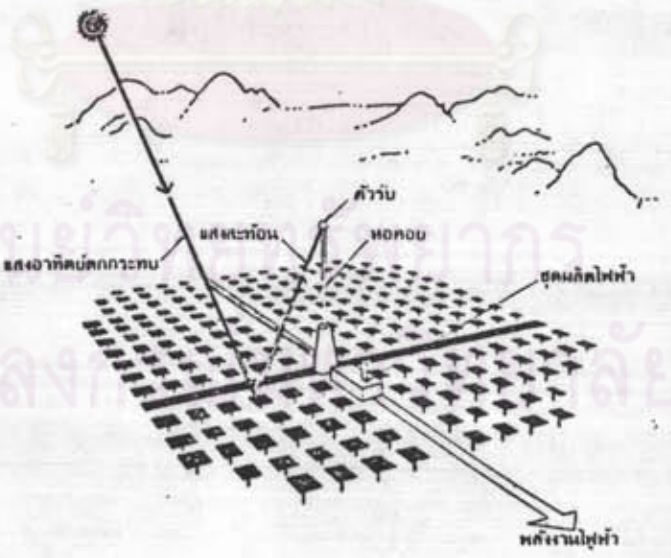
# บทที่ 1

# บทนำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## คำนำ

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในกิจการผลิตไฟฟ้านั้น มีอยู่หลายระบบด้วยกัน สำหรับการผลิตไฟฟ้าในขนาดใหญ่แล้วระบบตัวรับกลาง (Central Receiver System) เป็นระบบหนึ่งที่น่าสนใจคุ้มค่ากับการลงทุนในอนาคตอันใกล้ ระบบนี้ประกอบด้วยกระจกสะท้อนแสงจำนวนมากติดตั้งกระจายอยู่บนพื้นที่ขนาดใหญ่โดยที่กระจกต่างๆ เหล่านี้แต่ละชุดจะยึดอยู่บนโครงซึ่งมีอุปกรณ์หมุนตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลาโดยอัตโนมัติ เรียกว่าฮีลิโอสแตท (Heliostats) แสงที่สะท้อนจากฮีลิโอสแตทแต่ละชุดจะไปรวมกันที่ตัวรับ (Receiver) ซึ่งทำหน้าที่เป็นหม้อน้ำ (Boiler) ผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิ และความดันสูงนำไปขับกังหัน (Turbine) หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ดังรูปที่ 1.1




รูปที่ 1.1 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของโรงไฟฟ้าระบบตัวรับกลาง

จากงานวิจัยและพัฒนาระบบดังกล่าว ส่วนหนึ่งจะเน้นไปที่ฮีลิโอสแตทซึ่งเป็นระบบย่อยที่มีความสำคัญและมีราคาสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระบบย่อยอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1

แสดงการเปรียบเทียบราคาของระบบย่อยต่างๆ ของ

โรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบตัวรับกลางขนาด 60 MWe [20]

| ITEM | Cost ($) | % |
|---|---|---|
| Heliostat Sybsystem @ 75/$m^2$ | 19,702,000 | 35.19 |
| Heat Transfer Subsystem | 9,871,000 | 17.63 |
| Electric Power Generator Subsystem | 14,540,000 | 25.97 |
| Receiver Tower Subsystem | 9,275,000 | 16.57 |
| Balance of Plant | 2,600,000 | 4.64 |
| Total direct cost | 55,988,000 | 100 % |

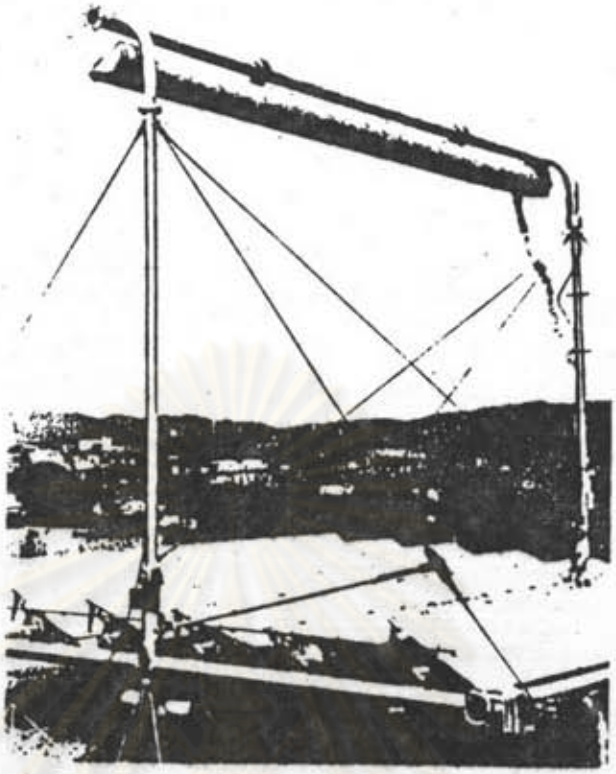
ด้วยเหตุนี้การวิจัยและพัฒนาจะมุ่งไปที่การลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบย่อยฮีลิโอสแตทนี้ อาทิ การพัฒนาอุปกรณ์หมุนตามดวงอาทิตย์ที่ให้ความแม่นยำสูง การเลือกใช้วัสดุสะท้อนแสงที่เหมาะสม จนถึงการลดจำนวนฮีลิโอสแตทที่ใช้ในระบบให้น้อยลง แต่เพิ่มพื้นที่สะท้อนแสงของฮีลิโอสแตทแต่ละชุดให้มากขึ้น ซึ่งช่วยลดปัญหาการควบคุมและราคาอุปกรณ์หมุนตามดวงอาทิตย์ จากผลที่เพิ่มพื้นที่สะท้อนแสงเป็นเหตุให้ได้ขนาดของภาพสะท้อนใหญ่เกินกว่าขนาดของช่องรับแสงของตัวรับ (Aperture of receiver) ซึ่งทำให้สูญเสียพลังงานส่วนที่ตกนอกช่องรับแสงไปเป็นอันมาก ฉะนั้นจำเป็นต้องลดขนาดของภาพสะท้อนให้เล็กลงโดยการใช้กระจกแผ่นราบ (Flated Mirrors) ที่มีขนาดเล็กกว่ามาเรียงประกอบคล้ายกระจกโค้งเพื่อรวมแสงสะท้อนให้มีขนาดเล็กลง กระจกแผ่นราบที่นำมาประกอบเป็นผิวสะท้อนแสงนี้เรียก

ว่ากระจกแผ่นราบประกอบ (Mirror facets) การปรับความเอียงของผิวกระจกแต่ละบานย่อมมีผลต่อทิศทางของรังสีสะท้อนเป็นเหตุให้ขนาดของภาพสะท้อนรวมที่ได้รับมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้จึงได้ศึกษาและทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) เพื่อนำผลที่ได้มาใช้ปรับความเอียงของผิวกระจกแผ่นราบประกอบแต่ละบานที่ทำให้ปริมาณพลังงานที่สะท้อนเข้าสู่ตัวรับได้ค่าเฉลี่ยสูงสุดในรอบปี

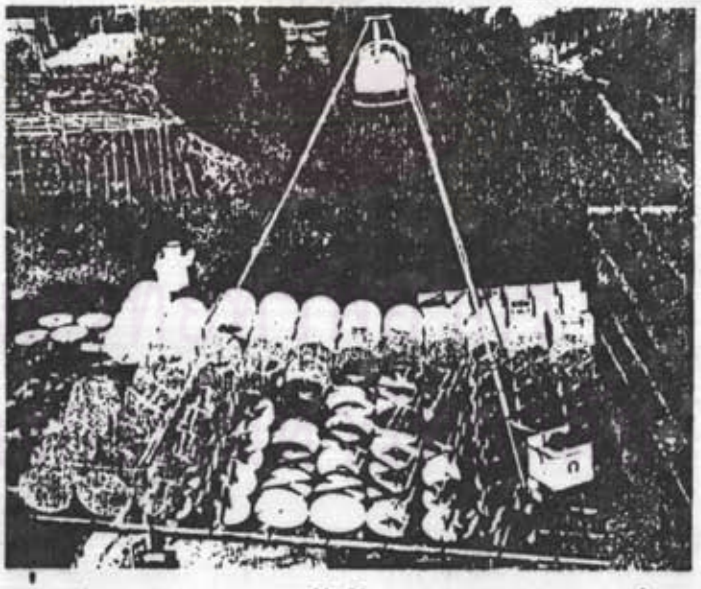
## การสำรวจงานวิจัย

G. Francia., 1968., [9]

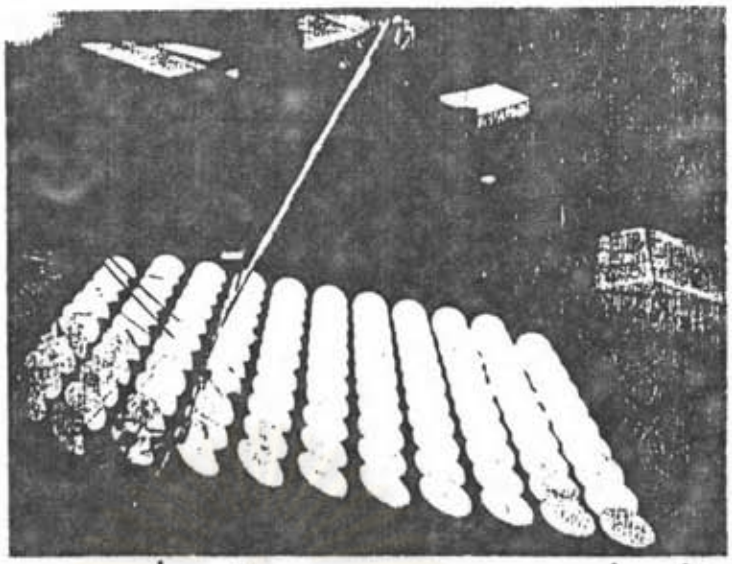
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาต่อจากระบบเดิมซึ่งใช้ตัวรับเป็นแบบเชิงเส้น (Linear boiler) และตัวสะท้อนแสงใช้กระจกแผ่นยาวโค้งเป็นรูปพาราโบลิค (Cylindrical parabolic mirrors) จำนวนมากซึ่งหมุนตามดวงอาทิตย์ด้วยแกนหมุนแกนเดียวทำให้เกิดการสูญเสียส่วนของพลังงานที่สะท้อนออกนอกตัวรับ นอกจากนี้ยังเกิดเงาของตัวรับบนผิวสะท้อนอีกด้วย และสาเหตุที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือความสูงของตัวรับแบบนี้จะมีขนาดสั้นกว่าความยาวของตัวรับทำให้เกิดปัญหาด้านโครงสร้าง และระบบควบคุม ดังรูปที่ 1.2 ด้วยเหตุดังกล่าวในต้นปี 1965 ศาสตราจารย์ G. Francia จึงได้แก้ไขและออกแบบสร้างระบบตัวรับกลางขึ้นเป็นตัวแรกที่ St. Ilario-Nervi, Genoa ประเทศอิตาลี โดยใช้ฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 58 ซม. จำนวน 121 ชุด มีพื้นที่รับแสงรวมประมาณ 30 ตารางเมตร ผลิตไอน้ำได้ประมาณ 19 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 500° ซ. ความดัน 150 บรรยากาศ ได้ประสิทธิภาพประมาณ 70% ที่ความเข้มรังสีตรง 900 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังรูปที่ 1.3 จากการทดลองดังกล่าวมีปัญหา ทั้งด้านฮีลิโอสแตทและตัวรับ อาทิ ปัญหาด้านกลไกการหมุนตามดวงอาทิตย์ อุปกรณ์การถ่ายเทความร้อน และระบบการควบคุมอุณหภูมิของตัวรับ เป็นต้น ฉะนั้นในปี ค.ศ. 1965–1966 ศาสตราจารย์ G. Francia ได้ออกแบบฮีลิโอสแตทและตัวรับใหม่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยใช้กระจกกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 74 ซม. จำนวน 121 ชุดได้พื้นที่รับแสงรวมประมาณ 52 ตารางเมตร สามารถผลิตไอน้ำได้ประมาณ 38 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความดัน 150 บรรยากาศ ได้อุณหภูมิ 500° ซ. ดังรูป



รูปที่ 1.2 แสดงส่วนประกอบของระบบตัวรับกลางแบบรวมแสงเป็นเส้นซึ่งเป็นแบบแรกที่ G. Francia ได้สร้างและทดลองในปี ค.ศ. 1964



รูปที่ 1.3 แสดงส่วนประกอบของระบบตัวรับกลางแบบรวมแสงเป็นจุดซึ่งเป็นแบบแรกที่ออกแบบโดย G. Francia ในปี ค.ศ. 1965

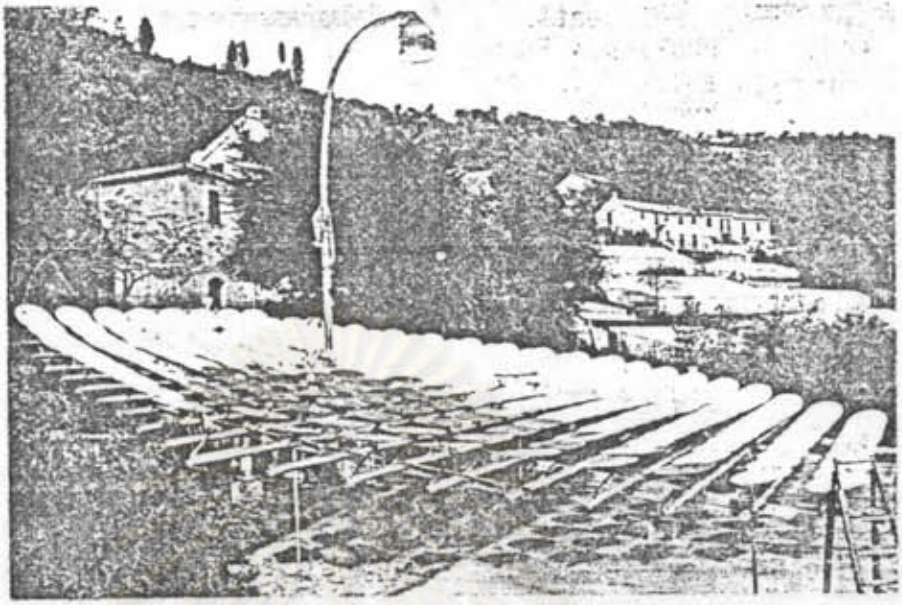


รูปที่ 1.4 แสดงลักษณะทั่ว ๆ ไปของระบบตัวรับกลางแบบที่ 2 ซึ่งได้ออกแบบและปรับปรุงโดย G. Francia ในปี ค.ศ. 1965–1966

ที่ 1.4 จากผลการทดลองที่ผ่านมาทำให้ศาสตราจารย์ G. Francia เริ่มแผนงานที่จะสร้างระบบตัวรับกลางในขนาดใหญ่เพื่อนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ ดังนั้นปี ค.ศ. 1966 ถึง 1967 ศาสตราจารย์ G. Francia ได้ออกแบบสร้างและทดสอบระบบตัวรับกลางที่ St. Ilario ประเทศอิตาลี ในขนาด 100 กิโลวัตต์ความร้อน ประกอบด้วยฮีลิโอสแตท 271 ชุด ใช้กระจกแผ่นราบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 ซม. มีพื้นที่รับแสงมากกว่า 200 ตารางเมตร ผลิตไอน้ำได้ประมาณ 150 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 600° ซ. ความดัน 150 บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 1.5 ซึ่งต่อมาได้ใช้ทดสอบตัวรับขนาดย่อส่วนของโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบตัวรับกลางในขนาด 1 เมกกะวัตต์ของสมาคมเศรษฐกิจร่วมยุโรป (EEC) โดยได้เปลี่ยนจำนวนฮีลิโอสแตทเหลือ 150 ชุด แต่ละชุดใช้กระจกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.1 เมตร ได้อุณหภูมิ 540° ซ. ที่ความดัน 100 บรรยากาศ

Smith and Hildebrandt, 1979 [10]

ปี ค.ศ. 1970 ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์แห่งฝรั่งเศส (CNRS) ได้ร่วมมือกับสถาบันค้นคว้าวิจัยและพัฒนาพลังงาน (ERDA) ของสหรัฐอเมริกาออกแบบสร้างระบบตัวรับกลาง

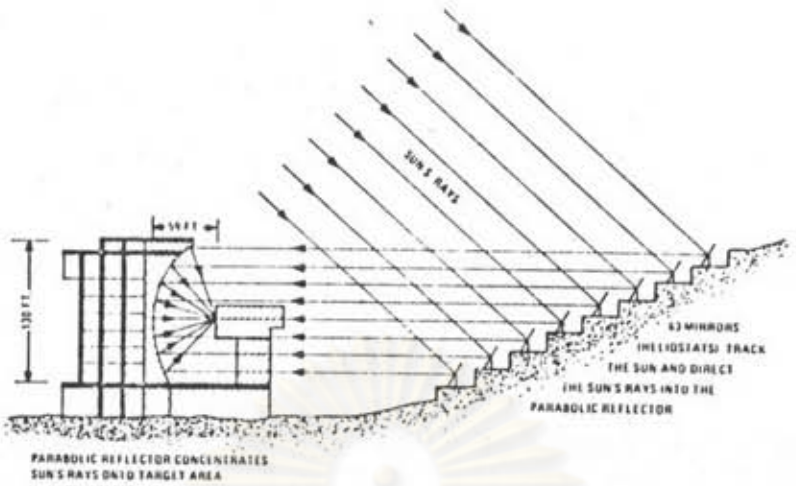


รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะของระบบตัวรับกลางแบบที่ 3 ของศาสตราจารย์ G. Francia ซึ่งได้สร้างและทดสอบในปี ค.ศ. 1966–1967

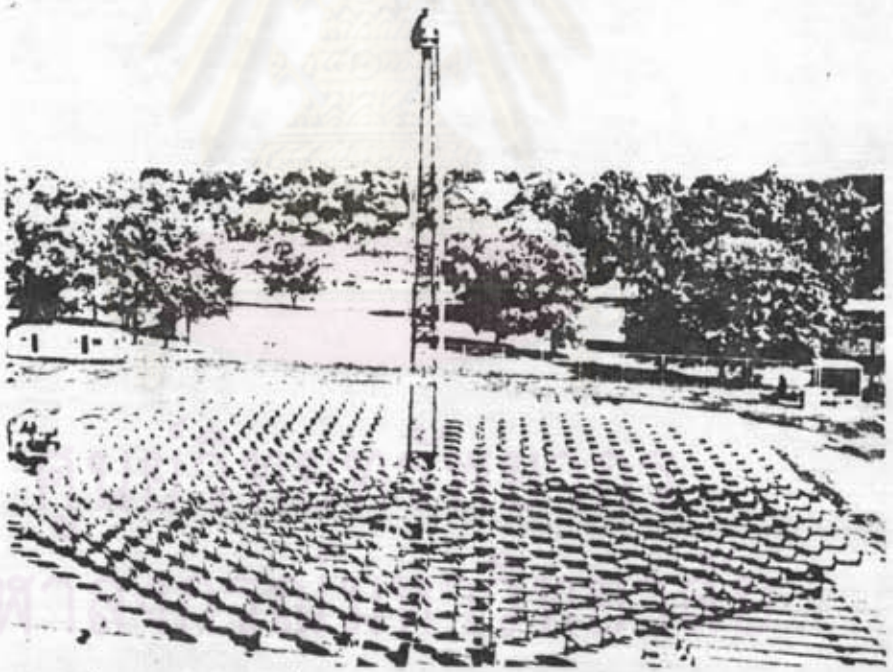
เพื่อใช้เป็นเตาหลอมโลหะในขนาด 1,000 กิโลวัตต์ความร้อน ที่ Odeillo, Font-Romeu ประเทศฝรั่งเศส ใช้อีลีโอสแตทชนิดแผ่นราบประกอบขนาด 6 x 7.5 เมตร จำนวน 63 ชุด มีพื้นที่สะท้อนแสงรวม 2,835 ตารางเมตรให้อุณหภูมิสูงถึง 3,800° ซ. ดังแสดงในรูปที่ 1.6

H.L. Teague, et al., 1979, [11]

ปี ค.ศ. 1976 ศาสตราจารย์ G. Francia ได้ออกแบบระบบตัวรับกลางขนาด 400 กิโลวัตต์ความร้อน ได้สร้างและทดสอบที่ Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia ประเทศสหรัฐอเมริกา ประกอบด้วยอีลีโอสแตทชนิดแผ่นราบเดี่ยว จำนวน 550 ชุด ซึ่งใช้กระจกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 110 ซม. มีพื้นที่รับแสงรวม 532 ตารางเมตร ผลิตไอน้ำได้ประมาณ 365 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความดัน 150 บรรยากาศ อุณหภูมิ 600° ซ. ดังรูปที่ 1.7



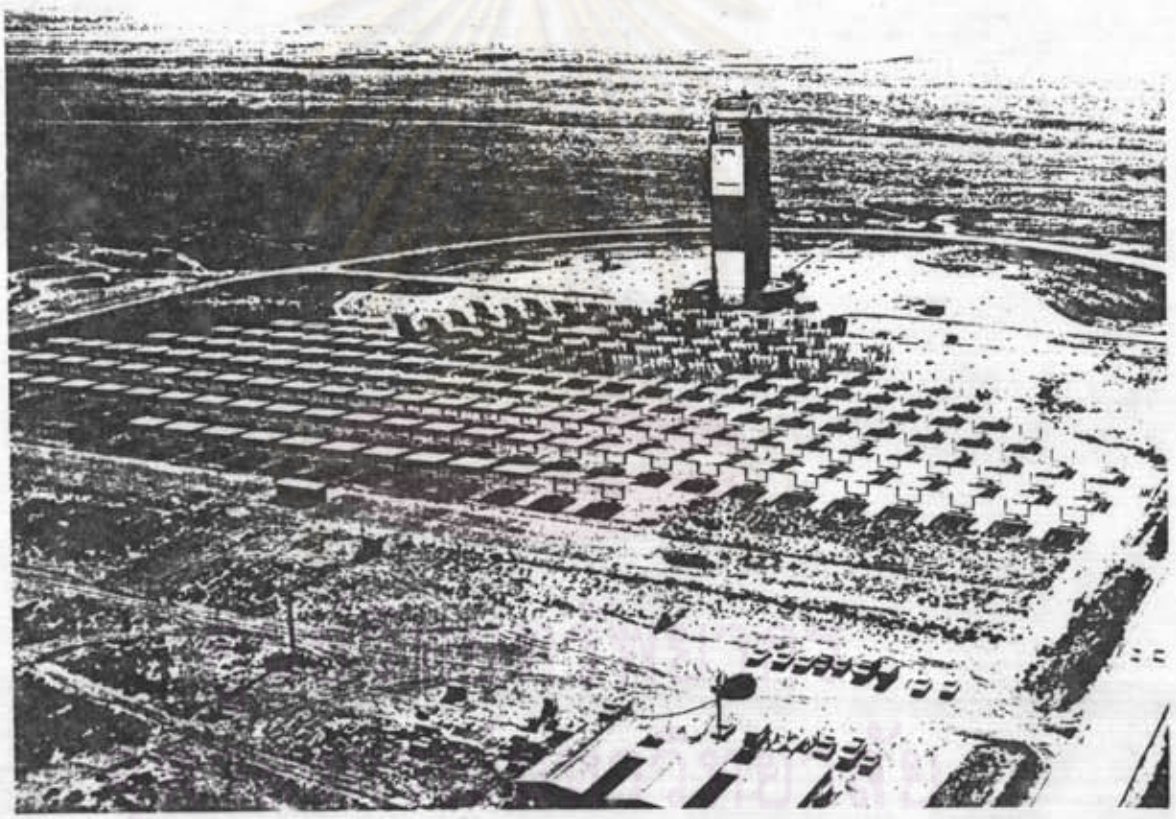

รูปที่ 1.6 แสดงระบบตัวรับกลางที่ใช้เป็นเตาหลอมโลหะสามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 3,800°ซ.



รูปที่ 1.7 แสดงส่วนประกอบของระบบตัวรับกลางขนาด 400 กิโลวัตต์ความร้อน ติดตั้งที่ Georgia สหรัฐอเมริกา

Smith and Hildebrandt, 1979 , [10]

ปี ค.ศ. 1977 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ดำเนินการออกแบบและสร้างระบบตัวรับกลางขนาด 5,000 กิโลวัตต์ความร้อน ที่ Sandia Laboratories, Albuquerque, New Mexico ประกอบด้วยฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นราบประกอบ จำนวน 222 ชุด แต่ละชุดมีพื้นที่รับแสงขนาด 6 x 6 เมตร รวมพื้นที่รับแสง 8,257 ตารางเมตร ตัวหอรับแสงสูง 61 เมตร ระบบดังกล่าวสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นศูนย์กลางการวิจัยค้นคว้าและทดสอบอุปกรณ์เกี่ยวกับงานด้านแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1.8 แสดงส่วนประกอบของระบบตัวรับกลางขนาด 5,000 กิโลวัตต์ความร้อน ซึ่งใช้เป็นศูนย์กลางการวิจัยและทดสอบอุปกรณ์ทางด้านแสงอาทิตย์

นับจากปี ค.ศ. 1977 เป็นต้นมา ได้มีหลายประเทศให้ความสนใจการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ระบบตัวรับกลางโดยได้ร่วมกันจัดตั้งโครงการวิจัยและพัฒนาระบบดังกล่าวให้สามารถนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ อาทิ กลุ่มสมาคมเศรษฐกิจร่วมยุโรป (EEC) ประเทศอิตาลี, ประเทศสหรัฐอเมริกา, ฝรั่งเศส, สเปญ และ ญี่ปุ่น เป็นต้น ดังรายละเอียดในตารางที่ 1.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.2

แสดงโครงการวิจัยและพัฒนาโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบตัวรับกลางของประเทศต่าง ๆ (12,13,14)

| Name/Place | Financing design/ construction | Peak capacity | Hel.field/ Opt.tamp. | Thermal vector slorage & size | Year Opt. |
|---|---|---|---|---|---|
| Eurelios<br>Adrano (Sicily)<br>Italy | EBC - IMI<br>AMN - ENEL<br>Cethel - MBB | 1 MWe | 112 Hel. x 23 $m^2$<br>70 Hel. x 51.8 $m^2$<br>510°C | Steam/150°C<br>0.5 Hr.<br>Molten Salts & P.$H_2O$ | May<br>1981 |
| THEMIS - 1<br>Targasonne<br>France | CNRS<br>Cethel - EDF | 2.5 MWe | 201 Hel. x 45 $m^2$<br>450°C | Molten Salts 430°C<br>6 Hrs<br>Molten Salts | 1983 |
| Barstow<br>U.S.A. | DOE<br>Mc.Donnel Douglas<br>S.Calif. Edison | 10 MWe | 1818 Hel. x 40 $m^2$<br>516°C | Steam/510°C<br>3 Hrs.<br>Oil | 1982 |
| SSPS<br>Almeria<br>Spain | I.E.A.,Interatom<br>Martin Marietta<br>D.F.V.L.R. | 0.5 MWe | 93 Hel. x 40 $m^2$<br>530°C | Sodium/520°C<br>3 Hrs.<br>Sodium | September<br>1981 |
| C.R.T.<br>Nio Town<br>Kagawa-Shikoku | Sunshine Project<br>Mitsubishi | 1 MWe | 807 Hel. x 16 $m^2$<br>250°C | Steam/249°C<br>3 Hrs.<br>Water | 1982 |
| CESA - 1<br>Almeria<br>Spain | CESA - 1<br>Spanish<br>Consortium | 1.2 MWe | 275 Hel. x 36 $m^2$<br>525°C | Molt. Salts/520°C<br>3 Hrs.<br>Molt. Salts | 1983 |

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาตัวประกอบต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อลักษณะของภาพสะท้อนที่ปรากฏบนระนาบช่องรับแสงของตัวรับ

2. เพื่อหาวิธีปรับความเอียงของกระจกแผ่นราบประกอบซึ่งทำให้ปริมาณพลังงานที่สะท้อนออกจากกระจกแต่ละบานไปรวมกันที่ตัวรับได้มากที่สุด

3. เพื่อหาลักษณะการแจกแจงความเข้มรวมที่เกิดจากการปรับกระจกแผ่นราบประกอบแต่ละบานที่ปรากฏบนระนาบช่องรับแสงและคำนวณหาปริมาณพลังงานทั้งหมดที่เข้าสู่ตัวรับ

4. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่เข้าสู่ตัวรับเมื่อใช้ฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นราบประกอบที่ปรับความเอียงของผิวสะท้อนแล้วกับฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นราบเดี่ยว

ขอบเขตของการวิจัย

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาและจำลองแบบฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นราบประกอบ อันเป็นระบบย่อยระบบหนึ่งของโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบตัวรับกลาง ซึ่งจะรวมถึงเทคนิคการออกแบบกลไกหมุนตามดวงอาทิตย์ การออกแบบโครงยึดกระจกแผ่นราบประกอบ, เทคนิคการควบคุมและแก้ไขความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์หมุนตามดวงอาทิตย์, การจัดตำแหน่งที่ตั้งของฮีลิโอสแตทแต่ละชุดเพื่อไม่ให้เกิดการเงาและการบังกันในขณะใช้งาน ตลอดจนถึงวิธีการปรับความเอียงของผิวกระจกแผ่นราบประกอบแต่ละบาน

งานศึกษาระบบย่อยของฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นาบประกอบนี้มีอยู่หลายวิธีการ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเน้นศึกษาเฉพาะวิธีการปรับความเอียงของผิวกระจกแผ่นราบประกอบแต่ละบานและผลจากการปรับความเอียงของผิวสะท้อนแสงดังกล่าวจะให้ค่าการแจกแจงความเข้มและค่าพลังงานที่เข้าสู่ตัวรับเป็นอย่างไร เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการใช้กระจกแผ่นราบเดี่ยว ซึ่งมีขนาดของช่องรับแสงเท่ากัน

การหาค่าต่าง ๆ ดังกล่าวได้จัดทำเป็นแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตของการวิจัยดังกล่าวโดยมีข้อสมมติฐานดังนี้ .-

1. ฮีลิโอสแตทที่ใช้ในการวิจัยนี้จะใช้กระจกแผ่นราบประกอบจำนวน 16 บาน แต่ละบานจะมีขนาดเท่ากันหมด โดยทุกบานจะมีผิวสะท้อนที่เรียบสม่ำเสมอ

2. ไม่คิดความคลาดเคลื่อนในการหมุนตามดวงอาทิตย์ เนื่องจากระบบกลไกการหมุนตามและความยืดหยุ่น (Flexible) ของโครงยึดแผ่นสะท้อนแสง ตลอดจนผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

3. ระบบการหมุนตามดวงอาทิตย์ (Sun-following) ในการจัดทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นี้จะใช้ระบบการเคลื่อนตามแบบ Altazimuth Mounting เป็นหลัก

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในระบบตัวรับกลาง

2. ศึกษาตัวประกอบต่าง ๆ ที่มีผลโดยตรงต่อลักษณะของภาพสะท้อนที่ปรากฏบนระนาบช่องรับแสงของตัวรับ

3. ศึกษาและหาสมการต่าง ๆ โดยเปลี่ยนค่าตัวประกอบต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปของสมการเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ

4. ออกแบบทางทฤษฎีของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) เพื่อหาวิธีการปรับความเอียงของกระจกแผ่นราบประกอบ ลักษณะการกระจายความเข้มของรังสีบนระนาบช่องรับแสง และค่าปริมาณพลังงานทั้งหมดที่เข้าสู่ตัวรับ

5. เปรียบเทียบปริมาณพลังงานทั้งหมดที่เข้าสู่ตัวรับของฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นราบประกอบที่ปรับค่าความเอียงแล้วกับฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นราบเดี่ยว

6. สรุปผลวิจัยและเสนอแนะ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการวิจัย

1. แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาค่ารัศมีความโค้งของผิวสะท้อนแสงซึ่งใช้กับฮีลิโอสแตทชนิดกระจกแผ่นราบประกอบที่ติดตั้งอยู่ ณ

ตำแหน่งใด ๆ ในสนามได้

2. โปรแกรมหาปริมาณพลังงานรวม และค่าการกระจายของความเข้มรังสีดวง-อาทิตย์ที่ปรากฏบนระนาบช่องรับแสงของตัวรับนี้เป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบตัวรับกลางต่อไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของฮีลิโอสแตทและตัวรับ

3. เป็นแนวทางในการส่งเสริมความรู้ทางเทคโนโลยีด้านพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนหลักในอนาคต.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย