

การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่นำไปใช้กับโหลดดีซีเทียบกับโหลดเอซี

บรรณวัฒน์ ประเสริฐวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ประเทศไทย

*Corresponding author: komkrit@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอโปรแกรมการคำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากระบบโซลาร์เซลล์ใน 4 รูปแบบได้แก่ 1) การใช้ไฟดีซีจากแผงโซลาร์โดยตรงกับโหลดแบบดีซี 2) การใช้ไฟดีซีจากแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแบตเตอรี่และใช้กับโหลดแบบดีซี 3) การใช้ไฟเอซีที่ได้จากการแปลงด้วยเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่บ้าน 4) การใช้ไฟเอซีที่ได้จากระบบโซลาร์เซลล์ของการไฟฟ้า

การผลิตในรูปแบบที่ 1 จะมีแค่แผงโซลาร์เซลล์ที่เน้นใช้งานจากโซลาร์เซลล์โดยตรง การผลิตไฟฟ้าในแบบที่ 2 สิ่งเพิ่มจากรูปแบบที่ 1 คือแบตเตอรี่ การผลิตในรูปแบบที่ 3 สิ่งเพิ่มจากรูปแบบที่ 2 คือการเพิ่มตัวแปลงไฟจากดีซีเป็นเอซี การผลิตในรูปแบบที่ 4 สิ่งเพิ่มขึ้นจากรูปแบบที่ 3 คือการสูญเสียในระบบสายส่ง และการเพิ่มกำไรของการไฟฟ้า

การออกแบบระบบดีซีจะมุ่งเน้นใช้กับโหลดดีซีที่ใช้ไฟดีซี 12 โวลต์และ 24 โวลต์ ได้แก่ หลอดไฟ หม้อหุงข้าว กระทะไฟฟ้า ตู้เย็น เครื่องต้ม น้ำ พัดลม ทีวี และแอร์ดีซีบริสุทธ์ บ้านมีการใช้ไฟดีซีวันละ 2-3 หน่วย/วัน

จากผลการคำนวณพบว่าการผลิตไฟฟ้าดีซีที่มีต้นทุนต่ำสุดคือระบบการใช้ไฟฟ้าดีซีโดยตรงขนาด 1.04 kW มีต้นทุน 0.4663 บาท/หน่วย ใช้เงินลงทุน 10,280 บาท รองลงมาเป็นระบบไฟดีซี 1.04 kW ที่มีแบตเตอรี่ 6.656 kWh มีต้นทุน 2.2961 บาท/หน่วย ใช้เงินลงทุน 46,818 บาท ส่วนระบบไฟเอซีขนาด 5 kW ที่ไม่มีแบตเตอรี่ มีต้นทุน 0.5832 บาท/หน่วย ใช้เงินลงทุน 90,193 บาท และ ระบบไฟเอซีขนาด 5 kW ที่มีแบตเตอรี่ 10.24 kWh มีต้นทุน 2.8618 บาท/หน่วย ใช้เงินลงทุน 160,193 บาท

คำสำคัญ: กริดขนาดเล็กจ่ายไฟดีซีโดยตรง / โซลาร์เซลล์ / ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้า / ผลิตไฟดีซีด้วยแบตเตอรี่ / ดีซีนาน็อกไซด์

Calculating the cost of electricity production from solar cells used with DC loads compared to AC loads

Bannawat Prasertwong*

Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Thailand

**Corresponding author: komkrit@g.swu.ac.th*

Abstract

This research article presents a program for calculating the cost of electricity production from solar cell systems in 4 formats: 1) Using DC power from solar panels directly with DC loads; 2) Using DC power from solar panels with batteries and using with DC loads; 3) Using AC power from the inverter at home. 4) Using AC power from the electricity generation solar cell system.

The first type of production will have only solar panels that focus on using solar cells directly. The second type of electricity production has an additional thing from the first type, which is batteries. Generation type 3, the addition from generation type 2 is the addition of a DC to AC converter. Generation type 4, the addition from generation type 3, the loss in the transmission system and the increase in the profit of the electricity authority.

DC system design is focused on DC loads that use 12 volt and 24 volt DC power, such as light bulbs, rice cookers, electric frying pans, refrigerators, water boilers, fans, TVs, and pure DC air conditioners. The household uses 2-3 units of DC electricity per day.

Calculations show that the lowest-cost DC electricity production system is a 1.04 kW direct DC power system with a cost of 0.4663 baht/unit and an investment of 10,280 baht. This is followed by a 1.04 kW DC system with a 6.656 kWh battery, with a cost of 2.2961 baht/unit and an investment of 46,818 baht. A 5 kW AC system without a battery has a cost of 0.5832 baht/unit and an investment of 90,193 baht, while a 5 kW AC system with a 10.24 kWh battery has a cost of 2.8618 baht/unit and an investment of 160,193 baht.

Keywords: Direct Drive DC Microgrid / Solar PV / Levelized Cost of Energy / Battery-based DC / DC nanogrid

1. บทนำ

โครงข่ายไฟฟ้าในยุคแรกของโลกสร้างโดยโทมัส เอดิสันเป็นระบบไฟฟ้าดีซีไม่โครกริดขนาดแรงดันดีซี 110 V สร้างขึ้นที่กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ในเดือนมกราคมปี 1882 มีรัศมีการให้บริการประมาณ 1 กิโลเมตร ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซีขนาด 93 kW ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ต่อมาในเดือนกันยายนปีเดียวกันโทมัส เอดิสันได้สร้างที่ย่านเพิร์ลสตรีทของแมนฮัตตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นระบบไฟฟ้าดีซีแรงดัน 110 V มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 เครื่อง ขับเคลื่อนด้วยไอน้ำของโรงไฟฟ้าถ่านหิน และจ่ายไฟดีซีให้กับลูกค้า 85 รายภายในรัศมีประมาณ 1 กิโลเมตร [1]

ต่อมาเนื่องจากการสร้างโรงไฟฟ้าที่ไกลออกไปจากชุมชนจึงทำให้มีการใช้ระบบการส่งไฟฟ้าเอซีเข้ามาแทนที่เพราะสามารถเพิ่มลดแรงดันได้ง่ายกว่าระบบไฟฟ้าดีซี และช่วยลดการสูญเสียในสายส่งเมื่อเพิ่มแรงดันในสายส่งให้สูงขึ้น จึงทำให้ทั่วโลกหันมาใช้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเอซีเป็นจำนวนมาก แต่ในปัจจุบันด้วยปัญหาโลกร้อนขึ้นจึงได้มีการจัดทำความตกลงปารีส (Paris Agreement) ซึ่งประเทศไทยได้เข้าร่วมลงนามเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2559 โดย พล.อ.ประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่มีราคาถูกลงจึงทำให้มีการพัฒนาระบบไฟฟ้าดีซีเข้ามาแทนที่ระบบไฟฟ้าเอซี [2] – [9]. ปัจจุบันระบบไฟฟ้าดีซีใช้กันส่วนใหญ่ในรถบรรทุก หรือรถบ้านที่ใช้ในการท่องเที่ยว การออกแบบระบบไฟฟ้าดีซีที่เข้ามาแทนที่ระบบไฟฟ้าเอซีแบบ 100% ยังไม่ปรากฏว่ามีอยู่ที่ไหน แต่ที่บ้านของผู้เขียนได้ออกแบบระบบไฟฟ้าดีซีที่ใช้กับโหลดดีซีแบบ 100% และเป็นพลังงานสะอาดจากโซลาร์เซลล์ 100%

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบดีซีเทียบกับระบบเอซี
2. เพื่อส่งเสริมการใช้งานไฟฟ้าระบบดีซีให้มากขึ้น
3. เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สะอาดแบบร้อยเปอร์เซ็นต์ตลอดทั้งวัน

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้านาโนกริด คือมีกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 20 kW ใน 4 รูปแบบได้แก่

1. ระบบไฟดีซีขนาด 1.04 kW ที่ผลิตจากแผงโซลาร์และป้อนกับโหลดดีซีโดยตรงใช้ได้เฉพาะช่วงมีแดดเท่านั้น
2. ระบบไฟดีซีขนาด 1.04 kW ที่มีแบตเตอรี่ขนาด 6.656 kWh เก็บพลังงานไว้ใช้ตอนไม่มีแสงแดด ใช้กับโหลดดีซี
3. ระบบไฟเอซีขนาด 5 kW ที่มีแบตเตอรี่ขนาด 10.24 kWh มีเครื่องอินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟดีซีให้เป็นไฟเอซีใช้กับโหลดเอซีที่บ้าน
4. ระบบไฟเอซีที่ได้จากระบบโซลาร์เซลล์ของการไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายให้กับประชาชน

4. วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB คำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าใน 4 รูปแบบ โดยได้มีการติดตั้งจริงที่บ้านเป็นระบบดีซีนาโนกริด (DC nanogrid) และใช้ในชีวิตประจำวัน การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ได้มีการแยกคิดเป็น 5 ส่วน ได้แก่ 1. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของแผงโซลาร์เซลล์ 2. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของค่าจ้างติดตั้งระบบ 3. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของแบตเตอรี่ 4. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของเครื่องชาร์จ 5. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของเครื่องอินเวอร์เตอร์. การคำนวณต้นทุนในแต่ละส่วนจะนำเงินลงทุนของแต่ละส่วนหารด้วยปริมาณการจ่ายพลังงานของอุปกรณ์นั้นตลอดช่วงอายุใช้งาน

4.1 วิธีการการคำนวณต้นทุนในการผลิตระบบไฟดีซีโดยตรง (Direct Drive DC System)

ระบบไฟฟ้าดีซีที่ใช้วิเคราะห์นี้ได้มีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบโค้งงอจำนวน 2 แผง ขนาด 520 วัตต์ รวมเป็น 1,040 วัตต์ แรงดันพีค 42.04 V การคำนวณต้นทุนในระบบนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ 1.ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของแผงโซลาร์เซลล์ 2.ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของค่าจ้างติดตั้งระบบ 3. ค่ารวมต้นทุนรวม ดังมีรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กรณีที่ 1 การคำนวณต้นทุนในการผลิตระบบไฟดีซีโดยตรงจากแผงโซลาร์เซลล์

ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
ส่วนที่ 1 ค่ารวมต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV		
กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์รวม (PV_Power) =1040;	1,040	วัตต์
ราคาแผงโซลาร์เซลล์ PV_Panel_Price (บาท) =6120;	6,120	บาท
อายุการใช้งานของแผง PV (PV_Lifespan_Year) =20;	20	ปี
วันที่ไม่มีแดด วันที่ฝนตก (Rainy_day_per_Year) =100;	100	วัน
วันที่มีแสงแดด (PV_Work_Day) = 365-วันที่ฝนตก	268	วัน
วันที่มีแสงแดดตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifespan_Day) =วันที่มีแสงแดด *อายุการใช้งานของแผง	5,300	วัน
พลังงานที่ PV ผลิตได้ต่อวัน (PV_Energy_per_Day) =(4/1000)*กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์รวม;	4.1600	kWh
พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifespan_Energy) =วันที่มีแสงแดดตลอดอายุการใช้งาน*พลังงานที่ PV ผลิตได้ต่อวัน;	22,048	kWh (หน่วย)
ต้นทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของ PV (PV_Energy_per_Unit) = ราคาแผง PV/พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.2776	บาท/ หน่วย
ส่วนที่ 2 ค่ารวมต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง		
ค่าจ้างติดตั้งต่อวัตต์รวมสายไฟ (Install_Cost_per_Watt) (คิดรวมสายไฟและอุปกรณ์เบรกเกอร์)	4	บาท/วัตต์
ค่าจ้างติดตั้งทั้งหมด (Total_Install_Cost)	4,160	บาท
ต้นทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของการติดตั้ง (Install_Energy_per_Unit) = ค่าจ้างติดตั้ง/พลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.1887	บาท/ หน่วย
ส่วนที่ 3 ค่ารวมต้นทุนรวมทั้งหมด		
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวม (Total_Energy_per_Unit) = ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV;	0.4663	บาท/ หน่วย
ต้นทุนรวม (Total_Cost) = ราคาแผง PV + ค่าจ้างติดตั้ง	10,280	บาท

4.2 วิธีการการคำนวณต้นทุนในการผลิตระบบไฟดีซีที่มีแบตเตอรี่

ระบบไฟฟ้าดีซีที่ใช้วิเคราะห์นี้ได้มีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เหมือนกับกรณีที่ 1 แต่มีการเพิ่มแบตเตอรี่ขนาด 6.656 kWh เพื่อใช้ในช่วงกลางคืน รายละเอียดการคำนวณแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กรณีที่ 2 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากระบบดีซีที่มีแบตเตอรี่

ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
ส่วนที่ 1 จำนวนต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV		
กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์รวม (PV_Power)	1,040	วัตต์
ราคาแผงโซลาร์เซลล์ PV_Panel_Price	6,120	บาท
อายุการใช้งานของแผง PV (PV_Lifespan_Year)	20	ปี
วันที่ไม่มีแดด วันที่ฝนตก (Rainy_day_per_Year)	100	วัน
วันที่มีแสงแดด (PV_Work_Day) = 365-วันที่ฝนตก	268	วัน
วันที่มีแสงแดดตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifespan_Day)	5,300	วัน
พลังงานที่ PV ผลิตได้ต่อวัน (PV_Energy_per_Day) =(4/1000)*กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์รวม;	4.1600	kWh
พลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifespan_Energy)	21,200	kWh
ต้นทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของ PV (PV_Energy_per_Unit) = ราคาแผง PV/พลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.2887	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 2 จำนวนต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง		
ค่าจ้างติดตั้งต่อวัตต์ (Install_Cost_per_Watt) =4 ; (คิดรวมสายไฟและอุปกรณ์เบรกเกอร์)	4	บาท/วัตต์
ค่าจ้างติดตั้งทั้งหมด (Total_Install_Cost)	4,160	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง (Install_Energy_per_Unit) = ค่าจ้างติดตั้ง/พลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.1187	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 3 จำนวนต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่		
อายุใช้งานของแบตเตอรี่ (Battery_Lifespan) =3000; (คิดที่ DOD 50% ตรงกับ 3000 รอบ)	3000	รอบ
ความจุของแบตเตอรี่รวม (Total_Battery_Energy_Storage_Capacity)=6.656;	6.656	kWh
พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุใช้งาน (Battery_Lifespan_Storage_Energy) =อายุใช้งานของแบตเตอรี่ * ความจุของแบตเตอรี่รวม;	19,968	kWh
ราคาแบตเตอรี่ (Battery_Cost) =31,501;	31,501	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่ (Battery_Energy_per_Unit) = ราคาแบตเตอรี่ /พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุใช้งาน		
ส่วนที่ 4 จำนวนต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของเครื่องชาร์จ		
อายุการใช้งานของเครื่องชาร์จ (Charger_Lifespan) = อายุใช้งานของแบตเตอรี่	3,000	รอบ
การจ่ายพลังงานของเครื่องชาร์จตลอดอายุการใช้งาน (Charger_Lifespan_Energy) = พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุใช้งาน	19,968	kWh
ราคาเครื่องชาร์จ (Charger_Cost) = 5037; % in Baht	5,037	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของเครื่องชาร์จ (Charger_Energy_per_Unit) = ราคาเครื่องชาร์จ / การจ่ายพลังงานของเครื่องชาร์จตลอดอายุการใช้งาน	0.2523	บาท
ส่วนที่ 5 จำนวนต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมและเงินลงทุนทั้งหมด		
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวม (Total_Energy_per_Unit) = ต้นทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของ PV + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่ + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของเครื่องชาร์จ;	2.2961	บาท/หน่วย
ต้นทุนรวม (Total_Cost) = ราคาแผง PV + ค่าจ้างติดตั้ง + ราคาแบตเตอรี่ + ราคาเครื่องชาร์จ	46,818	บาท

4.3 การคำนวณต้นทุนการผลิตระบบไฟฟ้าเอซี

การคำนวณในวิธีกรณีนี้อาศัยการพิจารณาทั้งผลิตไฟเอซีใช้เองที่บ้านและการผลิตจากระยะไกลแล้วส่งผ่านสายส่งมายังบ้านซึ่งการคำนวณได้พิจารณาการสูญเสียต่างๆ ได้แก่การสูญเสียในสายส่ง [2] การสูญเสียในแบตเตอรี่ การสูญเสียในแผงโซลาร์เซลล์ การสูญเสียในอินเวอร์เตอร์ อย่างละ 10% และบวกกำไรที่การไฟฟ้าขายให้กับผู้ซื้อ 20% รายละเอียดการคำนวณแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กรณีที่ 3 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบเอซี

ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
ส่วนที่ 1 ค่าต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV		
กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ (PV_Power)	5,310	วัตต์
ราคาแผงโซลาร์เซลล์ (PV_Panel_Price)	34,029	บาท
อายุการใช้งานของแผง PV (PV_Lifespan_Year)	20	ปี
วันที่ไม่มีแดด วันที่ฝนตก (Rainy_day_per_Year)	100	วัน
วันที่มีแสงแดด (PV_Work_Day) = 365-วันที่ฝนตก	268	วัน
วันที่มีแสงแดดตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifespan_Day)	5,300	วัน
PV ผลิตพลังงานได้ต่อวัน (PV_Energy_per_Day)	21.2400	kWh
พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifespan_Energy)	112,572	kWh
ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของ PV (PV_Energy_per_Unit) = ราคาแผง PV/พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.3023	บาท/หน่วย
พิจารณาการสูญเสียในสายส่งของ PV		
การสูญเสียในสายส่งของ PV (PV_Loss) = 0.9; (ค่า 0.9 คือการสูญเสียที่สายส่ง 10%)	10	%
พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย (PV_Lifespan_Loss_Energy) = พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน * การสูญเสียในสายส่งของ PV	101,314.8	kWh
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV เมื่อหักการสูญเสีย (PV_Loss_Energy_per_Unit) = ราคาแผงโซลาร์เซลล์ / พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย	0.3359	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 2 ค่าต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่		
อายุใช้งานของแบตเตอรี่ (Battery_Lifespan) = 3000; (คิดที่ DOD 50% ตรงกับ 3000 รอบ)	3000	รอบ
ความจุของแบตเตอรี่รวม (Total_Battery_Energy_Storage_Capacity) = 6.656;	10.24	kWh
พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุการใช้งาน (Battery_Lifespan_Storage_Energy) = อายุใช้งานของแบตเตอรี่ * ความจุของแบตเตอรี่รวม;	30,720	kWh
ราคาแบตเตอรี่ (Battery_Cost) = 31,501;	31,501	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่ (Battery_Energy_per_Unit) = ราคาแบตเตอรี่ / พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุการใช้งาน	2.2786	บาท/หน่วย
พิจารณาการสูญเสียในสายส่งของแบตเตอรี่		
การสูญเสียในสายส่งของแบตเตอรี่ (Battery_Loss) = 0.9; (ค่า 0.9 คือการสูญเสียที่สายส่ง 10%)	10	%
พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย (Battery_Lifespan_Storage_Loss_Energy) = พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุการใช้งาน * การสูญเสียในสายส่งของแบตเตอรี่	27,648	kWh
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย (Battery_Loss_Energy_per_Unit) = ราคาแบตเตอรี่ / พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย	2.5318	บาท/หน่วย

ตารางที่ 3 กรณีที่ 3 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบเอซี (ต่อ)

ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
ส่วนที่ 3 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์		
กำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ (Inverter_Power) =5000;	5,000	วัตต์
ปีอายุการใช้งานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter_Lifespan_Year) = 10;	10	ปี
วันอายุการใช้งานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter_Lifespan_Day) = ปีอายุการใช้งานของอินเวอร์เตอร์ *365;	3,650	วัน
ชั่วโมงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ต่อวัน (Inverter_On_per_Day=24;	24	ชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ตลอดอายุการใช้งาน (Inverter_Lifespan_Hour) = ชั่วโมงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ต่อวัน * วันอายุการใช้งานของอินเวอร์เตอร์	87,600	ชั่วโมง
การจ่ายพลังงานของอินเวอร์เตอร์ตลอดอายุการใช้งาน (Inverter_Lifespan_Energy) = (ชั่วโมงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ตลอดอายุการใช้งาน * กำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ * 0.8)/1000; (สมมติอินเวอร์เตอร์จ่ายโหลดสูงสุด 80% และ 1000 คือการแปลงจาก Wh เป็น kWh)	350,400	kWh
ราคาอินเวอร์เตอร์ (Inverter_Cost) = 36164;	36,164	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์ (Inverter_Energy_per_Unit) = ราคาเครื่องชาร์จ / การจ่ายพลังงานของอินเวอร์เตอร์ตลอดอายุการใช้งาน	0.1032	บาท
พิจารณาการสูญเสียในสายส่งของอินเวอร์เตอร์		
การสูญเสียในสายส่งของอินเวอร์เตอร์ (Inverter_Loss) =0.9; (ค่า 0.9 คือการสูญเสียที่สายส่ง 10%)	10	%
พลังงานที่อินเวอร์เตอร์จ่ายตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย (Inverter_Lifespan_Storage_Loss_Energy) = พลังงานที่อินเวอร์เตอร์จ่ายตลอดอายุการใช้งาน *การสูญเสียในสายส่งของอินเวอร์เตอร์	315,360	kWh
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์เมื่อหักการสูญเสีย (Battery_Loss_Energy_per_Unit) = ราคาแบตเตอรี่ /พลังงานที่อินเวอร์เตอร์จ่ายตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย	0.1147	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 4 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง		
ค่าจ้างติดตั้งต่อวัตต์ (Install_Cost_per_Watt) =4; (คิดรวมสายไฟและอุปกรณ์เบรกเกอร์)	4	บาท/วัตต์
ค่าจ้างติดตั้ง (Install_Cost) = ค่าจ้างติดตั้งต่อวัตต์ *Inverter_Power;	20,000	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง (Install_Energy_per_Unit) = ค่าจ้างติดตั้ง/พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.1777	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 5 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมและเงินลงทุนทั้งหมด		
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบมีแบตเตอรี่ (With_Battery_Grid_Energy_per_Unit) = ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่ + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์ต้นทุน + พลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง	2.8618	บาท/หน่วย
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบมีแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย (With_Battery_Grid_Loss_Energy_per_Unit) = ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV เมื่อหักการสูญเสีย + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์เมื่อหักการสูญเสีย;	3.1600	บาท/หน่วย
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบไม่มีแบตเตอรี่ (Total_Energy_per_Unit_without_Battery) = ราคาแผงโซลาร์เซลล์ + ราคาอินเวอร์เตอร์ + ค่าจ้างติดตั้ง ; (คือระบบพลังงานสะอาดเฉพาะมีแสงแดด)	0.5832	บาท/หน่วย
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบไม่มีแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย (With_Battery_Grid_Loss_Energy_per_Unit) = ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV เมื่อหักการสูญเสีย + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์เมื่อหักการสูญเสีย;	0.6282	บาท/หน่วย

ตารางที่ 3 กรณีที่ 3 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบเอซี (ต่อ)

ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
เงินลงทุนระบบไฟฟ้า AC ที่มีแบตเตอรี่ (With_Battery_Grid_Cost) = ราคาแผงโซลาร์เซลล์ + ราคาแบตเตอรี่ + ราคาอินเวอร์เตอร์ + ค่าจ้างติดตั้ง ; (คือระบบพลังงานสะอาด 100%)	160,193	บาท
เงินลงทุนระบบไฟฟ้า AC ที่ไม่มีแบตเตอรี่ (Without_Battery_Grid_Cost) = ราคาแผงโซลาร์เซลล์ + ราคาอินเวอร์เตอร์ + ค่าจ้างติดตั้ง;	90,193	บาท
ส่วนที่ 6 คำนวณราคาขายไฟของการไฟฟ้า		
กำไรของการขาย (Profite) = 1.2; (สมมุติขายจากการขาย 20%)	20	%
ราคาขายช่วงไม่มีแดด (Sell_Price_Sunless_Grid) = กำไรของการขาย * ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบมีแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย	3.7921	บาท/ต่อหน่วย
ราคาขายช่วงมีแดด (Sell_Price_Sunny_Grid) = กำไรของการขาย * ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบไม่มีแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย	0.7539	บาท/ต่อหน่วย

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการคำนวณพบว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำสุดคือระบบผลิตไฟฟ้โดยตรงมีต้นทุน 0.4663 บาทต่อหน่วย เพราะระบบนี้ไม่มีเครื่องชาร์จและแบตเตอรี่ แสดงดังตารางที่ 4 รองลงมาคือระบบผลิตไฟฟ้าเอซีที่ไม่มีแบตเตอรี่มีต้นทุน 0.5832 บาทต่อหน่วย ซึ่งจะใช้ได้เฉพาะช่วงมีแดด รองลงมาอีกคือระบบผลิตไฟฟ้าเอซีที่มีแบตเตอรี่มีต้นทุน 2.2961 บาทต่อหน่วย ข้อดีของระบบนี้คือสามารถใช้พลังงานบริสุทธิ์ได้ 100% และมีความปลอดภัยสูงเพราะใช้แรงดัน 12 V และ 24 V แต่ข้อเสียของระบบนี้ก็คือต้องซื้อโหนดที่ใช้กับไฟดีซี รองลงมาอีกคือระบบผลิตไฟฟ้าเอซีที่มีแบตเตอรี่ มีต้นทุน 2.8618 บาทต่อหน่วย ข้อดีของระบบนี้ก็คือไม่ต้องซื้อโหนดใหม่ แต่ข้อเสียก็คือมีการลงทุนที่สูง และโหนดเอซีจะกินไฟมากกว่าโหนดดีซี ส่วนระบบการผลิตไฟฟ้าเอซีที่ใช้โซลาร์เซลล์ของการไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่จะมีราคาแพงที่สุดเนื่องจากมีการบวกกำไรเข้าไปอีก 20% และบวกค่าการสูญเสียในสายส่งอีก 10% จึงทำให้มีราคาขายอยู่ที่ 3.7921 บาทต่อหน่วย แต่ถ้าไม่มีแบตเตอรี่จะมีราคาขายอยู่ที่ 0.7539 บาทต่อหน่วย

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบดีซีเทียบกับระบบเอซี

	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/หน่วย)	เงินลงทุน (บาท)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความจุแบตเตอรี่ (kWh)
1. ระบบไฟดีซีโดยตรง	0.4663	10,280	1,040	-
2. ระบบไฟดีซีที่มีแบตเตอรี่	2.2961	46,818	1,040	6.656
3. ระบบไฟเอซีผลิตที่บ้าน				
-แบบมีแบตเตอรี่	2.8618	160,193	5,310	10.24
-แบบไม่มีแบตเตอรี่	0.5832	90,193	5,310	-
4. ระบบไฟเอซีของการไฟฟ้าที่สะอาด 100% (กำไร 20% + การสูญเสียในสายส่ง 10%)				
-แบบมีแบตเตอรี่	3.7921	160,193	5,310	10.24
-แบบไม่มีแบตเตอรี่	0.7539	90,193	5,310	-
5. ระบบไฟเอซีของการไฟฟ้าที่ขายในปัจจุบัน (ใช้ไฟไม่เกิน 150 หน่วย) ไม่สะอาด 100%	3.2484			
เงินลงทุนซื้อโหนดดีซี		23,000	-	-

6. สรุปผลการศึกษา

จากการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าพบว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) มีค่าต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับประมาณ 25% โดยระบบดีซีมีต้นทุนการผลิตที่ 2.2961 บาทต่อหน่วย ส่วนระบบเอซีมีต้นทุนการผลิต 2.8618 บาทต่อหน่วย เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนเงินลงทุนพบว่า การติดตั้งระบบไฟฟ้าดีซีถูกกว่าระบบเอซี 242% โดยระบบดีซีใช้เงินลงทุน 46,818 บาท ระบบเอซีใช้เงินลงทุน 160,193 บาท อย่างไรก็ตามการใช้ไฟดีซีจะต้องจัดซื้อโหนดใหม่ได้แก่ ตู้เย็น หม้อหุงข้าว ทีวี หลอดไฟ กระทะไฟฟ้า กัดม้มน้ำ พัดลม เตาไรต์ ขดลวดต้มน้ำอาบ ซึ่งใช้เงินลงทุนไปประมาณ 23,000 บาท เมื่อรวมกับระบบผลิตไฟฟ้าดีซีคิดเป็นเงินลงทุนประมาณ 70,000 บาท

จากการที่ได้ติดตั้งจริงกับบ้านของผู้เขียนพบว่า การติดตั้งไฟฟ้าระบบดีซีมีความปลอดภัยมากกว่าระบบเอซี เพราะมีแรงดันเพียง 12 V และ 24 V และไม่ต้องติดตั้งเครื่องอินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟดีซีให้เป็นไปเอซี 220 V และยังพบอีกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหนดดีซีจะต่ำกว่าโหนดเอซี เพราะโหนดมีกำลังวัตต์ต่ำกว่า เช่น จากเดิมใช้ตู้เย็น 2 เครื่อง รวมกำลังไฟฟ้า 200 W แต่ตู้เย็นดีซีที่ซื้อใหม่ 2 เครื่อง รวมกำลังไฟฟ้า 140 W

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้อง

1. สำหรับประชาชนทั่วไปอาจเริ่มต้นจากการติดตั้งระบบไฟดีซีก่อนและหาโหนดดีซี มาใช้ เช่น หม้อหุงข้าว ตู้เย็น พัดลม เป็นต้น
2. สำหรับภาครัฐควรออกกฎหมายที่อนุญาตให้ภาคเอกชนสามารถขายไฟให้กับประชาชนทั่วไปได้ โดยบ้านที่ต้องการใช้พลังงานสะอาดไม่ต้องลงทุนเอง แต่ยอมจ่ายค่าไฟให้กับผู้ที่มีลงทุน การทำเช่นนี้จะทำให้ประเทศได้บรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนได้เร็วขึ้น ถ้าหากภาครัฐจัดหาพลังงานสะอาดผ่านสายส่งแบบปกติจะมีค่าไฟที่แพงกว่าการติดตั้งที่บ้าน เพราะมีการสูญเสียจากสายส่งและการแปลงไฟดีซีเป็นเอซี

เอกสารอ้างอิง

- [1] SPACEBAR Editorial Team. (2023). Thomas Edison was not an inventor, but a businessman who thought about selling electricity. <https://www.spacebar.th/world/tomas-edison-the-rich-creator-from-the-power-electricity-system>
- [2] Zeigler, A., DC Microgrids Home Power with a Dramatically Reduced Financial and Environmental Price tag. <https://livingenergyfarm.org/wp-content/uploads/2019/03/tech1.pdf>
- [3] Vossos, V., Gerber, D. L., Gaillet-Tournier, M., Nordman, B., Brown, R., Bernal Heredia, W., Ghatpande, O., Saha, A., Arnold, G., & Frank, S. M. (2022). Adoption Pathways for DC Power Distribution in Buildings. *Energies*, 15(3), 786. <https://doi.org/10.3390/en15030786>
- [4] Dastgeer, F., Gelani, H. E., (2017). A Comparative analysis of system efficiency for AC and DC residential power distribution paradigms, *Energy and Buildings*, 138, 648-654. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.077>
- [5] Nasir, M., Khan, H. A., Hussain, A., Mateen, L. & Zaffar, N. A. (2018). Solar PV-Based Scalable DC Microgrid for Rural Electrification in Developing Regions, in *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 9(1), 390-399. doi: 10.1109/TSTE.2017.2736160.
- [6] Nasir, M., Jin, Z., Khan, Zaffar, N. A., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2019). A Decentralized Control Architecture Applied to DC Nanogrid Clusters for Rural Electrification in Developing Regions, in *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(2), 1773-1785, doi: 10.1109/TPEL.2018.2828538.
- [7] Paniyil, P. Singh, R., Powar, V., Deb, N., Zhang, J., Bai, K. (2021). Batteries and Free Fuel based Photovoltaics and Complimentary Wind Energy based DC Power Networks as 100% Source of Electric Power around the Globe, *IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, Fort Lauderdale, FL, USA, 1821-1828, doi: 10.1109/PVSC43889.2021.9518729.

- [8] Wan, H., Zhang, J. (2024). Navigating the use of direct current in residential settings: Merits and obstacles, *Journal of Building Engineering*, 97, 110828. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110828>.
- [9] Jayasinghe, H., Gunawardane, K. Hossain, M.A., Zamora, R. (2026) Standalone DC microgrids: Planning, operation and uncertainty management, *Next Energy*, 11, 100511, ISSN 2949-821X, <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2026.100511>.