TWO-PHASE FLOW IN VERTICAL TUBES
AND FLOODING IN PACKED COLUMNS

Ms. Jareerat Puengpatipan

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
2002

ISBN 974-03-1588-7

Thesis Title	:	Two-Phase Flow in Vertical Tubes and Flooding in Packed Columns
By	:	Ms. Jareerat Puengpatipan
Program	:	Petrochemical Technology
Thesis Advisors	:	Dr. Kitipat Siemanond Prof. James O. Wilkes

---

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:

Kitipat Siemanond ....

(Dr. Kitipat Siemanond)

James O. Wilkes ....

(Prof. James O. Wilkes)

....

(Dr. Pomthong Malakul)

Boonyarach Kitiyanan ....

(Dr. Boonyarach Kitiyanan)

ABSTRACT

4371006063 : PETROCHEMICAL TECHNOLOGY PROGRAM
Jareerat Puengpatipan : Two-Phase Flow in Vertical Tubes and Flooding in Packed Columns
Prof. James O.Wilkes and Dr. Kitipat Siemanond, 95 pp.
ISBN 974-03-1588-7
Keywords : Flow regime/ Bubble flow/ Slug flow/ Air-lift pump/ Vertical tube/ Flooding/ Packed column/ Eckert chart

Systems involving gas-liquid phase concurrent vertical flows are found important in evaporators and in the simultaneous transport of oil and gas in wells. For the two-phase flow study, flow regimes and the hydrodynamics of slug were determined. Experimental measurements were carried out in a vertical tube with 1.9 cm in diameter and 300 cm in length using an air-water system. The superficial air velocities used were in the range of 0 to 14.67 cm/s, whereas the superficial velocities of water were 2.93 to 70.42 cm/s. Bubble to slug flow pattern map was generated. In addition, the relation between rise velocity of single slug and the slug length, rise velocity of continuously generated slug, void fraction and air-lift pump operation within slug flow were investigated. All results conformed to the Nicklin's models.

Flooding, an important physical phenomenon in two-phase countercurrent packed towers, was studied experimentally by varying the type (ceramic ball and plastic raschig ring) and the heights (60 and 80 cm) of packing material in column with a diameter of 8.4 cm and 128 cm long. The range of water mass velocities studied was 0.15 to 0.60 $g/cm^2.s$ and the air mass velocities between 0 to 11.66 $g/cm^2.s$. The Eckert type charts of different packing materials were studied to find the scope of flooding. The results showed that ceramic balls gave lower scope of flooding than plastic raschig rings did and at different heights of the same packing, they gave the same transition between normal and flooding operation. For the pressure drop study, an increase in gas mass velocities and water mass velocities at constant air mass velocity caused an increase in pressure drop.

บทคัดย่อ

จารีรัตน์ พึ่งปฏิภาณ : การไหลของของไหลสองสถานะในท่อแนวดิ่งและการท่วมของของเหลวในท่อบรรจุตัวกลาง (Two-Phase Flow in Vertical Tubes and Flooding in Packed Columns) อ. ที่ปรึกษา : ศ. เจมส์ โอ วิลส์ และ ดร. กิติพัฒน์ สีมานนท์ 95 หน้า ISBN 974-03-1588-7

ระบบที่ประกอบด้วยแก๊สและของเหลวที่ไหลแบบขนานกันภายในท่อแนวดิ่งมีความสำคัญในเครื่องทำระเหย และในท่อส่งน้ำมันและแก๊สจากบ่อน้ำมัน ในการศึกษานี้ รูปแบบการไหลและการเคลื่อนที่ของกระสุนอากาศในระบบอากาศและน้ำถูกวิเคราะห์ในท่อพลาสติกใสขนาด 1.9 เซนติเมตร × 300 เซนติเมตร (เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน × ความสูง) ความเร็วอากาศที่ศึกษาอยู่ในช่วง 0 ถึง 14.67 เซนติเมตรต่อวินาที ในขณะที่ความเร็วของน้ำอยู่ในช่วง 2.93 ถึง 70.42 เซนติเมตรต่อวินาที ผังการไหลแบบฟองและกระสุนอากาศได้ถูกสร้างขึ้น นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วพุ่งขึ้นของกระสุนอากาศในน้ำแบบเดี่ยว กับความยาวกระสุน, ความเร็วพุ่งขึ้นของกระสุนอากาศแบบต่อเนื่อง, อัตราส่วนว่างของอากาศ และการปฏิบัติการของเครื่องสูบอาศัยแรงดันอากาศภายในการไหลแบบกระสุน ผลการทดลองทั้งหมดสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบจำลองของนิกคลิน

ของเหลวท่วมท่อเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบการไหลสองสถานะแบบสวนทางกันในหอปฏิบัติการ โดยได้ทำการศึกษาในท่อพลาสติกใสขนาด 8.4 เซนติเมตร × 128 เซนติเมตร และเปลี่ยนชนิดของวัสดุตัวกลางคือ ลูกบอลเซรามิคและวงแหวนพลาสติกที่ความสูงของวัสดุตัวกลาง 60 และ 80 เซนติเมตร ความเร็วมวลน้ำที่ศึกษาจาก 0.15 ถึง 0.60 กรัมต่อตารางเซนติเมตร.วินาที และความเร็วมวลอากาศจาก 0 ถึง 11.66 กรัมต่อตารางเซนติเมตร.วินาที ผังรูปแบบของเอ็กเคิร์กได้ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาช่วงของการเกิดของเหลวท่วม ผลการทดลองพบว่าผังเอ็กเคิร์กของลูกบอลเซรามิคให้ช่วงของของเหลวท่วมต่ำกว่าวงแหวนพลาสติกในทั้งสองความสูง ในขณะที่ผังเอ็กเคิร์ก์ของตัวกลางชนิดเดียวกันพบว่าการเปลี่ยนจากช่วงปฏิบัติการไปสู่ช่วงของเหลวท่วมไม่แตกต่างกันมาก ส่วนการศึกษาความดันลดพบว่าความดันลดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วมวลอากาศ หรือเพิ่มความเร็วมวลน้ำในขณะที่ความเร็วมวลอากาศคงที่

ACKNOWLEDGEMENTS

The author greatly appreciate the efforts of her research advisors, Professor James O. Wilkes, Department of Chemical Engineering, University of Michigan for his useful comments, professional suggestions, caring and love. She also thanks Dr. Kitipat Siemanond, her Thai advisor, for his excellent guidance, kindness, proofreading her thesis and especially encouragement throughout her research.

She would like to extend her sincere appreciation to all professors who taught her and helped to establish the knowledge used in this work through their courses. She would like to give thanks to Dr. Pomthong Malakul and Dr. Boonyarach Kitiyanan for being the thesis committee and providing her useful information.

Special thanks to all of The Petroleum and Petrochemical College's staff for fabricating and repairing her equipment. She also gratefully acknowledge The Petroleum Authority of Thailand for courtesy ceramic balls using in her research.

Unforgettable appreciation is forwarded to The Petroleum and Petrochemical College for providing her the scholarship to study.

She would like to thank all of her friends in the college who played invaluable roles in her learning experience, especially thirteen gang.

Finally, she would like to express deep appreciation to her father, mother, sisters and brother whose love, concern, encouragement and understanding play the greatest role in her success.

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

FIGURE **PAGE**

FIGURE		PAGE

LIST OF SYMBOLS

A	Cross-sectional area of a tube, cm^{-2}
a	Surface area of the packing per cubic centimeter of packed volume cm^{-1}
c	Constant value for equation (5)
D	Tube inner diameter, cm
F	Packing factor
G	Volumetric flowrate of gas, LPM
G_g	Gas mass velocity, g $cm^{-1}.s^{-1}$
G_l	Liquid mass velocity, g $cm^{-1}.s^{-1}$
g	Acceleration due to gravity, $cm.s^{-2}$
g_c	Conversion factor
H	Height of liquid in the main column, cm
H_0, h	Height of liquid in the reservoir column, cm
L	Volumetric flowrate of liquid, ccm
p_1	Pressure at point 1
p_2	Pressure at point 2
U_b	Rise velocity of bubble in stagnant liquid, $cm.s^{-1}$
U_l	Mean upward liquid velocity, $cm.s^{-1}$
U_s	Rise velocity of slug, $cm.s^{-1}$
u_a	Axial velocity component of liquid around slug, $cm.s^{-1}$
u_r	Radial velocity component of liquid around slug, $cm.s^{-1}$
ε	Void fraction
ρ_g	Density of gas, g cm^{-3}
ρ_l	Density of liquid, g cm^{-3}
ψ	Ratio of density of water and density of liquid
μ_l	Viscosity of liquid, cp
ϕ	Potential function