

การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง
อะมอร์ฟัสซิลิคอน สำหรับการผลิตไฟฟ้า
เสาวภา ทินปาน¹ และ ประพิธาร์ ธารักษ์^{1*}

Carbon Dioxide Emission Assessment of Thin Film
Amorphous Silicon for Electricity Generation
Sawapha Thinpan¹ and Prapita Thanarak^{1*}

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

¹ School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University.

*Corresponding author. E-mail : prapitat@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนมีส่วนสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก บทความนี้นำเสนอผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยศึกษาจากกระบวนการถลุงแร่ กระบวนการผลิต กระบวนการขนส่ง กระบวนการผลิตไฟฟ้า และกระบวนการกำจัดซาก ผลการประเมินพบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในช่วงอายุ 20 ปี เท่ากับ 40.4 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO₂eq) ส่วนระยะเวลาคืนทุนพลังงานเท่ากับ 0.29 ปี ระยะเวลาคืนทุนคาร์บอนไดออกไซด์ 1.14 ปี และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ เท่ากับ -668 kgCO₂eq

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ระยะเวลาคืนทุนพลังงาน การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ

Abstract

Electricity generation from renewable energy resources plays an important role in mitigating green house gas emissions. This paper presents an environmental impact assessment of electricity generation from thin film amorphous silicon. In applied life cycle assessment to evaluate carbon dioxide emission was undertaken studying the mining process, manufacturing process, transportation process, electricity generation and disposal process of the material. Results indicate that the CO₂ emission was 40.4 kgCO₂ eq over a 20 year life time. In addition, the energy payback time is 0.29 year, CO₂ payback time is 1.14 year and net CO₂ emission is - 668 kgCO₂ eq.

Keywords: Photovoltaic, GHG Emission, Energy Payback Time, NetCO₂ Emission

บทนำ

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศไทยมีการดำเนินงานลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่องทั้งจากการกำหนดนโยบาย การส่งเสริมผ่านกลไกตลาดคาร์บอน โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด การส่งเสริม

โครงการลดการทำลายป่าและความเสื่อมโทรมของป่า และแนวทางการมีส่วนร่วมโดยสมัครใจ เช่น การติดฉลากคาร์บอนรวมถึงการส่งเสริมธุรกิจอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ในส่วนของกระทรวงพลังงาน มีการกำหนดยุทธศาสตร์เพื่อส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกระยะ 10 ปี โดยแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553 - 2573 และแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก

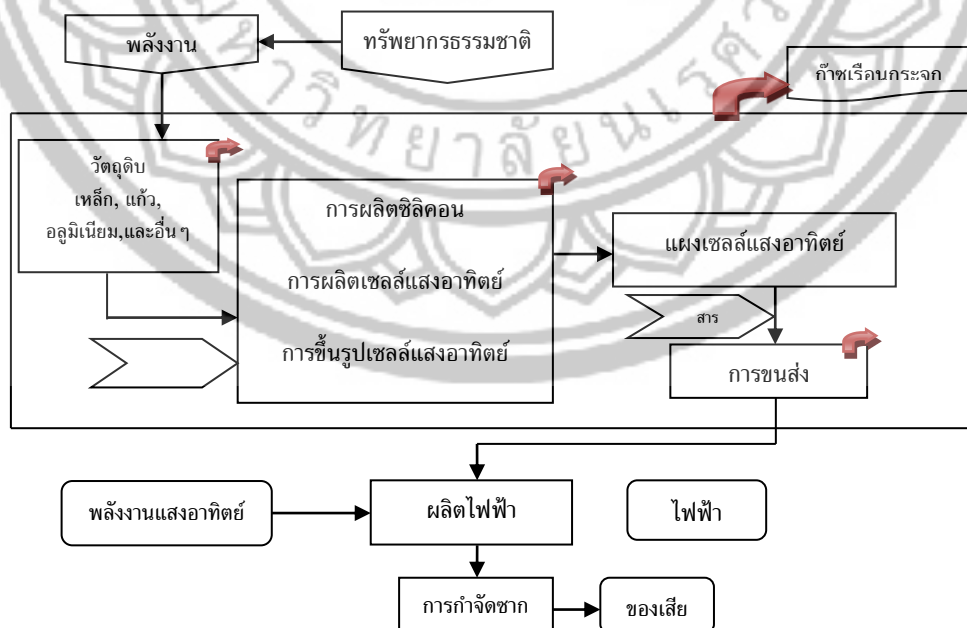


พ.ศ.2555 - 2564 ได้กำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นจาก 7,413 ktoe ในปี 2555 เป็น 25,000 ktoe ในปี 2564 หรือคิดเป็น 25% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 476 ล้านตันต่อปี ทั้งนี้มาจากการส่งเสริมทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ 2,000 เมกะวัตต์ (MW) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2555) นอกจากนี้รายงาน Thailand PV Status report 2011 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554, น. 15) พบว่า มีการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่า 100 MW ในประเทศไทย ซึ่งเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ซิลิคอน (Poly c-Si) จำนวน 57.22 MW และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Thin film a-Si) จำนวน 85.58 MW อย่างไรก็ตามประเทศไทยยังมีการศึกษาผลกระทบทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอที่จะเผยแพร่ให้กับผู้ประกอบการ หรือผู้ที่สนใจลงทุน มีเพียงการศึกษาของ (Muangjit Chamsilpa and Tanongkiat Kiatsiriroat, 2010, p. 57) ที่นำเสนอผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมแบบแยกส่วนซึ่งยังไม่ได้แปลผลให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า การศึกษานี้ จึงมี

วัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Thin film a-Si โดยใช้แนวทางการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับการคืนทุนพลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อเป็นการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การศึกษาศักยภาพการประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Thin film a-Si ขนาด 635 mm x 1245 mm, Nominal power 40 W อายุการใช้งาน 20 ปี ที่ติดตั้ง ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน (SERT) มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก แสดงขั้นตอนดังภาพที่ 1 โดยการศึกษาสารขาเข้าและสารขาออกตั้งแต่การใช้พลังงานหรือทรัพยากรในกระบวนการผลิตวัตถุดิบเพื่อสกัดเป็นซิลิคอน กระบวนการผลิตเซลล์และประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงกระบวนการขนส่งกระบวนการผลิตไฟฟ้า (ในการศึกษานี้ยังมิได้คำนวณอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ของระบบ) และการกำจัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแต่ละกระบวนการจะมีการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1 ขั้นตอนการประเมินตามวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Thin Film a-Si

การจัดทำบัญชีรายการเป็นการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดจากการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ประกอบการเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย บทความงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ระยะเวลาต้นทุน

พลังงาน ระยะเวลาต้นทุนคาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แหล่งข้อมูลอ้างอิงจากแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์ (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์, 2554, น.6) มีการจัดทำบัญชีรายการข้อมูล ดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูล Emission factor

ลำดับ	ชื่อ	รายละเอียด	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ (kg CO ₂ eq/หน่วย)	แหล่งข้อมูลอ้างอิง
การใช้ไฟฟ้า					
1	Electricity, grid mix CM (ไฟฟ้า)	CDM project type General project	kWh	0.5812	The study of emission factor for an electricity system in Thailand 2009
การขนส่งโดยรถบรรทุก (Truck Transportations)					
2	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อขนาด เล็กน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน วิ่งแบบปกติ 0% Loading		km	0.3111	Thai national database
3	รถกระบะบรรทุก 4 ล้อขนาด เล็กน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน วิ่งแบบปกติ 50% Loading		tkm	0.2681	Thai national database
การใช้สารเคมี					
4	Hydrogen (H ₂)		kg	0.1355	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
5	Silane (SiH ₄)		kg	61.2000	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
6	TCO		kg	3.4824	Monosodium Phosphate, Sodium phosphate ใน CFP EF
7	Ar		kg	3.4824	Data v.2.01 ของประเทศไทย Ecoinvent 2.2, IPCC 2007
8	Nitrogen (N ₂)	Nitrogen, liquid, at plant	kg	0.4970	GWP 100a
9	Methane(CH ₄)		kg	0.2377	Thai LCA data
10	EVA Film		kg	3.4824	Monosodium Phosphate, Sodium phosphate ใน CFP EF
11	Trimethylbromosilane (TMB)		kg	3.4824	Data v.2.01 ของประเทศไทย
12	PH ₃		kg	3.4824	



การถลุงแร่ควอตซ์ให้เป็นโลหะซิลิคอน มีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ตลอดทั้งปี จะหยุดเฉพาะช่วงของเวลาซ่อมบำรุงเท่านั้น เนื่องจากการเริ่มเดินเครื่องใหม่จะต้องใช้ไฟฟ้าเป็นจำนวนมากและในการถลุงแร่ควอตซ์ให้ได้โลหะซิลิคอน 1 ton มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 12,000 kWh หรือ 12 kWh/kg Silicon

กระบวนการผลิต การเก็บรวบรวมข้อมูลจากสารเคมีที่นำมาผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ประกอบการเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แสดง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณสารเคมีในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์

สารเคมี	ปริมาณสารเคมี (kg/module)	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO ₂ eq/kg)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO ₂ eq)
SiH ₄	1.13x10 ⁻⁶	61.2000	6.91 x10 ⁻⁵
H ₂	1.69x10 ⁻⁸	0.1355	2.29 x10 ⁻⁹
CH ₄	1.54x10 ⁻⁷	0.2377	5.66 x10 ⁻⁸
Ar	2.33x10 ⁻⁶	3.4824	1.14 x10 ⁻⁶
PH ₃	2.87x10 ⁻⁷	3.4824	9.99 x10 ⁻⁷
TMB	2.70x10 ⁻⁷	3.4824	9.40 x10 ⁻⁷
N ₂	3.39x10 ⁻⁴	0.4970	1.68 x10 ⁻⁴
TCO	6.40	3.4824	22.2870
EVA Film	0.23	3.4824	0.80095
รวมปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า			23.089

การแสดงของขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ มีการเก็บข้อมูลของสารขาเข้า (Input) สารขาออก (Output) และการใช้ไฟฟ้าสำหรับการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

(Muangjit Chamsilpa and Tanongkiat Kiatsiriroat, 2010, pp. 66) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สารขาเข้า (Input) สารขาออก (Output) และการใช้ไฟฟ้าของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

วัตถุดิบ	สารขาเข้า (Input)	สารขาออก (Output)	Electricity Input (kWh/module)
1. Cover Glass Grinding	-Cover Glass -Electricity	-Cover Glass -Wooden Case (Glass Container)	2.15
2. Cover Glass Drilling	- Cover Glass -Electricity	- Cover Glass	1.96
3. TCO Glass Grinding	-TCO Glass -Electricity	-TCO Glass -Electricity (Glass Container)	
4. TCO Laser Scribing#1	-TCO Glass -Electricity -LN ₂	-TCO Glass	0.07



ตารางที่ 3 (ต่อ)

วัตถุดิบ	สารขาเข้า (Input)	สารขาออก (Output)	Electricity Input (kWh/module)
5. Glass Washing	-Cover Glass -TCO Glass -Electricity -RO Water -Chemical Detergent	-Cover Glass -TCO Glass -Waste Water	0.89
6. TCO Preheat	-TCO Glass -Electricity	-TCO Glass	1.67
7. a-Si Deposition	-TCO Glass -Electricity -Chemical Gases 1. SiH ₄ 2. H ₂ 3. CH ₄ 4. Ar 5. PH ₃ 6. TMB 7. LN ₂	-TCO Glass	2.40
8. Cooling	-TCO Glass -Electricity	-TCO Glass	0.45
9. TCO Laser Scribing #2	-TCO Glass -Electricity -LN ₂	-TCO Glass	0.06
10. ZnO& Al Sputtering	-TCO Glass -Electricity -Ar -Al Target -ZnO Target	-TCO Glass	2.72
11. TCO Laser Scribing # 3	-TCO Glass -Electricity -LN ₂	-TCO Glass	0.03
12. IV-Test # 1	-TCO Glass -Electricity -Thermal Label Paper	-TCO Glass	0.17
13. Heat Treatment	-TCO Glass -Electricity	-TCO Glass	0.69
14. IV-Test # 2	-TCO Glass -Electricity -Thermal Label Paper	-TCO Glass	0.17
15. Sand Blasting	-TCO Glass -Electricity -Alumina Sand Al ₂ O ₃ -Mesh Size # 150 -Masking Paper	-TCO Glass	0.62



ตารางที่ 3 (ต่อ)

วัตถุดิบ	สารขาเข้า (Input)	สารขาออก (Output)	Electricity Input (kWh/module)
16. Ultrasonic Bonding	-TCO Glass -Electricity -Aluminum Foil	-TCO Glass	0.03
17. EVA Laminating	-TCO Glass -Cover Glass -Electricity -EVA Film	-a-Si Module	1.832
18. Assembly	-a-Si Module -Diode -cable -Silicone Glue -Lead	-a-Si Module	
19. Silicone Curing	-a-Si Module -Electricity	-a-Si Module	1.67
20. Quality Checking	-a-Si Module	-a-Si Module	
21. IV-Test # 3	-TCO Glass -Electricity -Thermal Label Paper	-TCO Glass	0.17
22. Frame Assembly	-a-Si Module -Aluminum Frame -Silicone Glue	-a-Si module with frame	0.024
23. Packing	-a-Si Module -Paper Box -Plastic String	-a-Si module in package	
Total Electricity Input (kWh/module)			17.78

การขนส่ง เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลการขนส่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากโรงงานผู้ผลิตมายังโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โดยมีการขนส่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 68 แผง (นิพนธ์ เกตุจ้อย, 2555) และมีระยะทางการขนส่ง 416 กิโลเมตร (km) มายังวิทยาลัยพลังงานทดแทน โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง รวมกล่องบรรจุภัณฑ์ มีน้ำหนัก 15 กิโลกรัม (kg) การผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 4.62 kWh/kWp (นิพนธ์

เกตุจ้อย, 2555) หรือ 0.1848 kWh/module หรือผลิตไฟฟ้ารายปี (330 วัน) เท่ากับ 60.984 kWh/module หรือ ผลิตไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี เท่ากับ 1,219.68 kWh/module การกำจัดซาก เป็นการคำนวณจากกระบวนการส่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปกำจัดซากยังบริษัทผู้ผลิต โดยรถบรรทุกทุกเที่ยวเปล่าจากบริษัทผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มายังวิทยาลัยพลังงานทดแทน มีระยะทางการขนส่งไปกำจัดซากอยู่ที่ 416 km แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง มีน้ำหนักอยู่ที่ 13.5 kg โดยไม่รวมกล่องบรรจุภัณฑ์

การคำนวณหาระยะคืนทุนพลังงาน (Energy Payback Time) สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Energy Payback Time} = \frac{E_{\text{input}}}{E_{\text{output}}}$$

Energy Payback Time คือ ระยะคืนทุนพลังงาน
 E_{input} คือ พลังงานที่ใช้ในการผลิต
 E_{output} คือ พลังงานที่ได้จากการผลิตไฟฟ้า

การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Payback Time) สามารถคำนวณหาได้จาก

$$\text{CO}_2 \text{ Payback Time} = \frac{\text{Total GWP}}{\text{PV CO}_2 \text{ reduction / year}}$$

CO₂ Payback Time คือ ระยะเวลาคืนทุนคาร์บอนไดออกไซด์
 Total GWP คือ ปริมาณที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด
 PV CO₂ reduction/year คือ ปริมาณที่ลดการปล่อยฯ ในช่วงการผลิตไฟฟ้ารายปี

การคำนวณหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (Net CO₂ emission) สามารถคำนวณหาได้จาก

Net CO₂ emission = Total GWP – PV CO₂ reduction
 Net CO₂ emission คือ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ
 Total GWP คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยทั้งหมด
 PV CO₂ reduction คือ ปริมาณที่ลดการปล่อยฯ ในช่วงการผลิตไฟฟ้า (20 ปี)

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนสำหรับการผลิตไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 4

การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเซลล์

ตารางที่ 4 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการถลุงแร่ควอตซ์ การผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การขนส่ง และการกำจัดซาก

กระบวนการ	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (kgCO ₂ eq)
การถลุงแร่ควอตซ์	6.9744
การผลิต	33.4227
การขนส่ง	0.0014
การกำจัดซาก	0.0015
รวมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์	40.4000



ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการถลุงแร่ควอตซ์ให้เป็นโลหะซิลิคอน โดยการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่า มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 6.9744 kgCO₂eq/kWh ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้พลังงานการผลิต 17.78 kWh พบว่า มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 10.3337 kgCO₂eq/kWh สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 23.0890 kgCO₂eq/kg กระบวนการขนส่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเที่ยวขาไปมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

เทียบเท่า 0.0008 kgCO₂eq/tkm และเที่ยวขากลับเป็นรถเปล่ามีคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 0.0006 kgCO₂eq/km ส่วนในกระบวนการกำจัดซากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กระบวนการกำจัดซากคิดการขนส่งไปกำจัดซากยังบริษัท การกำจัดซากด้วยวิธีการขนส่งเที่ยวขาไปมีคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 0.0007 kgCO₂eq/km และขากลับขนส่งแผงไปกำจัดซากยังบริษัทมีคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า 0.0008 kgCO₂eq/tkm ดังตารางที่ 4 ซึ่งกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ามากที่สุดเท่ากับ 33.4227 kgCO₂eq

ตารางที่ 5 ระยะเวลาคืนทุนพลังงาน

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (kWh)	ปริมาณการผลิตไฟฟ้ารายปี (kgCO ₂ eq)	ระยะคืนทุนพลังงาน (ปี)
17.78	60.98	0.29

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน มีระยะคืนทุนพลังงานอยู่ที่ 0.29 ปี

นอกจากนี้ จากข้อมูลจากงานวิจัยในประเทศไทยของ (Muangjit Chamsilpa & Tanongkiat Kiatsiriroat, 2010, pp. 65) พบว่ามีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 0.0029 kgCO₂/kWh และมีระยะเวลาคืนทุนพลังงาน 0.58-0.63 ปี และ (สุกมล วิทยะนันท์, 2551, น. 5) ได้ศึกษาค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ต่อหน่วยไฟฟ้าในภาคการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2550 มีค่า 0.5057 tCO₂/MWh ส่วนการศึกษาในต่างประเทศ (Andreas Sumper, Mercedes Robledo-Garcia, Roberto Villafila-Robles, Joan Bergas-Jane, & Juan Andres-Peiro, 2011) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตขนาด 200 kW ซึ่งอยู่บนหลังคาโดยเป็นระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si ตั้งอยู่ใน Pineda de Mar คาตาโลเนีย ประเทศสเปน มีระยะเวลาดำเนินทุนพลังงาน ที่ 4.36 ปี (Vasilis M. Fthenakis, & Hyung Chul Kim, 2011) ได้ศึกษาทางด้านสิ่งแวดล้อมของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ Phoenix, AZ มีระยะเวลาดำเนินทุนเพียง 0.9 ปี และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

16-27gCO₂eq/kW (R., Garcia-Valverde, C., Miguel, R., Martinez-Bejar, & A., Urbina, 2009) ได้ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตขนาด 4.2 kWp PV เป็นแบบ Standalone โดยเน้นศึกษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ มีระยะเวลาดำเนินทุนพลังงานที่ 9.08 ปี และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 131 g/kWh การศึกษาของ (Jinqing Peng, Lin Lu, Hongxing Yang, 2013, p. 256) พบว่าระยะเวลาดำเนินทุนพลังงาน 0.75-3.5 ปี มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10.5-50 gCO₂eq/kWh ระยะเวลาของโครงการ 20-25 ปี และ (National Renewable Energy Laboratory, 2013) ศึกษาตลอดระยะเวลา 30 ปี พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Thin film a-Si มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ 40 gCO₂eq/kWh ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ Solar irradiation, Operating Life time, Module efficiency และ Performance ratio

ตารางที่ 6 ระยะเวลาคืนทุนคาร์บอนไดออกไซด์ของการผลิตไฟฟ้า

ปริมาณที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด (kgCO ₂ eq)	ปริมาณที่ลดการปล่อยฯ ในช่วงการผลิตไฟฟ้ารายปี (kgCO ₂ eq)	ระยะคืนทุนคาร์บอนไดออกไซด์ (ปี)
40.4000	35.4439	1.14

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้า เท่ากับ 0.5812 kgCO₂eq/kWh (คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, 2554, น. 23)

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน มีระยะคืนทุนคาร์บอนไดออกไซด์ 1.14 ปี

ตารางที่ 7 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจากการผลิตไฟฟ้า

ปริมาณการปล่อย คาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด (kgCO ₂ eq)	ลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงการผลิต ไฟฟ้า (20 ปี) (kgCO ₂ eq)	การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (kgCO ₂ eq)
40.4000	708.8780	-668.4780

จากการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (Net CO₂ emission) พบว่า การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ มีค่าเท่ากับ -668.4780 kgCO₂eq

สรุปผลการวิจัย

การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากกระบวนการต่างๆ มีค่าเท่ากับ 40.4 kgCO₂eq ระยะเวลาคืนทุนพลังงานเท่ากับ 0.29 ปี ระยะเวลาคืนทุนคาร์บอนไดออกไซด์ 1.14 ปี และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ เท่ากับ -668 kgCO₂eq

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ข้อมูลกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อหาปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่า การเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ มีข้อมูลบางอย่างที่บริษัทไม่สามารถให้ข้อมูลที่แท้จริงได้ เนื่องจากเป็นความลับทางการค้าไม่สามารถเปิดเผยได้ ดังนั้นตามทฤษฎีของการประเมินข้อมูลที่น่ามาพิจารณาจึงเป็นข้อมูลการอ้างอิงจากต่างประเทศซึ่งอาจส่งผลให้บางกระบวนการของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างสูง ดังนั้นควรมีการจัดทำข้อมูลการอ้างอิงของประเทศไทย นอกจากนี้ควรมีการศึกษาผลกระทบของสารตัวอื่นที่มีผลต่อภาวะโลกร้อนด้วย เช่น ก๊าซมีเทน (CH₄) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรฟลูโอโรคาร์บอน (HCFC-22)

ก๊าซเปอร์ฟลูโอโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) และการศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ครบระบบการผลิตไฟฟ้า ควรมีการศึกษาในส่วนของอุปกรณ์ประกอบ เช่น แบตเตอรี่, อินเวอร์เตอร์ หรือส่วนที่สนับสนุนอื่นๆ ของโครงสร้างระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง “การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในประเทศไทย” สนับสนุนโดยงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). *Thailand PV Status Report 2011*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

คณะกรรมการเทคนิคด้านคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. (2554). *แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์* (พิมพ์ครั้งที่ 3). ม.ป.ท.: ม.ป.พ.



นิพนธ์ เกตุจ้อย, ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด, วิฑิตพร เจาะจง, และคงฤทธิ์ แม้นศิริ. (2555). *การศึกษาการลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นในระยะยาว* (รายงานวิจัย). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล. (2548). *การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์*. (รายงานวิจัย). เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก*. ค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2555, จาก <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2555). *การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

สุกมล หิญาธิระนันท์. (2551). *การคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปี 2550*. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

A. Nishimura, Y., Hayashi, K., Tanaka, M., Hirota, S., Kato, M., Ito, et al. (2009). *Life cycle assessment and evaluation of energy payback time on high-concentration photovoltaic power generation system*. North Terrace: School of Mechanical Engineering The University of Adelaide.

Andreas Sumper, Mercedes Robledo-Garcia, Roberto Villafafila-Robles, Joan Bergas-Jane, & Juan Andres-Peiro. (2011). *Life-cycle assessment of a photovoltaic system in Catalonia (Spain)*. N.P.: n.p.

Jinqing Peng, Lin Lu, & Hongxing Yang. (2013). Review on Life cycle assessment of energy payback and green house gas emission of solar Photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 255-274.

Muanjit Chamsilpa, & Tanongkiat Kiatsiriroat. (2010). Life Cycle Assessment of Amorphous Silicon Solar Cell Power Plant Using Activity-Based Approach. *International Journal of Renewable Energy*, 5(1), 57.

National Renewable Energy Laboratory (2013). *Life Cycle Assessment of Solar PV*. Retrieved September 18, 2013, from www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf

R., Garcia- Valverde, C., Miguel, R., Martinez-Bejar, & A., Urbina. (2009). *Life cycle assessment study of a 4.2 kWp stand-alone photovoltaic system*. Spain: Campus de Espinardo, Murcia.

Vasilis M, Fthenakis, & Hyung Chul Kim. (2011). *Life cycle assessment of high-concentration photovoltaic systems*. New York: Center for Life Cycle Analysis, Columbia University.