

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

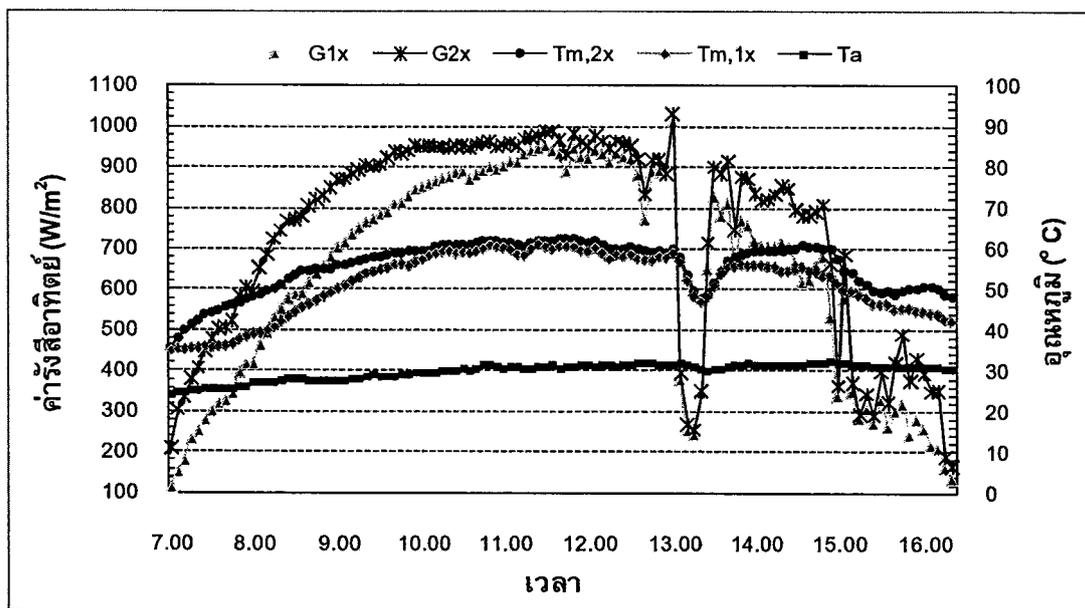
วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยคือการประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบ ประกอบด้วย ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 1 แกน ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 2 แกน และ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ หลังจากประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ ก็จะทำการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะทางด้านเทคนิคและผลการวิจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว ซึ่งผลการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย

- 1) การวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบเซลล์แสงอาทิตย์
 - เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน กับ 2 แกน
 - เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน กับติดตั้งอยู่กับที่
 - วิเคราะห์ผลสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบ
- 2) Simulation ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 2 แกน และ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่โดยใช้โปรแกรม PVsyst 5.31
- 3) วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบติดตั้งอยู่กับที่
 - เปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present Value)
 - เปรียบเทียบอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit –Cost Ratio: BCR)
 - เปรียบเทียบราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบ (Cost of Energy)
 - ระยะเวลาคืนทุน (Pay back Period)
 - ผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

4.1 การวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

4.1.1 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน กับ 2 แกน

ตัวแปรหลักที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ 2 ตัวแปร คือ ค่ารังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากผลการทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 1 แกน กับระบบเซลล์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน พบว่า รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีค่ามากกว่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน คิดเป็นร้อยละ 19.83 และอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนมีค่าเท่ากับ 53.56°C และอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน มีค่าเท่ากับ 47.98°C ระบบที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีอุณหภูมิสูงกว่าระบบที่เคลื่อนที่แบบ 1 แกน คิดเป็นร้อยละ 11.62 เพราะวาระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีกว่าระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน จึงส่งผลให้อุณหภูมิสะสมภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงตามมาด้วยเช่นกันความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบทั้ง 2 ระบบ แสดงดังรูป 46

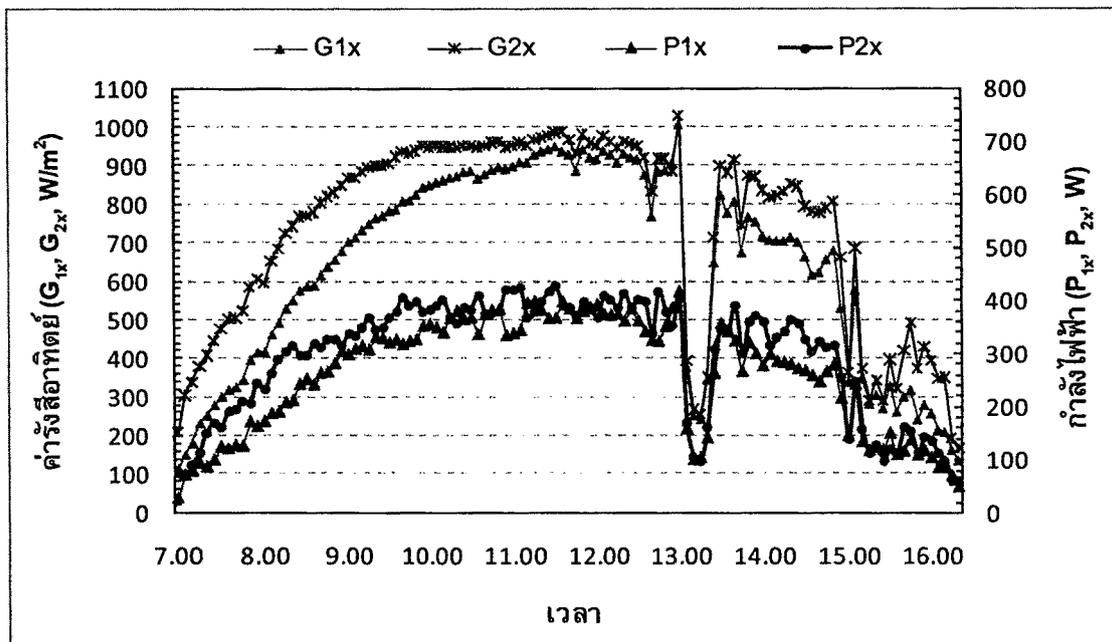


รูปที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ

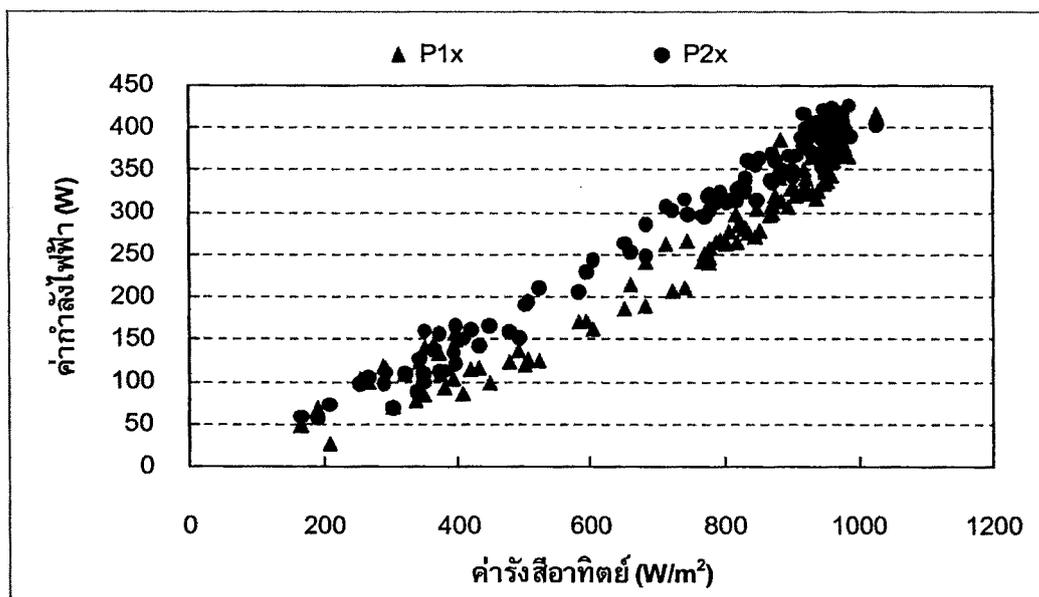
จากรูป 46 พบว่าค่ารังสีอาทิตย์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน สูงกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันมากในช่วงเช้าและช่วงเย็นตั้งแต่เวลา 7.00 น. – 11.00 น. และช่วงเวลา 13.00 น. - 17.00 น. เพราะว่า ระบบเคลื่อนที่แบบ 2 แกน จะเคลื่อนที่ท่ามุม 90 องศา กับดวงอาทิตย์ตลอดเวลาส่งผลให้สามารถรับรังสีอาทิตย์ได้ดี

ตลอดทั้งวัน จึงส่งผลให้ค่ารังสีอาทิตย์สูงกว่าระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน ส่วนในช่วงเวลา 11.00 น. – 13.00 น. มุม Elevation และ Azimuth ของระบบทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมากจึงส่งผลให้ค่ารังสีอาทิตย์มีความแตกต่างกันน้อยกว่าในช่วงเช้าและช่วงเย็นดังแสดงในรูป 46

นอกจากค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความแตกต่างกันแล้วกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ก็มีความแตกต่างกันเช่นกัน จากผลการทดสอบระบบพบว่า กำลังไฟฟ้าของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีค่าสูงกว่าระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้แปรผันตรงกับค่ารังสีอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 47 และรูปที่ 48

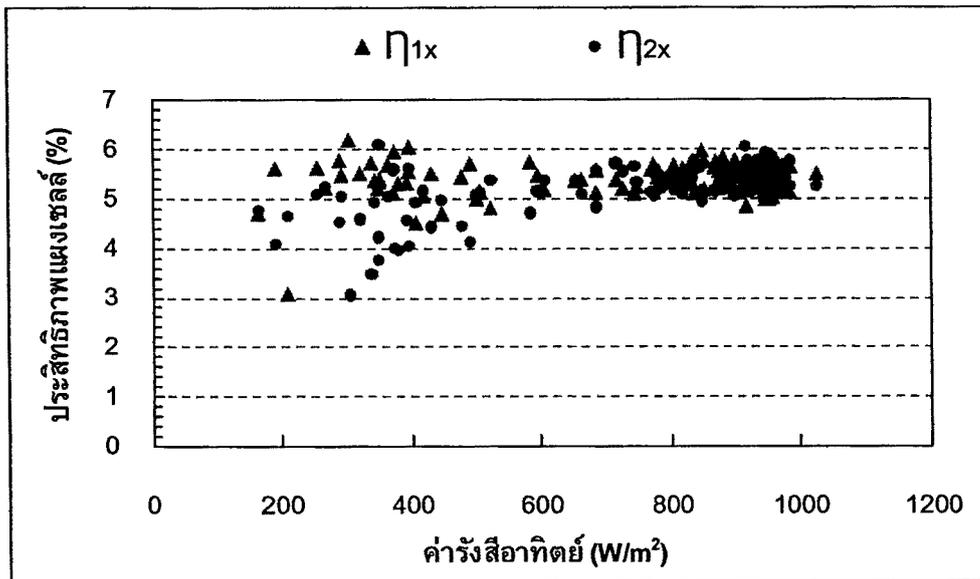


รูปที่ 47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แบบ 2 แกน และ 1 แกน



รูปที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แบบ 2 แกน และ 1 แกน

จากผลการทดสอบสมรรถนะทางด้านเทคนิค พบว่า พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 2.90 kWh/day พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 2.42 kWh/day (กำลังติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 400 W) จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า ระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน คิดเป็นร้อยละ 19.83 ถึงแม้ว่าระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน จะผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าแบบ 1 แกน สาเหตุเป็นเพราะว่าสามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากกว่า แต่ผลที่ตามมาคืออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผกผันกับอุณหภูมิ คือเมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง จากผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีค่าเท่ากับ 5.18 % ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน มีค่าเท่ากับ 5.37 % จากข้อมูลพบว่าระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบ 1 แกน คิดเป็นร้อยละ 3.66 และอุณหภูมิของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนจะสูงกว่าแบบ 1 แกน คิดเป็นร้อยละ 11.62 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 49

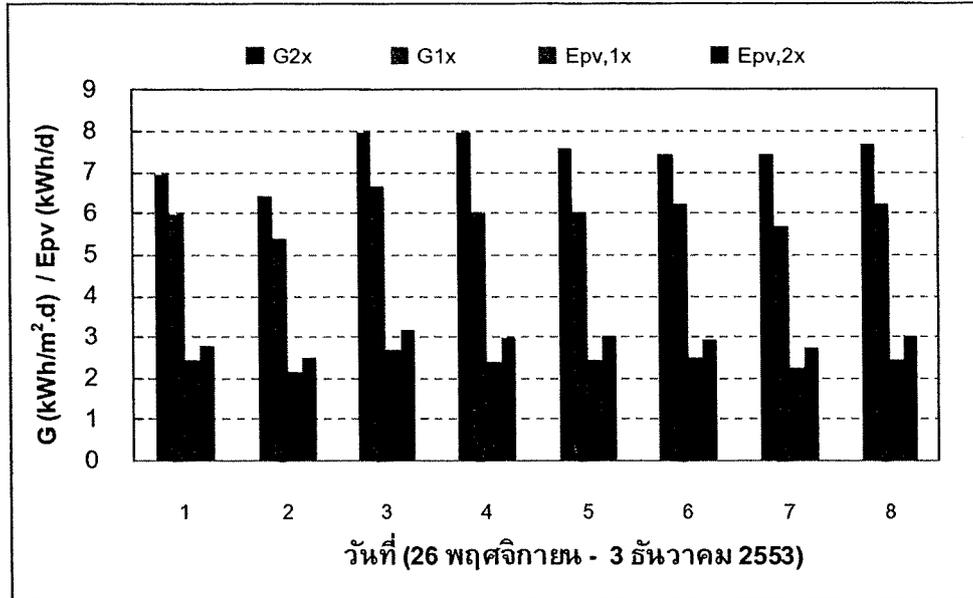


รูปที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับค่ารังสีอาทิตย์

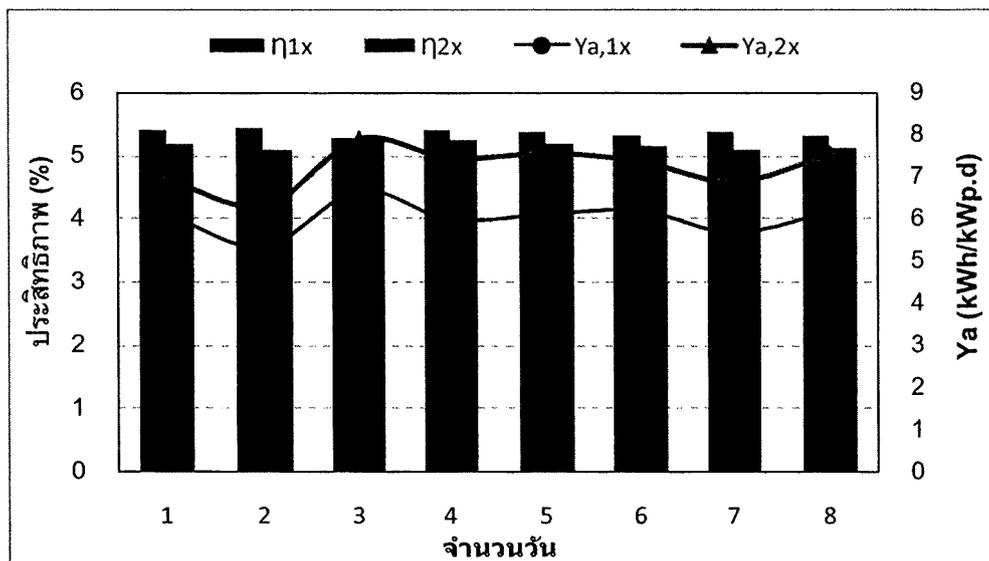
ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน แต่เมื่อเปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบเคลื่อนที่แบบ 2 แกน มีค่ามากกว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบเคลื่อนที่แบบ 1 แกน คิดเป็นร้อยละ 22.8

4.1.2 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน กับแบบ 2 แกน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกนและ 2 แกน พบว่า ค่ารังสีอาทิตย์ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีค่ามากกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน แต่ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน จะมีค่าน้อยกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน เฉลี่ยเท่ากับ 5.18 % และ 5.37 % ตามลำดับ สาเหตุเป็นเพราะผลของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน จะสามารถรับพลังงาน แสงอาทิตย์ได้สูงกว่าระบบที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน ส่งผลให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีอุณหภูมิสูงกว่าแบบ 1 แกน เมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลง สรุปความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบทั้งสองที่กล่าวมาแสดงดังรูปที่ 50 และรูปที่ 51



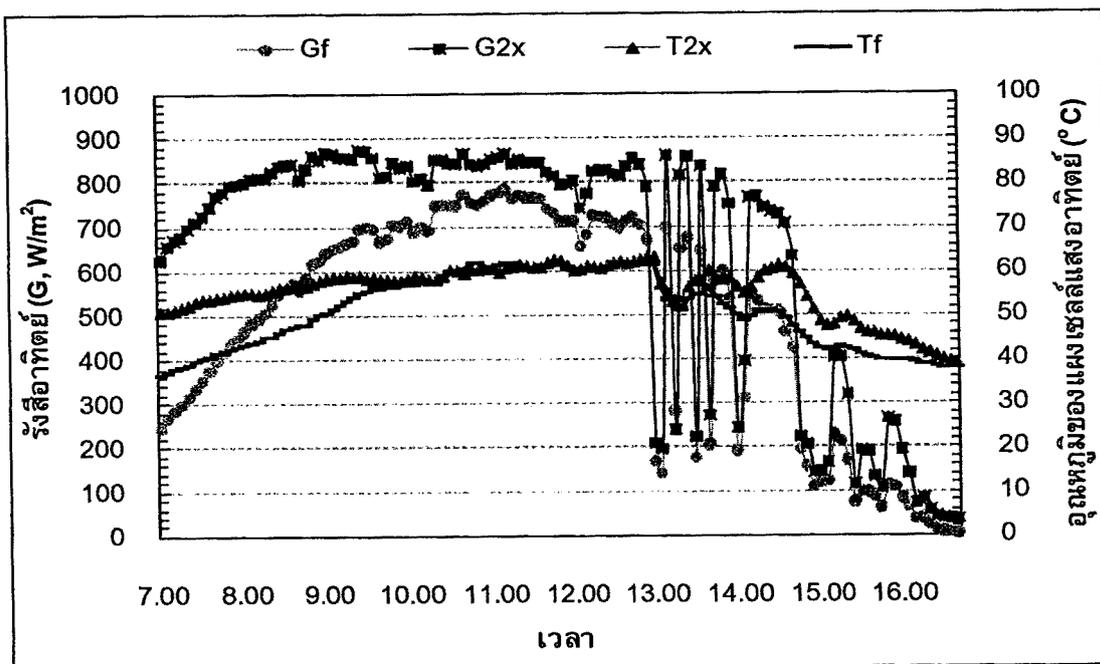
รูปที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้



รูปที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้กับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

4.2 เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน กับ แบบติดตั้งอยู่กับที่

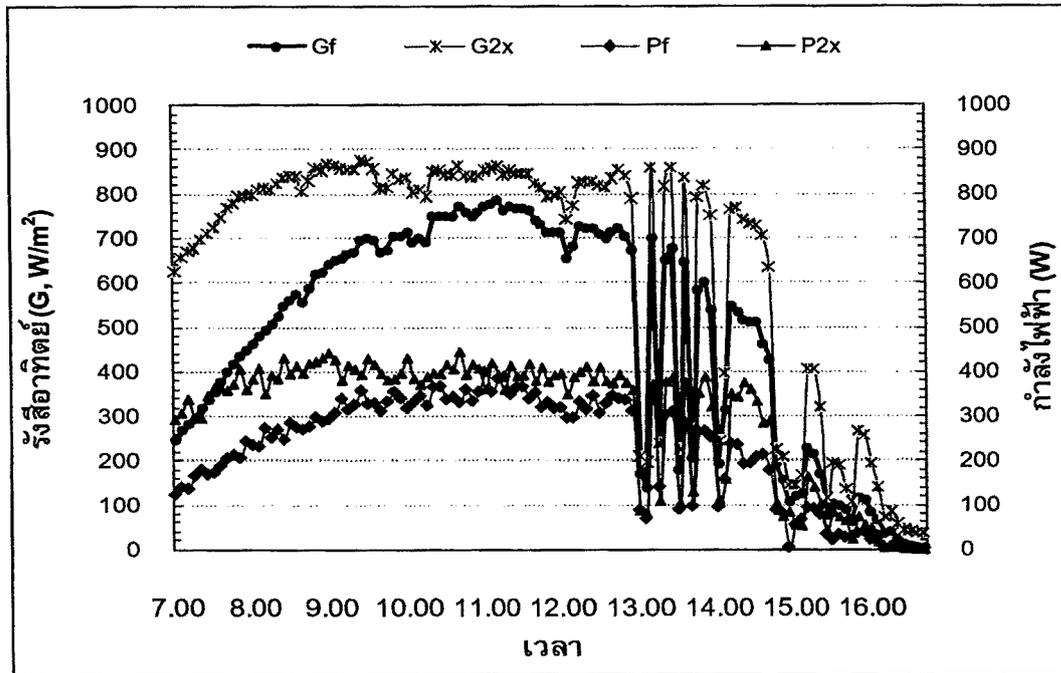
ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีค่ามากกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ คิดเป็นร้อยละ 34 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีค่าเท่ากับ 53.74 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่มีค่าเท่ากับ 48 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน จะสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 11.95 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงดังรูป 52



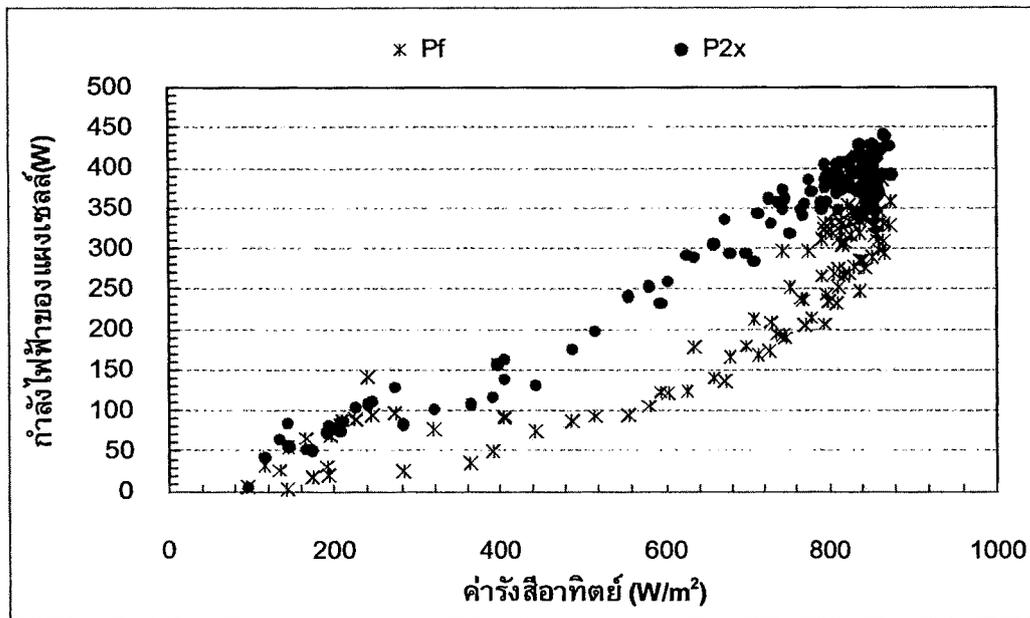
รูปที่ 52 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูป 52 พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนมีค่าเท่ากับ $7.04 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d}$ ค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่มีค่าเท่ากับ $5.51 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d}$ พลังงานไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ผลิตได้เท่ากับ 2.63 kWh/d และ พลังงานไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 2.22 kWh/d (กำลังติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 400 W) พลังงานไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 2 แกน ผลิตได้มีค่ามากกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 25.75

กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ผลิตได้มีค่ามากกว่า กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่นั้นเป็นเพราะว่า ระบบเคลื่อนที่แบบ 2 แกน สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากกว่า

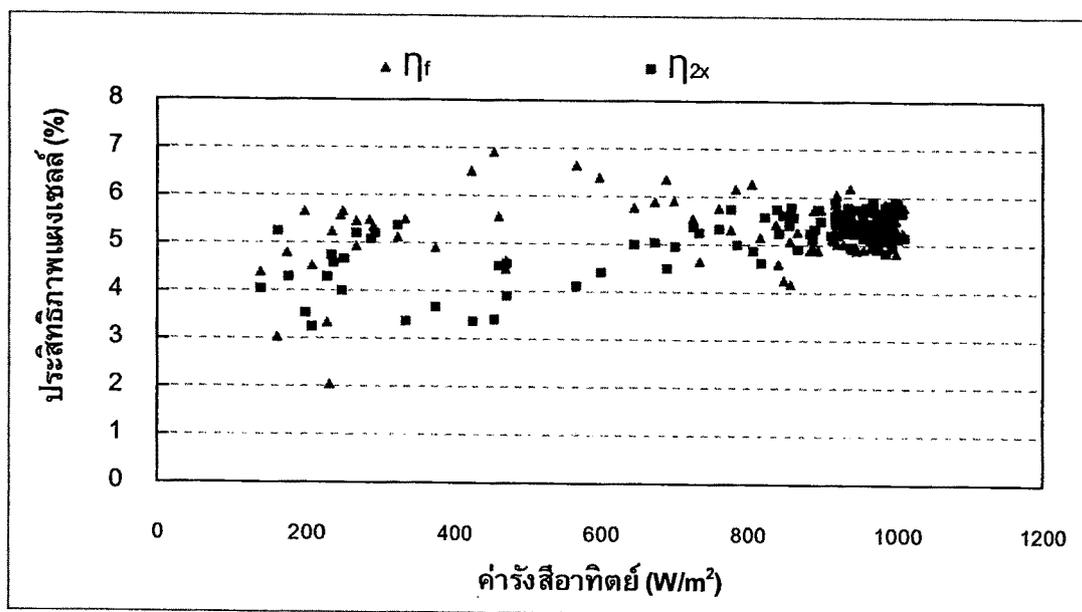


รูปที่ 53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แบบ 2 แกนและแบบติดตั้งอยู่กับที่



รูปที่ 54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แบบ 2 แกน และ ติดตั้งอยู่กับที่

จากรูปที่ 53 และรูปที่ 54 เห็นได้ชัดเลยว่า พลังงานไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ผลิตได้มีค่ามากกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ คิดเป็นร้อยละ 25.75 ถึงแม้ว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า แต่ในทางกลับกัน ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน กลับมีค่าต่ำกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ดังแสดงในรูปที่ 55

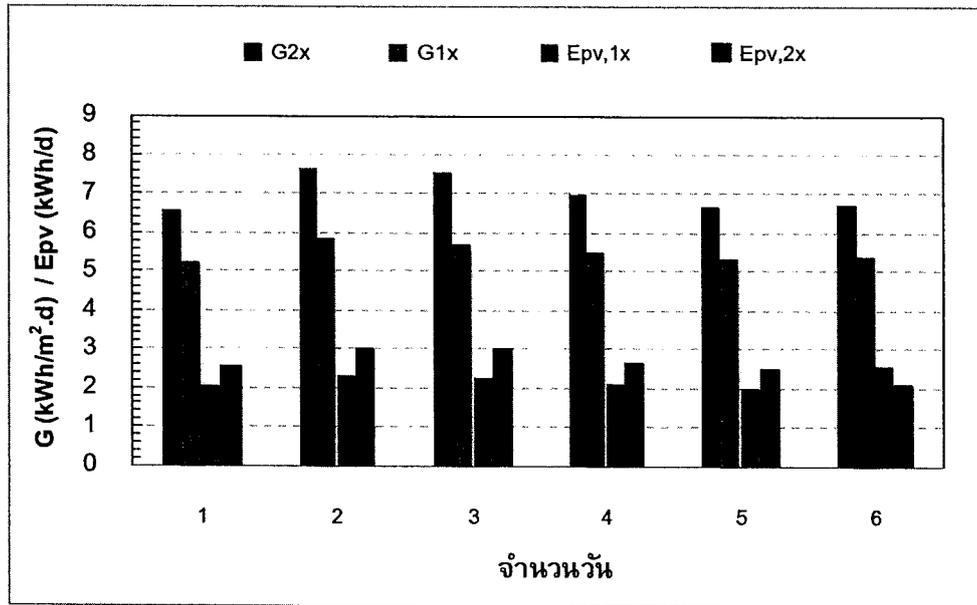


รูปที่ 55 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ 2 แกน และ แบบติดตั้งอยู่กับที่

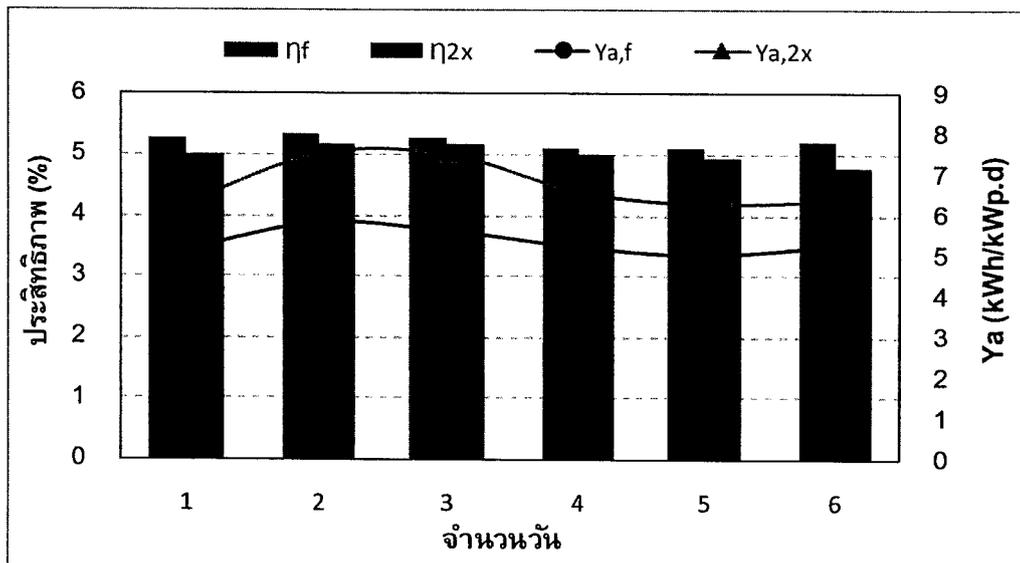
4.2.1 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน กับ แบบติดตั้งอยู่กับที่

ผลการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่พบว่าค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ แบบ 2 แกน มีค่าเท่ากับ $7.04 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d}$ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่มีค่าเท่ากับ $5.51 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d}$ พบว่าค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีค่าสูงกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 27.76 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีค่าเท่ากับ $6.77 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{d}$ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบบติดตั้งอยู่กับที่เท่ากับ $5.38 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{d}$ คิดเป็นร้อยละ 25.75 ส่วนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน จะมีค่าน้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่มีค่าเท่ากับ 5.02 % และ 5.23 % ตามลำดับ นั้นเป็นผลมา

จากอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน จะสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง อยู่กับที่ มีค่าเท่ากับ 53.74 และ 48.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ผลต่อสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงดังรูปที่ 56 และรูปที่ 57



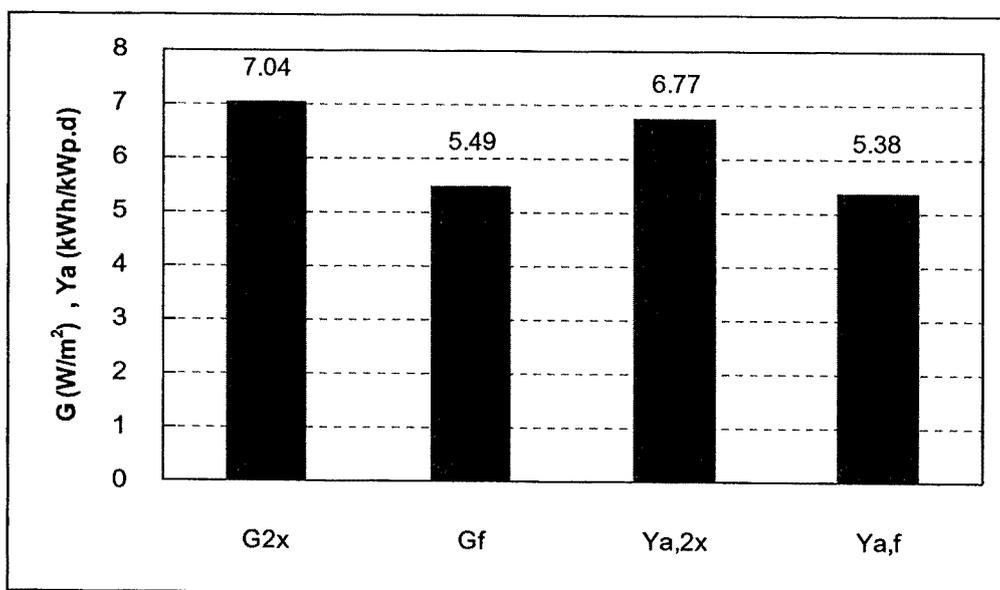
รูปที่ 56 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้



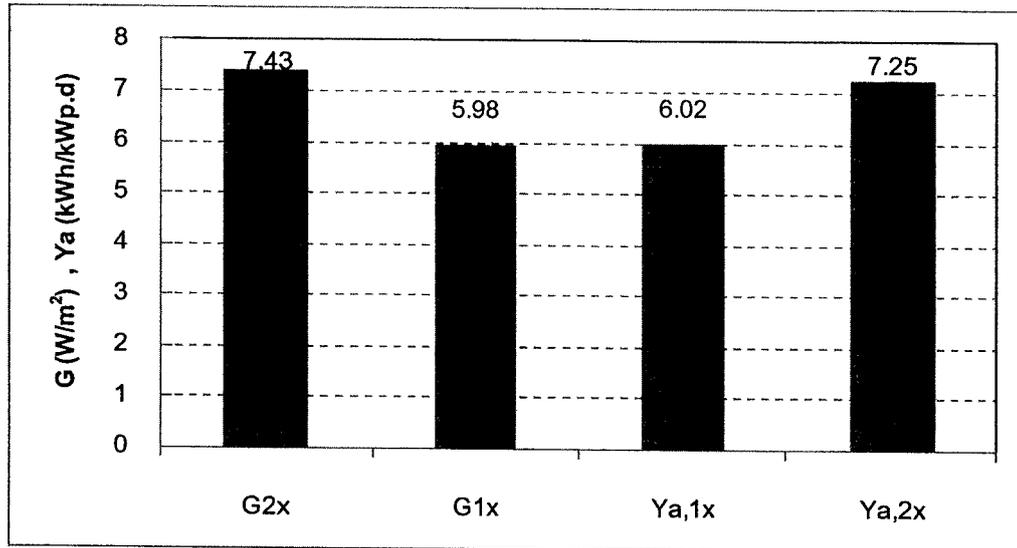
รูปที่ 57 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้

4.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบ ประกอบด้วย ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน พบว่า พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Y_a) ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 6.77 kWh/kWp.d ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกนผลิตไฟฟ้าได้เท่ากับ 6.02 kWh/kWp.d และระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ 5.38 kWh/kWp.d ดังแสดงในรูปที่ 58 ที่ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงเนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นแผงใหม่ยังไม่เข้าสู่สภาวะเสถียร เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสามระบบพบว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 11.89 และ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 25.83 และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน คิดเป็นร้อยละ 12.45

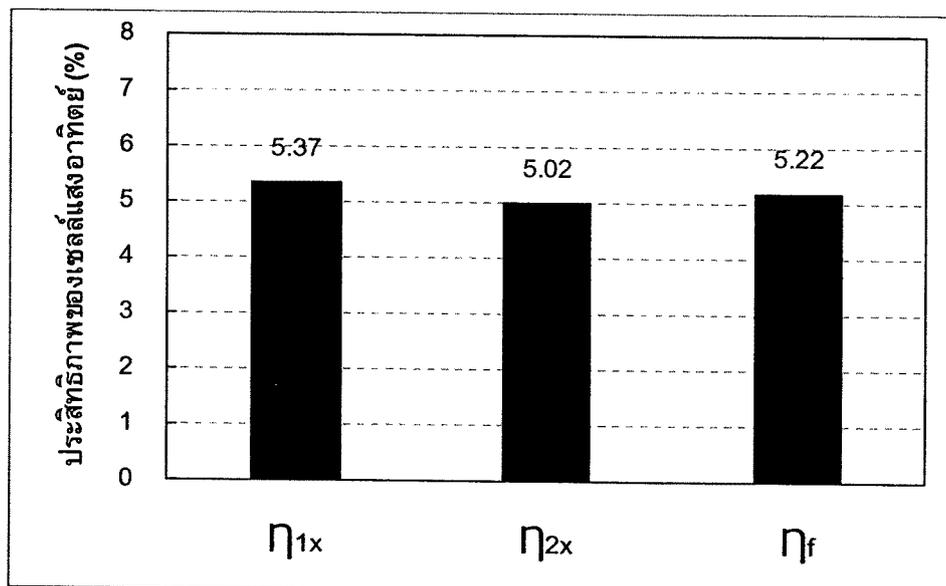


รูปที่ 58 สรุปพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ารังสีอาทิตย์



รูปที่ 59 สรุปพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ารังสีอาทิตย์

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้ง 3 ระบบจะตรงกันข้ามกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากเซลล์แสงอาทิตย์ กล่าวคือ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน และ 2 แกน มีค่าเท่ากับ 5.37 5.22 และ 5.02 ตามลำดับ นั้นเกิดจากผลของอุณหภูมิที่ตั้งได้อธิบายไว้แล้วในตอนต้น ซึ่งประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบแสดงดังรูปที่ 60



รูปที่ 60 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบ

4.4 การ Simulation โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม PVsyst 5.31

การ Simulation โดยใช้โปรแกรม PV syst 5.31 จะทำการประเมินเพื่อหาสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน และแบบติดตั้งอยู่กับที่เป็นขนาด 1 MW ภายใต้สภาวะแวดล้อมในประเทศไทย โดยใช้โปรแกรม PVSYST5 ในการประเมิน โดยจะทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW ทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย คือ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ ภาคใต้ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ประกอบในการประเมินประกอบด้วย รังสีอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาค อุณหภูมิแวดล้อม แผงเซลล์แสงอาทิตย์สองชนิดคือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และข้อมูลสมรรถนะของหม้อแปลงไฟฟ้า ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยจะเหมือนกันซึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องสำหรับใช้ในการ Simulation แสดงดังนี้

Thermal Parameter

- NOCT coefficient : 45°C (Free mounted modules with air circulation)
- Constant loss factor : $29\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Ohmic Losses

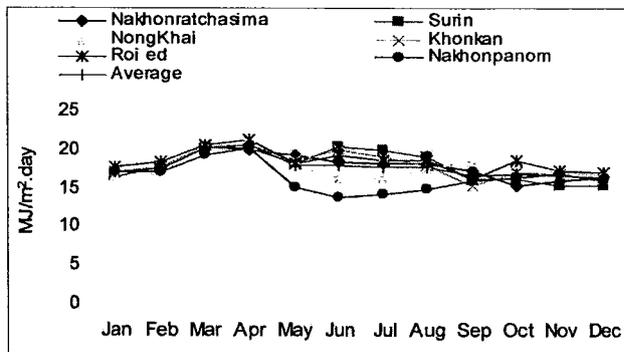
- Global wiring resistance 7.0 mOhm
- Loss fraction STC 1.8 %
- Length Inverter to injection 10 m (size 1200 mm^2)
- External transformer iron loss 0.1 %
- Resistive/Inductive losses 1 % at STC

Module Quality - Mismatch

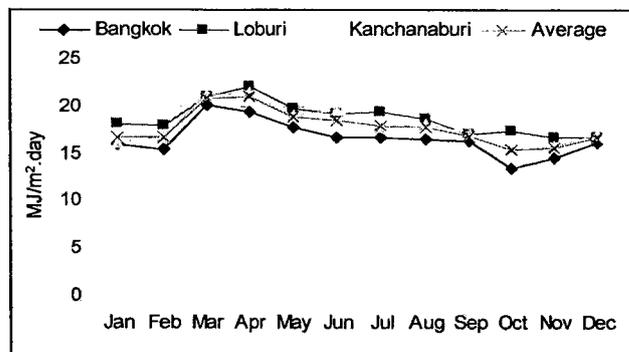
- Module efficiency loss 2.5 %
- Power loss at MPP 2 %
- Loss when running at fixed voltage 1.5 %



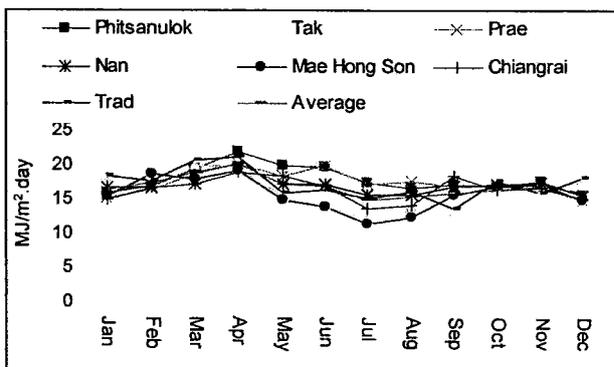
ข้อมูลรังสีอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคที่ใช้ในการ Simulation



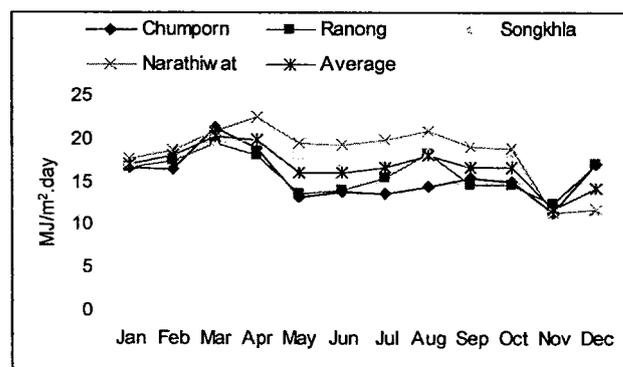
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาคกลาง



ภาคเหนือ



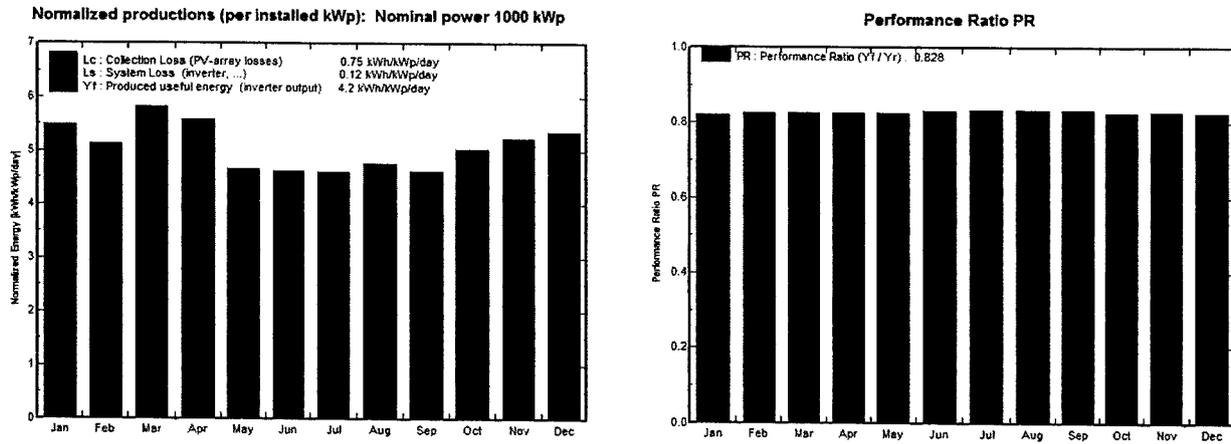
ภาคใต้

รูปที่ 61 ค่ารังสีอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย

ผลการ Simulation พบว่าโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW ทั้ง แบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนเฉลี่ยร้อยละ 4.12 และค่าสมรรถนะของระบบ ฯ ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสจะมีค่าสูงกว่าระบบ ฯ ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนเฉลี่ยร้อยละ 4.10 ซึ่งข้อมูลทางด้านเทคนิคของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองระบบ ฯ ในแต่ละภูมิภาคสามารถสรุปได้แสดงดังตารางที่ 9

Main simulation results
System Production

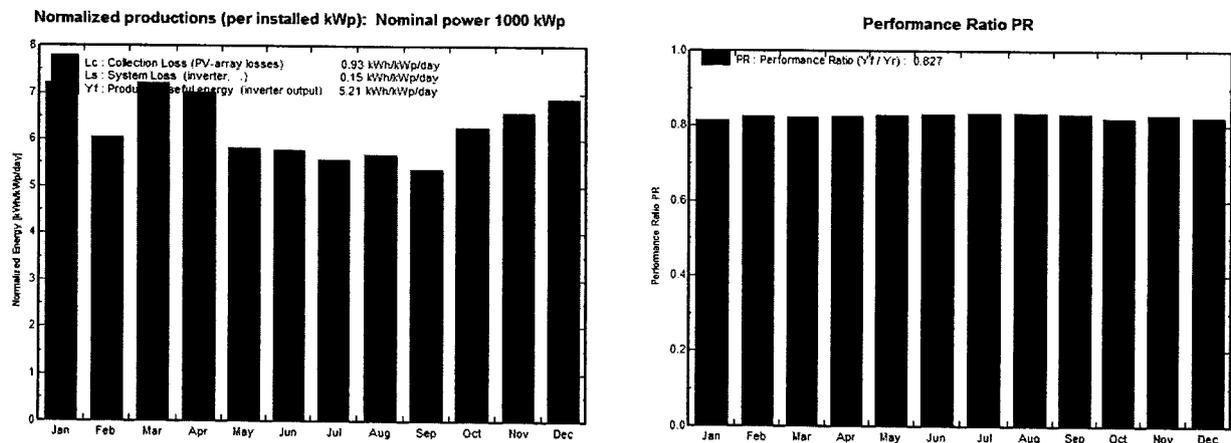
Produced Energy 1535 MWh/year **Specific prod.** 1535 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 82.8 %



รูปที่ 62 ผลการ Simulation ระบบติดตั้งอยู่กับที่โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส

Main simulation results
System Production

Produced Energy 1901 MWh/year **Specific prod.** 1901 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 82.7 %



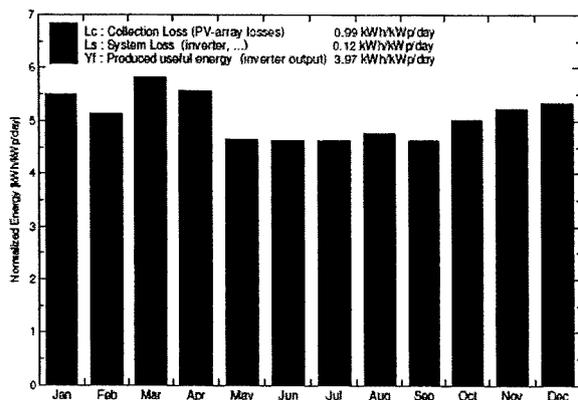
รูปที่ 63 ผลการ Simulation ระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส

Main simulation results

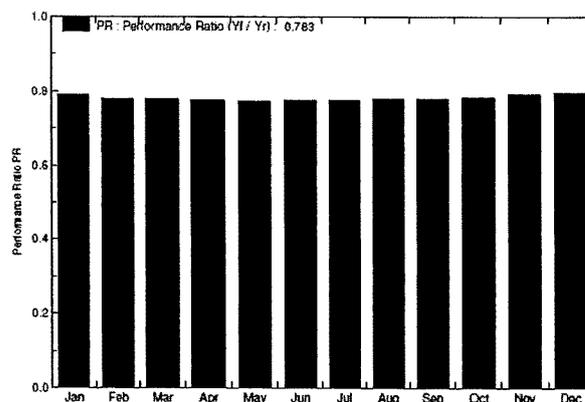
System Production

Produced Energy **1451 MWh/year** Specific prod. **1450 kWh/kWp/year**
 Performance Ratio PR **78.3 %**

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1001 kWp



Performance Ratio PR



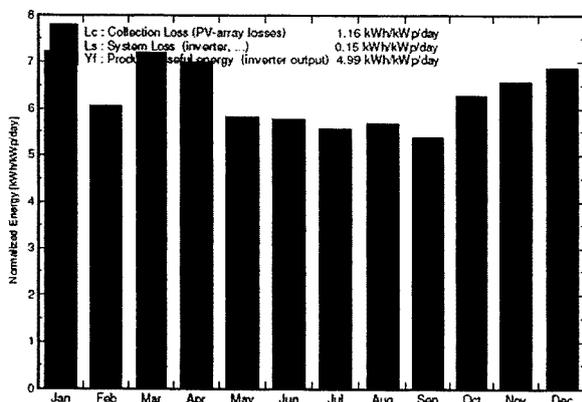
รูปที่ 64 ผลการ Simulation ระบบติดตั้งอยู่กับที่โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึก Crystalline

Main simulation results

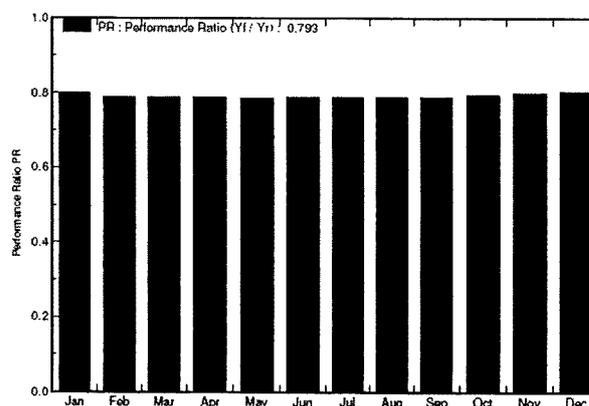
System Production

Produced Energy **1823 MWh/year** Specific prod. **1822 kWh/kWp/year**
 Performance Ratio PR **79.3 %**

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1001 kWp



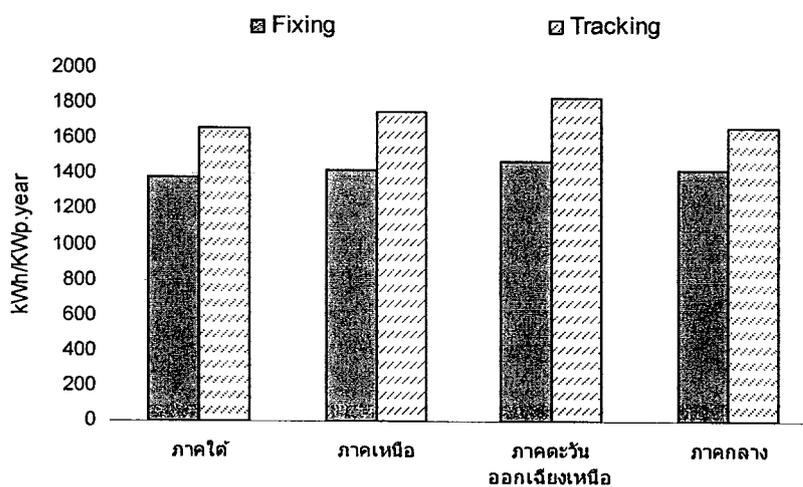
Performance Ratio PR



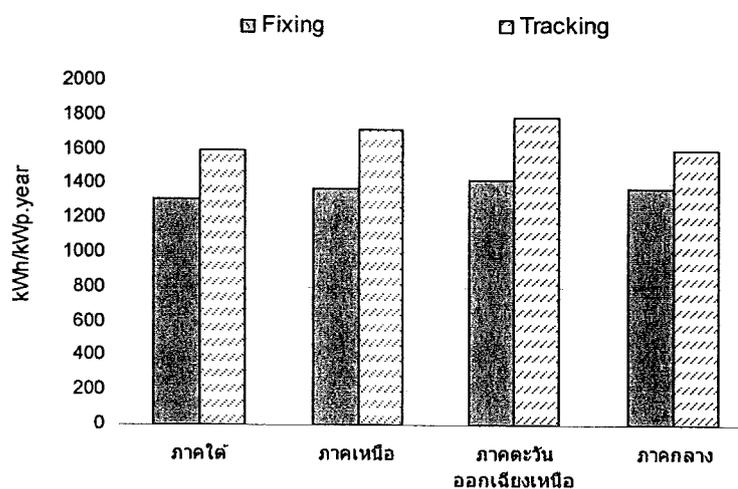
รูปที่ 65 ผลการ Simulation ระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึก Crystalline

ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบข้อมูลทางด้านเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแบบ

ภูมิภาค	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่				ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์			
	Final Yield, Yf (kWh/kWp.year)		Performance Ratio, PR		Final Yield, Yf (kWh/kWp.year)		Performance Ratio, PR	
	Amorphous	Crystalline	Amorphous	Crystalline	Amorphous	Crystalline	Amorphous	Crystalline
ภาคใต้	1,382	1,313	81.00	77.00	1,660	1,598	80.80	77.80
ภาคเหนือ	1,426	1,373	79.90	76.90	1,754	1,716	79.50	77.70
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,535	1,450	82.80	78.30	1,901	1822	78.30	79.30
ภาคกลาง	1,421	1,372	79.20	76.50	1,660	1,598	80.80	77.80
ค่าเฉลี่ย	1,441	1,377	80.73	77.18	1,744	1,684	79.85	78.15



รูปที่ 66 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส



รูปที่ 67 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน

4.5 การประเมินสมรรถนะทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในการประเมินสมรรถนะทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นการประเมินเชิงเปรียบเทียบตัวแปรที่มีผลต่อการลงทุนของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 1 แกน และระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ ซึ่งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขในการประเมินเดียวกันดังนี้

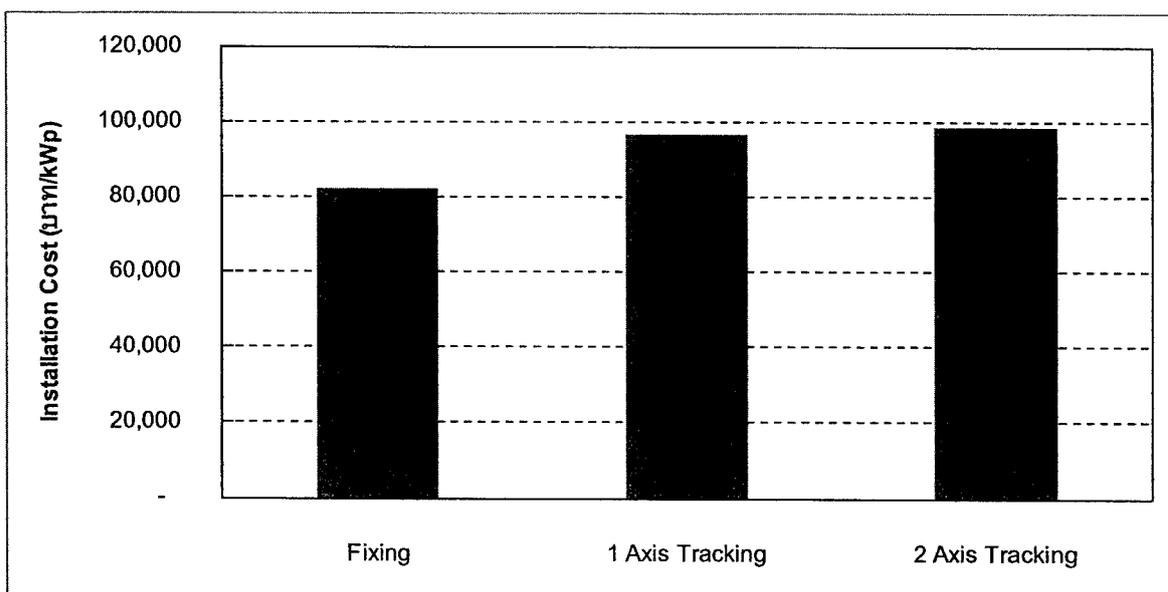
เงื่อนไขที่ใช้ในการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

- วิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสม (Poly Crystalline Silicon)
- อัตราส่วนลด 7.5 % (ไม่พิจารณาผลของอัตราเงินเฟ้อ) อ้างอิงจากธนาคารแห่งประเทศไทย วันที่ 10 พฤษภาคม 2554 [15]
- อายุการใช้งานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง 14 ปี
- พลังงานไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ผลิตได้ 1,466 MWh/year
- พลังงานไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 2 แกน ผลิตได้ 1,823 MWh/year
- พลังงานไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 1 แกน 1,791 MWh/year
- ค่าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นราบเฉลี่ยเท่ากับ 1,799 kWh/m².year
- คิดอัตราการลดลงของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปีละ 0.5% [5]
- คิดอัตราการเดินระบบและอัตราการซ่อมบำรุง (O&M) ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ร้อยละ 0.55 [5]
- คิดอัตราการเดินระบบและอัตราการซ่อมบำรุง (O&M) ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน ร้อยละ 0.45 [5]
- คิดอัตราการเดินระบบและอัตราการซ่อมบำรุง (O&M) ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ร้อยละ 0.3 [5]
- ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์คิดที่ 52 บาท/วัตต์
- ราคาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าคิดที่ 13 บาท/วัตต์
- อายุของระบบ 25 ปี

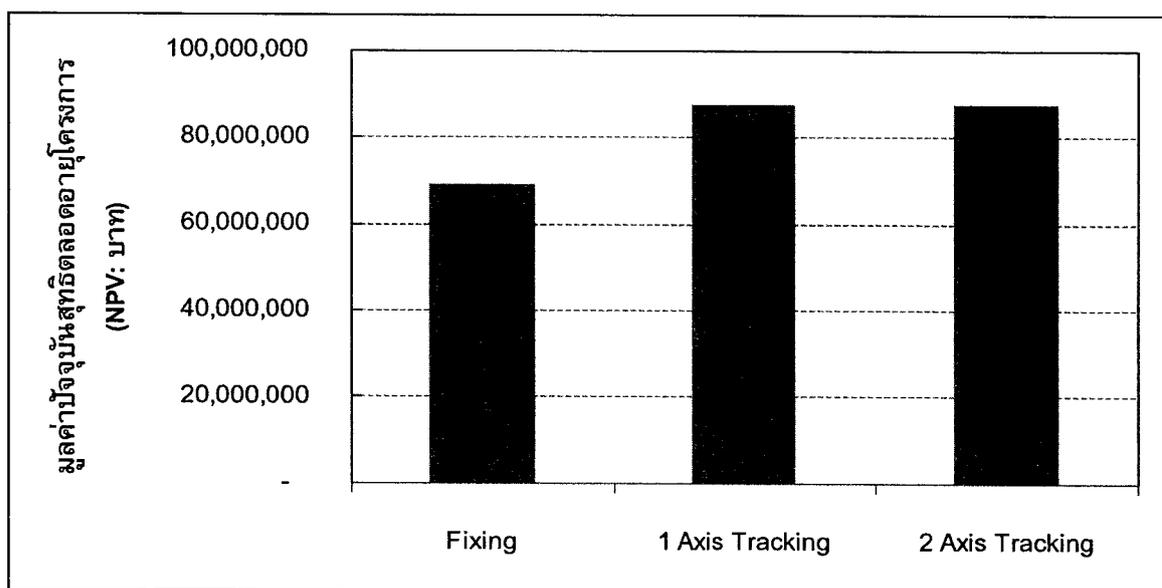
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW

ระบบขนาด 1 MW						
ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคารวม		
				Fixing	1 Axis Tracking	2 Axis Tracking
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Crystalline	1.00	ชุด	52,000,000	52,000,000	52,000,000
2	โครงสร้างเหล็กของระบบติดตามดวงอาทิตย์	1.00	ชุด	10,119,400	18,742,832	18,742,832
3	ฐานรากของระบบติดตามดวงอาทิตย์	1.00	ชุด	809,552	1,947,763	1,947,763
4	ระบบขับเคลื่อนแนว Azimuth	1.00	ชุด	-	3,600,000	3,600,000
5	ระบบขับเคลื่อนแนว Altitude	1.00	ชุด	-	-	2,000,000
6	เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	1.00	ชุด	13,000,000	13,000,000	13,000,000
7	ค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ	1.00	เหมา	780,000	1,160,000	1,160,000
รวมราคา				76,708,952	90,450,595	92,450,595
มูลค่ารวม VAT 7%				5,369,627	6,331,542	6,471,542
รวมเงินทุนในการติดตั้งระบบ				82,078,579	96,782,137	98,922,137
ไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ต่อปี (kWh)				1,466,000	1,791,000	1,823,000
มูลค่าปัจจุบันสุทธิตลอดอายุโครงการ (NPV: บาท)				69,228,052	87,614,241	87,716,703
ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบ (บาท/kWh)				5.65	5.49	5.57
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)				7.91	7.71	7.88
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)				12.84	13.20	13.16
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio)				1.77	1.82	1.80

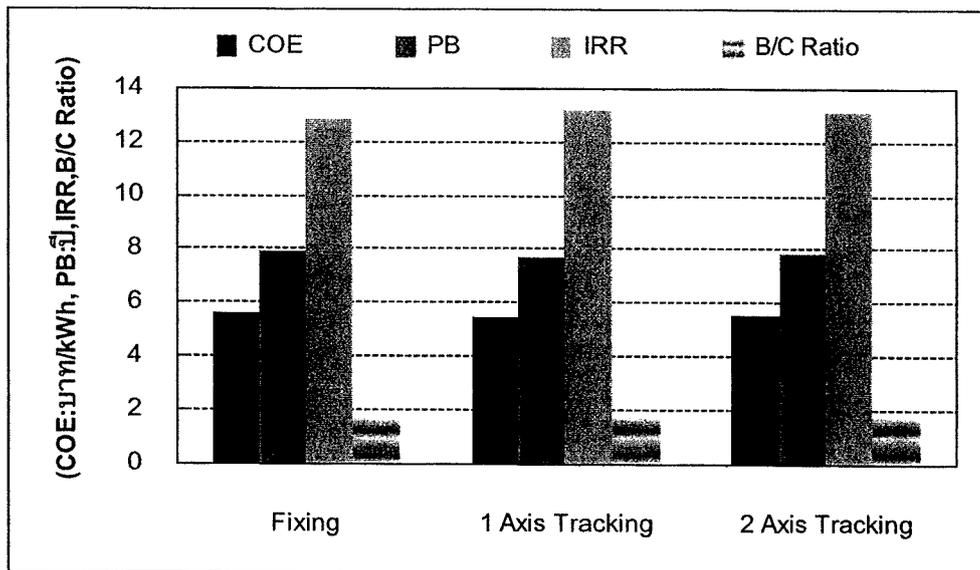
หมายเหตุ: ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยนี้จะไม่คิดรวมราคาที่ดินในการวิเคราะห์



รูปที่ 68 การเปรียบเทียบราคาการติดตั้งระบบต่อกำลังวัตต์สูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 69 เปรียบเทียบมูลค่าสุทธิตลอดอายุโครงการ



รูปที่ 70 เปรียบเทียบตัวแปรทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 1 แกน มีศักยภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์มากที่สุด รองลงมาคือระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ 2 แกน และ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ เพราะในปัจจุบันเทคโนโลยีในการขับเคลื่อน ระบบได้พัฒนาขึ้นมากและมีราคาถูกลง จึงส่งผลให้ระบบที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีความคุ้มค่ามากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่