การประเมินผลทางเศรษฐกิจของการทำงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ปรับอากาศให้กับบ้านพักอาศัยในกรุงเทพฯ

นาย ปราโมทย์ เตชะเพียวเลิศ

004088

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2524

I16500581

AN ECONOMIC EVALUATION OF THE SYSTEM PERFORMANCE OF A SOLAR-AIRCONDITIONED HOUSE IN BANGKOK

Mr. Pramote Techapeolers

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1981

Thesis Title	AN ECONOMIC EVALUATION OF THE SYSTEM PERFORMANCE OF A SOLAR-AIRCONDITIONED HOUSE IN BANGKOK
By	Mr. Pramote Techapeolers
Department	Chemical Engineering
Thesis Advisor	Assis. Prof. Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Assis. Prof. Wichan Lertwipatrakul, M.Sc.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in partial fulfilment of the requirements for the Master's degree.

S. Bunnag .....Dean of Graduate School
(Associate Professor Supradit Bunnag, Ph.D.)

Thesis Committee

.....Chairman
(Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee, Ph.D.)

A. Vanichseni .....Member
(Assistant Professor Sutham Vanichseni, Ph.D.)

.....Member
(Assistant Professor Woraphat Arthayukti, Dr-Ing.)

Wiwut Tanthapanichakoon .....Member
(Assistant Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.)

W Lertwipatrakul .....Member
(Assistant Professor Wichan Lertwipatrakul, M.Sc.)

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลทางเศรษฐกิจของการทำงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ปรับอากาศให้กับบ้านพักอาศัยในกรุงเทพฯ
ชื่อนิสิต	นายปราโมทย์ เดชะเพียวเลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. วิวัฒน์ ศัณฑะพานิชกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ. วิชาญ เลิศวิภาดากุล
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2524

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานและความเป็นไปได้เชิงเศรษฐกิจของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในกรุงเทพฯ โดยจำลองแบบพฤติกรรมจลน์ของการทำงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ปรับอากาศ และ ทำน้ำร้อนให้กับบ้านพักอาศัยตัวอย่างในกรุงเทพฯ โดยอาศัยโปรแกรม MOSTPROSIT (A Modularized Solar Thermal Processes Simulator) บ้านตัวอย่างที่เราเลือกเป็นบ้านชั้นเดียวมีพื้นที่ตัวบ้าน 21.56 ตารางวา (86.25 ตารางเมตร) บนเนื้อที่ 50 ตารางวา (200 ตารางเมตร)

ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ติดตั้งกับบ้านตัวอย่าง ประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญดังนี้ แผงรับแสงอาทิตย์, ถังเก็บน้ำร้อน, เครื่องปรับอากาศแบบดูดซึม (Absorption Air-conditioner) ขนาด 3 ตัน, หม้อต้มน้ำร้อนขนาด 200,000 kJ/hr, ตัวควบคุมอัตโนมัติ และ ปั๊มน้ำ เป็นต้น

การจำลองแบบพฤติกรรมจลน์ของการทำงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้กระทำขึ้น 3 กรณี ตามขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์ ดังต่อไปนี้คือ 76.4 ตารางเมตร,

91.68 ตารางเมตร และ 106.96 ตารางเมตร (ในขณะเดียวกัน ขนาดของถังเก็บน้ำร้อนซึ่งหุ้มฉนวนกันความร้อนไว้อย่างดี ก็แปรเป็นสัดส่วนกับขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์ กล่าวคือ จาก 4.0 ลูกบาศก์เมตร มาเป็น 4.824 และ 5.64 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ)

จากผลของการคำนวณโดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน ปี ค.ศ. 1979 ปรากฏว่า แผงรับแสงอาทิตย์สามารถเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถึง 38.67%, 37.79% และ 36.12% ของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงที่ทำมุมเอียง 13 องศากับพื้นราบ จำนวนทั้งสิ้น 1.84×10^8 kJ, 2.21×10^8 kJ และ 2.58×10^8 kJ ตามลำดับ ส่วนพลังงานความร้อนเสริมที่ต้องใช้เพื่อรักษาอุณหภูมิของตัวบ้านให้อยู่ในช่วงควบคุม 24 - 25°C ในเวลาที่มีพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ตลอดเวลา 4 เดือนดังกล่าวมีปริมาณเท่ากับ 3.89×10^7 kJ, 3.17×10^7 kJ และ 3.09×10^7 kJ ตามลำดับ

เนื่องจากภาระการปรับอากาศของบ้านพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งบ้านมีค่าเฉลี่ย $\frac{4.46 \times 10^7 + 4.49 \times 10^7 + 4.48 \times 10^7}{3} = 4.48 \times 10^7$ kJ ใน 4 เดือนดังกล่าว ถ้าสมมุติเครื่องปรับอากาศระบบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ 60% และ โรงจักรไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า 30% ปริมาณน้ำมันเตาที่สามารถประหยัดได้ทั้งหมดจะมีจำนวนเท่ากับ 6522.09 ลิตร, 6565.96 ลิตร และ 6551.33 ลิตร ตามลำดับ (น้ำมันเตา 1 ลิตร ให้ความร้อน 37990.57 kJ) อนึ่งประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศระบบดูดซึมที่ใช้มีค่าค่อนข้างคงที่ประมาณ 62% เนื่องจาก น้ำร้อนที่ใช้ในการเดินเครื่องปรับอากาศระบบดูดซึมถูกควบคุมอุณหภูมิไว้ในช่วง 85 - 88°C ในกรณีที่น้ำร้อนจากถังเก็บมีอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงดังกล่าว ตัวควบคุมการไหลอัตโนมัติจะสับเปลี่ยนมาใช้น้ำร้อนจากหม้อต้มน้ำร้อนเพื่อเดินเครื่องปรับอากาศ หม้อต้มน้ำร้อนนี้จะควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่ทางออกไว้ที่ 85°C

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบกับระบบทั่วไปที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เราได้ทำการคำนวณค่าใช้จ่ายในการลงทุน ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการปรับอากาศและทำน้ำร้อน โดยอาศัยสมมุติฐานต่างๆซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในวิทยานิพนธ์นี้ ปรากฏว่า ภายในระยะเวลา 10 ปี เมื่อค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสามกรณีจะเสียค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 1,117,665.60 บาท, 1,159,676.40 บาท และ 1,220,652.00 บาท ตามลำดับ ในขณะที่ระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต้องเสียค่าใช้จ่าย 1,667,953.20 บาท ส่วนในกรณีที่ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นปีละ 8% ภายในระยะเวลา 10 ปี ระบบพลังงานไฟฟ้า, ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสามกรณีจะเสียค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 2,390,002.80 บาท, 1,260,664.30 บาท, 1,286,954.60 บาท และ 1,341,329.80 บาท ตามลำดับ.

Thesis Title	AN ECONOMIC EVALUATION OF THE SYSTEM PERFORMANCE OF A SOLAR-AIRCONDITIONED HOUSE IN BANGKOK
Name	Mr. Pramote Techapeolers
Thesis Advisor	Assis. Prof. Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Assis. Prof. Wichan Lertwipatrakul
Department	Chemical Engineering
Academic Year	1981

ABSTRACT

The purpose of the present work is to study the performance and economic feasibility of a solar energy system in Bangkok by simulating the dynamic performance of a " typical " solar cooled house, complete with solar heated hot water, in Bangkok with the aid of a computer program called MOSTPROSIT (A Modularized Solar Thermal Processes Simulator). The solar house is one-storeyed with a floor area of 86.25 m^2 on 200 m^2 of land.

The solar system is composed of the following main components: a solar collector, a water storage tank, a 3-ton absorption air-conditioner, a 200,000 kJ/hr main heater, controllers and pumps.

Simulation of the solar house was carried out for 3 different cases according to the solar collector size, namely, 76.4 m^2, 91.68 m^2 and 106.96 m^2, respectively. (Simultaneously, the volume of the water storage tank was varied according to the collector size as 4.0 m^3, 4.824 m^3 and 5.64 m^3, respectively.)

According to the computational results obtained with the use of actual meteorological data for March through June 1979, it was found that the solar collectors were able to collect 38.67%, 37.79% and 36.12% of the total solar radiation incident on the plates tilted 13° from the horizontal plane, namely, 1.84×10^8 kJ, 2.21×10^8 kJ and 2.58×10^8 kJ, respectively. On the other hand, the amounts of supplemental energy necessary to maintain the house temperature within a control band of 24 - 25°C, when there was not enough solar energy available, were 3.89×10^7 kJ, 3.17×10^7 kJ and 3.09×10^7 kJ, respectively.

Since the cooling loads of the whole solar house averaged out as $\frac{4.46\times10^7 + 4.49\times10^7 + 4.48\times10^7}{3} = 4.48 \times 10^7$ kJ for the same 4-month period, if the efficiencies of a conventional electric air-conditioner and a thermal power plant were assumed to be 60% and 30%, respectively, the amount of fuel oil that could have been saved turned out to be 6522.09 liters, 6565.96 liters and 6551.33 liters per house per 4 months for the three cases, respectively. (A liter of fuel oil has a heating value of

37990.57 kJ.) Incidentally, the efficiency of the solar absorption air-conditioner remained relatively constant around 62% because the hot water which was used to run the absorption air-conditioner was maintained its temperature within a control band of 85 - 88°C. In the case that the water temperature dropped below 85°C, the flow controller would divert the water flow through the main heater loop. The main heater was set to control its outlet water temperature at 85°C.

To evaluate the economic feasibility of the aboved solar system, as compared to a conventional electric system, the investment costs and operating costs of air-conditioning were computed using the assumptions listed in the present work. The results showed that if the rate of electricity price is constant along 10 years, the three cases of the solar system will cost 1,117,665.60 Baht, 1,159,676.40 Baht and 1,220,652.00 Baht, respectively, while the total cost of the electric system will be 1,667,953.20 Baht. If the annual electricity price increase 8% along 10 years, the total cost for the electric system and the three cases of the solar system turn out to be 2,390,002.80 Baht, 1,260,664.30 Baht, 1,286,954.60 Baht and 1,341,329.80 Baht, respectively.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author is very grateful to Assoc. Prof. Somchai Thayanyong, director of the Computer Service Center Chulalongkorn University, for permission to use the Computer Service Center computer along the simulation in this thesis. Thanks are extended to Assis. Prof. Dr. Wiwut Tanthapanichakoon, the author's thesis advisor, for his providing helpful suggestions. The author also wishes to thank Assis. Prof. Wichan Lertwipatrakul, his co-advisor, for his encouragement and constructive suggestions along the simulation. Thanks are also extended to all of the Computer Service Center operators for their patiently running the computer along the simulation in this thesis.

The financial supports for this research from the Graduate School and Chulalongkorn University Alumni Foundation are gratefully acknowledged.

CONTENTS

		PAGE
ABSTRACT IN THAI	.....	iv
ABSTRACT IN ENGLISH	.....	vii
ACKNOWLEDGEMENTS	.....	x
LIST OF TABLES	.....	xiii
LIST OF FIGURE	.....	xv
CHAPTER		
I INTRODUCTION		
- General Remarks	.....	1
- Objectives of Research	.....	3
- Scope of Research	.....	3
II MOSTPROSIT		
- Formulation of Component Models	.....	6
- System Setup	.....	8
- Description of Modules	.....	9
III CONVERSION OF MOSTPROSIT	.....	16
IV DESCRIPTION OF SOLAR HOUSE	.....	21
V SIMULATION RESULTS	.....	44
VI COST ESTIMATION	.....	112
VII CONCLUSIONS & FUTURE WORK		
- Principal Conclusions	.....	133
- Limitations & Future Work	.....	136

PAGE

REFERENCES 137

APPENDIX 142

VITA 216

LIST OF TABLES

PAGE

TABLE 4.1 Sectional Views of Various Portions of the House 27

TABLE 4.2 List of Solar System Components 28

TABLE 4.3 List of System Parametric Values 30

TABLE 5.1 Sizes of Solar Collector and Storage Tank Investigated 44

TABLE 5.2 Simulation Results 102

TABLE 5.3 Overall Simulation Results for 4 Months 110

TABLE 6.1 Electricity Consumption by Electric Equipment 113

TABLE 6.2 Total Electricity Consumption by Electric Equipment for 4 Months 117

TABLE 6.3 Electricity Costs of Electric Equipment 119

TABLE 6.4 Costs of Fuel Oil for the Main Heater 120

TABLE 6.5 Operating Costs of the Solar System 121

TABLE 6.6 Investment Costs of the Solar System 122

TABLE 6.7 Operating Costs of the Electric System 123

TABLE 6.8 Investment Costs of the Electric System 124

TABLE 6.9 Projected Yearly Savings by the Solar System 129

PAGE

TABLE B.8.1 Values Taken by Thermostat Control Functions Under Various Circumstances 157

TABLE C.1 List of Electric Appliances in the House 212

LIST OF FIGURES

		PAGE
FIGURE 3.1	A Simple Solar Water Heating System	18
FIGURE 3.2	Histogram of Frequency Distributions of Control Variable and Histogram of Time Integrals of the Instantaneous Solar Radiation normal to the Ground	19
FIGURE 4.1	Dimensions of the Solar House	23
FIGURE 4.2	Inside View of the Solar House	24
FIGURE 4.3	Diagram of the Solar House	25
FIGURE 4.4	Flow Chart and Signal Flow Chart of the Solar House	26
FIGURE 5.1	Solar Flux on Collector plate (1^{st}- 6^{th} March 1979)	46
FIGURE 5.2	Flat-Plate Collector Temperature (1^{st}- 6^{th} March 1979, Case 1)	48
FIGURE 5.3	Heat Gained by Water (1^{st}- 6^{th} March 1979, Case 1)	50
FIGURE 5.4	Heat Gain Through the Ceiling (1^{st}- 6^{th} March 1979, Case 1)	52

PAGE

FIGURE 5.5 Heat Gain Through Walls
(1st- 6th March 1979) 54

FIGURE 5.6 Heat Gain Through the Floor
(1st- 6th March 1979) 56

FIGURE 5.7 Rate of Heat Removal
(1st- 6th March 1979, Case 1) 59

FIGURE 5.8 Supplemental Energy Supplied by Main Heater.
(1st- 6th March 1979, Case 1) 61

FIGURE 5.9 Ambient and Room Temperatures
(1st- 6th March 1979, Case 1) 63

FIGURE 5.10 Water Temperature in the Storage Tank
(1st- 6th March 1979, Case 1) 66

FIGURE 5.11 Absorption Chiller Efficiency
(1st- 6th March 1979, Case 1) 67

FIGURE 5.12 Collector Plate Efficiency
(1st- 6th March 1979, Case 1) 68

FIGURE 5.13 Solar Flux on Tilted Collector Plate 71

FIGURE 5.14 Solar Flux on a Horizontal Plane 75

FIGURE 5.15 Total Heat Gain by House 79

		PAGE
FIGURE 5.16	Collector Plate Efficiency	83
FIGURE 5.17	Daily Rate of Heat Removal	88
FIGURE 5.18	Supplemental Energy Supplied by Main Heater	92
FIGURE 5.19	Absorption Chiller Efficiency	97
FIGURE 6.1	Comparison of Costs Between a Solar and an Electric System	132
FIGURE B.1.1	Pressure Relief Valve	143
FIGURE B.2.1	On/off Auxiliary Heater	144
FIGURE B.3.1	Stratified Liquid Storage Tank	146
FIGURE B.4.1	Flow Diverter	148
FIGURE B.5.1	Flow Mixer	148
FIGURE B.6.1	Pump and Fan	149
FIGURE B.7.1	Absorption Air-Conditioner	151
FIGURE B.7.2	Normalized Cooling Capacity Function, f_1	152
FIGURE B.7.3	Normalized Input Energy Requirement Rate Function, f_2	153
FIGURE B.7.4	Efficiency of ARKLA WF 36 Three-ton Unit	154
FIGURE B.8.1	One Common Combination of an Auxiliary Heater, an Absorption Air-Conditioner and a Space Heater	156

PAGE

FIGURE	B.9.1	Space Heating and Cooling of a One-Node House	163
FIGURE	B.10.1	A Typical Configuration of the Flat-Plate Solar Collector	165
FIGURE	B.11.1	Heat Exchanger (Counter Flow)	180
FIGURE	B.12.1	Roof Configuration and Various Types of Ceiling Cross Section	194
FIGURE	B.12.2	Effective Solar-Air Networks	195
FIGURE	C.1	Heat Generates by Occupants	210
FIGURE	C.2	Heat Generates by Electrical Appliances	211
FIGURE	C.3	Service Hot Water Demand	214