บทที่ 6

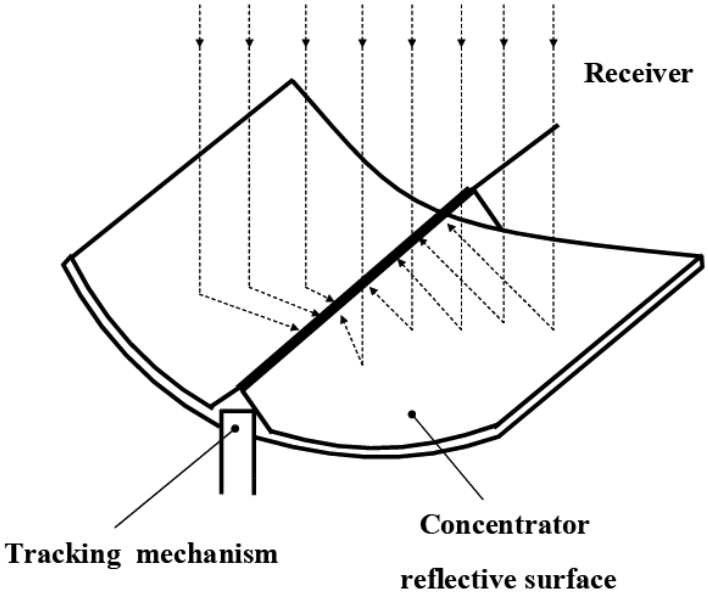
แผนปฏิบัติการ

6.1. กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าระบบใช้ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบความร้อนแบบรวมแสงที่มีการพัฒนาจนถึงขั้นใช้งานเชิงพาณิชย์และมีความพร้อมทางเทคโนโลยีมากที่สุด คือ ระบบราง พาราโบลา ซึ่งมีการเริ่มทดลองมาประมาณ 20 ปีปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าแบบดังกล่าวใช้งานที่รัฐแคลิฟอร์เนียร์จำนวน 9 โรง คิดเป็นกำลังการผลิตรวม 354 MW ระบบดังกล่าวเป็นระบบที่เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าเข้าสู่เครือข่ายสายส่ง

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลาเป็นการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสง (concentrating solar power) ประเภทหนึ่ง สมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนขึ้นกับรังสีตรง ของดวงอาทิตย์ (Direct normal irradiance) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของรังสีรวมของดวงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนจะมีสมรรถนะสูงในกรณีที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีค่าสูง

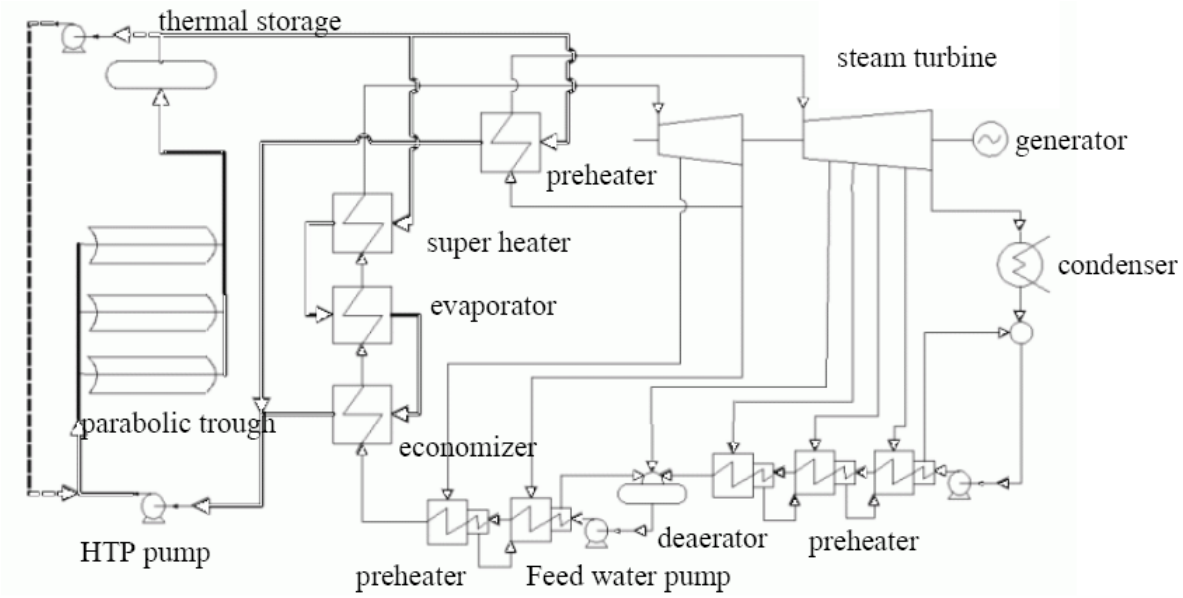
ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (solar collector) ซึ่งทำงานโดยใช้หลักการรวมรังสีดวงอาทิตย์ด้วยการสะท้อนจากผิวโค้งรูปพาราโบลาที่เป็นราง ยาวโดยตัวรับรังสีดังกล่าวประกอบด้วยตัวสะท้อนรังสี (reflector) และท่อรับรังสี (receiver) ดังรูปที่ 6-1



รูปที่ 6-1 ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา[21]

ท่อรับรังสีจะเป็นท่อโลหะอยู่ภายในท่อแก้ว โดยช่องว่างระหว่างท่อทั้งสองเป็นสุญญากาศเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ของเหลวประเภทน้ำมันจุดเดือดสูงจะไหลในท่อโลหะเพื่อพาความร้อนไปถ่ายเทให้กับหม้อไอน้ำ สำหรับผลิตไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนเครื่องยนต์กังหันไอน้ำ โดยกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ดังกล่าวจะนำไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสำหรับในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์จะใช้การถ่ายเทความร้อนจากน้ำมันร่วมกับพลังงานจากแก๊สช่วยในการกำเนิดไอน้ำ

[21] ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสงในประเทศไทย, คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร



รูปที่ 6-2 แผนภาพของโรงผลิตไฟฟ้าจากรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา[22]

6.2. หลักการทำงานและส่วนประกอบสำคัญของโรงไฟฟ้า

ระบบดังกล่าวประกอบด้วย ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา (parabolic trough) ตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) กังหันไอน้ำ (steam turbine) เครื่องควบแน่น (condenser) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในการทำงาน เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลา รังสีดวงอาทิตย์ถูกสะท้อนไปรวมกันที่ท่อดูดกลืนรังสีซึ่งอยู่ที่โฟกัสของรางพาราโบลา ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปให้น้ำมันที่มีจุดเดือดสูง น้ำมันดังกล่าวจะไหลไปยังถึงเก็บความร้อน (thermal storage) เมื่อสารทำงานนั้นไหลเข้าสู่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนชุดที่สามซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนให้กับไอน้ำที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอน้ำ จนทำให้ไอน้ำอิ่มตัวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำยิ่งยวด (superheated steam) ก่อนที่จะเข้าสู่กังหันไอน้ำไปขับกังหันให้เกิดการหมุนแกนเพลาซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อขดลวดในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัดผ่านสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะไหลผ่านอุปกรณ์ควบคุมแรงดันและปรับค่ากระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมก่อนที่จะจ่ายผ่านมิเตอร์เข้าสู่ระบบสายส่งของ กฟภ. ต่อไป

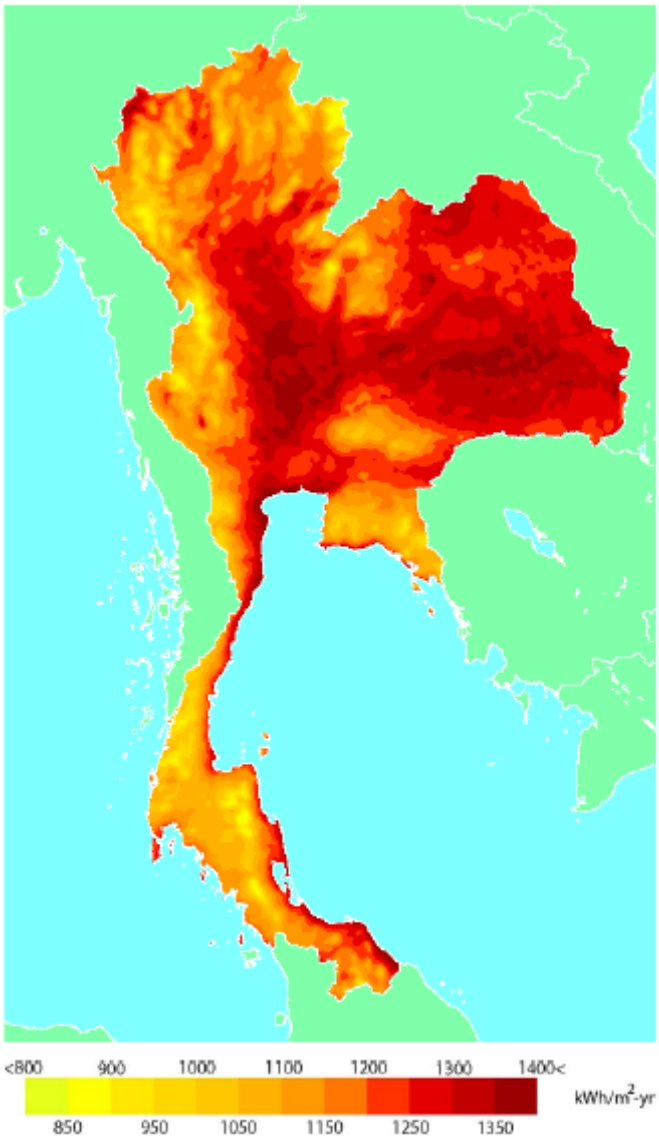
[22] ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสงในประเทศไทย, คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร

ไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำจะมีความดันลดลงและจะกลั่นตัวเป็นน้ำเมื่อผ่าน Condenser ซึ่งได้รับน้ำหล่อเย็นจาก Cooling Tower น้ำที่กลั่นตัวแล้วจะถูกเครื่องสูบน้ำจ่ายเข้าไปในระบบผลิตไอน้ำโดยจะผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อนตัวที่หนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ (อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชุดที่สอง) ซึ่งการแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุปกรณ์ทั้งสองเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำมันซึ่งไหลออกจากชุดแลกเปลี่ยนความร้อนที่สามให้กับน้ำเพื่อทำให้เกิดไอน้ำอิ่มตัวที่จะถูกจ่ายเข้าสู่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนชุดที่สามเพื่อสร้างเป็นไอน้ำยิ่งยวดอีกครั้ง สำหรับน้ำมันที่ไหลออกจากชุดแลกเปลี่ยนความร้อนชุดที่หนึ่ง จะถูกจ่ายเข้าไปในระบบของรางพาราโบลาเพื่อรับความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์อีกครั้ง

ระบบดังกล่าวยังมีแหล่งสะสมความร้อนใช้เสริมในช่วงที่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์มีความเข้มต่ำ โดยระบบดังกล่าวจะนำความร้อนจากถังเก็บความร้อนมาใช้งานซึ่งระบบดังกล่าวสามารถทำงานได้ 2 ชั่วโมงโดยไม่มีแสงแดด

6.3. ปัจจัยในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

รังสีตรง เป็นรังสีที่สำคัญในต่อปริมาณไฟฟ้าที่ระบบสามารถผลิตได้ จากแผนที่ความเข้มรังสีตรงรายวันเฉลี่ยต่อเดือนในภาคผนวก ค. จะเห็นว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายนพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีตรงค่อนข้างสูง (14-17 MJ/m2-day) ทั้งนี้เพราะช่วงเวลาดังกล่าว เป็นช่วงฤดูแล้ง (dry season) ท้องฟ้าส่วนใหญ่แจ่มใสปราศจากเมฆ รังสีดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จึงเป็นรังสีตรง ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป รังสีตรงจะค่อยๆ ลดลงจนถึงเดือนกันยายน ทั้งนี้เพราะช่วงเวลาดังกล่าวประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ท้องฟ้ามักมีเมฆปกคลุมทำให้รังสีตรงมีค่าลดลง หลังจากนั้นรังสีตรงในตอนกลางภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนตุลาคมจนถึงเดือนธันวาคม เพราะช่วงเวลาดังกล่าวประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ท้องฟ้าส่วนใหญ่ในภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่อนข้างแจ่มใส รังสีตรงที่รับจึงมีค่าสูง สำหรับช่วงเวลาเดียวกัน ภาคใต้ยังคงมีค่ารังสีตรงต่ำ เนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทยจะนำความชื้นมายังภาคใต้ ทำให้มีเมฆมากและมีฝนตก รังสีตรงจึงมีค่าต่ำ



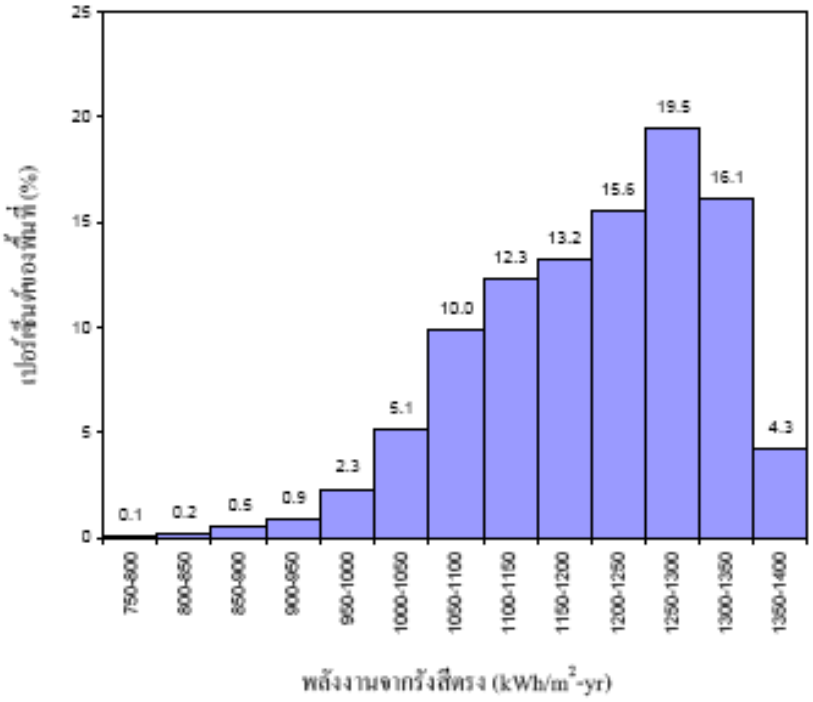
รูปที่ 6-3 แสดงแผนที่การกระจายของพลังงานจากรังสีตรงรวมตลอดทั้งปี (kWh/m2-yr) โดยเฉลี่ยจากข้อมูล 11 ปี (ค.ศ. 1995-2002)[23]

เมื่อพิจารณาพลังงานจากรังสีตรงที่ได้รับรวมทั้งปี จะเห็นว่าบริเวณที่ได้รับรังสีตรงสูงสุด จะอยู่ในภาคกลางโดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดสิงห์บุรี ชัยนาท ลพบุรี และนครสวรรค์ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างในพื้นที่บางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ ร้อยเอ็ด

[23] ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสงในประเทศไทย, คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร

ยโสธร สุรินทร์ และอุบลราชธานี โดยพื้นที่ดังกล่าวได้รับรังสีตรงต่อปีในช่วง 1,350-1,400kWh/m2-yr

นอกจากนี้หากพิจารณาการแจกแจงระดับของรังสีตรงในช่วงต่างๆ โดยหาว่ารังสีตรงในระดับนั้นๆ ครอบคลุมพื้นที่กี่เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ผลที่ได้พบว่าการแจกแจงดังกล่าวมีลักษณะไม่สมมาตร โดยเบ้ไปทางค่ารังสีตรงที่มีค่ามาก และบริเวณที่มีค่าความเข้มรังสีตรงสูงสุด (1,350-1,400kWh/m2-yr) ครอบคลุมพื้นที่ 4.3 % ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่บางส่วนของภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

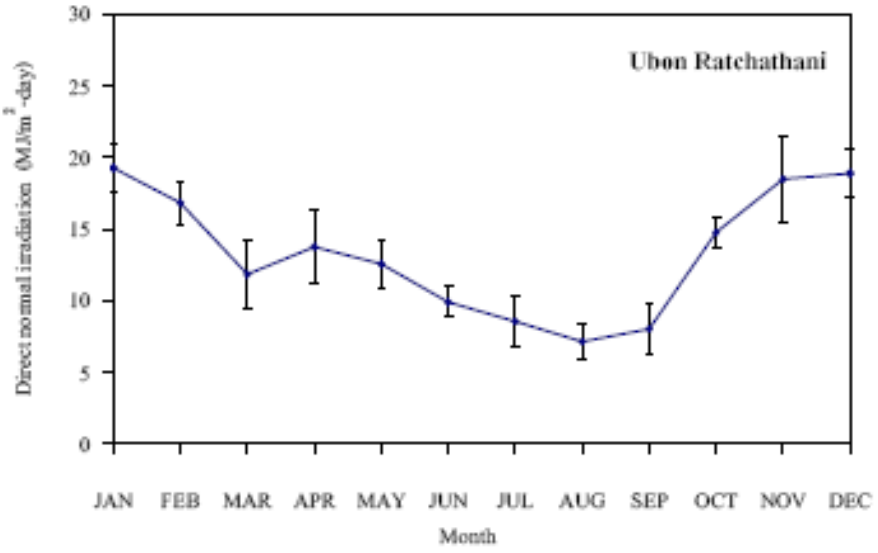


รูปที่ 6-4 แสดงการแจกแจงของรังสีตรงตามพื้นที่[24]

[24] ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสงในประเทศไทย, คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร

6.4. โครงการศึกษาการลงทุนก่อสร้างโรงผลิตไฟฟ้าระบบใช้ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา (parabolic trough)

จากการศึกษาวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปี ค.ศ. 2006 ที่ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา ซึ่งได้พิจารณาพื้นที่ในจังหวัดอุบลราชธานีซึ่งมีค่ารังสีตรงอยู่ในระดับสูงในระดับ1,403±84 (kWh/m2-yr) แต่อย่างไรก็ตามระดับดังกล่าวยังถือว่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับบริเวณที่มีการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสงในต่างประเทศจะซึ่งโดยทั่วไปจะมีรังสีตรงสูงกว่า 2,000 kWh/m2-yr แต่ก็สูงกว่าในยุโรปกลางและยุโรปเหนือ ซึ่งมีค่ารังสีตรงต่ำกว่า 1,000 kWh/m2-yr ซึ่งจากการวิจัยพบว่าความเข้มของรังสีตรงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดปีดังแสดงในรูปที่ 6-5



รูปที่ 6-5 แสดงการแปรค่าตามฤดูกาลในรอบปีของความเข้มรังสีตรงที่สถานีอุบลราชธานี (เฉลี่ย 5 ปี ในช่วง ค.ศ. 2001-2005)[25]

[25] ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสงในประเทศไทย, คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร

งานวิจัยได้ใช้ข้อมูลรังสีตรงของพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ในกลุ่ม 4.3% ของพื้นที่ประเทศไทยที่มีความเข้มรังสีตรงอยู่ในระดับสูง ประกอบกับปัจจัยที่จำเป็นอื่น ๆ กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าขนาด 10 MW ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า Capcity factor (%)และ ความถี่ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ซึ่งได้ผลดังนี้

	ค่าที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (GWh/year)	18.0±1.4
ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า (%)	18.0
Capacity factor (%)	20.5

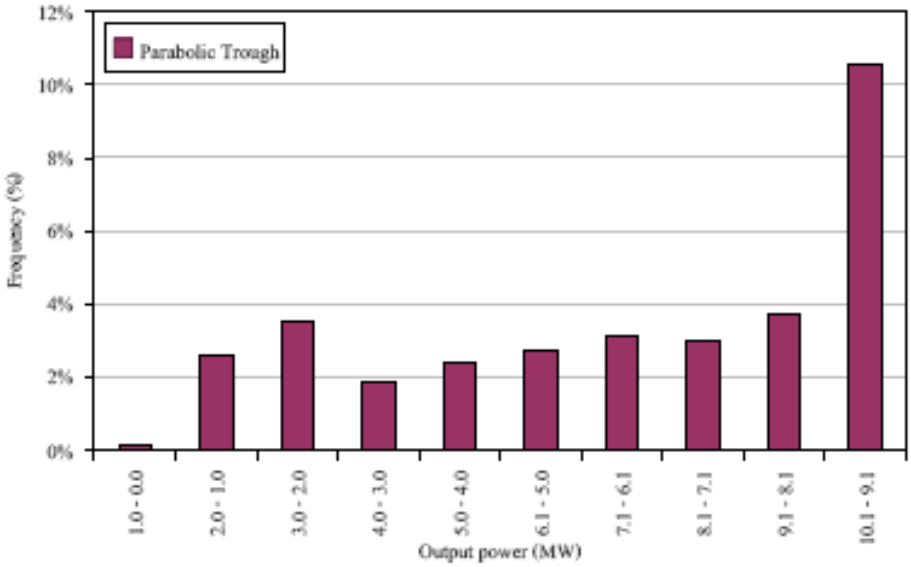
พลังงานจากรังสีตรงไม่สามารถแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งหมด ความสามารถในการแปลงพลังงานจากรังสีตรงเป็นไฟฟ้าจะบอกในรูปของประสิทธิภาพ (solar-to-electricity efficiency) ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเป็นตัวชี้วัดในเรื่องของความสูญเสียพลังงานระหว่างกระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบรางพาราโบลาจะมีการสูญเสียพลังงานทั้งจากอุปกรณ์รวมแสง (optical losses) และจากระบบความร้อน (thermal losses) แต่เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีอื่น ๆ ระบบรวมแสงแบบจานพาราโบลาก็มีการสูญเสียเชิงแสง (optical losses) ค่อนข้างน้อย

เนื่องจากในการทำงานจริงของระบบผลิตไฟฟ้า ระบบมิได้ทำงานที่กำลังการผลิตเต็มที่ตลอดเวลา อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบควรจะผลิตได้เมื่อเดินเครื่องเต็มเวลาตลอดทั้งปี จะเรียกว่า Capacity factor จะเห็นว่า Capacity factor ของระบบหอคอยมีค่าสูงสุด รองลงมาคือระบบรางพาราโบลา และระบบจานพาราโบลาร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะระบบหอคอยมีอุปกรณ์สะสมความร้อนที่สามารถเก็บความร้อนไว้ใช้ในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ได้ยาวนาน ระบบรางพาราโบลามีอุปกรณ์สะสมความร้อนแต่ขนาดไม่ใหญ่เท่ากับระบบหอคอย ส่วนระบบจานพาราโบลาร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไม่มีอุปกรณ์เก็บสะสมความร้อน ดังนั้นช่วงระยะเวลาทำงานในรอบปีจึงสั้นกว่าทั้งสองระบบเป็นผลให้ Capacity factor ที่คำนวณได้น้อยกว่า

ตาราง 6-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพและ Capacity factor เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าแต่ละประเภท

	Parabolic Trough	Stirling Engine	Solar Tower
ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า (%)	18	21.7	13.8
Capacity factor (%)	20.5	13.1	28.6

สำหรับการแจกแจงความถี่ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะใช้ในการวัดสมรรถนะของระบบว่าสามารถผลิตไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับกำลังการผลิตที่ออกแบบไว้มากน้อยเพียงใด



รูปที่ 6-6 แสดงการแจกแจงความถี่ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบรางพาราโบลา[26]

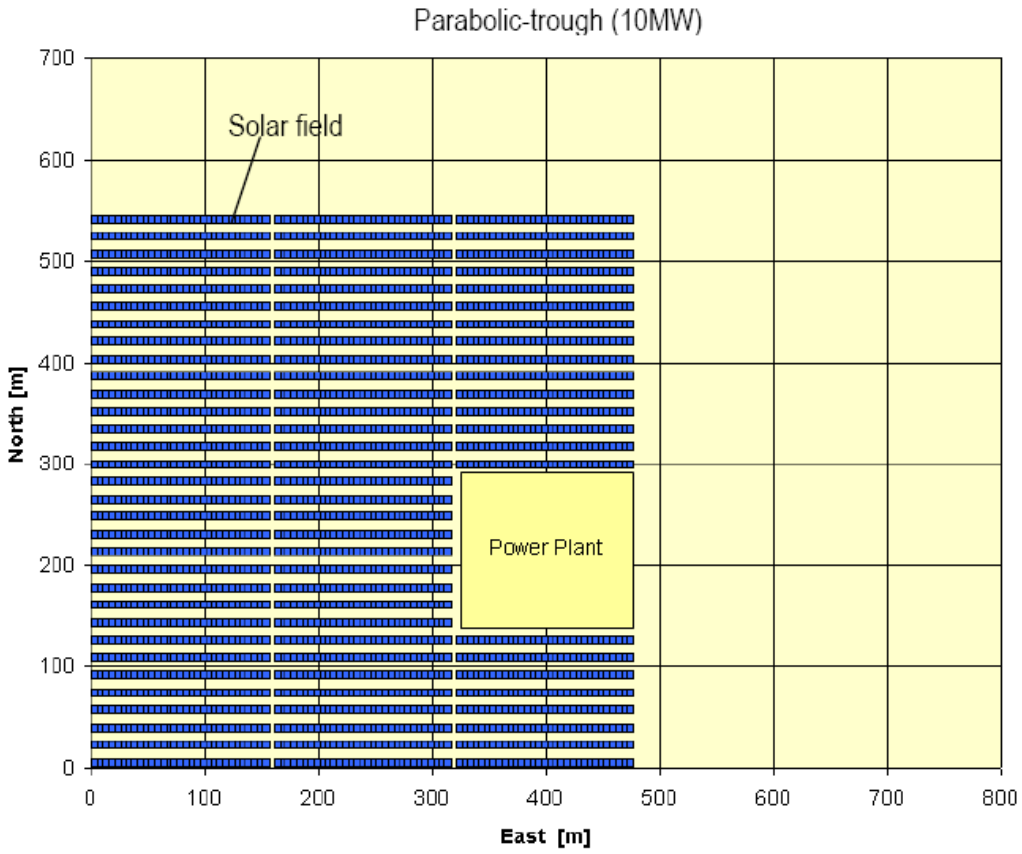
จากการวิจัยจะเห็นว่าระบบรางพาราโบลามีการทำงานส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับกำลังการผลิตที่ออกแบบไว้ (10 MW) ทั้งนี้เพราะระบบดังกล่าวมีอุปกรณ์เก็บสะสมความร้อน (thermal storage) ซึ่งทำให้สามารถทำงานได้ค่อนข้างต่อเนื่อง

ระบบผลิตไฟฟ้ามีเวลาปฏิบัติการตั้งแต่ 8:00-20:00 น. โดยจะต้องมีบุคลากรคอยตรวจสอบและควบคุมระบบ 4 คน ขณะเดียวกันต้องมีทีมซ่อมบำรุงที่คอยดูแลรางพาราโบลาและ

[26] ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสงในประเทศไทย, คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตัวรับแสงอีก 3 คน ซึ่งคนกลุ่มนี้จะใช้เวลาในช่วงที่แสงแดดหมดลงทำการทำความสะอาดรางพาราโบลา และตรวจสอบสภาพการทำงานของอุปกรณ์ภาคสนามรวมถึงซ่อมบำรุงอุปกรณ์ดังกล่าว

สำหรับการติดตั้งรางพาราโบลาที่เป็นตัวสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ซึ่งต้องปรับตัวตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ทำให้ต้องติดตั้งรางพาราโบลาให้วางตัวในแนวทิศเหนือ-ใต้โดยมีแผนผังของโรงไฟฟ้าจะเป็นดังรูปที่ 6-7



รูปที่ 6-7 แสดงแผนผังของที่ตั้งระบบผลิตไฟฟ้าแบบรางพาราโบลา[27]

[27] ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสงในประเทศไทย, คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร