ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
E46205

การวิเคราะห์ผลสำเร็จของการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนในช่วงเริ่มต้นการทำงานของวงจรการไหลเวียนตามธรรมชาติแบบสองเฟสภายใน

นายสมชาย เบ้าทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b00255961

การวิเคราะห์และจำลองการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะในช่วงเริ่มต้นการทำงานของวงจรการไหลเวียนตามธรรมชาติแบบสองสถานะ

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
E46205

นายสมชาย เบ้าทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4 9 7 1 8 3 2 4 2 1

ANALYSIS AND SIMULATION OF STARTUP TRANSIENT IN TWO-PHASE NATURAL CIRCULATION LOOP

Mr. Somchai Baotong

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Doctor of Engineering Program in Nuclear Engineering

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

Thesis Title	ANALYSIS AND SIMULATION OF STARTUP TRANSIENT IN TWO-PHASE NATURAL CIRCULATION LOOP
By	Mr. Somchai Baotong
Field of Study	Nuclear Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Sunchai Nilsuwankosit, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Phongphaeth Pengvanich, Ph.D.

Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Doctoral Degree

..... Dean of the Faculty of Engineering
(Associate Professor Boonsom Lerdhirunwong, Dr. Ing.)

THESIS COMMITTEE

..... Chairman
(Associate Professor Supitcha Chanyotha, Ph.D.)

..... Thesis Advisor
(Associate Professor Sunchai Nilsuwankosit, Ph.D.)

..... Thesis Co-advisor
(Phongphaeth Pengvanich, Ph.D.)

..... Examiner
(Associate Professor Somyot Srisatit)

..... Examiner
(Assistant Professor Doonyapong Wongsawaeng, Ph.D.)

..... External Examiner
(Chanatip Tippayakul, Ph.D.)

สมชาย เบ้าทอง : การวิเคราะห์และจำลองการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะในช่วงเริ่มต้นการทำงานของวงจรการไหลเวียนตามธรรมชาติแบบสองสถานะ. (ANALYSIS AND SIMULATION OF STARTUP TRANSIENT IN TWO-PHASE NATURAL CIRCULATION LOOP) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. สัญชัย นิลสุวรรณโฆษิต, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร.พงษ์แพทย์ เพ่งวาณิชย์, 89 หน้า.

E46205

จุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการวิเคราะห์และจำลองการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะในช่วงเริ่มต้นการทำงานของวงจรการไหลเวียนตามธรรมชาติแบบสองสถานะ การจำลองการไหลแบบสองสถานะกระทำโดยใช้วงจรการไหลเวียนรูปสี่เหลี่ยมลักษณะต่างๆกันที่สร้างขึ้น จากนั้นนำผลการจำลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความถี่การแกว่งของอุณหภูมิและความดันด้วยการแปลงฟูริเยร์อย่างเร็ว พร้อมกันนั้นก็ได้ดัดแปลงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ “เทกซัส” เพื่อใช้วิเคราะห์ลักษณะการไหลในเชิงคำนวณเพื่อเปรียบเทียบ

จากผลการจำลองพบว่าการเปิดหรือปิดระบบทำความเย็นไม่มีผลต่อผลต่างอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเข้าและออกในส่วนให้ความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ การแกว่งของอุณหภูมิเป็นผลจากการไหลแบบสองสถานะในท่อแนวนอนเป็นหลัก และในกรณีที่มีการขยายขนาดของช่องทางการไหลอย่างทันทีหลังส่วนที่ให้ความร้อน การแกว่งของอุณหภูมิจะเป็นผลจากการไหลแบบไม่เสถียรที่เรียกว่า Geysering และ Flashing ในการวิเคราะห์ความถี่การแกว่งของอุณหภูมิที่ตำแหน่งทางออกจากตัวควบแน่นไอน้ำพบว่ามีค่าแปรผันตรงกับปริมาณความร้อนที่ให้ในส่วนให้ความร้อน ผลการคำนวณมีความสอดคล้องกับผลการทดลอง อย่างไรก็ตามโปรแกรมยังมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์และยังคงต้องได้รับการปรับปรุง

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี ลายมือชื่อนิสิต สมชาย เบ้าทอง

สาขาวิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

4971832421 : MAJOR NUCLEAR ENGINEERING

KEYWORDS : TWO-PHASE FLOW / NATURAL CIRCULATION LOOP / TEXAS V / TEMPERATURE OSCILLATION / FAST FOURIER TRANSFORM

SOMCHAI BAOTONG : ANALYSIS AND SIMULATION OF STARTUP TRANSIENT IN TWO-PHASE NATURAL CIRCULATION LOOP. ADVISOR : ASSOC. PROF. SUNCHAI NILSUWANKOSIT, Ph.D., CO-ADVISOR : PHONGPHAETH PENGVANICH, Ph.D.,89 pp.

E46205

The main objective of this research is to analyze and simulate the startup transient in two-phase natural circulation loop. Two rectangular loops have been designed and constructed to simulate a two-phase flow under two different configurations. Fast Fourier Transform (FFT) is used to analyze the oscillation of unstable temperature and differential pressure. A computer program, TEXAS, has been modified to simulate the two-phase flow in the rectangular natural circulation loop and compared with the experimental data.

The same water temperature difference across the heater was measured both when the cooling system was turned on and turned off. The temperature oscillation was observed in both loops under unstable boiling condition. The temperature oscillation was due to two factors. The first factor was the presence of the horizontal tube. The second was the flow instabilities, known as geysering and flashing-induced density wave oscillation, which occurred when water flowed from small channel to large channel in the heated section. The frequency of the temperature oscillation at the condenser outlet increased when the heat flux increased. The results from the computer simulation agreed with the experimental results. However, the simulation had some limitation, and still required further modification.

Department : Nuclear Technology	Student's Signature
Field of Study : Nuclear Engineering	Advisor's Signature
Academic Year : 2010	Co-advisor's Signature

Acknowledgments

I would like to thank my advisor, Associate Professor Dr. Sunchai Nilsuwankosit; and my co-advisor, Dr. Phongphaeth Pengvanich, for their guidance and assistance in the completion of this work.

Thanks to Assistant Professor Suvit Punnachaiya for his advice and recommendation. I also would like to thank Decho Thong-Aram for training and introducing me to the world of microcontroller. Thanks to Kamontip Ploykrachang and Piyathep Chobthumkit for their assistance in the lab. Thanks also to my leader, Dr. Visit Thaveeprungsriporn, for his guidance on how to succeed in PhD.

Thanks to my father Plueang and my mother Sanit for their encouragement and support. Thanks also to Prapas Kunnam and Monnapas Morakotjinda for their support and belief in me. I also thank Rungtiwa Chantarasakha for understanding and love during the time of study.

This work was supported by the Thailand Research Fund under the Royal Golden Jubilee Ph.D. program grant number PHD/0216/2548.

Contents

Page

Abstract (Thai)..... iv

Abstract (English)..... v

Acknowledgements..... vi

Contents..... vii

List of tables..... ix

List of figures..... x

Chapter

I INTRODUCTION..... 1

1.1 Background on problems of interest..... 1

1.2 Thesis objective..... 5

1.3 Scope of work..... 5

II TWO-PHASE FLOW..... 6

2.1 Flow patterns in vertical tubes 6

2.2 The different heat transfer regions in two-phase flow..... 8

2.3 One-Dimensional Two-fluid Model 10

III TEXAS CODE..... 17

3.1 Brief description of TEXAS code..... 17

3.2 Conservation Equations..... 19

3.2.1 Mass Equations..... 20

3.2.2 Momentum Equation..... 20

3.3.3 Energy Equations..... 21

3.3 Phase Change Model..... 23

3.4 Switch Void Fraction (SVF) in Pressure Iteration..... 24

3.5 Modification of TEXAS code..... 26

IV EXPERIMENTAL APPARATUS AND PROCEDURE..... 28

4.1 Experimental apparatus for the NCL#1..... 28

4.2 Experimental procedure for the NCL#1..... 29

Chapter Page

4.3 Experimental apparatus for the NCL#2 31

4.4 Experimental procedure for the NCL#1 34

4.5 Fast Fourier Transform method 35

V RESULTS AND DISCUSSION 36

5.1 The results of the NCL#1 36

5.1.1 Effect of cooling system on single-phase natural circulation.. 36

5.1.2 The temperature oscillation 39

5.2 The results of the NCL#2 44

5.2.1 Geysering induced by condensation 45

5.2.2 Flashing-induced density wave oscillation 47

5.2.3 Spectrum analysis with FFT 48

5.3 The results from computer simulation 53

5.4 Comparison of numerical and experimental results 59

VI CONCLUSION AND SUGGESTION 60

6.1 Conclusions 60

6.2 Suggestions 62

References 64

Appendices 67

Appendix A.1 Temperature profiles for the NCL#2 68

Appendix A.2 Differential pressure across the heater for the NCL#2 71

Appendix B.1 MATLAB code for FFT 74

Appendix B.2 FFT profiles of temperature at the heater outlet for the NCL#2 77

Appendix B.3 FFT profiles of temperature at the condenser outlet for the NCL#2 80

Appendix B.2 FFT profiles of differential pressure across the heater for the NCL#2 83

Appendix C Input file for the computer simulation 86

Page

Biography..... 89

List of Tables

Page

Table 5.1 Initial conditions for computer simulation..... 53

List of Figures

		Page
Fig. 2.1	Two-phase flow patterns in vertical upflow	6
Fig. 2.2	Wall and liquid temperatures, flow pattern and the associated heat transfer regions, heated tube.....	9
Fig. 2.3	The phasic heat transfer rate at the interface.....	15
Fig. 3.1	Conceptual picture of current TEXAS mixing model.....	19
Fig. 3.2	The TEXAS program.....	27
Fig. 3.3	The modification of TEXAS program.....	27
Fig. 4.1	Schematic diagram of the NCL#1.....	29
Fig. 4.2	The picture of NCL#1.....	30
Fig. 4.3	Schematic diagram of the NCL#2.....	32
Fig. 4.4	The picture of NCL#2.....	33
Fig. 4.5	Block diagram of the data recorder.....	34
Fig. 4.6	Block diagram of the power controller.....	34
Fig. 5.1	The water temperature at 473 W heating powers when the cooling system was turned off.....	36
Fig. 5.2	The water temperature at 473 W heating powers when the cooling system was turned on.....	37
Fig. 5.3	The maximum temperature at the outlet heater for the different heating power levels.....	38
Fig. 5.4	Effect of heating power on the temperature difference across the heater.....	38
Fig. 5.5	Effect of heating power on the mass flow rates.....	39
Fig. 5.6	The water temperature at the heater inlet and outlet of 575 W heating powers.....	40
Fig. 5.7	The amplitude of initial fluctuation of the water temperature at the heater outlet.....	41

Page

Fig. 5.8 The process of the water temperature oscillation after the water boiling..... 42
Fig. 5.9 FFT profile of the temperature oscillation at 550 W heating powers..... 43
Fig. 5.10 FFT profile of the temperature oscillation at 630 W heating powers..... 43
Fig. 5.11 The temperature profiles at various heat flux levels (a) 6.0 kW/m^2, (b) 8.0 kW/m^2, (c) 12.5 kW/m^2, and (d) 18.0 kW/m^2..... 44
Fig. 5.12 The differential pressure across the heater at various heat flux levels (a) 6.0 kW/m^2, (b) 8.0 kW/m^2, (c) 12.5 kW/m^2, and (d) 18.0 kW/m^2..... 45
Fig. 5.13 Proposed model of geysering in parallel boiling channels..... 46
Fig. 5.14 Recorded bubble images at the heater outlet..... 46
Fig. 5.15 Process of flashing-induced density wave oscillation..... 47
Fig. 5.16 Recorded bubble images at the riser middle..... 48
Fig. 5.17 FFT profiles of the temperature oscillation at the heater outlet and the condenser outlet for 8.0 kW/m^2 heat flux..... 49
Fig. 5.18 FFT profiles of the temperature oscillation at the heater outlet and the condenser outlet for 12.5 kW/m^2 heat flux..... 49
Fig. 5.19 FFT profiles of the temperature oscillation at the heater outlet and the condenser outlet for 18.0 kW/m^2 heat flux..... 50
Fig. 5.20 FFT profiles of the differential pressure across the heater at 8.0 kW/m^2 heat flux..... 51
Fig. 5.21 FFT profiles of the differential pressure across the heater at 12.5 kW/m^2 heat flux..... 51
Fig. 5.22 FFT profiles of the differential pressure across the heater at 18.0 kW/m^2 heat flux..... 52
Fig. 5.23 A computer model for (a) the NCL#1 and (b) the NCL#2..... 53
Fig. 5.24 Temperature profiles at 400 W heating powers..... 54
Fig. 5.25 Liquid velocity at 400 W heating powers..... 54

Page

Fig. 5.26 Pressure at 400 W heating powers..... 55

Fig. 5.27 The water temperature at various heating power levels..... 55

Fig. 5.28 The relationship between the water temperature and the water density..... 56

Fig. 5.29 Temperature profiles at 575 W heating powers..... 56

Fig. 5.30 Differential pressure across the heater at 575 W heating powers..... 57

Fig. 5.31 Void fraction at the heater outlet at 575 W heating powers..... 57

Fig. 5.32 Temperature profiles at 12.5 kW/m^2 heat fluxes..... 58

Fig. 5.33 Liquid velocity at 12.5 kW/m^2 heat fluxes..... 58

Fig. 5.34 Differential pressure across the heater at 12.5 kW/m^2 heat fluxes..... 58

Fig. 5.35 Comparison of numerical and experimental results for the maximum water temperature..... 59

Fig. 5.36 Comparison of numerical and experimental results for the temperature difference across the heater..... 59

Fig. 5.37 Comparison of numerical and experimental results for the amplitude of initial fluctuation..... 60

Fig. A1.1 Temperature profiles at 6.0 kW/m^2 heat flux..... 68

Fig. A1.2 Temperature profiles at 8.0 kW/m^2 heat flux..... 68

Fig. A1.3 Temperature profiles at 10.5 kW/m^2 heat flux..... 69

Fig. A1.4 Temperature profiles at 12.5 kW/m^2 heat flux..... 69

Fig. A1.5 Temperature profiles at 15.0 kW/m^2 heat flux..... 70

Fig. A1.6 Temperature profiles at 18.0 kW/m^2 heat flux..... 70

Fig. A2.1 Differential pressure across the heater at 6.0 kW/m^2 heat flux..... 71

Fig. A2.2 Differential pressure across the heater at 8.0 kW/m^2 heat flux..... 71

Fig. A2.3 Differential pressure across the heater at 10.5 kW/m^2 heat flux..... 72

Fig. A2.4 Differential pressure across the heater at 12.5 kW/m^2 heat flux..... 72

Fig. A2.5 Differential pressure across the heater at 15.0 kW/m^2 heat flux..... 73

Fig. A2.6 Differential pressure across the heater at 18.0 kW/m^2 heat flux..... 73

Page

Fig. B2.1 FFT profile of temperature at the heater outlet at 8.0 kW/m^2 heat flux... 77

Fig. B2.2 FFT profile of temperature at the heater outlet at 10.5 kW/m^2 heat flux. 77

Fig. B2.3 FFT profile of temperature at the heater outlet at 12.5 kW/m^2 heat flux. 78

Fig. B2.4 FFT profile of temperature at the heater outlet at 15.0 kW/m^2 heat flux. 78

Fig. B2.5 FFT profile of temperature at the heater outlet at 18.0 kW/m^2 heat flux. 79

Fig. B3.1 FFT profile of temperature at the condenser outlet at 8.0 kW/m^2 heat flux..... 80

Fig. B3.2 FFT profile of temperature at the condenser outlet at 10.5 kW/m^2 heat flux..... 80

Fig. B3.3 FFT profile of temperature at the condenser outlet at 12.5 kW/m^2 heat flux..... 81

Fig. B3.4 FFT profile of temperature at the condenser outlet at 15.0 kW/m^2 heat flux..... 81

Fig. B3.5 FFT profile of temperature at the condenser outlet at 18.0 kW/m^2 heat flux..... 82

Fig. B4.1 FFT profile of differential pressure across the heater at 8.0 kW/m^2 heat flux..... 83

Fig. B4.2 FFT profile of differential pressure across the heater at 10.5 kW/m^2 heat flux..... 83

Fig. B4.3 FFT profile of differential pressure across the heater at 12.5 kW/m^2 heat flux..... 84

Fig. B4.4 FFT profile of differential pressure across the heater at 15.0 kW/m^2 heat flux..... 84

Fig. B4.5 FFT profile of differential pressure across the heater at 18.0 kW/m^2 heat flux..... 85

Fig. C.1 Computer program..... 88