

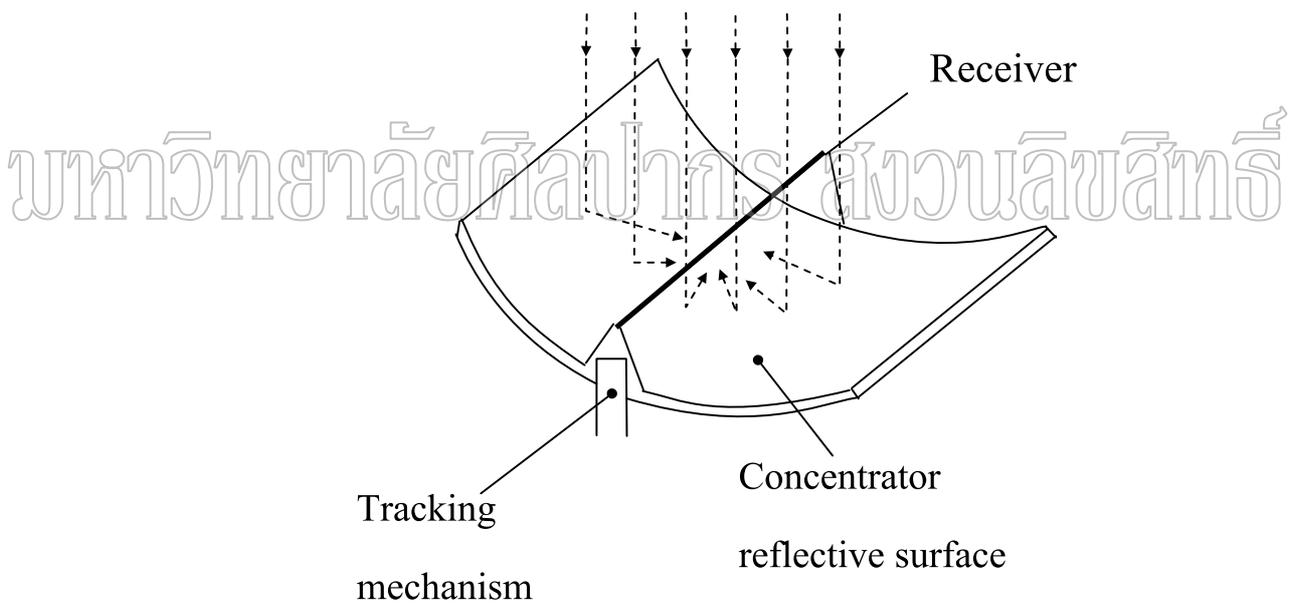
บทที่ 2

การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสง

ในการวิเคราะห์ศักยภาพของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสงสำหรับประเทศไทยนั้น ผู้วิจัยจะกล่าวถึงหลักการของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ระบบใช้ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา (parabolic trough)

ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (solar collector) ซึ่งทำงานโดยใช้หลักการรวมรังสีดวงอาทิตย์ด้วยการสะท้อนจากผิวโค้งรูปพาราโบลาที่เป็นรางยาว โดยตัวรับรังสีดังกล่าวประกอบด้วยตัวสะท้อนรังสี (reflector) และท่อรับรังสี (receiver) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา

ท่อรับรังสีจะเป็นท่อโลหะอยู่ภายในท่อแก้ว โดยช่องว่างระหว่างท่อทั้งสองเป็นสุญญากาศ เพื่อลดการสูญเสียความร้อน ของเหลวประเภทน้ำมันจุดเดือดสูงจะไหลในท่อโลหะ เพื่อพาความร้อนไปถ่ายเทให้กับหม้อไอน้ำ (boiler) สำหรับผลิตไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนเครื่องยนต์กังหันไอน้ำซึ่งทำงาน

ด้วยวัฏจักร Rankine โดยงานเพลลาที่ได้จากเครื่องยนต์ดังกล่าวจะนำไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับในช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์จะใช้พลังงานจากแก๊สช่วยในการกำเนิดไอน้ำ ระบบผลิตไฟฟ้าแบบนี้ มีการพัฒนาขึ้นหลายแห่ง ที่สำคัญมีดังนี้

1) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการชลประทาน Coolidge

โรงไฟฟ้านี้ตั้งอยู่เมือง Coolidge รัฐอริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีกำลังการผลิต 150 kW_c ไฟฟ้าที่ได้จะส่งให้เครื่องขุดสายส่งสำหรับนำไฟฟ้าไปใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการชลประทาน โรงไฟฟ้านี้ทำงานแบบผสม (hybrid mode) กล่าวคือใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สเป็นแหล่งพลังงานเสริมในกรณีที่พลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ โรงไฟฟ้าดังกล่าวทดลองใช้งานตั้งแต่ ค.ศ. 1979 ถึง 1982 ข้อมูลที่ได้จากการทำงานในช่วง 3 ปี แสดงไว้ตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 แสดงภาพตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลาที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการชลประทาน Coolidge

ตารางที่ 2.1 สมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 150 kW_c ที่เมือง Coolidge (Grass et al., 1991)

	Jan-Sep 80	Oct-Sep 81	Oct-Sep 82	Total
Solar Output (MWh _c)	97.1	133.2	170.0	400.3
Average efficiency (%)	2.45	2.47	3.5	2.9

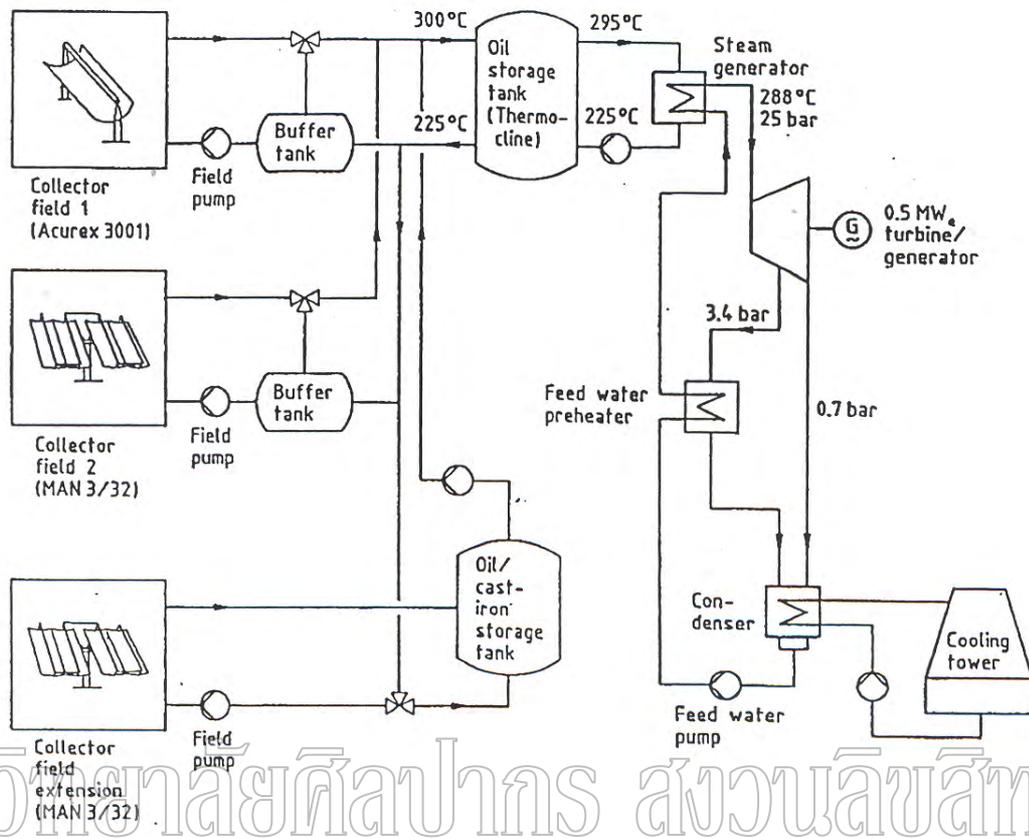
2) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ IEA –SSPS

โรงไฟฟ้านี้อยู่ที่เมือง Almeria ประเทศสเปน โดยออกแบบให้มีกำลังผลิต 500 kW_c ที่รังสีตรง 920 W/m² ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มี 3 กลุ่ม ซึ่งผลิตโดยบริษัทต่างๆ โดยมีระบบขับเคลื่อนตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน และ 2 แกน ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะ โรงไฟฟ้านี้ทำงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเดียว โดยมีถังเก็บสะสมพลังงานความร้อน 2 ถัง ซึ่งมีตัวกลางเก็บความร้อนเป็นน้ำมันต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะกัน แผนผังการทำงานของโรงไฟฟ้าดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.4



มหาวิทยาลัยศิลปากร สอนพิเศษ

รูปที่ 2.3 แสดงภาพตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลาที่ใช้ในโรงไฟฟ้า IEA-SSPS



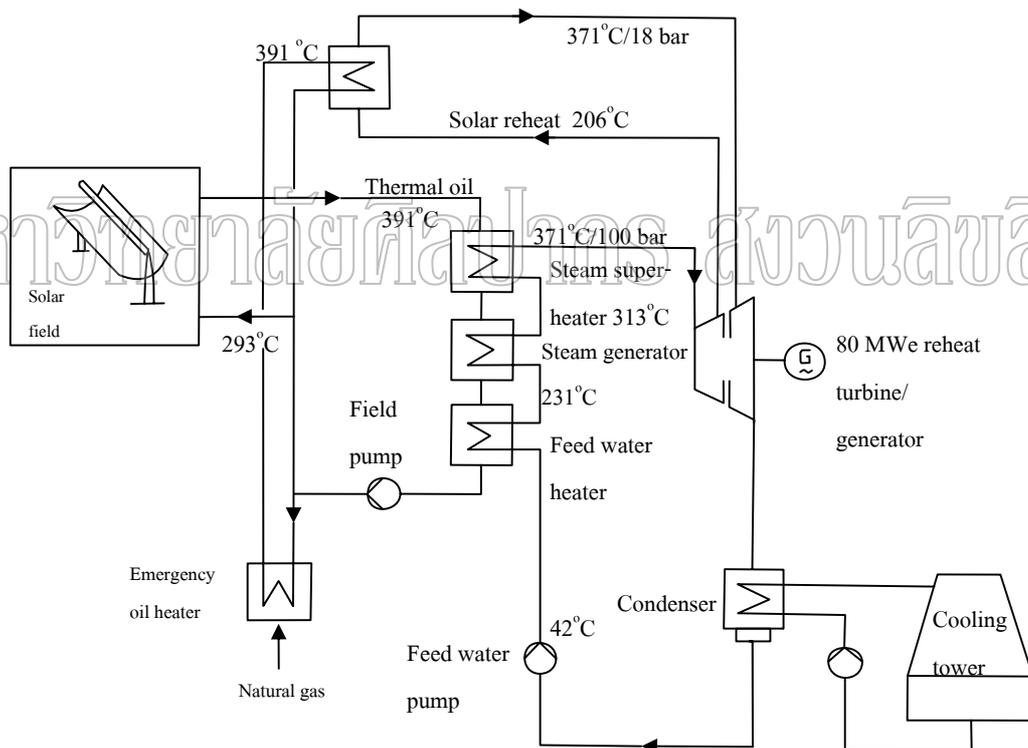
รูปที่ 2.4 แผนผังการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ IEA-SSPS ขนาด 500 kW_e

(Grass et al., 1991)

โรงไฟฟ้า IEA-SSPS ถูกทดสอบใช้งาน เพื่อผลิตไฟฟ้าป้อนเครือข่ายส่งไฟฟ้าในช่วงปี ค.ศ. 1982 ถึง 1983 จากผลการทดสอบพบว่า การขับเคลื่อนตัวรับรังสีแบบ 2 แกน มีสมรรถนะไม่ดีไปกว่าแบบแกนเดียว โดยการขับเคลื่อนแบบ 2 แกนจะได้พลังงานเพิ่มขึ้น แต่ก็มี การสูญเสียเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากท่อต่างๆ ที่ยาวขึ้น นอกจากนี้การซ่อมบำรุงระบบขับเคลื่อนแกนเดียวยังทำได้ง่ายกว่าแบบ 2 แกน โรงงานไฟฟ้านี้จะเริ่มทำงานได้ที่ค่าความเข้มรังสีตรงสูงกว่า 350 W/m² จากการศึกษาสมรรถนะของการทำงานในช่วงเวลา 2 ปี พบว่าโรงไฟฟ้างกล่าวว่ามีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 2.5 %

3) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ชุด Solar Electricity Generating System หรือ SEGS

โรงไฟฟ้าชุดนี้มี 9 โรง ได้แก่ SEGS I ถึง SEGS IX โรงไฟฟ้าทั้งหมดตั้งอยู่ที่รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้ตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลาซึ่งผลิตโดยบริษัท Luz ขับเคลื่อนแกนเดียว โรงไฟฟ้างกล่าวดำเนินการโดยบริษัทเอกชน โดยทำการผลิตไฟฟ้าป้อนให้กับเครือข่ายสายส่ง เริ่มต้นโรงแรกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1985 และโรงที่ 9 เริ่มต้นใช้งานเมื่อปี ค.ศ. 1991 โรงไฟฟ้าทั้งหมดมีกำลังการผลิตตั้งแต่ 13.8 MW_e จนถึง 80 MW_e รวมกำลังการผลิตทั้งหมด 350 MW_e โดยเป็นแบบมีพลังงานเสริมจากแก๊ส และยังคงใช้งานจนถึงปัจจุบัน ตัวอย่างของแผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้าชุดนี้และภาพตัวรับรังสีที่ใช้ แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 และ 2.6 และสมรรถนะของโรงไฟฟ้า SEGS แสดงไว้ในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.5 แผนภูมิของโรงไฟฟ้า SEGS VIII ขนาด 80 MW_e (Grass et al., 1991)



รูปที่ 2.6 แสดงภาพโรงไฟฟ้า SEGS ที่ Kramer Junction แคลิฟอร์เนีย



รูปที่ 2.7 แสดงตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แต่ละตัวของโรงไฟฟ้า SEGS



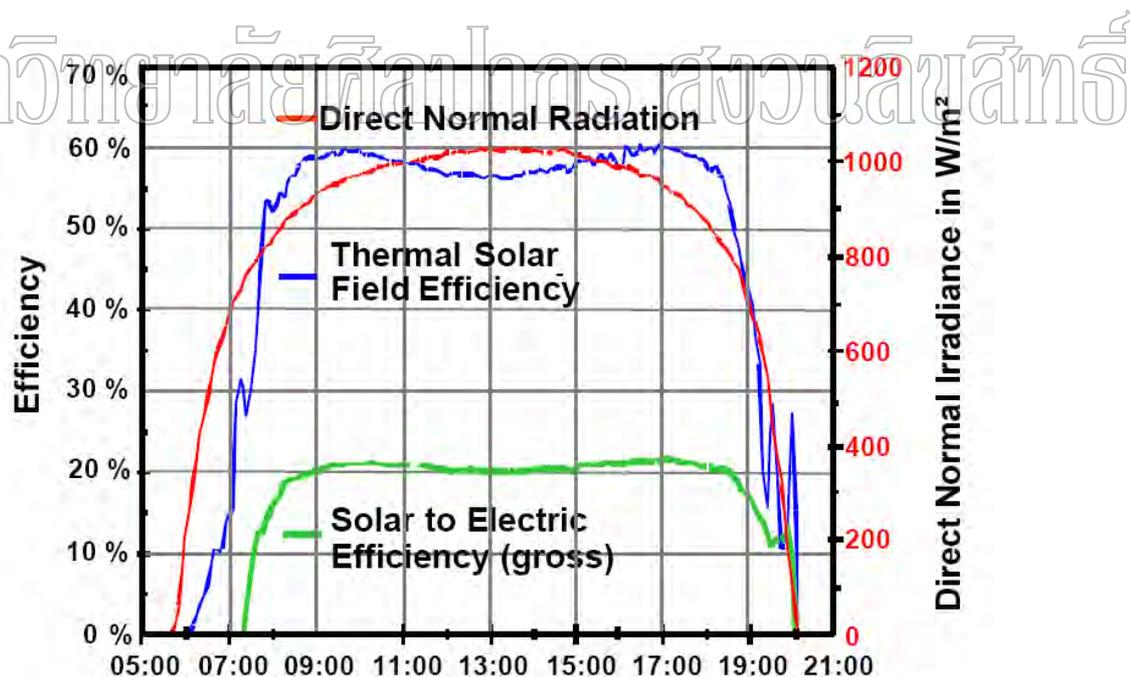
รูปที่ 2.8 แสดงสนามตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้า SEGS



รูปที่ 2.9 แสดงส่วนผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า SEGS

ตารางที่ 2.2 สมรรถนะของโรงไฟฟ้า SEGS (Grass and Geyer, 2000)

SEGS Plant	1 st Year of Operation	Net Output (MW _e)	Solar Field Outlet Temp. (°C/°F)	Solar Field Area (m ²)	Solar Turbine Eff. (%)	Fossil Turbine Eff. (%)	Annual Output (MWh)
I	1985	13.8	307/585	82,960	31.5	-	30,100
II	1986	30	316/601	190,338	29.4	37.3	80,500
III&IV	1987	30	349/660	230,300	30.6	37.4	92,780
V	1988	30	349/660	250,500	30.6	37.4	91,820
VI	1989	30	390/734	188,000	37.5	39.5	90,850
VII	1989	30	390/734	194,280	37.5	39.5	92,646
VIII	1990	80	390/734	464,340	37.6	37.6	252,750
IX	1991	80	390/734	483,960	37.6	37.6	256,125



รูปที่ 2.10 แสดงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า SEGS VI วัดโดย KJC Operating Company ในเดือนกรกฎาคม ค.ศ. 1997 (Grass and Geyer, 2000)

จากตัวอย่างสมรรถนะของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้า SEGS VI ในรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ในช่วง 9.00–17.00 น. ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์จะแปรค่าในช่วง 56 % - 60 % และประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าในการแปลงพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าจะมีค่าสูงถึง 20 %

4) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Nevada-SEGS

เนื่องจากรัฐเนวาดาใช้พลังงานส่วนใหญ่จากถ่านหินและแก๊สธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งก่อปัญหาหมอกควันค่อนข้างมาก ดังนั้นทางการรัฐจึงได้ร่วมกับบริษัทเอกชนจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสงขึ้น ในลักษณะเดียวกับโรงไฟฟ้า SEGS ของรัฐแคลิฟอร์เนีย โรงไฟฟ้างดกล่าวมีกำลังการผลิต 50 MW_e โดยตั้งอยู่ที่ Eldorado Valley ใกล้เมือง Boulder City รัฐเนวาดา มีกำหนดเปิดใช้งานในปี ค.ศ. 2006 โรงไฟฟ้างดกล่าวมีพื้นที่รับแสง 10,346 ตารางเมตร



รูปที่ 2.11 แสดงสนามตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบลาของโรงไฟฟ้า Nevada-SEGS อยู่ระหว่างการก่อสร้างที่ Eldorado Valley รัฐเนวาดา



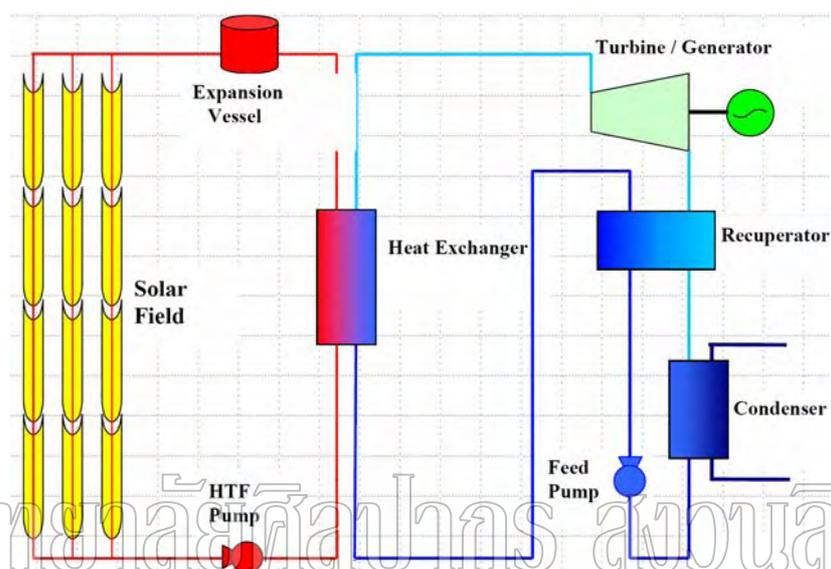
รูปที่ 2.12 แสดงภาพโรงไฟฟ้า Nevada-SEGS



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่จะนำมาใช้โรงไฟฟ้า Nevada-SEGS

- 5) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Arizona APS 1 MW_c
 รัฐอริโซนา มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นทะเลทราย และได้รับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ค่อนข้างสูง
 ทางการของรัฐจึงได้ร่วมมือกับบริษัท ORMAT และ Solargenix จัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

แบบโรงพาราโบลขนาด 1 MW_e ที่ Saguaro ทางตะวันออกของเมือง Phoenix รัฐอริโซนา โดยได้เริ่มดำเนินการก่อสร้างตั้งแต่เดือนมีนาคม ค.ศ. 2004 กำหนดแล้วเสร็จในปี ค.ศ. 2006 โรงไฟฟ้างกล่าวมีลักษณะเดียวกับโรงไฟฟ้า SEGS ที่รัฐแคลิฟอร์เนีย โรงไฟฟ้านี้สามารถควบคุมการทำงานและติดตามสมรรถนะจากระยะไกลได้ (remote control and monitor) แผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงแผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้า Arizona APS 1 MW_e



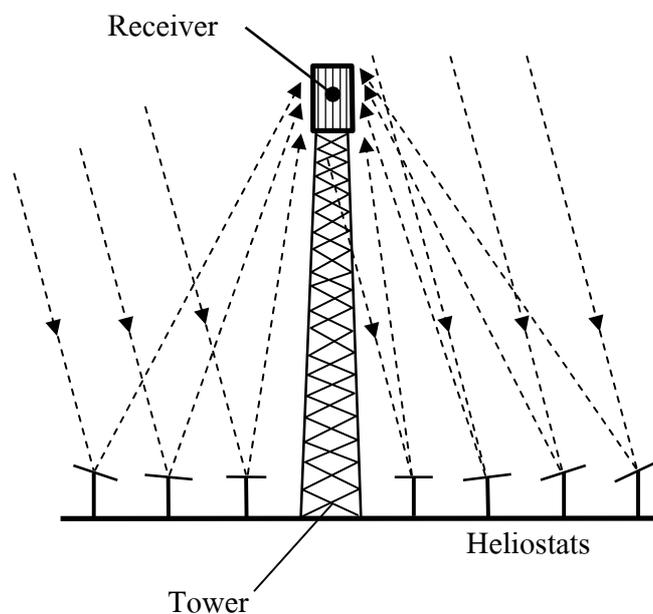
รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่จะนำมาใช้โรงไฟฟ้า Arizona APS 1 MW_e



รูปที่ 2.16 แสดงสนามตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้า Arizona APS 1 MW_e

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบหอคอย (power tower)

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบหอคอย จะประกอบด้วยหอคอย (tower) และระบบกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบ (heliostat) โดยกระจกแต่ละแผ่นจะสะท้อนแสงอาทิตย์ไปรวมกันที่หอคอย ซึ่งมีตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่มีของไหลไหลผ่าน เพื่อพาพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า ของไหลที่ใช้มีทั้งเกลือหลอมละลาย (molten salt) น้ำ และอากาศ ลักษณะทั่วไปของระบบผลิตไฟฟ้าแบบหอคอยแสดงไว้ในรูปที่ 2.17 โรงไฟฟ้าแบบนี้ที่สำคัญมีดังนี้



รูปที่ 2.17 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบหอคอย

1) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Eurelios เป็นโรงไฟฟ้าแบบหอคอยแห่งแรกที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตไฟฟ้าป้อนเข้าสู่เครือข่ายสายส่ง โรงไฟฟ้านี้ตั้งอยู่ที่เมือง Adrano บนเกาะ Sicily ประเทศอิตาลี มีกำลังการผลิต 1.0 MW_e เริ่มใช้งานในปี ค.ศ. 1981 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการผลิตไฟฟ้าระบบหอคอยเพื่อป้อนให้กับระบบสายส่ง และเพื่อประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้างดกล่าวใช้น้ำเป็นตัวพาความร้อนจากตัวรับแสงบนหอคอยมาเป็นกำลังในการผลิตไฟฟ้าและมีถังเก็บสะสมความร้อนระยะสั้น นอกจากนี้ยังมีแผ่นสะท้อนแสง (heliostat) 2 แบบ ซึ่งมีขนาดต่างกัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะกัน โรงไฟฟ้านี้จะเริ่มทำงานเมื่อรังสีตรงมีค่าสูงกว่า 450 W/m² และใช้เวลาในการ start-up 2 ชั่วโมง ตลอดช่วงเวลาที่ทดลองใช้งาน สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 130 MW_eh



รูปที่ 2.18 แสดงภาพโรงไฟฟ้า Eurelios

2) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบหอคอย IEA-SSPS โรงไฟฟ้านี้ตั้งอยู่ที่เดียวกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ IEA-SSPS แบบใช้รางพาราโบลา (parabolic trough) ที่ Almeria ประเทศสเปน เริ่มใช้งานในปี ค.ศ. 1981 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของโรงไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ โรงไฟฟ้างดกล่าวประกอบด้วย 2 วงจร และมีถังเก็บสะสมความร้อน 2 ถัง คล้ายกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis ของฝรั่งเศส โดยวงจรแรกจะใช้โซเดียมเป็นของเหลวพาความร้อน (heat transfer fluid) และวงจรที่ 2 เป็นระบบน้ำ/ไอน้ำ โดยในวงจรแรกโซเดียมจะไหลผ่านตัวรับรังสีบนหอคอย แล้ว

ไหลมาเก็บในถังเก็บสะสมความร้อน จากนั้นวงจรที่ 2 จะนำความร้อนนี้ไปผลิตไอน้ำ สำหรับเป็นต้นกำลังเพื่อผลิตไฟฟ้า โรงงานไฟฟ้าแบบหอคอย IEA-SSPS นี้ออกแบบให้มีกำลังการผลิต 500 kW_e โดยทดสอบใช้งานในช่วงปี ค.ศ. 1981 จนถึง ค.ศ. 1986 ซึ่งได้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 80 MW_eh



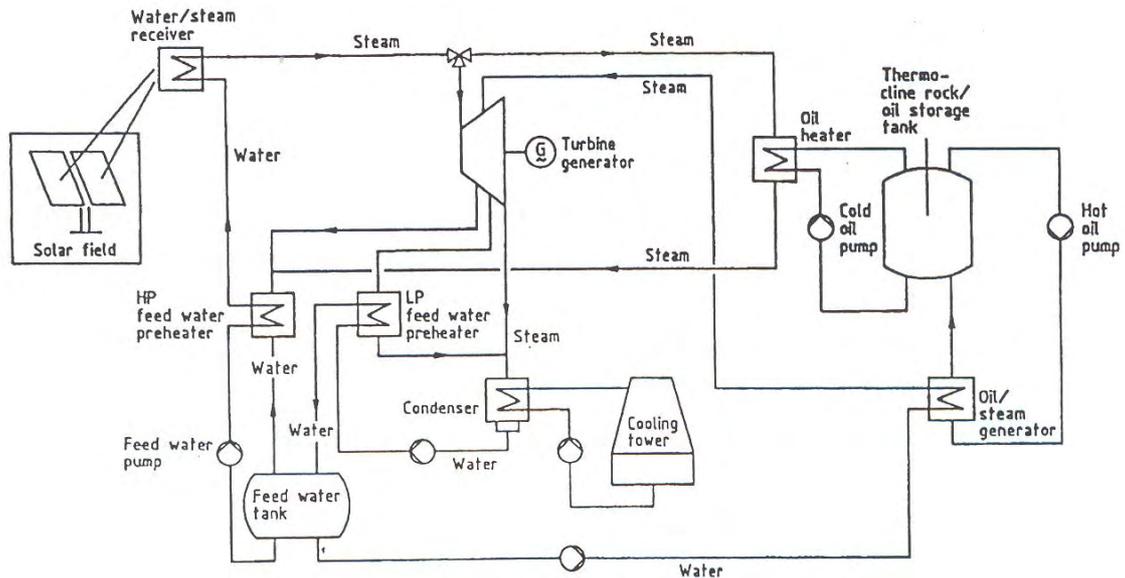
รูปที่ 2.19 แสดงภาพโรงไฟฟ้า IEA-SSPS

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

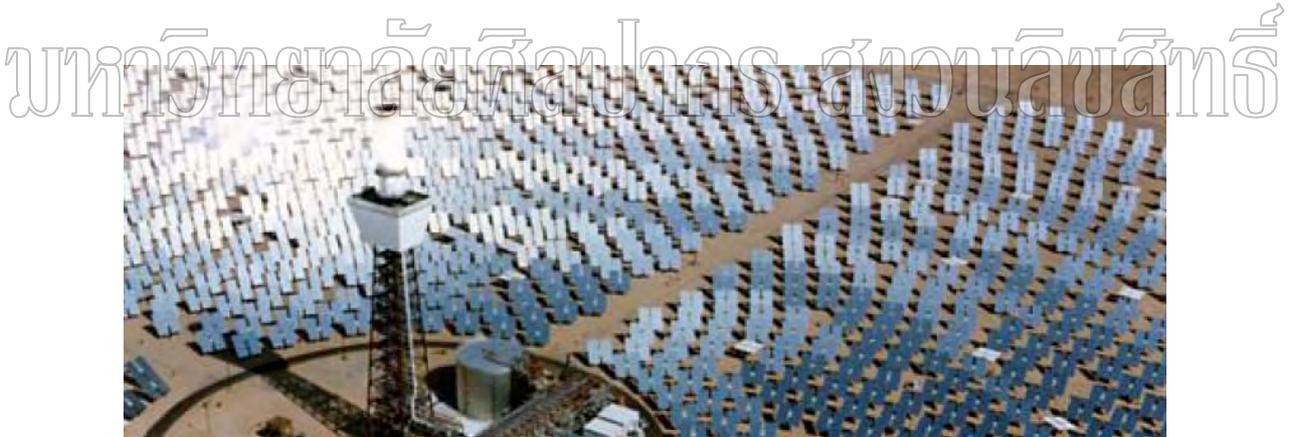
3) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โครงการ Sunshine ของญี่ปุ่น

โครงการนี้ต้องการศึกษาการผลิตไฟฟ้าระบบหอคอย ตั้งอยู่ที่เมือง Nio ประเทศญี่ปุ่น มีกำลังการผลิต 1 MW_e ใช้น้ำเป็นตัวกลางพาความร้อนจากตัวรับแสงบนหอคอย เพื่อทำการขับเคลื่อนระบบผลิตไฟฟ้าแบบกังหันไอน้ำ ปัจจุบันหยุดดำเนินการไปแล้ว

4) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Solar One เป็นโรงไฟฟ้าแบบหอคอยขนาดกำลังผลิต 10 MW_e ตั้งอยู่ที่ทางตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยได้ใช้งานในตั้งแต่ปี ค.ศ. 1982 ถึง 1988 โรงไฟฟ้านี้ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสีบนหอคอยมายังเครื่องยนต์กังหันไอน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีถังเก็บสะสมความร้อน (thermal storage) สำหรับให้พลังงานเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ไม่เพียงพอ โรงไฟฟ้างกล่าวว่ามีพื้นที่ของตัวสะท้อนแสง (heliostat) 71,095 ตารางเมตร แผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้างกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แผนภูมิของโรงไฟฟ้า Solar One ขนาด 10 MW_e (Grass et al., 1991)



รูปที่ 2.21 แสดงภาพโรงไฟฟ้า Solar One

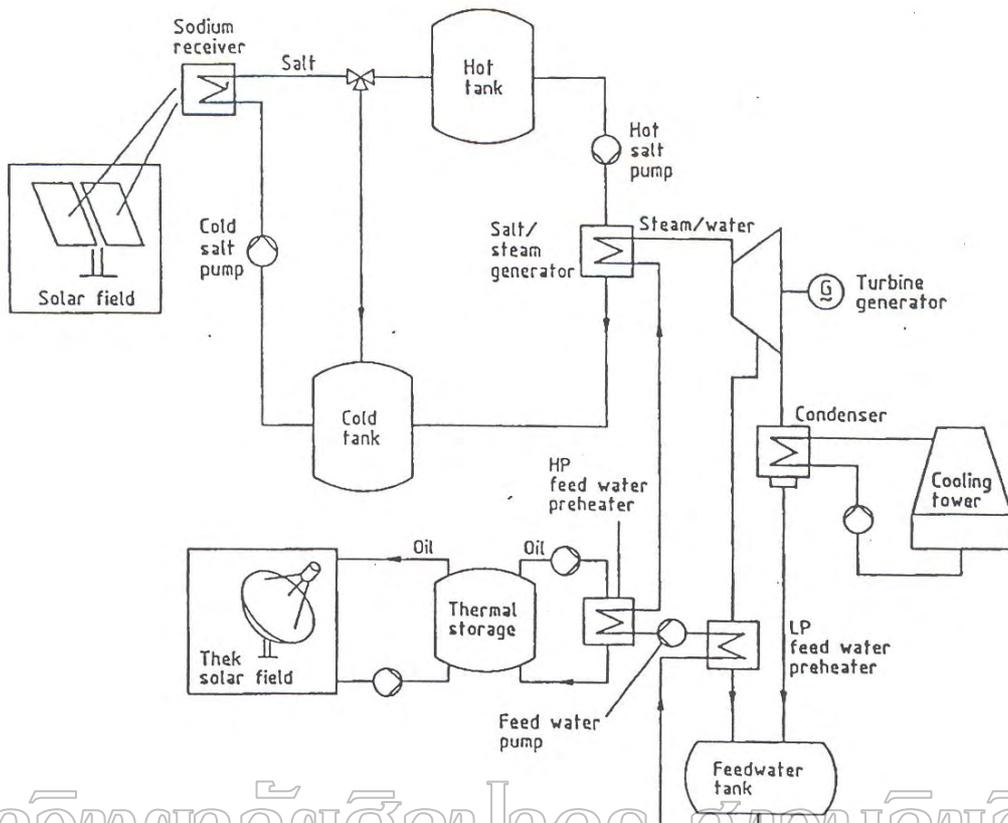
5) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ CESA-1 เป็นโรงไฟฟ้าของกลุ่มประชาคมยุโรป ตั้งอยู่ที่เมือง Almeria ประเทศสเปน มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 1.0 MW_e โรงไฟฟ้านี้ใช้น้ำเป็นของไหลถ่ายเทความร้อน (heat transfer fluid) และมีถังเก็บสะสมความร้อน 2 ถัง โรงไฟฟ้านี้ใช้งานในช่วง ค.ศ. 1983 ถึง 1984 โดยมีการทดลองทำงานใน mode ต่างๆ เช่น การใช้ความร้อนจากตัวรับรังสีบนหอคอย (tower) โดยตรง การใช้ความร้อนจากถังเก็บสะสมความร้อน และการใช้ความร้อนจากตัวรับรังสีบนหอคอย

ร่วมกับความร้อนจากถังเก็บสะสมความร้อน เป็นต้น ไฟฟ้าที่ได้จะถูกป้อนเข้าสู่เครือข่ายสายส่ง โดยในช่วง 2 ปีที่ใช้งานผลิตไฟฟ้าได้ 130 MW_eh



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์
รูปที่ 2.22 แสดงภาพโรงไฟฟ้า CESA-1

6) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis ตั้งอยู่ที่เมือง Targassonne ทางตอนใต้ของประเทศฝรั่งเศส มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 2.0 MW_e เริ่มใช้งานในปี ค.ศ. 1982 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบหอคอยที่ใช้เกลือหลอมละลาย (molten salt) เป็นสารถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสี (receiver) ของหอคอย ลักษณะของแผนภูมิของโรงไฟฟ้า Themis แสดงไว้ในรูปที่ 2.23



มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนลิขสิทธิ์
 รูปที่ 2.23 แผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis (Grass et al., 1991)



รูปที่ 2.24 แสดงภาพโรงไฟฟ้า Themis

ในการทำงาน เกลือหลอมละลาย (molten salt) จะพาความร้อนจากตัวรับรังสี (receiver) บนหอคอยไปเก็บสะสมไว้ในถังจนปริมาณความร้อนเพียงพอจึงจะเริ่มทำการผลิตไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง การผลิตไฟฟ้าจะดำเนินต่อเนื่องจนถึงตอนเย็นจนกระทั่งความร้อนในถังเก็บหมด โรงไฟฟ้านี้ออกแบบให้มีกำลังการผลิต 2.4 MW_e ในช่วงที่ทดลองใช้งานระหว่าง ปี ค.ศ. 1983 ถึง 1986 สามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ยปีละ 650 kW_eh สมรรถนะของโรงไฟฟ้างี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis (Grass et al., 1991)

	Jul-Dec 1983	Jan-Dec 1984	Jan-Dec 1985	Jan-Jun 1986	Total
Plant output (MW _e h)	45.3	573.9	765.9	543.7	1,929

7) โรงไฟฟ้า C3C-5

โรงไฟฟ้า C3C-5 ตั้งอยู่ที่คาบสมุทร Crimea ประเทศสหภาพโซเวียต โดยเริ่มใช้งานในปี ค.ศ. 1985 โรงไฟฟ้างี้มีกำลังการผลิต 5 MW_e ใช้น้ำเป็นตัวกลางพาความร้อนจากตัวรับแสงบนหอคอยมาเป็นพลังงานเพื่อผลิตไอน้ำสำหรับใช้เป็นต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้า ปัจจุบันหยุดดำเนินการไปแล้ว



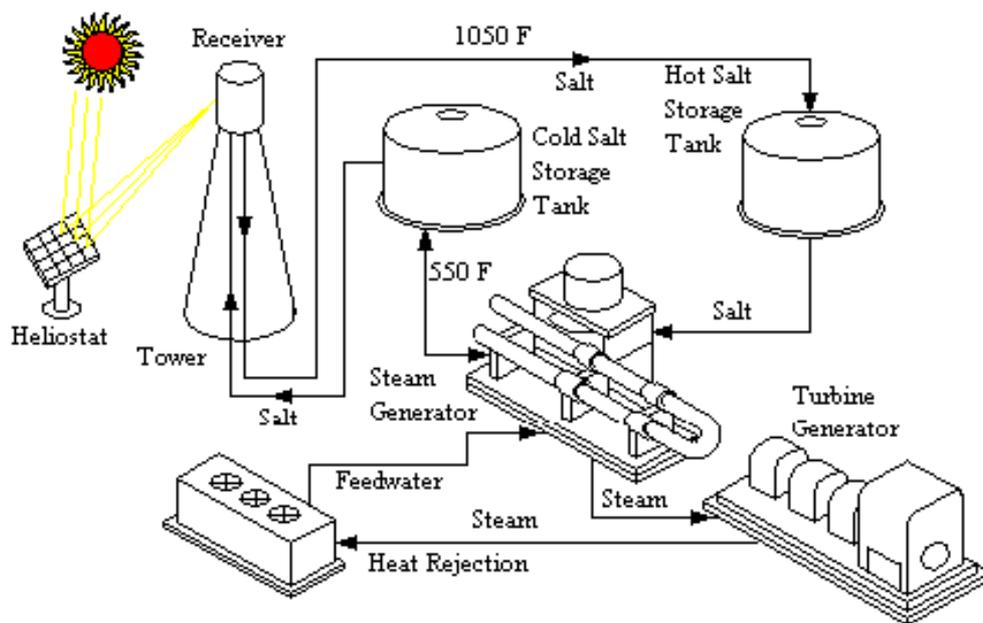
รูปที่ 2.25 แสดงภาพโรงไฟฟ้า C3C-5

8) โรงไฟฟ้า Solar Two

หลังจากที่มีการพัฒนาโรงไฟฟ้า Solar One แล้วได้มีโครงการต่อเนื่อง เพื่อสร้างโรงไฟฟ้า Solar Two กำลังการผลิต 10 MW_e ขึ้นที่ Barstow รัฐแคลิฟอร์เนียในปี 1996 โรงไฟฟ้างกล่าวใช้เกลือไนเตรทหลอมละลาย (molten nitrate salt) เป็นของเหลวพาความร้อน (heat transfer fluid) และตัวกลางในการเก็บสะสมความร้อน โดยจะทำการสูบเกลือหลอมละลายจากถังเก็บขนาด 230,000 แกลลอน ที่อุณหภูมิ 290 °C ผ่านไปยังตัวรับรังสีบนหอคอย ซึ่งจะได้เกลือหลอมละลายที่อุณหภูมิ 565 °C แล้วนำไปเก็บในตัวถัง เพื่อนำไปผลิตไอน้ำสำหรับเดินเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า โรงไฟฟ้างกล่าวใช้เพื่อการวิจัย และใช้งานจนถึงปี ค.ศ. 1999 จึงหยุดดำเนินการ



รูปที่ 2.26 แสดงถังเก็บสะสมความร้อนของโรงไฟฟ้า Solar Two

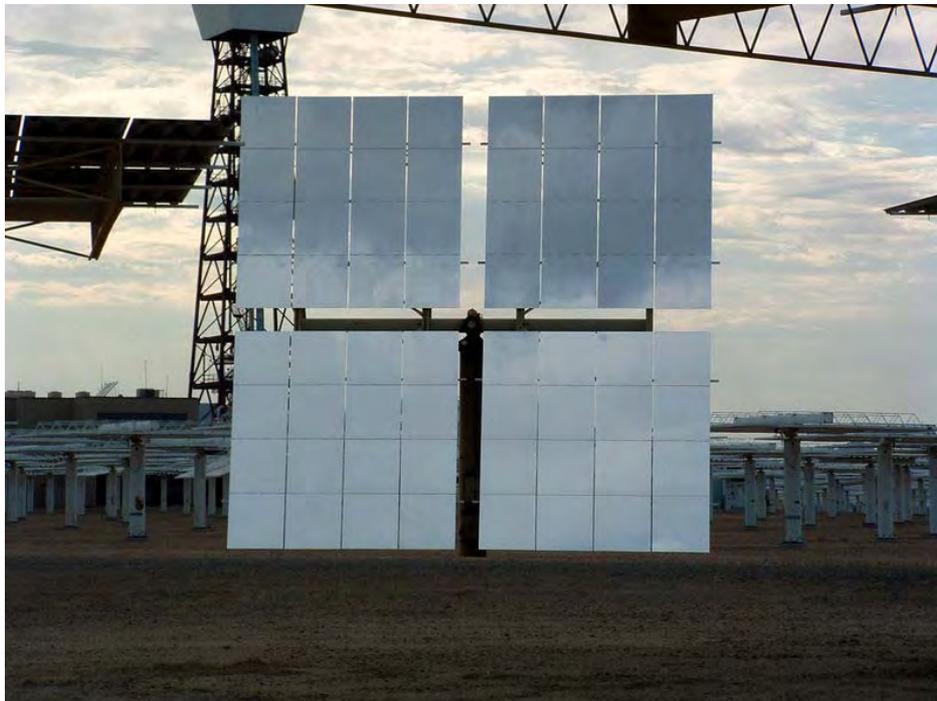


รูปที่ 2.27 แสดงแผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้า Solar Two

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 2.28 แสดงภาพโรงไฟฟ้า Solar Two

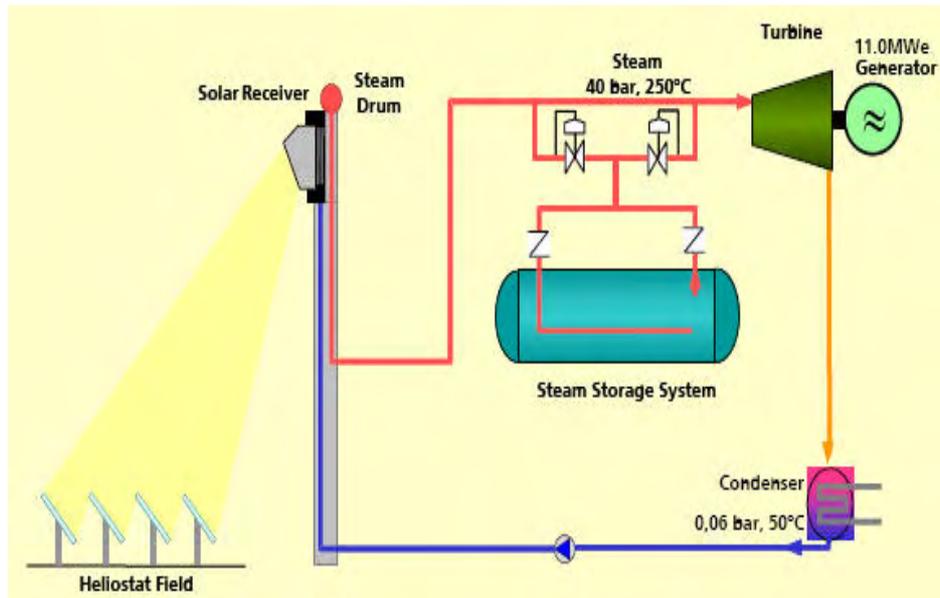


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รูปที่ 2.29 แสดงแผ่นสะท้อนแสงของโรงไฟฟ้า Solar Two

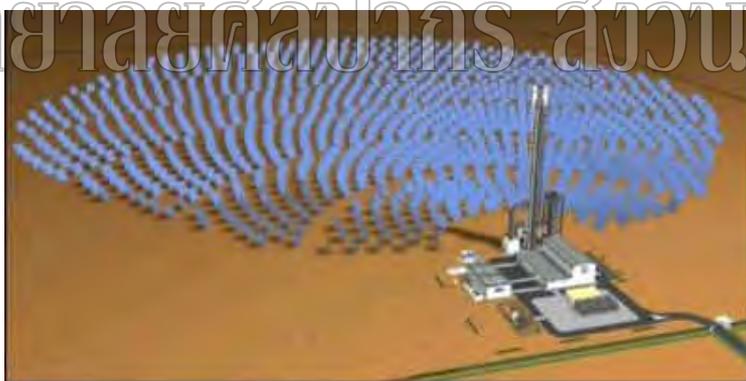
9) ระบบผลิตไฟฟ้า PS 10

โรงไฟฟ้า PS 10 ตั้งอยู่ที่เมือง Seville ประเทศสเปน เริ่มการก่อสร้างเมื่อปี ค.ศ. 2004 มีกำลังการผลิต 11 MW_e สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 23,000 MW_h ต่อปี โรงไฟฟ้านี้ใช้ไอน้ำที่ความดัน 40 bar อุณหภูมิ 250 °C ซึ่งได้จากตัวรับแสงบนหอคอยในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า โดยมีแผ่นสะท้อนแสง (heliostat) จำนวน 624 ชุด และมีถังเก็บความร้อนในรูปไอน้ำอิมตัว ซึ่งสามารถใช้งานได้ 50 นาที แผนภูมิการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดงแผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้า PS 10

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนนิเทศน์



รูปที่ 2.31 แสดงภาพจำลองของโรงไฟฟ้า PS 10



รูปที่ 2.32 แสดงภาพโรงไฟฟ้า PS 10

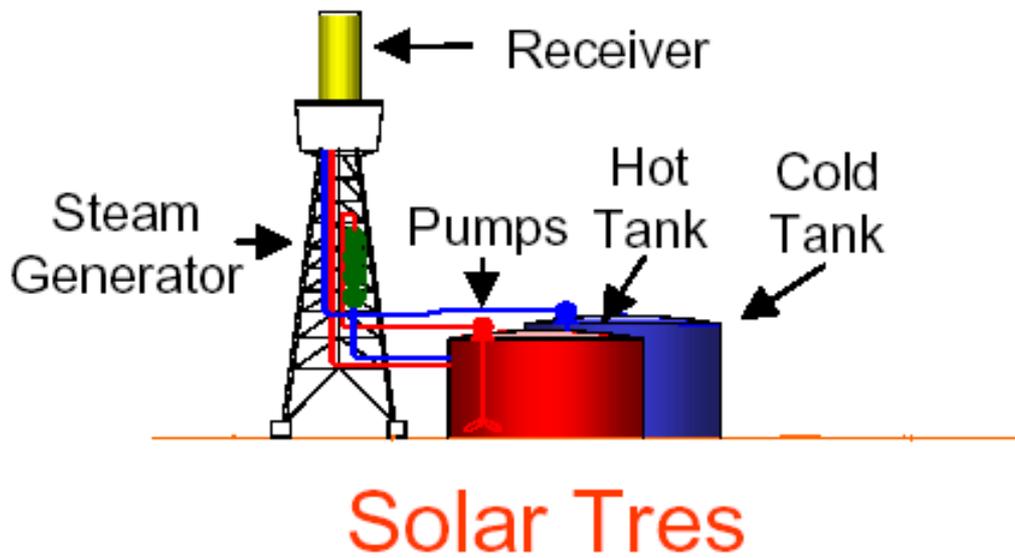


รูปที่ 2.33 แสดงแผ่นสะท้อนแสงสำหรับใช้ติดตั้งในโรงไฟฟ้า PS 10

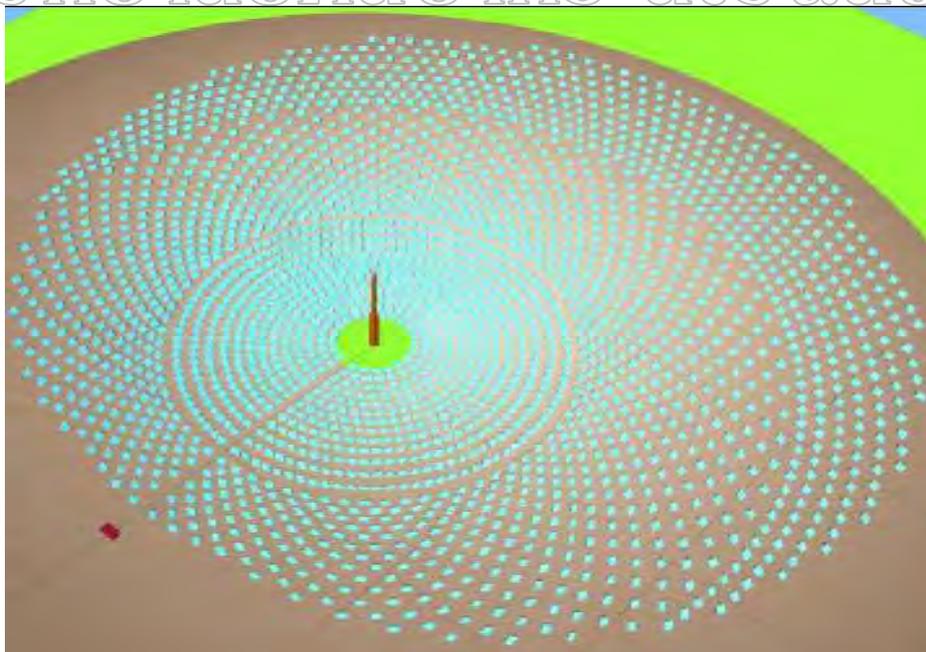
10) โรงไฟฟ้า Solar Tres

โรงไฟฟ้า Solar Tres ตั้งอยู่ที่เมือง Cordoba ประเทศสเปน มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 15 MW ใช้เกลือหลอมละลายเป็นของเหลวพาความร้อนจากตัวรับรังสีบนหอคอย และเป็นตัวกลางในการเก็บสะสมความร้อน เช่นเดียวกับโรงไฟฟ้า Solar Two ถึงเก็บสะสมความร้อนบรรจุเกลือหลอมละลายได้

6,250 MT และเก็บความร้อนไว้ใช้งานได้ 16 ชั่วโมง โรงไฟฟ้านี้ใช้แผ่นสะท้อนแสง 2,493 ชุด ซึ่งรวมพื้นที่ที่ใช้ในการสะท้อนแสงทั้งสิ้น 240,000 ตารางเมตร



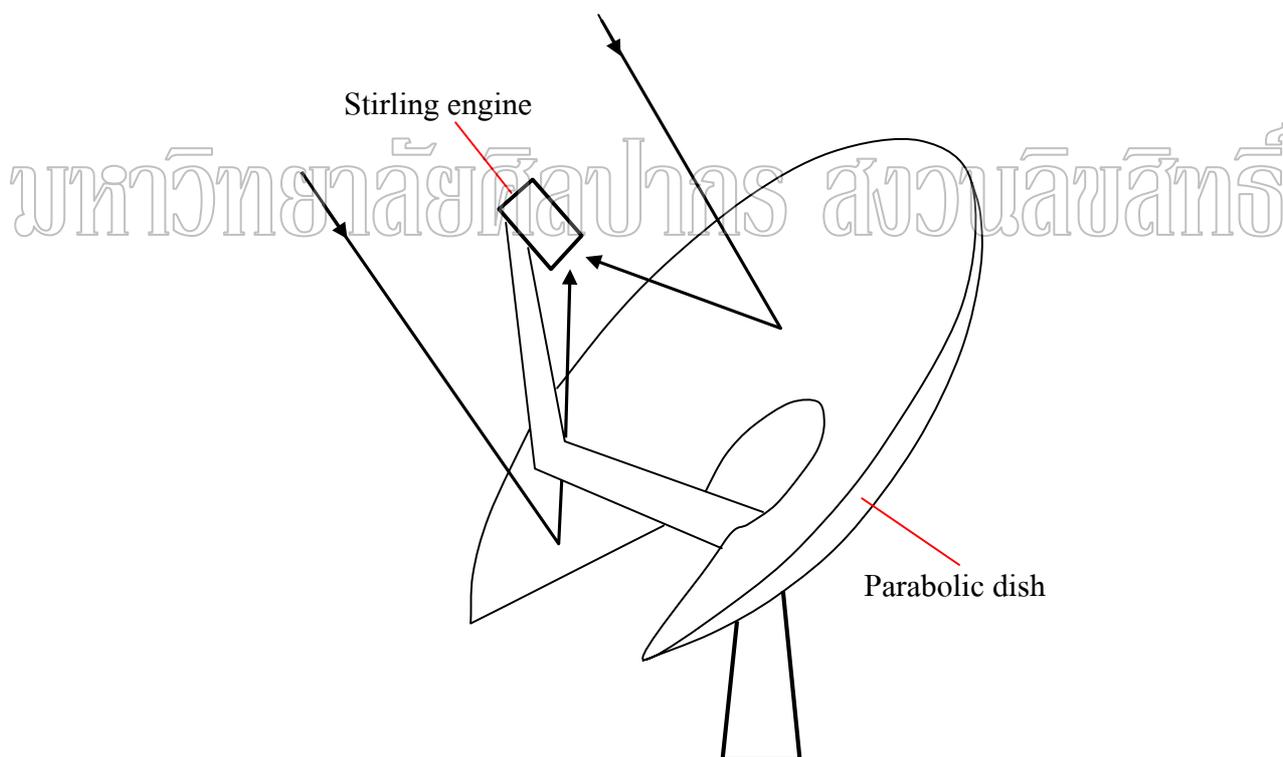
รูปที่ 2.34 แสดงแผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้า Solar Tres



รูปที่ 2.35 แสดงภาพจำลองของโรงไฟฟ้า Solar Tres

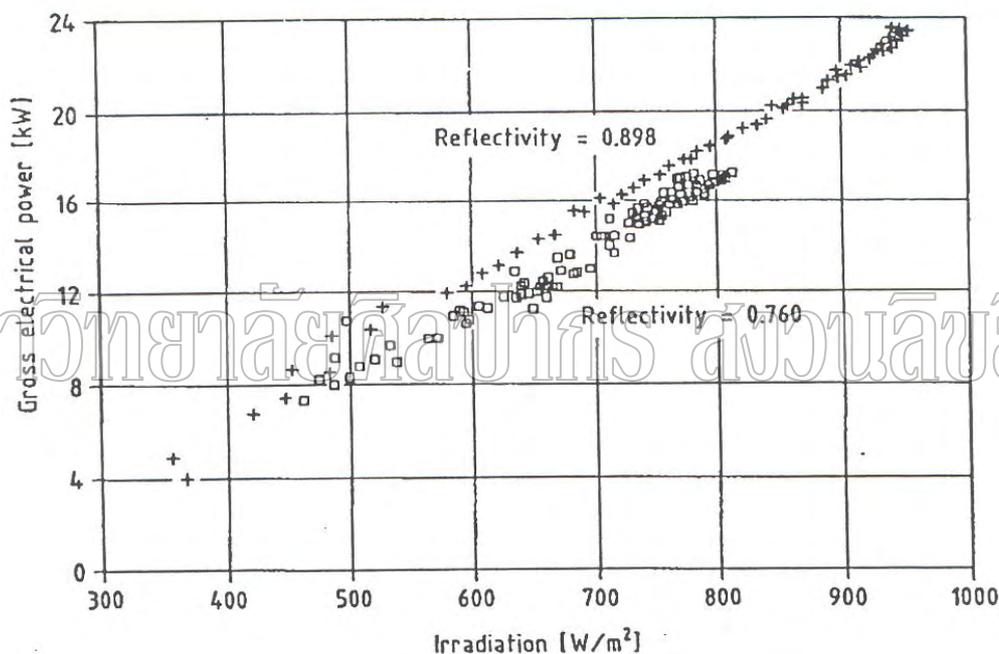
2.3 ระบบจานพาราโบลาร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบนี้จะใช้หลักการแปลงพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ให้เป็นความร้อนแล้วแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกลเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า โดยระบบจะประกอบด้วยจานรวมแสงแบบพาราโบลากับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (stirling engine) กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยตัวรวมแสงแบบจานพาราโบลามีแผ่นสะท้อนเป็นผิวต่อเนื่อง หรือประกอบด้วยแผ่นสะท้อนหลายชิ้นซึ่งประกอบกันเป็นผิวโครงพาราโบลามีเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวางอยู่ที่จุดโฟกัสของจานพาราโบลามีระบบขับเคลื่อนแบบ 2 แกนตามดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน โดยทั่วไประบบจานพาราโบลาร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง 1 ชุด จะมีกำลังการผลิต 25-40 kW_c แต่แต่ละชุดสามารถทำงานโดยอิสระ ถ้าต้องการกำลังไฟฟ้ามาก็ติดตั้งจำนวนหลายชุดคล้ายกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ ตัวอย่างของระบบผลิตไฟฟ้าแบบนี้ มีดังนี้



รูปที่ 2.36 แสดงหลักการทำงานระบบผลิตไฟฟ้าแบบจานพาราโบลาร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

- 1) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Vanguard 1 ระบบผลิตไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ที่เมือง Rancho Mirage รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มใช้งานเมื่อปี ค.ศ. 1984 โดยประกอบด้วยจานพาราโบลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.7 เมตร มีพื้นที่รับแสง 86.7 ตารางเมตร และที่โฟกัสติดตั้งเครื่องยนต์สเตอร์ลิง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้านี้มีกำลังการผลิต 25 kW_c โดยได้ดำเนินการทดสอบใช้งานในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 1984 จนถึงเดือนมิถุนายน ค.ศ. 1985 ผลการทดสอบพบว่า โรงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงถึง 30 % ซึ่งสูงที่สุดในบรรดาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด สมรรถนะของโรงไฟฟ้าดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.37



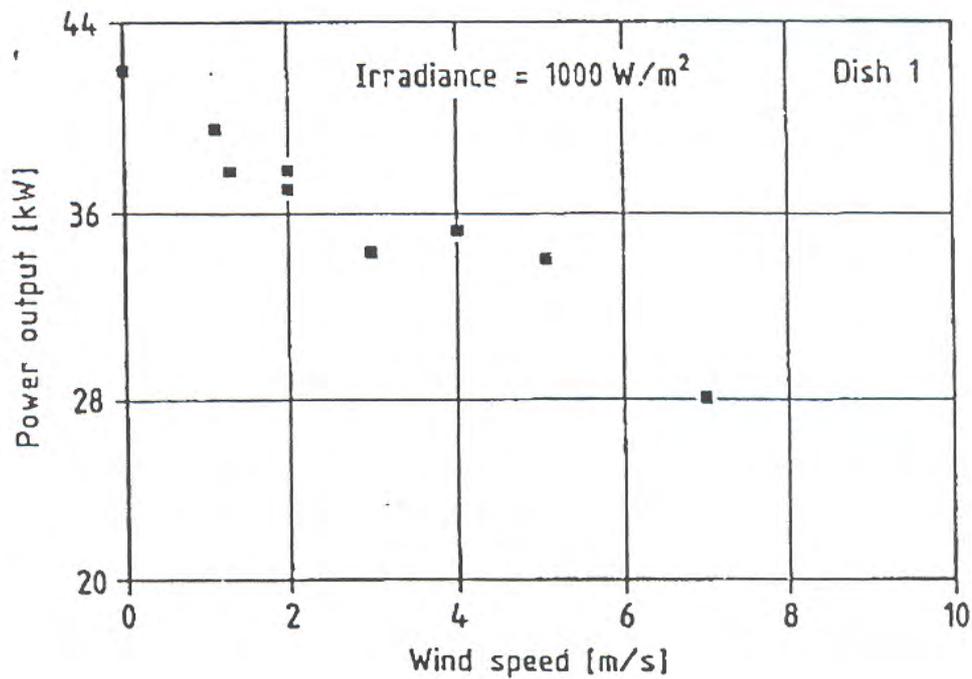
รูปที่ 2.37 สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Vanguard 1 (Grass et al., 1991)

- 2) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ MDAC เป็นระบบที่มีการผลิตในเชิงการค้า โดยมีกำลังการผลิต 25 kW_c ตัวระบบประกอบด้วยจานพาราโบล และเครื่องยนต์สเตอร์ลิง คล้ายกับระบบผลิตไฟฟ้า Vanguard 1 จานพาราโบลมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.5 เมตร และมีพื้นที่รับแสง 91.5 ตารางเมตร

- 3) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ SBP 50 ตั้งอยู่ที่เมือง Riyad ประเทศซาอุดีอาระเบีย ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์เป็นจานพาราโบลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 เมตร และมีพื้นที่รับแสง 227 ตารางเมตร ทำด้วย glass-metal membrane แสงจะถูกสะท้อนไปรวมกันที่โฟกัส ซึ่งเป็นที่ตั้งของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบดังกล่าวมี 2 ชุด (รูปที่ 2.38) โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 50 kW_e สมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.38 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ SBP50



รูปที่ 2.39 แสดงอิทธิพลของความเร็วลมที่มีต่อ power output ของระบบผลิตไฟฟ้า SBP 50

(Grass et al., 1991)

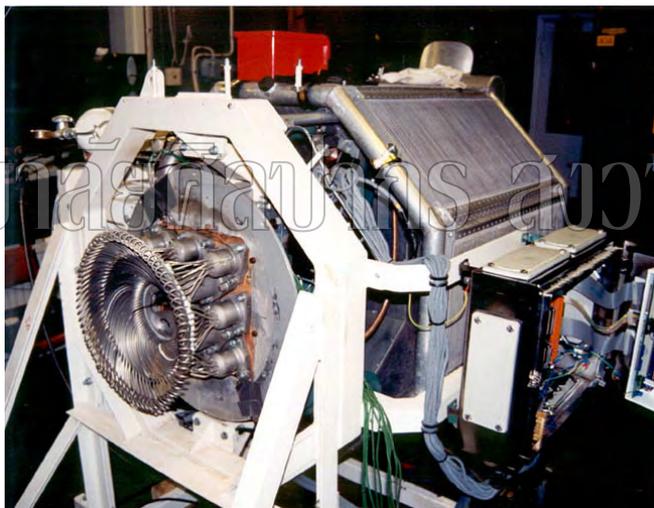
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

- 4) ระบบผลิตไฟฟ้าแบบจานพาราโบล่าที่พัฒนาโดยบริษัท Boeing และ Stirling Energy System (SES)

ระบบผลิตไฟฟ้านี้ จานสะท้อนแสงแต่ละชุดประกอบด้วยแผ่นสะท้อนแสงย่อยๆ 82 แผ่น มีพื้นที่รวมประมาณ 87.7 m² ทำด้วยกระจกหนา 0.7 มม. ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การสะท้อน 0.91 มีระบบควบคุมการหมุนของจานตามดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ ใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง Kockums 4 - 95 แบบ 4 สูบ ทำงานที่อุณหภูมิ 720 °C ระบบดังกล่าวให้กำลังไฟฟ้า 25 kW_c ที่ความเข้มรังสีตรง 1000 W/m² โดยมีประสิทธิภาพสูงสุด 29.4% ลักษณะของระบบแสดงดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งพัฒนาโดย Boeing/SES



รูปที่ 2.41 แสดงภาพเครื่องยนต์สเตอร์ลิง Kockums 4-95

- 5) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลาที่พัฒนาโดยบริษัท Science Application International Corporation (SAIC)

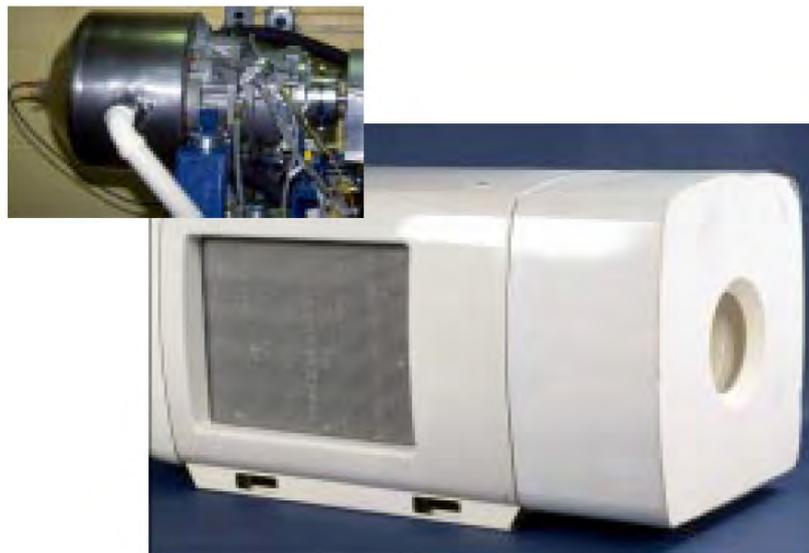
ระบบผลิตไฟฟ้างกล่าวมีจานพาราโบลาที่ประกอบด้วยแผ่นสะท้อนแสงที่ทำด้วยกระจกหลายแผ่นซึ่งเรียงต่อกันเป็นจานพาราโบลาแบบไม่ต่อเนื่อง มีพื้นที่รับแสงรวม 114 ตารางเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เมตร) โดยแต่ละแผ่นจะสะท้อนแสงไปรวมที่จุดโฟกัสของจาน แต่ละระบบมีกำลัง

การผลิตไฟฟ้า 23 kW_e ที่ความเข้มรังสีตรง 1000 W/m² เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ใช้เป็นแบบ STM 4-12 Kinematic มี 4 สูบ ทำงานที่อุณหภูมิ 720 °C และตัวรับรังสีจะทำงานร่วมกับ hybrid burner ซึ่งทำให้สามารถทำงานได้ในช่วงไม่มีแสงอาทิตย์



มหาวิทยาลัยศิลปากร สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์

รูปที่ 2.42 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าแบบจางพาราโบล่า ที่พัฒนาโดยบริษัท STM Corp.



รูปที่ 2.43 แสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิง STM 4-120 Kinematic

6) ระบบผลิตไฟฟ้า Euro dish

หน่วยงาน German – Spanish Consortium ได้ทำการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้า Euro dish ที่ศูนย์วิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ของสหภาพยุโรป เมือง Almaria ประเทศสเปน ระหว่างปี ค.ศ. 1998-2001 ระบบดังกล่าวมีกำลังการผลิต 10 kW_c โดยแต่ละระบบประกอบด้วยจานพาราโบลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เมตร ทำด้วย fiber-glass และเครื่องยนต์สเตอร์ลิง SOLO 161 ระบบนี้มีการนำไปสาธิตใช้งานที่อิตาลีและอินเดียในปี ค.ศ. 2002 ลักษณะของระบบแสดงดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 แสดงระบบผลิตไฟฟ้า Euro dish system



รูปที่ 2.45 แสดงเครื่องยนต์สเตอร์ลิง SOLO 161



รูปที่ 2.46 แสดงระบบผลิตไฟฟ้า Euro dish ในประเทศอินเดีย

7) โรงไฟฟ้าที่ระบบจานพาราโบลาร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ขนาด 1 MW_e ที่รัฐเนวาดา หลังจากที่มีการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าแบบจานพาราโบลาร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ซึ่งมีกำลังการผลิต 10-40 kW_e ในหลายประเทศ ในประเทศสหรัฐอเมริกาจึงได้มีการจัดตั้งโรงไฟฟ้าที่ประกอบด้วยระบบจานพาราโบลาร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรวมหลายชุดในลักษณะของโรงไฟฟ้าซึ่งมีกำลังการผลิตรวม 1 MW_e ที่รัฐเนวาดา ทั้งนี้เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบในการผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ ลักษณะของระบบแสดงดังรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.47 แสดงระบบโรงไฟฟ้าที่ประกอบด้วยระบบผลิตไฟฟ้าแบบจานพาราโบลาร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง 2 ระบบที่ติดตั้งทดสอบการทำงานที่ วิทยาเขตของ University of Nevada Las Vegas