้น ต้องคำนวณการขนส่งจากประเทศจีนมาถึงประเทศไทย รวมไปถึงต้องศึกษาถึงระเบียบในการนำเข้าจึงขอตัดซัพพายเออร์นี้ไป แต่ถ้าในอนาคตมีการใช้แผงโซล่าเซลล์อย่างแพร่หลาย หากนำเข้ามาเพื่อจำหน่ายไปยังฟาร์ม โซล่าเซลล์ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง จากตารางเปรียบเทียบจึงเลือกใช้ซัพพายเออร์ที่ 1 โดยพิจารณาจากราคา และสเป็คที่เหมาะสม ราคาต่อ 1 ตารางเมตรต่ำสุดในจำนวนซัพพายเออร์ทั้งหมด

ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เนื่องจากประเทศไทยนั้นตำแหน่งที่ตั้งจะอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 15 องศาเหนือ ดังนั้นการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสิ่งปลูกสร้างให้ได้ผลดีที่สุด ควรหันแผงไปทางทิศใต้ ทำได้โดยหันทิศทางด้านหน้าแผงไปทางทิศใต้ให้ทำมุมกับพื้นราบ 15 องศา ในกรณีที่หลังคาทำมุม 15 องศาอยู่แล้ว ก็สามารถติดตั้งได้เลย หากหลังคาทำมุมเกิน 15 องศาก็ให้รองแผงส่วนล่างขึ้นเพื่อให้ได้มุม 15 องศา

การคำนวณกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ควรติดตั้ง การคำนวณเพื่อหาขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ โดยใช้สูตรตามที่กล่าวมาในบทที่ 2 ก่อนนี้

$$Pcel = \frac{PL}{Q \times A \times B \times C / D}$$

เมื่อแทนค่า

P_L = 153.132 kW-hr

Q = 4,000 W-hr/ m^2

A = 0.8

B = 0.85

C = 0.85

D = 1,000 W-hr/ m^2

แทนค่าลงในสมการ

$$Pcel = \frac{153.132}{4,400 \times 0.8 \times 0.85 \times 0.85 / 1,000}$$

$$= 66.23 \text{ kW}$$

โดยที่

P_L คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน

Q คือ พลังงานแสงอาทิตย์ในหนึ่งวัน (วัตต์-ชั่วโมง/ ตารางเมตร) สำหรับประเทศไทยเท่ากับ 4,000 วัตต์-ชั่วโมง/ ตารางเมตร โดยประมาณ

A คือ ค่าชดเชยการสูญเสียของเซลล์ โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.8

B คือ ค่าชดเชยความสูญเสียเชิงความร้อน โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.85

C คือ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.85-0.9

D คือ ความเข้มแสงปกติ = 1,000 วัตต์-ชั่วโมง/ ตารางเมตร

จากนั้นคำนวณจำนวนแผงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ควรจะติดตั้ง ซึ่งจะหาได้จาก

จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ = Pcel (วัตต์) ÷ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ให้ของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น (วัตต์)

ทางผู้วิจัยได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณสมบัติดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 คุณสมบัติแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้

น้ำหนักแผง (kg)	**Size (mm)**	**ค่า Pmax (W)**	**Power tolerance**	**ราคาต่อแผง (บาท)**
20	1640×992×40	250	±5%	5,500

ดังนั้น จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ = 66,233.56/ 250

= 264.93 หรือ 265 แผง

อินเวอร์เตอร์ที่จะใช้ต่อกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายต้องใช้อินเวอร์เตอร์ที่ได้รับการรับรองจากการไฟฟ้า เรียกว่ากริดไทอินเวอร์เตอร์ (GridTie inverter) ซึ่งอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะสามารถบอกค่าไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวันได้ การคำนวณจำนวนอินเวอร์เตอร์ที่จะมาต่อกับวงจร อินเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้คือยี่ห้อ JFY 20 KW รุ่น Suntree 20000 TL ราคาในตลาดอยู่ที่ 80,000 บาทต่อตัว

การคำนวณจำนวนกริดไทอินเวอร์เตอร์ (Grid tie inverter) ที่จะใช้ในระบบคำนวณได้ดังนี้คือ คำนวณจากกำลังการใช้ไฟฟ้าในหนึ่งวัน หน่วยเป็นวัตต์ หารกับค่าสูงสุดแรงต้านไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ 153,132/ 20,000 เท่ากับ 7.65 หรือประมาณ 8 ตัว

ดังนั้น ต้นทุนในการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) ตามตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาต่อกับ On grid system

การลงทุน	**ราคา (บาท)**	**หน่วย**	**จำนวน**	**รวม (บาท)**
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)	5,500	บาท/ แผง	265	1,457,500
กริดไทอินเวอร์เตอร์ (Grid tie inverter)	80,000	บาท/ ตัว	8	640,000
ค่าแรงการติดตั้ง โครงยึดหลังคาและสายไฟ	1,712	บาท/ แผง	265	453,680
ค่าดำเนินการ	60,000	บาท	1	60,000
รวม				2,611,180

การคำนวณรายได้จากระบบ On grid คิดได้จากการขายไฟฟ้าที่ผลิตต่อวันคืนให้กับการไฟฟ้า โดยคิดจากราคาตามอัตรารับซื้อไฟฟ้า Feed-in tariff ของการไฟฟ้านครหลวงโดยมีราคารับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 อัตรารับซื้อไฟฟ้า Feed-in tariff (การไฟฟ้านครหลวง, 2558)

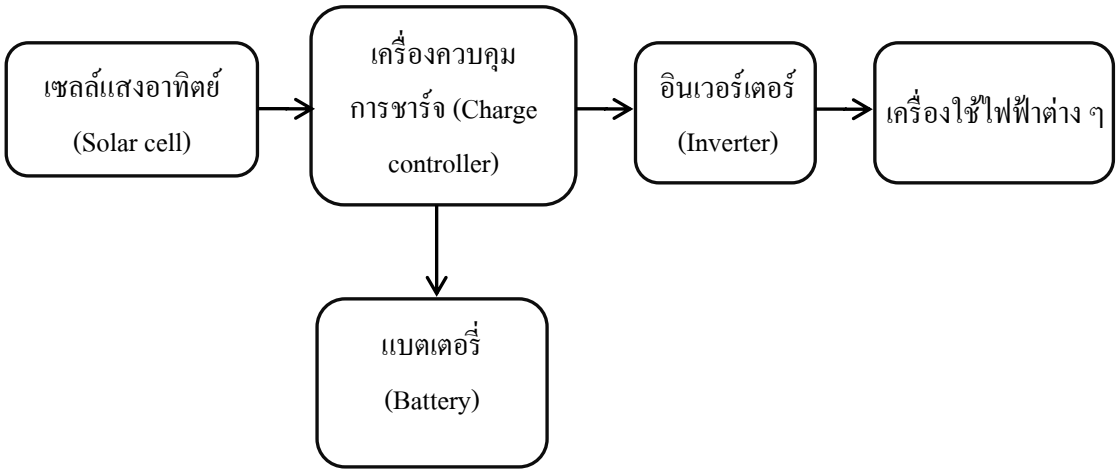
ชนิด	ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง: kWp	ราคารับซื้อ บาท/ หน่วย	ปริมาณกำลังการผลิตติดตั้งรวม
กลุ่มบ้านอยู่อาศัย	0-10	6.96	*100 MW
กลุ่มอาคารธุรกิจขนาดเล็กอาคารธุรกิจ	> 10-250	6.55	*100
ขนาดกลาง-ใหญ่/ โรงงาน	> 250-1,000	6.16	MW

*MWp หมายถึง เมกะวัตต์สูงสุดของแผงโฟโตโวลเทอิก (Photovoltaic panel) ณ สภาวะทดสอบมาตรฐาน (Standard test condition) ซึ่งแผงโฟโตโวลเทอิก (Photovoltaic panel) คือเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

การคิดรายได้ที่จะได้การไฟฟ้าจะจ่ายให้จึงต้องคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อวัน คือค่า PL เหมือนกับที่การคำนวณหาค่ากริดไทอินเวอร์เตอร์พลังงานไฟฟ้าที่ได้ต่อวันจึงเท่ากับ 153,170 W เป็นพลังงานไฟฟ้าที่จะได้ต่อเดือน โดยคิดที่ 30 วัน จึงเท่ากับ 4,595,100 W (153,170 × 30) คิดที่ 12 เดือนจึงเท่ากับ 55,141,200.00 W (4,595,100 × 12) หรือเท่ากับ 55,141.20 kW/ หน่วย/ ปี ดังนั้น รายได้ที่จะได้รับจากการไฟฟ้าคือต่อปีจึงอยู่ที่ 55,141.20 × 6.55 เท่ากับ 361,174.86 บาทต่อปี

ต้นทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษาระบบ Off grid system

ระบบนี้ต้นทุนคิดจาก เซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ ค่าแบตเตอรี่ ค่าแรงการติดตั้ง ค่าดำเนินการ ตามภาพที่ 4-2 การคัดเลือกซัพพายเออร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงมาจากแบบที่ 1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ในระบบ Off grid มีดังนี้



ภาพที่ 4-2 ต้นทุนในการผลิตของระบบโดดเดี่ยว (Off grid system)

1. เครื่องควบคุมประจุไฟฟ้า (Charge controller) ทำหน้าที่ควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ จะทำให้ยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ ซึ่งต้องมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า กระแสไฟฟ้า (Amp) ที่ไหลผ่านจากแผงโซลาร์เซลล์สู่แบตเตอรี่ดังนั้นขนาดของเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ควรมีขนาดเกินกระแสไฟฟ้าของแผงโซลาร์เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า (Charge controller) โดยคำนวณจากสูตรหากำลังไฟฟ้าเพื่อหากระแสไฟฟ้าที่จะเข้าในระบบของเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า

$$P = E \times I$$

$$I = P/E$$

$$I = 66{,}233/12$$

$$I = 5{,}519.46 \text{ A}$$

เมื่อแทนค่า

$$P = 66{,}233.56 \text{ W}$$

$$E = 12 \text{ V}$$

โดยที่

P คือ กำลังไฟฟ้า หน่วยมาตรฐานวัตต์ (W)

E คือ แรงดัน หน่วยมาตรฐานโวลต์ (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า หน่วยมาตรฐานแอมแปร์ (A)

สเป็คของเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าที่เลือกใช้สามารถควบคุมชาร์จ 12/ 24V auto 60A ดังนั้น จำนวนที่ต้องใช้ คือ 5,519.46/ 60 ประมาณ 92 ตัว

2. อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ใช้ชนิดที่ต่อเข้ากับระบบได้โดยตรงราคาจะถูกกว่าแบบกริดไทอินเวอร์เตอร์ (Grid tie inverter) คำนวณจากกำลังการใช้ไฟฟ้าในหนึ่งวัน หน่วยเป็นวัตต์ หารกับค่าสูงสุดแรงต้านไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ 153,132/ 3000 เท่ากับ 51 เครื่อง

3. แบตเตอรี่ (Battery) ใช้ *Deep cycle battery 200 Ah 12 V เพื่อหาจำนวนแบตเตอรี่ที่จะใช้ คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Ah)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าของโหลด} \times \text{ระยะเวลาที่ใช้งานโหลด}}{\text{แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่} \times \text{ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่} \times \text{ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์}}$$

*Deep cycle battery คือ แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้า โดยในอนาคตอาจจะมีการพัฒนาแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และราคาต่ำกว่าปัจจุบัน

โดยที่ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ = 0.60 (สำหรับแบตเตอรี่ธรรมดา) และ = 0.80 (สำหรับแบตเตอรี่ Deep cycle) และโดยทั่วไปประสิทธิภาพของ Inverter = 0.85

$$\text{ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Ah)} = \frac{153.132}{12 \times 0.8 \times 0.85}$$

$$= 18{,}766.18 \text{ Ah}^*$$

แบตเตอรี่ที่เลือกใช้มีลักษณะดังนี้

ภาพที่ 4-3 แบตเตอรี่ Deep cycle ขนาด 51.8 × 27.4 × 24.8 cm 12V/ 200 Ah

ดังนั้น จำนวนแบตเตอรี่ที่ต้องใช้จึงเท่ากับ 18,766.18/ 200 เท่ากับ 93.83 ลูกหรือ 94 ลูก

*Ah คือ หน่วยความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-hour: Ah)

ต้นทุนในการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ระบบ Off grid system ตามตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาระบบ Off grid system

การลงทุน	ราคา (บาท)	หน่วย	จำนวน	รวม (บาท)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)	5,500	บาท/ แผง	265	1,457,500
เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้า (Charge controller)	4,200	บาท/ ตัว	92	386,400
อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	9,000	บาท/ ตัว	52	468,000
แบตเตอรี่ (Battery)	7,800	บาท/ ตัว	94	733,200

ตารางที่ 4-6 (ต่อ)

การลงทุน	ราคา (บาท)	หน่วย	จำนวน	รวม (บาท)
ค่าแรงการติดตั้ง โครงยึดหลังคาและ				
สายไฟ	1,712	บาท/ แผง	265	453,680
ค่าดำเนินการ	60,000	บาท	1	60,000
รวม				3,558,780

รายได้ที่จะได้รับเกิดจากการประหยัดค่าไฟจากระบบ Off grid จากข้อมูลที่ได้มาจากการสอบถามค่าใช้จ่ายของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษาแห่งนี้จากบทที่ 3 ที่กล่าวมาก่อนหน้านั้น โกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษาแห่งนี้อยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งอัตราการคิดค่าไฟฟ้าไม่ได้เป็นไปตามราคาของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต อัตตราค่าไฟฟ้าของนิคมอุตสาหกรรมแห่งนี้คิดที่ หน่วยละ 8 บาท ดังนั้น การคำนวณค่าไฟต่อปี จึงคำนวณจากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษาที่ได้ต่อปี โดยที่ราคาค่าไฟที่ 8 บาทต่อหน่วย โดยคิดว่าโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษาไม่ต้องเสียค่าไฟให้กับนิคมอุตสาหกรรมนี้อีก ดังนั้นค่าไฟที่ประหยัดได้จึงเท่ากับการคำนวณพลังงานไฟฟ้าต่อวันที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการหาค่า PL ซึ่งอ้างมาจากตัวเลือกที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

$$Pcel = \frac{PL}{Q \times A \times B \times C / D}$$

$$PL = 265 \times 250 \times 4000 \times 0.8 \times (0.85/ 1000)$$

$$= 153{,}170 \text{ W}$$

คิดที่ 30 วัน จึงเท่ากับ 4,595,100 W ที่ 12 เดือน จึงเท่ากับ 55,141,200.00 W หรือ 55,141.20 kW/ หน่วย/ ปี ดังนั้น รายได้ที่จะได้รับจากการไฟฟ้าคือต่อปีจึงอยู่ที่ 55,141.20 × 8 เท่ากับ 441,129.60 บาทต่อปี

การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน

การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินจะคิดอายุโครงการที่ 25 ปี เนื่องจากอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ได้ 25 ปี รัฐบาลได้มีนโยบายของโครงการรับซื้อไฟฟ้าอยู่ที่ 25 ปีเช่นกัน อัตราดอกเบี้ยคิดที่ 6% ตามอัตราดอกเบี้ยของธนาคาร ในการเปรียบเทียบของทั้งสองตัวเลือกมีการคิดผลตอบแทนและค่าบำรุงรักษาดังนี้

ตารางที่ 4-7 เปรียบเทียบเงินลงทุน ผลตอบแทน ค่าบำรุงรักษาระหว่าง On grid system และ Off grid system

ทางเลือก	ดอกเบี้ย	เงินลงทุน (บาท)	รายได้สุทธิต่อปี (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)
1. On grid system	6.75%	2,611,180.00	361,174.86	-
2. Off grid system	6.75%	3,558,780.00	441,129.60	2,932,800.00

ค่าบำรุงรักษา Off grid system คิดเป็นค่าเปลี่ยนแบตเตอร์รี่ทุก ๆ 5 ปี เนื่องจากอายุการใช้งานของแบตเตอร์รี่อยู่ที่ 5 ปี การเปลี่ยนครั้งหนึ่งเป็นเงิน 2,901,600 บาท ถ้าคิดในระยะเวลาของโครงการ ต้องมีการเปลี่ยน 4 ครั้ง

จากข้อมูลต้นทุนการลงทุนสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าแทนการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายกับผลตอบแทนจากที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถนำมาวิเคราะห์ โดยใช้สมการทางการเงินสำหรับการวิเคราะห์ดังนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value method: NPV)

หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการทำโครงการโดยการวิเคราะห์จากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value method: NPV) คือ ควรลงทุนเมื่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก และไม่ควรลงทุนถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นลบ

2. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

IRR > อัตราดอกเบี้ยเงินทุน แสดงว่าการลงทุนของโครงการมีความคุ้มค่า

IRR = อัตราดอกเบี้ยเงินทุน แสดงว่าการลงทุนของโครงการยังพอเป็นไปได้

IRR < อัตราดอกเบี้ยเงินทุน แสดงว่าการลงทุนของโครงการไม่ความคุ้มค่า

3. ระยะเวลาคืนทุน (Payback period)

เกณฑ์ระยะคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่คำนึงระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิจากการดำเนินงาน (ผลกำไรที่ได้รับแต่ละปีรวมกัน ดอกเบี้ย และค่าเสื่อมราคาของ ทรัพย์สิน) เท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกของโครงการ นั่นคือทำการพิจารณาจำนวนปีที่ได้รับผลประโยชน์คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนหากดำเนินงานแล้วผลประโยชน์คุ้มกับจำนวนเงินทีลงทุนได้รวดเร็วก็มีความคุ้มค่ากับการลงทุน เพราะความเสี่ยงน้อยและผู้ลงทุนสมารถนำเงินที่ถอนทุนได้ไปลงทุนเพื่อหาประโยชน์ในกิจการอื่น ๆ ได้

ผลตอบแทนทางการเงินของทั้งสองทางเลือกจากการคำนวณได้ผลตามตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางการเงินระหว่าง On grid system และ Off grid system

ทางเลือก	NPV (บาท)	Payback period (ปี)	IRR %
1. On grid system	1,694,317.16	7.23	13%
2. Off grid system	324,704.04	8.07	8%

นอกจากปัจจัยทางด้านเงินลงทุนแล้ว การตัดสินใจลงทุนยังต้องวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบหรือมีส่วนเสริมให้โครงการสำเร็จอีกด้วย

การวิเคราะห์คำนวณต้นทุนต่อตารางเมตร

การคิดคำนวณจากพื้นที่ของโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา พื้นที่ทั้งหมดที่ 949 ตารางเมตร โดยใช้ต้นทุนรวมในแต่ละทางเลือกแล้วนำมาหารเฉลี่ยต่อตารางเมตรได้ตามตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบราคาระหว่าง On grid system และ Off grid system ต่อหนึ่งตารางเมตร

ทางเลือก	ต้นทุนต่อตารางเมตร (บาท/ ตารางเมตร)	หมายเหตุ
1. On grid system	2,751.51	คิดพื้นที่เท่ากับ 949
2. Off grid system	3,750.03	ตารางเมตร

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

1. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ เป็นการวิเคราะห์โครงการภายใต้สภาพความไม่แน่นอน ซึ่งทำให้ต้นทุนและผลตอบแทนภายในโครงการทั้งหมดเปลี่ยนไป และทำให้ค่าของเกณฑ์การตัดสินใจที่ใช้วัดความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ในที่นี้ได้ตัดกรณีระบบ Off grid system ออกไปเนื่องจากดูจากค่า NPV และ IRR ที่คำนวณได้น้อยกว่าระบบ On Grid จึงได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบ On grid system ไว้ 4 กรณี ดังนี้

1.1 กรณีต้นทุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ปรับลดลง ร้อยละ 25 โดยที่ผลประโยชน์คงที่

1.2 กรณีต้นทุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ปรับลดลง ร้อยละ 50 โดยที่ผลประโยชน์คงที่

1.3 กรณีต้นทุนแผงเซลล์คงที่ ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นเป็น 7 บาทต่อหน่วย

1.4 กรณีต้นทุนแผงเซลล์คงที่ ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นเป็น 8 บาทต่อหน่วย

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการทั้ง 4 กรณีผลจากการคำนวณตามตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 วิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการระบบ On grid system

ทางเลือก	NPV (บาท)	Payback period (ปี)	IRR %
1. กรณีต้นทุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ปรับลดลง ร้อยละ 25 โดยที่ผลประโยชน์คงที่	2,058,692.16	6.22	16%
2. กรณีต้นทุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ปรับลดลง ร้อยละ 50 โดยที่ผลประโยชน์คงที่	2,423,067.16	5.21	19%
3. กรณีต้นทุนแผงเซลล์คงที่ ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นเป็น 7 บาทต่อหน่วย	1,990,114.67	4.88	14%
4. กรณีต้นทุนแผงเซลล์คงที่ ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นเป็น 8 บาทต่อหน่วย	2,647,442.48	4.27	17%

การวิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบกับโครงการ

1. วิเคราะห์ด้านนโยบายทางของภาครัฐในการสนับสนุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย พระราชบัญญัติ กฎหมาย แผนพัฒนาเศรษฐกิจ ที่เกี่ยวข้อง

2. วิเคราะห์ด้านเศรษฐกิจและสังคม วิเคราะห์ในประเด็นปัญหา ผลกระทบ ผลประโยชน์ที่จะเกิดกับชุมชนและเศรษฐกิจโดยรวม ISO

3. วิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อม เรื่องคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) เปรียบเทียบในแง่มุม ปัจจัยส่งเสริมและผลกระทบต่าง ๆ ดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 วิเคราะห์ปัจจัยและอุปสรรคต่าง ๆ เกี่ยวกับโครงการ

ลำดับ	หัวข้อ	บทความที่เกี่ยวข้อง	รายละเอียด
1	นโยบายภาครัฐบาลที่เกี่ยวข้อง	แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (PDP 2010 Rev.3) และแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (PDP 2015 กำลังร่าง)	แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (PDP 2010 Rev.3) คำแถลงนโยบายของรัฐบาล (พลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา) เมื่อวันที่ 12 กันยายน 2557 เกี่ยวกับนโยบายด้านพลังงาน มีการแก้ไขแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP 2010 Rev.3) และร่างแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (PDP 2015) มีการปรับปรุงนโยบายด้านพลังงานทดแทนในหัวข้อที่หลัก ๆ อยู่ 3 ข้อที่เป็นส่วนในการสนับสนุน พลังงานทดแทน การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1. ทบทวนความต้องการใช้พลังงานของประเทศไทยใหม่รวมทั้งผลักดันอุตสาหกรรมพลังงาน สร้างเสริมความมั่นคงทางพลังงานส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทน และผลักดันการอนุรักษ์พลังงาน 1.1 ความยั่งยืนทางพลังงานของประเทศ (Sustainability) ได้แก่ การมีโรงไฟฟ้าในประเทศและใช้ทรัพยากรในประเทศในการผลิตไฟฟ้า 1.2 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (Cost effectiveness) มีราคาไฟฟ้าที่เหมาะสม ประชาชนและภาคธุรกิจสามารถยอมรับได้และไม่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ 1.3 การกระจายแหล่งเชื้อเพลิง (Fuel diversification) คือไม่พึ่งพาเชื้อเพลิงชนิดในชนิดหนึ่งมากจนทำให้เกิดความเสี่ยงด้านพลังงาน

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

ลำดับ	หัวข้อ	บทความที่เกี่ยวข้อง	รายละเอียด
			2. เป้าหมายแผน AEDP 10 ปี ทดแทนพลังงานไฟฟ้าจากเดิม 6% เป็น 10% และเป้าหมายแผน EE 20 ปี การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าจานวน 69,653 GWh ในปี 2573
			3. ลดผลกระทบจากภาวะโลกร้อนในอนาคต โดยกำหนดนโยบายให้คงสัดส่วนปริมาณ CO2 Emission ไม่เกินกว่า PDP 2010 Rev.2 (0.386 kgCO2/ kWh)
1	นโยบายภาครัฐบาลที่เกี่ยวข้อง	ประกาศการไฟฟ้านครหลวง	การรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV rooftop) สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) มีการกำหนดคุณสมบัติ หลักเกณฑ์ข้อกำหนด รวมถึงราคารับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ชัดเจนยิ่งขึ้น
2	ด้านสิ่งแวดล้อม	มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม ประจำปีกระทรวงพลังงาน	มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อมได้รับงบประมาณจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานมีวัตถุประสงค์เพื่อนส่งเสริมสนับสนุนและผลักดันให้เกิดการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทนในประเทศไทยมีการให้สินเชื่อแก่ผู้ประกอบการและช่วยเหลือทางด้านเทคนิค เงินลงทุนอีกทั้งยังช่วยผู้ประกอบการหรือผู้ลงทุนให้ได้ประโยชน์จากการขายคาร์บอนเครดิตซึ่งเป็นแนวทางคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) หรือการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสภาวะโลกร้อนโดยคำนวณจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เริ่มต้นตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

ลำดับ	หัวข้อ	บทความที่เกี่ยวข้อง	รายละเอียด
			การขนส่งการผลิต การใช้งาน รวมไปถึงการกำจัดซากซึ่งมีโครงการโซล่าฟาร์มที่เข้าร่วมโครงการ สามารถผลิตไฟฟ้าเข้าระบบได้ถึง 8-9 ล้านหน่วยต่อปีต่อโครงการ ผลประหยัดพลังงาน 0.69-0.76 ktoe ต่อปีลดการปล่อยคาร์บอนประมาณ 15,000 ton CO_2 ต่อปี ซึ่งเท่ากับว่าการที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาจะช่วยทำให้ประเทศลด การนำเข้าพลังงานและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์สู่โลกได้
2	ด้านสิ่งแวดล้อม	ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมมอก. 14001: 2548 (ISO 14001: 2004) Environmental management system (ISO 14001: 2004)	มีวัตถุประสงค์เพื่อให้องค์กรมีความตระหนักถึงความสำคัญของการจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เกิดการพัฒนาสิ่งแวดล้อมควบคู่กับการพัฒนาธุรกิจโดยมุ่งเน้นในการป้องกันมลพิษ (Prevention of pollution) และการปรับปรุงให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง การนำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14001: 2004 มาใช้จะก่อให้เกิดประโยชน์กับองค์กรในการลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบและพลังงานและการบำบัดมลพิษกล่าวคือมุ่งเน้นการบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อมโดยเน้นการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดภาวะเรือนกระจกนั่นเอง

ตารางที่ 4-11 (ต่อ)

ลำดับ	หัวข้อ	บทความที่เกี่ยวข้อง	รายละเอียด
3	ด้านเศรษฐกิจและสังคม	ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ของกระทรวงพลังงาน และคู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนชุดพลังงานแสงอาทิตย์	ความรู้ทั่วไปเงินลงทุน เทคโนโลยี ผลประโยชน์เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานได้จัดทำเพื่อเผยแพร่ให้กับประชาชนได้รู้จักการใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์และการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ในด้านสังคมนั้นประชาชนสามารถลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าได้ง่าย ๆ โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาในพื้นที่ห่างไกลที่ไฟฟ้ายังเข้าไม่ถึง สามารถประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้หรือในทางการเกษตรที่ใช้กับเครื่องสูบน้ำในด้านของเศรษฐกิจการผลิตไฟฟ้าจากโซล่าฟาร์มนั้นทางตรงจะได้พลังงานไฟฟ้ามาใช้สนับสนุนในกระบวนการต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน เช่น การทำน้ำร้อนจากเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินของโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาในโกดังเก็บสินค้ากรณีศึกษา ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมด 949 ตารางเมตร ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 30,000 บาท มีการใช้ไฟฟ้าต่อวันประมาณ 153.132 หน่วย โดยศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบนโกดังสินค้ากรณีศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) และระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) ใช้แผ่นโซล่าเซลล์ 265 แผง เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้ไฟฟ้าในหนึ่งวัน ซึ่งทั้งสองระบบเป็นพลังงานทางเลือกที่ได้รับความสนใจอย่างมากในประเทศไทย เนื่องจากหากพิจารณาแล้ว ประเทศไทยมีปริมาณแสงอาทิตย์ที่ค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี แสงอาทิตย์ต่อวันเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 6 ชั่วโมง ต้นทุนทางด้านอุปกรณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่ลดลงในอนาคต รวมทั้งนโยบายทางภาครัฐที่ค่อนข้างชัดเจนเกี่ยวกับผลตอบแทนมากยิ่งขึ้น อีกทั้งเรื่องของการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์จากการผลิตกระแสไฟฟ้า

การศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน ภายใต้เงื่อนไขอายุโครงการ 25 ปี อัตราดอกเบี้ย 6.75% จากบทที่ 4 พบว่า โครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) มีค่า NPV เป็น 1,694,317.16 บาท IRR เป็น 13% Payback period อยู่ที่ 7.23 ปี จึงสรุปได้ว่ากรณีระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) มีความเป็นไปได้ที่จะลุงทุนมากกว่า ถ้าเทียบกับระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) ซึ่งค่า NPV เป็น 324,704.04 บาท IRR เป็น 8% Payback period อยู่ที่ 8.05 ปี ซึ่งค่า NPV และ IRR น้อยกว่าแบบ On grid system และระยะเวลาในการคืนทุนก็มากกว่า

ในกรณีระบบ On grid system ถึงแม้จะมีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นกว่าระบบ Off grid system แต่ระยะเวลาคืนทุนที่ 7 ปี ก็ซึ่งยังถือว่าเป็นระยะเวลาที่นาน แต่ถ้าหากต้นทุนของอุปกรณ์ที่ใช้ลดลง และอัตราผลตอบแทนของโครงการเพิ่มมากขึ้นดัง 4 แนวทางที่ได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการแล้ว โครงการน่าจะลงทุนถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอัตราผลตอบแทนของโครงการตามแนวทางที่ 4 คือมีการสนับสนุนให้อัตราผลตอบแทนที่จ่ายให้จากการขายไฟคืนอยู่ที่ 8 บาทต่อหน่วยจะทำให้ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 4-5 ปี ระบบ Off grid system นั้น นอกจากต้นทุนค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาสูงแล้ว ยังพบว่าปัจจัยที่ทำให้โครงการไม่น่าลงทุนคือต้นทุนของค่า

แบตเตอรี่ และค่าบำรุงรักษาแบตเตอรี่ซึ่งจะต้องเปลี่ยนทุก 5 ปี จึงทำให้ต้นทุนในค่าซ่อมแซมดูแลรักษาสูง แต่ถ้าหากคิดในแง่ของพื้นที่ชนบทที่ห่างไกลจากสายไฟหลักการทำระบบ Off grid system ก็มีความคุ้มค่าในแง่ของการลงทุน เนื่องจากการติดตั้งเดินเสา และสายไฟเพื่อให้เข้าไปถึงพื้นที่ห่างไกลของทางภาครัฐบาลน่าจะต้องลงทุนมากกว่า และในแง่ที่เป็นพลังงานสะอาด ลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน

ในด้านอื่น ๆ ที่ศึกษาพบว่าถึงแม้การลงทุนทำเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีต้นทุนที่สูงอยู่ แต่นโยบายภาครัฐบาลก็มีนโยบายที่ชัดเจนขึ้นเกี่ยวกับด้านพลังงานทดแทนที่มาจากแสงอาทิตย์ และมีการสนับสนุนด้านสิ่งแวดล้อมโดยมีโครงการคาร์บอนเครดิต อีกทั้งพบว่าในอนาคตต้นทุนของค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์น่าจะมีแนวโน้มที่ลดลงอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. หากต้องการพัฒนาพลังงานทดแทนให้ยั่งยืน รัฐบาลควรให้ความรู้แก่ประชาชนในการติดตั้งโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ทั้งระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid system) และกรณีระบบโดดเดี่ยว (Off grid system) โครงการเงินกู้จากสถาบันทางการเงินต่าง ๆ เพื่อให้ประชาชนเข้าใจถึงความสำคัญของพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ ประโยชน์ที่จะได้รับ

2. รัฐบาลควรมีการตรวจสอบความโปร่งใสในโค้วต้าที่จัดให้กับประชาชน และเอกชน เพื่อขจัดความไม่โปร่งใสจากผู้ที่แสวงหากำไร เนื่องจากเป็นโครงการที่ประชาชนยังไม่รู้จักเท่าที่ควร อีกทั้งระบบการสมัครโครงการ และการประชาสัมพันธ์ยังไม่เพียงพอ อาจจะทำให้ประชาชนเกิดความสับสน และถูกเอาเปรียบ

3. จากกรณีศึกษาจะเห็นได้ว่าทั้งสองระบบยังคงมีต้นทุนสูง รัฐบาลควรมีนโยบายที่จะผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบ เช่นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ให้มีต้นทุนที่ถูกลง เพื่อกระตุ้นให้ประชาชนมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างแพร่หลายต้องมีการศึกษาและค้นคว้าว่าจะมีวัตถุดิบอะไรที่จะสามารถนำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์ได้

4. ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากประเทศจีนจะมีต้นทุนต่ำ ถ้ามีการนำเข้าจำนวนมาก ก็จะทำให้ต้นทุนของวัตถุดิบหลักลดลงได้ แต่ต้องพิจารณาในด้านภาษีขาเข้า ระเบียบกฎข้อบังคับต่าง ๆ รวมถึงค่าการจัดการทางด้านโลจิสติกส์

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). *คู่มือการพัฒนาและ การลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์*. เข้าถึงได้จาก http://escofund.ete.eng.cmu.ac.th/upload/webData/file/renew_manual/Solar_.pdf

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2542). *แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์*. เข้าถึงได้จาก http://www4.dede.go.th/dede/images/stories/solarmap.pdf

การไฟฟ้านครหลวง. (2556). *ประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่อง การรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา.* วันที่ค้นข้อมูล 11ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.mea.or.th/new/profile/index.php?l=th&tid=3&mid=3031&pid=3030

การไฟฟ้านครหลวง. (2558). *รายชื่ออินเวอร์เตอร์ที่ผ่านการตรวจสอบ*. วันที่ค้นข้อมูล 21 ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.mea.or.th/profile/index.php?l=th&tid=3&mid=3073&pid=3041

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2552). *พลังงานแสงอาทิตย์*. เข้าถึงได้จาก http://www2.egat.co.th/re/egat_pv/egatpv_sun.htm

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2558). *ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด*. เข้าถึงได้จาก http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=348&Itemid=116

กิตติพันธ์ คงสวัสดิ์เกียรติ. (ม.ป.ป.). *การใช้ Microsoft excel ในการคำนวณทางการเงิน ตอนที่ 4*. เข้าถึงได้จาก http://eng.ru.ac.th/document/microsoftexcel-4.pdf

กุลยศ อุดมวงศ์เสรี. (2555) . *ผลการศึกษาการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ Feed-in tariff (FIT)*. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน และสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปราการ. (2555). *รายงานวิจัย โครงการโคมไฟส่องถนนแบบหลอด LED ใช้พลังงานแสงอาทิตย์*. พิษณุโลก: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ดุสิต เครืองาม. (ม.ป.ป.). *ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์*. เข้าถึงได้จาก http://www.thaisolarfuture.com/news.php?id=3

ธนาคารอาคารสงเคราะห์. (ม.ป.ป.). *อัตราดอกเบี้ยเงินกู้*. วันที่ค้นข้อมูล 11 ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.ghbank.co.th/th/content.php?id=1

ประวิทย์ สุดประเสริฐ. (ม.ป.ป.). *ติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell)*. กรุงเทพฯ: โรงเรียนศูนย์ฝึกวิชาชีพระยะสั้น.

ประเสริฐ คณาวัฒนไชย. (2540). *การวิเคราะห์ทางการเงิน โดยใช้ไมโครซอฟต์เอ็กเซล 95*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิชยดา จิรวรรษวงศ์. (2556). *การศึกษาต้นทุนในการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในบ้านที่อยู่อาศัย*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

วรธนพลฐ์ ศิริสังวรณ์. (2553). *การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี*. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ, วิทยาลัยบัณฑิตศึกษา, มหาวิทยาลัยเกตรศาสตร์.

วิวัฒน์ ชโนวิทย์. (ม.ป.ป.). *การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาประเภทที่พักอาศัย ในพื้นที่ที่แตกต่างกันของประเทศไทย*. การค้นคว้าอิสระเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ, คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

วิสาขา ภู่จินดา. (2555). *รายงานวิจัย การบริหารจัดการพลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตพลังงานใช้ในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน*. กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน. (2558). *สถานการณ์พลังงานไทย ปี 2557*. เข้าถึงได้จาก http://www.eppo.go.th/info/Situation/quarterly/2014_Q4.pdf

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2554). *การใช้ไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย*. http://www.eppo.go.th/power/power2554.pdf

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2557). *สถานการณ์พลังงานไทย*. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.

สุมาลี อุณหะนันทน์. (2552). *การบริหารการเงิน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิชาติ พงศ์สุพัฒน์. (2551). *การเงินธุรกิจ*. กรุงเทพฯ: Vachirintsarn Printing.

อรทัย วรรคาวิสันต์. (2552). *การวิเคราะห์ความเป็นไปได้โครงการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์*. การศึกษาเฉพาะบุคคลบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชาบริหารธุรกิจ, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

Spitzley, J. B. (2557). *การพัฒนาการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์บนหลังคา (PV Rooftop) ในประเทศไทย วิเคราะห์กฎระเบียบและปัญหาของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน*. เข้าถึงได้จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/node/677