MODELING OF CAPILLARY RISE IN AN ANNULAR GEOMETRY

สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Mr. Wuttinan Panmaluak

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
For the Degree of Master of Science
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University
In Academic Partnership with
The University of Michigan, The University of Oklahoma,
and Case Western Reserve University
2003

ISBN 974-17-2316-4

Thesis Title: Modeling of Capillary Rise in an Annular Geometry

By: Mr. Wuttinan Panmaluak

Program: Petrochemical Technology

Thesis Advisor: Prof. Edgar A. O'Rear, III

Assist. Prof. Pramoch Rangsunvigit

Dr. Kitipat Siemanond

Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science

K. Bunyakiat ....College Director

(Assoc. Prof. Kunchana Bunyakiat)

Thesis Committee:

....

(Prof. Edgar A. O'Rear, III)

....

(Asst. Prof. Pramoch Rangsunvigit)

....

(Dr. Kitipat Siemanond)

....

(Dr. Boonyarach Kitiyanan)

....

(Dr. Sirirat Jitkarnka)

ABSTRACT

4471039063 : PETROCHEMICAL TECHNOLOGY PRIGRAM
Mr. Wuttinan Panmaluak: Modeling of Capillary Rise in an Annular Geometry
Thesis Advisors: Asst. Prof. Pramoch Rangsunvigit, Dr. Kitipat Siemanond, and Prof. Edgar A. O'Rear III
38 pp. ISBN 974-17-2316-4
Keywords : Annular tube/Capillary rise/Modeling

The presence of water in the small gaps of aluminum rivets and screw fasteners appears to cause million-dollar problems. This problem has been observed, for example, on the fuselage of some aircraft, with significant implications for the lifetime of the plane. Capillary forces draw water into gaps between the rivet or screw and the facing surface causing corrosion problems. Aluminum surface is to be modified to retard or prevent the corrosion by means of minimization of the water uptake. In order to do so, knowing how much water drawn into such gaps is necessary. Modeling of capillary rise in an annular geometry was investigated in this study. Models were developed based on the curvature of the surface and the height of the rising liquid. Experiments on capillary rise in an annulus for water–air was carried out at ambient conditions to validate the model. It was found that the model of the surface shape agreed well with the experimental results. The heights of rising water from the flat water surface to the bottom of the meniscus were 16.14 and 14.32 mm at the right-hand side and left-hand side, respectively, where the height calculated from the model was 18.2 mm. This difference was due to the large annular gap width, which is less accurate than a small gap width.

บทคัดย่อ

วุฒินันทน์ พานมะลึก:แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ขึ้นในท่อ Annulus (Modeling of Capillary Rise in an Annular Geometry) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. ปราโมช รังสรรค์วิจิตร ดร. กิติพัฒน์ สีมานนท์ และ ศ. เอดการ์ โอเรีย 38 หน้า ISBN 974-17-2316-4

น้ำที่ขังอยู่ในช่องว่างของหมุดอะลูมิเนียมและเกลียวเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาซึ่งสร้างความเสียหายมาก อย่างเช่นการสึกกร่อนที่เกิดขึ้นกับปีกเครื่องบินซึ่งส่งผลกับอายุการใช้งานของเครื่องบิน น้ำถูกดึงเข้าสู่ช่องว่างด้วยแรงคะปิลารี พื้นผิวของอะลูมิเนียมควรมีการปรับปรุงเพื่อลดหรือป้องกันการสึกกร่อนด้วยการลดปริมาณน้ำในช่องว่างให้น้อยที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบปริมาณน้ำที่ถูกดึงเข้าไปในช่องว่างในเบื้องต้น งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ขึ้นในท่อ annular ด้วยแรงคะปิลารี แบบจำลองแบ่งเป็นสองส่วนและพัฒนามาจากความโค้งของพื้นผิง และความสูงของของเหลวที่เคลื่อนที่ขึ้น ตามลำดับ การเคลื่อนที่ขึ้นในท่อ annular สำหรับระบบ น้ำ—อากาศ ได้ทดลองที่สภาวะบรรยากาศเพื่อตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้น พบว่าแบบจำลองสำหรับสัณฐานของพื้นผิวนั้นสอดคล้องกับผลการทดลองเป็นอย่างดี จากการทดลองพบว่าความสูงของน้ำที่เคลื่อนที่ขึ้นเป็น 16.14 และ 14.32 ม.ม. ทางด้านซ้ายมือและขวามือ ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความสูงที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือ 18.2 ม.ม. ความคาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นคาดว่าเป็นผลเนื่องมาจากช่องว่างระหว่างท่อทั้งสองกว้างเกินไป ทำให้ความแม่นยำลดน้อยลง

ACKNOWLEDGEMENTS

This thesis could not have been possible without the assistance of the following individuals and organizations. I would like to thank all of them for making this thesis a success.

Out of sense of gratefulness, I would like to express my deepest gratitude to Asst. Prof. Pramoch Rangsunvigit, Dr. Kitipat Siemanond and Prof. Edgar A. O'Rear, III for their helpful advises, support and kindness.

I sincerely exhibit my appreciation to all professors who guided me through their courses establishing the knowledge base I used in this work. I am indebted to The Petroleum and Petrochemical College and all of staff for their assistance.

This thesis work is partially funded by Postgraduate Education and Research Programs in Petroleum and Petrochemical Technology (PPT Consortium).

Finally, I would like to extend my whole-hearted gratitude to my family and my friends for their love, encouragement, and measureless support.

TABLE OF CONTENTS

		PAGE
	Title Page	i
	Abstract (in English)	iii
	Abstract (in Thai)	iv
	Acknowledgements	v
	Table of Contents	vi
	List of Tables	ix
	List of Figures	xi
CHAPTER		
I	**INTRODUCTION**	1
II	**BACKGROUND AND LITERATURE SURVEY**	3
	2.1 Surface Tension: The Young-Laplace Equation	3
	2.2 Capillary Rise in a Cylinder	5
	2.3 Literature Survey	6
III	**MODELING**	8
IV	**EXPERIMENTAL**	14
	4.1 Materials and Equipment	14
	4.1.1 Deionized Distilled Water	14
	4.1.2 Capillary Tubes	14
	4.1.3 Annular Tubes	14
	4.1.4 Cathetomete	14
	4.2 Experimental Conditions	15
	4.3 Methodology	15
	4.3.1 Glassware Cleaning	15
	4.3.2 Capillary Rise in an Annular Tube	15

CHAPTER		PAGE
V	**RESULTS AND DISCUSSION**	17
VI	**CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**	30
	REFERENCES	32
	APPENDICES	34
	Appendix A Meniscus Heights from Mathematical and Experimental Solutions	34
	Appendix B Algorithms of Solving the Surface Curvature and the Height of the Rising Water	35
	CURRICULUM VITAE	38

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
4.1	Tube sizes used in the experiment	14
5.1	Contact angles of water for various solids as determined from directed contact angle measurements (CA) and from thin layer wicking (TW) (Chibowski and Perea-Carpio, 2002)	24
A1	Heights of meniscus at various radii with a contact angle of 22.9°	34
A2	Heights of meniscus at various radii with a contact angle of 12.2°	34

LIST OF FIGURE

FIGURE		PAGE
2.1	Surface forces on molecules in bulk and at interface.	3
2.2	(a) The curved surface of a cylinder. (b) Differential area in the surface separating two immiscible fluids.	4
2.3	The schematic diagram of the capillary rise in a cylinder method.	6
3.1	Interface between two fluids.	8
3.2	Sketch of configuration of annular tube and meniscus. (a) The schematic diagram of the capillary rise method in annular tube. (b) Boundaries of the system to be used in modeling.	9
4.1	Experimental set up for a capillary rise in an annular tube.	16
5.1	Shape of a meniscus from the analytical solution in the annulus of R = 1 mm, $\kappa = 0.98$, and $\lambda = 0.99$.	18
5.2	Shape of a meniscus from the analytical solution in the annulus of R = 5 mm, $\kappa = 0.98$, and $\lambda = 0.99$.	19
5.3	Shape of a meniscus from the analytical solution in the annulus of R = 10 mm, $\kappa = 0.98$, and $\lambda = 0.99$.	20
5.4	Shapes of a menisci from the analytical solution in the annulus with various annular gap widths with a constant outer tube radius, R, of 10 mm.	21
5.5	Shapes of menisci in the annulus comparing between H_0 solved by setting $H(r) = 0$ at $r = \kappa R$ and $r = R$.	22
5.6	Shapes of menisci from the analytical solution in the annulus with various positions of a meniscus tip with a constant outer tube radius, R, of 10 mm.	23

FIGURE **PAGE**

5.7 Menisci for the water-air system at 20°C. (The contact angle might not appear to be exact to values in Table 5.1 because the perpendicular axis is expanded relatively to the horizontal axis.) 25

5.8 Menisci of different liquids. (Contact angles: water-air = 10° (Middleman, 1998), mercury-air = 140° (Fox and Macdonald, 1994)) 25

5.9 Shape of a meniscus resulted from the experiment. 26

5.10 Shapes of menisci resulted from the experiments (a and b) showing that the experiments are reproducible. 28

5.11 Comparison between experimental and simulation results of a contact angle of 12.2° at the RHS, and 22.9° at the LHS. 29

B1 Block diagram for an analytical solution. 35

B2 Block diagram for numerical slutions. 36

B3 Block diagram for the height of a rising water. 37