

# การใช้วิธีฟลูอิดไฮโดรมาไซส์สกัดหินน้ำมันในรีทอร์ท

นายอำพล เอออาร์



006606

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

แผนกวิชาเคมีเทคนิค

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๑๕

# APPLICATION OF FLUIDIZATION TO OIL SHALE RETORTING

Mr. Ampon Eur-aree

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

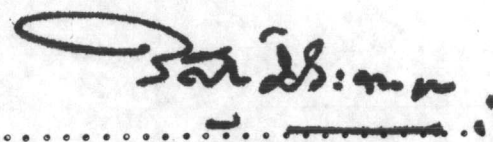
Department of Chemical Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1976

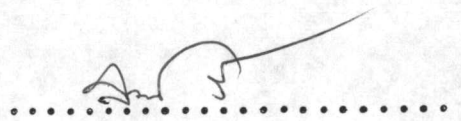
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต



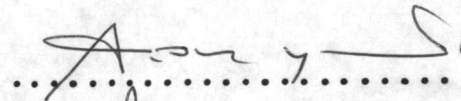
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ ..... ประธานกรรมการ

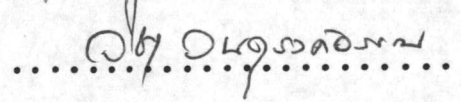
..... กรรมการ



..... กรรมการ



..... กรรมการ



..... กรรมการ

อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย

อาจารย์ กัญญา บุญเกียรติ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พล สำเทอง

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

|                   |   |          |            |
|-------------------|---|----------|------------|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การใช้วิธีฟลูอิดไอซ์มาใช้สกัดหินน้ำมันในรีทอร์ต |          |            |
| ชื่อ              | นายอำพล เอื้ออารี                               | แผนกวิชา | เคมีเทคนิค |
| ปีการศึกษา        | 2518  |          |            |

### บทคัดย่อ

ในการศึกษาวิจัยใช้หินน้ำมันแม่สอดเป็นสารตัวอย่าง ซึ่งเป็นแหล่งหินน้ำมันประมาณว่ามีปริมาณแร่สำรองสูงถึง 2,500 ล้านเมตริกตัน และมีน้ำมันหินสูงถึงร้อยละ 26.1 โดยใช้กรรมวิธีซึ่งคาดว่าจะให้น้ำมันหินได้มากที่สุดวิธีหนึ่ง คือวิธีฟลูอิดไอซ์ เพราะเป็นขบวนการเดียวที่มีคุณสมบัติในการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) และการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ได้เป็นอย่างดี

ในเริ่มแรกได้ศึกษาหาค่า ความหนาแน่น และความกลม (Shape factor) ของเม็ดหินน้ำมัน โดยใช้วิธี Fixed Bed ได้เท่ากับ 2.47 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 0.604 ตามลำดับ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบเครื่องมือ เครื่องมือนี้มีขนาดสำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ เป็นแบบ Batch Process โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลาง (Fluidizing gas) จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และขนาดของเม็ดหินน้ำมันต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากรีทอร์ตทดลองนี้ ปรากฏว่าในช่วงอุณหภูมิ 550 ถึง 580 องศาเซลเซียสให้น้ำมันมากที่สุด ในขณะที่ใช้ความเร็วของก๊าซไนโตรเจนในสภาพฟลูอิดไอซ์ต่ำสุดผ่านเม็ดหินน้ำมันแต่ละขนาด และได้พบว่าในช่วงของขนาดเม็ดหินน้ำมันจาก 0.500 ถึง 0.576 มิลลิเมตร ให้น้ำมันมากที่สุด นอกจากนี้ยังได้พบว่าที่ขนาดของเม็ดหินน้ำมันที่ใช้แทบจะไม่มีผลต่อ Optimum temperature เลย

กากหินน้ำมันและก๊าซ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากขบวนการนี้อาจจะนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนในขบวนการได้ด้วย



By-products of this process, especially, spent shale and gas could be utilized as the heat source of the process.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his profound gratitude to Mrs. Kunchana Bunyakiat and Assistant professor Dr. Phol Sa-getong for their continuous guidance, valuable suggestions, and advice offered during the course of this research, which contributed significantly to its improvement.

The author is greatly depected to Mr. Weerachai Premyo-thin for the permission to analyze oil yield from oil shale by the Fischer assay.

Thanks are also due to Dr. Amornrat Swatditat for her advise in writing this thesis, and to all others who have helped toward the completion of this thesis.

Acknowledgement is extended to Chulalongkorn University for the financial support on the construction of the equipment. He also gratefully acknowledges the financial aid granted by the National Research Council for the publication of this thesis.

## CONTENTS

|                                      | Page |
|--------------------------------------|------|
| ABSTRACT IN THAI                     | iv   |
| ABSTRACT                             | v    |
| ACKNOWLEDGEMENTS                     | vii  |
| LIST OF TABLES                       | ix   |
| LIST OF FIGURES                      | x    |
| NOTATION                             | xii  |
| CHAPTER :                            |      |
| I    INTRODUCTION                    | 1    |
| II   LITERATURE REVIEW               | 4    |
| III  EXPERIMENTAL INVESTIGATION      | 25   |
| IV   EXPERIMENTAL RESULTS            | 46   |
| V    DISCUSSION                      | 66   |
| VI   CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS | 73   |
| REFERENCES                           | 76   |
| APPENDICES                           | 79   |
| VITA                                 | 98   |



## LIST OF TABLES

| Table |   | Page |
|-------|---|------|
| 4.1   | The Relationship of $U_o$ and $(\frac{980}{180} \cdot \frac{\Delta P}{L_m} \cdot \frac{\bar{d}_p^2}{\mu})$<br>for Determining $K_i$ | 47   |
| 4.2   | The Relationship of $K_i$ and $L_m$ for<br>Determining $\phi$ and $\rho_s$  | 49   |
| 4.3   | Determination of $U_{mf}$ for Raw Shale Particles   | 52   |
| 4.4   | Determination of $U_{mf}$ for Spent Shale<br>Particles  | 54   |
| 4.5   | Effect of Retorting Temperature on Oil Yield  | 60   |
| 4.6   | Effect of Oil Shale Particle Size on Oil<br>Yield   | 64   |

## LIST OF FIGURES

| Figure |   | Page |
|--------|---|------|
| 2.1    | Yield of Oil at Various Temperatures                              | 9    |
| 2.2    | Reaction Time for 90% Decomposition of<br>Finely-Ground Oil Shale | 11   |
| 2.3    | Correlation for Wall to Bed Heat Transfer                         | 18   |
| 2.4    | Rate Constants for Kerogen Decomposition                          | 22   |
| 3.1    | Fluidized Bed for Testing $U_{mf}$                                | 26   |
| 3.2-A  | Fluidization Testing  | 27   |
| 3.2-B  | Fluidized Bed of Oil Shale Particles                              | 27   |
| 3.3    | Arrangement of Experimental Equipment                             | 29   |
| 3.4    | A Photograph Showing the Arrangement of<br>Experimental Equipment | 30   |
| 3.5    | Distributor   | 31   |
| 3.6    | Retort  | 33   |
| 3.7    | A Photograph Showing the Retort                                   | 34   |
| 3.8    | Cyclone   | 35   |

## LIST OF FIGURES (Continued)

| Figure |   | Page |
|--------|---|------|
| 3.9    | Correlation between Rotameter Reading and $N_2$ - Flow Rate                     | 44   |
| 4.1    | Determination of $K_i$ in Eq. (3-4) from Table 4.1                              | 48   |
| 4.2    | Determination of $\phi$ & $\rho_s$ in Eq. (3-6) & (3-7) from Table 4.2          | 50   |
| 4.3    | Determination of $U_{mf}$ , Sample No. 1  | 56   |
| 4.4    | Determination of $U_{mf}$ , Sample No. 2  | 57   |
| 4.5    | Determination of $U_{mf}$ , Sample No. 3  | 58   |
| 4.6-A  | Effect of Retorting Temperature on Oil Yield                                    | 62   |
| 4.6-B  | Correlation of Optimum Temperature & Particle Size of Oil Shale from Fig. 4.6-A | 63   |
| 4.7    | Effect of Particle Size on Oil Yield  | 65   |

## NOTATION

|                  |  |
|------------------|--|
| $A_w$            | Area of vessel wall or of heat exchanger surface, $\text{cm}^2$                                  |
| $C_g$            | Specific heat of gas, $\text{cal/gm.}^\circ\text{C}$   |
| $C_s$            | Specific heat of solids, $\text{cal/gm.}^\circ\text{C}$  |
| $d_{pi}$         | Sieve diameter of particle, $\text{cm}$  |
| $\bar{d}_p$      | Mean particle diameter, $1/\sum_i \left(\frac{x}{\bar{d}_p}\right)_i$ , $\text{cm}$              |
| $d$              | Surface volume diameter of particle, $\bar{d}_p \cdot \phi$ , $\text{cm}$ .                      |
| $D$              | Bed diameter, $\text{cm}$  |
| $D_{\text{max}}$ | Maximum diameter of fluidized bed, $\text{cm}$   |
| $D_s$            | Diameter of fluidized bed at which, for a given flow-rate, slugging may commence, $\text{cm}$    |
| $F$              | Maximum nitrogen flow rate, $\text{cm}^3/\text{min}$   |
| $g$              | Acceleration of gravity, $980 \text{ cm/sec}^2$  |
| $g_c$            | Conversion factor, $980 \text{ gm.cm}/(\text{gm.-wt}). \text{sec}^2$                             |
| $G$              | Modified Fischer assay, $\text{gal/ton}$   |
| $h_w$            | Heat transfer coefficient between bed and surface, $\text{cal/sec. cm}^2.^\circ\text{C}$         |
| $\Delta H_s$     | Heat requirement for oil shale retorting, $\text{cal/gm}$  |
| $k_g$            | Thermal conductivity of gas, $\text{cal/cm. sec.}^\circ\text{C}$                                 |
| $K$              | Rate constants for kerogen decomposition, $\text{wt.}\% \text{ per min}$                         |
| $K_i$            | Coefficient of $U_o$ in Eq. 3.3-B, $(1 - \epsilon_m)^2/(\phi^2 \epsilon_m^3)$ ,<br>dimensionless |
| $L_m$            | Bed height, $\text{cm}$  |
| $L_{mf}$         | Bed height at minimum fluidizing conditions, $\text{cm}$   |

|                 |  |
|-----------------|--|
| $L_{\min}$      | Minimum bed height, cm   |
| $L_s$           | Bed height corresponding to $D_s$ , cm   |
| $\Delta P$      | Pressure drop, gm.wt/cm <sup>2</sup>   |
| $P_o, P_1$      | Absolute pressure at N.T.P. and other conditions, atm  |
| $Q, Q_o$        | Mass of gas or liquid contained in unit mass of solid at any time and initial time, dimensionless    |
| $q$             | Heat transfer rate, cal/sec  |
| $Re_p$          | Reynolds number of particle ( $d U_o \rho_g / \mu$ ), dimensionless                                  |
| $Re_{mf}$       | Reynolds number of particle at minimum fluidizing condition, $d U_{mf} \rho_g / \mu$ , dimensionless |
| $S$             | Cross sectional area of bed, cm <sup>2</sup>   |
| $t$             | Time, sec  |
| $T$             | Temperature, °C  |
| $T_o, T_1$      | Temperature of fluidizing media at N.T.P. and other conditions, °K                                   |
| $T_g, T_s, T_w$ | Temperature of gas, solid, and wall, °C  |
| $T_{gi}$        | Temperature of gas entering in the fluidized bed, °C   |
| $T_{ge}$        | Temperature of gas leaving from the fluidized bed, °C  |
| $T_{so}$        | Temperature of solids at initial time, °C  |
| $U_o$           | Superficial gas velocity (measured on an empty column) through a bed of solids, cm/sec               |
| $U_1$           | Operating superficial gas velocity, cm/sec   |
| $U_2$           | Superficial velocities of gas and vapours production in a retort, cm/sec                             |
| $U_{mf}$        | minimum fluidizing velocity, cm/sec  |

|                 |   |
|-----------------|---|
| $U_{mf1}$       | Minimum fluidizing velocity for particles of raw oil shale, cm/sec        |
| $U_{mf2}$       | Minimum fluidizing velocity for particles of spent shale, cm/sec          |
| $\bar{U}_{mf}$  | Average minimum fluidizing velocity, cm/sec                               |
| $U_{min}$       | Minimum superficial gas velocity, cm/sec                                  |
| $U_{max}$       | Maximum superficial gas velocity, cm/sec                                  |
| $V_1, V_2, V_3$ | Volume of gas, oil vapour, and $H_2O$ vapour at $500^\circ C$ , $cm^3$    |
| $V_{mb}$        | Minimum volume of fluidized bed, $cm^3$                                   |
| $W$             | Weight of solids, gm  |
| $x_i$           | Weight fraction of particular solids in interval of sieves, dimensionless |

## Greek symbols

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| $\epsilon$                  | Voidage, dimensionless   |
| $\epsilon_m, \epsilon_{mf}$ | Voidage in a packed bed and in a bed at minimum fluidizing condition, dimensionless  |
| $\mu$                       | Viscosity of gas, gm/cm. sec   |
| $\rho_g, \rho_s$            | Density of gas and of solid, $gm/cm^3$   |
| $\phi$                      | Shape factor of a particle, $\left( \frac{\text{surface of sphere}}{\text{surface of particle}} \right)$<br>both of same volume, dimensionless |

## Abbreviations

SS.     Stainless steel  
ID.     Internal diameter  
F.A.    Fischer assay