

การจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างยั่งยืน

Sustainable Management of Solar Panel Wastes and Electronic Products Wastes

ปฏิภาณ เกิดลาภ¹ และคณิศร บุญรัตน์²

Patiphan Kerdlap¹ and Kanitsorn Boonrat²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

¹School of Engineering, Eastern Asia University

²คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

²Faculty of Engineering and Technology, RMUTSV-Trang campus

Received: March 31, 2021

Revised: May 15, 2021

Accepted: May 17, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างยั่งยืนโดยการนำเทคโนโลยีการแยกด้วยกระบวนการทางเคมีมาเป็นส่วนหนึ่งในการบริหารระบบการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์หลักมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากการคาดการณ์ขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขยะของเสียอิเล็กทรอนิกส์ ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกที่ส่งเสริมให้มีการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดิน หรือ โซลาร์ฟาร์ม ติดตั้งบนหลังคาสำหรับอาคารประเภทบ้านอยู่อาศัย ประเภทธุรกิจ และโรงงาน ซึ่งเป็นความท้าทายด้านปริมาณขยะที่เกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อชำรุดหรือหมดสภาพการใช้งานจะกลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ จึงต้องมีการนำเสนอแนวคิดกระบวนการ วิธีการจัดการ การใช้เทคโนโลยีการแยกด้วยกระบวนการทางเคมีจะสามารถนำโลหะหนักไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เศษกระจกและส่วนที่เป็นเซลล์สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่นได้ นอกจากนี้การกำจัดซากจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยคำนึงถึงกฎหมายเกี่ยวกับขยะอิเล็กทรอนิกส์ แนวทางป้องกันและวิธีการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

คำสำคัญ: ซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ วิธีการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วิธีการจัดการซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

Abstract

This article aims to provide sustainable management of solar panel wastes and electronic products wastes. Chemical separation technology has been used as part of the management of solar panel and electronic scrap management systems. They are the wastes produced from the use of solar panel and equipment in the solar panel power generation system. Solar panel waste forecast electronic wastes from supporting Alternative Energy Development Plan to generate electricity from ground-mounted solar energy. Or solar farms or installed Solar roof top systems for buildings, houses, businesses and factories. It was a challenge in the amount of waste generated from solar power generation systems. When a solar panel is damaged or worn out, it becomes e-waste. Therefore, the concept, process and Chemical separation technology, heavy metals can be used as raw materials for the manufacture of solar panels. Glass shards and the cell parts can be used as raw materials in other industries. The implementation of the solar panel waste disposal technology must be presented with regard to the Electronic Waste Law in order to prevention and management methods for solar panel wastes in Thailand.

Keywords: solar panel wastes, electronic wastes, management methods of solar panel wastes, management methods of electronic products wastes.



บทนำ

ความต้องการด้านพลังงานในการดำเนินชีวิตเป็นปัจจัยพื้นฐานในการสร้างความสะดวกสบาย การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรเป็นปัจจัยสำคัญที่กระตุ้นให้เกิดการใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อขับเคลื่อนกิจกรรมทางเศรษฐกิจและตอบสนองความต้องการต่าง ๆ เพื่อยกระดับมาตรฐานความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นของประชาชน การจัดหาพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นและเป็นพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกเป็นส่วนหนึ่งของการเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานจากการใช้แหล่งวัตถุดิบพลังงานในประเทศเพื่อลดการนำเข้าและการพึ่งพาพลังงานจากปิโตรเลียม อันเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ผ่านมา มนุษย์ใช้พลังงานหลายรูปแบบในการทำกิจกรรมต่าง ๆ การดำเนินกิจกรรมดังกล่าวอาศัยพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน ถ่านหิน แต่เชื้อเพลิงเมื่อมีการเผา

ไหม้จะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก การเปลี่ยนผ่านสู่ยุคดิจิทัล การขับเคลื่อนนโยบายประเทศไทย 4.0 และแนวโน้มการเติบโตของเทคโนโลยียานยนต์ ทำให้พลังงานไฟฟ้าจะทวีความสำคัญมากยิ่งขึ้น และอาจส่งผลกระทบต่อการพัฒนากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในภาคขนส่ง รวมถึงเทคโนโลยีที่ทันสมัยทำให้เกิดการเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้พลังงานที่มีแนวโน้มจะผันตัวไปสู่การเป็นผู้ผลิตพลังงานเพื่อใช้เองและซื้อขายมากยิ่งขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาพลังงานทดแทนให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน พร้อมทั้งนำแนวโน้ม ทิศทางการใช้พลังงานในอนาคตมาร่วมพิจารณากำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่เหมาะสมด้วย (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2018)

สำหรับในเอเชียการคาดการณ์ขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนถึงปี พ.ศ. 2573 ระบุว่ายอดสะสมสูงสุดขึ้นอยู่กับสถานการณ์การปรับใช้พลังงานของแต่ละประเทศ ตัวอย่างเช่น จีนจะมีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์

แสงอาทิตย์โดยประมาณ 420 จิกะวัตต์ สะสมขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ระหว่าง 0.2-1.5 ล้านตัน ญี่ปุ่นมีการคาดการณ์อยู่ที่ระหว่าง 0.2-1 ล้านตัน และอินเดียมีการคาดการณ์อยู่ที่ระหว่าง 50,000-325,000 ตัน ตามลำดับ และมีการคาดการณ์ว่าประเทศสามอันดับแรกที่ใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ จีน เยอรมนี และญี่ปุ่น มีปริมาณขยะสะสมประมาณ 13.5-20 ล้านตัน จากการติดตั้งทั่วโลก ทำให้ปริมาณขยะเพิ่มขึ้นสาเหตุเกิดจากอายุการใช้งานเฉลี่ยและระบบควบคุมแผงชำรุด การคาดการณ์ในปี พ.ศ. 2593 อาจมีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้ามากกว่า 4,500 จิกะวัตต์ ทำให้มีขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์สะสมทั่วโลก 60 ล้านตัน (International Renewable Energy Agency, 2016) ประเทศไทยมีนโยบายสนับสนุนและส่งเสริมการผลิตการใช้พลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่อง จึงมีส่วนการใช้พลังงานดังกล่าวเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล ชีวภาพ และพลังงานจากขยะ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์ แต่เมื่อการติดตั้งใช้งานในระยะหนึ่งจะมีปัญหาที่ตามมา คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ประกอบจะหมดอายุการใช้งานหรือเกิดการชำรุด เสื่อมสภาพระหว่างการใช้งานในอนาคตจะกลายเป็นขยะของเสียอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Wastes หรือ E-wastes) เมื่อแผงกลายเป็นของเสียต้องมีการกำจัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหล่านี้ให้ถูกวิธีเพื่อลดการสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยจะเริ่มมีซากจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีปริมาณมากถึง 24 ล้านแผง ในอีก 15-25 ปี ประเทศไทยมีการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนซึ่งเป็นพลังงานสะอาดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก ซึ่งอายุการใช้งานเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 20-25 ปี (Tao & Yu, 2015; Weckend, Wade & Heath, 2016) ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีเทคโนโลยีการจัดการซากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบและครบวงจร และใน ปี พ.ศ. 2600 จะมีปริมาณขยะเพิ่มเป็น 1.55 ล้านตัน (Rachdawong, Ratanathamphan, Banjerdpongchai, Boonpramote & Sampattavanija, 2016) หากไม่มีการวางแผนจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพและ

เศรษฐกิจ และเป็นอุปสรรคต่อแผนส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ จากรายงานผลการศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ในการบริหารจัดการขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานพบว่า เทคโนโลยีการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์เชิงพาณิชย์มีแล้วในตลาดต่างประเทศ และสำหรับประเทศไทยจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดซากแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่หมดอายุ ซึ่งประกอบไปด้วย กระบวนการทางกายภาพเป็นการแยกด้วยมือและเครื่องจักรอัตโนมัติ กระบวนการทางกลเป็นการย่อยขนาดด้วยแรงเฉือน แรงกด การสั่น กระบวนการทางความร้อนเป็นการเผาที่อุณหภูมิสูงหรือเตาปฏิริยา กระบวนการทางเคมีเป็นการชะละลายด้วยสารเคมี และกระบวนการกำจัดทิ้งเป็นการนำกลับไปใช้ใหม่ การใช้เป็นวัตถุดิบรองเป็นสารเติมในกระบวนการอื่น ๆ และการฝังกลบ แต่ประเทศไทยยังไม่มี การจัดตั้งศูนย์รีไซเคิลขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนที่เกิดจากความท้าทายเรื่องปริมาณกากขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของศูนย์รีไซเคิลทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (Division of Solar Energy Development, 2018) โดยค่าใช้จ่ายในการจัดการแบบรีไซเคิลในประเทศต้องคำนึงถึงค่าขนส่งและค่าดำเนินการรีไซเคิลขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้พัฒนาและส่งเสริมการเริ่มผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ปี พ.ศ. 2519 กระทรวงสาธารณสุขและมูลนิธิแพथยาอาสาได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 300 แผง และกรมโยธาธิการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้ในระบบแสงสว่าง ระบบสูบน้ำ โทรคมนาคม และดำเนินการอย่างเป็นทางการเป็นรูปธรรมในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2530-2534) (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2017, p. 11) ต่อมาแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ามามีบทบาทในประเทศไทยจนถึงปัจจุบัน กระทรวงพลังงานมอบหมายให้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจัดทำแผนปฏิบัติการตาม

กรอบแผนพัฒนาพลังงานทดแทน เพื่อให้สามารถดำเนินการพัฒนาพลังงานทดแทนให้สามารถผลิตไฟฟ้ารวมสะสมถึงปี 2565 จำนวน 5,604 เมกะวัตต์ ในส่วนนโยบายภาครัฐสนับสนุนให้มีโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดิน หรือโซลาร์ฟาร์ม ติดตั้งบนหลังคาสำหรับอาคารประเภทบ้านอยู่อาศัยประเภทธุรกิจ และโรงงาน จึงทำให้ผู้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีตั้งแต่ระดับครัวเรือน ชุมชน จนถึงอุตสาหกรรม (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2017) ตามแผนงานการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ในปี พ.ศ. 2561 แสดงดังตาราง 1

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบนระบบจำหน่าย (on-grid) ซึ่งแบ่งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์รายเล็ก (SPP) และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์รายเล็กมาก (VSPP) ที่ติดตั้งบนพื้นดิน

นอกจากนี้ยังเป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์รายเล็กมาก (VSPP) ที่ติดตั้งบนหลังคา และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่เชื่อมต่อบนระบบจำหน่าย (off-grid) เป็นการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระใช้งานในพื้นที่ห่างไกล เช่น งานด้านการสาธารณสุข การศึกษา รวมถึงการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และในปี พ.ศ. 2565 มีสัดส่วนของพลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 6% ซึ่งเป็นผลจากการดำเนินนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2018) แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1) กำหนดให้มีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าระบบ โดยตั้งเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้รวม 9,290 เมกะวัตต์ ภายในปี พ.ศ. 2580 (Electricity Generating Authority of Thailand, 2021)

ตาราง 1

กำลังการผลิตระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

ปี พ.ศ.	ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์		
	กำลังผลิตติดตั้งบนพื้นดิน (MW)	กำลังผลิตติดตั้งบนหลังคา (MW)	กำลังผลิตติดตั้งบนทุ่นลอย (MW)
สะสมถึง			
2554	541.1	-	-
2555	621.5	-	-
2556	139.0	6.2	-
2557	1.0	70.8	-
2558	1,065.5	7.9	-
2559	241.6	6.2	0.5
2560	16.5	35.4	2.0
2561	159.9	94.1	4.8
รวม	2,786.1	220.6	7.3

Note. From Report on the status of electricity generating with solar cells in Thailand, Ministry of energy (p. 36), by Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2018, Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency.

การพัฒนาของอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย

ประเทศไทยเริ่มดำเนินการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ได้แก่ ชนิดผลึกซิลิคอน และชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน เพื่อรองรับโครงการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ชนบท การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีปัจจัยด้านราคาเป็นตัวชี้วัด ปัจจุบันการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มจำนวนมากขึ้น ทำให้ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ โดยในปี พ.ศ. 2561 สัดส่วนเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่เป็นชนิดซิลิคอน Crystalline silicon--c-Si ผลึกเดี่ยวและชนิดหลายผลึก คิดเป็นร้อยละ 88.6 เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน Amorphous silicon--a-Si ร้อยละ 6.5 เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไมโครคริสตัลไลน์บนอะมอร์ฟัสซิลิคอน ร้อยละ 2.4 เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์กลุ่มคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ (CIS) และกลุ่มคอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมซีลีไนด์ (CIGS) โดยไม่สามารถระบุให้ชัดเจนได้ ร้อยละ 2.0 และเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์กลุ่มฟิล์มบางไม่ระบุชนิด ร้อยละ 0.5 แสดงดังภาพ 1 นำเสนอสัดส่วนของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน (CES Solar Cells Testing Center (CSSC), 2021)

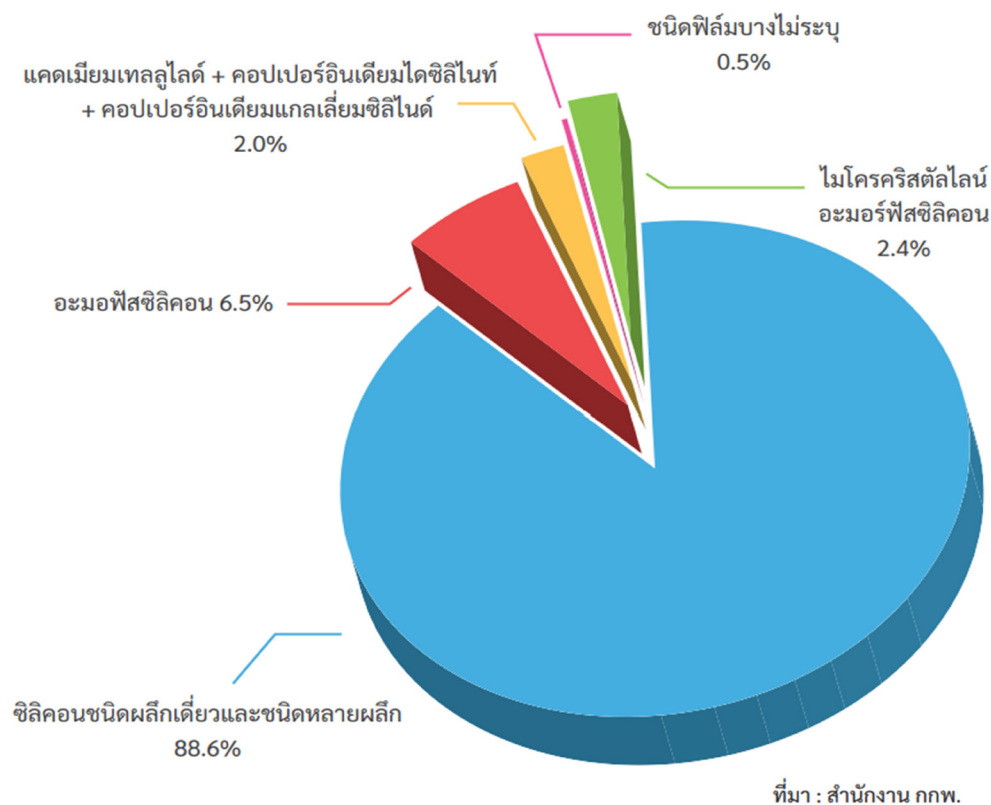
ยุคของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (solar panel) เพื่อผลิตไฟฟ้า การเติบโตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย มีจุดเริ่มต้นมานานกว่า 20 ปี เพื่อเป็นแหล่งไฟฟ้าให้แสงสว่างในครัวเรือน การสูบน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค และการเกษตร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นที่รู้จักแพร่หลายและเพิ่มจำนวนขึ้นเนื่องจากมาตรการส่งเสริมของภาครัฐ ซึ่งเป็นยุคของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายให้แก่การไฟฟ้า ทั้งการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดินหรือ Solar Farm และที่ติดตั้งบนหลังคาหรือ Solar

PV Rooftop และจากปี พ.ศ. 2557 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งพื้นดินมีปริมาณสูงกว่าที่ติดตั้งบนหลังคา การประยุกต์ใช้งานภาคครัวเรือนและการเกษตร โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อื่น ๆ และมีแนวโน้มที่จะเติบโตเพิ่มขึ้นจากการรายงานสถานการณ์การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทยของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติในการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีการรับประกันประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 25 ปี หากคิดอายุเฉลี่ยของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 25 ปี ดังนั้นใน ปี พ.ศ. 2577 จะเริ่มมีขยะที่เกิดจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เกิดขึ้นและมีปริมาณสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การคาดการณ์ปริมาณน้ำหนักของซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สะสมคิดจากการข้อมูลที่ได้รับอนุญาตติดตั้งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 แสดงดังตาราง 2 สงบ คำคือ (Kumkoa, 2016) การคาดการณ์ปริมาณซากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย

กระบวนการกำจัดซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการส่งเสริมและการเติบโตด้านการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องในประเทศไทยพบว่า ยังมีอีกหนึ่งประเด็นสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างยิ่งคือ ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้นจากกากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานหรือเสื่อมสภาพ ดังนั้นการป้องกันผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและวิธีกำจัดกากขยะที่เกิดจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะถูกนำมาพิจารณาใช้เป็นแนวทางบริหารจัดการให้เกิดความเหมาะสมและไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต เพื่อให้การส่งเสริมด้านการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยเกิดความยั่งยืนต่อไป



ภาพ 1 สัดส่วนเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน ปี พ.ศ. 2561

Note. From Report on the status of electricity generating with solar cells in Thailand, Ministry of energy (p. 28), by Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2018, Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency.

ตาราง 2

การคาดการณ์ปริมาณซากของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สะสมระหว่างปี พ.ศ. 2577-2583

ปีติดตั้ง	ปริมาณติดตั้ง (MW)	ปีที่เกิดของเสีย (พ.ศ.)	รวม (ตัน)	สะสม (ตัน)
2552	8.26	2577	1,344.89	1,344.89
2553	17.594	2578	3,268.26	4,613.14
2554	195.397	2579	33,381.75	37,994.90
2555	183.206	2580	25,192.53	64,187.43
2556	499.793	2581	63,509.85	126,697.28
2557	390.491	2582	48,616.06	175,313.34
2558	711.492	2583	75,631.58	250,944.92

Note. From Guidelines on environmental impact prevention and disposal of wastes from solar power generation projects for Thailand (p. 6), by Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2017, Bangkok: Ministry of energy.

โดยทั่วไปแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งใช้งานทั้งในภาคครัวเรือน ภาคการเกษตร หรือภาคอุตสาหกรรมหากเกิดการชำรุดหรือหมดอายุการใช้งานจะกลายเป็นของเสียอิเล็กทรอนิกส์กลุ่มของเสียอันตรายแบบ HA--Hazardous Waste--Absolutely Entry หรือของเสียอันตรายแบบ HM--Hazardous Waste Mirror Entry ถือว่าเป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วที่มีคุณสมบัติเป็นของเสียอันตราย ซึ่งจะต้องคำนึงถึงแนวทาง วิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการตามที่กฎหมายกำหนด (Public Information Center (PIC), 2007) นอกจากนี้ส่วนประกอบของระบบการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีอินเวอร์เตอร์และแบตเตอรี่ซึ่งมีส่วนประกอบที่เป็นอันตราย ได้แก่ ตะกั่ว แบตเตอรี่ แคดเมียม นิเกิล พรอท และสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาอย่างเช่นกรดซัลฟิวริก ธนาชาติ ลีจากภัย (Leejhakbhai, 2007) หากสารพิษต่าง ๆ ไหลออกมาสู่สิ่งแวดล้อมจะเข้าสู่ระบบนิเวศและระบบห่วงโซ่อาหาร เกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำ ดิน และอากาศ จะก่อให้เกิดอันตรายต่อคน พืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อม แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีส่วนประกอบของสารเคมีและโลหะที่เป็นอันตรายเคลือบอยู่บนแผง ซึ่งเป็นขยะสารพิษ อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทที่ทำจากซิลิคอน มีสารอันตราย คือ ซิลิคอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำ ทำให้ผิวหนังไหม้ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ ผิวหนังและตา แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง เมื่อเกิดการเผาไหม้หรืออยู่ในที่มีอุณหภูมิสูงจะสามารถปล่อยแคดเมียมและก๊าซซีลีเนียมสู่สิ่งแวดล้อมได้ ของเสียเมื่อปล่อยออกมาอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบเสียหายร้ายแรงอย่างช้า ๆ ต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีการสะสมในสิ่งมีชีวิตและ/หรือมีความเป็นพิษต่อระบบร่างกายสิ่งมีชีวิต (Hazardous Substance Management Division, Department of Industrial Works, 2014) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Puangprasert and Prueksasit (2019) กล่าวถึงการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพสำหรับคนงานร้อยละอิเล็กทรอนิกส์ในจังหวัดบุรีรัมย์ประเทศไทยพบว่า ระดับคนงานมีโอกาสเป็นมะเร็งจากการร้อยละอิเล็กทรอนิกส์จากการสัมผัส Cd และ Ni

ส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งเป็น 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งสัมผัสกับแสงแดดโดยตรงเป็น

อุปกรณ์ที่ทำจากกระจก ส่วนถัดไปเป็นชั้นของเอทิลีนไวโนลอะซิเตท (EVA) ซึ่งเป็นสารเคลือบที่ทำจากเรซิน ส่วนที่สาม คือ เซลล์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนที่สี่เป็น EVA อีกชั้นหนึ่ง ส่วนสุดท้ายเป็นแผ่นรอง ในการหลอมรวมชั้นจะถูกให้ความร้อนในสุญญากาศซึ่งเป็นกระบวนการที่ละลาย EVA และเมื่อใช้ความดันจะทำให้เซลล์และกระจกติดกัน แผงจะเสร็จสมบูรณ์โดยการติดกรอบอลูมิเนียมและกล่องแยกมัดสายไฟที่ปลายทั้งสองด้านของแผง กระบวนการกำจัดซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในส่วนต่างของประเทศ

1. การกำจัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งานของสมาคม REMDIA (Milano) อิตาลี

สมาคม REMEDIA (Milano) เป็นสมาคมอิตาลีดำเนินการจัดการขยะที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อธิบายถึงการจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุการใช้งาน โดยหลักการจัดการต้องอยู่ภายใต้ระเบียบเศษเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Waste Electrical and Electronic Equipment--WEEE) โดยมีขั้นตอนการรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังนี้ (Better World Solutions, 2016)

ขั้นตอน 1 หลังจากคัดแยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกจากอุปกรณ์ต่าง ๆ นำส่วนตัวแผงที่เป็นซิลิคอนและกระจกมาบดให้เหลือขนาดน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร

ขั้นตอน 2 นำส่วนที่ถูกบดจนเหลือขนาดน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร เข้ากระบวนการคัดแยกสารที่เคลือบซิลิคอนและแก้ว (EVA) ซึ่งจะเคลือบแผงเซลล์แสงอาทิตย์คล้ายแผ่นฟิล์มบาง ๆ จะถูกคัดแยกออกจากกัน

ขั้นตอน 3 ส่วนของ EVA จะถูกเก็บรวบรวมไว้และนำไปกำจัดต่อไป ส่วนซิลิคอนและกระจกจะถูกนำไปทำให้สะอาดและจะนำไปรีไซเคิลต่อไป

ขั้นตอน 4 ชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ ซึ่งบางส่วนจะมีโลหะหนักปนอยู่จะถูกนำไปทำให้ตกตะกอนและปรับค่า pH ให้เป็นกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นโลหะจะถูกหล่อขึ้นมาเป็นของแข็งและนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

2. โรงงานรีไซเคิลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศญี่ปุ่น

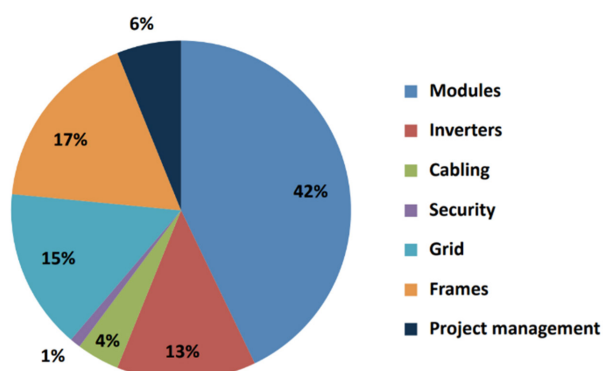
ประเทศญี่ปุ่นมีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่ม

มากขึ้นจากนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (feed-in tariff) ของภาครัฐซึ่งรับประกันราคาไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน แต่เมื่อแผงเหล่านี้สิ้นสุดอายุการทำงานในอีก 20-30 ปีข้างหน้าจะกลายเป็นกองขยะ กระทั่งสิ่งแวดล้อมของญี่ปุ่นคาดการณ์ว่าขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศอาจจะมี 10,000 ตัน กระทั่งสิ่งแวดล้อมและองค์กรพัฒนาพลังงานใหม่และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (NEDO) ที่ได้รับการสนับสนุนจากรัฐร่วมกับบริษัท เอกชนในการนำเทคโนโลยีมาใช้กำจัดเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพัฒนากระบวนการที่เรียกว่า hot knife method ซึ่งสามารถแยกเซลล์ของแผงออกจากกระจกได้ภายในเวลาประมาณ 40 วินาที ด้วยใบมีดเหล็กยาว 1 เมตรหนา 1 เซนติเมตร ที่ให้ความร้อนถึง 180-200 องศาเซลเซียส แล้วหันเป็นชิ้นเพื่อแยกเซลล์และกระจกออกจากกัน ความหนาของกระจกและวัสดุที่ใช้ใน EVA แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับผู้ผลิต นอกจากนี้ Toshiba Environmental Solutions ยังมีเทคโนโลยีที่สามารถแยกเซลล์แสงอาทิตย์ออกจากกระจกได้ด้วยวิธีการกำจัดสิ่งสกปรกออกด้วยแปรงเหล็กหมุนเร็วซึ่งสิ่งที่เหลืออยู่คือแผ่นกระจก และจะบดเซลล์ให้เป็นผงละเอียดโดยเซลล์ที่บดเป็นผงจะมีส่วนผสมของเงินสูงและบริษัทที่หลอมก็รับซื้อในราคาสูงเช่นกัน นอกจากนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องการความโปร่งใสสูง ดังนั้นกระจกจึงมีความบริสุทธิ์สูงกว่าที่ใช้ในการก่อสร้างมาก ซึ่งเศษกระจกสามารถขายได้ในราคา 0.5-1 เยนต่อกิโลกรัม และในเซลล์แสงอาทิตย์มีส่วนประกอบของกระจก 10-15 กิโลกรัม มูลค่าประมาณ 15 เยน (Tomioka, 2016)

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาสัดส่วนของอุปกรณ์ตามมูลค่าจะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกใช้ในปริมาณมากในการผลิตไฟฟ้าทำให้มีแนวโน้มที่จะกลายเป็นขยะปริมาณมากในอนาคตหากเทียบกับอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบผลิตไฟฟ้า โดยรายละเอียดค่าใช้จ่ายสำหรับโครงการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป แสดงดังภาพ 2 (International Finance Corporation (IFC), 2015)

ค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินมีสัดส่วนมูลค่าของแต่ละอุปกรณ์หลักในการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ สายไฟ ระบบความปลอดภัย การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า กรอบและโครงสร้างรองรับแผง และการบริหารโครงการ และสำหรับอุปกรณ์หลักในระบบการผลิตไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Division of Solar Energy Development (DEDE) (2018) แสดงดังตาราง 3

การดำเนินการเกี่ยวกับวิธีกำจัดกากขยะจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณมากกว่าอุปกรณ์อื่น แต่ในขณะเดียวกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานยาวนานที่สุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่นที่มีการติดตั้งในระบบ ซึ่งถ้าหากอุปกรณ์ของระบบเหล่านี้หมดอายุการใช้งานก็จะทำให้มีขยะจำนวนมาก ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกนี้จะต้องถูกส่งต่อไปยังผู้รับกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์เพื่อแยกชิ้นส่วนและมีการกำจัดตามกระบวนการรีไซเคิลที่เหมาะสมต่อไป



ภาพ 2 ค่าใช้จ่ายสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน

Note. From *Utility-scale solar photovoltaic power plants: A project developer's guide* (p. 183), by International Finance Corporation (IFC), 2015, DC, USA: Environmental, Social and Governance Department.

ตาราง 3

อายุการใช้งานของอุปกรณ์หลักในระบบ

อุปกรณ์	อายุการรับประกัน(ปี)	อายุการใช้งาน(ปี)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	25	มากกว่า 25
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	5-10	10
โครงสร้างรองรับแผง	10	25
หม้อแปลงไฟฟ้า	3-5	10
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ	2	5

หมายเหตุ อายุการรับประกัน (ปี) อ้างอิงตามระยะเวลาประกัน

Note. From Guidelines on environmental impact prevention and disposal of wastes from solar power generation projects for Thailand (p. 8), by Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2017, Bangkok: Ministry of energy.

กฎหมายและการบังคับใช้เกี่ยวกับขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีสารประกอบซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ จึงต้องมีมาตรการทางกฎหมายในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาตรการทางกฎหมายในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของต่างประเทศ ว่าด้วยอนุสัญญาบาเซลว่าด้วยการควบคุมการเคลื่อนย้ายข้ามแดน การส่งออกซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปกำจัดหรือรีไซเคิลนอกประเทศในรูปของเสียอันตราย ส่วนกฎหมายของสหภาพยุโรป กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีการประกาศใช้กฎหมายการจัดการอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (WEEE Directive) เพื่อใช้ในการบริหารจัดการของเสียอุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ในกลุ่มประเทศสมาชิก ส่วนกฎหมายของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ใช้กฎหมายการจัดการอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เป็นรูปแบบเดียวกับ WEEE Directive ของ EU ชื่อ ElektroG ภาครัฐทำการขึ้นทะเบียนผู้ก่อเกิดขยะ E-waste ซึ่งก็คือผู้ผลิตโดยรวมถึงผู้นำเข้า ผู้จำหน่าย เป็นผู้รับผิดชอบเรียกคืนรวบรวม และนำอุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดอายุจากครัวเรือนไปดำเนินการถอดแยก รีไซเคิล หรือส่งต่อไปยังโรงงาน ส่วนกฎหมายของญี่ปุ่น ไม่มีกฎหมายในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเจ้าของขยะจ่าย

ค่าจัดการขยะให้กับตัวแทนจำหน่าย ณ จุดเก็บรวบรวมซึ่งคล้ายคลึงกับกฎหมายของประเทศไทยที่มีการใช้กฎหมายทั่วไปในการจัดการของเสีย ปัญญา จันทรลออ (Chandla-or, 2018) มาตรการที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การสร้างความร่วมมือระหว่างประเทศเพื่อแบ่งปันข้อมูลและวิทยาการต่าง ๆ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อประสิทธิภาพในการลดการเกิดของเสียอันตราย

กฎหมายและการบังคับใช้เกี่ยวกับขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย ประกอบด้วยพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 ซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้แล้วตามบัญชี 5.3 และจัดเป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2556 ห้ามนำสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วหรือของเสียอันตรายออกนอกบริเวณโรงงาน เว้นแต่ได้รับอนุญาตการส่งซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปจัดการนอกประเทศ และการขนส่งต้องมีใบกำกับการขนส่ง นอกจากนั้นแล้วการจัดการต้องกระทำโดยผู้บำบัดและกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้วเท่านั้น สำหรับมาตรการทางกฎหมายสำหรับประชาชน ประกอบด้วยพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ. 2535 จากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่

ไม่ใช่แล้ว (เพิ่มเติม) พ.ศ. 2548 ซึ่งซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประชาชนนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าใช้ในครัวเรือน ภาคการเกษตร ถือได้ว่าเป็น “มูลฝอย” และกำหนดให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเก็บ ขน และกำจัดมูลฝอยโดยอาจร่วมกันดำเนินการกับหน่วยงานของรัฐอื่นหรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่นก็ได้ ทั้งยังสามารถออกใบอนุญาตให้เอกชนดำเนินการเก็บ ขน และกำจัดมูลฝอยโดยคิดค่าบริการได้

การปฏิบัติตามมาตรการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่ได้มีการกำหนดมาตรการในการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้โดยเฉพาะ ดังนั้นหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะดำเนินการเก็บซากในรูปแบบมูลฝอยส่งผลทำให้กระบวนการจัดการไม่มีประสิทธิภาพ และเมื่อพิจารณาตามศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดไว้ในกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบวงจรตั้งแต่กระบวนการผลิตและความรับผิดชอบในขั้นตอนกระบวนการจัดเก็บจากครัวเรือน ภาคการเกษตร นำกลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลอย่างถูกวิธี เพื่อความสอดคล้องตามนโยบายการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนของประเทศไทย

การศึกษาวิธีการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ในปัจจุบันการกำจัดซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากการใช้ผลิตไฟฟ้า และการจัดการซากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์จากอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ กรมโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นกลไกขับเคลื่อนการแก้ไขปัญหาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของซากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการดำเนินการส่งออกต่างประเทศด้วยวิธีอันตรายและจัดการภายในประเทศดำเนินการฝังกลบหรือเผาทำลายด้วยเตาของเสียอันตรายหรือการจัดการหลอม ผสม บด รีดอัด ขึ้นรูปใหม่ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ยุทธศาสตร์ด้านบริหารจัดการซากแผงเซลล์อาทิตย์ในประเทศไทยต้องมีการสร้างเครือข่ายความร่วมมือและการมีส่วนร่วม มีการบูรณาการในประเด็นด้านนโยบาย ระเบียบ ข้อบังคับรวมถึงกฎหมายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง มีการจัดตั้งศูนย์บริหารจัดการเพื่อกำหนดแผนการจัดการและการเพิ่มมูลค่าให้กับสร้าง

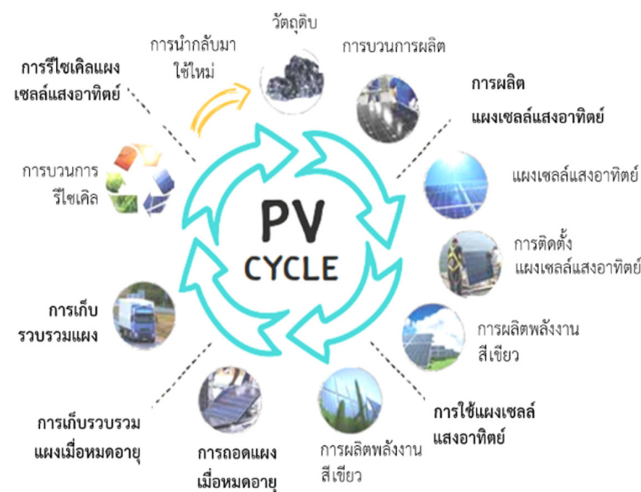
ระบบรวบรวมข้อมูลปริมาณซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขั้นตอนการส่งเสริมให้เกิดธุรกิจ กำกับติดตามและประเมินผล นอกจากนี้รัฐบาลควรพัฒนาด้วยการส่งเสริมความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน คิดค้นและวิจัย พัฒนา รวมถึงพัฒนาบุคลากร เจ้าหน้าที่ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการซากแผงเซลล์อาทิตย์ให้มีความสอดคล้องเหมาะสมกับแต่ละภูมิภาค

การจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดความคุ้มค่าในการผลิตไฟฟ้า ต้องพิจารณาประเด็นด้านการบริหารจัดการ กฎหมาย เศรษฐศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมสร้างคน โครงสร้างการจัดการ และองค์ความรู้เพื่อการจัดการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดอายุอย่างเหมาะสม และเพื่อเป็นประโยชน์แก่ประเทศต่อไป เนื่องจากกระบวนการบริหารจัดการที่เหมาะสมและตั้งโรงกำจัดภายในประเทศ ปัจจุบันยังไม่มีกำหนดอย่างชัดเจน จึงเน้นไปที่การบริหารจัดการขยะจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะองค์ประกอบของแผงจำพวกโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ตะกั่ว เทลลูเรียม อินเดียม แกลเลียม จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และภายหลังจากที่ผ่านการใช้งานเมื่อชำรุด หมดสภาพกลายเป็นซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำเป็นที่จะต้องมีการจัดการโดยวัฏจักรหมุนเวียนของการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานกระทั่งนำเข้าสู่กระบวนการนำมาผลิตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ดังภาพ 3

วัฏจักรหมุนเวียนของการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งในวิธีการกำจัดซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยโลหะหนักจำนวนมากซึ่งหากมีการกำจัดโดยการฝังกลบหรือการกำจัดที่ไม่ถูกวิธีจะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถนำไปสู่การปนเปื้อนในดินอย่างรุนแรงซึ่งเป็นความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในดิน ปัจจุบันปัญหาเรื่องการปนเปื้อนของสารมลพิษในดินและน้ำใต้ดิน นับเป็นประเด็นปัญหาสำคัญที่หลายฝ่ายต่างให้ความสนใจ เนื่องจากปัญหาดังกล่าวล้วนสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมระบบนิเวศ สุขอนามัยและการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ตามมา (Champar-ngam, N, 2018) ซึ่งในกระบวนการรีไซเคิลหากมีการถอดชิ้นส่วนโลหะหนักออกจากซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หมดสภาพการใช้งานและนำไปรีไซเคิล

เพื่อเป็นวัตถุดิบในการสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใหม่ขึ้นมาจะสามารถช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติและลดต้นทุนในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ (Xu, Li, Tan, Peters & Yang, 2018) ตัวอย่างของกระบวนการเก็บขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ Internet of Things (IoT) โดยการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ในครัวเรือนของประเทศมาเลเซีย (Kang, Kang, Ilankoon & Chong, 2020) ซึ่งการจัดการขยะมูลฝอยจะไม่แนะนำให้กำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ในหลุมฝังกลบเนื่องจากมีสารเคมีที่เป็นพิษและโลหะหนักอยู่ในนั้น เช่น ทองคำ ทองแดง แต่จะเน้นไปที่การจัดการขยะอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในมาเลเซียยังไม่มีกรอบกฎหมายในการกำจัดขยะอิเล็กทรอนิกส์ในครัวเรือนอย่างสมบูรณ์ แต่ในประเทศที่พัฒนาแล้วบางประเทศจะมีการใช้เทคนิคการจัดการขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัยซึ่งเป็นแผนความรับผิดชอบของผู้ผลิต ดังนั้นในมาเลเซียจึงมีการนำระบบแอปพลิเคชันการเก็บขยะอิเล็กทรอนิกส์มาช่วยจัดการโดยการออกแบบกล่องเก็บขยะอิเล็กทรอนิกส์ในครัวเรือน (e-waste collection box) เพื่อสนับสนุนความยั่งยืนของแนวคิดเมืองอัจฉริยะ (smarter cities) โดยกล่องเก็บขยะอิเล็กทรอนิกส์ในครัวเรือนถูกออกแบบให้ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดระดับขยะอิเล็กทรอนิกส์เพื่อบันทึกข้อมูล มีการแจ้งเตือนและกำหนดเวลาให้กับผู้รวบรวมขยะเมื่อปริมาณขยะถึงเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งนี่ถือเป็น

แนวคิดหนึ่งในการนำระบบแอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และอีกหนึ่งธุรกิจที่ถือกำเนิดขึ้นและเป็นที่รู้จักเมื่อไม่นานมานี้คือธุรกิจสตาร์ทอัพ ซึ่งเป็นธุรกิจที่เริ่มต้นจากการแก้ปัญหาจุดเล็ก ๆ จัดตั้งขึ้นเพื่อค้นหาโมเดลธุรกิจ (business model) ที่ทำซ้ำได้ (repeatable) และขยายตัวได้ (scalable) (Kritsaya & Kritsana, 2018) ซึ่งตัวอย่างแนวคิดการจัดการขยะด้วยธุรกิจสตาร์ทอัพของนักศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย จากการประกวดแข่งขัน Startup Thailand League 2019 การประกวดโมเดลธุรกิจสตาร์ทอัพ (startup business model) สำหรับนักศึกษา สนับสนุนโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งได้นำเสนอระบบจับคู่ออเดอร์ (matching order) ขยะระหว่างโรงงานรีไซเคิลกับร้านรับซื้อของเก่าโดยระบบ Matching order คือ Platform บริหารจัดการ Logistic ของขยะ Recycle เชื่อมโยงการบริหารจัดการของร้านรับซื้อของเก่า จนกระทั่งส่งคัดแยกส่งให้โรงงานรีไซเคิลขยะ โดยแบ่งระบบเป็นสองส่วนใหญ่ ส่วนแรกเป็น POS สำหรับบริหารร้านรับซื้อของเก่า ชื่อว่า RecycleStory เป็นโปรแกรมช่วยให้ร้านรับซื้อของเก่าทราบปริมาณสินค้าคงคลัง ซึ่งแสดงสัดส่วน ประเภทสินค้าพร้อมขาย รวมถึงการออกบิล เป็นต้น



ภาพ 3 วัฏจักรหมุนเวียนของการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Note. From Guidelines on environmental impact prevention and disposal of wastes from solar power generation projects for Thailand (p. 23), by Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2017, Bangkok: Ministry of energy.

ส่วนที่สอง ReQore Matching เป็น Platform ของโรงงาน ทำหน้าที่จัดหาสินค้าให้ตรงตามความต้องการ ทั้งสองส่วนเชื่อมต่อกันเพื่อจับคู่คำสั่งซื้อจากโรงงาน และ สินค้าจากร้านรับซื้อของเก่า ซึ่งเมื่อนำไปใช้จริงส่งผลให้การ บริหารงานของร้านขายของเก่า และโรงงานมีประสิทธิภาพ ยิ่งขึ้น โดยสามารถใช้งานระบบได้ทุกที่ทุกเวลา ทั้งยังใช้ เก็บข้อมูลปริมาณสินค้า ตลอดจนเกิดความคล่องตัวใน การระบายสินค้าของร้านขายของเก่าด้วย (Chiang Mai News, 2019) ซึ่งถือเป็นตัวอย่างรูปแบบธุรกิจที่สามารถ นำมาปรับใช้กับการกำจัดซากขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการแยกชิ้นส่วนเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการจัด การอย่างถูกวิธีและเป็นการกำจัดที่ถูกต้อง ลดการเกิดมลพิษ และสามารถเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลได้อีกด้วย

บทสรุป

เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาติดตั้งเพื่อใช้งาน ในการผลิตกระแสไฟฟ้ามาระยะเวลาหนึ่ง หากเกิดการ ชำรุด แตกเสียหาย หรือเกิดการเสื่อมสภาพจากการใช้ งานย่อมแปลงสภาพกลายเป็นซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่หมดอายุจากการใช้งานแล้วกลายเป็นขยะในที่สุด ส่งผลทำให้มีปริมาณขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์สะสมทั่วโลก จำนวนมาก ดังนั้นหากผู้ใช้งานและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องไม่ ทราบถึงกระบวนการรีไซเคิลอย่างถูกวิธีและเหมาะสม หรือการประเมินความเสียหายเชิงลึกด้านเทคนิคต่าง ๆ ก็ อาจเกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งใน กระบวนการรีไซเคิลขยะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือแม้แต การจัดการขยะจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงด้าน เศรษฐศาสตร์ของการรีไซเคิลและนโยบายเพื่อให้แน่ใจว่า เป็นเทคโนโลยีที่มีความเป็นไปได้และปลอดภัย ซึ่ง กระบวนการนำซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือแม้แตขยะ อิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์กลับมาใช้ใหม่ อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดถือเป็นความ ทำหายทั้งภาครัฐและภาคเอกชนในด้านความยั่งยืนทั้งสิ้น

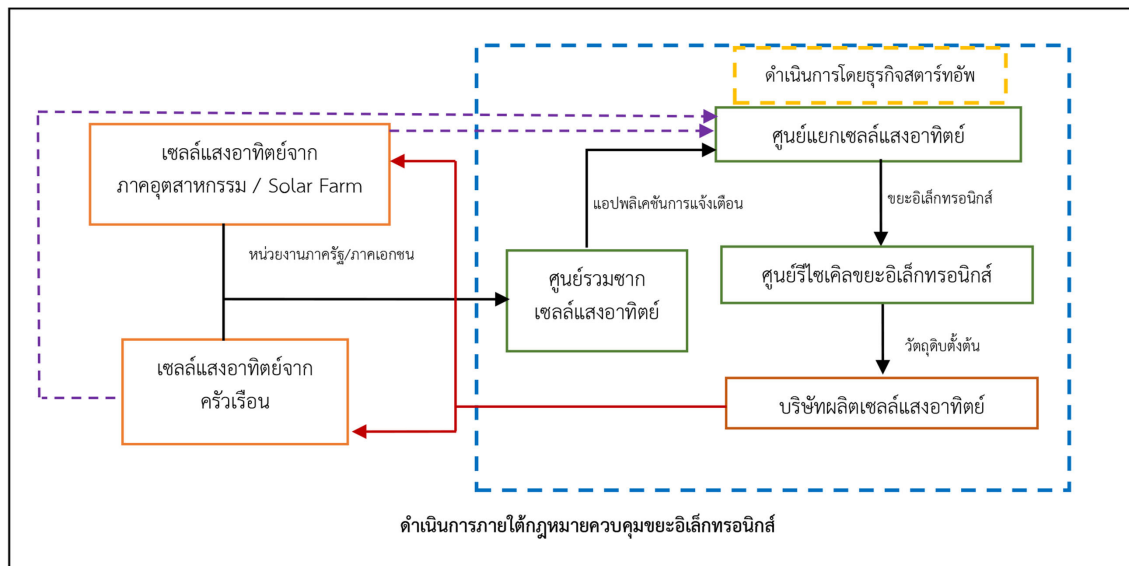
ทั้งนี้ข้อเสนอแนะแนวคิดในการจัดการซาก ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพ 4 แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการ โดยเริ่มตั้งแต่แหล่ง กำเนิดจนกระทั่งถึงกระบวนการกำจัดขั้นสุดท้าย ได้แก่

การควบคุมการทิ้งขยะซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การเก็บ รวบรวมคัดแยก แปรรูป การขนส่ง รวมถึงการกำจัดและ การนำกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งต้องเป็นการดำเนินการภายใต้ เงื่อนไขของกฎ ระเบียบทางกฎหมายทางสังคม โดยคำนึงถึง ประโยชน์สูงสุดในทางสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ทัศนียภาพ และสิ่งแวดล้อม มีความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ การ กำจัดขยะซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และการยอมรับของสังคม ดังนั้น การจัดการขยะซากแผง เซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีประสิทธิภาพจึงต้องได้รับความร่วม มือจากบุคคลหลายส่วนที่มีส่วนรับผิดชอบในการจัดการ ทั้งจากประชาชนและภาคอุตสาหกรรมที่มีการติดตั้งแผง เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานต้องมีหน้าที่ในการคัดแยกขยะ ซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนทิ้งและเก็บรวบรวม เพื่อลด ภาระหน้าที่การจัดเก็บของเจ้าหน้าที่ รวมถึงการดำเนินงาน ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการกำจัดให้ถูกต้องตามหลัก วิชาการ การจัดการขยะซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การลด และการคัดแยกขยะซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ แหล่ง กำเนิด การเก็บรวบรวมและเก็บกัก การขนส่ง การแปร สภาพ และการกำจัดหรือทำลายที่สามารถระบุปริมาณที่ ต้องการในการจัดส่งแต่ละครั้ง เส้นทางขนส่งที่คุ้มค่าและ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อผลิตเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้กับครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม

ตัวอย่างแนวคิดกระบวนการจัดการซากเซลล์แผง อาทิตย์โดยเริ่มต้นการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีทั้งจากภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม หรือแม้แต่ จาก Solar Farm เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หมดอายุการใช้งาน สามารถนำไปรวบรวมไว้ยังศูนย์รวมซากเซลล์แสงอาทิตย์ ที่รับผิดชอบโดยหน่วยงานภาครัฐและ/หรือหน่วยงาน ภาคเอกชน โดยในขั้นตอนของการรวบรวมซากเซลล์ แสงอาทิตย์มีการนำแนวคิดธุรกิจสตาร์ทอัพมาช่วยใน กระบวนการจัดการ โดยมีการแจ่มเตือนผ่านแอปพลิเคชัน เพื่อคำนวณระยะทาง เส้นทางขนส่ง ระยะเวลาในการ จัดเก็บเมื่อซากเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม จากนั้นจึงขนส่งไปยังหน่วยงานที่รับผิดชอบเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้แนวคิดธุรกิจ สตาร์ทอัพเพื่อแยกชิ้นส่วนให้กลายเป็นขยะอิเล็กทรอนิกส์แล้วจึงนำไปยังศูนย์รีไซเคิลขยะ อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแผง เซลล์แสงอาทิตย์กับบริษัทที่ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่ง

กระบวนการทั้งหมดต้องดำเนินการภายใต้กฎหมายควบคุมขยะอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งการจัดส่งวัตถุไปยังโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะดำเนินการภายใต้ธุรกิจสตาร์ทอัพที่สามารถระบุปริมาณที่ต้องการในการจัดส่งแต่ละครั้ง

เส้นทางการขนส่งที่คุ้มค่าและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อผลิตเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม



ภาพ 4 แนวคิดการจัดการซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



References

- Better World Solutions. (2016). *Solar panels can be recycled*. Retrieved from <https://www.betterworldsolutions.eu/solar-panels-can-be-recycled/>.
- CES Solar Cells Testing Center (CSSC). (2021). *Photovoltaic application course for system design engineers King Mongkut's University*. Retrieved From: <http://www.cssckmutt.in.th/cssc/>. (in Thai)
- Chandla-or, P. (2018). Legal measures for solar panel waste management. *Graduate Law Journal*, 11(3), 762-777. (in Thai).
- Champar-ngam, N. (2018). The renewal of soil contaminated industrial hazard wastes. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 12(2), 97-111. (in Thai)
- Chiang Mai News. (2019). *Computer engineers join the ReCute team to submit ideas for the matching order system, win 3 prizes from 3 fields*. Retrieved from <https://www.chiangmainews.co.th/page/archives/1114101/>. (in Thai)

- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2017). *Project to study the potential area suitable for developing solar power generation systems in Thailand*. Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (in Thai).
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2017). *Guidelines on environmental impact prevention and disposal of wastes from solar power generation projects for Thailand*. Bangkok: Ministry of energy. (in Thai).
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2018). *Report on the status of electricity generating with solar cells in Thailand*. Ministry of energy. Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (in Thai).
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2018). *Alternative Energy Development Plan: AEDP 2018*. Bangkok: Ministry of Energy. (in Thai).
- Division of Solar Energy Development (DEDE). (2018). *Study report of the spatial potential study project in the management of solar panel waste in Thailand*. Department of Alternative Energy Development and Efficiency (Research report). Bangkok: Division of Solar Energy Development. (in Thai)
- Electricity Generating Authority of Thailand. (2021). *Solar farm*. Retrieved From https://www.egat.co.th/egattoday/index.php?option=com_k2&view=item&id=13733:20210502-egatasp&Itemid=129. (in Thai)
- Hazardous Substance Management Division, Department of Industrial Works. (2014). *Recommendations for considering hazardous materials in accordance with List 5.6*. Retrieved from <http://eis.diw.go.th/haz/pdf/haz5.6.pdf>. (in Thai).
- International Finance Corporation (IFC). (2015). *Utility-scale solar photovoltaic power plants: A project developer's guide*. DC, USA: Environmental, Social and Governance Department.
- International Renewable Energy Agency. (2016). *End-of-life management solar photovoltaics panel*. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf
- Kang, K., Kang, H., Ilankoon, I., & Chong, C.Y. (2020). Electronic waste collection systems using Internet of Things (IoT): Household electronic waste management in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119801. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119801>.
- Kritsaya, M., & Kritsana, F. (2018). The critical factors to success of startup business in Thailand. *Payap University Journal*, 28(2), 143-158. (in Thai).
- Kumkoa, S. (2016). *Solar cell usage data and forecast of domestic solar cell waste*. *Electronic waste management master plan project (Solar Cells)* (Research report). Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology. (in Thai).

- Leejhakbhai, T. (2007). Portable power plant battery. *Material Evolution*, 2007, 16-21. (in Thai).
- Public Information Center (PIC). (2007). *Industrial environment law 2007*. Retrieved from http://www2.diw.go.th/PIC/law_01.html. (in Thai)
- Puangprasert, S., & Prueksasit, T. (2019). Health risk assessment of airborne Cd, Cu, Ni and Pb for electronic waste dismantling workers in Buriram Province, Thailand. *Journal of Environmental Management*, 252, 109601. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109601>
- Rachdawong, P., Ratanathammaphan, S., Banjerdpongchai, D., Boonpramote, T., & Sampattavanija, S. (2016). *Management of expired solar PV panels* (Research report). Bangkok: Office for Research and Development, Chulalongkorn University. (in Thai).
- Tao, J., & Yu, S. (2015). Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 141, 108-124. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.05.005>.
- Tomioka, O. (2016). *Japanese companies work on ways to recycle a mountain of solar panels*. Retrieved from <https://asia.nikkei.com/Business/Biotechnology/Japanese-companies-work-on-ways-to-recycle-a-mountain-of-solar-panels>.
- Weckend, S., Wade, A., & Heath, G. A. (2016). *End of life management: Solar photovoltaic panels* (Research report). Golden, CO, United States: National Renewable Energy Lab. (NREL). <https://doi.org/10.2172/1561525>
- Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A. L., & Yang, C. (2018). Global status of recycling waste solar panels: A review. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 75, 450–458. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.036>

