คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

นายอนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
วิชาเอกการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
พ.ศ. 2564

Manual on Recycling Management of Expired or Deteriorated Solar Panel

Mr. Anuwat Duangyim

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for

the Degree of Master of Science in Industrial Environmental Management

School of Health Science

Sukhothai Thammathirat Open University

2021

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ	คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ
ชื่อและนามสกุล	นายอนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม
วิชาเอก	การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา บรรจงศิริ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 28 พฤศจิกายน 2564

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา บรรจงศิริ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ปธานิน แสงอรุณ)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อารยา ประเสริฐชัย)

ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

ชื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระ คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ
ผู้ศึกษา นายอนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม รหัสนักศึกษา 2625000746
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม)
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา บรรจงศิริ
ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

พลังงานมีความสำคัญ และจำเป็นต่อการดำรงชีวิต เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานในการสร้างความสะดวกสบายในการดำเนินชีวิตประจำวัน ประเทศไทยได้มีการสนับสนุนและส่งเสริมในเรื่องการใช้พลังงานทดแทน โดยเฉพาะในการผลิตกระแสไฟฟ้า จากพลังงานแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามประเทศไทยกำลังจะต้องพบกับประเด็นปัญหาการจัดการหรือการกำจัดซากขยะแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งคาดว่าภายในปี พ.ศ.2581 จะมีปริมาณสูงถึง 122,408 ตัน ซึ่งหากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ สำหรับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือแผงโซลาร์เซลล์

วิธีการจัดทำคู่มือ ได้จากการทบทวนค้นคว้าข้อมูลเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กระบวนการผลิต การใช้งาน และการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ โดยมีการตรวจสอบเนื้อหาของคู่มือโดยผู้ทรงคุณวุฒิ และนำไปปรับแก้เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานคู่มือ

ผลการศึกษาพบว่า คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ ประกอบด้วยเนื้อหา 4 บท ได้แก่ บทที่ 1 ความรู้เกี่ยวกับโซลาร์เซลล์ บทที่ 2 กระบวนการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ บทที่ 3 การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ และบทที่ 4 การจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ ผลการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิมีความคิดเห็นว่าคู่มือสามารถนำไปใช้ปฏิบัติได้มากที่สุด

คำสำคัญ รีไซเคิล โซลาร์เซลล์ แผงโซลาร์เซลล์หมดอายุ แผงโซลาร์เซลล์เสื่อมสภาพ

Independent Study title: Manual on Recycling Management of Expired or Deteriorating Solar Panels

Author: Mr. Anuwat Duangyim; **ID:** 2625000746;

Degree: Master of Science (Industrial Environmental Management);

Independent Study advisors: Dr. Kultida Bunjongsiri, Assistant Professor;

Academic Year: 2021

Abstract

Energy plays an essential role for human life because it is the most important factor in creating comfort in daily life. Thailand has supported and promoted the use of renewable energy, particularly solar energy. On the other hand, the country is dealing with issues related to the management and disposal of solar panel waste. It is estimated that there will be a total of 122,408 tons of solar panel waste by 2038. Lack of proper management of solar panel waste will adversely affect the environment. The objective of this study was to prepare a manual on recycling management of expired or deteriorating solar panels. The findings of the study would be beneficial for those who either want to study this topic or are interested in managing the recycling of such solar panels.

The manual was prepared based on a review of relevant documents, research papers, production process, use and recycling management of old solar panels. The content of the draft manual was validated by experts, whose comments were used in finalizing the manual for it to be suitable for further use.

The findings indicated that the manual contains four chapters: Chapter 1 Introduction to Solar Cells; Chapter 2 Solar Panel Manufacturing; Chapter 3 Using Solar Panels; and Chapter 4 Recycling Management of Expired or Deteriorated Solar Panels. Based on the experts' opinions, the manual could be practically applied at the highest level.

Keywords: Recycle, Solar cell, Expired solar panel, Deteriorating solar panel.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระเรื่องคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพฉบับนี้ เนื่องจากมีบุคคลหลายฝ่ายที่เป็นกำลังใจ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ในการนี้ผู้ศึกษาค้นคว้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา บรรจงศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้าอิสระ ที่ได้เปิดโอกาสให้ทำการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้โดยให้อิสระทางความคิด ตลอดจนการให้คำแนะนำ การดูแลเอาใจใส่พร้อมทั้งช่วยแก้ปัญหาให้คำปรึกษาและให้กำลังใจในการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ คุณครรชิต จันภูธร คุณวายุภักษ์ ยงยุทธ และคุณสุทธิศักดิ์ พรหมทอง ทุกท่านที่ได้ช่วยในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือการวิจัย ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ปธานิน แสงอรุณ ในการให้ความกรุณามาเป็นกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ และให้คำชี้แนะในการปรับปรุงการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ และบุคลากรมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่อำนวยความสะดวกในการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ขอบคุณทุกกำลังใจของครอบครัวที่ทำให้การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลงโดยสมบูรณ์ ประโยชน์ที่พึงได้รับจากการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ผู้ศึกษาค้นคว้าขออุทิศเพื่อสักการะบูชาพระคุณบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายอนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม
กรกฎาคม 2564

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการจัดทำคู่มือ 3

ขอบเขตของการจัดทำคู่มือ 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4

สถานการณ์การผลิตและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย 4

โซลาร์เซลล์ 5

การบริหารจัดการและกำจัดขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้า
พลังงานแสงอาทิตย์ในต่างประเทศ 8

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม 14

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 19

ขั้นตอนในการจัดทำคู่มือ 19

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 22

คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ 23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 60
สรุปการวิจัย 60
อภิปรายผล 61
ข้อเสนอแนะ 61
บรรณานุกรม 63
ภาคผนวก 67
ก หนังสือเชิญผู้ทรงคุณวุฒิประเมินตรวจสอบคู่มือ 68
ข ผลการประเมินตรวจสอบคู่มือ 72
ค สรุปผลการประเมินตรวจสอบคู่มือ 76
ประวัติผู้ศึกษา 78

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ปริมาณขยะจากแผงโซลาร์เซลล์ตั้งแต่ปี 2565 - 2581 2
ภาพที่ 2.1 แผงโซลาร์เซลล์ แบบโมโนคริสตัลไลน์ 7
ภาพที่ 2.2 แผงโซลาร์เซลล์ แบบโพลีคริสตัลไลน์ 7
ภาพที่ 2.3 แผงโซลาร์เซลล์แบบฟิล์มบาง (Thin film) 8
ภาพที่ 2.4 แนวโน้มการใช้แผงโซลาร์เซลล์ในประเทศเยอรมัน 10
ภาพที่ 2.5 การกระจายตัวของโรงผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ขนาดต่างๆ ในคิวชู ประเทศญี่ปุ่น 11
ภาพที่ 2.6 การรวบรวมขยะแผงโซลาร์เซลล์ 12
ภาพที่ 2.7 กล่องเก็บรวบรวมขยะแผงโซลาร์เซลล์ 13

บทที่ 1
บทนำ

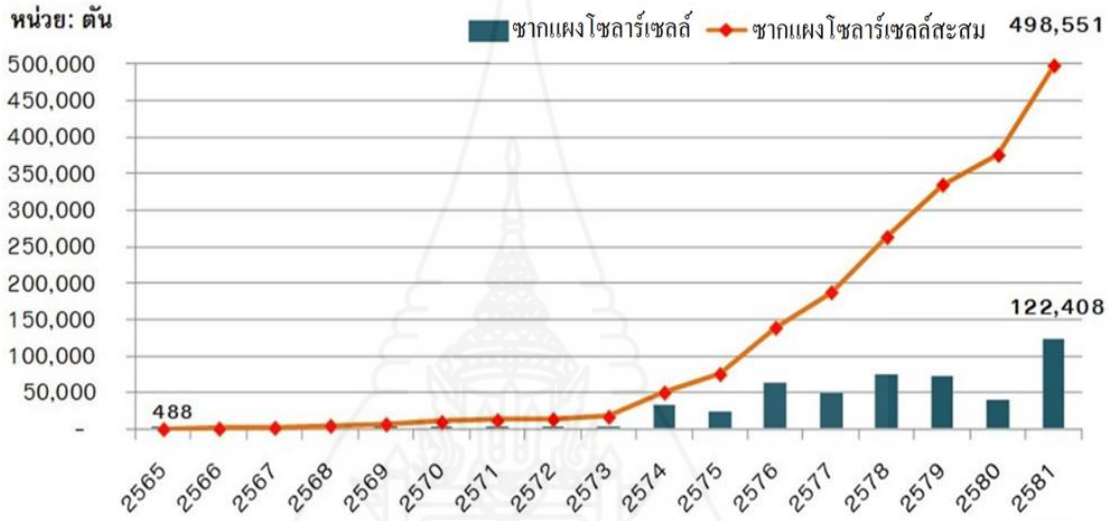
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยในปัจจุบันพลังงานมีความสำคัญ และจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานในการสร้างความสะดวกสบายในการดำเนินชีวิตประจำวัน ประเทศไทยได้มีการสนับสนุนและส่งเสริมในเรื่องการใช้พลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้า จากพลังงานแสงอาทิตย์ จากนโยบายด้านพลังงานทดแทนของภาครัฐว่าด้วยเรื่องแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 ได้ส่งเสริมการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ และในลำดับถัดไปจะขอเรียกสั้นๆว่า โซลาร์เซลล์ ซึ่งมีอัตราการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 6,000 เมกะวัตต์ (สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, 2558) เป็นผลทำให้มีผู้ที่สนใจติดตั้งโซลาร์เซลล์เป็นจำนวนมาก ในปี พ.ศ. 2563 พบว่ามีจำนวนผู้ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ สูงถึง 7,625 ราย (สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, 2563)

โซลาร์เซลล์เข้ามามีบทบาทในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 จนถึงปัจจุบัน ทางภาครัฐได้มีนโยบายสนับสนุน และเห็นชอบให้มีการรับซื้อไฟฟ้าจากโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จึงทำให้ผู้ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ มีตั้งแต่ระดับครัวเรือน ชุมชน จนถึงอุตสาหกรรม แต่อย่างไรก็ตามเมื่อแผงโซลาร์เซลล์ ชำรุด เสื่อมสภาพ และหมดอายุจากการใช้งาน แผงโซลาร์เซลล์เหล่านั้นจะกลายเป็นขยะจำนวนมหาศาล ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์ ที่หมดอายุจากการใช้งานถูกกำหนดให้เป็นของเสียอิเล็กทรอนิกส์หรือของเสียกลุ่ม E (E-Waste) ซึ่งจะต้องคำนึงถึงแนวทางในการจัดการ ซึ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ หากขยะเหล่านี้ ได้รับการจัดการที่ไม่เหมาะสม จะเกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำ ผิวดิน พื้นดิน และบรรยากาศ แล้วแพร่ไปสู่คน พืช และสัตว์

ในปี 2545 ประเทศไทยได้เริ่มมีการลงทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกๆปี จากการสนับสนุนของภาครัฐ และรวมไปถึงภาคเอกชนที่ให้ความสนใจ แม้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตแผงโซลาร์เซลล์จะนับได้ว่าเป็นพลังงานสะอาด และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ยังไงก็ตามประเด็นปัญหาเรื่องของการจัดการหรือการกำจัดซากขยะแผง

โซลาร์เซลล์หลังจากที่หมดอายุจากการใช้งาน ซึ่งก็มีอายุเฉลี่ยประมาณ 20 ปี โดยประเทศไทยกำลังจะต้องพบเจอกับประเด็นปัญหาการจัดการหรือการกำจัดซากขยะแผงโซลาร์เซลล์ในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า ซึ่งคาดว่าจะมีขยะแผงโซลาร์เซลล์ ปริมาณ 488 ตัน และมีปริมาณสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องถึง 122,408 ตัน ภายในปี 2581 ซึ่งหากไม่มีการจัดการหรือการกำจัดซากขยะแผงโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสม ซากขยะนั้นก็จะสะสมเป็นปริมาณมหาศาลถึง 5 แสนตันในอนาคต และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นวงกว้าง



ภาพที่ 1.1 ปริมาณขยะจากแผงโซลาร์เซลล์ ตั้งแต่ปี 2565 - 2581

ที่มา : กระทรวงพลังงาน รวบรวมและคำนวณโดยศูนย์วิจัยกสิกรไทย (ม.ป.ป.)

หมายเหตุ : แผงโซลาร์เซลล์มีอายุการใช้งาน 20 ปี

ดังนั้นการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งานจึงมีความสำคัญ และจำเป็นต้องมีแนวทางการจัดการอย่างเหมาะสม เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของประชาชน สิ่งแวดล้อม และเป็นประโยชน์ ในการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุในอนาคต นอกจากนี้การจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุควรมีการศึกษาอย่างเป็นรูปธรรม ดังนั้นผู้ศึกษาและค้นคว้าจึงเห็นความสำคัญในการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่ ชำรุด เสื่อมสภาพ และหมดอายุจากการใช้งาน โดยทำการศึกษาตั้งแต่ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ การผลิต การใช้งาน ผู้ศึกษาและค้นคว้าจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและค้นคว้าการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ การจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ เพื่อเสนอเป็นแนวทางในการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการจัดทำคู่มือ

เพื่อจัดทำคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

3. ขอบเขตของการจัดทำคู่มือ

การศึกษาครั้งนี้ทางผู้ศึกษาและค้นคว้าสนใจศึกษาทฤษฎีข้อมูลจริงของประเทศไทย และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ที่เกี่ยวข้องกับแผงโซลาร์เซลล์ การผลิต การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อจัดทำเป็นคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ เพื่อเสนอเป็นแนวทางในการจัดการแผงโซลาร์เซลล์

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 เพื่อใช้เป็นคู่มือในการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

4.2 เพื่อใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาค้นคว้าแนวคิด ทฤษฎี และรวมถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาดังนี้

1. สถานการณ์การผลิตและการใช้งานโซลาร์เซลล์ในประเทศไทย
2. โซลาร์เซลล์
3. การบริหารจัดการและกำจัดขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในต่างประเทศ
4. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สถานการณ์การผลิตและการใช้งานโซลาร์เซลล์ในประเทศไทย

ตามที่กระทรวงพลังงานมีนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมาตั้งแต่ปี 2532 ผ่านมาตรการต่างๆ ทำให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยในปี 2550 มีสัดส่วนปริมาณไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่ผลิตได้รวมการผลิตไฟฟ้านอกระบบ (Including off grid power generation) ทั้งประเทศร้อยละ 4.3 และเพิ่มเป็นร้อยละ 9.87 ในปี 2557 (ไม่รวมพลังน้ำขนาดใหญ่) และจากเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิงตามแผน AEDP2015 มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในภาพรวมของทั้งประเทศ ที่ร้อยละ 20 ของปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมสุทธิ ซึ่งสอดคล้องตามกรอบการกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 (PDP2015) ที่ระบุว่าจะให้มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอยู่ในช่วงร้อยละ 15 - 20 ภายในปี 2579 โดยสถานภาพและเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในแต่ละเภทตามแผน AEDP2015 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558)

ในส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ภาครัฐได้มีมาตรการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ อาทิเช่นมาตรการส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) และ

มาตรการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนระบบ Feed-In Tariff เป็นต้น จากมาตรการจูงใจดังกล่าวทำให้ประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น โดยจากข้อมูล ณ สิ้นปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวนกว่า 1,298 MW โดยภาครัฐได้ตั้งเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานปี พ.ศ. 2579 ที่ 6,000 MW (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558)

โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีการรับประกันประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ประมาณ 20 - 25 ปี หากคิดอายุเฉลี่ยของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 20 ปี ดังนั้นในปี พ.ศ. 2569 จะเริ่มมีขยะที่เกิดจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เกิดขึ้น และมีปริมาณสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขยะที่เกิดจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งประกอบด้วย ขยะที่เกิดจากแผงโซลาร์เซลล์ อินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า สายไฟฟ้า และเหล็กโครงสร้างรองรับแผง ซึ่งขยะแต่ละประเภทจะมีวิธีการกำจัดที่แตกต่างกันไป อาทิ อินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้า และสายไฟฟ้า จะถูกจัดการโดยกระบวนการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ เหล็กโครงสร้างรองรับแผง จะถูกนำกลับเข้าสู่กระบวนการหลอมและกลับมาใช้ใหม่ คงเหลือเฉพาะแผงโซลาร์เซลล์ที่ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีรูปแบบการจัดการที่แน่นอนเนื่องจากยังไม่มีขยะเกิดขึ้นจริง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, ม.ป.ป.)

สำหรับแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นแบบแผงโซลาร์เซลล์ Polycrystalline ขนาดตั้งแต่ 200 - 320 วัตต์ต่อแผง หากคิดปริมาณเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์เป็น 300 วัตต์ต่อแผง โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 MW จะใช้แผงโซลาร์เซลล์ประมาณ 3,340 แผง ดังนั้นหากติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 MW ในปีนี้ ในอีก 20 ปีข้างหน้า จะมีขยะแผงโซลาร์เซลล์เกิดขึ้นจำนวน 3,340 แผง กรณีปี พ.ศ. 2557 มีกำลังการผลิตสะสมประมาณ 1,300 MW ในปี พ.ศ. 2577 จะมีขยะแผงโซลาร์เซลล์สะสมจำนวนมากกว่า 4 ล้านแผง หรือคิดเป็นกว่า 90,000 ตัน (คิดน้ำหนักเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 21 กิโลกรัมต่อแผง) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, ม.ป.ป.)

2. โซลาร์เซลล์

2.1 ความหมายของโซลาร์เซลล์

โซลาร์เซลล์ คือสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon) แกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide) อินเดียมฟอสไฟด์ (Indium Phosphide) แคดเมียมเทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น

โดยมีหลักการทำงานคือเมื่อแผงโซลาร์เซลล์ ได้รับแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า ซึ่งจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบ เพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วบวกและขั้วลบของแผงโซลาร์เซลล์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงกระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น จะทำให้สามารถทำงานได้ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2558)

2.2 ชนิดของโซลาร์เซลล์

โซลาร์เซลล์ ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือแบบที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน และแบบที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน

โซลาร์เซลล์ ที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอนจะถูกแบ่งออกเป็นสารกึ่งตัวนำเป็นผลึก (Crystal) และไม่เป็นผลึก (Amorphous) สารกึ่งตัวนำชนิดผลึกซิลิคอนจะใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับอัตราการแปลงสูงและความน่าเชื่อถือติดตามเซมิคอนดักเตอร์ไม่เป็นผลึกทำงานได้ดีแม้ภายใต้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นจึงใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับเครื่องคิดเลขและนาฬิกาข้อมือ ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ องค์ประกอบหลักของระบบคือ แผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ โฟโตวอลเทอิก โดยในท้องตลาดมีเทคโนโลยีของโซลาร์เซลล์อยู่ 3 ชนิดหลักๆ คือ โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) และ ฟิล์มบาง (Thin Film)

1) แผงโซลาร์เซลล์ แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) หรือเรียกอีกชื่อว่า Single Crystalline Silicon)

แผงโซลาร์เซลล์ แบบโมโนคริสตัลไลน์ เป็นเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์และทางเลือกที่ดีที่สุด โมโนคริสตัลไลน์เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เก่าแก่ที่สุดและมีราคาแพงกว่า แต่แผงโซลาร์เซลล์ ประเภทนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยทั่วไปแล้วแผงชนิดนี้มีประสิทธิภาพการแปลงได้ถึงร้อยละ 15 - 20 นั้นหมายความว่ามันสามารถแปลงร้อยละ 15 - 20 ของพลังงานในแสงอาทิตย์ที่กระทบกับพวกมันเป็นพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ ทำจากผลึกเดี่ยวของซิลิกอนบริสุทธิ์พิเศษขนาดประมาณขวดไวน์ และหั่นเป็นเวเฟอร์แผ่นบางๆ เวเฟอร์วงกลมเหล่านี้ถูกตัดด้านข้างออกเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสแล้วจะถูกเปลี่ยนเป็นแผงโซลาร์เซลล์ แบบโมโนคริสตัลไลน์ที่มีลักษณะ ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 แผงโซลาร์เซลล์ แบบโมโนคริสตัลไลน์

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

2) แผงโซลาร์เซลล์ แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) หรือเรียกอีกชื่อว่า (Multi Crystalline Silicon)

แผงโซลาร์เซลล์ แบบโพลีคริสตัลไลน์ทำจากซิลิคอนเช่นกัน แต่ชนิดของซิลิคอนที่ใช้นั้นบริสุทธิ์น้อยกว่าแบบโมโนคริสตัลไลน์เล็กน้อย และถูกหล่อเป็นบล็อกแทนที่จะเป็นรูปผลึกเดี่ยว ความจริงที่ว่าผลึกถูกจัดเรียงแบบสุ่มหมายความว่าจะมองเห็นเป็นผลึกย่อยๆ เมื่อก้อนโพลีคริสตัลไลน์ถูกหล่อมันจะถูกเลื่อยเป็นบล็อกสี่เหลี่ยม จากนั้นหั่นเป็นเวเฟอร์สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์คล้ายกับแบบโมโนคริสตัลไลน์ ในด้านประสิทธิภาพ และการเสื่อมสภาพ ยกเว้นเซลล์โพลีคริสตัลไลน์โดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าไม่มีการเสียพื้นที่ระหว่างมุมของเซลล์สี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งหมายความว่าเมื่อนำมาสร้างเป็นแผงโซลาร์เซลล์ จะทำให้มีพื้นที่เพิ่มเติมเล็กน้อยเพื่อดูดซับแสงแดด ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ผลที่ได้คือประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ แบบโพลีคริสตัลไลน์นั้นเกือบจะเหมือนกับแผงโซลาร์เซลล์ แบบโมโนคริสตัลไลน์

ภาพที่ 2.2 แผงโซลาร์เซลล์ แบบโพลีคริสตัลไลน์

ที่มา : การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ กองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

3) แผงโซลาร์เซลล์ แบบฟิล์มบาง (Thin Film) หรือ อะมอร์ฟัส (Amorphous)

แผงโซลาร์เซลล์ แบบโมโนคริสตัลไลน์ และแบบโพลีคริสตัลไลน์ถูกผลิตขึ้นในลักษณะที่คล้ายกันมาก แต่แผงโซลาร์เซลล์ แบบฟิล์มบางใช้วิธีการผลิตที่แตกต่างอย่างสิ้นเชิง แทนที่จะสร้างโซลาร์เซลล์ ด้วยการเลื่อยซิลิคอนก้อนใหญ่ๆ ฟิล์มที่มีซิลิคอนผสมอยู่จะถูกพ่น ไปยังพื้นผิวซึ่งจะทำให้กลายเป็นแผงโซลาร์เซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 แม้ว่ากระบวนการเหล่านี้จะมีมาระยะหนึ่งแล้ว กระบวนการผลิตฟิล์มบางเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ โดยได้มีการประมาณอายุการใช้งานของแผงชนิดนี้ประมาณ 20 ปี ซึ่งฟิล์มบาง เป็นคำทั่วไปสำหรับแผงโซลาร์เซลล์ ที่ทำจากวัสดุเหล่านี้คือซิลิคอนที่ไม่เป็นรูปผลึก (a-Si) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIGS) แผงโซลาร์เซลล์แบบฟิล์มบาง มีใช้อยู่ประมาณร้อยละ 5 ในตลาด แผงโซลาร์เซลล์แบบฟิล์มบางได้รับความนิยมในโซลาร์ฟาร์มขนาดใหญ่ แต่ค่อนข้างหายากในตลาดที่อยู่อาศัย

ภาพที่ 2.3 แผงโซลาร์เซลล์แบบฟิล์มบาง (Thin film)

ที่มา : การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ กองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

3. การบริหารจัดการและกำจัดขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในต่างประเทศ

จากการศึกษาพบว่าในหลายๆ ประเทศยังไม่มีมาตรการที่ชัดเจนและเป็นรูปเป็นร่างนักในการบริหารจัดการและกำจัดขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เว้นแต่ ในยุโรป สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น

3.1 ยุโรป

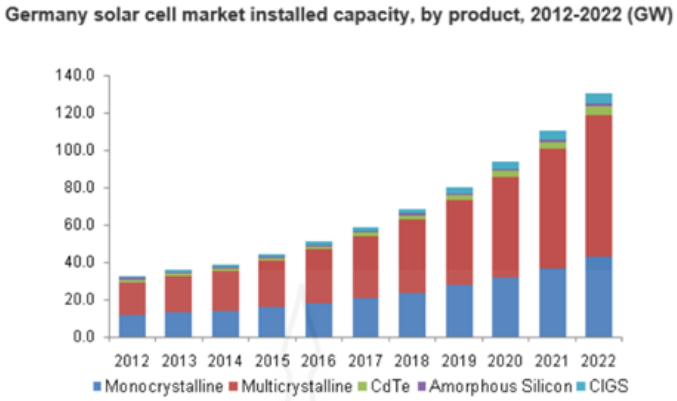
ในปี 2010 ถึง 2015 แผงโซลาร์เซลล์จำนวนมากกว่า 700,000 แผ่น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วเป็นประเภทผลึกซิลิคอนที่ถูกกำจัดไปแล้ว และยังเหลืออีกมากกว่า 150 MWp ที่ยังไม่หมดอายุจากการ

ใช้งาน ทั้งนี้ในยุโรปได้มีการกำหนดแนวทางการบริหารจัดการขยะแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งถูกรวมเข้าให้เป็นประเภทหนึ่งของขยะอิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Directive แนวทางการกำจัดนี้ครอบคลุมถึงการจัดเก็บ การขนส่ง และการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ ต่อมาภายหลังแนวทางนี้ได้กลายเป็นกฎหมายในปี 2003 ที่บังคับให้ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายต้องจัดการ และตั้งจัดระบบในการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจากครัวเรือน และจะต้องทำการรีไซเคิล หรือกำจัดซากขยะเหล่านั้นอย่างเหมาะสมอีกด้วย โดยในปี 2015 ประเทศสมาชิกยุโรปทั้ง 28 ประเทศได้นำ WEEE Directive นี้ไปใช้เป็นกฎหมายของแต่ละประเทศมาจนถึงปัจจุบัน

โดยใน WEEE จะระบุให้ผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์จะต้องลงทะเบียนโดยให้ข้อมูลดังนี้

- ชื่อและที่อยู่ของผู้ผลิต
- หมายเลขประจำตัวของผู้ผลิตและเลขประจำตัวผู้เสียภาษี
- ประเภทและชนิดของแผงโซลาร์เซลล์
- ข้อมูลที่ระบุว่าทางผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายแผงโซลาร์เซลล์จะรับผิดชอบการจัดการ และกำจัดขยะจากแผงโซลาร์เซลล์อย่างไร
- ข้อมูลเกี่ยวกับช่องทางการกระจายสินค้า
- การรับรองทางการเงินเกี่ยวกับการบริหารจัดการขยะแผงโซลาร์เซลล์ นอกจากนี้ผู้ผลิตยังต้องทำการบันทึกปริมาณของแผงโซลาร์เซลล์ที่จำหน่ายไป (หน่วยเป็นกิโลกรัม) และจำนวนขยะแผงโซลาร์เซลล์ที่จัดเก็บ

โดยถ้าหากพิจารณาแนวโน้มการใช้แผงโซลาร์เซลล์ในอดีตจนถึงอนาคตของยุโรปแล้ว แผงชนิดผลึกซิลิคอนจะครองส่วนแบ่งการตลาดมากที่สุด เช่นแนวโน้มการใช้แผงโซลาร์เซลล์ในประเทศเยอรมันปี 2012 - 2022 ดังแสดงภาพที่ 2.4 จะเห็นได้ว่ามีการใช้แผงผลึกซิลิคอนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งทำให้แนวโน้มของขยะจากแผงโซลาร์เซลล์ที่จะเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 20 - 25 ปีนี้น่าจะเป็นขยะแผงโซลาร์เซลล์แบบผลึกซิลิคอนเป็นส่วนใหญ่



ภาพที่ 2.4 แนวโน้มการใช้แผงโซลาร์เซลล์ในประเทศเยอรมัน

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

นอกจากนี้ในยุโรปมีการจัดตั้งองค์กรที่เรียกว่า PV CYCLE ที่มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่เมืองบรัสเซล ประเทศเบลเยี่ยม เพื่อจัดเก็บแผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกซิลิคอน และชนิดฟิล์มบาง แบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์ของกลุ่มสมาชิก ผ่านทางกล่องทิ้งแผงโซลาร์เซลล์ในแต่ละจุดของ PV CYCLE และจุดเก็บแผงโซลาร์เซลล์ของเทศบาล ซึ่งกรณีใช้สำหรับขยะแผงโซลาร์เซลล์ที่มีปริมาณน้อย ถ้าหากเป็นแผงโซลาร์เซลล์ที่มีปริมาณมากตั้งแต่สองกล่องขึ้นไปจะมีบริการไปรับถึงที่

PV CYCLE มีให้บริการทั้งในยุโรปและญี่ปุ่น โดยการทำงานร่วมกับพันธมิตรของประเทศนั้นๆ ในการจัดการจัดเก็บขยะแผงโซลาร์เซลล์ โดยค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ ขนส่ง และรีไซเคิล ผู้ผลิตจะเป็นผู้รับผิดชอบเอง โดยแผงโซลาร์เซลล์ที่จัดเก็บมานั้นจะถูกนำไปที่โรงรีไซเคิลของพันธมิตร แผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกซิลิคอนจะถูกบดและจัดการโดยเครื่องจักร ในขณะที่แผงโซลาร์เซลล์ชนิดอื่นที่ไม่มีซิลิคอนเป็นส่วนประกอบจะถูกบดแล้วนำไปจัดการโดยกระบวนการทางเคมีเพื่อแยกสารกึ่งตัวนำ และสุดท้ายวัสดุตั้งต้นที่ผ่านกระบวนการแล้วจะสามารถนำไปใช้ใหม่ได้อีกครั้ง เช่น กระจก อะลูมิเนียม ซิลิคอน

ส่วนในสหรัฐอเมริกาจะไม่มีกฎหมายในระดับรัฐบาลกลาง จะมีก็แต่กฎหมายในระดับมลรัฐที่มีกฎหมายเกี่ยวกับการจัดเก็บและรีไซเคิลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เช่น รัฐแคลิฟอร์เนียร์มีกฎหมาย Electronic Waste Recycling Act (ประกาศ 24 กันยายน 2003 และมีผลบังคับใช้ 1 มกราคม 2005) รัฐมินเนโซต้ามีกฎหมาย Video Display and Electronic Device Collection and Recycling, 115A.1310 - 1330 ปี 2007 ซึ่งกฎหมายเกี่ยวกับการจัดเก็บและรีไซเคิลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นี้ยังไม่มีการระบุชัดเจนนักในเรื่องของแผงโซลาร์เซลล์เหมือนในยุโรป

3.2 ญี่ปุ่น

ในประเทศญี่ปุ่นนั้นยังไม่มีกฎหมายบังคับใช้เกี่ยวกับการทิ้งแผงโซลาร์เซลล์ โดยกฎหมายที่น่าจะเกี่ยวข้องที่มีอยู่ ในขณะนี้คือ กฎหมายพื้นฐาน Fundamental Law for Establishing a Sound Material - Cycle Society (มกราคม 2001) และ กฎหมายเฉพาะ ได้แก่

- Specified Home Appliances Recycling Law (SHARL) (ประกาศ 5 มิถุนายน 1998 มีผลบังคับใช้ตั้งแต่ 1 เมษายน 2001)

- Law for Promotion of Effective Utilization of Resources (LPEUR) (มีผลบังคับใช้ เมษายน 2001)

- Law for Recycling of Small Electric & Electronic Appliances (LRSEEA) (ประกาศใช้ 2012) โดยกฎหมายเหล่านี้เน้นไปที่การจัดเก็บและรีไซเคิลอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น โทรทัศน์ และตู้เย็น เป็นต้น

ส่วนในประเทศญี่ปุ่นนั้นมีการคาดการณ์ว่าจะมีแผงโซลาร์เซลล์หมดอายุประมาณ 10,000 ตัน ในปี 2020 โดยเป็นการคาดการณ์ของกระทรวงสิ่งแวดล้อมญี่ปุ่น และในปี 2040 จะมีขยะจากแผงโซลาร์เซลล์เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 800,000 ตัน ซึ่งหากพิจารณาโรงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นในญี่ปุ่นแล้วพบว่าในคิวชูมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนพื้นดินขนาดตั้งแต่ 10 - 430 MW ดังแสดงในภาพที่ 5 จึงทำให้เริ่มมีการศึกษาวิจัยว่าจะควบคุมอย่างไร

ภาพที่ 2.5 การกระจายตัวของโรงผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ขนาดต่างๆในคิวชู ประเทศญี่ปุ่น
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพลังงานความร้อน พลังงานน้ำ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานนิวเคลียร์ และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กถูกติดตั้งกระจายตัวอยู่ ทั่วประเทศญี่ปุ่น และมีการใช้งานหลากหลายด้าน

ดังนั้นจึงเป็นความท้าทายของการรวบรวมขยะแผงโซลาร์เซลล์ในบริเวณกว้าง ทั้งนี้ในปัจจุบันการกำจัดแผงโซลาร์เซลล์ส่วนใหญ่จึงยังใช้การฝังกลบขยะ โดยมีค่าใช้จ่ายประมาณ 20 เยนต่อกิโลกรัม (อ้างอิงจากการประชุมร่วมกับบริษัทชินเรียวในการลงพื้นที่ที่คิวชูประเทศญี่ปุ่น ในวันที่ 19 พฤษภาคม 2559)

ในด้านกฎหมายการทำความสะอาดที่สาธารณะและกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้องนั้น ประเทศญี่ปุ่นยังไม่มีกฎหมายบังคับเรื่องการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์โดยเฉพาะ ดังนั้นในช่วงเริ่มต้นจึงมีการเรียนรู้จากสหภาพยุโรป ซึ่งมีองค์กรที่จัดการเกี่ยวกับขยะอิเล็กทรอนิกส์ของสหภาพยุโรป (WEEE : Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) และมีการปรับปรุงแก้ไขกฎหมายของสหภาพยุโรปในปี 2012 โดยระบุให้ต้องมีการรีไซเคิลขยะจากแผงโซลาร์เซลล์ตามตัวอย่างกฎหมายในประเทศฝรั่งเศส ที่มีผลตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2014 ซึ่งผู้ผลิตจะเก็บค่าใช้จ่ายในการขนส่งและรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่เสียจากผู้บริโภคจากผลิตภัณฑ์ที่ขาย ผู้ผลิตสามารถใช้กรอบการทำงานของการเก็บรวบรวม เพื่อรวบรวมแผงโซลาร์เซลล์ที่นำออกจากบ้าน หรือสร้างกรอบการเก็บรวบรวมเฉพาะสำหรับองค์กรที่ได้รับการรับรองจากรัฐบาลฝรั่งเศสเท่านั้น

ในการดำเนินงาน บริษัท PV Recycle จะเป็นผู้รวบรวมขยะแผงโซลาร์เซลล์นำไปรีไซเคิล โดยจะมีกล่องรวมแผงโซลาร์เซลล์มากกว่า 1,000 จุด ตัวอย่างจุดรวบรวมที่ศูนย์การค้าจะสามารถรองรับได้ประมาณ 40 แผ่นหรือสูงสุด 1 ตัน โดยกล่องสามารถป้องกันแสงได้ และล็อคได้เต็มรูปแบบโหลดบนรถบรรทุกพร้อมรถยก

ภาพที่ 2.6 การรวบรวมขยะแผงโซลาร์เซลล์

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการเก็บรวบรวมและการรีไซเคิลขยะแผงโซลาร์เซลล์ แล้วประมาณ 14,153 ตัน โดยในการเก็บรวบรวมอย่างแรกจะมีรถไปรับแผงโซลาร์เซลล์จากตามบ้าน

หรือพื้นที่ที่มีการเก็บมาแล้วใส่กล่องรวบรวม เสร็จแล้วจึงมีการนำแผงโซลาร์เซลล์ไปโรงงานรีไซเคิล ดังแสดงในภาพที่ 2.7

ภาพที่ 2.7 กล่องเก็บรวบรวมขยะแผงโซลาร์เซลล์
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

บริษัท ชินเรียว (Shinryo Corporation) เริ่มมีการทดสอบโดยนำแผงโซลาร์เซลล์ที่เก็บรวบรวมได้มาทำการรีไซเคิลตั้งแต่เดือนธันวาคม 2016 ถึง มีนาคม 2017 มีการเก็บรวมรวมแผงโซลาร์เซลล์ได้ประมาณ 250 แผงโครงการนี้เป็นความร่วมมือของบริษัท Shinryo Corporation ในนามของบริษัทมิตซูบิชิ และ FAIS ที่มีวัตถุประสงค์ของโครงการนี้เพื่อการรีไซเคิลมากกว่าการกำจัด เป็นความร่วมมือระหว่างบริษัท อุตสาหกรรมใหม่ มิตซูบิชิ กับมูลนิธิ Kitakyushu องค์การส่งเสริมวิชาการ (FAIS : ศูนย์การผลิตนวัตกรรม Atsushitakeshi Makita) ซึ่งบริษัทชินเรียว มีบริษัทมิตซูบิชิถือหุ้น 100% ถือเป็นบริษัทลูกของมิตซูบิชิ ที่มีพนักงานอยู่ประมาณ 900 คน โดยหลักการของบริษัท ชินเรียว คือ 4R: Reduce Reuse, Recycle, and Reliance บริษัท ชินเรียว แบ่งเป็นแผนกต่างๆ ได้แก่ แผนกที่เกี่ยวกับด้านสิ่งแวดล้อมและ Recycle แผนกนำเวเฟอร์ซิลิคอนไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ด้านไอที (IT) บริษัทด้านเคมิคอลนำโลหะหายาก โลหะมีค่ากลับมาใช้ใหม่ และทำพวกไมโครอิเล็กโทรด เซมิคอนดักเตอร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และเคมิคอลผงขนาดเล็กเกี่ยวกับเครื่องสำอาง บริษัทชินเรียว มีสาขาต่างๆ อยู่ทั้งในญี่ปุ่น จีน และไต้หวัน บริษัท ชินเรียว มีแผนที่จะเริ่มตั้งโรงงานรีไซเคิลสำหรับแผงโซลาร์เซลล์โดยจะมีการตั้งจุดสำหรับทิ้งแผงโซลาร์เซลล์ ตามพื้นที่ต่างๆ และจัดการเก็บรวบรวมมารีไซเคิลที่โรงงานของบริษัท ชินเรียว โดยเบื้องต้นเทคโนโลยีการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ที่จะใช้นั้นจะเป็นเทคโนโลยีสำหรับแผงชนิดซิลิคอน และนอกจากนี้รัฐมนตรีด้านพลังงานได้มอบหมายให้ NEDO และ Utility ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับวิธีการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์อีกด้วย

3.3 สหรัฐอเมริกา

การรีไซเคิล (Recycle) ในสหรัฐอเมริกา ยังไม่มีผลการดำเนินงานที่เป็นรูปธรรมมากนัก โดยจะมีกฎหมาย Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) ที่เป็นกลไกหลักในการควบคุมการจัดการของเสียเพื่อปกป้องสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเน้นการป้องกันการเกิดมลพิษ (Pollution Prevention) และการลดการเกิดของเสีย (Waste Minimization) เรียกรวมกันว่าการนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่ (Resource Recovery) โดยสำหรับของเสียไม่อันตราย RCRA ใช้กระบวนการรีไซเคิลเป็นเครื่องมือสำคัญ อย่างไรก็ตามสำหรับแผงโซลาร์เซลล์นั้นยังไม่มีผลบังคับอย่างชัดเจน

ในมลรัฐต่างๆ จะมีเกณฑ์การควบคุมของเสียภายใต้กฎหมาย RCRA ที่ไม่เหมือนกันเช่น

- รัฐแคลิฟอร์เนียมีการกำหนดปริมาณวัสดุอันตรายที่อยู่ในแผงโซลาร์เซลล์เพื่อที่จะจำแนกว่าแผงโซลาร์เซลล์ชนิดใดจัดอยู่ในหมวดหมู่ของขยะอันตราย

ในสหรัฐอเมริกา บริษัทผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์ส่วนใหญ่ไม่มีนโยบายที่แน่ชัดเรื่องการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ยกเว้นบริษัท First Solar ที่ได้มีมาตรการในการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ที่ผลิตโดยบริษัทเอง เนื่องจากแผงโซลาร์เซลล์ของบริษัทดังกล่าวเป็นชนิด CdTe ซึ่งถือเป็นวัสดุอันตรายซึ่งต้องมีกระบวนการรีไซเคิลแบบเฉพาะ

4. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการกากของเสียอุตสาหกรรม

4.1 ความหมายของกากของเสียอุตสาหกรรม

กากของเสียอุตสาหกรรม หมายถึง ของเสียหรือสิ่งที่ไม่ใช้แล้วที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงาน ตั้งแต่กระบวนการรับวัตถุดิบ การผลิต การตรวจสอบคุณภาพ การบำบัดมลพิษ การซ่อมบำรุงเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ ไปจนถึงการรื้อถอนหรือก่อนสร้างอาคารภายในบริเวณโรงงาน รวมทั้งกากตะกอน หรือสิ่งตกค้างจากสิ่งเหล่านั้น ทั้งนี้ รวมถึงของเสียอันตรายที่เกิดจากอาคารสำนักงานและที่พักคนงานที่อยู่ภายในบริเวณโรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)

4.2 ประเภทของเสียอุตสาหกรรม

ประเภทของเสียอุตสาหกรรม แบ่งได้เป็น 2 ประเภท

4.2.1 กากอุตสาหกรรมอันตราย (Hazardous Waste)

หมายถึง ของเสียที่ไม่ใช้แล้วที่มีองค์ประกอบของสารที่ก่อให้เกิดอันตราย กากน้ำมัน น้ำมันปนเปื้อน น้ำมันใช้แล้ว สารกัดกร่อน (Corrosive Substances) สารที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย

(Reactive Substances) สารพิษ (Toxic Substances) สารที่มีองค์ประกอบของสิ่งเจือปนที่เป็นอันตรายตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม เช่น ของเสียที่มีสารละลายของโลหะหนัก แบตเตอร์รี่ชนิดที่ใช้ตะกั่ว นิเกิล แคดเมียม ซึ่งในการขนส่งกากของเสียอุตสาหกรรมอันตรายออกจากบริเวณโรงงานต้องใช้รถขนส่งที่มีความปลอดภัย ผ่านการอบรมเรื่องการขนส่งวัตถุอันตราย และมีใบอนุญาตใบอนุญาตครอบครองวัตถุอันตรายเพื่อการขนส่ง (วอ.8)

4.2.2 กากอุตสาหกรรมไม่อันตราย (Non Hazardous Waste)

หมายถึง ของเสียที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น กระดาษ เศษเหล็ก ซึ่งถึงแม้ของเสียประเภทนี้จะไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรงแต่หากกากของเสียอุตสาหกรรมเหล่านี้ ไม่ได้รับการจัดการ กำจัดอย่างถูกต้อง จะส่งผลเสียมากมายต่อสิ่งสิ่งมีชีวิต ระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะส่งกากอุตสาหกรรมที่ไม่อันตรายด้วยวิธีการรีไซเคิล โดยวิธีการคัดแยกเพื่อจำหน่ายต่อหรือการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุที่ใช้แล้วให้กลับมามีคุณภาพดังเดิมและนำไปใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้ง เพราะฉะนั้นจึงเป็นหน้าที่ของโรงงานผู้ก่อกำเนิดที่จะต้องส่งกำจัดไปยังโรงงานที่ถูกต้อง ได้รับใบอนุญาต เพื่อจัดการและเพิ่มมูลค่าอย่างถูกวิธี

4.3 การจัดการของเสียอุตสาหกรรม

การจัดการของเสียอุตสาหกรรม โดยใช้หลักการ 3Rs (Reduce, Reuse, Recycle) หลักการจัดการของเสีย แบบ 3Rs เป็นหลักการที่คิดค้นขึ้นเพื่อลดปริมาณของเสีย ลดปริมาณก่อกำเนิด ตั้งแต่ต้นทาง ระหว่างกระบวนการจนไปถึงปลายทาง ซึ่งประกอบไปด้วย

Reduce คือ การลดของเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ลดการใช้ของสิ้นเปลือง หรือ ใช้ของให้ประหยัดมากที่สุด เพื่อลดปริมาณของเสียที่จะเกิดขึ้น ไม่ก่อให้เกิดตั้งแต่เริ่ม

Reuse คือ การนำของเสียที่เกิดขึ้น นำกลับไปใช้ซ้ำ โดยไม่ได้ผ่านกระบวนการเปลี่ยนสภาพ ทำให้ลดการก่อเกิดของขยะประเภทต่างๆ

Recycle คือ การนำของเสียไปเปลี่ยนสภาพ ผ่านกระบวนการต่างๆ และกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ด้วยวิธีอื่นๆ

กากของเสียอุตสาหกรรม ขั้นสุดท้ายที่ไม่สามารถใช้ได้จากกระบวนการ 3Rs แล้ว ก็จะถูกส่งไปบำบัด (Treatment) และ กำจัดของเสีย (Disposal) อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ แต่การที่โรงงานผู้ก่อกำเนิดของเสียได้อาศัยหลักการ 3Rs แล้ว ของเสียที่เกิดขึ้น จะมีปริมาณลดลงมาก ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายต่างๆในการบริหารจัดการของเสีย ลดลง ลดต้นทุนการผลิต ทำให้ประชาชนมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ลดข้อร้องเรียนและได้รับการยอมรับจากชุมชนโดยรอบ ส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

การบำบัด (Treatment) สามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่น บำบัดด้วยวิธีชีวภาพ บำบัดด้วยวิธีทางเคมี บำบัดด้วยวิธีทางกายภาพ บำบัดด้วยวิธีทางเคมีกายภาพ การปรับเสถียรด้วยวิธีทางเคมี การปรับเสถียร/ตรึงทางเคมีโดยใช้ซีเมนต์หรือวัสดุ Pozzolanic การเผาทำลายในเตาเผาขยะทั่วไป การเผาทำลายในเตาเผาเฉพาะสำหรับของเสียอันตราย และการเผาทำลายร่วมในเตาเผาปูนซีเมนต์

การกำจัด (Disposal) สามารถดำเนินการได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

1) ฝังกลบตามหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) เฉพาะสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่ไม่เป็นของเสียอันตรายท่านั้น

2) ฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secured Landfill) หมายถึงการฝังกลบวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่เป็นของเสียอันตรายที่อยู่ในรูปที่คงตัว (เสถียร) ไปฝังกลบในหลุมฝังกลบแบบ Secured Landfill โดยไม่ต้องนำไปปรับเสถียรก่อน

3) ฝังกลบอย่างปลอดภัยเมื่อทำการปรับเสถียร เพื่อทำลายฤทธิ์และให้อยู่ในรูปที่คงตัว จากนั้นนำไปฝังกลบในหลุมฝังกลบแบบ Secured Landfill

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fthenakis. (2000) ได้ศึกษาความเป็นไปได้การจัดการ และการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ที่หมดอายุจากการใช้งาน ซึ่งผลการศึกษาพบว่ากลยุทธ์ในการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ในระยะยาวเพื่อเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนั้น จากการสอบถามพบว่า เทคโนโลยีในการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์สามารถทำได้จริงซึ่งจุดเริ่มต้นของการจัดการต้องมาจากการคัดแยกชิ้นส่วนต่างๆ ออกจากกัน วัสดุบางอย่างจะเกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจ วัสดุที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ก็จะถูกคัดแยกนำไปรีไซเคิล ส่วนวัสดุที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้จะถูกส่งไปกำจัดซึ่งการกำจัดต้องเป็นไปตามกฎหมาย และนโยบายของรัฐ

McDonalda and Pearce. (2010) ได้ศึกษาความรับผิดชอบของผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์ ในการรีไซเคิล ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษานโยบายและแรงจูงใจสำหรับการรีไซเคิลของแผงโซลาร์เซลล์ ผลการศึกษาพบว่าแรงจูงใจในการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ของผู้ผลิต ขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายและมูลค่าทางเศรษฐกิจซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิล และฝังกลบ ไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างไรก็ตามบริษัทผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์ เริ่มมีความสมัครใจที่จะเข้าร่วมโครงการรีไซเคิล เพื่อแสดงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมมากว่าผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจการคาดการณ์ในอนาคต อีก 25 ถึง 30 ปีขยะที่เกิดจากแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจะมีมากมายมหาศาล ซึ่งจะเป็นปัญหาสำหรับ

การรีไซเคิลและเกิดการปนเปื้อนในวงจรของขยะจากนั้นก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมตามมา วิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุดคือการควบคุมการผลิตและติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งควรสร้างเป็นนโยบายในอนาคต

E. Klugmann-Radziemska, P. Ostrowski. (2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทดลอง และทดสอบการรีไซเคิลโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกซิลิกอนโดยวิธีทางความร้อน และทางเคมี ซึ่งพบว่าซิลิกอนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ และสามารถนำไปสู่ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจและทางสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

Gustafsson, Foreman and Ekberg. (2014) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์จากซีลีเนียม คอปเปอร์อินเดียม ไดเซเลไนด์ โดยทำให้บริสุทธิ์
ผลการศึกษาพบว่า การรีไซเคิลโซลาร์เซลล์ การทำให้ ซีลีเนียม คอปเปอร์อินเดียม ไดเซเลไนด์บริสุทธิ์โดยนำไปผ่านความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียส ซึ่งประสิทธิภาพโซลาร์เซลล์ใหม่ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของ ซีลีเนียม คอปเปอร์อินเดียม ไดเซเลไนด์ ที่ผ่านการรีไซเคิลด้วย

Auer (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวการกำจัด และการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ในยุโรป และญี่ปุ่น ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ชี้ให้เห็นถึงปัญหาในทางปฏิบัติของการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งาน และชี้ให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นจากการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่เกิดขึ้นกับผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสีย เช่นรัฐบาล ผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์ และผู้ประกอบการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้การศึกษาครั้งนี้ได้ชี้แนวทางในการจัดการแผงโซลาร์เซลล์และการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ พร้อมยังได้กล่าวถึงผลกระทบต่อสุขภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่ไม่เหมาะสม

มนัสนันท์ พิบาลวงค์ (2559) ได้ศึกษาการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุการจากการใช้งาน ในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี และเสนอแนะแนวทางการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งานโดยทำ การศึกษากับผู้ใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคาในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานีทั้งหมดจำนวน 406 คน การจัดการแผงโซลาร์เซลล์และอุปกรณ์ประกอบแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งาน ส่วนใหญ่ดำเนินการเก็บรวบรวมโดยการกองทิ้งไว้เฉยๆ บนหลังคา คิดเป็นร้อยละ 99.52 ส่วนผู้ใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ที่มีการจัดการแผงโซลาร์เซลล์อย่างเหมาะสมนั้น คิดเป็นร้อยละ 44.14 ซึ่งการคัดแยกการเก็บรวบรวม การขนส่ง และการกำจัดแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งาน จะถูกจัดการโดยส่งคืนบริษัทที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งผลการศึกษากฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งาน สามารถนำไปสู่แนวทางการเสนอแนะที่เกี่ยวกับการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งาน เช่น 1) การจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งานควรอาศัยความร่วมมือระหว่างผู้ใช้งานแผงโซลาร์เซลล์

ผู้ผลิตแผงโซลาร์เซลล์หน่วยงานรับบำบัด กำจัด และภาครัฐ 2) ภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งานควรมีการเผยแพร่ให้ความรู้แก่ผู้ที่สนใจในเรื่องการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งาน 3) ควรมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งานโดยตรง เช่น กรมควบคุมมลพิษ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กระทรวงพลังงาน เป็นผู้ให้ข้อมูลด้านการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุจากการใช้งาน และประสานงานระหว่างผู้ใช้งานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในการศึกษาครั้งนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่ทางผู้ศึกษาได้ทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพในประเทศไทยและต่างประเทศ และ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงทฤษฎีความรู้และการรับรู้ข้อมูลตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ผู้ศึกษาค้นคว้าได้ทราบถึงข้อเท็จจริงเกี่ยวกับประเด็นที่ต้องการศึกษาค้นคว้า และนำข้อเท็จจริงที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องนี้นำไปสู่การดำเนินการจัดทำเป็นคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ สำหรับใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์มีขั้นตอนวิธีการดำเนินการจัดทำ และตรวจสอบความเป็นไปได้ในการนำคู่มือเล่มนี้ไปใช้งานมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกหัวข้อในการจัดทำคู่มือ
2. ศึกษาค้นคว้าและวางแผนในการจัดทำคู่มือ
3. จัดทำเค้าโครงของคู่มือที่จะทำ
4. การจัดทำคู่มือ
5. การนำเสนอและแสดงคู่มือ
6. การนำคู่มือไปทดลองใช้ และปรับปรุงแก้ไขคู่มือตามข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนในการจัดทำคู่มือ

ขั้นตอนที่ 1 เลือกหัวข้อในการจัดทำคู่มือ

หัวข้อที่เลือกในการจัดทำคู่มือคือหัวข้อเรื่องคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ เป็นคู่มือสำหรับใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาค้นคว้าและวางแผนในการจัดทำคู่มือ

การศึกษาค้นคว้าจากเอกสารและแหล่งข้อมูล รวมถึงการขอคำปรึกษาจากผู้ทรงคุณวุฒิ จะช่วยให้ได้แนวคิดที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตของเรื่องที่จะศึกษาได้เฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้น รวมทั้งได้ความรู้เพิ่มเติมในเรื่องที่จะศึกษา จนสามารถใช้ออกแบบและวางแผนดำเนินการทำคู่มือนั้นได้ ในการจัดทำคู่มือได้ทำการสืบค้นข้อมูลจากแหล่งข้อมูล ดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลปฐมภูมิ ได้จากการไปสัมภาษณ์เพื่อขอข้อมูลจากผู้ที่ปฏิบัติงานอยู่ในธุรกิจเกี่ยวข้องกับโซลาร์เซลล์เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลที่จะนำมาใช้ประกอบกับข้อมูลทุติยภูมิ

2.2 ข้อมูลทุติยภูมิ ได้จากการสืบค้นจากตำราเอกสารทางด้านวิชาการงานวิจัยข้อมูลจากอินเตอร์เน็ต ที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อที่ทำการศึกษาค้นคว้า

ขั้นตอนที่ 3 จัดทำเค้าโครงของคู่มือที่จะทำ ดังนี้

3.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารอ้างอิงและรวบรวมข้อมูลที่ได้จากผู้ทรงคุณวุฒิ

3.2 วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อกำหนดขอบเขตและลักษณะของคู่มือที่จะทำ

3.3 ออกแบบคู่มือ มีการกำหนดลักษณะของคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ และวัสดุต่างๆ ที่ต้องใช้

3.4 กำหนดตารางการปฏิบัติงานของการจัดทำเค้าโครงของคู่มือ ลงมือทำคู่มือ และสรุปรายงานคู่มือ โดยกำหนดช่วงเวลาอย่างกว้าง ๆ

3.5 ทำการจัดทำคู่มือ ขั้นต้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น โดยอาจจะทำคู่มือบางส่วนตามที่ได้ออกแบบไว้แล้ว นำผลจากการศึกษาในช่วงนี้ไปปรับปรุงแผนการทดลองที่ออกแบบไว้ในครั้งแรกให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

3.6 เสนอเค้าโครงของคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อขอคำแนะนำและปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้การวางแผนและดำเนินการทำคู่มือเป็นไปอย่างเหมาะสมเป็นขั้นตอนตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุด

ขั้นตอนที่ 4 การจัดทำคู่มือ

เมื่อเค้าโครงของคู่มือได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการจัดทำคู่มือตามขั้นตอนที่ได้วางแผนไว้ เช่น จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ให้พร้อม รวมทั้งดำเนินการจัดทำคู่มือ ขณะเดียวกันต้องมีการตรวจสอบปรับปรุง แก้ไข เพื่อพัฒนาคู่มือเป็นระยะๆ เพื่อให้แน่ใจว่าผลงานที่จัดทำขึ้นถูกต้องตรงกับความต้องการ

ขั้นตอนที่ 5 การนำเสนอและแสดงคู่มือ

เมื่อคู่มือเสร็จสิ้นแล้ว ต้องมีการนำเสนอคู่มือให้กับผู้ที่ต้องการใช้งาน หรืออาจารย์ที่ปรึกษา ดังนั้นควรเตรียมเอกสารนำเสนอให้สมบูรณ์ โดยอาจปรับย่อข้อความที่สำคัญมาจากคู่มือ การนำเสนอในรูปแบบใดนั้นต้องเลือกให้เหมาะสมโดยพิจารณาวัตถุประสงค์ของงานนำเสนอ เช่น สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ป้ายนิทรรศการ เอกสารรายงาน แผ่นพับ นอกจากนี้ยังต้องวางแผนในการนำเสนอคู่มือ และควรฝึกตอบคำถามที่เกี่ยวข้องไว้ด้วย

ขั้นตอนที่ 6 การนำคู่มือไปทดลองใช้ และปรับปรุงแก้ไขคู่มือตามข้อเสนอแนะ

เมื่อคู่มือเสร็จสิ้นแล้วและได้มีการนำเสนอแสดงคู่มือ จากนั้นต้องมีการนำคู่มือไปทดลองใช้งานกับผู้ที่ต้องการใช้งานคู่มือ หรือผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน และให้ผู้ทดลองใช้งานคู่มือทำการประเมินตรวจสอบคู่มือ หลังจากมีการนำคู่มือไปทดลองใช้แล้วหากมีข้อเสนอแนะจากผู้ที่ใช้งานคู่มือ หรือจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน แล้วก็ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขคู่มือตามข้อเสนอแนะนั้น เพื่อให้คู่มือสมบูรณ์มากที่สุด

เกณฑ์การประเมินตรวจสอบคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ ทำการตรวจสอบคู่มือโดยใช้แบบประเมินจำนวน 10 ข้อ มี 5 ระดับ คือ เห็นด้วยอย่างยิ่ง/สามารถนำไปปฏิบัติได้มากที่สุด เห็นด้วย/สามารถนำไปปฏิบัติได้มาก ไม่แน่ใจ/สามารถนำไปปฏิบัติได้ปานกลาง ไม่เห็นด้วย/สามารถนำไปปฏิบัติได้น้อย และไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง/สามารถนำไปปฏิบัติได้น้อยที่สุด มีการให้คะแนนตามลำดับความสำคัญ ตามเกณฑ์ ดังนี้

เห็นด้วยอย่างยิ่ง/สามารถนำไปปฏิบัติได้มากที่สุด	เท่ากับ	5	คะแนน
เห็นด้วย/สามารถนำไปปฏิบัติได้มาก	เท่ากับ	4	คะแนน
ไม่แน่ใจ/สามารถนำไปปฏิบัติได้ปานกลาง	เท่ากับ	3	คะแนน
ไม่เห็นด้วย/สามารถนำไปปฏิบัติได้น้อย	เท่ากับ	2	คะแนน
ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง/สามารถนำไปปฏิบัติได้น้อยที่สุด	เท่ากับ	1	คะแนน

สรุปความคิดเห็นจากแบบประเมินนำข้อมูลจากการประเมินตรวจสอบคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ ทำการสรุปวิเคราะห์โดยใช้ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 หมายความว่า เห็นด้วยอย่างยิ่ง/สามารถนำไปปฏิบัติได้มากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 หมายความว่า เห็นด้วย/สามารถนำไปปฏิบัติได้มาก

ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายความว่า ไม่แน่ใจ/สามารถนำไปปฏิบัติได้ปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายความว่า ไม่เห็นด้วย/สามารถนำไปปฏิบัติได้น้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายความว่า ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง/สามารถนำไปปฏิบัติได้น้อยที่สุด

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ สำหรับใช้เป็นคู่มือและแนวทางให้กับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งคู่มือเล่มนี้ประกอบด้วยรายละเอียดเนื้อหาจำนวน 4 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 ความรู้เกี่ยวกับโซลาร์เซลล์

บทที่ 2 กระบวนการผลิตแผงโซลาร์เซลล์

บทที่ 3 การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์

บทที่ 4 การจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

คู่มือ

การจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

สำหรับแนวทางในจัดการแผงโซลาร์เซลล์

โดย นายอนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม

(ก)

คำชี้แจ้งในการใช้คู่มือ

วัตถุประสงค์

เพื่อใช้เป็นคู่มือและแนวทางในการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ สำหรับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งเนื้อหาภายในคู่มือเล่มนี้จะกล่าวถึงในส่วนของความรู้เกี่ยวกับโซลาร์เซลล์ กระบวนการผลิต การใช้งาน และรวมถึงการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

ประโยชน์ของคู่มือ

1. เพื่อใช้เป็นคู่มือในการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์

(ข)

คำนำ

เอกสารเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อเสนอเป็นแนวทางในการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ และจัดทำเป็นคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ สำหรับในประเทศไทย แผงโซลาร์เซลล์มีการนำมาใช้งานผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กันอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้มีแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ นั้นเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในประเทศไทยสมควรที่จะนำเทคโนโลยี การรีไซเคิล (Recycle) ดังกล่าวนี้มาใช้ในการจัดการ การรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่า ลดปัญหาขยะจากแผงโซลาร์เซลล์ และส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้แก่โลก

การจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ นั้นสามารถนำมาใช้ภายในประเทศไทยให้เหมาะสมได้ โดยการเพิ่มความรู้ความเข้าใจของผู้ปฏิบัติงาน และตั้งเป็นโรงงานสำหรับการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ จุดประสงค์ในการเพิ่มความรู้ความเข้าใจของผู้ปฏิบัติงาน และตั้งเป็นโรงงานสำหรับการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ที่สนใจก็จะต้องมีความรู้ความเข้าใจพอสมควร เพื่อจะทำให้การรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่า ซึ่งในเอกสารเล่มนี้ได้กล่าวไว้ครอบคลุมในเรื่องของแผงโซลาร์เซลล์ และการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์

ลงชื่อ อนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม

(นายอนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม)

กรกฎาคม 2564

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

คำชี้แจ้งในการใช้คู่มือ ..... ก

คำนำ ..... ข

สารบัญตาราง ..... ง

สารบัญภาพ ..... จ

บทที่ 1
ความรู้เกี่ยวกับโซลาร์เซลล์ 1

บทที่ 2
กระบวนการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ 6

บทที่ 3
การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ 10

บทที่ 4
การจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ 19

เอกสารรอ้างอิง 29

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลแสดงการประยุกต์ใช้งานโซลาร์เซลล์ ในด้านต่างๆ 18
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลแสดงองค์ประกอบของแผงโซลาร์เซลล์ 20

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single/Mono - Crystalline Silicon) 2
ภาพที่ 2 ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly/Multi - Crystalline Silicon) 2
ภาพที่ 3 ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) หรืออะมอร์ฟัส (Amorphous) 3
ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของแผงโซลาร์เซลล์ 4
ภาพที่ 5 หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์ 5
ภาพที่ 6 การผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single/Mono - Crystalline Silicon) 7
ภาพที่ 7 การผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly/Multi - Crystalline Silicon) 8
ภาพที่ 8 การผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) หรืออะมอร์ฟัส (Amorphous) 9
ภาพที่ 9 โซลาร์เซลล์ แบบอิสระ (PV Stand Alone System) 11
ภาพที่ 10 โซลาร์เซลล์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) 12
ภาพที่ 11 โซลาร์เซลล์ แบบผสมผสาน (PV Hybrid System) 13
ภาพที่ 12 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนพื้นดิน (Solar Farm) 14
ภาพที่ 13 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคา (Solar Rooftop) 15
ภาพที่ 14 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาที่จอดรถ (Solar Carpark) 15
ภาพที่ 15 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนผืนน้ำ (Solar Floating) 16
ภาพที่ 16 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนทะเล (Solar Floating on Sea) 17
ภาพที่ 17 แสดงการเกิดขยะในกระบวนการตั้งแต่การผลิตติดตั้งจนถึงเมื่อแผงโซลาร์เซลล์หมดอายุหรือเสื่อมสภาพจากการใช้งาน 19

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 18 วัฏจักรของแผงโซลาร์เซลล์ 21
ภาพที่ 19 ลักษณะของการหมดอายุหรือเสื่อมสภาพของ
แผงโซลาร์เซลล์ 22
ภาพที่ 20 ส่วนประกอบต่างๆของแผงโซลาร์เซลล์ 23
ภาพที่ 21 แผงโซลาร์เซลล์ที่ถูกนำไปเผาด้วยความร้อน 600
องศาเซลเซียส 23
ภาพที่ 22 โครงสร้างของโซลาร์เซลล์ กลุ่มที่มีซิลิกอน 24
ภาพที่ 23 กระบวนการกัดและล้างชั้นป้องกันการสะท้อนแสงของ
โซลาร์เซลล์ กลุ่มที่มีซิลิกอน 24
ภาพที่ 24 ผลึกโซลาร์เซลล์ที่ผ่านการกัดชั้นป้องกันการ
สะท้อนแสงแล้วถูกนำมาหลอมใหม่อีกครั้ง 25
ภาพที่ 25 แผนผังกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของ
แผงโซลาร์เซลล์ กลุ่มที่มีซิลิกอน 25
ภาพที่ 26 ขั้นตอนการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์
กลุ่มฟิล์มบาง (Thin Film Based) ที่ไม่มีซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ 27
ภาพที่ 27 การลงนามความร่วมมือกรมโรงงานอุตสาหกรรมและการไฟฟ้า
ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 28

บทที่ 1
ความรู้เกี่ยวกับโซลาร์เซลล์

ความรู้เกี่ยวกับโซลาร์เซลล์

1. ประวัติความเป็นมาของโซลาร์เซลล์

โซลาร์เซลล์มีกำเนิดในช่วงปี ค.ศ.1950 ที่ Bell Telephone Laboratory ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีวัตถุประสงค์เบื้องต้นเพื่อผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในโครงการอวกาศ ต่อจากนั้นจึงได้เริ่มมีการนำโซลาร์เซลล์มาใช้อย่างกว้างขวาง และขยายผลสู่ระดับอุตสาหกรรมของโลก เมื่อประมาณปลายทศวรรษที่ 50 เป็นต้นมา โดยในระยะแรกโซลาร์เซลล์จะมีราคาแพงมากจึงจำกัดการใช้งานอยู่เฉพาะในงานวิทยุสื่อสาร และไฟฟ้าแสงสว่าง ขนาดเล็กในพื้นที่ห่างไกลเท่านั้น

โซลาร์เซลล์ คือสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon) แกลเลี่ยม อาร์เซไนต์ (Gallium Arsenide) อินเดียมฟอสไฟต์ (Indium Telliuide) แคดเมียมเทลเลอไรด์ (Cadium Telluride) และคอปเปอร์ (Copper) อินเดียม (Indium) ไดเซเลไนต์ (Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิด แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของโซลาร์เซลล์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ก็จะทำให้สามารถทำงานได้

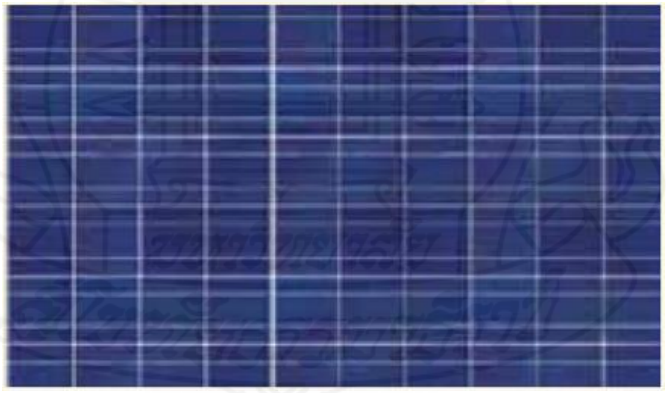
2. ประเภทของโซลาร์เซลล์

โซลาร์เซลล์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

1) กลุ่มโซลาร์เซลล์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็นรูปผลึก (Crystalline) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single/Mono - Crystalline Silicon) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly/Multi - Crystalline Silicon) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึกคือชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) หรือบางทีก็จะเรียกอีกชื่อว่าอะมอร์ฟัส (Amorphous) กลุ่มโซลาร์เซลล์ประเภทนี้ปัจจุบันมีประสิทธิภาพ 8 - 12%

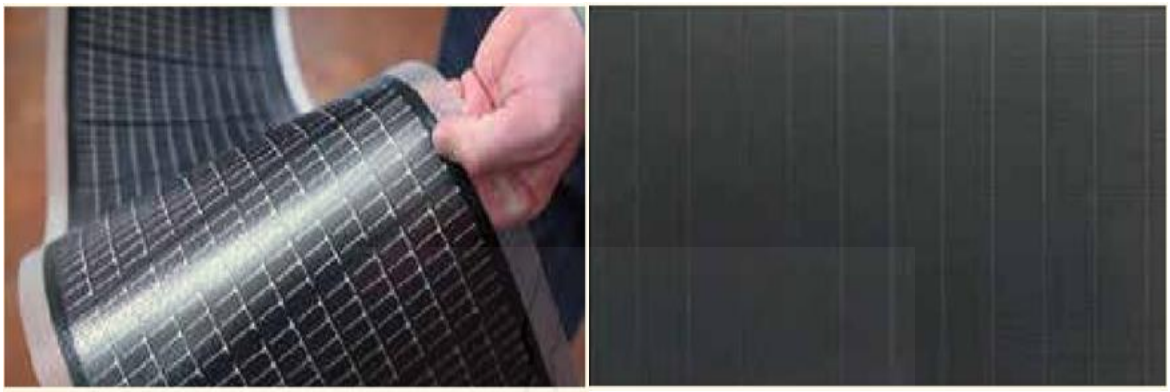
2) กลุ่มโซลาร์เซลล์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้จะเป็นโซลาร์เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมากไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลกจึงใช้งานสำหรับดาวเทียม และระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนากระบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต ซึ่งปัจจุบันมีการนำโซลาร์เซลล์ประเภทนี้มาใช้เพียง 7% ของปริมาณโซลาร์เซลล์ที่มีใช้งานทั้งหมด

ภาพที่ 1 ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single/Mono - Crystalline Silicon)
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)



ภาพที่ 2 ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly/Multi - Crystalline Silicon)
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

(3)

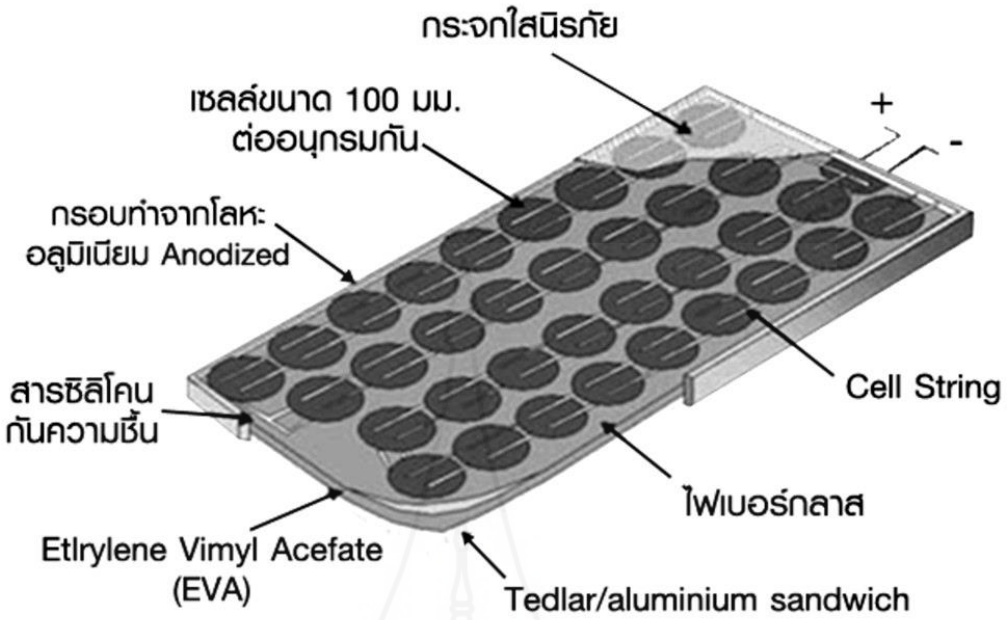


ภาพที่ 3 ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) หรือ อะมอร์ฟัส (Amorphous)
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

3. เซลล์แสงอาทิตย์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรืออีกชื่อที่ใช้เรียกกันว่า โซลาร์เซลล์กับแผงโซลาร์เซลล์

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ (Solar module หรือ Solar panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วยแผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กต่ำซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดีและยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดีมาก เพราะจะต้องอยู่กลางแดดกลางฝนเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคน และ EVA (Etlrylene Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง

แต่บางครั้งก็ไม่มีความจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบซึ่งสะดวกในการติดตั้ง และใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 4



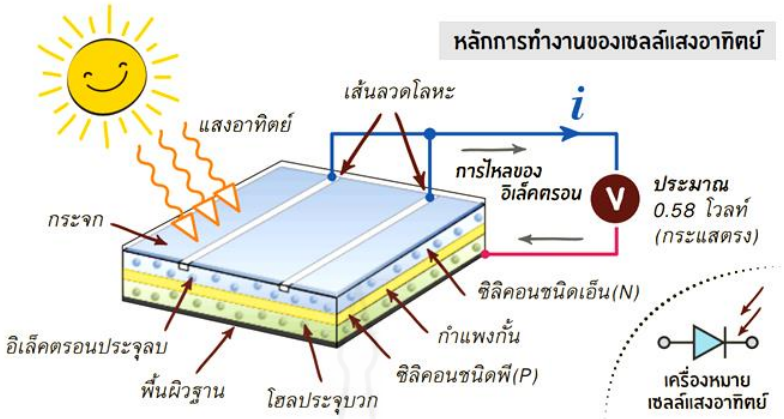
ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของแผงโซลาร์เซลล์

ที่มา : ดัดแปลงจาก การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ กองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

4. หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์

การทำงานของโซลาร์เซลล์เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบ กับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าอิเล็กตรอน (Electron) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้โดยเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบโซลาร์เซลล์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอน (Electron) และโฮล (Hole) โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิด อิเล็กตรอน (Electron) ไปที่ขั้วลบและพาหะนำไฟฟ้าชนิด โฮล (Hole) ไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น ซึ่งสามารถแสดงภาพหลักการทำงานได้ดังภาพที่ 5

(5)



ภาพที่ 5 หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

5. ลักษณะเด่นของโซลาร์เซลล์ในการนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า

1) ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือแสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาด และบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ

2) เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้ อย่างคุ้มค่าและไม่มีวันหมดไปจากโลกนี้

3) สามารถนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้โดยตรง

4) ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์ รวมถึงไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ

5) ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม

6) ไม่เกิดเสียงและไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่เกิดมลภาวะด้านเสียง

7) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และไม่มีชิ้นส่วนใดที่มีการเคลื่อนไหวขณะทำงาน จึงไม่เกิดการสึกหรอ

8) ต้องการบำรุงรักษาน้อยมาก อายุการใช้งานยืนยาวและมีประสิทธิภาพคงที่

9) มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว และเนื่องจากมีลักษณะเป็นโมดูล จึงสามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ

10) ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ ฯลฯ

บทที่ 2
กระบวนการผลิตแผงโซลาร์เซลล์

ชนิดของโซลาร์เซลล์ แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ

1. การผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single/Mono - Crystalline Silicon)

มีขั้นตอนดังนี้

1) นำเอาซิลิคอนซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.999%) ไปหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 ºC เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 - 8 นิ้ว) จากต้นผลึก (Seed Crystal)

2) ดึงผลึกคุณภาพของผลึกเดี่ยวจะสำคัญมากต่อคุณสมบัติของโซลาร์เซลล์

3) นำแท่งผลึกเดี่ยวนี้ไปตัดเป็นแผ่นๆ เรียกว่า เวเฟอร์ หนาประมาณ 300 ไมโครเมตร

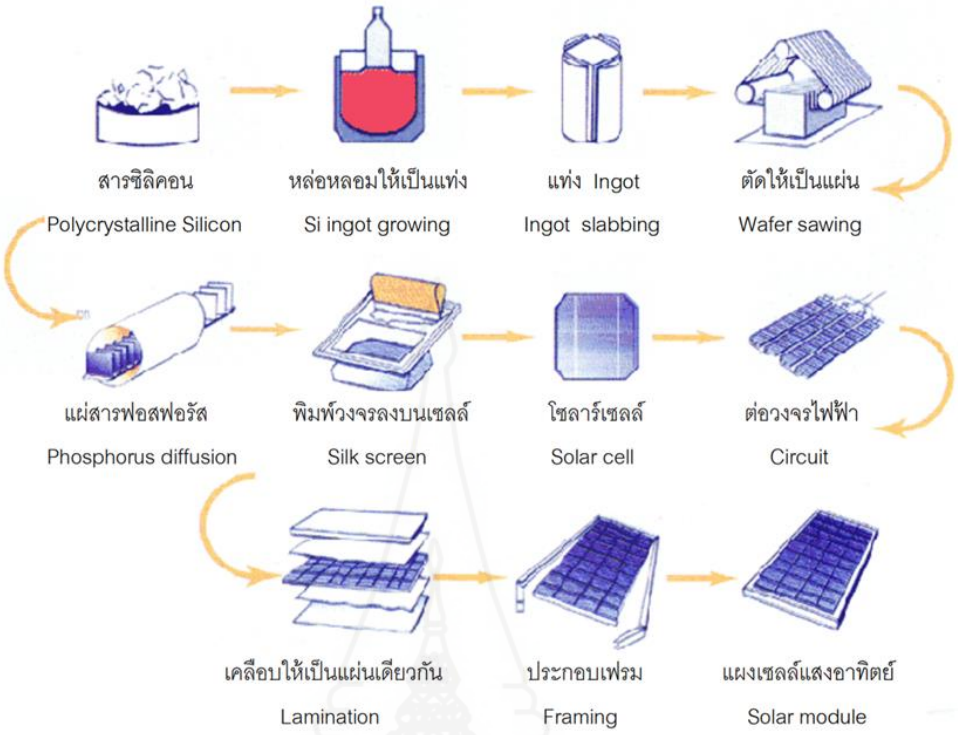
4) ขัดความเรียบของผิว

5) นำไปเจือสารที่จำเป็นในการทำให้เกิดเป็น P-N Junction ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธีการ Diffusion ที่อุณหภูมิระดับ 1,000 ºC

6) ทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟออกใช้

7) เคลือบฟิล์มผิวหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุด ในขั้นตอนนี้จะได้เซลล์ที่พร้อมใช้งาน แต่เนื่องจากในการใช้งานจริงจะต้องนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกัน เพื่อเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ได้ตามต้องการ

8) นำไปประกอบเข้าแผงโดยใช้กระจกเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์ และใช้ ซิลิโคน และอีวีเอ (Etlrylene Vinyl Acetate) ช่วยป้องกันความชื้น



ภาพที่ 6 การผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน

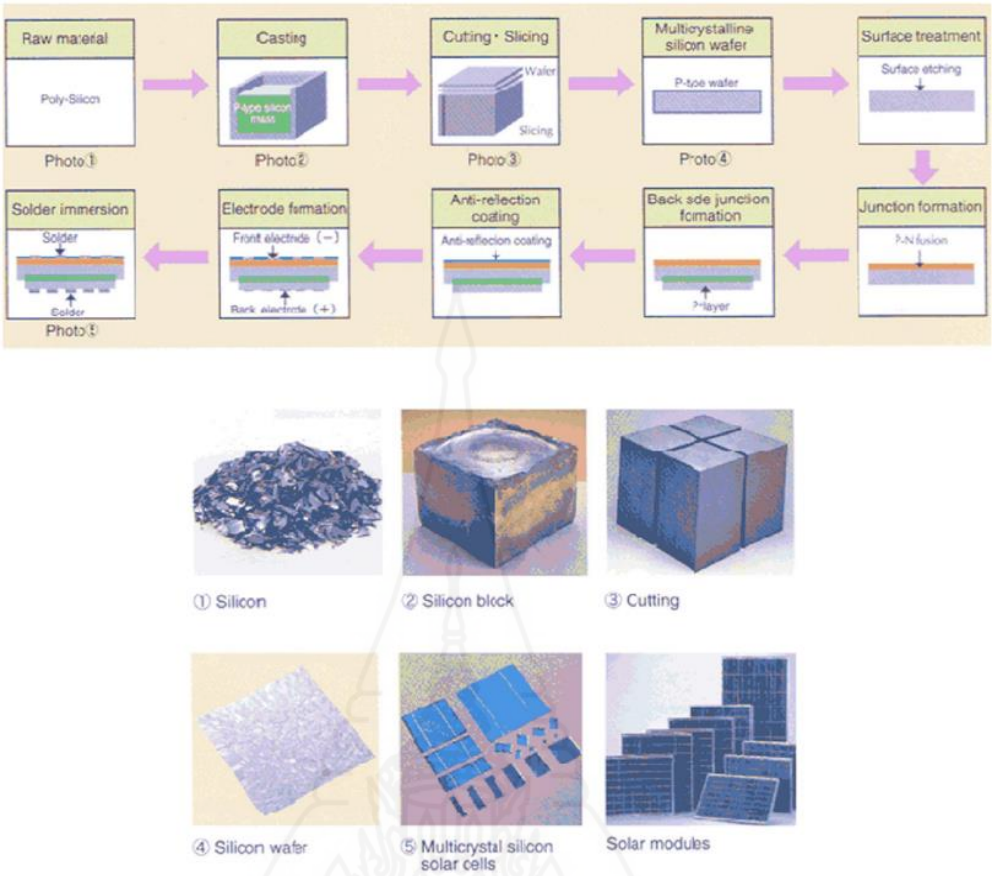
(Single/Mono - Crystalline Silicon)

ที่มา : ดัดแปลงจาก คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

2. การผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly/Multi - Crystalline Silicon)

มีขั้นตอนดังนี้

1) นำซิลิคอนที่ถลุงและหลอมละลายเป็นของเหลวแล้วมาเทลงในแบบพิมพ์
2) เมื่อซิลิคอนแข็งตัว จะได้เป็นแท่งซิลิคอนเป็นแบบผลึกรวม
3) นำมาตัดเป็นแผ่นๆ เรียกว่า เวเฟอร์ หนาประมาณ 300 - 400 ไมโครเมตร
4) นำมาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่างๆ
5) ทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยวิธีการ เช่นเดียวกับที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว



ภาพที่ 7 การผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน

(Poly/Multi - Crystalline Silicon)

ที่มา : คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

3. การผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) หรือ อะมอร์ฟัส (Amorphous)

โซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) หรืออะมอร์ฟัส (Amorphous) มีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิงโดยจะเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบาง ไม่ใช่เวเฟอร์ ซึ่ง

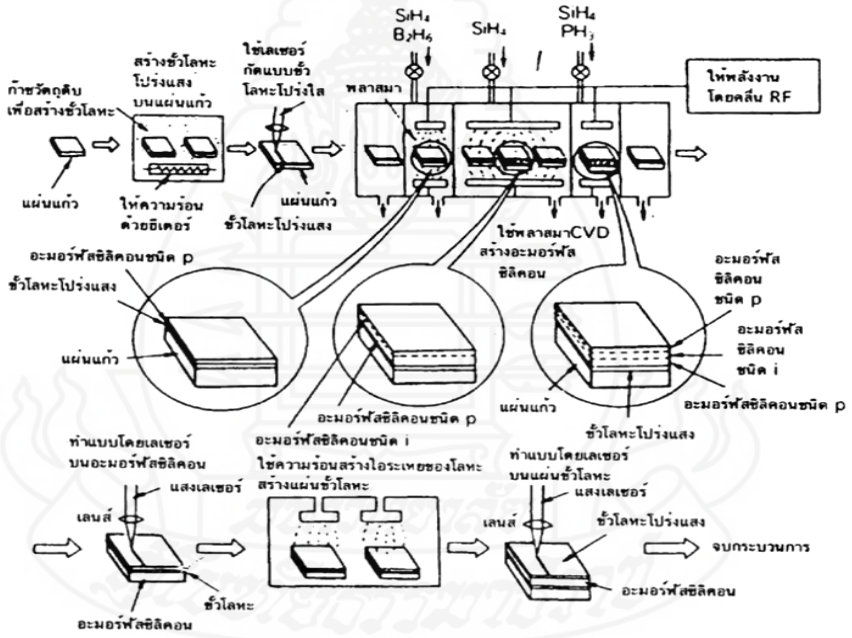
มีขั้นตอนดังนี้

1) สร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรอง โดยใช้เทคนิคที่ใช้ในการผลิตมีหลายเทคนิค แต่ที่นิยมใช้กันมากคือเทคนิคที่มีชื่อเรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมีระบบนำก๊าซที่เป็นสารประกอบประเภทซิลิคอน เช่นก๊าซไซเลน (SiH_4) ผ่านเข้าไปในท่อสุญญากาศ

2) ก๊าซจะถูกทำการกระตุ้นด้วยวิธีต่างๆ เช่น โดยพลาสมาเพื่อส่งพลังงานให้ก๊าซสารประกอบซิลิคอนแยกตัว และซิลิคอนเข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรองที่ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 200 - 300 ºC โดยแผ่นฐานรองส่วนใหญ่จะเป็น แก้ว สเตนเลส หรือพลาสติก ซึ่งได้ทำการเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสงไว้ก่อน

3) ซิลิคอนจะทับถม สะสมบนแผ่น ด้วยอุณหภูมิการผลิตที่ไม่สูงมากซิลิคอนที่เกิดจึงเป็นแบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน ในขั้นตอนนี้หากใส่ก๊าซที่มี Boron เช่น B_2H_6 เข้าไปด้วยก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด P และถ้าหากใส่ก๊าซที่มี Phosphorus เช่น PH_3 ก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด N ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้จะสามารถควบคุมการไหลของก๊าซเพื่อสร้างให้เกิดชั้นของ Pin อะมอร์ฟัสซิลิคอนขึ้นได้อย่างง่าย

4) หลังจากได้ โครงสร้าง Pin แล้วก็จะสร้างส่วนของขั้วไฟฟ้า ให้เสร็จเป็นเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 8 การผลิตโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) หรือ
อะมอร์ฟัส (Amorphous)

ที่มา : การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2560)

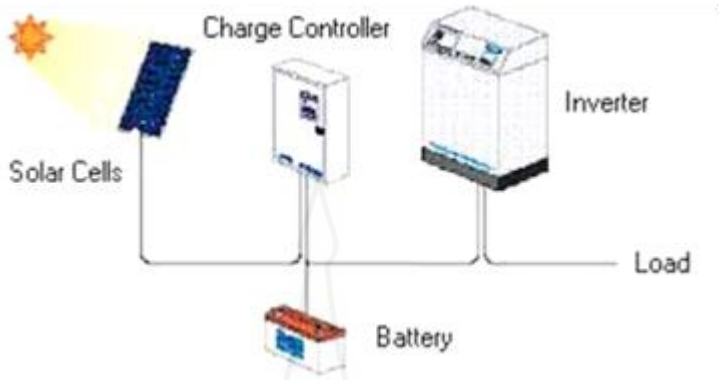
บทที่ 3
การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์เพื่อใช้งาน แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

1. โซลาร์เซลล์ แบบอิสระ (PV Stand Alone System)
2. โซลาร์เซลล์ แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System)
3. โซลาร์เซลล์ แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

1. โซลาร์เซลล์ แบบอิสระ (PV Stand Alone System)

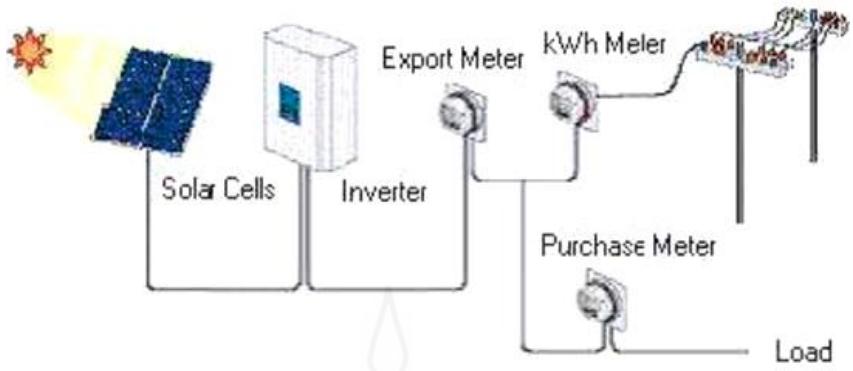
เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ แบบอิสระ ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจาก National Grid โดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา กล่าวคือ ช่วงเวลากลางวัน โซลาร์เซลล์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมๆ กัน ส่วนในช่วงกลางคืน โซลาร์เซลล์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้น พลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหลด จึงสามารถกล่าวได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ แบบอิสระสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วย แผงโซลาร์เซลล์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Stand Alone เป็นต้น



ภาพที่ 9 โซลาร์เซลล์ แบบอิสระ (PV Stand Alone System)
ที่มา : คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

2. โซลาร์เซลล์ แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System)

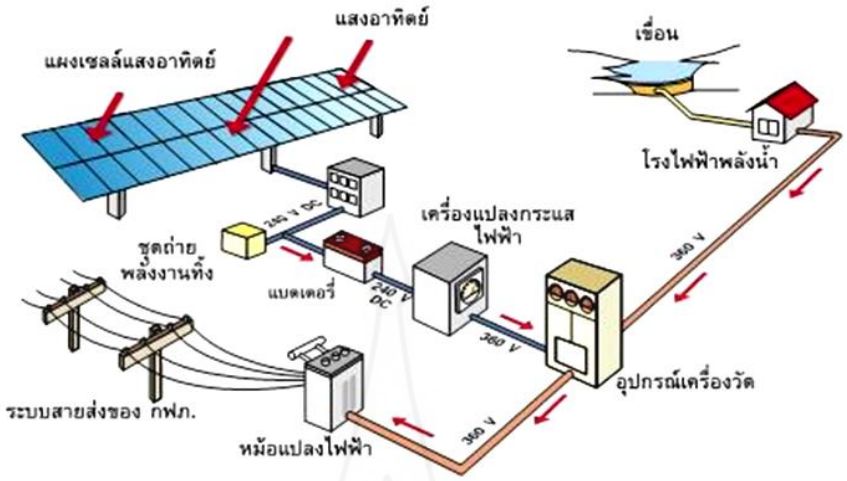
เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National Grid โดยตรง มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน โซลาร์เซลล์ ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า สังเกตได้เนื่องจากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนกลับทาง ส่วนในช่วงกลางคืนโซลาร์เซลล์ ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง สังเกตได้จากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนปกติ ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้งานโซลาร์เซลล์ ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า Grid Connected เป็นต้น



ภาพที่ 10 โซลาร์เซลล์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System)
ที่มา : คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

3. โซลาร์เซลล์ แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบโซลาร์เซลล์ กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบโซลาร์เซลล์ กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ เช่น ระบบโซลาร์เซลล์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล มีหลักการทำงาน กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน โซลาร์เซลล์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ จะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Multi Function ทำงานร่วมกับไฟฟ้าจากพลังงานลม จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลดพร้อมทั้งทำงานประจุไฟฟ้าส่วนที่เกินไว้ในแบตเตอรี่ ในกรณีพลังงานลมต่ำไม่สามารถผลิตไฟฟ้าหรือเวลากลางคืนไม่มีไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ ชุดแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลด และกรณีแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้ามากจนถึงพิกัดที่ออกแบบไว้ เครื่องยนต์ดีเซลจะทำงานโดยอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์สำรองพลังงาน กล่าวคือจะจ่ายกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่โดยตรงและแบ่งจ่ายให้แก่โหลดพร้อมกัน หากโหลดมีมากเกินไประบบจะหยุดทำงานทันที และจะทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อโซลาร์เซลล์ หรือพลังงานลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ได้ปริมาณตามพิกัดที่ออกแบบไว้พร้อมทั้งขนาดโหลดอยู่ในพิกัดที่ชุดแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้



ภาพที่ 11 โซลาร์เซลล์ แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

ที่มา : คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

รูปแบบต่างๆ ของการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ใช้งานในปัจจุบัน

1. การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนพื้นดิน (Solar Farm)

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนพื้นดิน หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าโซลาร์ฟาร์ม (Solar Farm) คือ การนำแผงโซลาร์เซลล์มาติดตั้งบนพื้นดิน มีทั้งแบบยึดติดอยู่กับที่ (Fixed System) หรือ แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ (Tracking System) เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งาน หรือนำไปจำหน่ายให้กับหน่วยงานภาครัฐ หรือเอกชน การติดตั้งโซลาร์ฟาร์ม (Solar Farm) นี้จำเป็นต้องใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก ในการผลิตไฟฟ้า 1 เมกะวัตต์จะใช้พื้นที่ไม่น้อยกว่า 5 ไร่ และการติดตั้งควรจะเป็นที่โล่งแจ้ง ไม่มีเงามาบังแผงโซลาร์เซลล์ ไม่อยู่ใกล้สถานที่เกิดฝุ่น

ภาพที่ 12 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนพื้นดิน (Solar Farm)
ที่มา : รู้จักโซลาร์เซลล์ระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

2. การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคา (Solar Rooftop)

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคา หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าโซลาร์รูฟท็อป (Solar Rooftop) คือ การนำแผงโซลาร์เซลล์มาติดตั้งบนหลังคา มีข้อดีคือช่วยบังแสงแดด และลดความร้อนของหลังคา ลดค่าไฟฟ้า ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ระบบแสงสว่าง นิยมนำไปติดตั้งบนหลังคาที่พักอาศัย โรงงานอุตสาหกรรม หรือตามอาคารต่างๆ เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งาน โดยใช้เองภายในอาคารโรงงาน หรือนำไปจำหน่ายให้กับหน่วยงานภาครัฐ หรือเอกชน

ภาพที่ 13 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคา (Solar Rooftop)
ที่มา : รู้จักโซลาร์เซลล์ระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (ม.ป.ป.)

3. การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาที่จอดรถ (Solar Carpark)

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาที่จอดรถ (Solar Carpark) คือ การนำแผงโซลาร์เซลล์มาติดตั้งบนโครงหลังคาโรงจอดรถ เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้วนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งาน หรือนำไปจำหน่ายให้กับหน่วยงานภาครัฐ หรือเอกชน เช่นเดียว กับโซลาร์ฟาร์ม (Solar Farm) และโซลาร์รูฟท็อป (Solar Rooftop)

ภาพที่ 14 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาที่จอดรถ (Solar Carpark)
ที่มา : บริษัท ดับบลิวเอชเอ ยูทิลิตี้ส์ แอนด์ พาวเวอร์ จำกัด (มหาชน) (ม.ป.ป.)

(16)

4. การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนผืนน้ำ (Solar Floating)

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนผืนน้ำ หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าโซลาร์เซลล์ลอยน้ำ (Floating Solar) คือ การนำแผงโซลาร์เซลล์มาติดตั้งบนโครงสร้างทุ่นที่ลอยอยู่บนผืนน้ำ เช่น แม่น้ำ คลอง หนอง บึง หรือทะเลสาบ เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งาน หรือนำไปจำหน่าย ซึ่งการติดตั้งแบบนี้ ถือว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าการติดตั้งแบบอื่น เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม หรืออุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่จำกัด ใช้พื้นที่ว่างเปล่าให้เป็นประโยชน์ และยังมีข้อดีที่เป็นจุดเด่นคือไม่ต้องใช้ที่ดิน ต้นทุนใกล้เคียงกัน ไม่ต้องสูญเสียที่ดินโดยเปล่าประโยชน์ การติดตั้งและการรื้อถอนสามารถทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้อุปกรณ์หนักในการติดตั้ง คุณภาพของน้ำจะดีขึ้นลดการระเหยได้ถึง 80% เพราะแผงโซลาร์เซลล์ปกคลุมไว้ ใช้โครงสร้างแบบลอยตัวทำให้มีกลไกระบายความร้อนจึงทำงานดีขึ้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ ได้ถึง 8 - 10 % และสามารถปรับแผงโซลาร์เซลล์เพื่อรับแสงอาทิตย์ได้ง่าย

ภาพที่ 15 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนผืนน้ำ (Solar Floating)
ที่มา : ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำบริเวณเขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2561)

5. การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนทะเล (Solar Floating on Sea)

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนทะเล (Solar Floating on Sea) คือ การนำแผงโซลาร์เซลล์มาติดตั้งบนโครงสร้างทุ่นที่ลอยอยู่บนทะเล เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แล้วนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งาน หรือนำไปจำหน่าย การติดตั้งด้วยวิธีนี้ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น คลื่น และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ ดังนั้นการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนผืนน้ำจะต้องยึดทุ่นให้อยู่กับที่ตลอดเวลาที่น้ำขึ้น น้ำลง เพราะสิ่งเหล่านี้อาจก่อความเสียหายและทำให้แผงโซลาร์เซลล์ต้องหยุดดำเนินการได้ และการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์นอกชายฝั่งยังมีต้นทุนสูงอยู่ในปัจจุบัน

ภาพที่ 16 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนทะเล
(Solar Floating on Sea)
ที่มา : บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (ม.ป.ป.)

การประยุกต์ใช้งานโซลาร์เซลล์ ในด้านต่างๆ

การนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติมาทดแทนพลังงานรูปแบบอื่นๆ ได้รับความสนใจและเป็นที่นิยมมากขึ้น สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างมากมายในการดำรงชีวิต รวมถึงไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อม แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

(18)

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลแสดงการประยุกต์ใช้งานโซลาร์เซลล์ ในด้านต่างๆ

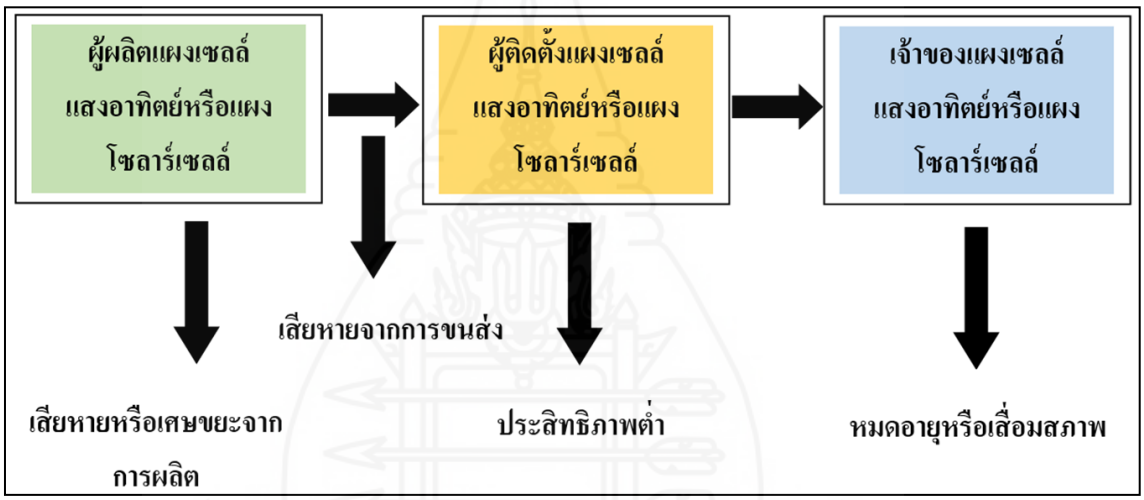
1. บ้านพักอาศัย	ระบบแสงสว่างภายในบ้าน ระบบแสงสว่างนอกบ้าน(เช่น ไฟสนาม ไฟโรงจอดรถ และโคมไฟรั้วบ้าน ฯลฯ) อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ระบบเปิด - ปิดประตูบ้าน ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบระบายอากาศ เครื่องสูบน้ำ เครื่องกรองน้ำ และไฟสำรองยามฉุกเฉิน ฯลฯ
2. ระบบสูบน้ำ	อุปโภค สาธารณูปโภค ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เพาะปลูก ทำสวน - ไร่ เหมืองแร่ และชลประทาน ฯลฯ
3. ระบบแสงสว่าง	โคมไฟป้ายรถเมล์ ตู้โทรศัพท์ ป้ายประกาศ สถานที่จอดรถ แสงสว่างภายนอกอาคาร และไฟถนนสาธารณะ ฯลฯ
4. ระบบประจุแบตเตอรี่	ไฟสำรองไว้ใช้ยามฉุกเฉิน ศูนย์ประจุแบตเตอรี่ประจำหมู่บ้านในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ แหล่งจ่ายไฟสำหรับใช้ในครัวเรือนและระบบแสงสว่างในพื้นที่ห่างไกล ฯลฯ
5. ทำการเกษตร	ระบบสูบน้ำ พัดลมอบผลผลิตทางการเกษตร และเครื่องนวดข้าว ฯลฯ
6. เลี้ยงสัตว์	ระบบสูบน้ำ ระบบเติมออกซิเจนในบ่อน้ำ (เช่น บ่อกุ้งและบ่อปลา) และแสงไฟดักจับแมลง ฯลฯ
7. อนามัย	ตู้เย็น/กล่องทำความเย็นเพื่อเก็บยาและวัคซีน อุปกรณ์ไฟฟ้าทางการแพทย์ สำหรับหน่วยอนามัย หน่วยแพทย์เคลื่อนที่ และสถานีอนามัย ฯลฯ
8. คมนาคม	สัญญาณเตือนทางอากาศ ไฟนำร่องทางขึ้น - ลงเครื่องบิน ไฟประภาคาร ไฟนำร่องเดินเรือ ไฟสัญญาณข้ามถนน สัญญาณจราจร โคมไฟถนน และโทรศัพท์ฉุกเฉิน ฯลฯ
9. สื่อสาร	สถานีทวนสัญญาณไมโครเวฟ อุปกรณ์โทรคมนาคม อุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา(เช่น วิทยุสนามของหน่วยงานบริการและทหาร) และสถานีตรวจสอบอากาศ ฯลฯ
10. บันเทิงและพักผ่อนหย่อนใจพื้นที่ห่างไกล	แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับบ้านพักตากอากาศในพื้นที่ห่างไกล ระบบประจุแบตเตอรี่แบบพกพาติดตัวไปได้ และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ความบันเทิง ฯลฯ
11. พื้นที่ห่างไกล	ภูเขา เกาะ ป่าลึก และพื้นที่สายส่งการไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ฯลฯ
12. อวกาศ	ดาวเทียม

ที่มา : ดัดแปลงจาก LEONICS บริษัท ลีโอนิคส์ จำกัด (ม.ป.ป.)

บทที่ 4
การจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

ขยะที่เกิดจากแผงโซลาร์เซลล์

ในการผลิตการติดตั้งและการนำแผงโซลาร์เซลล์ไปใช้นั้นย่อมมีเศษเสียหาย หรือเศษขยะที่ถูกปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการต่างๆ รวมถึงเมื่อแผงโซลาร์เซลล์หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพจากการใช้งานด้วย



ภาพที่ 17 แสดงการเกิดขยะในกระบวนการตั้งแต่การผลิตติดตั้งจนถึงเมื่อแผงโซลาร์เซลล์หมดอายุหรือเสื่อมสภาพจากการใช้งาน

ที่มา : ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

ซึ่งเมื่อพิจารณาตัวแผงโซลาร์เซลล์ลงไปในรายละเอียดแล้วพบว่าแผงโซลาร์เซลล์นั้นมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน ที่จะกลายเป็นขยะเมื่อมีการทิ้งออกไป ทั้งนี้ส่วนประกอบนั้นขึ้นอยู่กับผู้ผลิตว่าใช้เทคโนโลยีในการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ หรือลดค่าใช้จ่ายอย่างไรบ้าง โดยแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันตามลักษณะโครงสร้างและวัสดุที่ใช้ ซึ่งสามารถจำแนกองค์ประกอบของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดซิลิคอนผลึก และชนิดฟิล์มบาง แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2

(20)

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลแสดงองค์ประกอบของแผงโซลาร์เซลล์

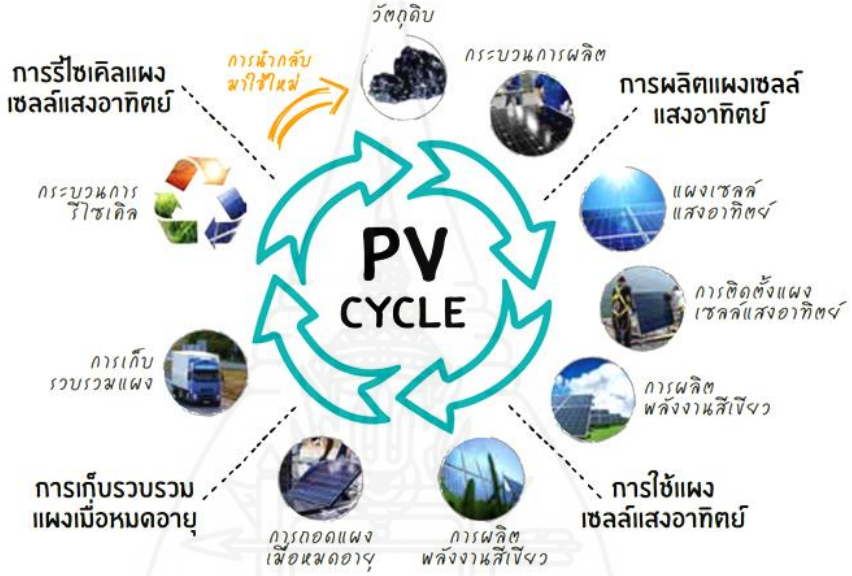
องค์ประกอบของแผงโซลาร์เซลล์	**ชนิดผลึกซิลิคอน** (Crystalline Silicon)	**ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน** (Amorphous Silicon Solar Cell: A-Si)	**ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์** (Cadmium Telluride : CdTe)	**ชนิดคอปเปอร์อินเดียมแกลเลี่ยมไดเซเลไนต์** (Copper Indium Gallium diSelenide: CIGS
ส่วนประกอบ (ร้อยละโดยประมาณ)				
กระจก	80	85	96	81
กรอบอลูมิเนียม	10	10	< 0.01	12
ซิลิคอน	3	< 0.1		
วัสดุห่อหุ้ม (EVA)	6.5	5	3.5	6
วัสดุ Tedlar	0.12	< 0.1	0.01	0.12
กาวเชื่อมประสาน	< 0.1	< 0.1	< 0.01	< 0.1
เอ็มดีไอ				
ทองแดง (Copper)	0.6			0.85
ดีบุก			1.0	0.02
สังกะสี				0.03
ตะกั่ว			0.07	
แคดเมียม (Cadmium)			0.07	
โลหะเงิน (Silver)	< 0.006		< 0.01	

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

ปัจจุบันอุปกรณ์หลักที่จะเกิดเป็นขยะจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า และแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และหม้อแปลงกระแสไฟฟ้านับเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะถูกส่งต่อให้กับผู้รับกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์เพื่อแยกชิ้นส่วนและส่งต่อไปกำจัดหรือรีไซเคิลต่อไปตามกระบวนการที่เหมาะสม แต่สำหรับแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นในปริมาณมากนั้น ในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดกระบวนการบริหารจัดการที่เหมาะสมและตั้งโรงงานกำจัดภายในประเทศไทย

(21)

เป็นที่ทราบกันดีว่าโซลาร์เซลล์โดยทั่วไปจะมีอายุการใช้งานประมาณ 20 - 25 ปี และภายหลังจากที่ผ่านการใช้งานจนครบอายุการใช้งานแล้วนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการจัดการกับขยะแผงโซลาร์เซลล์ที่เกิดขึ้น ตามวัฏจักรหมุนเวียนของการนำแผงโซลาร์เซลล์ มาใช้งานกระทั่งนำเข้าสู่กระบวนการนำมาผลิตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ คือสามารถนำวัตถุดิบหลักกลับมาเข้าสู่กระบวนการคัดแยกทำให้ได้ชิ้นส่วนต่างๆ ที่สามารถนำกลับมาผลิตเป็นแผงโซลาร์เซลล์ได้อีกครั้ง โดยวัฏจักรของแผงโซลาร์เซลล์แสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 วัฏจักรของแผงโซลาร์เซลล์

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

ลักษณะของการหมดอายุหรือเสื่อมสภาพของแผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์ เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 20 - 25 ปี ภายหลังการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์จะมีอัตราการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ต่ำเกินกว่าการยอมรับได้ (อย่างไรก็ตามบางผู้ผลิตสามารถใช้งานได้ถึง 30 ปี) โดยลักษณะทางกายภาพของแผงโซลาร์เซลล์ก็จะเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่เริ่มติดตั้ง เช่น สีของกระจกด้านหน้าการหลุดร่อนของแผ่น Tedlar การเกิดฟองอากาศและ

ความชื้นภายในจำนวนมาก Junction Box เกิดความเสียหายขั้วต่อไฟฟ้าภายในเกิดความเสียหายเป็นต้น ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุหรือเสื่อมสภาพแล้ว โดยแสดงดังภาพที่ 19

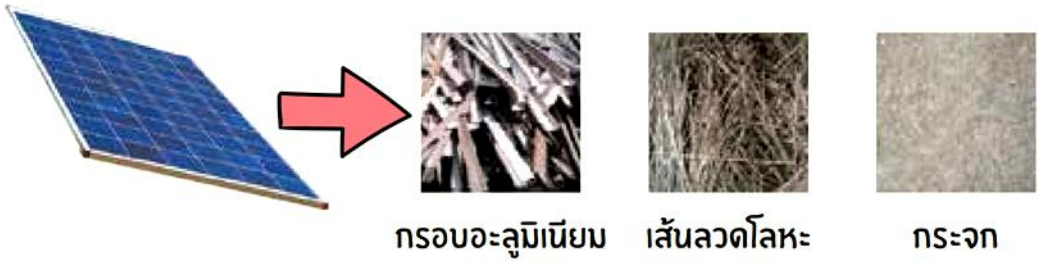
ภาพที่ 19 ลักษณะของการหมดอายุหรือเสื่อมสภาพของแผงโซลาร์เซลล์
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

ประเภทและส่วนประกอบของแผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ตามประเภทวัสดุหลักซึ่งจะต้องมีแนวทางการรีไซเคิลที่แตกต่างกัน ได้แก่ กลุ่มที่มีซิลิกอน (Silicon Based) เป็นส่วนประกอบ เช่น แผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single/Mono - Crystalline Silicon) และ แผงโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly/Multi - Crystalline Silicon) ส่วนกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มฟิล์มบาง (Thin Film Based) ที่ไม่มีซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ และไม่เป็นรูปผลึกซิลิคอน คือชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) หรืออะมอร์ฟัส (Amorphous) แต่จะมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) คอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมไดซีลีไนด์ (CIGS) คอปเปอร์อินเดียมซีลีไนด์ (CIS)

กระบวนการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ กลุ่มที่มีซิลิกอน (Silicon Based) เป็นส่วนประกอบมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) การแยกวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ วัสดุที่เป็นโลหะซึ่งประกอบไปด้วย กรอบอะลูมิเนียม เส้นลวด และกระจก สามารถนำเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลของวัสดุเหล่านั้นได้เลย



ภาพที่ 20 ส่วนประกอบต่างๆของแผงโซลาร์เซลล์

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

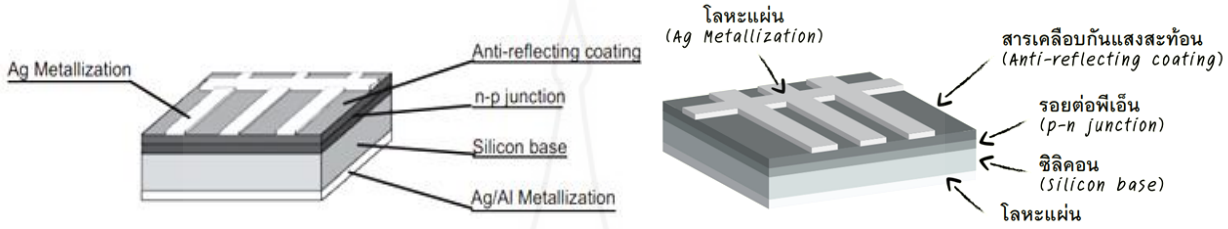
2) การแยกวัสดุอื่นๆ ด้วยความร้อน เป็นการให้ความร้อนหรือเผาโซลาร์เซลล์ ด้วยอุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียสเพื่อแยกวัสดุต่างๆ ออกจากกัน วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากรวดเร็วและประหยัด โดยเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการนี้ EVA และTedlar จะถูกเผาคงเหลือกระจกและอุปกรณ์อื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 21

ภาพที่ 21 แผงโซลาร์เซลล์ที่ถูกนำไปเผาด้วยความร้อน 600 องศาเซลเซียส

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

3) การแยกสารด้วยกระบวนการทางเคมี สำหรับตัวโซลาร์เซลล์นั้นเนื่องจากถูกเคลือบด้วยวัสดุบางชนิดเพื่อลดการสะท้อน จึงจำเป็นต้องทำการกัดเอาสารเคมีที่เคลือบด้วยกระบวนการทางเคมี ซึ่งโครงสร้างของโซลาร์เซลล์ กลุ่มที่มีซิลิกอน (Silicon Based) เป็นส่วนประกอบทั่วไป แสดงดังภาพที่ 22 โดยจะมีปัญหาที่สำคัญ คือการเลือกใช้

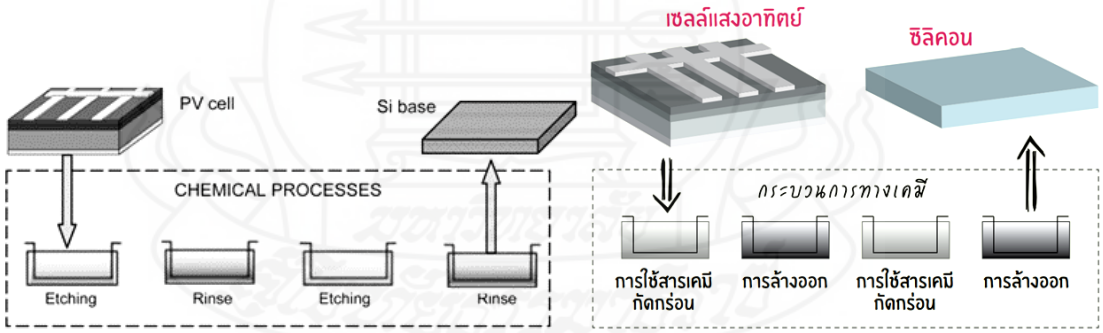
สารเคมีให้ตรงกับประเภทของสารเคมีที่ใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารป้องกันการสะท้อนจากขั้วโลหะด้านหน้าซึ่งตัวอย่างวัสดุที่มีการนำมาใช้งานได้แก่ แทนทาลัม เพนท็อกไซด์ (Ta_2O_5) ไททาเนียม ไดออกไซด์ (TiO_2) ซิลิคอน โมโนออกไซด์ (SiO) ซิลิคอน ไดออกไซด์ (SiO_2) ซิลิคอน ไนไตรด์ (Si_3N_4) อะลูมิเนียม ออกไซด์ (Al_2O_3) อินเดียม ไทรออกไซด์ (In_2O_3)



ภาพที่ 22 โครงสร้างของโซลาร์เซลล์ กลุ่มที่มีซิลิกอน

ที่มา : E. Klugmann-Radziemska, P. Ostrowski / Renewable Energym (2010)

ตัวอย่างขั้นตอนการกัดและล้างชั้นป้องกันการสะท้อนของโซลาร์เซลล์ กลุ่มที่มีซิลิกอน (Silicon Based) เป็นส่วนประกอบ แสดงดังภาพที่ 23 และเมื่อผ่านกระบวนการกัดและล้างแล้วจะได้ผงซิลิคอน เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการหลอมต่อไป



ภาพที่ 23 กระบวนการกัดและล้างชั้นป้องกันการสะท้อนแสงของโซลาร์เซลล์ กลุ่มที่มีซิลิกอน

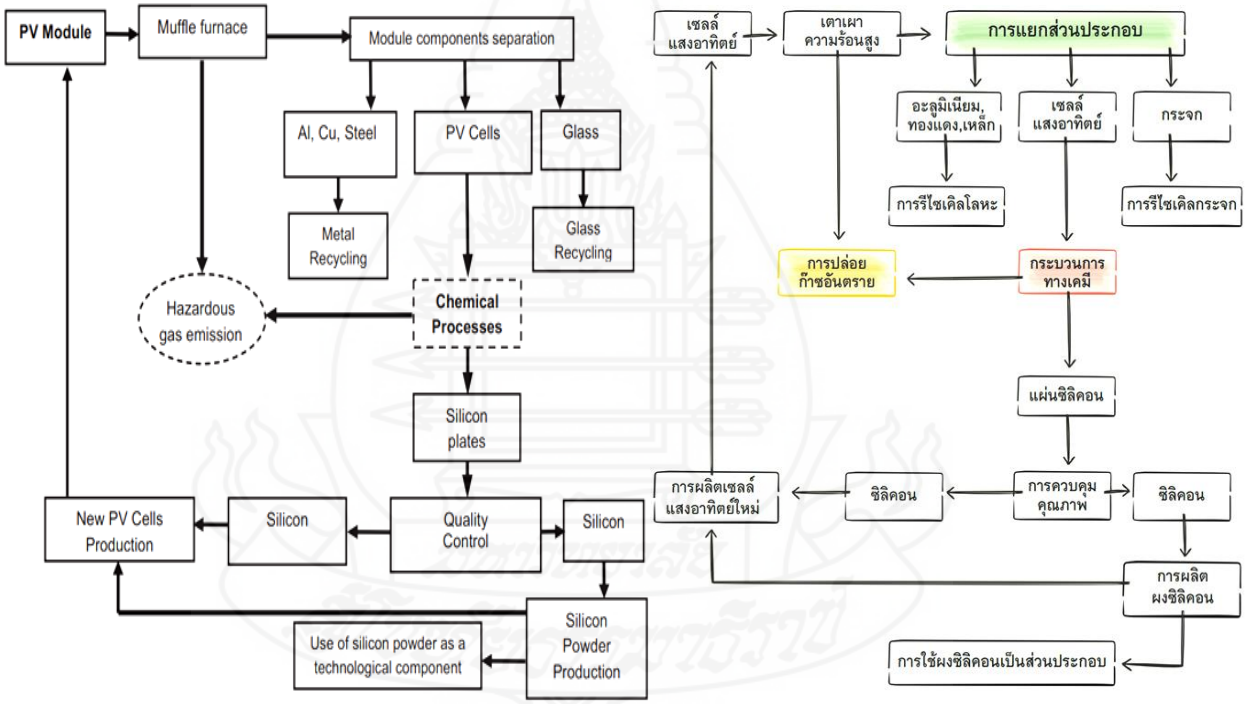
ที่มา : E. Klugmann-Radziemska, P. Ostrowski / Renewable Energy (2010)

(25)

ภาพที่ 24 ผลึกโซลาร์เซลล์ที่ผ่านการกัดชั้นป้องกันการสะท้อนแสงแล้วถูกนำมาหลอมใหม่อีกครั้ง

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการจัดการกับแผงโซลาร์เซลล์กลุ่มที่มีซิลิกอน (Silicon Based) เพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ดังแสดงในภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แผนผังกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของแผงโซลาร์เซลล์กลุ่มที่มีซิลิกอน

ที่มา : E. Klugmann-Radziemska, P. Ostrowski / Renewable Energy (2010)

กระบวนการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ กลุ่มฟิล์มบาง (Thin Film Based) ที่ไม่มีซิลิกอนเป็นส่วนประกอบมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) การบดหยาบ (Shredder) โดยจะนำแผงโซลาร์เซลล์ ที่เรียกเก็บมาจากพื้นที่ติดตั้งทำการแยกกรอบอะลูมิเนียม และกล่องพักไฟฟ้า (Junction Box) ออกแล้วนำเข้าสู่กระบวนการบดหยาบ

2) การบดละเอียด (Hammer Mill) ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการบดหยาบแล้ว กระบวนการต่อไปจะเป็นขั้นตอนการบดละเอียด โดยเมื่อเสร็จสิ้นการบดละเอียดแล้วจะทำให้ได้ชิ้นส่วนแผงโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กประมาณ 4 - 5 มิลลิเมตร ก่อนจะเข้านำเข้าสู่กระบวนการต่อไป

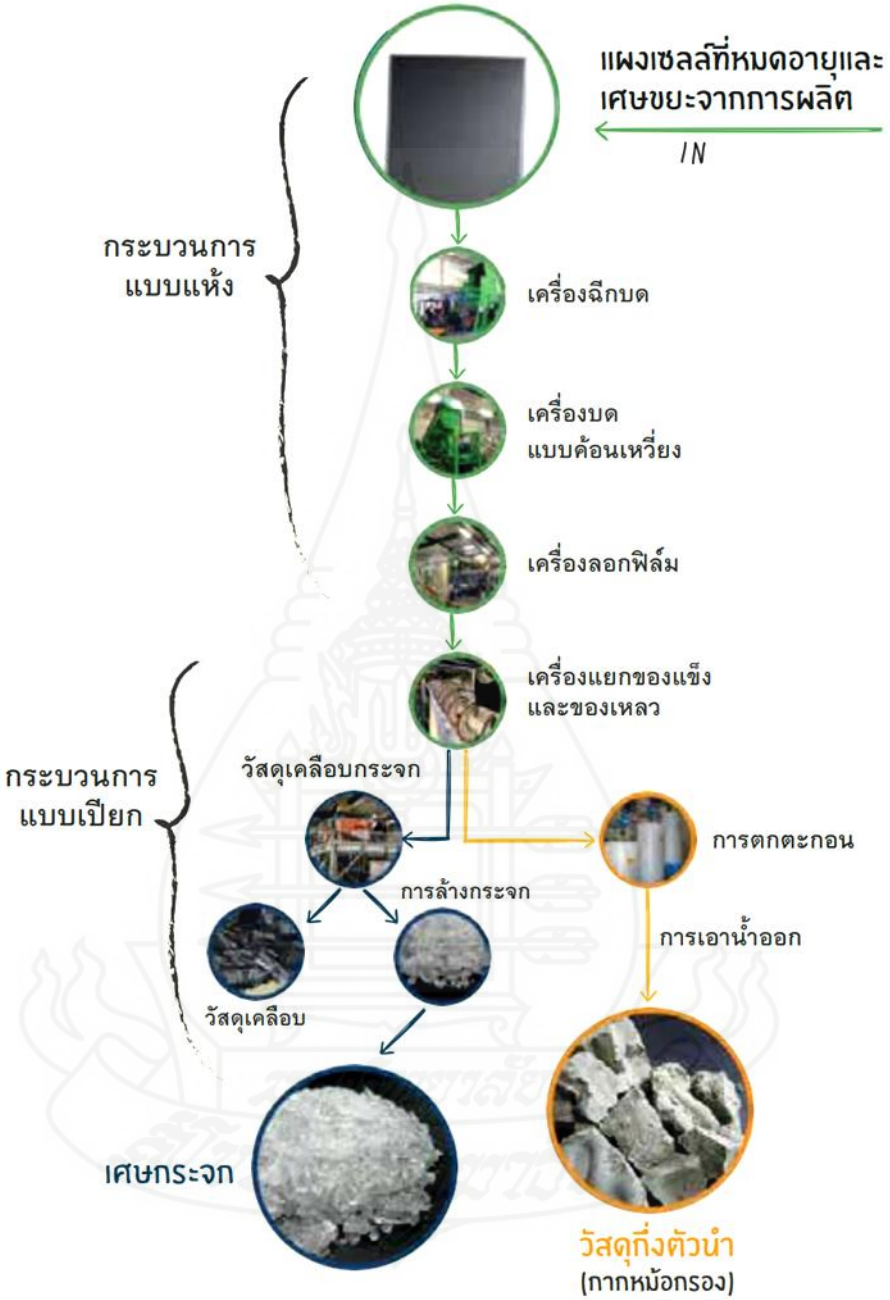
3) การลอกฟิล์ม (Film Removal) เศษแผงโซลาร์เซลล์ ที่ถูกบดละเอียดจะถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการลอกฟิล์ม โดยเศษชิ้นส่วนของโซลาร์เซลล์ จะถูกกัดด้วยกรดภายในถังปฏิกิริยาที่จะมีการหมุนอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดการกัดอย่างทั่วถึง

4) การคัดแยกระหว่างของแข็งและของเหลว (Solid - Liquid Separation) หลังจากที่ผ่านการกัดด้วยกรดแล้ว ส่วนผสมระหว่างกระจกและของเหลวที่ผ่านกระบวนการกัดจะถูกกรองและคัดแยกให้เป็นส่วนของเหลว ซึ่งจะมีส่วนประกอบของสารกึ่งตัวนำแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) และแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) จะละลายอยู่ในส่วนนี้ และในส่วนของกระจกและฟิล์มห่อหุ้มโซลาร์เซลล์ (EVA) นั้นจะถูกคัดแยกรวมกันเป็นส่วนของแข็งเพื่อเข้าสู่กระบวนการถัดไป

5) การกรองวัสดุสารกึ่งตัวนำ (Material - Rich Filter Cake) หลังจากสารละลายที่มีส่วนผสมของสารกึ่งตัวนำและตัวทำละลายถูกแยกจากกระจกและฟิล์มห่อหุ้มโซลาร์เซลล์ (EVA) แล้ว สารกึ่งตัวนำที่ปนอยู่กับของผสมระหว่างตัวทำละลายจะถูกกรองให้เหลือเฉพาะสารกึ่งตัวนำอีกครั้งซึ่ง เมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วพบว่าสามารถได้สารกึ่งตัวนำที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้อีกถึง 95%

6) การแยกของแข็ง (Glass - Laminate Screen) สำหรับส่วนของๆ แข็งที่ประกอบไปด้วยกระจกและฟิล์มห่อหุ้มโซลาร์เซลล์ (EVA) นั้นก็จะถูกคัดแยกอีกด้วยวิธีการคัดกรองด้วยการสั่นสะเทือน (Vibration Screen) อีกครั้ง จนในที่สุดเมื่อสิ้นสุดกระบวนการจะทำให้ได้กระจกประมาณ 90% ของปริมาณตั้งต้น

ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการจัดการกับแผงโซลาร์เซลล์กลุ่มฟิล์มบาง (Thin Film Based) ที่ไม่มีซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ เพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ขั้นตอนการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์กลุ่มฟิล์มบาง
(Thin Film Based) ที่ไม่มีซิลิกอนเป็นส่วนประกอบ
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560)

กล่าวสรุปจากเนื้อหาที่กล่าวมาข้างต้นเรื่องการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ สำหรับในประเทศไทยตอนนี้ยังไม่การดำเนินการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ และยังไม่มีการตั้งโรงงานรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์สำหรับรับดำเนินการ แต่ความเป็นไปได้ที่จะมีการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ รวมทั้งมีการตั้งโรงงานรับจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ เหมือนกับในต่างประเทศนั้น มีความเป็นไปได้สูง ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมพบว่าหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมโรงงานอุตสาหกรรม (กรอ.) ร่วมกับ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้เล็งเห็นอนาคตซากแผงโซลาร์เซลล์ล้นประเทศ เร่งศึกษาแนวทางกำจัดซากแผงโซลาร์เซลล์ และแบตเตอรี่ ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เพื่อความยั่งยืน พร้อมสร้างโรงงานรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ และแบตเตอรี่แบบครบวงจร เป็นโรงงานต้นแบบ ป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564)

ทั้งนี้ได้มีการลงนามความร่วมมือ และครั้งนี้ทั้งสองหน่วยงานมีวัตถุประสงค์ในการร่วมกันศึกษาแนวทางการรีไซเคิลซากแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ โดยการศึกษาในครั้งนี้จะมีการศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านนวัตกรรม เทคโนโลยี พื้นที่ตั้งโรงงานที่มีศักยภาพ ตลอดจนแนวทางการบริหารจัดการที่เหมาะสมกับระบบนิเวศ (Ecosystem) ของประเทศไทยเพื่อนำไปสู่การพัฒนาต้นแบบโรงงานรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ของประเทศ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564)

ภาพที่ 27 การลงนามความร่วมมือกรมโรงงานอุตสาหกรรมและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2564)

(29)

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2554. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์. ค้นวันที่ 18 มิถุนายน 2564 จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/h_solar.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2560. คู่มือแนวทางป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย. ค้นวันที่ 18 มิถุนายน 2564 จาก https://www.dede.go.th/download/banner_60/1_Quotation009-2560.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ม.ป.ป. การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กองถ่ายทอด และเผยแพร่เทคโนโลยี. ค้นวันที่ 18 มิถุนายน 2564 จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/_0.pdf

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2561. ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำบริเวณเขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี. ค้นวันที่ 18 มิถุนายน 2564 จาก https://www.egat.co.th/en/news-announcement/web-articles/floating-solar-power-generation-system

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2564. กรอ. - กฟผ. เดินหน้าผลักดันต้นแบบ โรงงานรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่. ค้นวันที่ 20 กรกฎาคม 2564 จาก https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=3851:2021050

กฤชนนท์ สวนจันทร์. 2560. การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

บริษัท ดับบลิวเอชเอ ยูทิลิตี้ส์ แอนด์ พาวเวอร์ จำกัด (มหาชน). ม.ป.ป. การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาที่จอดรถ. ค้นวันที่ 18 มิถุนายน 2564 จาก https://www.wha-industrialestate.com/th/media-activities/news/company-news/3253/whaup- -25-mw

(30)

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน). ม.ป.ป. การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนทะเล. ค้นวันที่ 18 มิถุนายน 2564 จาก https://www.pttplc.com/th/Media/News/Content-22232. aspx?page=5

บริษัท ลีโอนิคส์ จำกัด. ม.ป.ป. การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่างๆ. ค้นวันที่ 18 มิถุนายน 2564 จาก https://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php Renewable Energy 35 (August): 1751–1759

วีระพงษ์ การินทร์ตา (2564, 20 มิถุนายน) วิศวกรไฟฟ้า/Service Engineer. SMA Sale&Service Authorised Partner Solar Power Engineering. สัมภาษณ์โดย อนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม กรุงเทพมหานคร

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. ม.ป.ป. รู้จักโซลาร์เซลล์ระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์. ค้นวันที่ 18 มิถุนายน 2564 จาก https://www.ubu.ac.th/web/files_up/15f2015091811581070.pdf

E. Klugmann-Radziemska, P. Ostrowski. 2010. Chemical treatment of crystalline silicon solar cells as a method of recovering pure silicon from photovoltaic modules.

บทที่ 5
สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาเรื่องคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ เป็นการศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีข้อมูลจริงของประเทศไทย และข้อมูลทุติยภูมิ ที่เกี่ยวข้องกับแผงโซลาร์เซลล์ เช่น การผลิต การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อจัดทำเป็นคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ เพื่อเสนอเป็นแนวทางในการจัดการแผงโซลาร์เซลล์ เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือแบบประเมินการตรวจสอบคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ โดยผ่านการตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่านเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาพัฒนาและปรับปรุงคู่มือ กลุ่มเป้าหมายคือบุคลากรที่ปฏิบัติงานอยู่ในแวดวงธุรกิจโซลาร์เซลล์ และรวมถึงผู้ใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ นำปัญหาจากการรับรู้ และจากการประเมินมาวิเคราะห์และหาแนวทางแก้ไข ปรับปรุงให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานคู่มือ ซึ่งผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผล
3. ข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

การจัดทำคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ สำหรับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ผู้ศึกษามีวัตถุประสงค์จัดทำคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ เพื่อใช้เป็นคู่มือและเป็นแนวทางให้กับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์

ขั้นตอนในการดำเนินการจัดทำคู่มือ เริ่มจากการศึกษาแนวทางในการจัดทำคู่มือ วางแผนในการดำเนินการจัดทำคู่มือ ดำเนินการจัดทำคู่มือ โดยการสืบค้นข้อมูลจากแหล่งต่างๆ นำคู่มือไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาพิจารณา และทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ จากนั้นทำการประเมินตรวจสอบคุณภาพของคู่มือโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน เพื่อขอความคิดเห็น

ในการที่จะสามารถนำคู่มือไปใช้ปฏิบัติ ทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำ เพื่อจัดทำเป็นเล่มคู่มือฉบับสมบูรณ์ต่อไป

จากผลการศึกษาพบว่า คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ สำหรับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ ประกอบด้วยเนื้อหา 4 บท ได้แก่ บทที่ 1 ความรู้เกี่ยวกับโซลาร์เซลล์ บทที่ 2 กระบวนการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ บทที่ 3 การใช้งานแผงโซลาร์เซลล์ และบทที่ 4 การจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

2. อภิปรายผล

จากการประเมินตรวจสอบคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่านมีความคิดเห็นเกี่ยวกับคู่มือดังนี้

ด้านเนื้อหา มีค่าเฉลี่ยของคะแนน ($\overline{X}$) เท่ากับ 4.00 แปลผลได้ว่า ผู้ทรงคุณวุฒิ เห็นด้วยว่าเนื้อหามีความถูกต้อง ชัดเจน เข้าใจง่าย มีความเป็นปัจจุบัน การเรียงลำดับเนื้อหาและภาษาที่ใช้ถูกต้องเหมาะสม

รูปแบบของคู่มือ มีค่าเฉลี่ยของคะแนน ($\overline{X}$) เท่ากับ 4.55 แปลผลได้ว่า ผู้ทรงคุณวุฒิเห็นด้วยอย่างยิ่งว่าคู่มือมีรูปแบบน่าสนใจน่าอ่าน ขนาดและรูปแบบตัวอักษรอ่านง่ายสวยงาม ขนาดรูปเล่มมีความเหมาะสม

ส่วนเนื้อหา มีค่าเฉลี่ยของคะแนน ($\overline{X}$) เท่ากับ 4.66 แปลผลได้ว่า ผู้ทรงคุณวุฒิเห็นด้วยอย่างยิ่งว่าคู่มือมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน และสามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงได้

ภาพรวมของคู่มือ ความพึงพอใจโดยภาพรวม มีค่าเฉลี่ยของคะแนน ($\overline{X}$) เท่ากับ 4.66 แปลผลได้ว่า ผู้ทรงคุณวุฒิเห็นด้วยอย่างยิ่ง และมีความพึงพอใจโดยภาพรวมของคู่มือ สามารถนำคู่มือไปใช้ปฏิบัติได้มากที่สุด

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

3.1.1 จากผลการศึกษาคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ ใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

3.1.2 ผลการศึกษาคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ ควรมีการนำไปเผยแพร่ ประชาสัมพันธ์ให้กับผู้ที่สนใจใช้งาน หรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับแผงโซลาร์เซลล์ ผู้ผลิต ผู้ติดตั้ง ผู้ใช้งาน หรือเจ้าของแผงโซลาร์เซลล์

3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาต้นทุน ความคุ้มค่า และประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ในการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). *คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์*. สืบค้นจาก http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/h_solar.pdf

_____ . (2559ก). *แผนพลังงานทดแทน (AEDP 2558-2579)*. สืบค้นจาก http://www.iie.or.th/iie2016/images/postdoc/files/3pdf

_____ . (2559ข). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579*. สืบค้นจาก http://www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf

_____ . *คู่มือแนวทางป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย*. สืบค้นจาก https://www.dede.go.th/download/banner_60/1_Quotation009-2560.pdf

_____ . (2563ก). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 - 2580*. สืบค้นจาก https://www.dede.go.th/download/Plan_62/20201021_TIEB_AEDP2018.pdf

_____ . (2563ข). *สถานการณ์การใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2563*. สืบค้นจาก http://www.dede.go.th/ewt_w3coc/more_news.php?cid=63

_____ . (ม.ป.ป). *การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กองถ่ายทอด และเผยแพร่เทคโนโลยี*. สืบค้นจาก http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/_0.pdf

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2561). *ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ บริเวณเขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี*. สืบค้นจาก https://www.egat.co.th/en/news-announcement/web-articles/floating-solar-power-generation-system

_____ . (2564). *กรอ. - กฟผ. เดินหน้าผลักดันต้นแบบ โรงงานรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่*. สืบค้นจาก https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=3851:2021050

กฤชนนท์ สวนจันทร์. (2560). *การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

บริษัท ดับบลิวเอชเอ ยูทิลิตี้ส์ แอนด์ พาวเวอร์ จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป). *การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาที่จอดรถ*. สืบค้นจาก https://www.wha-industrialestate.com/th/media-activities/news/company-news/3253/whaup- -25-mw

บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป). *การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ลอยอยู่บนทะเล*. สืบค้นจาก https://www.pttplc.com/th/Media/News/Content-22232.aspx?page=5

บริษัท ลีโอนิคส์ จำกัด. (ม.ป.ป). *การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่างๆ*. สืบค้นจาก https://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

มนัสนันท์ พิบาลวงค์. (2559). *การจัดการแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุการใช้งาน กรณีศึกษาจังหวัดอุบลราชธานี* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม) สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

วีระพงษ์ การินทร์ตา (2564, 20 มิถุนายน) วิศวกรไฟฟ้า/Service Engineer. SMA Sale&Service Authorised Partner Solar Power Engineering. สัมภาษณ์โดย อนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม กรุงเทพมหานคร

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (ม.ป.ป). *จะทำอย่างไรกับปัญหาขยะแผงโซลาร์ที่มาพร้อมความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และ การสนับสนุนพลังงานทางเลือก*. สืบค้นจาก https://kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/FB-sola-30-01-20.aspx

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (ม.ป.ป). *รู้จักโซลาร์เซลล์ระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์*. สืบค้นจาก https://www.ubu.ac.th/web/files_up/15f2015091811581070.pdf

Auer, A. (2015). *Photovoltaic Module Decommissioning and Recycling in Europe and Japan*. (Master's Thesis) Sveriges Lantbruksuniversitet Swedish University of Agricultural Sciences.

E. Klugmann-Radziemska, P. Ostrowski. (2010). *Chemical treatment of crystalline silicon solar cells as a method of recovering pure silicon from photovoltaic modules*. Renewable Energy 35 (August): 1751 - 1759

Fthenakis, V.M. (2000). *End-of-Life Management and Recycling of PV Modules*. Energy

Policy. 28 (November): 1051 - 1058.

Gustafsson, A.M., Foreman, M.R., Ekberg C. (2014). *Recycling of High Purity Selenium from CIGS Solar Cell Waste Materials*. Waste Managment. 31 (October10): 1175 - 1182.

McDonald, N.C. and Pearce, J.M. (2010). *Producer responsibility and Recycling Solar Photovoltaic Modules*. Energy Policy 38 (January): 7041 - 7047.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หนังสือเชิญผู้ทรงคุณวุฒิประเมินตรวจสอบคู่มือ

บศ.วส.011 ข.

ที่ อว 0602.20(บ)/ว 965

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด
จังหวัดนนทบุรี 11120

23 กรกฎาคม 2564

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือการวิจัย

เรียน คุณครรชิต จันภูธร

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ จำนวน 1 ชุด
2. แบบประเมินการตรวจสอบคู่มือ จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายอนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม นักศึกษาหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกการจัดการ-สิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับอนุมัติให้ทำการศึกษาค้นคว้าอิสระ หัวข้อ "คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ" อยู่ในความควบคุมดูแลของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา บรรจงศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา และขณะนี้นักศึกษาอยู่ในขั้นตอนการประเมินตรวจสอบคู่มือการวิจัย

ในการนี้สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพได้พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความเชี่ยวชาญในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอความอนุเคราะห์ท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือการวิจัยของนักศึกษารายนี้ด้วย ทั้งนี้นักศึกษาจะเป็นผู้ติดต่อประสานกับท่านด้วยตนเอง

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

araya p

(รองศาสตราจารย์ ดร.อารยา ประเสริฐชัย)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

โทร.(02) 503-3610, 504-8020
โทรสาร. (02) 503-3570

บศ.วส.011 ข.

ที่ อว 0602.20(บ)/ว 965

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด
จังหวัดนนทบุรี 11120

23 กรกฎาคม 2564

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือการวิจัย

เรียน คุณวายุภักษ์ ยงยุทธ

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ จำนวน 1 ชุด
2. แบบประเมินการตรวจสอบคู่มือ จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายอนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม นักศึกษาหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกการจัดการ-สิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับอนุมัติให้ทำการศึกษาค้นคว้าอิสระ หัวข้อ “คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ” อยู่ในความควบคุมดูแลของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา บรรจงศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา และขณะนี้นักศึกษาอยู่ในขั้นตอนการประเมินตรวจสอบคู่มือการวิจัย

ในการนี้สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพได้พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความเชี่ยวชาญในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอความอนุเคราะห์ท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือการวิจัยของนักศึกษารายนี้ด้วย ทั้งนี้นักศึกษาจะเป็นผู้ติดต่อประสานกับท่านด้วยตนเอง

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

araya p

(รองศาสตราจารย์ ดร.อารยา ประเสริฐชัย)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

โทร.(02) 503-3610, 504-8020
โทรสาร. (02) 503-3570

บศ.วส.011 ข.

ที่ อว 0602.20(บ)/ว 965

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด
จังหวัดนนทบุรี 11120

23 กรกฎาคม 2564

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือการวิจัย

เรียน คุณสุทธิศักดิ์ พรหมทอง

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ จำนวน 1 ชุด
2. แบบประเมินการตรวจสอบคู่มือ จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายอนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม นักศึกษาหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกการจัดการ-สิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับอนุมัติให้ทำการศึกษาค้นคว้าอิสระ หัวข้อ “คู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ” อยู่ในความควบคุมดูแลของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา บรรจงศิริ อาจารย์ที่ปรึกษา และขณะนี้นักศึกษาอยู่ในขั้นตอนการประเมินตรวจสอบคู่มือการวิจัย

ในการนี้สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพได้พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความเชี่ยวชาญในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอความอนุเคราะห์ท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือการวิจัยของนักศึกษารายนี้ด้วย ทั้งนี้นักศึกษาจะเป็นผู้ติดต่อประสานกับท่านด้วยตนเอง

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างดี และขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

araya p

(รองศาสตราจารย์ ดร.อารยา ประเสริฐชัย)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

โทร.(02) 503-3610, 504-8020
โทรสาร. (02) 503-3570

ภาคผนวก ข

ผลการประเมินตรวจสอบคู่มือ

แบบประเมินการตรวจสอบคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

ชื่อ นายศรรชิต จันดูธร ตำแหน่ง นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการ

หน่วยงาน สถาบันพัฒนาข้าราชการกรุงเทพมหานคร

กรุณากากบาท (X) ระดับความพึงพอใจต่อคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนนการประเมิน					ข้อเสนอแนะ
	5 (มากที่สุด)	4 (มาก)	3 (ปานกลาง)	2 (น้อย)	1 (น้อยที่สุด)	
1. เนื้อหา						
1. เนื้อหาถูกต้อง ชัดเจน เข้าใจง่าย		✓				
2. เนื้อหาเป็นปัจจุบัน		✓				
3. การเรียงลำดับของเนื้อหา		✓				
4. ภาษาที่ใช้ถูกต้องเหมาะสม		✓				
2. รูปแบบของคู่มือ						
1. คู่มือมีรูปแบบน่าสนใจน่าอ่าน	✓					
2. ขนาดและรูปแบบตัวอักษรอ่านง่าย สวยงาม	✓					
3. ขนาดรูปเล่มมีความเหมาะสม	✓					
3. เนื้อหา						
1. ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน	✓					
2. สามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงได้		✓				
4. ความพึงพอใจโดยภาพรวม	✓					

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. ควรเพิ่มเนื้อหาเกี่ยวกับความปลอดภัยในการจัดทำคู่มือ
2. กลุ่มเป้าหมาย หรือ ผู้ใช้คู่มือนี้ คือใคร
3. พื้นฐานความรู้ของผู้ใช้คู่มือนี้ต้องมีคุณสมบัติอย่างไร
4. การนำเสนอเนื้อหาแต่ละบท ควรมีการเกริ่นนำก่อนเข้าสู่การนำเสนอเนื้อหา

แบบประเมินการตรวจสอบคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

ชื่อ นายอำนาจ ยงยุทธ ตำแหน่ง Safety Health and Environment Manager.

หน่วยงาน S. Khonkaen Foods Pubolic Company Limited.

กรุณากากบาท (X) ระดับความพึงพอใจต่อคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนนการประเมิน					ข้อเสนอแนะ
	5 (มากที่สุด)	4 (มาก)	3 (ปานกลาง)	2 (น้อย)	1 (น้อยที่สุด)	
1. เนื้อหา						
1. เนื้อหาถูกต้อง ชัดเจน เข้าใจง่าย		/				
2. เนื้อหาเป็นปัจจุบัน		/				
3. การเรียงลำดับของเนื้อหา		/				
4. ภาษาที่ใช้ถูกต้องเหมาะสม		/				
2. รูปแบบของคู่มือ						
1. คู่มือมีรูปแบบน่าสนใจน่าอ่าน		/				
2. ขนาดและรูปแบบตัวอักษรอ่านง่าย สวยงาม		/				
3. ขนาดรูปเล่มมีความเหมาะสม		/				
3. เนื้อหา						
1. ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน		/				
2. สามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงได้		/				
4. ความพึงพอใจโดยภาพรวม		/				

27/07/2564

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

- ค้นหาข้อมูลเพิ่มเติม ? ควรค้นคว้าอีกพยายามมากขึ้นอาจทำให้ผู้อ่านอาจเข้าใจว่าคู่มือเล่มนี้ยังไม่สมบูรณ์
- ควรแทรกภาพประกอบเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น
- ควรเพิ่มบทสรุป ข้อดี ข้อเสียของการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ของแต่ละกระบวนการ

แบบประเมินการตรวจสอบคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

ชื่อ นาย ศุภชัยศักดิ์ พงษ์ทอง ตำแหน่ง Business Development Specialist (Investment)

หน่วยงาน PTG Energy Public company limited

กรุณากากบาท (X) ระดับความพึงพอใจต่อคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนนการประเมิน					ข้อเสนอแนะ
	5 (มากที่สุด)	4 (มาก)	3 (ปานกลาง)	2 (น้อย)	1 (น้อยที่สุด)	
1. เนื้อหา						
1. เนื้อหาถูกต้อง ชัดเจน เข้าใจง่าย		/				
2. เนื้อหาเป็นปัจจุบัน		/				
3. การเรียงลำดับของเนื้อหา		/				
4. ภาษาที่ใช้ถูกต้องเหมาะสม		/				
2. รูปแบบของคู่มือ						
1. คู่มือมีรูปแบบน่าสนใจน่าอ่าน	/					
2. ขนาดและรูปแบบตัวอักษรอ่านง่าย สวยงาม		/				
3. ขนาดรูปเล่มมีความเหมาะสม	/					
3. เนื้อหา						
1. ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน	/					
2. สามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงได้	/					
4. ความพึงพอใจโดยภาพรวม	/					

ข้อเสนอแนะอื่นๆ

1) ปัจจุบันมีเป็นปัจจุบัน 2 เพื่อความเข้าใจที่ง่ายขึ้นสำหรับบุคคลทั่วไป

2) ควรจะมีมาตรการในการ Recycle เช่น มูลค่าเหลือ หรือ การลด การปล่อย CO_2 การทำ Recycle อุปกรณ์ที่เหลือ

ภาคผนวก ค

สรุปผลการประเมินตรวจสอบคู่มือ

ตารางสรุปผลการประเมินตรวจสอบคู่มือตามระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ เกี่ยวกับคู่มือการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์ที่หมดอายุ หรือเสื่อมสภาพ สำหรับใช้เป็นแนวทางให้กับผู้ที่ต้องการจะศึกษา หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับการจัดการรีไซเคิลแผงโซลาร์เซลล์

หัวข้อการประเมิน	ผู้ทรงคุณวุฒิ			คะแนนรวม	$\bar{X}$	แปลผล
	1	2	3			
ด้านเนื้อหา						
1. เนื้อหาถูกต้อง ชัดเจน เข้าใจง่าย	4	4	4	12	4.00	เห็นด้วย/สามารถนำไปปฏิบัติได้มาก
2. เนื้อหาเป็นปัจจุบัน	4	4	4	12		
3. การเรียงลำดับของเนื้อหา	4	4	4	12		
4. ภาษาที่ใช้ถูกต้องเหมาะสม	4	4	4	12		
รูปแบบของคู่มือ						
5. คู่มือมีรูปแบบน่าสนใจน่าอ่าน	5	4	5	14	4.55	เห็นด้วยอย่างยิ่ง/สามารถนำไปปฏิบัติได้มากที่สุด
6. ขนาดและรูปแบบตัวอักษรอ่านง่ายสวยงาม	5	4	4	13		
7. ขนาดรูปเล่มมีความเหมาะสม	5	4	5	14		
ส่วนเนื้อหา						
8. ความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน	5	4	5	14	4.66	เห็นด้วยอย่างยิ่ง/สามารถนำไปปฏิบัติได้มากที่สุด
9. สามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงได้	4	4	5	14		
ภาพรวมของคู่มือ						
10. ความพึงพอใจโดยภาพรวม	5	4	5	14	4.66	เห็นด้วยอย่างยิ่ง/สามารถนำไปปฏิบัติได้มากที่สุด

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ	นายอนุวัฒน์ ด้วงยิ้ม
วัน เดือน ปีเกิด	13/08/1989
สถานที่เกิด	อำเภอสิชล จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมการจัดการความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ปีที่สำเร็จการศึกษา 2013
สถานที่ทำงาน	บริษัท กรีนเนอร์ยี่ (ประเทศไทย) จำกัด เขตห้วยขวาง จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ตำแหน่ง	เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน ระดับวิชาชีพ