เอกสารอ้างอิง

1. Hottel, H.C. and Woertz, B.B., "Perfermance of Flat Plate Solar Heat Collectors". Tran. ASME 64 (1942) : 91-104.

2. Whiller, A. "Design Factors Influencing Solar Collector Performance" Chapter III of Low Temperature Engineering Application of Solar Energy, ASHARE, editor R.C. Jordan, (1967).

3. Bliss, R.W. "The Distribution of Several Plate Efficiency Factors Useful in the Design of Flat Plate Solar Heat Collectors;" Solar Energy 3 (1959) : 55-64.

4. Duffie, J.A., and Beckman, W.A. Solar Energy Thermal Processes. New York : John Wiley & Son., 1974.

5. Lunde, P.J. Solar Thermal Engineering. New York : john Wiley & son., 1979.

6. Duffie, J.A., and Beckman, W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. New York : John Wiley & son., 1980.

7. Klien, S.A., Cooper, P.J., Beckman, W.A., and Duffie, J.A. Madison University of Wisconsin, Engineering Experiment Station Report 38 (1974) "TRNSYS, A Transient Simulation Program."

8. LIU. B.Y.H., and Jordan, R.C., "The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation." Solar Energy 4 (1960) : 1-19.

9. Close, D.J. "A Design Approach for Solar Process." Solar Energy 11 (1967) : 112.

10. Klien S.A., Beckman, W.A., and Duffie, J.A."A Design Procedure for Solar Heating Systems." Solar Energy 18 (1976) : 113-127.

11. Beckman, W.A., Klien, S.A., and Duffie, J.A., Solar Heating Design. New York : John Wiley & Son., 1977.

12. Chungpaibulpatana, S. "The Solar Storage Tank volume in Thailand." Master's Thesis, Department of Energy, A.I.T., Bangkok, 1981.

13. Klien, S.A., Cooper, P.1., Beckman, W.A., Beckman, D.M., and Duffie, J.A., "A Method of Simulation of Solar Processes and Its Application." Solar Energy 17 (1975) : 29-37.

14. Chang, K.K., and Minardi, A. "An Optimizaing Formulation for Solar Heating System." Solar Energy 24 (1980) : 99-103.

15. Chang, K.K., Minardi, A. and Clay, T. "Parametric Study of the Overall Performance of a Solar Hot Water System." Solar Energy 29 (1982) : 513-521.

16. Barnes, P.A. "The Optimization of Solar Heating System." Solar Energy 26 (1981) : 375-376.

17. Howells, P.B., and Marshal, R.H. "An Improved Computer Code for the Simulation of Solar Heating Systems." Solar Energy 30 (1983): 99-108.

18. Rapp. D. Solar Energy. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, Inc., 1981.

19. Kreith, F., and Krider, J.F. Principles of Solar Engineering. New York : Mcgraw-Hill., 1978.

20. "A New Approach to Development Planing." Nation Review (2 September 1982) : 3.

21. มานิจ ทองประเสริฐ และสมศรี จงรุ่งเรือง พลังงานแสงอาทิตย์ ทฤษฎีและการใช้ประโยชน์ทางความร้อน พิมพ์ครั้งที่ 1 พระนคร : 2524

22. มานิจ ทองประเสริฐ "การออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์" ในการอบรมทางวิชาการเรื่อง Solar Water Heating System Design, กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2525

23. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และมานิจ ทองประเสริฐ "ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประหยัดได้จริงหรือ" วิศวกรรมสาร (ตุลาคม 2525) : 31-38

24. วันชัย ริจิรวนิช และชอุ่ม พลอยมีค่า เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม พิมพ์ครั้งที่ 2 พระนคร : สำนักพิมพ์ ซีเอดยูเคชั่น, 2527

25. Degarmo. E.P. Engineering Economy. Collier-Macmilan International., 1969.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโปรแกรม TRNSYS

การใช้โปรแกรม TRNSYS ในการจำลองปัญหาระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อกำหนดระบบย่อยแล้ว พารามิเตอร์สำหรับโปรแกรม TRNSYS สรุปได้ดังนี้

แผงรับแสงอาทิตย์	
พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์	A
แฟคเตอร์ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์	F'
ความจุความร้อนของของไหล	C_p
ค่าการดูดกลืนรังสีของแผ่นดูด	α
จำนวนแผ่นปิดด้านบน	N
ค่าการปล่อยรังสีของแผ่นดูด	ε_p
สัมประสิทธิการสูญเสียทางด้านล่างและขอบ	U_{be}
ค่าการผ่านทะลุของกระจกปิด	τ
มุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์	s
ถังเก็บน้ำร้อน	
ปริมาตรของถัง	V
ความสูงของถัง	H
ความจุความร้อนของน้ำภายในถัง	C_{pf}
ความหนาแน่นของน้ำภายในถัง	ρ_f
สัมประสิทธิการสูญเสียระหว่างถังกับบรรยากาศล้อมรอบ	U_{be}
ปั๊ม	
อัตราการไหลสูงสุด	M^o_{max}
เครื่องทำความร้อนเสริม	
อัตราที่เครื่องทำความเสริมทำความร้อนได้สูงสุด	Q^o_{max}
อุณหภูมิที่ตั้งไว้	T_{set}

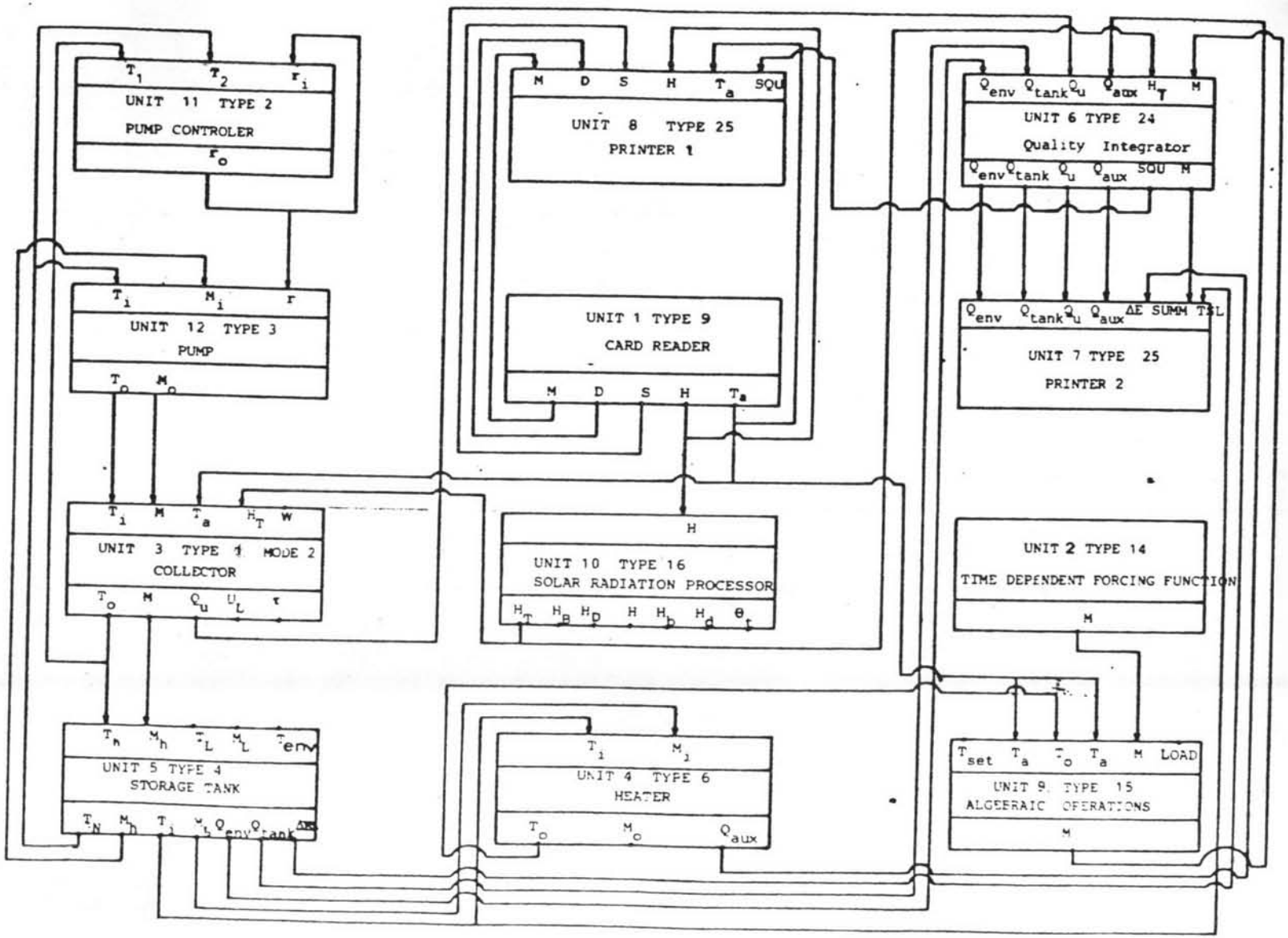
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความแตกต่างของอุณหภูมิ DEAD BAND	ΔT
ความจุความร้อนของของไหล	C_{pf}
อุปกรณ์ควบคุมการปิดเปิดปั๊มแบบดิฟเฟอเรนเชียล	
รูปแบบควบคุมการปิดเปิด	1 แบบ NON-STICKY 2 แบบ STICKY
UPPER DEAD BAND DIFFERENCE	ΔT_1
LOWER DEAD BAND DIFFERENCE	ΔT_2

หน่วยอ่านบัตรข้อมูล (CARD READER)	อ่านข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา อุณหภูมิบรรยากาศ ข้อมูลการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ ฯลฯ
หน่วยแปลงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLAR RADIAITON PROCESSES)	แปลงค่าพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดบนระนาบระดับเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกระนาบเอียง
หน่วยคำนวณทางพีชคณิต (ALGEBRAIC OPERATION)	คำนวณอัตราการใช้น้ำร้อนทั้งหมดตามรูปแบบการใช้น้ำร้อนที่กำหนด
หน่วยอ่านข้อมูลที่ขึ้นอยู่กับเวลา (TIME DEPENDENT FORCING FUNCTION)	อ่านข้อมูลการใช้น้ำร้อนที่เป็นฟังก์ชั่นกับเวลาตามรูปแบบการใช้น้ำร้อนที่กำหนด
หน่วยรวมผลลัพธ์ (QUANTITY INTEGRATOR)	คำนวนผลลัพธ์ในช่วงเวลาของการจำลองปัญหา
หน่วยพิมพ์ผล (PRINTER)	รายงานผลลัพธ์จากการคำนวนโดยพิมพ์ค่าต่าง ๆ ออกมาให้ทราบ

ภาคผนวก ข

ตัวอย่าง ไดอะแกรมของโปรแกรม TRNSYS ที่ใช้จำลอง
ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมทั้งบัตรควบคุมและรายงานผล


UNIT 11 TYPE 2
PUMP CONTROLER
UNIT 12 TYPE 3
PUMP
UNIT 3 TYPE 1 MODE 2
COLLECTOR
UNIT 5 TYPE 4
STORAGE TANK
UNIT 8 TYPE 25
PRINTER 1
UNIT 1 TYPE 9
CARD READER
UNIT 10 TYPE 16
SOLAR RADIATION PROCESSOR
UNIT 4 TYPE 6
HEATER
UNIT 6 TYPE 24
Quality Integrator
UNIT 7 TYPE 25
PRINTER 2
UNIT 2 TYPE 14
TIME DEPENDENT FORCING FUNCTION
UNIT 9 TYPE 15
ALGEBRAIC OPERATIONS

```
                TRNSYS = A TRANSIENT SIMULATION PROGRAM
        FROM THE SOLAR ENGERGY LAB AT THE UNIVERSITY OF WISCONSIN
                          VERSION 6.2 05/21/75


STMULATION          0.000E+00  3.640E+02  1.500E+01
TOLERANCES          1.000E-02  1.000E-02
LIMITS   50   40
UNIT   1    TYPE   9   CARD  READER
     PARAMETERS  2
     5.000E+00     1.000E+00
UNIT 10     TYPE  16   SOLAR RADIATION PROCESSOR MODE 3
     PARAMENTERS   7
     3.000E+00     1.000E+00  1.400E+01  1.400E+01  0.000E+00  4.871E+03  2.000E-01
     INPUTS  3
     1,4           1,1        1,2
     0.000E+00     0.000E+00  0.000E+00
UNIT 3      TYPE   1  COLLECTOR MODE 2
     PARAMETERS  10
     2.000E+00     1.400E+02  9.000E-01  4.190E+00  9.400E-01  1.000E+00  8.700E-01
     4.400E+00     1.400E+01  8.800E-01
     INPUTS 5
     12, 1         12,2       1,5        10, 1      0, 0
     2.500E+01     0.000E+00  2.700E+01  0.000E+00  2.000E+00
UNIT 5  TYPE  4  STORAGE TANK 3 STRATIFIED
     PARAMETERS    5
     9.400E+00     2.880E+00  4.190E+00  1.000E+03  1.440E+00
     INPUTS    5
     3, 1          3, 2       0, 0       9, 1       1, 5
     4.000E+01     0.000E+00  2.500E+01  0.000E+00  2.700E+01
     DERIVATIVES   3
     6.000E+01     5.000E+01  4.000E+01
UNIT 12 TYPE  3    PUMP
     PARAMETERS    1
     7.056E+03
     INPUTS        3
     5, 1          5, 2       11, 1
     2.500E+01     0.000E+00  0.000E+00
UNIT 11 TYPE  2    PUMP COLTROLER MODE 1 FOR NONSTICKY
     PARAMETERS 3
     1.000E+00     3.000E+00  0.000E+00
     INPUTS 3
     3, 1          5, 1       11, 1
     2.000E+01     2.000E+01  0.000E+00
UNIT  4  TYPE  6   HEATER
     PARAMETERS 4
     1.000E+07     6.000E+01  1.000E+00  4.190E+00
     INPUTS  2
```

TRANSIENT SIMULATION STARTING AT TIME = 0.000E+00
STOPPING AT TIME = 8.640E+02
DIFFERENTIAL EQUATION ERROR TOLERANCE = 1.000E-02
ALGEBRAIC CONVERGENCE TOLERANCE = 1.000E-02

TIME = 0.0000

QENV	QTANK	QU	QAUX1	DELE	QAUX2	TSL
0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+01	6.000E+01
SUMM	M	Q	S	H	TA	SQU
0.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	2.570E+01	0.000E+00

TIME = 108.0000

QENV	QTANK	QU	QAUX1	DELE	QAUX2	TSL
7.827E+04	5.332E+06	5.645E+06	9.920E+05	1.633E+05	7.289E+03	5.636E+01
SUMM	M	Q	S	H	TA	SQU
4.251E+04	2.000E+00	2.000E+00	1.200E+01	1.797E+03	3.100E+01	8.028E+04

TIME = 216.0000

QENV	QTANK	QU	QUAX1	DELE	QAUX2	TSL
1.504E+05	1.116E+07	1.109E+07	1.904E+06	-8.069E+05	7.819E+03	5.128E+02
SUMM	M	D	S	H	TA	SQU
8.777E+04	3.000E+00	3.000E+00	2.400E+01	0.000E+00	2.740E+01	1.592E+05

TIME = 324.0000

QENV	QTANK	QU	QUAX1	DELE	QUAX2	TSL
2.152E+05	1.637E+07	1.677E+07	3.013F+06	5.393E+04	1.563E+04	5.296E+01
SUMM	M	D	S	H	TA	SQU
1.302E+05	5.000E+00	2.000E+00	1.200E+01	2.093E+03	3.270E+01	2.385E+05

TIME = 432.0000

QENV	QTANK	QU	QAUX1	DELE	QAUX2	TSL
2.712E+05	2.131E+07	2.134E+07	4.826F+06	-4.314E+05	1.264E+04	4.591E+01
SUMM	M	D	S	H	TA	SQU
1.764E+05	6.000E+00	3.000E+00	2.400E+01	0.000E+00	2.730E+01	3.042E+05

TIME = 540.0000

QENV	QTANK	QU	QAUX1	DELE	QAUX2	TSL
3.280E+05	2.585E+07	2.635E+07	6.627E+06	-4.622E+04	2.143E+04	5.035E+01
SUMM	M	D	S	H	TA	SQU
2.196E+05	8.000E+00	2.000E+00	1.200E+01	2.366E+03	3.050E+01	3.735E+05

```
 5, 3          5, 4
 4.000E+01     1.000E+02

UNIT 2  TYPE 14   INDEPENDENT FORCING FUNCTION
     PARAMETERS 80
     0.000E+00     2.140E-02  1.000E+00  2.140E-02  1.000E+00  0.000E+00  6.000E+00
     0.000E+00
     6.000E+00     1.333E-02  7.000E+00  1.333E-02  7.000E+02  4.590E-02  8.000E+00
     4.590E-02
     8.000E+00     6.890E-02  9.000E+00  6.890E-02  9.000E+00  8.380E-02  1.000E+01
     8.380E-02
     1.000E+01     7.100E-02  1.100E+01  7.100E-02  1.100E+01  5.300E-02  1.200E+01
     5.300E-02
     1.200E+01     3.500E-02  1.300E+01  3.500E-02  1.300E+01  5.240E-02  1.400E+01
     5.240E-02
     1.400E+01     2.620E-02  1.500E+01  2.620E-02  1.500E+01  2.290E-02  1.600E+01
     2.290E-02
     1.600E+01     2.120E-02  1.700E+01  2.120E-02  1.700E+01  3.690E-02  1.800E+01
     3.690E-02
     1.800E+01     6.700E-02  1.900E+01  6.700E-02  1.900E+01  1.174E+01  2.000E+01
     1.174E-01
     2.000E+01     9.710E-02  2.100E+01  9.710E-02  2.100E+01  6.700E-02  2.200E+01
     6.700E-02
     2.200E+01     5.240E-02  2.300E+01  5.240E-02  2.300E+01  4.670E-02  2.400E+01
     4.670E-02

UNIT 9  TYPE  15  ALGEBRIAC OPERATION MODE B
     PARAMETERS  11
     0.000E+00     0.000E+00  4.000E+00  0.000E+00  0.000E+00  4.000E+00  2.000E+00
     0.000E+00     1.000E+00  0.000E+00  1.000E+00
     INPUTS  6
     0, 0          1, 5       4, 1       1, 5       2, 1       0, 0
     6.000E+01     3.000E+00  6.000E+00  3.000E+00  0.000E+00  1.000E+00

UNIT 6  TYPE  24
     INPUTS  6 INTEGRATOR
      5, 5         5, 6       3, 3       4, 3       10, 1      9, 1
     0.000E+00     0.000E+00  0.000E+00  0.000E+00  0.000E+00  0.000E+00

UNIT 7  TYPE  25  PRINTER 2
     PARAMETER 1
     1.08000E+02
     INPUTS  10
     6, 1          6, 2       6, 3       6, 4       5, 7       4, 3   5, 3
     3, 4          6, 6
     QENV          OTANK      QU         QAUX1      DELE       QAUX2  TSL
     UL            SUMM

UNIT  8  TYPE  25 PRINTER 1
     PARAMETERS 1
     1.08000E+02
     INPUTS  9
     1, 1          1, 2       1, 3       1, 4       1, 5       6, 5
     4, 1
     M             D          S          H          TA         SQU
     TL

END
1
```

TIME = 648.0000

QENV	OTANK	QU	QAUX1	DELE	QAUX2	TSL
3.874E+05	3.073E+07	3.097E+07	8.507E+06	-3.882E+05	1.091E+04	4.784E+01
SUMM	M	D	S	H	TA	SQU
2.657E+05	9.000E+00	3.000E+00	2.400E+01	0.000E+00	2.640E+01	4.394E+01

TIME = 756.0000

QENV	QTANK	QU	QAUX1	DELE	QAUX2	TSL
4.480E+05	3.558E+07	3.651E+07	9.992E+06	2.268E+05	2.309E+03	5.864E+01
SUMM	M	D	S	H	TA	SQU
3.089E+05	1.100F+01	2.000E+00	1.200E+01	2.225E+03	3.180E+01	5.148E+05

TIME = 964.0000

QENV	OTANK	QU	QAUX1	DELE	QAUX2	TSL
5.314E+05	4.147E+07	4.195E+07	1.084E+07	-3.480E+05	9.170E+03	4.977E+01
SUMM	M	D	S	H	TA	SQU
3.540E+05	1.200E+01	3.00E+00	2.400E+01	0.000E+00	2.150E+01	5.965E+05

การจำลองปัญหาในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริม ใช้เวลาทั้งหมด 36 วัน ช่วงเวลาในการจำลองปัญหา $\frac{1}{4}$ ชั่งโมงโดยมี ERROR TOLERANCE 0.01, 0.01 ข้อมูลต่าง ๆ ที่อ่านเข้าไปในโปรแกรมเป็นข้อมูลรายชั่วโมง ผลลัพธ์จะถูกพิมพ์ผลออกมาทุก ๆ 108 ชั่วโมง

QENV - อัตราพลังงานที่สูญเสียสู่บรรยากาศรอบ ๆ ถังเก็บน้ำร้อน

QTANK - อัตราความร้อนสัมผัสที่ออกจากถังเก็บน้ำร้อนไปยังภาระ

QU - พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ในเวลา 36 วัน

QAUX1 - ปริมาณพลังงานเสริมที่ใช้ในเวลา 36 วัน

DELE - การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในถังเก็บน้ำร้อน

QAUX.2 - ปริมาณพลังงานเสริมที่ใช้ในช่วงเวลาการจำลองปัญหา

TSL - อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากถังเก็บน้ำร้อนก่อนเข้าเครื่องทำความร้อนเสริม

SUMM - อัตราการใช้น้ำร้อน

M - เดือน

D - วันที่

S - ชั่วโมง

H - พลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดรายชั่วโมงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบระดับ

TA - อุณหภูมิบรรยากาศ

SQU - ผลรวมพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั้งหมดรายชั่วโมงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนระนาบเอียงตลอดเวลา 36 วัน

สมดุลย์ทางความร้อนของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริมเขียนได้ดังนี้

$$QU + QUAX1 = DELE + QENV + QLOAD$$

จากผลที่ได้จากโปรแกรม TRNSYS เมื่อแทนค่าเข้าไปในสมการสมดุลย์ทางความร้อนจะได้ดังนี้

$$QU + QAUX1 = DELE + QENV + QLOAD$$

$$4.195E + 07 + 1.084E+ 07 = 3.480E + 05 + 5.314E + 05 + QLOAD$$

$$QLOAD = 11148004.18$$

เมื่อ QLOAD - พลังงานทั้งหมดที่ใช้ตลอด 36 วัน

ดังนั้น ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ต่อปี = $11,148,004.18 \times \frac{365}{36}$ กิโลจูล /ปี

= 113,028,375.6 กิโลจูล /ปี

ภาคผนวก ค

ตารางสรุปผลการจำลองระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากโปรแกรม TRNSYS

ห้องสมุดกลาง วิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.1

TEMPERATURE OF HOT WATER 70°C
TYPE OF ABSORBER PLATE BLACK
NUMBER OF COVER PLATE 1
HOT WATER LOAD 1000 LITRES/DAY

VOLUME PER COLLECTOR AREA	COLLECTOR AREA	CUMULATIVE ENERGY			CHANGE ENERGY OF TANK	CUMULATIVE ENERGY		TOTAL LOAD
		INCIDENT SOLAR	USEFUL GAIN	TANK LOSS		SUPPLIED FROM TANK	SUPPLIED FROM AUXILLIARY	
50	18	108368496	49459282	1457972	-649497	48761362	19618750	68380112
	22	132450384	55723430	1923347	-574571	54276918	14103194	
60	18	108368496	50065833	1669875	-680928	49018163	19639028	68657191
	22	132450384	56167522	2203180	-567778	54604691	14052500	
75	18	108368496	50461250	1972014	-719253	49239240	19750556	68989796
	22	132450384	56589733	2587444	-559869	54562157	14427639	
90	18	108368496	50676932	2255903	-767108	49338061	19912778	69250839
	22	132450384	56853845	2941292	-570921	54336533	14914306	

** ENERGY QUANTITIES ARE IN KJ.

** VOLUME QUANTITIES ARE IN LITRES

** AREA QUANTITIES ARE IN SQR. METRES

ตาราง ค.2

TEMPERATURE OF HOT WATER 60°C
TYPE OF ABSORBER PLATE BLACK
NUMBER OF COVER PLATE 1
HOT WATER LOAD 1000 LITRES/DAY

VOLUME PER COLLECTOR AREA	COLLECTOR AREA	CUMULATIVE ENERGY			CHANGE ENERGY OF TANK	COMULATIVE ENERGY		TOTAL LOAD
		INCIDENT SOLAR	USEFUL GAIN	TANK LOSS		SUPPLIED FROM TANK	SUPPLIED FROM AUXILLIARY	
50	14	84286608	41873611	1013179	-361857	41093417	12014583	53108000
	20	120409440	51033262	1813847	-28450	49550264	3557736	
60	14	84286608	42541977	1163945	-358308	41751851	11426528	53178379
	20	120409440	51827533	2041972	76640	49867018	3311361	
75	14	84286608	43107185	1372806	-350197	42215609	11244028	53459637
	20	120409440	52655159	2360333	177836	50153345	3306292	
90	14	84286608	43500811	1562403	-340261	42408813	11446806	53855619
	20	120409440	53270832	2646250	264524	50391161	3464458	

**ENERGY QUANTITIES ARE IN KJ.

**VOLUME QUANTITIES ARE IN LITRES

**AREA QUANTITIES ARE IN SQR METERS

ตาราง ค.3

TEMPERATURE OF HOT WATER 70°C
TYPE OF ABSORBER PLATE SELECTIVE
NUMBER OF COVER PLATE 1
HOT WATER LOAD 1000 LITRES/DAY

VOLUME PER COLLECTOR AREA	COLLECTOR AREA	CUMULATIVE ENERGY			CHANGE ENERGY OF TANK	CUMULATIVE ENERGY		TOTAL LOAD
		INCIDENT SOLAR	USEFUL GAIN	TANK LOSS		SUPPLIED FROM TANK	SUPPLIED FROM AUXILLIARY	
50	18	108368496	56106964	1914222	-530365	54551130	13799028	68350158
	24	144491328	66987639	2961569	20886	63323297	5026861	
60	18	108368496	55612407	1679000	-530872	54535856	13930833	68466689
	24	144491328	66107143	2661458	-51039	63595967	4870722	
75	18	108368496	56450126	2245764	538780	54629576	14011944	68641520
	24	144491328	67656806	3411736	108689	63316576	5324944	
90	18	108368496	53583715	2549931	-544458	52890353	14498611	67388964
	24	144491328	67963632	3857847	166481	61767964	5621000	

**ENERGY QUANTITIES ARE IN KJ.

**VOLUME QUANTITIES ARE IN LITRES

**AREA QUANTITIES ARE IN SQR METRES

ตาราง ค.4

TEMPERATURE OF HOT WATER 60°C
TYPE OF ABSORBER PLATE SELECTIVE
NUMBER OF COVER PLATE 1
'HOT WATER LOAD 1000 LITRES/DAY

VOLUME FOR COLLECTOR AREA	COLLECTOR AREA	CUMULATIVE ENERGY			CHANGE ENERGY OF TANK	COMULATIVE ENERGY		TOTAL LOAD
		INCIDENT SOLAR	USEFUL GAIN	TANK LOSS		SUPPLIED FROM TANK	SUPPLIED FOR AUXILLIARY	
50	14	84286608	45832294	1203486	-233296	44737995	7980319	52718314
	20	120409440	54370968	2441444	586028	51904871	813443	
60	14	84286608	46488339	1346444	-235121	44419947	7677167	52097114
		120409440	55309617	2703028	766094	51330208	766906	
75	14	84286608	47003081	1558347	-209571	45764170	7520014	53284184
	20	120409440	56268452	3057889	954982	52622926	661258	
90	14	84286608	47401001	1754028	-190003	45897709	772861	53625570
	20	120409440	57025426	3379292	1096014	52994627	630943	

**ENERGY QUANTITIES ARE IN KJ.

**VOLUME QUANTITIES ARE IN LITRES

**AREA QUANTITIES ARE IN SQR METRES

ตาราง ค.5

TEMPERATURE OF HOT WATER 70°C
TYPE OF ABSORBER PLATE BLACK
NUMBER OF COVER PLATE 1
VOLUME PER COLLECTER AREA 50 LITRES/SQR METRES

HOT WATER LOAD	COLLECTOR AREA	CUMULATIVE ENERGY			CHANGE ENERGY OF TANK	CUMULATIVE ENERGY		TOTAL LOAD
		INCIDENT SOLAD	USEFUL GAIN	TANK LOSS		SUPPLIED FORM TANK	SUPPLIED FROM AUXILLIARY	
10000	180	1083684960	492750000	7412542	-6364181	551572600	135861111	685582249
	220	1324503840	553903610	9758681	-5521639	668058294	19374517	
20000	360	2167369920	985351593	11832083	-12754722	987250308	3830472222	1370297530
	440	2649007680	1106192338	15522639	-11010833	1100704474	269593056	
40000	720	4334739840	1966115582	18827917	-25337083	1978153456	760619444	2738772900
	880	5298015360	2211375378	24698333	-21940556	220374733	535029167	

**ENERGY QUANTITIES ARE IN KJ.

**HOT WATER LOAD ARE IN LITRES/DAY

ตาราง ค.6

TEMPERTURE OF HOT WATER 60 °C
TYPE OF ABSORBER PLATE SELECTIVE
NUMBER OF COVER PLATE 1
VOLUME PER COLLECTER AREA 60 LITRES/SQR METRES

HOT WATER LOAD	COLLECTOR AREA	CUMULATIVE ENERGY			CHANGE ENERGY OF TANK	CUMULATIVE ENERGY		TOTAL LOAD
		INCIDENT SOLAR	USEFUL GAIN	TANK LOSS		SUPPLIED FROM TANK	SUPPLIED FORM AUXILLIARY	
10000	140	842866080	463113230	6920806	2059208	459062535	71935417	530997952
	200	1204094400	543545833	13849722	8352417	525848410	5149542	
20000	280	1685732160	925426785	11000694	-4101181	987250308	142654167	1060315800
	400	2408188800	1078941251	22346111	17590972	1051035675	9280125	
40000	560	3371464320	1899501810	17509861	-7755236	1863773980	2819625000	2145736480
	800	4816377600	2150817402	35668611	35790278	2128682869	17053611	

**ENERGY QUANTITIES ARE IN KJ.

**HOT WATER LOAD ARE IN LITRES/DAY

ตาราง ก.7

TEMPERATURE OF HOT WATER 60°C
TYPE OF ABSORBER PLATE BLACK
NUMBER OF COVER PLATE 1
VOLUME PER COLLECTER ARE 60 LITRES/SQR METRES

HOT WATER LOAD	COLLECTOR AREA	CUMULATIVE ENERGY			CHANGE ENERGY OF TANK	CUMULATIVE ENERGY		TOTAL LOAD
		INCIDENT SOLAR	USEFUL GAIN	TANK LOSS		SUPPLIED FROM TANK	SUPPLIED FROM AUXILLIARY	
10000	140	842866080	423401174	5387806	-3528333	422028369	109905556	531933925
	200	1204094400	512219536	9571111	1183208	502946842	28987083	
20000	280	1685732160	846800000	8543028	-7019153	844947769	220723611	1065671380
	400	2408188800	1026832338	15248889	2841931	1008741519	56929861	
40000	560	3371464320	1691019114	13677361	-31981528	1695486188	432322222	2127808410
	800	48163776000	2041813004	24272500	5783222	2015570910	112237500	

**ENERGY QUANTITIES ARE IN KJ.

**HOT WATER LOAD ARE IN LITRES/DAY

ตาราง ค.8

TEMPERATURE OF HOT WATER 70 °C
TYPE OF ABSORBER PLATE SELECTIVE
NUMBER OF COVER PLATE 1
VOLUME PER COLLECTER AREA 50 LITRES/SQR METRES

HOT WATER LOAD	COLLECTOR AREA	CUMULATIVE ENERGY			CHANGE ENERGY OF TANK	CUMULATIVE ENERGY		TOTAL LOAD
		INCIDENT SOLAR	USEFUL GAIN	TANK LOSS		SUPPLIED FROM TANK	SUPPLIED FROM AUXILLIARY	
10000	180	1083684960	558855556	9886431	-5180972	553848646	133022222	686870868
	240	1444913280	659759785	15421250	1760111	644875590	41995278	
20000	360	2167369920	1116285335	15796389	-10230139	1112226251	259251389	1371477640
	480	2889826560	1316126650	24566528	3817292	1290214446	81263194	
40000	720	4334739840	2230552069	25154583	-20318333	2228864842	513940278	2742805120
	960	5779653120	2627206802	39166528	8226694	2584841231	157963889	

**ENERGY QUANTITIES ARE IN KJ.

**HOT WATER LOAD ARE IN LITRES/DAY

ตาราง ค.9

TEMPERATURE OF HOT WATER 70°C
TYPE OF ABSORBER PLATE SELECTIVE
NUMBER OF COVER PLATE 2
HOT WATER LOAD 1000 LITRES/DAY

VOLUME PER COLLECTER AREA	COLLECTOR AREA	CUMULATIVE ENERGY			CHANGE ENERGY OF TANK	CUMULATIVE ENERGY		TOTAL LOAD
		INCIDENT SOLAR	USEFUL GAIN	TANK LOSS		SUPPLIED FROM TANK	SUPPLIED FROM AUXILLIARY	
75	18	108368496	50357258	1959847	-465375	48862786	20584547	69447333
	24	144491328	61036111	2965625	465375	57605111	11842222	

**ENERGY QUANTITIES ARE IN KJ.

**VOLUME QUANTITIES ARE IN LITRES

**AREA QUANTITIES ARE IN SQR METRES

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.10

TEMPERATURE OF HOT WATER 70°C
TYBE OF ABSORBER PLATE BLACK
HOT WATER LOAD 1000 LITRES/DAY
VOLUME PER COLLECTER AREA 75 LITRES/SQR METRES

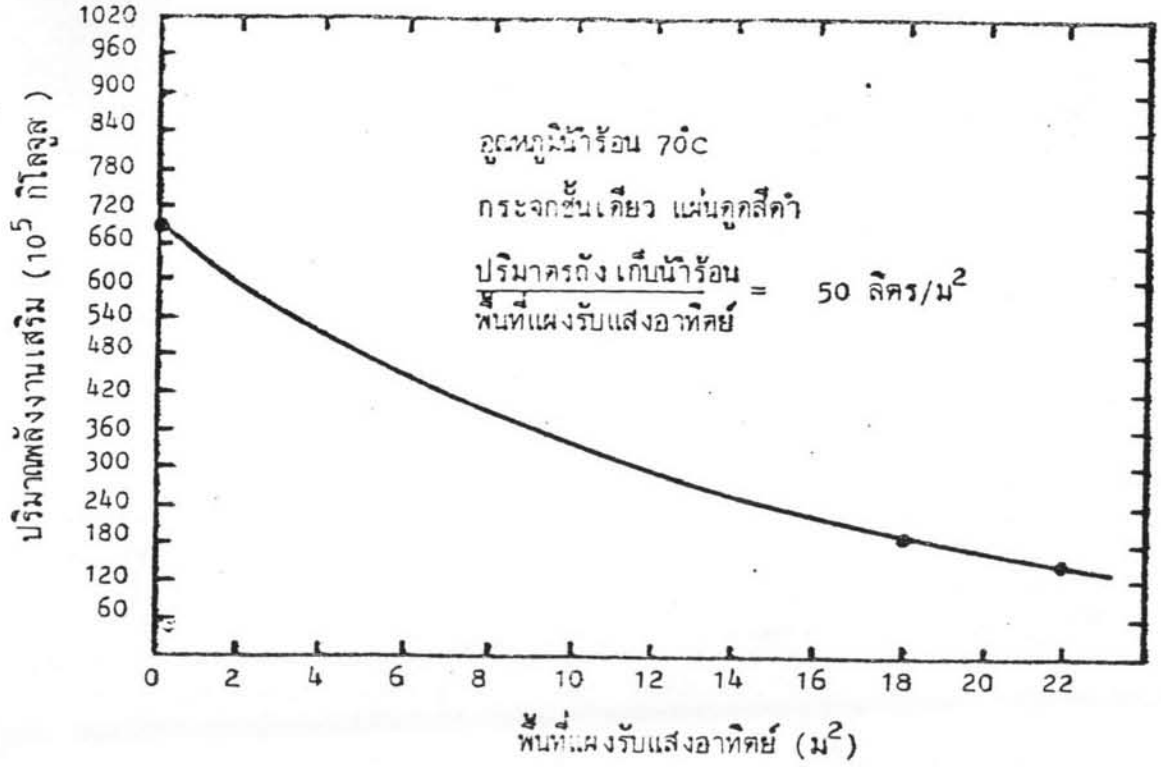
HEIGHT PER DIAMETER	COLLECTOR AREA	CUMULATIVE ENERGY			CHANGE ENERGY OF TANK	CUMULATIVE ENERGY		TOTAL LOAD
		INCIDENT SOLAR	USEFUL GAIN	TANK LOSS		SUPPLIED FROM TANK	SUPPLIED FROM AUXILLIARY	
1	18	108364896	50394328	1952750	-718036	49159615	19646357	
2	18	108364896	50491667	2046028	-721281	49136919	19669053	68805972
3	18	108364896	50495258	2192028	-724525	48995792	19819180	
4	18	108364896	50559050	2327889	-727465	48958626	19847346	

**ENERGY QUANTITIES ARE IN KJ.

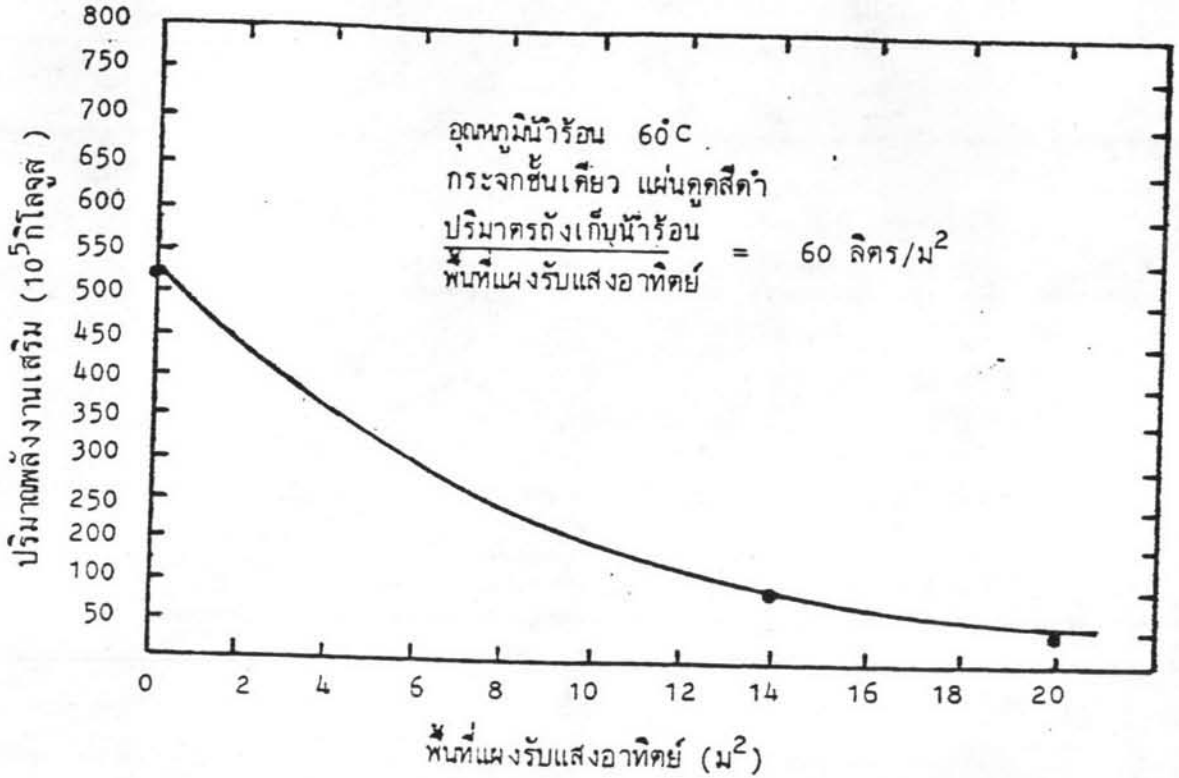
**COLLECTER AREA QUANTITIES ARE IN SQR METRES

ภาคผนวก ง

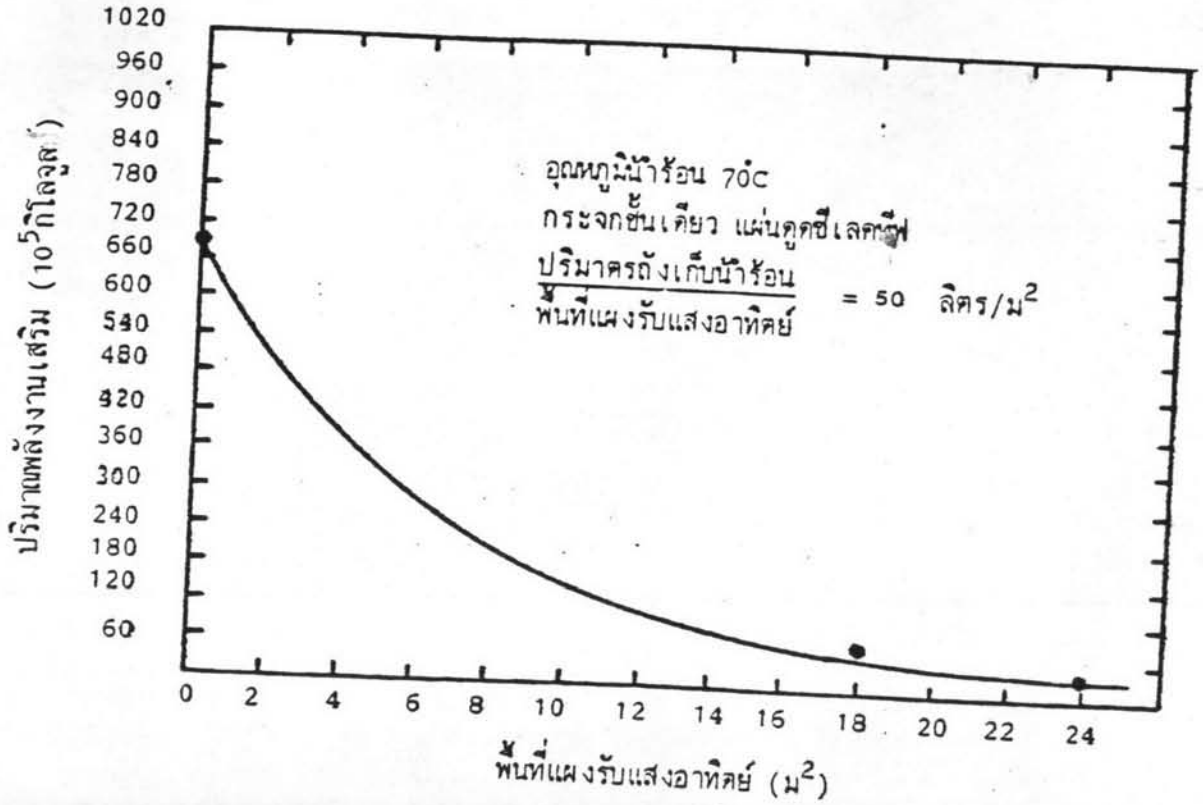
ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์กับปริมาณพลังงานเสริม สำหรับระบบที่เหมาะสม



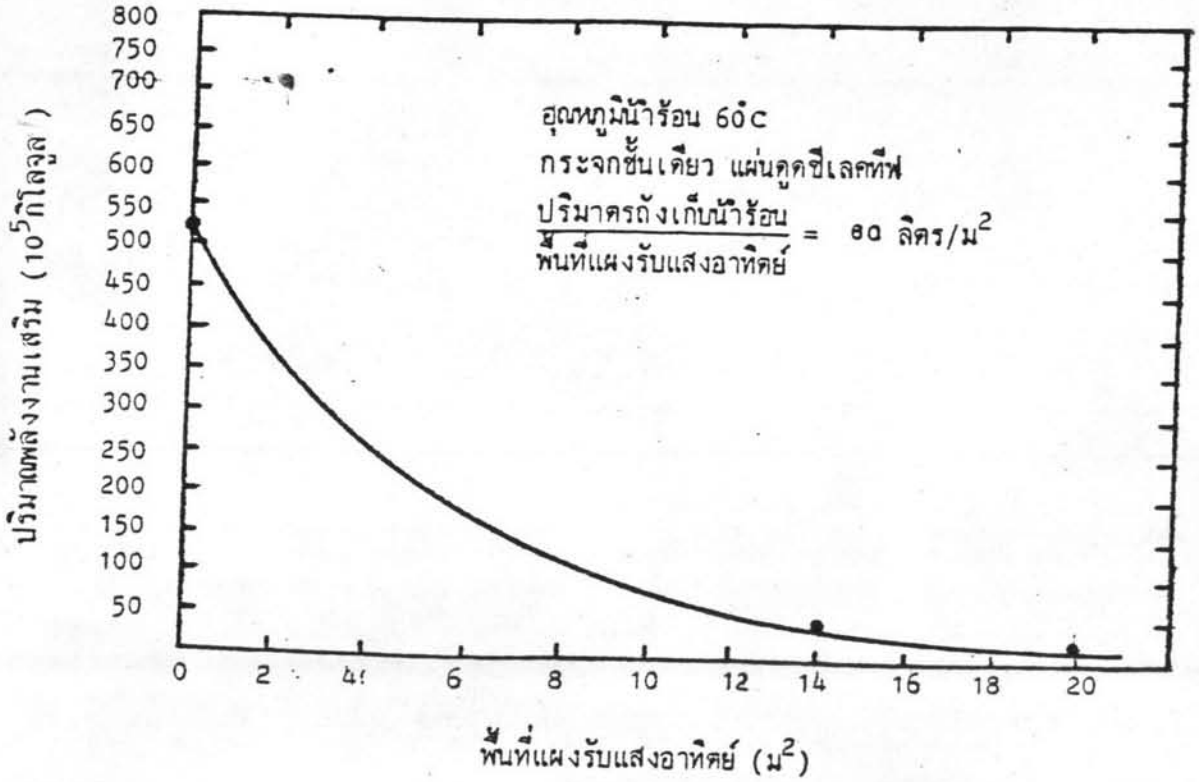
รูปที่ ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์



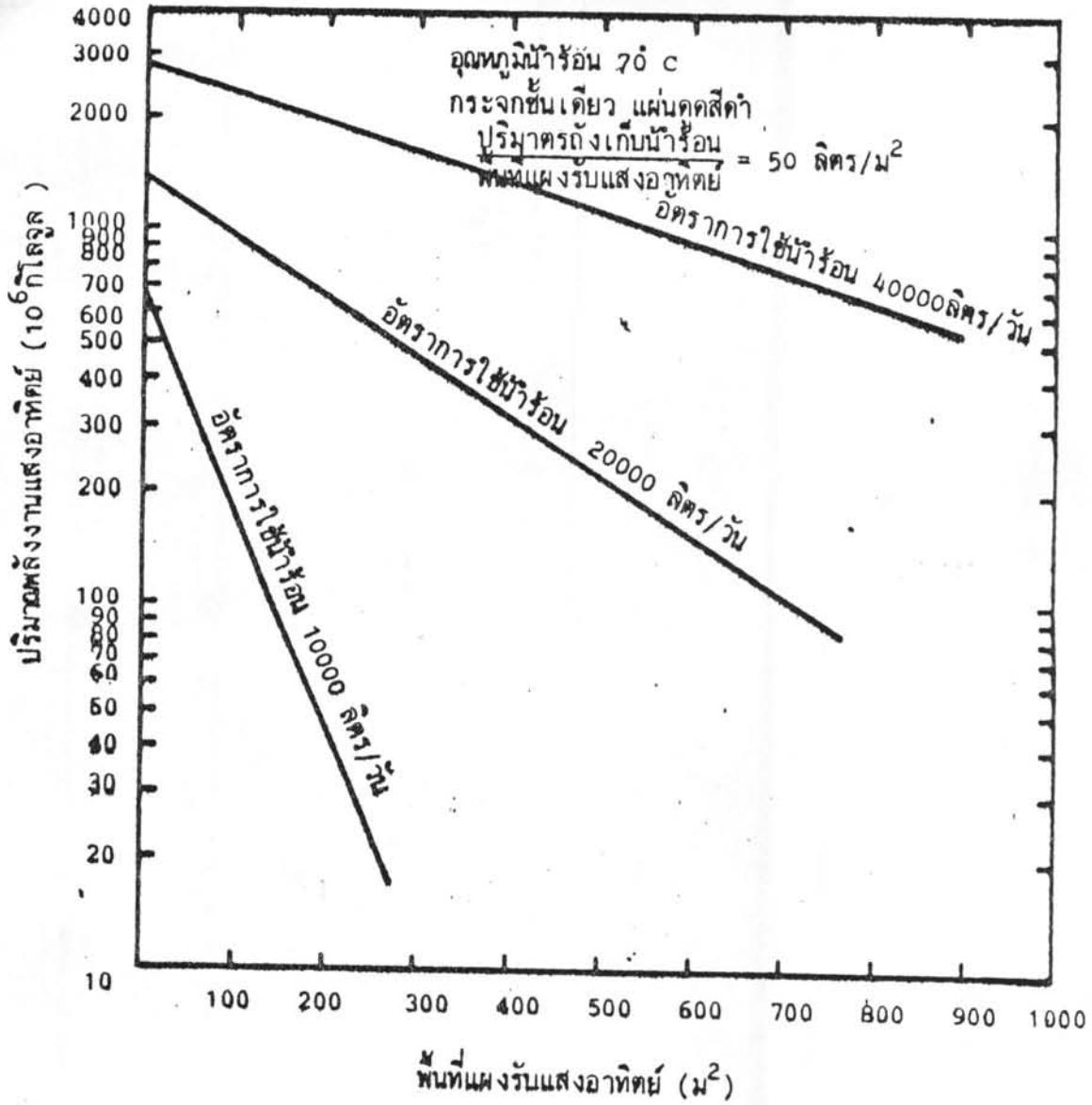
รูปที่ ง.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์



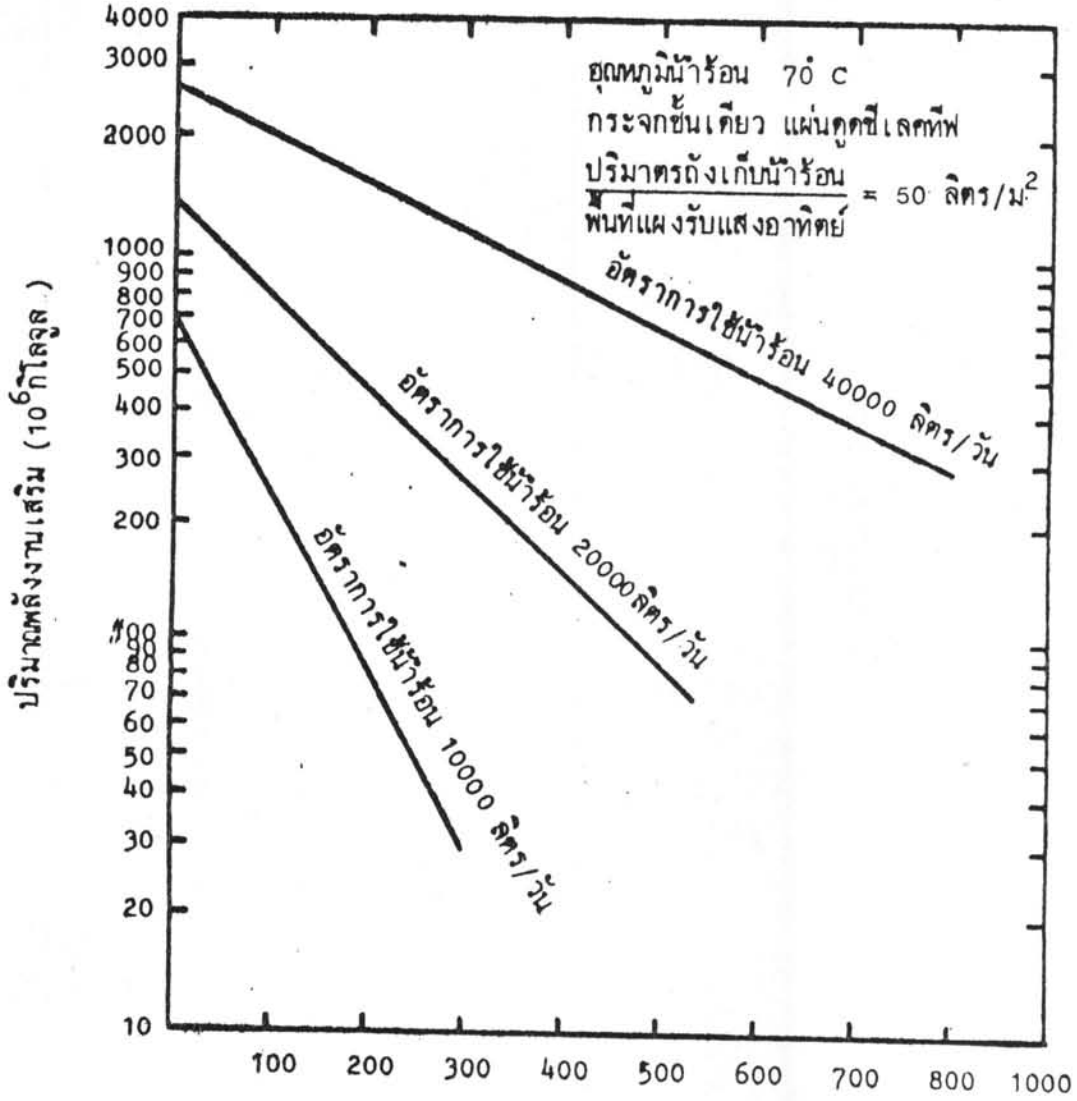
รูปที่ ง.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์



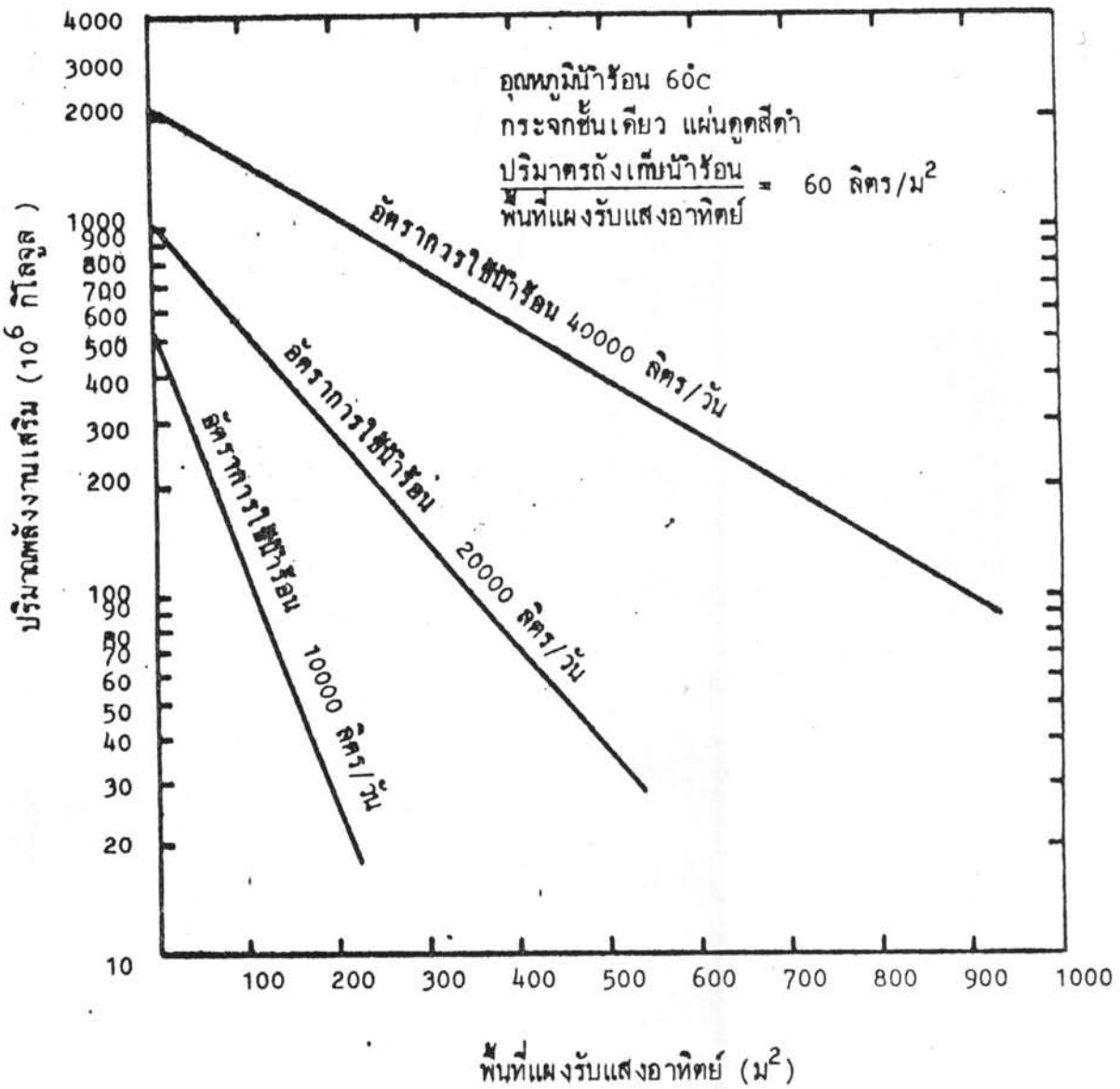
รูปที่ ง.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์



รูปที่ ง.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ เมื่ออัตราการใช้น้ำร้อน เพิ่มขึ้นในรูปแบบ SEMI-LOG

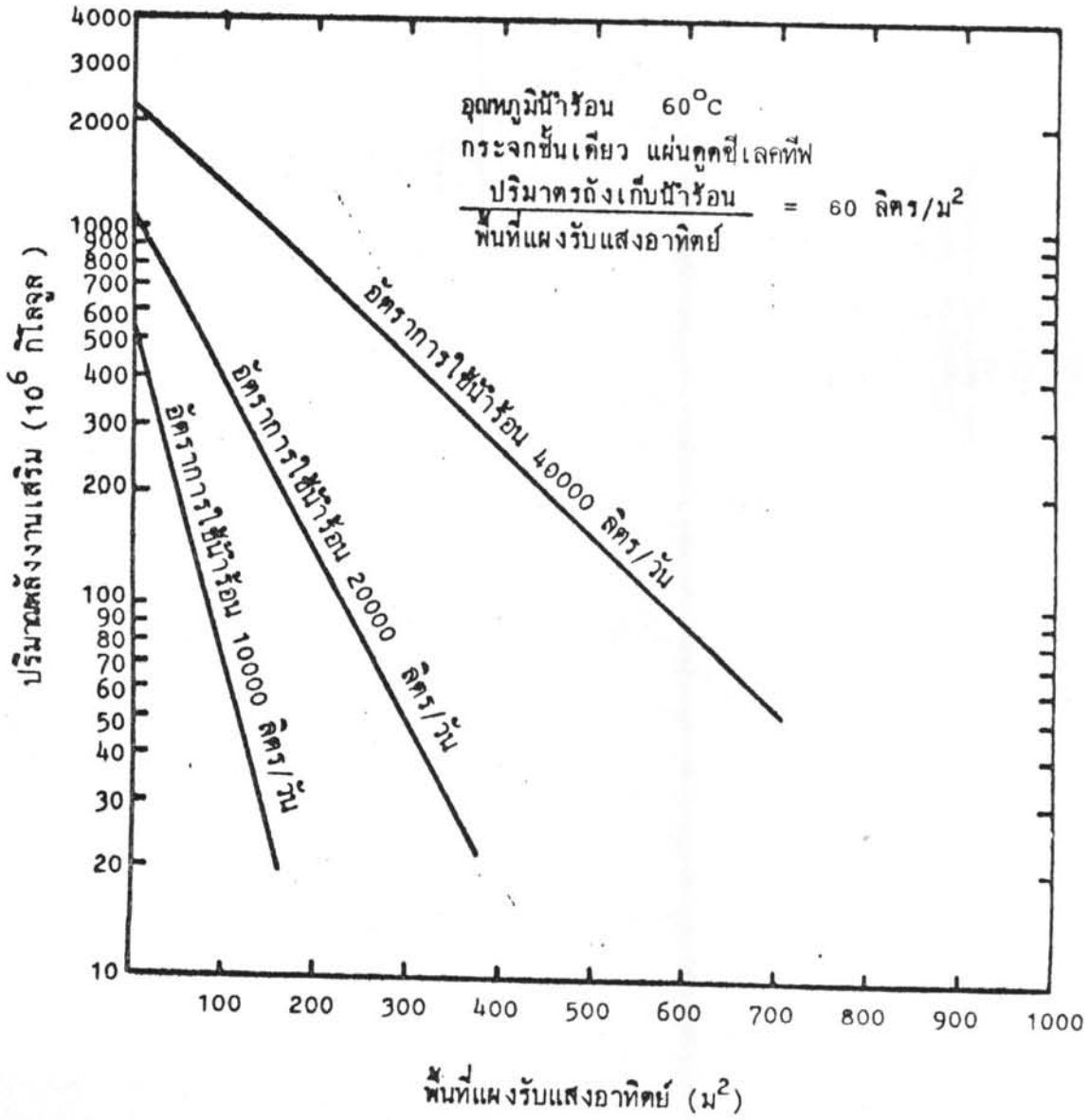


รูปที่ ง.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ เมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นในรูปแบบ SEMI-LOG



รูปที่ ง.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ เมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นในรูปแบบ SEMI-LOG

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ เมื่ออัตราการใช้น้ำร้อนเพิ่มขึ้นในรูปแบบ SEMI-LOG

ภาคผนวก จ

ตารางสรุป ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ตลอดปีกับค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม
สำหรับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริม

ตารางที่ จ.1

ปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งหมดกับค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม

อัตราการใช้น้ำร้อน 1000 ลิตร/วัน

อุณหภูมิน้ำร้อน (^{o}C)	ชนิดแผ่นดูด	ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน / พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ (ลิตร/ม^{2})	ปริมาตรพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กิโลจูล /ปี)	ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม/(ม$^{-2}$)
70	สีดำ	50	68,380,112	0.0707991445
		60	68,657,191	0.0710743678
		75	68,989,796	0.0704701346
		90	69,250,839	0.069571586

ตารางที่ จ.2

ปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งหมดกับค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม

อัตราการใช้น้ำร้อน 1000 ลิตร/วัน

อุณหภูมิน้ำร้อน (^{o}C)	ชนิดแผ่นดูด	ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน / พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ (ลิตร/ม^{2})	ปริมาตรพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กิโลจูล /ปี)	ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม/(ม$^{-2}$)
60	สีดำ	50	53,108,000	0.125622406
		60	53,178,379	0.129284986
		75	53,459,637	0.130015518
		90	53,855,619	0.128448582

ตารางที่ จ.3

ปริมาณพลังงานทั้งหมดกับค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม

อัตราการใช้น้ำร้อน 1000 ลิตร/วัน

อุณหภูมิน้ำร้อน (^{o}C)	ชนิดแผ่นดูด	ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน / พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ (ลิตร/ม^{2})	ปริมาตรพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กิโลจูล /ปี)	ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม/(ม$^{-2}$)
70	ซีเลคทีฟ	50	68,350,158	0.147661249
		60	6,846,689	0.102327659
		75	68,641,520	0.0999529603
		90	67,388,964	0.09678132

ตารางที่ จ.4

ปริมาณพลังงานทั้งหมดกับค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม

อัตราการใช้น้ำร้อน 1000 ลิตร/วัน

อุณหภูมิน้ำร้อน (^{o}C)	ชนิดของแผ่นดูด	ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน / พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ (ลิตร/ ม^{2})	ปริมาตรพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กิโลจูล /ปี)	ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม/(ม$^{-2}$)
60	ซีเลคทีฟ	50	52,718,314	0.186540331
		60	52,097,114	0.186540331
		75	53,284,184	0.193285264
		90	53,625,570	0.194583942

ตารางที่ จ.5

อุณหภูมิน้ำร้อน 70°C

กระจกชั้นเดียว

แผ่นดูดสีดำ

ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน/พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ = 50 ลิตร/ม^2

อัตราการใช้น้ำร้อน (ลิตร/วัน)	ปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กิโลจูล /ปี)	ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม(ม$^{-2}$)
1000	68380112	0.070791445
10000	685582349	0.0072230112
20000	1370297530	0.003633491
40000	2738772900	0.00182503544

ตารางที่ จ.6

อุณหภูมิน้ำร้อน 60°C

กระจกชั้นเดียว

แผ่นดูดสีดำ

ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน/พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ = 60 ลิตร/ม^2

อัตราการใช้น้ำร้อน (ลิตร/วัน)	ปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กิโลจูล /ปี)	ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม(ม$^{-2}$)
1000	53178379	0.129284986
10000	531933925	0.0134681123
20000	1065671380	0.00676454765
40000	2127808410	0.00340419823

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.7

อุณหภูมิน้ำร้อน 70°C

กระจกชั้นเดียว

แผ่นดูดซีเลคทีฟ

ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน/พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ = 50 ลิตร/ม^2

อัตราการใช้น้ำร้อน (ลิตร/วัน)	ปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กิโลจูล /ปี)	ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม(ม$^{-2}$)
1000	68350158	0.147661249
10000	686870868	0.0107354979
20000	1371477640	0.00543378022
40000	2742805120	0.00274022801

ตารางที่ จ.8

อุณหภูมิน้ำร้อน 60°C

กระจกชั้นเดียว

แผ่นดูดซีเลคทีฟ

ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน/พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ = 60 ลิตร/ม^2

อัตราการใช้น้ำร้อน (ลิตร/วัน)	ปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (กิโลจูล /ปี)	ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม(ม$^{-2}$)
1000	52097114	0.186540331
10000	530997952	0.0202521577
20000	1060315800	0.0103063359
40000	2145736480	0.00524790352

ภาคผนวก ฉ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และการหาพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม

```
10   LPRINT CHR$ (12)
20   DIM AOP (5,3) B (5,3), GG (5,3)
30   REM "AN OPTIMIZATION FORMULATION FOR SOLAR HEATING SYSTEMS"
40   REM "QM AND LAMDA ARE COME FROM TRNSYS"
50   CF$(1)= "ELECTRICITY": CF$(2) ="GAS" : CF$(3) = "BUNKER OIL"
60   WA$= "70 C°":NU$="1": TY$="BLACK":TA$="50   LITRES/M²":TR$=18.0%:LF
$="20   YEAR  ":AB$="1000  LITRES/DAY":CD$="Baht/M²":DD$="14.0%"
70   INPUT "LIFE CYCLE=";N
80   INPUT "INTEREST RATE IN PERCENT=";I
90   INPUT "DISCOUNT RATE IN PERCENT=";DD
100  INPUT "ELECTRICITY COST PER KJ.=";CF1
110  INPUT "GAS COST PER KJ.=";CF2
120  INPUT "BUNKER OIL COST PER KJ.=";CF3
130  CF(1)=CF1:CF(2)=CF2:CF(3)=CF3
140  INPUT "CONVENITIONAL ENERGY=";QM
150  INPUT "AUXILLIARY ENERGY CONSUMPTION DECAY CONSTANT=";LAMDA
160  INPUT "SYSTEM COST IN (Baht/M²)=";C
170  INPUT "FUEL INFLATION RATE IN PERCENT=";I1
180  LPRINT CHR$(14);TAB(6);"Solar Process for Hot Water
190  LPRINT CHR$(14);TAB(16);"and"
200  LPRINT CHR$(14);TAB(14);"Economics"
210  LPRINT CHR$(27);"E"
220  LPRINT TAB(10)"TEMPERATURE OF HOT WATER";:LPRINT TAB(62)WA$:LPRINT
TAB(10) "NUMBER OF COVER GLASS";:LPRINT TAB(62) NU$:LPRINT TAB(10) "TYPE
OF ABSORBER PLATE";:LPRINT TAB(26) TY$;:LPRINT TAB(10)"STORAGE TANK PER
COLLECTOR AREA";:LPRINT TAB(62)TA$
230 LPRINT TAB(10) "INTEREST RATE";:LPRINT TAB(62) TR$: LPRINT TAB(62)
DD$:LPRINT TAB(10) "LIFE CYCLE";:LPRINT TAB(62) LF$
240  LPRINT TAB(10)"LOAD";:LPRINT TAB(62) AB$
250  LPRINT CHR$(27); "F"
260  LPRINT"-------------------------------------------------------------
-----------------------"
270  LPRINT CHR$(27); "E"
280  LPRINT TAB(4); "SYSTEM COST";TAB(18); "TYPE OF FUEL"; TAB(32);
"FUEL COST"; TAB(45); "SUITABLE AREA"; TAB(60);"SYSTEM COST"
290  LPRINT TAB(4);"(Baht/M²)"; TAB(32)" (Baht/KJ)";TAB(45)" (M²)";
TAB(60);" (Baht)"
300  LPRINT CHR$(27);"F"
310  LPRINT "-------------------------------------------------------------
-----------------------"
320  FOR I3=1 TO 5
330  CC=C:C1=CC+500*(I3-1)
340  FOR I2=1 TO 3:CF=CF(I2)
350  II=(I/100)*(((1+(I/100))^N))/(((1+(I/100))^N)-1)
360  IF I1=I THEN SS=N*(1+(I1/100))
370  IF I1<>I THEN SS=(1/((I/100)-(I1/100))*(1-((((1+(I1/100))/(1+I/100
)))^N)))
380  CFB=CF*SS*II
390  IF I1=0 THEN CFB!=CF(12)
400  AOP(I3,I2)=(1/LAMDA)*LOG((QM*CFB*LAMDA)/(C1*II))
410  IF AOP(I3,I2)<2THEN AOP(I3,I2)=0
420  B(I3,I2)=(AOP(I3,I2)*C1)
430  GG(I3,I2)=B(I3,I2)
440  LPRINT
450  IF I2<>2 THEN 470
460  LPRINT TAB(4) C1;
```

```
470  LPRINT TAB(18) CF$(I2);:LPRINT TAB(32);:LPRINT USING";.######";CF;
480  LPRINT TAB(47);:LPRINT USING"####.##";AOP(I3,I2);
490  LPRINT TAB(60);:LPRINT USING"########";B(I3,I2)
500  NEXT I2
510  LPRINT
520  LPRINT"-------------------------------------------------------
------------"
530  NEXT I3
540  LPRINT CHR$(12)
550  DIM MORT(30),FF(30),SOLX(21,6,4),DEP(30),INS(30),PWSS(21,6,4)
560  DIM INTER(30), PROP(30), FUEL(30),MAINT(30), PAR(30)
570  INPUT"INSURANCE RATE IN PERCENT=";INS1
580  INPUT "PARASITIC ENERGY/M2=";PAR1
590  INPUT "MAINTENANCE RATE IN PERCENT=";MAINT1
600  INPUT "DOWN PAYMENT IN PERCENT=";DOWN
610  INPUT "PROPERTY TAX RATE IN PERCENT=";PROP1
620  INPUT "GENERNAL INFLATION RATE IN PERCENT=";E
630  INPUT "EFFECTIVE TAX RATE IN PERCENT=";EFF
640  CLS
650  PRINT "TYPE OF DEPRECIATION"
660  PRINT "A FOR STRAIGHT LINE DEPRECIATION"
670  PRINT "B FOR DECLINING BALANCE DEPRECIATION"
680  PRINT "C FOR DIGITS DEPRECIATION"
690  PRINT "D FOR SINGING FUND DEPRECIATION"
700  INPUT "WHICH ONE DO YOU WANT (A,B,C OR D)";V$
710  IF V$="B" THEN INPUT "RATE OF DEPRECIATION=";F ELSE INPUT "SALVAGE
VALVE=";S
720  INPUT "DEPRECIATION LIFE TIME=";M
730  FOR I3=1 TO 5
740  CC=C:C1=CC+500*(I3-1)
750  FOR I2=1 TO 3
760  ON ASC(V$)-64 GOSUB 1460,1510, 1550, 1590
770  INS=INS1*B(I3,I2)/100
780  PAR=PAR1*AOP(I3,I2)
780  MAINT=MAINT1*B(I3,I2)/100
800  PROP=PROP1*B(I3,I2)/100
810  LPRINT CHR$(27);"E"
820  LPRINT TAB(10)"TEMPERATURE OF HOT WATER";:LPRINT TAB(62)WA$
830  LPRINT TAB(10)"NUMBER OF COVER GLASS";:LPRINT TAB(62) NU$
840  LPRINT TAB(10)"TYPE OF ABSORBER PLATE";:LPRINT TAB(62) TY$
850  LPRINT TAB(10)"STORAGE TANK PER COLLECTOR AREA";:LPRINT TAB(62)TA$
860  LPRINT TAB(10)"SYSTEM COST";:LPRINT TAB(61)C1;:LPRINT TAB(68)CD$
870  LPRINT TAB(10)"INTEREST RATE"::LPRINT TAB(62) TR$
880  LPRINT TAB(10)"DISCOUNT RATE";:LPRINT TAB(62)DD$
890  LPRINT TAB(10)"TYPE OF FUEL";:LPRINT TAB(62)CF$(I2)
900  LPRINT TAB(10)"SUITABLE AREA";:LPRINT TAB(61);:LPRINT USING "###.
##";:AOP(I3,I2)
910  LPRINT TAB(70) "M2"
920  LPRINT TAB(10)"LOAD";:LPRINT TAB(62) AB$
930  LPRINT CHR$(27);"F"
940  LPRINT
950  LPRINT "-------------------------------------------------------
----------------"
960  LPRINT CHR$(27);"E"
970  LPRINT TAB(71) ;"PW OF"
980  LPRINT "YEAR";TAB(7); "FUEL";TAB(17);"MORTGAGE";TAB(28);"MAINT-";
TAB(36);"PARASITIC";TAB(46);"DEPRECIATION";TAB(60);"SOLAR";TAB(71);
"SOLAR"
```

```
990  LPRINT TAB(7);"SAVING";TAB(17);"PAYMENT";"ENANCE";TAB(36);"ENEGY "
;TAB(60);"SAVING";TAB(71); "SAVING"
1000 LPRINT CHR$(27)"F"
1010 LPRINT "-----------------------------------------------------------
-----------------------"
1020 ZZ=(DOWN*B(I3,I2)/100)
1030 B(I3,I2)=B(I3,I2)-(ZZ)
1040 FUEL=QM*EXP((-1)*LAMDA*AOP(I3,I2)*CF(I2)
1050 FF=QM*CF(I2)
1060 II=((I/100)*((1+(I/100))^N))/(((1+(I+(I/100))^N)-1)
1070 MORT=B(I3,I2)*II:MORT(1)=MORT
1080 PROP(1)=PROP:FUEL(1)=FUEL:FF(1)=FF:MAINT(1)=MAINT:INS(1)=INS:PAR
(1)=PAR
1090 INTER(1)=B(I3,I2)*I/100
1100 TOTAL = 0
1110 FOR X=0 TO N
1120 FUS=FF(X)-FUEL(X)
1130 TAXSA=(EFF/100)*(INTER(X)+PROP(X)-FUS+MAINT(X)+PAR(X)+INS(X)+DEP
(X)
1140 YCOST=MORT(X)+MAINT(X)+PART(X)+INS(X)+PROD(X)-TAXSA
1150 SOLX(X,I3,I2)=FUS-YCOST
1160 IF X=0 THEN SOLX(0,I3,I2)=(-ZZ)
1170 PRINC=MORT(X)-INTER(X)
1180 BAL=B(I3,I2)-PRINC
1190 INTER(X+1)=BAL*I/100
1200 B(I3,I2)=BAL
1210 MORT(X+1)=MORT
1220 FF(X+1)=FF*((1+(I1/100)^X)
1230 PAR(X+1)=PAR*((1+(I1/100))^X)
1240 PROP(X+1)=PROP*(1+(E/100))^X)
1250 FUEL(X+1)=FUEL*((1+(I1/100))^X)
1260 MAINT(X+1)=MAINT*((1+(E/100))^X)
1270 INS(X+1)=INS*((1+(E/100))^X)
1280 PWSS(X,I3,I2)=SOLX(X,I3,I2)/(1+(DD/100))^X)
1290 TOTAL=TOTAL+PWSS(X,I3,I2)
1300 LPRINT X;:LPRINT TAB(6);:LPRINT USING "######.##";FUS;
1310 LPRINT TAB(16);:LPRINT USING "######.##";MORT(X);
1320 LPRINT TAB(26);:LPRINT USING "#####.##";MAINT(X);
1330 LPRINT TAB(35);:LPRINT USING "#####.##";PAR(X);
1340 LPRINT TAB(47);:LPRINT USING"#####.##";DEP(X);
1350 LPRINT TAB(59);:LPRINT USING "######.##";SOLX(X,I3,I2);
1360 LPRINT TAB(69);:LPRINT USING "######.##";PWSS(X,I3,I2)
1370 NEXT X
1380 LPRINT CHR$(27);"E"
1390 LPRINT TAB(28);"TOTAL PRESENT WORTH OF SOLAR SAVING=";TAB(66)INT
((TOTAL+5.000001E-03)*100)/100
1400 LPRINT CHR$(27);"F"
1410 LPRINT "-----------------------------------------------------------
-----------------------"
1420 LPRINT CHR$(12)
1430 NEXT I2
1440 NEXT I3
1450 GOTO 1630
1460 FOR X=1 TO M
1470 DEP=(B(I3,I2)-S)/M
1480 DEP(X)=DEP
```

```
1490  NEXT X
1500  RETURN
1510  FOR X=1 TO M
1520  DEP(X)=B(I3,I2)*((1-(F/100))^(X-1))*F/100
1530  NEXT X
1540  RETURN
1550  FOR X=1 TO M
1560  DEP(X)=(B(I3,I2)-S)*(M-X+1)/((M*(M+1))/2)
1570  NEXT X
1580  RETURN
1590  FOR X=1 TO M
1600  DEP(X)=(B(I3,I2)-S)*((I/100)/((1+(I/100))^(M-1))*((1+(I/100)^(X-1))
1610  NEXT X
1620  RETURN
1630  INPUT "EXPECT ROW RATE OF RETURN=";ROW
1640  INPUT "EXPECT HIGH OF RETURN=";HIGH
1650  LPRINT CHR$(14);TAB(10);"Economics Analysis"
1660  LPRINT
1670  LPRINT CHR$(27); "E"
1680  LPRINT TAB(15) "TEMPERATURE OF HOT WATER";:LPRINT TAB(50) WA$
1690  LPRINT TAB(15) "NEMBER OF COVER GLASS";:LPRINT TAB(50) NU$
1700  LPRINT TAB(15) "TYPE OF ABSORBER PLATE";:LPRINT TAB(50) TY$
1710  LPRINT TAB(15) "INTEREST RATE";:LPRINT TAB(50) TR$
1720  LPRINT TAB(15) "DISCOUNT RATE";:LPRINT TAB(50) DD$
1730  LPRINT TAB(15) "LIFE CYCLE";:LPRINT TAB(50) LF$
1740  LPRINT CHR$(27); "F"
1750  LPRINT "-------------------------------------------------------
------------------------"
1760  LPRINT CHR$(27); "E"
1770  LPRINT TAB(4);"SYSTEM COST";TAB(17) "SUITABLE";TAB(27)"TYPE OF
FUEL";TAB(40)"RATE OF RETURN";TAB(57) "PAYBACK PERIOD"
1780  LPRINT TAB(6); "(Baht/M2)";TAB(17)"AREA",TAB(45)"(%)";TAB(60)
"(YEAR)"
1790  LPRINT CHR$(27); "F"
1800  LPRINT "-------------------------------------------------------
------------------------"
1810  FOR I3=1 TO 5
1820  CC=C:C1=CC+500*(I3-1)
1830  FOR I2=1 TO 3
1840  PWFF=0:PC=0:A$="-"
1850  FOR R=ROW TO HIGH STEP 2
1860  FOR J=0 TO N
1870  PW=SOLX(J,I3,I2)/((1 +(R/100))^J)
1880  PWFF=PWFF+PW
1890  NEXT J
1900  IF R=ROW GOTO 1970
1910  IF ABS(PWFF-GG(I3,I2))<100 GOTO 2200
1920  IF PWFF>GG(I3,I2) THEN PWL=PWFF:R1=R
1930  IF PWFF<GG(I3,I2) THEN PWM=PWFF:R2=R:GOTO  1960
1940  PWFF=0
1950  NEXT R
1960  ROI=R2-((PWM-GG(I3,I2))/(PWM-PWL))*(R2-R1):GOTO 1990
1970  IF PWFF<GG(I3,I2) THEN R=0:ROI=R:GOTO 1990
1980  GOTO 1910
1990  FOR J=0 TO N
2000  P=SOLX(J,I3,I2)/((1+(DD/100))^J)
```

```
2010  PC=PC+P
2020  IF PC<GG(I3,I2) THEN PCL=PCL=PC:J1=J
2030  IF PC>GG(I3,I2) THEN PCM=PC:J2=J:GOTO 2070
2040  IF ABS(PC-GG(I3,I2))<.1 THEN JJ=J=GOTO 2080
2050  NEXT J
2060  IF PC<GG(I3,I2) THEN J=O:JJ=J:GOTO 2080
2070  JJ=J2-((PCM-GG(I3,I2))/(PCM-PCL))*(J2-J1)
2080  LPRINT
2090  IF I2<>2 THEN 2110
2100  LPRINT TAB(6) C1;
2110  LPRINT TAB(17); LPRINT USING "###.##+; AOP (I3,I2);
2120  LPRINT TAB(27) CF$(I2);
2130  IF ROI=O THEN LPRINT TAB(46) A$ ELSE LPRINT TAB(44);:LPRINT US
ING"##.##";ROI;
2140  IF JJ=O THEN LPRINT TAB(63)A$ ELSE PRINT TAB(60);:LPRINT USING
"##.##"; JJ
2150  NEXT I2
2160  LPRINT
2170  LPRINT "-------------------------------------------------------
---------------"
2180  NEXT I3
2190  END
2200  IF ABS(PWFF)>100 THEN ROI=R:GOTO 1990
2210  ROI=O:GOTO 1990
```

```
LIFE CYCLE=? 20
INTEREST RATE IN PERCENT=? 18
DISCOUNT RATE IN PERCENT=? 14
ELECTRICITY COST PER KJ.=? .000486
GAS COST PER KJ.=? .0004
BUNKER OIL COST PER KJ.=? .0002
CONVENTIONAL ENERGY=? 68380112
AUXILLIARY ENERGY CONSUMPTION DECAY CONSTANT=? .0707991445
SYSTEM COST IN (Baht/M^2)=? 4000
FUEL INFLATION RATE IN PERCENT=? 10
INSURANCE RATE IN PERCENT=? 0
PARASITIC ENERGY/M^2=?68.68
MAINTENANCE RATE IN PERCENT=? .5
DOWN PAYMENT IN PERCENT=? 0
PROPERTY TAX RATE IN PERCENT=? 0
GENERAL INFLATION RATE IN PERCENT=? 6
EFFECTIVE TAX RATE IN PERCENT=? 40
TYPE OF DEPRECIATION
A FOR STRAIGHT LINE DEPRECIATION
B FOR DECLINGING BALANCE DEPRECIATION
C FOR DIGITS DEPRECIATION
D FOR SINGING FUND DEPRECIATION
WHICH ONE DO YOU WANT(A,B,C OR D)? A
SALVAGE VALVE=? 0
DEPRECIATION LIFE TIME=? 5
ROW RATE OF RETURN=? 0
HIGH RATE OF RETURN=? 100
```

TEMPERATRUE OF HOT WATER	70 C^{o}
NUMBER OF COVER GLASS	1
TYPE OF ABSORBER PLATE	BLACK
STORAGE TANK PER COLLECTOR AREA	50 LITRES/M^2
INTEREST RATE	18.0%
LIFE CYCLE	20 YEARS
LOAD	1000 LITRES/DAY

SYSTEM COST (Baht/M^2)	TYPE OF FUEL	FUEL COST (Baht/KJ)	SUITABLE AREA (M^2)	SYSTEM COST (Baht)
	ELECTRICITY	.000486	24.20	96794
4000	GAS	.000400	21.45	85792
	BUNKER OIL	.000200	11.66	46630
	ELECTRICITY	.000486	22.53	101407
4500	GAS	.000400	19.78	89029
	BUNKER OIL	.000200	9.99	44973
	ELECTRICITY	.000486	21.05	105234
5000	GAS	.000400	18.30	91481
	BUNKER OIL	.000200	8.51	42529
	ELECTRICITY	.000486	19.70	108353
5500	GAS	.000400	16.95	93225
	BUNKER OIL	.000200	7.16	39378
	ELECTRICITY	.000486	18.47	110830
6000	GAS	.000400	15.72	94326
	BUNKER OIL	.000200	5.93	35584

TEMPERATURE OF HOT WATER	70 C^{o}
NUMBER OF COVER GLASS	1
TYPE OF ABSORBER PLATE	BLACK
STORAGE TANK PER COLLECTOR AREA	50 LITRES/M^2
SYSTEM COST	4000 Baht/M^2
INTEREST RATE	18.0 %
DISCOUNT RATE	14.0 %
TYPE OF FUEL	GAS
SUITABLE AREA	21.45 M^2
LOAD	1000 LITRES/DAY

YEAR	FUEL SAVING	MORTGAGE PAYMENT	MAINT-ENANCE	PARASITIC ENERGY	DEPRE-CIATION	SOLAR SAVING	PW OF SOLAR SAVINGS
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	21360.82	16027.62	428.96	1473.04	17158.36	8688.02	7621.07
2	23496.91	16027.62	454.70	1620.35	17158.36	9823.72	7559.03
3	25846.60	16027.62	481.98	1782.38	17158.36	11070.23	7472.09
4	28431.26	16027.62	510.90	1960.62	17158.36	12438.08	7364.34
5	31274.38	16027.62	541.55	2156.69	17158.36	13938.71	7239.33
6	34401.82	16027.62	574.04	2372.35	0.00	8721.26	3973.29
7	37842.01	16027.62	608.49	2609.59	0.00	10525.99	4206.58
8	41626.20	16027.62	645.00	2870.55	0.00	12504.30	4383.50
9	45788.83	16027.62	683.70	3157.60	0.00	14672.22	4511.82
10	50367.71	16027.62	724.72	3473.36	0.00	17047.14	4598.36
11	55404.48	16027.62	768.20	3820.70	0.00	19647.85	4649.02
12	60944.93	16027.62	814.29	4202.77	0.00	22494.74	4668.99
13	67039.43	16027.62	863.15	4623.05	0.00	25609.78	4662.76
14	73743.37	16027.62	914.94	5085.35	0.00	29016.69	4634.25
15	81117.70	16027.62	969.83	5593.89	0.00	32740.96	4586.89
16	89229.47	16027.62	1028.02	6153.28	0.00	36810.00	4523.64
17	98152.42	16027.62	1089.71	6768.60	0.00	41253.15	4447.08
18	107967.70	16027.62	1155.09	7445.46	0.00	46101.74	4359.43
19	118764.40	16027.62	1224.39	8190.01	0.00	51389.13	4262.64
20	130640.90	16027.62	1297.86	9009.01	0.00	57150.74	4158.39

TOTAL PRESENT WORTH OF SOLAR SAVING = 103882.5

TEMPERATURE OF HOT WATER	70 C^{O}
NUMBER OF COVER GLASS	1
TYPE OF ABSORBER PLATE	BLACK
INTEREST RATE	18.0 %
DISCOUNT RATE	14.0 %
LIFE CYCLE	20 YEARS

SYSTEM COST ($Baht/M^2$)	SUITABLE AREA	TYPE OF FUEL	RATE OF RETURN (%)	PAYBACK PERIOD (YEAR)
	24.20	ELECTRICITY	19.14	12.53
4000	21.45	GAS	16.48	15.81
	11.66	BUNKER OIL	8.03	-
	22.53	ELECTRICITY	17.65	14.22
4500	19.78	GAS	15.15	17.96
	9.99	BUNKER OIL	6.99	-
	21.05	ELECTRICITY	16.39	15.92
5000	18.30	GAS	13.93	-
	8.51	BUNKER OIL	5.94	-
	19.70	ELECTRICITY	15.31	17.66
5500	16.95	GAS	12.95	-
	7.16	BUNKER OIL	5.13	-
	18.47	ELECTRICITY	14.31	19.44
6000	15.72	GAS	11.98	-
	5.93	BUNKER OIL	4.27	-

ภาคผนวก ช

การวิเคราะห์หาพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง

ความสัมพันธ์ของพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์กับพลังงานเสริมจะอยู่ในรูปเอกโปเนนเชียล จากความสัมพันธ์ที่ได้จะได้สมการในการหาพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่อปีต่ำ อย่างไรก็ตามอาจจะมีปัญหาในการใช้พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม เนื่องจากขีดจำกัดในการสร้างหรือขีดจำกัดอื่น ๆ

1) พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่อปีของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$B = (C_c + bC_t + C_y)\, AI + Q^{o}_{aux} C_f + M \qquad (ช-1)$$

เมื่อ $$I = \frac{i\,(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

โดยที่ A - พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

C_c - ราคาของแผงรับแสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่

C_t - ราคาของถังเก็บน้ำร้อนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

b - อัตราส่วนปริมาตรถังเก็บน้ำร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

C_y - ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

Q^{o}_{aux} - ปริมาณพลังงานเสริมที่ใช้ต่อปี

C_f - ราคาพลังงานเสริม

M - ค่าใช้จ่ายที่ไม่ขึ้นอยู่กับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

i - อัตราดอกเบี้ย

N - อายุการใช้งานของระบบ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ราคาของพลังงานเสริมเมื่อราคาพลังงานเพิ่มขึ้นปีละ E เปอร์เซนต์

$$\bar{C}_f = C_f eI \qquad (ช-2)$$

$$e = \begin{cases} \frac{1}{(i-E)} \cdot \left(1-\left(\frac{1+E}{1+i}\right)^N\right) & i \neq E \\ \frac{N}{N(1+i)} & i = E \end{cases} \qquad (ช-3)$$

โดยที่ $\bar{C}_f$ - ราคาของพลังงานเสริมเมื่อราคาพลังงานเพิ่มขึ้น

C_f - ราคาของพลังงานต่อหน่วยเมื่อราคาพลังงานคงที่

I - แฟคเตอร์สำหรับเทียบค่าเป็นรายปีของค่าใช้จ่าย

i - อัตราดอกเบี้ย

E - ราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้นต่อปี

N - อายุการใช้งานของระบบ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานเสริมกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

$$Q^o_{aux} = Q_m e^{-\lambda A} \qquad (ช-4)$$

โดยที่ λ - ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม

Q_m - ค่าของพลังงานทั้งหมดที่ภาระต้องการหรือค่าของพลังงานเสริม เมื่อไม่มีพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

แทนค่าสมการ (ช-4) เข้าไปในสมการ (ช-1) แล้วดิฟเฟอเรนชิเอทเทียบกับ A จะได้

$$\frac{dB}{dA} = (C_c + C_t + b + C_y)I - \lambda Q_m \bar{C}_f e^{-\lambda A} \qquad (ช-5)$$

$$\frac{dB}{dA} = 0 \qquad (ช-6)$$

จะได้

$$A_{op} = \frac{1}{\lambda} \ln\gamma \qquad (ช-7)$$

เมื่อ $\gamma = \dfrac{Q_m \bar{C}_f \lambda}{(C_c + bC_t + C_y)I}$

2) พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง

ในทางปฏิบัติพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่หาได้อาจจะมีข้อจำกัดในการสร้างหรือขีดจำกัดของแผงรับแสงอาทิตย์เอง เช่น พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมมีขนาดเท่ากับ 17 ตารางเมตร เมื่อนำแผงรับแสงอาทิตย์ที่มีขนาด 2 ตารางเมตรมาต่อเข้าด้วยกับเป็นกลุ่ม ถ้าใช้ 8 แผงก็จะมีพื้นที่น้อยกว่า 17 ตารางเมตร ถ้าใช้ 9 แผงจะมีพื้นที่มากกว่า 17 ตารางเมตร เป็นต้น ดังที่กล่าวมาพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม, A_{op} เช่น $A_{op} \pm \Delta A$ เพื่อที่จะตรวจสอบผลของพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม ที่มีต่อค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่อปี วิเคราะห์สมการได้ดังต่อไปนี้

จากสมการ

$$B = (C_c + C_t b + C_y)AI + Q^{o}_{aux} C_f + M$$

เมื่อแทนค่า $A_{op} = \frac{1}{\lambda} \ln\gamma$

$$Q^{o}_{aux} = Q_m e^{-\lambda A}$$

$$\gamma = \frac{Q_m \bar{C}_f \lambda}{(C_c + bC_t + C_y)I}$$

$$B_{op} = (C_c + bC_t + C_y)I \cdot \frac{1}{\lambda}\ln\gamma + Q_m e^{-\lambda \cdot \frac{1}{\lambda}\ln\gamma} \cdot C_f + M$$

$$= (C_c + bC_t + C_y) I \cdot \frac{1}{\lambda}\ln\gamma + \frac{\gamma}{\lambda}(C_c + bC_t + C_y) I e^{-\ln\gamma} + M$$

$$= C_s (A_{op} + \frac{\gamma}{\lambda} \cdot \bar{e}^{\ln\gamma}) + M$$

$$= C_s (A_{op} + \bar{\lambda}^{1}) + M \qquad (ช-8)$$

เมื่อ $C_s = (C_c + bC_t + C_y)I$

โดยที่ C_s - ค่าใช้จ่ายรายปีของระบบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

ค่าใช้จ่ายสำหรับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ $A_{op} \pm \Delta A$

$$B(A_{op} \pm \Delta A) = B_{op} + C_s[\pm\Delta A + \bar{\lambda}^{1} \cdot (\bar{e}^{\pm\lambda\Delta A_{op}} - 1)] \qquad (ช-9)$$

$$\simeq B_{op} + \lambda C_s (\Delta A)^2/2 \qquad (ช-10)$$

โดยการขยายอนุกรม TAYLOR ในรูปเอ็กโปเนนเชียลของสมการ (ช-9) และสามารถเขียนได้ใหม่โดยสมการ (ช-10)

สำหรับค่า ΔA มีค่าน้อยโดยที่ $\lambda(\Delta A)^2 << A_{op}$ เช่น $A_{op} >> 10\ \lambda(\Delta A)^2$ ฟังก์ชั่นของราคาจะไม่เปลี่ยนแปลงจากค่าที่เหมาะสมมากนัก สำหรับ ΔA มีค่ามาก พื้นที่แผงรับแสงอาจจะใหญ่กว่าหรือเล็กกว่า A_{op} โดยพิจารณาฟังก์ชั่นต่อไปนี้

$$F = C(A_{op} - \Delta A) - C(A_{op} + \Delta A)$$
$$= C_s(\lambda . e^{-1\ \lambda\Delta A} - \lambda . e^{-1-\lambda\Delta A} - 2\Delta A)$$
$$= 2C_s(\lambda^{-1} \sinh(\lambda\Delta A) - \Delta A) \qquad (ช-11)$$

สังเกตว่า F มีค่าเป็นบวกเสมอซึ่งชี้ให้เห็นถึงข้อได้เปรียบในการเลือกพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ ให้ใหญ่กว่า A_{op} แทนที่จะน้อยกว่า A_{op}

นั่นคือค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่ใหญ่กว่า A_{op} จะน้อยกว่าค่าใช้จ่ายในการเลือกใช้พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่มีขนาดเล็กกว่า A_{op}

สมการที่ (ช-10) และ (ช-11) กล่าวได้ว่าสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่เท่ากับ A_p พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์แบบไม่ต่อเนื่อง , A_{opt} คือพื้นที่แผงที่ประกอบด้วย m แผง ซึ่งมากกว่า A_{op}

$$A_{opt} = mA_p$$

เมื่อ m เป็นค่าที่น้อยที่สุดที่ $mA_p > A_{op}$ และ $A_p > A_m = 2[A_{op}/10\lambda)^{\frac{1}{2}}$ เพื่อว่า ΔA ไม่ใหญ่จนเกินไป ระบบที่เหมาะสมที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบไม่ต่อเนื่องจะมีค่าใช้จ่ายในช่วง 10% ของ B_{op} ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดข้างต้น พิจารณาระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอัตราการใช้น้ำร้อน 1000 ลิตร/วัน แผ่นดูดสีดำอุณหภูมิน้ำร้อน $70^{\circ}C$ ขนาดของถังเก็บน้ำร้อนเท่ากับ 50 ลิตร/ม^2 ต้องการภาระ (LOAD) ทั้งหมดเท่ากับ 68380112 กิโลจูล /ปี และค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม เท่ากับ 0.0707991445 /ม^2

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

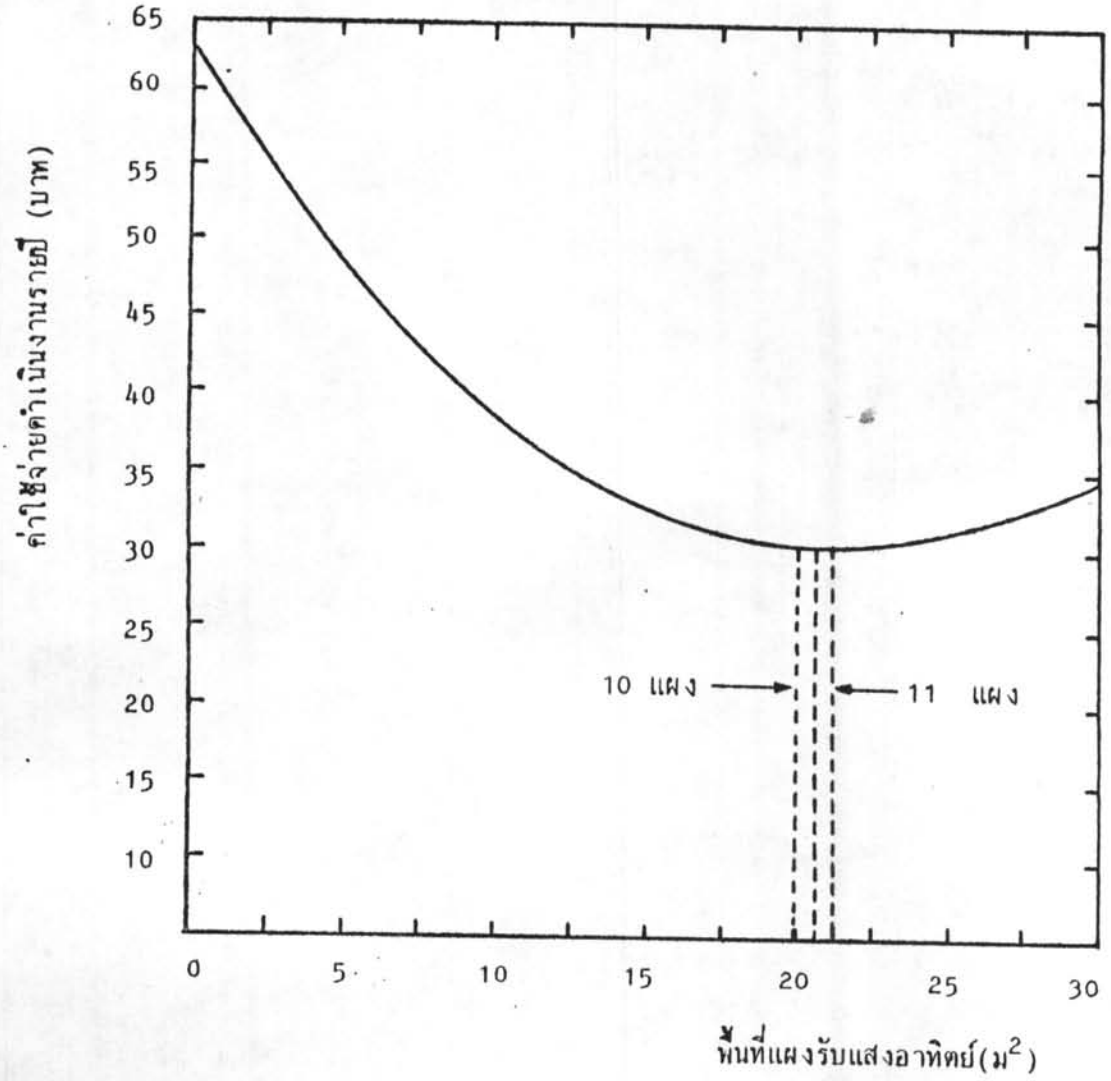
$(C_c + b_{ct} + C_y)$ = 4000 บาท/ม^2

Cf = 0.0004 บาท/กิโลจูล (เชื้อเพลิงประเภทก๊าซหุงต้ม)

i = 18%

E = 10%

N = 20 ปี



รูป ซ-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายดำเนินงานต่อปีกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์

ในการวิเคราะห์จะให้ M = 0 ตามปกติค่าของ M ก็ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์มากนัก ค่าใช้จ่ายรายปีเป็นฟังก์ชั่นกับพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ ช.1 จากการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม, A_{op} เท่ากับ 21.45 ม^2 ถ้าแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้มีขนาด 2 ตารางเมตร ซึ่งต้องใช้ 10 แผง หรือ 11 แผง พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์จำนวน 10 หรือ 11 แผงดังแสดงในรูป ช.1 เมื่อค่าใช้จ่ายรายปีเกือบเท่า ๆ กัน พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่จะถูกเลือกเป็นค่าที่เหมาะสมเมื่อ m = 11 A_{op} = 22 ม^2 สังเกตว่าพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ที่มีขนาด 2 ม^2 น้อยกว่า A_m หรือ 11 ม^2 (ได้จาก $A_m = 2(\frac{A_{op}}{10\lambda})^{\frac{1}{2}}$=11 ม^2) ดังนั้นการใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบไม่ต่อเนื่องไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์มากนัก

ภาคผนวก ช

การเปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์กับหม้อน้ำอุตสาหกรรม

ในการใช้น้ำร้อนสำหรับโรงแรม ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริมเปรียบเทียบกับหม้อน้ำอุตสาหกรรมระบบใดจะดีกว่าต้องใช้เงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของทั้งสองระบบมาวิเคราะห์

ค่าใช้จ่ายรายปี = เงินกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์ + ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานเสริม + ค่าบำรุงรักษา + ค่าเบี้ยประกัน + ค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม + ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับภาษีทรัพย์สิน - ภาษีรายได้ที่ประหยัด (ช-1)

ภาษีรายได้ = อัตราภาษีรายได้ × [ดอกเบี้ยที่ต้องชำระเมื่อมีการกู้ยืม + ภาษีทรัพย์สิน + ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิง + ค่าบำรุงรักษา + ค่าประกันของเสียหาย + ค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊ม + ค่าเสื่อมราคา] (ช-2)

ในการคำนวนในที่นี้จะคิดตามรูปแบบการใช้น้ำร้อนรูปที่ 3.1 น้ำร้อนที่ต้องการมีอุณหภูมิ $70^{\circ}C$ จากรูปแบบการใช้น้ำร้อนจะเห็นว่าอัตราการใช้น้ำร้อนสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 17.00 - 18.00 น. โรงแรมใช้น้ำวันละ 40,000 ลิตร

อัตราการใช้น้ำร้อนสูงสุด = 0.1174 × 40,000 ลิตร/ชั่วโมง

= 4690 ลิตร/ชั่วโมง

น้ำดิบที่จ่ายให้โรงแรมมีอุณหภูมิเฉลี่ย $30^{\circ}C$

ความร้อนจำเพาะของน้ำ, C_p = 4.19 กิโลจูล /กิโลกรัม-องศาเคลวิน

ปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้ในการผลิตน้ำร้อน $Q = m^{0} C_{p} \Delta T$

$= 4690 \times 4.19 \times (70 - 30)$

$= 786044$ กิโลจูล /ชั่วโมง

หรือปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้ในการผลิตน้ำร้อน $= 745023.03$ บีทียู/ชั่วโมง

1 แรงม้า หม้อน้ำอุตสาหกรรม $= 33475.35$ บีทียู/ชั่วโมง

เพราะฉะนั้นต้องใช้หม้อน้ำอุตสาหกรรมขนาด $= \frac{745023.03}{33475.35}$

$= 22.25$ แรงม้า

$\simeq 23$ แรงม้า

สำหรับระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริม

จาก $Q^{0}_{aux} = Q_{m} e^{-\lambda A_{op}}$

$$\frac{Q^{0}_{aux}}{Q_{m}} = e^{-\lambda A_{op}}$$

ในการวิเคราะห์ แผงรับแสงอาทิตย์เป็นแบบสีดำ อุณหภูมิน้ำร้อน $70^{\circ}C$ ปริมาตรถังเก็บน้ำร้อน/พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 50 ลิตร/$ม^2$ อัตราการใช้น้ำร้อน 40,000 ลิตร/วัน ราคาระบบเท่ากับ 4000 บาท/$ม^2$ จะได้พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 466.40 $ม^2$ ค่าคงที่ลดลงในการใช้พลังงานเสริม, $\lambda = 0.00182503544$ พลังงานที่ใช้ทั้งหมดต่อปีเท่ากับ 2738772900 กิโลจูล /ปี

ดังนั้น $$\frac{Q^{0}_{aux}}{Q_{m}} = e^{-0.00182503544 \times 466.40}$$

$$= 0.43$$

นั่นคือต้องใช้พลังงานเสริม 43% ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ การทำน้ำร้อนของระบบที่ใช้หม้อน้ำอุตสาหกรรมกับระบบที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริมมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- อายุการใช้งานของหม้อน้ำอุตสาหกรรมและของระบบแผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 20 ปี
- ค่าบำรุงรักษาสำหรับหม้อน้ำอุตสาหกรรมเท่ากับ 5% ของราคาหม้อน้ำ

- ค่าบำรุงรักษาสำหรับระบบที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 0.5% ของราคาระบบและ 5% ของราคาเครื่องทำความร้อนเสริม
- จากการประเมินราคาหม้อน้ำอุตสาหกรรมในท้องตลาดปัจจุบัน หม้อน้ำขนาด 23 แรงม้า ราคาประมาณ 266,000 บาท
- ถือว่ากระแสไฟฟ้าในการเดินปั๊มในการ CIRCULATE น้ำผ่านระบบที่ใช้แผงรับแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริม กับระบบที่ใช้หม้ออุตสาหกรรมมีค่าเท่ากัน
- สำหรับระบบที่ใช้แผงรับแผงแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริมถือว่าเครื่องทำความร้อนเสริมนั้นเป็นหม้อน้ำอุตสาหกรรมขนาด 10 แรงม้า

- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในปัจจุบัน 18%/ปี
- ราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นปีละ 10%/ปี
- อัตราภาวะเงินเฟ้อ 6%/ปี
- ค่าเสื่อมราคาคิดภายใน 5 ปี และคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง
- อัตราภาษีรายได้ 40%
- เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นประเภทน้ำมันเตา
- ประสิทธิภาพหม้อน้ำอุตสาหกรรมเท่ากับ 50%
- มูลค่าซากของหม้อน้ำอุตสาหกรรมกับแผงรับแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นศูนย์
- ไม่คิดว่าประกันของเสียหายและภาษีเกี่ยวกับทรัพย์สิน

ระบบน้ำร้อนโดยใช้หม้อน้ำอุตสาหกรรม

ในการหาค่าใช้จ่ายรายปีสำหรับระบบทำน้ำร้อนโดยหม้อน้ำอุตสาหกรรม เขียนสมการแสดงค่าใช้จ่ายแต่ละอย่างได้ดังต่อไปนี้

$$C_F = A(1+E)^{M-1} \qquad (ช-3)$$

โดยที่ C_F - ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิง

A - ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงในปลายปีแรก

E - ราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้นต่อปี

M - 1, 2, 3, .., N เมื่อ N - อายุการใช้งานของระบบ

$$C_M = (MA)C(1+G)^{M-1} \qquad (ช-4)$$

โดยที่ C_M – ค่าบำรุงรักษา

C – ราคาระบบ

G – อัตราภาวะเงินเฟ้อ

MA – อัตราค่าบำรุงรักษา

$$C_A = CI \qquad (ช-5)$$

โดยที่ C_A – ค่าใช้จ่ายรายปีของเงินกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์

C – ราคาระบบ

I – แฟคเตอร์สำหรับเทียบค่าเป็นเงินรายปีของเงินลงทุนกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิ์อุปกรณ์

เมื่อ $$I = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1}$$

i – อัตราดอกเบี้ย

N – อายุการใช้งานของระบบ

$$P_S = \frac{C_S}{(1+i)^M} \qquad (ช-6)$$

โดยที่ P_S – ค่าใช้จ่ายรายปีเทียบเท่าเงินปัจจุบัน

C_S – ค่าใช้จ่ายรวมแต่ละปี

i – อัตาดอกเบี้ย

M – 1,2,3.., N เมื่อ N – อายุการใช้งานของระบบ

$$D = (C-L)/N \qquad (ช-7)$$

โดยที่ D – ค่าเสื่อมราคา

L – มูลค่าซาก

C – ราคาระบบ

P – อายุการใช้งานของระบบในการคิดค่าเสื่อมราคา

การวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายแต่ละปี

$$I = \frac{i\ (1+i)^N}{(1+i)^N-1}$$

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ = 18%

$$I = \frac{0.18\ (1.18)^{20}}{(1.18)^{20}-1}$$

$$= 0.1868$$

ในปีที่ 1

ค่าใช้จ่ายรายปีของเงินกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์ , C_A = CI

= 290,000 x 0.1868

= 54177.80 บาท

ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิง, C_F = $A(1+E)^{M-1}$

= 2738772900 x 0.0002

= 547754.60 บาท

ค่าบำรุงรักษา, C_M = $(MA)C(1+G)^{M-1}$

= 0.5 x 290,000

= 14500.00 บาท

ค่าเสื่อมราคา, D = (C-L)/N

= (290,000-0)/5

= 58000.00 บาท

ดอกเบี้ยที่ต้องชำระ = 0.18 x (290,000)

= 52200 บาท

ภาษีรายได้ที่ประหยัด = $0.40 \times \left[\begin{array}{l} 52200.00 \\ + \ 547754.60 \\ + \ 14500.00 \\ + \ 58000.00 \end{array}\right]$

= 268981.80 บาท

ค่าใช้จ่ายในปีที่ 1 = 54177.80 + 547754.60 + 14500.00 - 268981.80

= 347450.00 บาท

ค่าใช้จ่ายในปีที่ 1 เทียบเท่าเป็นเงินปัจจุบัน = $\frac{347450.00}{1.18}$ บาท

= 294449.60 บาท

ในปีที่ 2

ค่าใช้จ่ายรายปีของเงินกู้ยืมเพื่อซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์, C_A = CI

= 290,000 x 0.1868

= 54177.80 บาท

ค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิง , C_F = $A(1+E)^{M-1}$

= $547754.60\ (1+0.1)^1$

= 602530.00 บาท

ค่าบำรุงรักษา , C_M = $(MA)C(1+G)^{M-1}$

= $14500.00\ (1+0.06)^1$

= 15370.00 บาท

ค่าเสื่อมราคา , D = (C-L)/N

= (290,000-0)/5

= 58000.00 บาท

ดอกเบี้ยที่ชำระในปีที่ 1 = 52200 บาท

∴ จ่ายเงินกู้เพื่อซื้อกรรมสิทธิอุปกรณ์ในปีที่ 1 = 54177.80 - 52200.00 บาท

= 1977.80 บาท

เหลือเงินกู้ยืม = 290,000-1917.80

= 288082.20 บาท

∴ ดอกเบี้ยที่ชำระในปีที่ 2 = 0.18 x 288082.20

= 51854.79 บาท

ภาษีรายได้ที่ประหยัดในปีที่ 2 = $0.4 \times \begin{bmatrix} 51854.79 \\ + 602530.00 \\ + 15370.00 \\ + 52200.00 \end{bmatrix}$

= 268981.80 บาท

ค่าใช้จ่ายในปีที่ 2 = 54177.80+602530.00+15370.00-268981.00

= 380980.20 บาท

ค่าใช้จ่ายในปีที่ 2 เทียบเท่าเป็นเงินปัจจุบัน $= \frac{380980.20}{(1.18)^2}$

$= 273694.00$ บาท

ผลที่ได้ตลอด 20 ปี แสดงไว้ในตารางที่ (ข.1)

ตารางที่ (ช.1)

ค่าใช้จ่ายรายปีของระบบทำน้ำร้อนโดยใช้หม้อน้ำอุตสาหกรรม

ปี	ภาษีรายได้ที่ประหยัด	จำนวนเงินลงทุนที่ชำระ	ค่าบำรุงรักษา	ค่าเชื้อเพลิง	ค่าเสื่อมราคา	ค่าใช้จ่ายรวม	ค่าใช้จ่ายรวมเทียบเป็นเงินปัจจุบัน
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	268981.80	54177.80	14500.00	547754.60	58000.00	347450.60	294449.60
2	281097.60	54177.80	15370.00	602530.00	58000.00	380980.20	273614.00
3	315399.70	54177.80	16292.20	662783.10	58000.00	417853.40	254318.40
4	342103.70	54177.80	17269.73	729061.40	58000.00	458405.20	236440.20
5	371446.70	54177.80	18305.91	801967.50	58000.00	503004.50	219867.90
6	380488.60	54177.00	19404.27	882164.20	0.00	575257.70	213093.50
7	415915.10	54177.80	20568.52	970380.70	0.00	629211.90	197525.30
8	454839.60	54177.80	21802.63	1067419.00	0.00	688559.50	183183.00
9	497606.00	54177.80	23110.79	1174161.00	0.00	753843.30	169958.50
10	544591.80	54177.80	24497.43	1291577.00	0.00	825660.10	157754.20
11	596211.30	54177.80	25967.28	1420735.00	0.00	904668.40	146482.90
12	652918.60	54177.80	27525.32	1562808.00	0.00	991592.60	136065.80
13	715212.00	54177.80	29176.83	1719089.00	0.00	1087231.00	126431.60
14	783638.00	54177.80	30927.44	1890998.00	0.00	1192465.00	117516.00
15	858795.60	54177.80	32783.08	2080097.00	0.00	1308263.00	109260.80
16	941341.40	54177.80	34750.06	2288107.00	0.00	1434694.00	101613.00
17	1031995.00	54177.80	36835.07	2516918.00	0.00	1575936.00	94524.43
18	1131543.00	54177.80	39045.17	2768610.00	0.00	1730289.00	87951.28
19	1240851.00	54177.80	41387.88	3045471.00	0.00	1900186.00	81853.55
20	1360862.00	54177.80	43871.15	3350018.00	0.00	2087206.00	76194.68

มูลค่าปัจจุบัน = 3278099 บาท

ตารางที่ (ช.2)

ค่าใช้จ่ายรายปีของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไม่รวมเครื่องทำความร้อนเสริม

ปี	ภาษีรายได้ที่ประหยัด	จำนวนเงินลงทุนที่ชำระ	ค่าบำรุงรักษา	ค่าเสื่อมราคา	ค่าใช้จ่ายรวม	ค่าใช้จ่ายรวมเทียบเป็นเงินปัจจุบัน
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	287302.40	348531.40	9328.00	373120.00	7055 6.97	59794.04
2	286610.20	348531.40	9887.68	373120.00	71808.88	51572.01
3	285766.50	348531.40	10480.94	373120.00	73245.81	44579.66
4	284742.50	348531.40	11109.80	373120.00	74898.66	38631.89
5	283504.00	348531.40	11776.38	373120.00	76803.78	33571.63
6	132762.50	345831.40	12482.97	0.00	228251.80	84551.65
7	130966.30	345831.50	13231.94	0.00	230797.00	72452.93
8	128810.90	345831.40	14025.86	0.00	233746.30	62185.42
9	126229.40	345831.40	14867.41	0.00	237169.50	53471.27
10	123142.70	348531.40	15759.45	0.00	241148.10	46074.81
11	119457.70	345831.40	16705.02	0.00	245778.70	39796.22
12	115064.00	345831.40	17707.32	0.00	251174.70	34466.05
13	109831.30	345831.40	18769.76	0.00	257469.80	29940.56
14	103605.70	345831.40	19895.94	0.00	264821.60	26097.86
15	96205.51	345831.40	21089.70	0.00	273415.60	22834.57
16	87415.94	345831.40	22355.08	0.00	283470.50	20067.98
17	76983.50	345831.40	23696.38	0.00	295244.30	17708.71
18	64608.85	345831.40	25118.16	0.00	309040.70	15708.66
19	49938.51	345831.40	26625.25	0.00	325218.10	14009,29
20	32555.17	345831.40	28222.76	0.00	344199.00	12565.19

มูลค่าปัจจุบัน = 780075.5 บาท

ตารางที่ (ข.3)

ค่าใช้จ่ายรายปีของเครื่องทำความร้อนของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ปี	ภาษีรายได้ที่ประหยัด	จำนวนเงินลงทุนชำระ	ค่าบำรุงรักษา	ค่าเชื้อเพลิง	ค่าเสื่อมราคา	ค่าใช้จ่ายรวม	ค่าใช้จ่ายรวมเทียบเป็นเงินปัจจุบัน
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	112455.40	20550.20	5500.00	233838.50	22000.00	147433.30	124943.50
2	121886.90	20550.20	5830.00	257222.40	22000.00	161715.60	116141.60
3	1322252.00	20550.20	6179.80	282944.60	22000.00	177422.60	107984.80
4	143642.90	20550.20	6550.59	311239.10	22000.00	194696.90	100422.50
5	156160.90	20550.20	6943.62	342363.00	22000.00	213695.90	93408.41
6	16117.40	20550.20	7360.24	376599.30	0.00	243392.30	90160.16
7	176234.40	20550.20	7801.85	414259.20	0.00	266376.90	83622.33
8	192846.20	20550.20	8269.96	455685.10	0.00	291659.10	77592.41
9	211100.10	20550.20	8766.16	501253.60	0.00	319470.00	72026.41
10	231157.60	20550.20	9292.13	551379.00	0.00	350063.80	66884.71
11	253196.20	20550.20	9849.66	606517.00	0.00	383720.70	62131.64
12	277410.50	20550.20	10440.64	667168.60	0.00	420749.00	57734.94
13	304014.30	20550.20	11067.07	733885.50	0.00	461488.50	53665.42
14	333241.60	20550.20	11731.10	807274.00	0.00	506313.70	49896.63
15	365349.70	20550.20	12434.96	888001.40	0.00	555637.00	46404.56
16	400620.10	20550.20	13181.06	976801.60	0.00	609912.80	43167.34
17	439361.80	20550.20	13971.92	1074482.00	0.00	669642.30	40165.05
18	481913.20	20550.20	14810.24	1181930.00	0.00	735377.40	37379.52
19	528645.60	20550.20	15698.85	1300123.00	0.00	807726.80	34794.12
20	579964.40	20550.20	16640.78	1430136.00	0.00	887362.10	32393.68

มูลค่าปัจจุบัน = 1390920 บาท

ตารางที่ (ช.4)

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำความร้อนเสริมกับหม้อน้ำอุตสาหกรรม

ปีที่	ค่าใช้จ่ายของหม้อน้ำอุตสาหกรรม	ค่าใช้จ่ายของระบบแผงรับแสงอาทิตย์	ค่าใช้จ่ายของเครื่องทำความร้อนเสริม	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้
1	347450.60	70556.97	147433.30	129460.33
2	380980.20	71808.00	161715.60	147456.60
3	417893.40	73245.81	177422.60	167184.99
4	458405.20	74898.66	194696.90	188809.64
5	503004.50	76803.78	213695.90	212504.82
6	575257.70	228251.80	243392.30	103613.60
7	629211.90	230797.00	266376.90	132038.00
8	688559.50	233746.30	291659.10	163154.10
9	753843.30	237169.50	319470.00	197203.80
10	825660.10	241148.10	350063.80	234448.20
11	904668.40	245778.70	383720.70	275169.00
12	991592.60	251174.70	420749.00	319668.90
13	1087231.00	257469.80	461488.50	368272.70
14	1192465.00	264821.60	506313.70	421329.70
15	1308263.00	273415.60	535637.00	479210.40
16	1435694.00	283470.50	609912.80	542310.70
17	1575936.00	295244.30	669642.30	611049.40
18	1730289.00	309040.70	735377.40	685870.90
19	1900186.00	325218.10	807726.80	767241.10
20	2087206.00	344199.00	887362.10	855644.90

ในระบบแผงรับแสงอาทิตย์ราคาระบบเท่ากับ 4000 × 849.94 = 3399760 บาท ในระบบนี้ไม่มีค่าน้ำมันเชื้อเพลิง วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับหม้อน้ำอุตสาหกรรม ผลที่ได้ตลอด 20 ปี แสดงไว้ในตารางที่ (ช.2)

สำหรับเครื่องทำความร้อนเสริมโดยที่เครื่องทำความร้อนเสริมนั้นเป็นหม้อน้ำอุตสาหกรรมจะใช้พลังงานเพียง 43% ของพลังงานทั้งหมดหรือเป็นหม้อน้ำอุตสาหกรรมขนาด 10 แรงม้า ราคาโดยประมาณ 110,000 บาท ค่าใช้จ่ายของหม้อน้ำอุตสาหกรรมขนาด 10 แรงม้าที่ต่อร่วมกับระบบแผงรับแสงอาทิตย์แสดงไว้ในตารางที่ (ช.3) เมื่อเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับหม้อน้ำอุตสาหกรรมขนาด 10 แรงม้า กับระบบทำน้ำร้อนที่ใช้หม้อน้ำอุตสาหกรรมเพียงอย่างเดียวขนาด 23 แรงม้า ผลปรากฏว่าค่าใช้จ่ายของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้หม้อน้ำร้อนที่ใช้หม้อน้ำอุตสาหกรรมเพียงอย่างเดียวตลอด 20 ปี เทียบเท่าเป็นเงินปัจจุบันเท่ากับ 3278099 บาท ค่าใช้จ่ายของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับหม้อน้ำอุตสาหกรรมขนาด 10 แรงม้า ตลอด 20 ปี เทียบเท่าเป็นเงินปัจจุบัน 780075.50 + 1390920.0 = 2170995.50 บาท เมื่อพิจารณาผลตอบแทนในการลงทุนจะมีค่าเพียง 12.68% ต่อปี ในขณะที่อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ตามสถาบันการเงินทั่วไปเท่ากับ 18% ต่อปี และระยะเวลาในการคืนทุนไม่สามารถหาได้เพราะเมื่อหมดอายุการใช้งานของระบบแล้ว ยังไม่สามารถให้ผลตอบแทนได้เท่ากับเงินลงทุน

ประวัติการศึกษา

ชื่อ	นายสุเทพ แก้วนัย
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาเครื่องกล
จาก	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี
ปีที่สำเร็จ	พ.ศ. 2523