DEVELOPMENT OF A NEUTRON DEVICE TO MEASURE STEAM QUALITY AT A HIGH PRESSURE

Ms. Bhurisa Thitakamol

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 974-17-2276-1

Thesis Title: Development of a Neutron Device to Measure Steam Quality at a High Pressure
By: Ms. Bhurisa Thitakamol
Program: Petrochemical Technology
Thesis Advisor: Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon
Prof. Frank R. Steward

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

K. Bunyakiat.
.... College Director
(Assoc. Prof. Kunchana Bunyakiat)

Thesis Committee:

....
(Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon)

Frank R Steward
....
(Prof. Frank R. Steward)

....
(Prof. Somchai Osuwan)

Pramoch R.
....
(Asst Prof. Pramoch Rangsunvigit)

ABSTRACT

4471006063 : PETROCHEMICAL TECHNOLOGY PROGRAM
Ms. Bhurisa Thitakamol: Development of a Neutron Device to Measure Steam Quality at a High Pressure.
Thesis Advisors: Prof. Frank R. Steward and Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon, 93 pp. ISBN 974-17-2276-1

Keywords : Scatterometer/ Neutron scattering/ Fast neutron/ Steam quality

Steam quality, measured as the void fraction in a two-phase, steam-water flow in an autoclave, was investigated by the fast neutron scattering technique. This technique based on the slowing-down of neutrons, resulting from the thermalization of fast neutrons, is proportional to the number of hydrogen nuclei in the liquid. A Monte Carlo simulation demonstrated that linearity between void fraction and neutron count rate (detector response) could be achieved using the instrument geometry; viz. ^{252}Cf as isotropic neutron source, helium detector and half-inch stainless steel pipe. Before the steam-water system was studied, a static experiment using Lucite rods and a nitrogen-water experiment in which nitrogen was bubbled through water in a plexiglas tube were performed to confirm the Monte Carlo result. A simplified calibration method was used to estimate the void fraction obtained from experiment; the estimated value varied linearly with the actual value of the void fraction. At high pressure and temperature, the density of water was found to be proportional to neutron count rate. The measurement of steam quality calculated from the parameters of the autoclave operation was detected by a neutron scatterometer. It was found that the neutron count rate decreased as steam quality increased as predicted.

บทคัดย่อ

ภูริสา ดิฐกมล : การพัฒนาเครื่องมือนิวตรอนในการวัดสตีมควอลิตีในระบบความดันสูง (Development of a Neutron Device to Measure Steam Quality at a High Pressure) อ. ที่ปรึกษา ศ. แฟรงค์ อาร์ สจ๊วต (Prof. Frank R. Steward) และ รศ.ดร. ธีรศักดิ์ ฤกษ์สมบูรณ์ 93 หน้า ISBN 974-17-2276-1

สตีมควอลิตีหรืออัตราส่วนที่ว่างของของไหลที่ประกอบด้วยไอน้ำและน้ำที่ไหลภายในท่อสามารถวัดได้โดยการใช้วิธีฟาสต์นิวตรอนสะเคทเทอร์ริ่ง หลักการของการวัดคืออนุภาคนิวตรอนจะสูญเสียพลังงานเมื่อชนกับอนุภาคของไฮโดรเจนในน้ำ ดังนั้นจำนวนของอนุภาคนิวตรอนที่สูญเสียพลังงานนั้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณของน้ำ การจำลองโดยใช้วิธีมอนติคาร์โลแสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอัตราส่วนที่ว่างกับอัตราการนับของนิวตรอน (ค่าการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดนิวตรอน) เมื่อระบบใช้แคลิฟอร์เนียม-252 เป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอน เครื่องตรวจวัดนิวตรอนชนิดฮีเลียมและท่อสแตนเลสสตีลขนาดครึ่งนิ้ว ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองแบบสแตติกที่ใช้ลูไซท์ในการแทนที่ปริมาณน้ำในท่อและการทดลองของระบบไนโตรเจนกับน้ำซึ่งไนโตรเจนถูกทำให้เป็นฟองไหลเข้าในน้ำที่อยู่ในท่อพิซีกล๊าสยืนยันผลที่ได้จากการจำลองโดยใช้วิธีมอนติคาร์โลก่อนที่จะทำหารทดลองในระบบที่ประกอบด้วยไอน้ำและน้ำ วิธีการสอบเทียบจะใช้ในการประมาณค่าอัตราส่วนที่ว่างที่ได้จากหารทดลองซึ่งพบว่าค่าที่ได้จากการประมาณนั้นแปรผันอย่างเป็นเช้งเส้นกับค่าจริงของอัตราส่วนที่ว่าง สำหรับที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูง ความหนาแน่นของน้ำพบว่าเป็นสัดส่วนกับอัตราการนับของนิวตรอน ในการวัดค่าสตีมควอลิตีซึ่งคำนวณได้จากค่าพารามิเตอร์ที่มาจากการทำงานของออโตเคฟสามารถทำได้โดยการใช้อุปกรณ์นิวตรอนสะเคทเทอร์ริ่ง พบว่าอัตราการนับของนิวตรอนลดลงเมื่อสตีมควอลิตีลดลง

ACKNOWLEDGEMENTS

First of all, I would like to express my graceful thank to Assoc Prof. Thirasak Rirksomboon for giving me this best opportunity to conduct my research in University of New Brunswick and provide the good guidance for the entire work. Especially, I also deeply appreciate Prof. Frank R. Steward who always assisted me during I stayed in Canada. And I am so appreciated Prof. Derek Lister, Chair in Nuclear Engineering, Department of Chemical Engineering, University of New Brunswick, who gave me beneficial advice. Moreover, my thanks are also extended to all graduate student of Department of Chemical Engineering, University of New Brunswick, who provides me many valuable suggestions and widened my knowledge about nuclear energy.

This thesis work could not be completed if I did not have assistance from Norman Arbeau and Willy Cook, who help me to set the experiment. And I sincerely thank all of the PPC staffs and also acknowledge to all PPC faculties.

My gratitude is also offered to the Petroleum and Petrochemical College in providing me the full scholarship and great chance. Moreover, I am also grateful for the partial scholarship and partial funding of the thesis work provided by Postgraduate Education and Research Programs in Petroleum and Petrochemical Technology (PPT Consortium).

Finally, I would like to extend my thanks to my lovely family, my friends in Thailand, who shared either happy or sorrow with me when we were together at PPC, my teacher at King Mongkut's University of Technology Ladkrabang for their encouragement and understanding and Mr. Teerawat Sanprasernparnich who always give me cheerfulness and taking care of me.

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES

TABLE **PAGE**

LIST OF FIGURES

FIGURES **PAGE**

LIST OF SYMBOLS

N(1)	Detector count rate corresponding to the test section containing vapor or full of liquid
N(0)	Detector count rate corresponding to the test section containing water or full of vapor
N(ε)	Detector count rate corresponding to the test section containing steam-water mixture
N(ρ)	Detector count rate corresponding to the test section with actual liquid fraction steam-water mixture
R(1)	Neutron count rate corresponding to a full-of-water test section
R(ρ)	Neutron count rate corresponding to an empty test section
R(ρ)	Neutron count rate corresponding to a known Lucite fraction test section
$\hat{\varepsilon}$	Estimated void fraction
E_{th}	Thermal energy of the neutron
T	Temperature of the medium
k	Boltzmann's constant
N	Number of radioactive nuclei
E	Neutron energy (eV)
T	Constant value of 1.3 MeV
ρ	Density of mixture (g/cm^3)
ρ_L	Density of liquid phase (g/cm^3)
ρ_g	Density of vapor phase (g/cm^3)
α	Void fraction
$\hat{\rho}$	Lucite fraction or estimated liquid fraction
m	Mass flow rate (g/s)
u	Velocity of saturated water (m/s)
g	Gravitational force (m/s^2)

Q	Heat added in the system (J/s)
W_s	Shaft work (J/s)
x	Steam quality
Δh	Enthalpy change of saturated water before and after passing though the autoclave (J/g)
h_1	Enthalpy of saturated water at the entrance of autoclave (J/g)
h_2	Enthalpy of saturated water at the exit of autoclave (J/g)
h_f	Enthalpy of saturated water at saturated temperature (J/g)
h_g	Enthalpy of saturated vapor at saturated temperature (J/g)