การศึกษาตัวแปรที่สำคัญในถังเก็บความร้อนแบบแยกชั้น

นางสาวพจนีย์ จงจิตรัตน์

004090

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๔

I16590958

STUDY OF IMPORTANT PARAMETERS AFFECTING STRATIFIED THERMAL STORAGE TANK

Miss Pojanie Jongjitirat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1981

Thesis Title	Study of Important Parameters Affecting Stratified Thermal Storage Tank
By	Miss Pojanie Jongjitirat
Department	Chemical Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Sakarindr Bhumiratana, Ph.D.

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

S. Bunnag ..... Dean of Graduate School

(Associate Professor Supadit Bunnag, Ph.D.)

Thesis Committee

K. Sukanjanajtee ..... Chairman

(Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee, Ph.D.)

Woraphat Arthayuk ..... Member

(Assistant Professor Woraphat Arthayukti, Ph.D.)

Wiwut Tanthapanichakoon ..... Member

(Assistant Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.)

Sakarindr Bhumiratana ..... Member

(Assistant Professor Sakarindr Bhumiratana, Ph.D.)

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาตัวแปรที่สำคัญในถังเก็บความร้อนแบบแยกชั้น
ชื่อนิสิต นางสาวพจนีย์ จงจิตรัตน์
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักรินทร์ ภูมิรัตน
ปีการศึกษา ๒๕๒๓

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อศึกษาสภาพการกระจายอุณหภูมิของถังเก็บความร้อน ถังที่ใช้ศึกษาเป็นถังรูปทรงกระบอก ทำด้วยพลาสติคเสริมใยแก้วเพื่อลดอัตราการสูญเสียความร้อนจากถังสู่บรรยากาศรอบๆ ประสิทธิภาพของถังเก็บน้ำร้อนเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความร้อนที่สามารถดึงออกมาใช้ กับความร้อนของน้ำที่สะสมอยู่ในถัง ตัวแปรสำคัญที่ใช้ศึกษาการสูญเสียสภาพการกระจายอุณหภูมิที่ดีของน้ำได้แก่ อัตราส่วนระหว่างความกว้างและความยาวของถัง (L/D), อัตราส่วนระหว่างความกว้างของถังและความกว้างของท่อน้ำเข้า (D/d), อัตราการไหลของน้ำเย็นในรูปของ Reynolds number, และผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออก (ΔT) นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงผลการเปลี่ยนตำแหน่งที่จะป้อนน้ำร้อนเข้าสู่ถังเก็บพลังงานด้วย

จากการทดลองพบว่าถังเก็บความร้อนที่ให้ประสิทธิภาพสูง จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ ถังควรมีอัตราส่วนของความยาวต่อความกว้างสูง และช่องทางเข้าของน้ำเย็นควรมีขนาดกว้าง นั่นคือค่า (L/D) ควรอยู่ในช่วง ๓ - ๘ และค่า (D/d) ควรอยู่ในช่วง ๖ - ๙ ค่า Reynolds numberไม่ควรเกิน ๘,๙๙๓ ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกสูงขึ้นจะทำให้สภาพการกระจายอุณหภูมิของน้ำดีขึ้น นอกจากนี้ตำแหน่งที่จะป้อนน้ำร้อนเข้าสู่ถังเก็บควรให้มี

อุณหภูมิใกล้เคียงกับน้ำที่อยู่ในถังเก็บที่ตำแหน่งนั้น เพื่อลดความแตกต่างของอุณหภูมิอันจะมีผลทำให้น้ำเกิดการผสมกันขึ้นอย่างรวดเร็ว และประสิทธิภาพของถังเก็บความร้อนจะลดต่ำลง

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงผลของการนำความร้อนผ่านผนังของถังเก็บน้ำร้อนโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถังที่คำนวณได้จากทฤษฎี กับค่าที่คำนวณได้จากการทดลองที่ ๐.๒๕๔๓ - ๐.๓๓๒๐ พบว่าการนำความร้อนผ่านผนังท่อมีผลน้อยมากต่อประสิทธิภาพของถังเก็บความร้อน แต่ในขณะเดียวกันผลที่เกิดจากการผสมกันระหว่างชั้นของน้ำนั้นมีค่าสูง การผสมกันของน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่า Dispersion number ซึ่งสามารถคำนวณได้ที่อัตราการไหลของน้ำต่างๆกัน จากผลของการทดลองค่านี้อยู่ในช่วง ๐.๐๖๑๗ - ๐.๑๑๔๐

Thesis Title	Study of Important Parameters Affecting Stratified Thermal Storage Tank
Name	Miss Pojanie Jongjitirat
Department	Chemical Engineering
Thesis Adviser	Assistant Professor Sakarindr Bhumiratana, Ph.D.
Academic Year	1980

ABSTRACT

Temperature stratification in hot water storage tanks was studied experimentally. The storage tanks were in cylincrical forms and made of fiber glass to minimize the heat loss to the surrounding. The effective performance of thermal storage tank was determined in terms of the extraction efficiency. The several geometric and dynamic parameters on thermal stratification have been investigated. The data were taken at various length to diameter ratios, various flow rates and inlet-exit water temperature differences. The effect of inlet water location on thermal stratification was also studied.

The experimental results show that the large L/D ratio, small D/d ratio and small Reynolds number give a better storage tank performance. The values of L/D should be in between 3 and 7, D/d between 6 and 9, and the Reynolds number should not be over 8,993. The value of ΔT should be as large as possible, since increasing ΔT will stabilize the water stratification. Furthermore the temperature of inlet water should be nearly the same as the temperature of the storage water around that inlet in order to minimize the bueyancy effect.

Further investigation has been made on the effect of heat conduction through the tank wall. The general equation can be developed from the theoretical storage tank model. The theoretical result was compared to the experimental one. It was found from the experiment that the effect of mixing was important while the effect of heat conduction through the tank wall was essentially negligible in this case (Γ = 0.2543 - 0.3320). Finally, the dispersion number was calculated at various flow rates to determine the effect of mixing. Its value is in the range of 0.0617 - 0.1190.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express her sincere appreciation to Dr. Sakarindr Bhumiratana for his valuable advice and unceasing help toward the completion of this thesis.

The author would like to thank to Miss Ornrudee Dejanakul, Mr. Terapon Sutisri, and Mr. Danu Sawakkulchol for their great contribution to the completion of this thesis.

The gratitude is extended to King Mongkut Institute of Technology Thonburi for providing accessible facilities.

The research was partially supported by a grant from the Graduate School, Chulalongkorn University.

CONTENT

		Page
THAI ABSTRACT	.....	IV
ENGLISH ABSTRACT	.....	VI
ACKNOWLEDGEMENT	.....	VII
LIST OF TABLES	.....	XI
LIST OF FIGURES	.....	XIII
CHAPTER		
I	INTRODUCTION	1
	1.1 General	1
	1.2 Energy Storage in Solar Process System ..	3
	1.3 Stratified Sensible Heat Storage	9
	1.4 Purpose of Research	11
II	THEORY	13
	2.1 System Description and Dimensional Analysis	13
	2.2 Mathematical Model of Stratified Sensible Heat Storage Tank	15
	2.3 Extraction Efficiency	27
III	APPARATUS AND PROCEDURE	30
	3.1 The Effect of Various Important Parameters	30

CHAPTER Page

3.2 The Effect of Cold Water Inlet Location ... 35

3.3 The Effect of Heat Conduction through the Tank Wall 35

IV EXPERIMENTAL RESULTS 41

4.1 Experimental Results on the Effect of Important Parameters 41

4.2 Experimental Results on the Effect of Water Inlet Location 49

4.3 Experimental Results on the Effect of Heat Conduction through the Tank Wall 49

V DISCUSSION 63

5.1 The Effect of Important Parameters..... 63

5.2 The Effect of Cold Water Inlet Location ... 66

5.3 The Effect of Heat Conduction through the Tank Wall 66

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS 69

REFERENCES 71

NOMENCLATURE 73

APPENDICES 75

I EXPERIMENTAL DATA 75

II TABULATED AND GRAPHICAL RESULTS 129

III MISCELLANEOUS 200

LIST OF TABLES

Table		Page
1	Advantages and Disadvantages of Water as Thermal Storage Medium	6
2	Dimensions of Storage Tanks	31
3	Effect of L/D Ratio on Extraction Efficiency at Various Reynolds number	42
4	Effect of D/d Ratio on Extraction Efficiency at Various Reynolds number	43
5	Effect of Grashof number Gr_D on Extraction Efficiency	50
6	Velocity of Fluid Particles when Buoyancy Effects are Predominant for Various Temperature Differences	53
7	Efficiency Comparison between the Theoretical and Experimental Output Responses	55-58
8	The Effect of Axial Dispersion for Various Reynolds number	63
9-15	Experimental Data	76-128
16-23	Experimental Results	130-143
24	Density and Specific Heat of Solid-Phase Storage Materials	201

Table		Page
25	Physical Properties of Water	202
26	Rotameter Calibration	203

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1	The Overall Solar-Thermal System	2
2	Hot Water Storage System with Water Circulation through Collector to Add Energy, and through Load to Remove Energy	14
3	Schematic of Apparatus	32
4	Location of Temperature Measurement for a Copper Lined Storage Tank	37
5	Photographs of Experimental Apparatus	38
6	Effect of Length to Diameter Ratio on Extraction Efficiency (ε_{90})	44
7	Effect of Length to Diameter Ratio on Extraction Effeciency (ε_{50})	45
8	Effect of Reynolds number on Extraction Efficiency (ε_{90})	46
9	Effect of Reynolds number on Extraction Efficiency (ε_{50})	47
10	Effect of Tank Diameter to Inlet Diameter Ratio on Extraction Efficiency	48
11	Effect of Inlet-Exit Water Temperature Difference on Extraction Efficiency with Re_d = 4,916	51

Figure		Page
12	Dimensionless Temperature, $(T_o - T_1/T_h - T_1)$ as a Function of Dimensionless Time, Qt/V at Various Flow Rates Entering at the Top Port	52
13-16	Comparison of Theoretical and Experimental Outputs Responses	59-62
17-21	Dimensionless Temperature, $(T_o - T_1/T_h - T_1)$ as a Function of Dimensionless Time, Qt/V at Various Flow Rates	199-198
22	Dimensionless Temperature, $(T_o - T_1/T_h - T_1)$ as a Function of Dimensionless Time, Qt/V at Various Temperature Differences	194-199