

การวิเคราะห์ร่องรอยคาร์บอนและประเมินคาร์บอนเครดิต โครงการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา

Carbon Footprint Analysis and Carbon Credit Assessment from The Solar Rooftop Project

ทศพร แก้วศรีสุข¹ และ ไชยพร หล่อทองคำ^{2*}

¹นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร todsaporn.kaewsriruk@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร chaiyaporn_chaiyaporn@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ร่องรอยคาร์บอนและประเมินคาร์บอนเครดิตจากโครงการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา จากกรณีศึกษา 3 โครงการ ประกอบด้วย วิทยาลัยเทคนิคระยอง วิทยาลัยเทคนิคพัทยา และวิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี การวิเคราะห์ร่องรอยการปลดปล่อยและความสามารถดูดซับหรือลดการปล่อยคาร์บอนจากศักยภาพการผลิตไฟฟ้าที่ได้รับจากการจำลองระบบในโปรแกรม PVsyst และใช้วิธีประเมินคาร์บอนเครดิตบน Microsoft Excel ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนต่อกำลังผลิตติดตั้งเฉลี่ยเท่ากับ 1.509 tCO₂e/kWp ปริมาณการดูดซับคาร์บอนเฉลี่ยต่อขนาดกำลังผลิตติดตั้งเป็น 23.217 tCO₂e/kWp คาร์บอนเครดิตที่ได้รับเฉลี่ยต่อกำลังผลิตติดตั้งเท่ากับ 21.709 tCO₂e/kWp โดยโครงการเริ่มได้รับคาร์บอนเครดิตเมื่อเข้าสู่ปีที่สาม

คำสำคัญ: ร่องรอยคาร์บอน คาร์บอนเครดิต ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

Abstract

This paper deals with the carbon footprint analysis and carbon credit assessment for the solar rooftop system. It consists of three case studies: Rayong Technical College, Pattaya Technical College, and Prachinburi Technical College. The emissions footprint and carbon absorption or reduction capabilities were analyzed based on the power generation potential obtained from the PVsyst system simulation and carbon credits were assessed using Microsoft Excel. The results show that the average carbon emission footprint per installed capacity is 1.509 tCO₂e/kWp. The average carbon absorption per installation capacity is 23.217 tCO₂e/kWp. The average carbon credits received per installed capacity is 21.709 tCO₂e/kWp. Finally, it will receive carbon credits in the third year.

Keywords: Carbon Footprint, Carbon Credit, Solar Rooftop

1. บทนำ

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่มากเกินไปจนความจำเป็นในปัจจุบันทำให้อุณหภูมิผิวโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น [1] พบการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂e) เกิดจากภาคการผลิตพลังงานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 69.96 เมื่อเทียบกับภาคส่วนรวมทั้งจากภาคของเสีย

[2] ดังนั้นเพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายการเข้าสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี ค.ศ. 2050 (พ.ศ. 2593) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ (Net Zero Greenhouse Gas Emission) ภายในปี ค.ศ. 2065 (พ.ศ. 2608) [3] พลังงานหมุนเวียนจึงเป็นกุญแจสำคัญเพื่อลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากภาคการผลิตพลังงานไฟฟ้า ประเทศไทยมีการใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลักเนื่องจากศักยภาพการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์โดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม มีสูงถึงระดับ 20 – 24 MJ/m²-day [4] ทำให้มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา (solar rooftop) ในภาคอุตสาหกรรม อาคารสถานประกอบการ รวมทั้งอาคารสถานศึกษา เพิ่มมากขึ้น พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แสดงเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂e) ส่วนเหลือจากการชดเชยคือคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) ที่ได้รับ ซึ่งสามารถใช้ซื้อขายแลกเปลี่ยนตามโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจของประเทศไทยหรือ T-VER (Thailand Voluntary Emission Reduction Program) [5] ได้

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ร่องรอยคาร์บอนตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา และการประเมินคาร์บอนเครดิต กรณีศึกษาวิทยาลัยในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) จำนวน 3 โครงการ ได้แก่ วิทยาลัยเทคนิคระยอง, วิทยาลัยเทคนิคพัทยา และ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 501.07 kWp, 100 kWp และ 40 kWp ตามลำดับ ผลการศึกษาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อหน่วยงานภาคการศึกษาในสังกัด สอศ. เพื่อกำหนดนโยบายแผนงานติดตั้งระบบ solar rooftop ช่วยลดค่าไฟฟ้าและรองรับการขายคาร์บอนเครดิตในอนาคต

2. การดำเนินงาน

2.1 วิธีการวิเคราะห์ร่องรอยคาร์บอน

การศึกษาใช้วิธีวิเคราะห์ร่องรอยการปลดปล่อยคาร์บอนแบบ Cradle-to-Grave ด้วยการจัดทำบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Inventory : LCI) [6] แบ่งการใช้ทรัพยากรเป็น 5 หมวดหมู่ คือ การใช้พลังงาน การใช้วัสดุในกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มลพิษที่เกิดขึ้นทั้งทางอากาศและทางน้ำ ภาคการขนส่งผลิตภัณฑ์ และสุดท้ายการกำจัดของเสียหรือการรีไซเคิลระบบ ในสัดส่วนที่แตกต่างกันตามกระบวนการในแต่ละขั้นตอน นั่นคือ กระบวนการผลิต การติดตั้ง การบำรุงรักษา และการจัดการหลังสิ้นอายุการใช้งาน จากนั้นคำนวณปริมาณการปลดปล่อย CO₂ ด้วยสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF) ทำให้ได้ปริมาณกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์

เทียบเท่า (kgCO₂eq) ของแต่ละโครงการ สุดท้ายคำนวณอัตราส่วนการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อขนาดกำลังผลิตติดตั้ง (CO₂eq/kWp) ประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของโครงการจากแบบจำลองบนโปรแกรม PVsyst เพื่อคาดการณ์ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบสามารถผลิตได้ต่อไป วิเคราะห์ศักยภาพการช่วยลดปริมาณ CO₂ ที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศจากโรงไฟฟ้าฟอสซิลแบบเดิม คำนวณปริมาณการลดคาร์บอนด้วยสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโรงไฟฟ้าพลังงานฟอสซิล แสดงผลเป็นปริมาณตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO₂eq) ที่สามารถลดได้ต่อหน่วยกำลังผลิตติดตั้ง (kWp) ของโครงการ สุดท้ายประเมินคาร์บอนเครดิตที่ได้รับจากโครงการ

2.2 ข้อมูลโครงการกรณีศึกษา

กรณีศึกษาใช้โครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา กลุ่มวิทยาลัยในสังกัด สอศ. จำนวน 3 โครงการ ประกอบด้วย

วิทยาลัยเทคนิคระยอง ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งละติจูด 12.6678° N ลองจิจูด 101.2720° E ติดตั้งแผง Solar Rooftop ตามแนวเอียงของโครงสร้างหลังคาอาคาร กำลังผลิตติดตั้งรวม 501.07 kWp ประกอบด้วยพื้นที่บนหลังคา 5 อาคาร คือ โรงยิมเนเซียม (GYM) อาคารอิเล็กทรอนิกส์ (ELE) อาคารการโรงแรม (HSP) อาคารบริหารธุรกิจ (BSS) และอาคารปิโตรเคมี (CHEM) ดังรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดการจัดแผงโซลาร์เซลล์ขนาดอาร์เรย์ จำนวนแผงต่อสตริง แสดงในตารางที่ 1

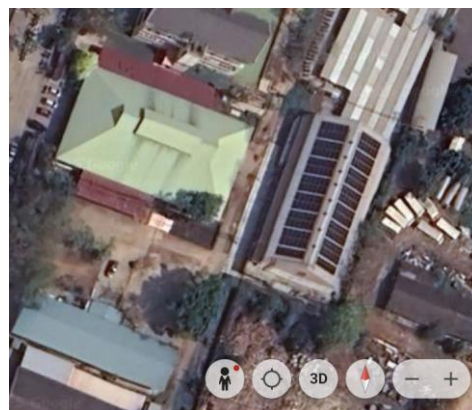


รูปที่ 1 กรณีศึกษาโครงการของวิทยาลัยเทคนิคระยอง

ตารางที่ 1 รายละเอียดการติดตั้ง กรณีศึกษาวิทยาลัยเทคนิคระยอง

Array	Orientation		Power (kWp)	PV. /String	String
	Tilt	Azimuth			
1. GYM-01	8	25,115	64.08	18	8
GYM-02	8	115,-155,-65	64.08	18	8
GYM-03	8,0	-65,-115	64.08	18	8
2. ELE	12	115, -65	75.65	17	10
3. HSP	12	115, -65	89.00	18	10
				20	1
4. BSS	12	115, -65	56.96	16	8
5. CHEM	12	115, -65	87.22	18	9
				17	2
รวม			501.07		

วิทยาลัยเทคนิคพญา ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งละติจูด 12.9820° N ลองจิจูด 100.9244° E ติดตั้งแผง Solar Rooftop ตามแนวเอียงของโครงสร้างหลังคาอาคาร มีกำลังผลิตติดตั้ง 100 kWp จำนวน 1 อาคาร ดังรูปที่ 2 โดยมีรายละเอียดการจัดแผงโซลาร์เซลล์ ขนาดอาร์เรย์ จำนวนแผงต่อสตริง แสดงในตารางที่ 2 ตามลำดับ

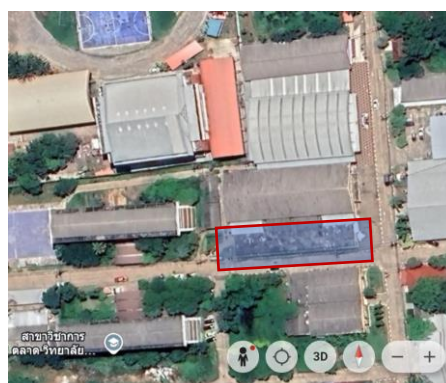


รูปที่ 2 กรณีศึกษาโครงการของวิทยาลัยเทคนิคพญา

ตารางที่ 2 รายละเอียดการติดตั้ง กรณีศึกษาวิทยาลัยเทคนิคพญา

Array	Orientation		Power (kWp.)	PV. /String	String
	Tilt	Azimuth			
1. PTY-01	10	-160	50	18/17	6/1
PTY-02	10	20	50	18/17	6/1
รวม			100		

วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ตั้งอยู่ที่ตำแหน่ง ละติจูด 14.0506° N ลองจิจูด 101.3761° E ติดตั้งแผง Solar Rooftop บนดาดฟ้าคอนกรีตอาคาร มีกำลังผลิตติดตั้ง 40 kWp เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้โรงอาหาร ดังรูปที่ 3 รายละเอียดการจัดแผงโซลาร์เซลล์ ขนาดอาร์เรย์ จำนวนแผงต่อสตริง แสดงในตารางที่ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 3 กรณีศึกษาโครงการของวิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี (ยังไม่อัปเดตภาพถ่ายดาวเทียมใน Google Earth)

ตารางที่ 3 รายละเอียดการติดตั้ง กรณีศึกษาวิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี

Array	Orientation		Power (kWp)	PV. /String	String
	Tilt	Azimuth			
1. PCB	18	-100	40	18	4

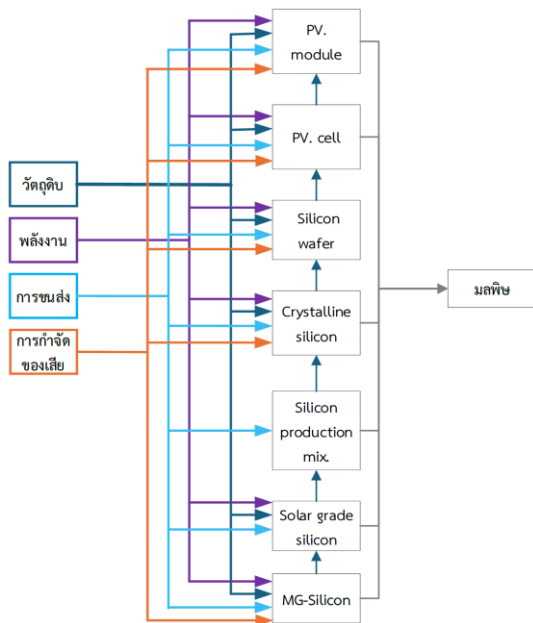
3. การวิเคราะห์ร่องรอยคาร์บอน

3.1 การวิเคราะห์ร่องรอยการปลดปล่อยคาร์บอน

การวิเคราะห์ร่องรอยการปลดปล่อยคาร์บอนใช้ตามแนวทางของสำนักงานพลังงานระหว่างประเทศ IEA (International Energy Agency) เป้าหมายภารกิจที่ 12 หัวข้อแนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบ solar rooftop แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ กระบวนการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ (production stage) กระบวนการก่อสร้างหรือการติดตั้งระบบ (construction process stage) การใช้งานระบบ (use stage) รวมทั้งการบำรุงรักษา และการจัดการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน (end-of-life stage) [7] จัดทำบัญชีรายการวัฏจักรชีวิตเป็น spreadsheet ใน Microsoft Excel อ้างอิงข้อมูลจาก International Energy Agency's Photovoltaic Power Systems Program (IEA PVPS) [6]

1) การผลิตแผงโซลาร์เซลล์ (production stage)

บัญชีรายการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ใช้ฐานข้อมูลผู้ผลิตแผงจากประเทศจีน ตามข้อมูลแผนที่ติดตั้งใช้งานจริงของโครงการ กระบวนการผลิตแผงโซลาร์เซลล์มีการใช้ทรัพยากรต่อพื้นที่แผง (m²) แบ่งเป็น 7 ลำดับชั้น แต่ละชั้นตอนมีการใช้ทรัพยากรและปลดปล่อยมลพิษแตกต่างกัน ดังไดอะแกรมตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 การใช้ทรัพยากรต่อการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ 1 m²

2) กระบวนการก่อสร้าง (construction process stage)

การติดตั้งบนหลังคามีการใช้ทรัพยากรแตกต่างกันตามรูปแบบการติดตั้งในการทำบัญชีรายการแบ่งออกเป็น การติดตั้งผิวหน้าอาคารแบบมีอุปกรณ์ช่วยจับยึด การติดตั้งเป็นส่วนเดียวกับตาดฟ้าอาคารแบบการติดตั้งบนหลังคาพื้นเรียบ การติดตั้งบนหลังคาเอียงแบบมีอุปกรณ์ช่วยจับยึด และการติดตั้งบนหลังคาเอียงโดยเป็นส่วนเดียวกับโครงสร้างหลังคา

3) การใช้งาน (use stage)

การใช้ทรัพยากรในระหว่างการใช้งาน วิเคราะห์จากกิจกรรมการบำรุงรักษา กำหนดให้แผนการบำรุงรักษาของกรณีศึกษาทั้ง 3 โครงการ มี

แผนการล้างแผงโซลาร์เซลล์ทุก 6 เดือน ประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทำความสะอาดแผง การใช้น้ำ และการขนส่ง จากการประมาณความสามารถในการล้างแรงงานคน [8]

4) การจัดการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน (end-of-life stage)

เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานวิเคราะห์จากกิจกรรมการรีไซเคิล เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีมาตรการหรือหน่วยงานรองรับการ Recycle หรือ Reuse อย่างเป็นรูปธรรม จึงประเมินได้ถึงการรีไซเคิลระบบ

จากกระบวนการที่ 1) - 4) ร่องรอยการปลดปล่อยคาร์บอนจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา แสดงความสัมพันธ์ ดังสมการที่ (1)

$$CO_2eq_{Emission} = CO_2eq_p + CO_2eq_{ins} + CO_2eq_{use} + CO_2eq_{EoL} \quad (1)$$

กำหนดให้

CO_2eq_p คือ การปลดปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการผลิต

CO_2eq_{ins} คือ การปลดปล่อยคาร์บอนจากการติดตั้ง

CO_2eq_{use} คือ การปลดปล่อยคาร์บอนระหว่างใช้งาน

CO_2eq_{EoL} คือการปลดปล่อยคาร์บอนจากการจัดการเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน

โดยปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมีหน่วยเป็นตันหรือกิโลกรัมต่อหน่วยการใช้ทรัพยากรนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$CO_2eq_E = LCI \times EF \quad (2)$$

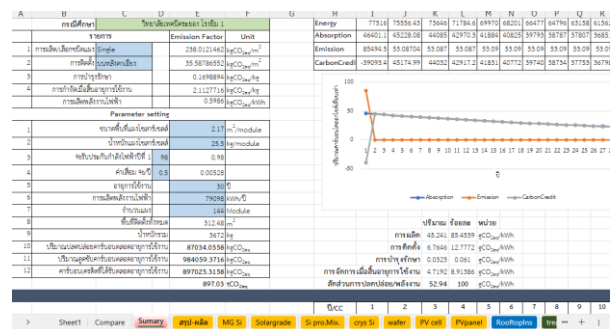
โดยที่

CO_2eq_E คือ ปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

LCI คือ รายการใช้ทรัพยากรใดๆ ในแต่ละกระบวนการ

EF คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ดังนั้นการวิเคราะห์ร่องรอยการปลดปล่อยคาร์บอนโดยการจัดทำบัญชีรายการตามกระบวนการที่ 1) - 4) ใน Microsoft Excel spreadsheet เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ตัวแปรตามสมการที่ (1) และ (2) ได้ข้อมูลร่องรอยการปลดปล่อยคาร์บอน แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องมือวิเคราะห์ร่องรอยการปลดปล่อยคาร์บอน

3.2 การวิเคราะห์ร่องรอยการดูดซับคาร์บอน

การดูดซับคาร์บอนในบริบทนี้คือการชดเชยการปลดปล่อยคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยแหล่งพลังงานจากฟอสซิลแบบเดิมทดแทนด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปีที่ได้รับจากโครงการติดตั้ง solar rooftop ด้วย

โปรแกรม PVsys อ้างอิงสภาพภูมิอากาศจากฐานข้อมูล Meteonorm 8.1 ซึ่งข้อมูลรายละเอียดอินเวอร์เตอร์และการจัดแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ในการจำลองระบบแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลอินเวอร์เตอร์และการจัดแผงโซลาร์เซลล์ตามอาร์เรย์

Array	Inverter	PV Module	จำนวน PV
1. GYM01	Growatt 60 kW.	TP6L72M(H)-445	144
2. GYM02	60KTL3LV	TP6L72M(H)-445	144
3. GYM03		TP6L72M(H)-445	144
4. ELE		TP6L72M(H)-445	170
5. HSP	Growatt 80 kW.	TP6L72M(H)-445	200
	80KTL3LV		
6. BSS	Growatt 60 kW.	TP6L72M(H)-445	128
	60KTL3LV		
7. CHEM	Growatt 80 kW.	TP6L72M(H)-445	196
	80KTL3LV		
8. PTY-1	Huawei 50KTL3-400V	TP672M(H)-400-L	125
9. PTY-2		TP672M(H)-400-L	125
10. PCB	Huawei 40KTL3-400V	LR5-72HPH 555M	72

ความสูญเสียแฝงในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (solar rooftop) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ การสูญเสียจากความร้อนสะสมหลังแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งกรณีศึกษาทั้ง 3 โครงการไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนด้านหลังแผง ดังนั้นเลือกใช้ “อากาศหมุนเวียนโดยอิสระไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน” $U_c = 29.0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ และไม่คำนึงถึงแพ็คเกจการสูญเสียจากความเร็วลม ส่วนต่อมาคือ การสูญเสียเนื่องจากความต้านทานสาย มี 2 ส่วน คือ ความสูญเสียในสายส่วนไฟฟ้ากระแสตรงกำหนดไว้ที่ 1.5 % และความสูญเสียในสายส่วนไฟฟ้ากระแสสลับ ประมาณค่าจากตำแหน่งติดตั้งอินเวอร์เตอร์ถึงตำแหน่งจุดต่อร่วม (PCC) สุดท้ายค่าสูญเสียเนื่องจากอายุการใช้งาน (ageing) ใช้ข้อมูลลักษณะเฉพาะของแผงโซลาร์เซลล์ตามข้อมูลในคู่มือของบริษัทผู้ผลิต

ดังนั้นการดูดซับคาร์บอน (absorption) จากโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สามารถประมาณได้จากสมการที่ (3)

$$CO_2eq_a = E_{PVRS} \times EF \quad (3)$$

โดยที่

CO_2eq_a คือ ปริมาณดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

E_{PVRS} คือ พลังงานไฟฟ้าจาก Solar Rooftop ที่ป้อนเข้าโครงข่าย

EF คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโรงไฟฟ้าฟอสซิล เท่ากับ 0.5986 kgCO₂eq/kWh (จาก TGO กรกฎาคม 2565)

3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ค่าสัมประสิทธิ์แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วย (kgCO₂eq/หน่วย) ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีหรือกิจกรรม สำหรับการศึกษาที่ใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ เช่น ข้อมูลที่ตีพิมพ์โดยองค์กรระหว่างประเทศ เช่น IPCC สหประชาชาติ หรือฐานข้อมูลที่เผยแพร่ทั่วไป ได้แก่ ฐานข้อมูลเฉพาะของกลุ่มอุตสาหกรรม หรือฐานข้อมูลเฉพาะของแต่ละประเทศ

3.4 การประเมินคาร์บอนเครดิต

คาร์บอนเครดิตจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า solar rooftop จะเกิดขึ้นเมื่อการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าสูงกว่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามประเด็นการศึกษาดังนี้

ก. คาร์บอนเครดิตที่ได้รับตลอดอายุการใช้งาน

กำหนดให้อายุการใช้งานของทั้ง 3 โครงการ คือ 30 ปี เมื่อพิจารณาปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการติดตั้งในปีแรก สามารถคำนวณคาร์บอนเครดิตที่ได้รับตลอดอายุโครงการได้ดังสมการที่ (4)

$$C_{credit_EoL} = \sum_{i=1}^{30} (CO_2eq_a - CO_2eq_e)_i \quad (4)$$

ซึ่งเป็นผลรวมคาร์บอนเครดิตที่ได้รับต่อปี (kgCO₂eq) โดยพิจารณาแยกเป็นรายปี เนื่องจากค่าเสื่อมสภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และการปลดปล่อยในแต่ละปีมีความแตกต่างกัน

ข. คาร์บอนเครดิตต่อหน่วยกำลังผลิต

เนื่องด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจาก Solar Rooftop แต่ละโครงการมีกำลังผลิตติดตั้งแตกต่างกัน ความสามารถในการช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงไม่เท่ากัน ดังนั้นสัดส่วนคาร์บอนเครดิตที่ได้รับต่อกำลังผลิตติดตั้งของระบบ สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (5)

$$C_{credit}/ins_capacity = \frac{C_{credit_y}}{P_{ins_capacity}} \quad (5)$$

โดยที่

$C_{credit}/ins_capacity$ คือ สัดส่วนคาร์บอนเครดิตต่อกำลังผลิตติดตั้ง

C_{credit_y} คือ คาร์บอนเครดิตต่อปี (kgCO₂eq/ปี)

$P_{ins_capacity}$ คือ กำลังติดตั้งของระบบ (kWp)

ค. ระยะเริ่มได้รับคาร์บอนเครดิต

หมายถึงจุดเริ่มต้นที่โครงการสามารถชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้หรือระยะเวลาที่โครงการเริ่มมีเครดิตทางคาร์บอน ซึ่งใช้ซื้อขายแลกเปลี่ยนให้เกิดเป็นมูลค่าชดเชยการลงทุนได้ ดังสมการที่ (6)

$$C_{payback} = \frac{CO_2eq_e_EoL}{CO_2eq_{a_y}} \quad (6)$$

เมื่อ

$C_{payback}$ คือ ระยะเวลาที่โครงการเริ่มมีเครดิตทางคาร์บอน (ปี)

$CO_2eq_e_EoL$ คือ คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ปลดปล่อยตลอดอายุการใช้งานระบบ (kgCO₂eq)

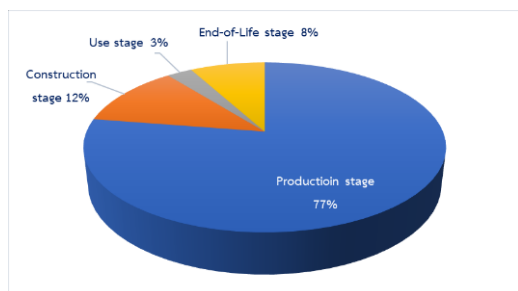
$CO_2eq_{a_y}$ คือ คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ดูดซับได้ต่อปี (kgCO₂eq/ปี)

4. ผลการศึกษาและบทวิเคราะห์

การศึกษาและประเมินร่องรอยคาร์บอนตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก Solar Rooftop ทั้งกรณีการปลดปล่อยและความสามารถชดเชยหรือดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂eq) จากกรณีศึกษาทั้ง 3 โครงการ มีผลเป็นดังนี้

4.1 การปลดปล่อยคาร์บอน

จากการวิเคราะห์สัดส่วนการใช้ทรัพยากรตลอดวัฏจักรชีวิต ประกอบด้วย การผลิต การติดตั้ง การใช้งาน และการจัดการเมื่อสิ้นอายุการใช้งาน 30 ปี พบว่า การผลิตแผงโซลาร์เซลล์มีการสร้างหรือปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนมากที่สุดถึงร้อยละ 77 เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนที่เหลือทั้งหมดในแต่ละโครงการ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 สัดส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

การวิเคราะห์ร่องรอยการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂eq) ต่อกำลังการผลิตติดตั้ง (kWp) แยกตามวงจรการติดตั้งแต่ละอาคารจากทั้ง 3 โครงการ ปรากฏผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ร่องรอยการปลดปล่อยคาร์บอนต่อกำลังการผลิตไฟฟ้า

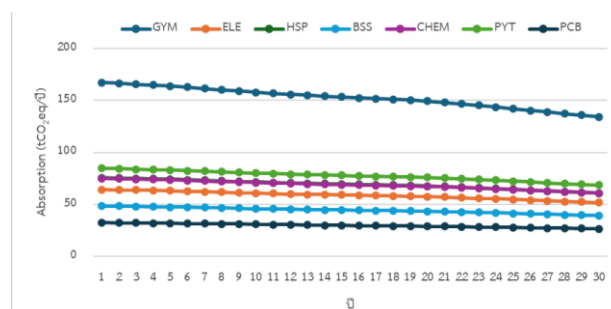
การปลดปล่อยคาร์บอนต่อกำลังการผลิตติดตั้ง (tCO ₂ eq/kWp)					
กรณีศึกษา	Production	Construction	Use	End of Life	รวม
1. GYM	1.161	0.174	0.050	0.121	1.505
2. ELE	1.161	0.174	0.050	0.121	1.505
3. HSP	1.161	0.174	0.050	0.121	1.505
4. BSS	1.161	0.174	0.050	0.121	1.505
5. CHEM	1.161	0.174	0.050	0.121	1.505
6. PTY	1.190	0.178	0.016	0.119	1.502
7. PCB	1.190	0.204	0.021	0.119	1.534
ค่าเฉลี่ย	1.169	0.179	0.041	0.120	1.509

พบค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยคาร์บอนจากทั้ง 7 วงจร เท่ากับ 1.509 tCO₂eq/kWp โดยโครงการของวิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี (กรณีศึกษาที่ 7. PCB) มีสัดส่วนการปล่อย CO₂eq มากที่สุด ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยเล็กน้อย เนื่องจากรูปแบบการติดตั้งบนพื้นหลังตามแนวระนาบดาดฟ้าคอนกรีต จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วยจับยึดแผง (mounting structure) เพิ่มขึ้น

4.2 การดูดซับคาร์บอน

ผลการวิเคราะห์ศักยภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก Solar Rooftop ตลอดอายุการใช้งาน 30 ปี ด้วยแบบจำลองระบบบนโปรแกรม PVsyst จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้คูณด้วยสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานฟอสซิล ปริมาณคาร์บอน

รายปีที่โครงการสามารถชดเชยหรือดูดซับได้ แสดงดังกราฟรูปที่ 7 โดยการดูดซับคาร์บอนมีแนวโน้มลดลงทุกปีตามการเสื่อมสภาพจากทุกแผง-เตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอง



รูปที่ 7 ผลการดูดซับคาร์บอนจากโครงการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตลอดอายุการใช้งานแสดงผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตลอดอายุการใช้งาน

กรณีศึกษา	การดูดซับคาร์บอน (tCO ₂ eq)	ร่องรอยดูดซับต่อกำลังการผลิต (tCO ₂ eq/kWp)
1. GYM	4574.262	23.795
2. ELE	1757.190	23.228
3. HSP	2069.857	23.257
4. BSS	1326.138	23.282
5. CHEM	2055.976	23.572
6. PTY	2320.168	23.202
7. PCB	887.430	22.186
ค่าเฉลี่ย		23.217

พบว่าปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าแปรผันตรงตามศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า ค่าเฉลี่ยคาร์บอนที่สามารถดูดซับได้คือ 23.217 tCO₂eq/kWp โดยกรณีศึกษาที่ 1-5 มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากตำแหน่งติดตั้งแผง Solar Rooftop อยู่ในบริเวณพื้นที่โครงการเดียวกันคือ วิทยาลัยเทคนิคระยอง ซึ่งโครงการของวิทยาลัยเทคนิคพัทลุง (กรณีศึกษาที่ 6. PTY) มีความสามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยเป็นผลกระทบจากมุมทิศทางองศาการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ที่ยึดตามโครงสร้างอาคารที่ไม่ตรงตามมุมทิศทางองศาการติดตั้งที่ถูกต้อง และสุดท้ายกรณีโครงการวิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี (กรณีศึกษาที่ 7. PCB) สามารถชดเชยการปล่อยคาร์บอนได้ต่ำสุด คือ 22.186 tCO₂eq/kWp เนื่องจากมีกำลังผลิตติดตั้งเพียง 40 kWp และยังมีการใช้อุปกรณ์ mounting structure เสริมมากขึ้น จึงปล่อยคาร์บอนสูงในกระบวนการติดตั้ง

4.3 คาร์บอนเครดิต

ผลการประเมินคาร์บอนเครดิตที่เกิดขึ้นจากโครงการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก Solar Rooftop ตลอดอายุการใช้งาน 30 ปี กรณีศึกษาวิทยาลัยในสังกัด สอศ. ทั้ง 3 โครงการ แยกตามการจัดวางและพื้นที่หลังคาอาคารที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการประเมินคาร์บอนเครดิตตามกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	การประเมินคาร์บอนเครดิต			
	คาร์บอนเครดิตตลอดอายุการใช้งาน (tCO ₂ e)	คาร์บอนเครดิตกำลังติดตั้ง (tCO ₂ e/kWp)	คาร์บอนเครดิตพลังงานไฟฟ้า (gCO ₂ e/kWh)	ระยะเวลาเริ่มได้รับเครดิตทาง คาร์บอน (ปี)
1. GYM	4284.948	22.290	0.561	2.059
2. ELE	1643.340	21.723	0.560	2.112
3. HSP	1935.916	21.752	0.560	2.110
4. BSS	1240.416	21.777	0.560	2.107
5. CHEM	1924.713	22.067	0.560	2.079
6. PTY	2169.922	21.699	0.560	2.087
7. PCB	826.088	20.652	0.557	2.268
ค่าเฉลี่ย		21.709	0.560	2.117

พบว่าโครงการจะเริ่มได้รับเครดิตทางคาร์บอนหลังจากติดตั้งและจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเมื่อเข้าสู่วันที่สามเป็นต้นไป โดยรายได้รวมที่เกิดจากการขายคาร์บอนเครดิตจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตติดตั้ง มุมทิศทางองศาการติดตั้งที่ได้รับแสงแดดอย่างเหมาะสม การบำรุงรักษา ทำความสะอาดแผง ซึ่งยังต้องศึกษาเพิ่มเติมอีกในอนาคต เพื่อประเมินหาขนาดกำลังผลิตติดตั้งต่ำสุดที่เหมาะสมและคุ้มค่าต่อการลงทุนในระยะยาว ทำให้การวางแผนงานงบประมาณการลงทุนเพื่อช่วยประหยัดค่าไฟของหน่วยงานด้านการศึกษาจึงเป็นการลงทุนอย่างมีเป้าหมาย

5. บทสรุป

บทความนี้เสนอการวิเคราะห์ร่องรอยคาร์บอนตลอดวัฏจักรชีวิตและการประเมินคาร์บอนเครดิตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา (solar rooftop) กรณีศึกษาวิทยาลัยในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา จำนวน 3 โครงการ ได้แก่ วิทยาลัยเทคนิคระยอง, วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง และ วิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 501.07 kWp, 100 kWp และ 40 kWp ตามลำดับ พบการปลดปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการผลิตมีสัดส่วนมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 77 โดยที่การปลดปล่อยคาร์บอนเทียบต่อกำลังติดตั้งมีค่าเท่ากับ 1.509 tCO₂e/kWp และความสามารถชดเชยหรือดูดซับคาร์บอนเท่ากับ 23.217 tCO₂e/kWp ซึ่งมีสัดส่วนสูงกว่าการปลดปล่อย จึงเกิดคาร์บอนเครดิตต่อขนาดกำลังผลิตติดตั้งเฉลี่ย 21.709 tCO₂e/kWp โดยโครงการจะเริ่มได้รับเครดิตทางคาร์บอนหลังจากติดตั้งและจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเมื่อเข้าสู่วันที่สามเป็นต้นไป การศึกษานี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อหน่วยงานภาคการศึกษาในสังกัด สอศ. เพื่อกำหนดนโยบายวางแผนงานการติดตั้งระบบ solar rooftop ช่วยลดค่าไฟฟ้าและรองรับการขายคาร์บอนเครดิตในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยเทคนิคระยอง วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง และวิทยาลัยเทคนิคปราจีนบุรี ที่เอื้อเฟื้อด้านข้อมูลและสถานที่ศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lina Adil, David Eckstein, Vera Kunzel and Laura Schafer, "Climate Risk Index 2025", Germanwatch E.V., Jul. 7, 2025. [Online] Available: <https://www.germanwatch.org/sites>.
- [2] กองประสานการจัดการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, "บัญชีก๊าซเรือนกระจก", 7 ก.ค. 2568, [ออนไลน์]. Available: <https://climate.dcce.go.th/th/topic/database/ghg-inventory>.
- [3] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม. "รายงานสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ปี 2567," สถาบันวิจัยเพื่อพัฒนาประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤษภาคม 2568, ISBN 978-616-316-810-8.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. "พลังแสงอาทิตย์", 10 ส.ค. 2568, [ออนไลน์]. Available: <https://energy.go.th/web-upload/migrated/files/www/1c3a8c4a4bc429f81f0677fa6a5a4d34.pdf>
- [5] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). "โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย", 10 ส.ค. 2568, [ออนไลน์]. Available: <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/about-tver/t-ver.html>
- [6] R. Frischknecht, P. Stolz, L. Krebs, M. de Wild-Scholten, P. Sinha, V. Fthenakis, H.C. Kim, M. Rauegi and M. Stucki, "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Photovoltaic Systems", International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12, Report T12-19:2020.
- [7] R. Frischknecht, G. Heath, M. Rauegi, P. Sinha, M. de Wild-Scholten, V. Fthenakis, H. C. Kim, E. Alsema and M. Held, "Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity", 3rd edition, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. Report IEA-PVPS T12-06:2016, ISBN 978-3-906042-38-1.
- [8] ชวรงค์ ปะทะพันธ์, วิรัช หมั่นบรรจง, ประสานพันธ์ สายสิญจน์, กฤตเมธ สายสิญจน์ และ กรรณิกา สายสิญจน์, "เครื่องล้างแผงโซลาร์ผ่าน Application", วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางการอาชีวศึกษา, ปีที่ 5 ฉบับที่ 1, 2564, หน้า 40-52.

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายทศพร แก้วศรีสุช

สำเร็จการศึกษา คอ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มทร.ธัญบุรี ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สนใจงานวิจัยด้านพลังงานหมุนเวียน



ผศ.ดร.ไชยพร หล่อทองคำ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก Dr.-Ing. (Doktor-Ingenieur) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง จาก ScheringInstitut, Fachgebiet Hochspannungstechni, Der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Germany สนใจงานวิจัยด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง การป้องกันฟ้าผ่า และการป้องกันระบบไฟฟ้า