

การศึกษาและจำลองแบบ
สีลีโอสแทซนิคกร ระกณนราบปร กอบ



นายพินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2527

009819

I1667235X

A STUDY AND SIMULATION
OF HELIOSTATS WITH MIRROR FACETS TYPE



Mr. Pinij Siripuekpong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1984

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและจำลองแบบฮิลีไอสแตกชนิดกระจัดแผ่รวมประกอบ
 โดย นายพนิจ ศิริพฤกษ์พงษ์
 ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
 อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
 ของการศึกษาคำหลักสูตรปริญาหมาบัณฑิต

Manich Thongprasert
 คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย
 (รองศาสตราจารย์ ดร. สุประสิทธิ์ บุนนาค)

คณะกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์

Manich Thongprasert
 ประธานกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวี เลิศปัญญาวิทย์)

Manich Thongprasert
 กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)

Manich Thongprasert
 กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

Manich Thongprasert
 กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. สมศรี จรุงเรือง)

Manich Thongprasert
 กรรมการ
 (ดร. กมล วรรณบุตร)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาและจำลองแบบฮีสทีโอสแตทนิคกระเจกแผ่นราบประกอบ
ชื่อนิสิต	นายพินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2526

บทคัดย่อ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอการศึกษาคุณลักษณะของภาพสะท้อนและค่าการแจกแจงความเข้มของรังสีที่เกิดจากฮีสทีโอสแตทแบบรวมแสงและไม่รวมแสง ฮีสทีโอสแตทแต่ละชุดประกอบด้วยแผ่นกระเจกสะท้อนแสงจำนวน 16 บาน ยึดติดอยู่บนโครงสะท้อนแสงซึ่งสามารถเคลื่อนที่ตามกวางอาทิตย์ได้ ฉะนั้นแผ่นกระเจกเหล่านี้จะมีผลโดยตรงกับลักษณะของรังสีสะท้อนที่ตกบนตัวรับที่ติดบนหอรับแสง

ในบทค้น ๆ ของวิทยานิพนธ์นี้ได้กล่าวถึงวิธีการจัดรูปทรงของผิวสะท้อนแสงที่ใช้กับฮีสทีโอสแตทโดยที่แผ่นกระเจกแต่ละบานเมื่อปรับตามค่ามุมฤดูกาลและเวลาที่กำหนดแล้วจะให้ปริมาณพลังงานที่เข้าสู่ตัวรับมีค่าสูงสุดในรอบปี

ต่อมาได้จัดทำโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมย่อยชนิดซิปรูทีน 11 โปรแกรม และโปรแกรมหลัก 3 โปรแกรม โปรแกรมต่าง ๆ จะอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการคำนวณหาค่าส่วนโค้งที่เหมาะสมของผิวสะท้อนแสง, มุมรังสีตกกระทบ, ปริมาณพลังงานที่สะท้อนและค่าการแจกแจงความเข้มของรังสีบนระนาบของตัวรับ จากนั้นได้ทำการคำนวณและเปรียบเทียบผลที่เกิดจากฮีสทีโอสแตททั้งสองแบบ พบว่าการใช้ฮีสทีโอสแตทแบบรวมแสงจะให้ค่าปริมาณพลังงานที่เข้าสู่ตัวรับ และค่าความเข้มของรังสีสูงสุดมากกว่าแบบไม่รวมแสงประมาณ 2.3 เท่า และ 10 เท่า ตามลำดับ

from the focusing type is about 2.3 time and 10 time higher than the other type respectively.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ก็เพราะความกรุณา เป็นอย่างสูงของอาจารย์ที่ปรึกษา
ที่ได้ให้คำแนะนำ และเป็นที่ยปรึกษาแก่ผู้เขียนมาโดยตลอดในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้
การตรวจทานแก้ไข จึงทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ ซึ่งทำให้ผู้เขียนมีความรู้สึกซาบซึ้ง
ในพระคุณของท่านที่มีต่อผู้เขียน และเมื่อถึงโอกาสอันควรนี้ ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณรอง
ศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษามา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ผู้เขียนต้องขอขอบคุณ นายธีร์ เวชชการวัฒน์ ดร.กมล ทรรกบุตร
โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายชาย ชีวะเกตุ หัวหน้ากองพลังงานพิเศษ ฝ่ายวิทยาการพลังงาน
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์ในส่วนเอกสารและข้อมูล
เกี่ยวกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มา ณ โอกาสนี้ด้วย

พินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์

ศูนย์วิทยพัทธยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตารางประกอบ	ฅ
สารบัญรูปประกอบ	ญ
รายการสัญลักษณ์	ท
 บทที่	
1. บทนำ	1
2. การศึกษาระบบการบอกตำแหน่ง	14
3. การดำเนินการวิจัย	28
4. การจัดทำโปรแกรมและผลการวิจัย	49
5. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ	76
 เอกสารอ้างอิง	 84
 ภาคผนวก	
ก. การหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์	87
ข. วิธีการแมปปิง (Mapping)	89
ค. ระบบการหมุนตามดวงอาทิตย์	90
ง. การหาสมการพาราโบลอยคในเทอมของมุมรังสีตกกระทบ	93
จ. สมการหาขนาดของภาพสะท้อนที่เกิดจากกระจกแผ่นราบ ประกอบ	 95

	หน้า
ฉ. ค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์	98
ช. ใช้งานและโปรแกรมที่จัดทำ	101
ฌ. การจัดเก็บข้อมูลและผลการจัดทำโปรแกรม	130
ประวัติ	161



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่

1.1 แสดงการเปรียบเทียบราคาของระบบย่อยต่าง ๆ ของโรง
ไฟฟ้าแสงอาทิตย์ระบบตัวรับกลางขนาด 60 MWe 2

1.2 แสดงโครงการวิจัยและพัฒนาโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์
ระบบตัวรับกลางของประเทศต่าง ๆ 10

4.1 ค่าแห่งที่ตั้งฐานฮีลิโอสแตท 67

4.2 กำหนดข้อมูลที่ใช้กับโปรแกรมต่าง ๆ 68

4.3 กำหนดตำแหน่งจุดกึ่งกลางของกระจกแผ่นราบ
ประกอบ 16 บาน 69

4.4 กำหนดข้อมูลที่ใช้กับโปรแกรมต่าง ๆ 69

4.5 ข้อมูลที่กำหนดใช้กับโปรแกรมหาปริมาณพลังงาน
และค่าการแจกแจงความเข้มของรังสี 70

4.6 ค่ามุมรังสีตกกระทบที่เกิดจากฮีลิโอสแตทซึ่งตั้งอยู่
ที่ตำแหน่ง (30, 0.0, 0.0) 71

4.7 แสดงค่าเวลาและมุมฤดูกาล ออกแบบของฮีลิโอสแตท
ที่ตำแหน่ง (30, 0.0, 0.0) 72

4.8 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณพลังงานจากข้อมูลชุดที่ 1 73

4.9 แสดงค่าการแจกแจงความเข้มของรังสีบนระนาบของรับแสง
ของวันที่ 21 มีนาคม จากข้อมูลชุดที่ 1 74

4.10 แสดงค่าการแจกแจงความเข้มของรังสีบนระนาบของรับแสง
ของวันที่ 21 มีนาคม จากข้อมูลชุดที่ 2 75

5.1 ค่ามุมตกกระทบต่ำสุดที่เวลาและมุมฤดูกาลต่าง ๆ ของฮีลิโอสแตท.. 77

สารบัญรูปประกอบ

หน้า ๑

รูปที่

1.1 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของโรงไฟฟ้าระบบตัวรับกลาง 1

1.2 แสดงส่วนประกอบของระบบตัวรับกลางแบบรวมแสงเป็น
เส้นซึ่งเป็นแบบแรกที่ G. Francia ได้สร้างและทดลองใน
ปี ค.ศ. 1964 4

1.3 แสดงส่วนประกอบของระบบตัวรับกลางแบบรวมแสงเป็นจุด
ซึ่งเป็นแบบแรกที้ออกแบบโดย G. Francia ในปี ค.ศ. 1965 4

1.4 แสดงลักษณะทั่ว ๆ ไปของระบบตัวรับกลางแบบที่ 2 ซึ่งได้ออก
แบบและปรับปรุงโดย G. Francia ในปี ค.ศ. 1965-1966 5

1.5 แสดงลักษณะของระบบตัวรับกลางแบบที่ 3 ของศาสตราจารย์
G. Francia ซึ่งได้สร้างและทดสอบในปี ค.ศ. 1966-1967 6

1.6 แสดงระบบตัวรับกลางที่ใช้เป็นเคาน์เตอร์โมลหะสามารถให้
อุณหภูมิสูงถึง 3,800 ซ 7

1.7 แสดงส่วนประกอบของระบบตัวรับกลางขนาด 400 กิโล-
วัตต์ความร้อน ติดตั้งที่ Georgia สหรัฐอเมริกา 7

1.8 แสดงส่วนประกอบของระบบตัวรับกลางขนาด 5,000 กิโล-
วัตต์ความร้อน ซึ่งใช้เป็นศูนย์กลางการวิจัยและทดสอบอุปกรณ์
ทางคานแสงอาทิตย์ 8

2.1 แสดงลักษณะและตำแหน่งต่าง ๆ ของอีลีโอสเตทด้วยระบบการ
หันคามแบบ Altazimuth Mounting 15

รูปที่

2.2 แสดงทิศทางของหน่วยเวกเตอร์ \hat{r} , $\hat{\theta}$ และ $\hat{\phi}$ ซึ่งแทน
แนวของรังสีตก, รังสีสะท้อนและเส้นแนวฉากของผิว
กระจก 16

2.3 แสดงหมายเลขของกระจกแผ่นราบประกอบซึ่งติดตั้งบนโครง
สะท้อนแสง 19

2.4 แสดงระบบแกนพิกัดจากฮิลีโอสแตทเทียบกับระบบแกนพิกัด
จากหอรับแสง 20

2.5 แสดงหน่วยเวกเตอร์แนวฉากของแผ่นสะท้อนแสงเมื่อเทียบกับ
ระบบแกนพิกัดจากหอรับแสง 21

2.6 แสดงทิศทางของหน่วยเวกเตอร์ $\hat{e}_x, \hat{e}_y, \hat{e}_z$ และ
มุม β 23

2.7 แสดงแกน n'_1 และ n'_2 ซึ่งอยู่ในทิศขนานกับขอบของ
แผ่นกระจกเทียบกับแกน x' และ y' ซึ่งจะหาจากระนาบ
ของรังสีตกสะท้อน 25

2.8 แสดงระนาบของช่องรับแสงและระบบแกนพิกัดจากระนาบ
ของรับแสง 26

3.1 แสดงลักษณะทั่ว ๆ ไปของฮิลีโอสแตทชนิดกระจกแผ่นราบ
ประกอบซึ่งใช้ระบบการหมุนตามดวงอาทิตย์แบบ Altazimuth
Mounting 29

3.2 แสดงผิวสะท้อนรูปพาราโบลอยคี่ซึ่งทำให้อันตรังสีสะท้อนไปรวม
กันที่จุด c 30

รูปที่

3.3 แสดงความกว้างและความยาวของภาพสะท้อนที่เกิดจาก
กระจกโค้งรัศมี R_t และ R_o ที่มีมุมรังสีตกกระทบ ψ 36

3.4 แสดงลักษณะนิวสะท้อนแสงซึ่งประกอบด้วยกระจกแผ่น
ราบ 16 บาน วางเรียงตามคาร์ซีมีความโค้ง R_t และ
 R_o 38

3.5 แสดงทิศทางของรังสีสะท้อนที่ออกจากกระจกแผ่นราบประกอบ
ไปยังระนาบของตัวรับ 40

3.6 แสดงตำแหน่งจุดกึ่งกลางของพื้นที่เล็ก ๆ ที่แบ่งกระจก
แผ่นราบประกอบ 43

3.7 แสดงการ เพิ่มขนาดของแผ่นสะท้อนแสงที่เกิดจากลำแสง
ควงอาทิตย์ 44

3.8 แสดงลักษณะของระนาบความจำซึ่งใช้แทนระนาบของ
รับแสง 46

4.1 ตั้งงานโปรแกรมย่อย SUNB ให้หาค่าตำแหน่งควงอาทิตย์
และค่าความเข้มรังสีตรง 50

4.2 ตั้งงานโปรแกรมย่อย AIMP ให้หาหน่วยเวกเตอร์
ทอรับแสง TA(I) 51

4.3 ตั้งงานโปรแกรมย่อย NORRM ให้หาหน่วยเวกเตอร์แนวฉาก
ของนิวสะท้อนแสง 51

4.4 ตั้งงานโปรแกรมย่อย CRR ให้คำนวณหาหน่วยเวกเตอร์
รังสีสะท้อน 52

รูปที่

4.5 แผนผังโปรแกรมย่อย HCEM ให้หาค่าแห่งจุดกึ่งกลางของ
โครงสร้างท่อนแสง 53

4.6 แผนผังโปรแกรมย่อย FCEM ให้หาค่าแห่งจุดกึ่งกลางของ
กระจกแผ่นราบประกอบ 54

4.7 แผนผังโปรแกรมย่อย CURF ให้หามุมปรับยัดกระจกแผ่นราบ
ประกอบ 55

4.8 แผนผังโปรแกรมย่อย CFEM หาค่าพิกัดจุดกึ่งกลางของพื้นที่
เล็ก ๆ j ของกระจกแผ่นราบประกอบที่ i 56

4.9 แผนผังโปรแกรมย่อย CROSP หาค่าผลคูณทางเวกเตอร์
ของเวกเตอร์ 57

4.10 แผนผังโปรแกรมย่อย APM ให้แมปจิ้งจุกครึ่งสี่ตกกระทบ
ให้อยู่ในระบบแกนพิกัดจากระนาบของรับแสง 58

4.11 แผนผังโปรแกรมย่อย MMAP ให้เก็บค่าแห่งและรวมค่าความ
เข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกบนระนาบความจำของของรับแสง 59

4.12 แสดงค่าแห่งที่ตั้งของฮีลิโอสแตทโดยรอบหอรรับแสง 66

5.1 เวลาและมุมฤดูกาลที่ใช้ออกแบบผิวสะท้อนแสงเมื่อใช้
คาร์ซีมีที่ของรับแสงเท่ากับ 1.75 เมตร 79

5.2 เวลาและมุมฤดูกาลที่ใช้ออกแบบผิวสะท้อนแสงเมื่อใช้
คาร์ซีมีที่ของรับแสงเท่ากับ 1.50 เมตร 80

5.3 ค่ามุมตกกระทบออกแนวของฮีลิโอสแตทในตำแหน่งต่าง ๆ 81

รายการ สัญลักษณ์



ALT, ALAT	เป็นค่ามุมของเส้นรุ้งที่คิกคังฮิลีโอสแตท (องศา)
APR	เป็นค่ารัศมีของช่องรับแสง (เมตร)
ATM	เป็นค่าความกดอากาศเฉลี่ยของวันที่ใช้คำนวณ (มิลลิบาร์)
BET	เป็นค่าสัมประสิทธิ์การขุ่นมัวของอากาศ
CH(I)	เป็นตำแหน่งจุดกึ่งกลางของโครงสะท้อนแสง (x, y, z)
CHR	เป็นระยะห่างของเวลาที่ใช้ในการคำนวณแต่ละครั้ง
DECS	เป็นมุมฤดูกาลที่ใช้ออกแบบรูปทรงของผิวสะท้อนแสง (องศา)
DEC, DDEC	เป็นมุมฤดูกาลของวันที่ใช้คำนวณ (องศา)
FEC (i, j, I)	เป็นจุดกึ่งกลางของพื้นที่ย่อยบนผิวกระจกแผ่นราบประกอบ
FEP (i, j, I)	เป็นตำแหน่งรังสีตกกระทบบนระนาบช่องรับแสง
FFW, FFL	เป็นขนาดความกว้างและยาวของกระจกแผ่นราบประกอบ
FMP	เป็นตารางของความจำใช้เก็บค่าความเข้มของรังสีที่ตกกระทบ
FPP (i, j, k)	เป็นตำแหน่งรังสีตกกระทบในระบบแกนพิกัดจากระนาบช่องรับแสง
HB, HHB	เป็นตำแหน่งที่ตั้งฐานฮิลีโอสแตท (x, y, z)
HL ₁	เป็นขนาดความยาวจากแกนปรับมุมเงยถึงระนาบโครงสะท้อนแสง (เมตร)
HL ₂	เป็นขนาดความยาวจากฐานฮิลีโอสแตทถึงแกนปรับมุมเงย (เมตร)
HR	มุมชั่วโมง (องศา)
HRB	เป็นเวลาเริ่มต้นการทำงานของระบบ
HRE	เป็นเวลาสิ้นสุดการทำงานของระบบ
KF	เป็นค่ากำหนดรูปแบบของระบบการหมุนตามดวงอาทิตย์
NCUR	เป็นตัวเลขกำหนดรูปแบบของผิวสะท้อนแสง

NE	เป็นจำนวนแฉกที่แบ่งด้านกว้างและด้านยาวของกระจก แผ่นราบประกอบ
NF	เป็นจำนวนแผ่นกระจกที่ใช้ประกอบ เป็นผิวสะท้อนแสง
NH	เป็นจำนวนฮีลิโอสแตทที่ใช้คำนวณ
\tilde{n}	หน่วยเวกเตอร์แนวฉากของผิวกระจก
ρ_m, ρ_m	เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของผิวกระจก
RE(1)	เป็นตำแหน่งจุดกึ่งกลางของตัวรับ (x,y,z)
R_s	เป็นรัศมีความโค้งของผิวสะท้อนแสงในระนาบที่ตั้งฉากกับ ระนาบรังสีตก-สะท้อน
R_t	เป็นรัศมีความโค้งของผิวสะท้อนแสงในระนาบรังสีตก-สะท้อน
\vec{s}	เป็นหน่วยเวกเตอร์ของรังสีตกกระทบ
SMP	เป็นขนาดความกว้างและยาวของระนาบความจำ
\vec{t}	เป็นหน่วยเวกเตอร์ของรังสีสะท้อน
TWS, T_s	เป็นเวลาที่ใช้ออกแบบรูปทรงของผิวสะท้อนแสง
UF(NF, u_1)	เป็นตำแหน่งจุดกึ่งกลางของกระจกแผ่นราบประกอบแต่ละบาน โดยวัดจากจุดกึ่งกลางของโครงสะท้อนแสง
UPN, \tilde{n}_p	เป็นหน่วยเวกเตอร์แนวฉากของระนาบช่องรับแสง
WAT	เป็นค่าปริมาณไอน้ำในอากาศวัดเป็นค่าความสูง (เซนติเมตร)
ψ_s	เป็นมุมตกกระทบออกแบบ (องศา)
β_s	เป็นมุมดูเข้าของรังสีดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 9.3 มิลลิเรเดียน
γ	เป็นมุมที่รังสีสะท้อนทำกับเส้นแนวฉากของระนาบช่องรับแสง

ϕ_n	เป็นมุมอาซิมุทของเส้นแนวฉากโครงสะท้อนแสง
α_n	เป็นมุมเงยของเส้นแนวฉากโครงสะท้อนแสง
ψ	เป็นมุมรังสีตกกระทบ
β	เป็นมุมระหว่างระนาบรังสีตก-สะท้อนเท่ากับขอบกระจก
$\vec{e}_{u1}, \vec{e}_{u2}, \vec{e}_{u3}$	เป็นหน่วยเวกเตอร์ในทิศของแกน u_1, u_2, u_3
a_n, b_n, c_n	เป็นค่าของหน่วยเวกเตอร์ \vec{e}_i ในแกน x, y และ z ตามลำดับ



ศูนย์วิทยพัชยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย