

**MODELING OF CRUDE OIL PROPERTIES USING  
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)**

Wirit Cuptasanti

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,  
Case Western Reserve University, and Institut Français du Pétrole  
2013

I 28373042

561061


**Thesis Title:** Modeling of Crude Oil Properties Using Artificial Neural Network (ANN)  
**By:** Wirit Cuptasanti  
**Program:** Petroleum Technology  
**Thesis Advisor:** Assoc. Prof. Farshid Torabi  
Assoc. Prof. Chintana Saiwan

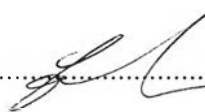
---

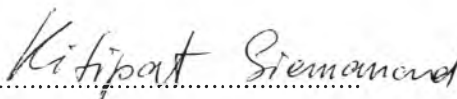
Accepted by The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science.

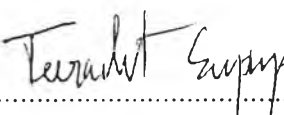
  
..... College Dean  
(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

**Thesis Committee:**

  
.....  
(Assoc. Prof. Chintana Saiwan)

  
.....  
(Assoc. Prof. Farshid Torabi)

  
.....  
(Asst. Prof. Kitipat Siemanond)

  
.....  
(Dr. Teeradet Supap)

## ABSTRACT

5473028063: Petroleum Technology Program

Wirit Cuptasanti: Modeling of Crude Oil Properties Using Artificial Neural Network (ANN)

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Farshid Torabi and Assoc. Prof.

Chintana Saiwan 84 pp.

Keywords: Bubble point/ PVT properties/ Neural network/ Oil properties

Physical properties and pressure-volume-temperature (PVT) data of crude oil are necessary for various field applications, such as field development, production optimization, and the enhanced oil recovery process. In this work, crude oil data were gathered from publications for modeling correlations and artificial neural networks (ANN), which could be used to predict physical properties of crude oil, such as bubble point pressure, oil formation volume factor at bubble point, solution gas oil ratio, and oil viscosity at pressure above bubble point. The data were divided into two sets. The first was used to develop and the second was used for testing the correlations and ANN models. The correlations were developed using a non-linear regression technique. For ANN development, different network architectures and transfer functions were used for developing the best ANN models. To ensure accuracy and applicability, the sets of data for testing were employed with the developed models. Moreover, the developed models were tested with other published correlations in terms of performance and accuracy using the data for testing. The results showed that the developed ANNs and correlations gave competitive performance compared with other published correlations under the data used in this work.

## บทคัดย่อ

วิทยุธิ์ คุปตสันติ: การสร้างโมเดลทำนายคุณสมบัติของน้ำมันดิบการด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Modeling of Crude Oil Properties Using Artificial Neural Network (ANN)) อ. ที่ปรึกษา: รศ. ดร. พาร์ชิต โทราภิ และ รศ. ดร. จินตนา สายวรรณ 84 หน้า

ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ และข้อมูลความดัน-ปริมาตร-อุณหภูมิของน้ำมันดิบ มีความสำคัญในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำมัน อาทิเช่น การพัฒนาแหล่งผลิต การจัดการความเหมาะสมทางการผลิต และการเพิ่มผลผลิตน้ำมันดิบหลังจากการผลิตขั้นปฐมภูมิ ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลน้ำมันดิบได้ถูกรวบรวมขึ้นจากงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในฐานะข้อมูลต่างๆเพื่อใช้ในการโมเดลสหสัมพันธ์ และโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการทำนายคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดิบ เช่น ความดันที่จุดเกิดฟอง ตัวประกอบปริมาตรของน้ำมันที่จุดเกิดฟอง อัตราส่วนของก๊าซในน้ำมันต่อน้ำมัน และความหนืดน้ำมันที่ความดันเหนือจุดเกิดฟอง แต่ละกลุ่มข้อมูลได้ถูกแบ่งออกเป็นสองชุด ชุดแรกใช้เพื่อการพัฒนาสหสัมพันธ์และโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนอีกชุดหนึ่งใช้เพื่อทดสอบแต่ละโมเดลที่สร้างขึ้น โดยแต่ละสหสัมพันธ์ได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยการใช้เทคนิคสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง สำหรับโครงข่ายประสาทเทียม โครงสร้างแต่ละโครงข่าย และฟังก์ชัน โอนถ่ายต่างๆ ได้ถูกใช้เพื่อพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมที่ดีที่สุด ชุดข้อมูลที่ใช้เพื่อทดสอบแต่ละโมเดลได้ถูกใช้เพื่อทดสอบกับโมเดลที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นการทำให้แน่ใจในความแม่นยำและความเหมาะสมในการใช้งานของแต่ละโมเดล นอกจากนี้ โมเดลที่ถูกสร้างขึ้นได้ถูกนำไปทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำเทียบกับสหสัมพันธ์อื่นๆที่ถูกตีพิมพ์โดยใช้ชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบแต่ละโมเดล ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมและสหสัมพันธ์ที่ถูกพัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพที่ทัดเทียมกันเทียบกับสหสัมพันธ์อื่นๆ ภายใตชุดข้อมูลที่ใช้งานวิจัยนี้

## ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my deeply gratitude to Assoc. Prof. Farshid Torabi, my advisor, who gave me an opportunity to conduct this research at the University of Regina. This thesis would not have been accomplished without his encouragement, valuable suggestions, and financial support. I would really like to extend my appreciation to Assoc. Prof. Chintana Saiwan, my co-advisor, for her beneficial recommendations and for her perseverance to help correcting my thesis. My grateful thanks are also extended to Asst. Prof. Kitipat Siemanond and Dr. Teeradet Supap as my thesis committees.

I would like to acknowledge and give special thanks to the University of Regina staffs, which supported me from the beginning through the completion: Christine Barlow, Jill Docking, Robyn Fahlman and Melissa Dyck. I wish to express my acknowledgement to Petroleum Technology Research Centre (PTRC), University of Regina, also The Petroleum and Petrochemical College, and the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Thailand for the grant and funding support.

During my stay in Canada, I would like to take this opportunity to give appreciation to my friends coming together with me, Thanawat Nonthanasin and Wantanee Teerasukakul, for their helps in many things. Besides, my gratitude is also given to the members of Student Association of Thais at the University of Regina (SATUR), namely, Chitsutha Soomlek, Yanee Lertnimoolchai, Wayuta Srisang, Jarotwan Koiwanit, Suriya Jirasatitsin, Kriengkamol Setameteekul, Wisan Sila, Wasin Sananphanichkul, Wichitpan Rongwong, and all of my friends in Regina who gave me wonderful and memorable experiences.

Lastly, my heartedly expression is extended to my family for their encouragement and support throughout my study. Thank you very much.

## TABLE OF CONTENTS

	<b>PAGE</b>
Title Page	i
Abstract (in English)	iii
Abstract (in Thai)	iv
Acknowledgements	v
Table of Contents	vi
List of Tables	ix
List of Figures	x
<b>CHAPTER</b>	
<b>I INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>II LITERATURE REVIEW</b>	<b>3</b>
2.1 General Reservoir Fluids Physical Properties	3
2.1.1 Bubble Point Pressure	3
2.1.2 Oil Formation Volume Factor	3
2.1.3 Viscosity	3
2.1.4 Solution Gas Oil Ratio	4
2.1.5 Oil and Gas Specific Gravity	4
2.1.6 API Gravity	4
2.2 Fluid Sampling	4
2.2.1 Subsurface and Bottom Hole Sample	4
2.2.2 Surface or Recombined Fluid Sample	5
2.3 Laboratory Testing	5
2.3.1 PVT Analysis	5
2.3.2 Viscosity Test	6
2.3.3 Compositional Analysis	7
2.4 Empirical Models and Correlation Evaluations	7
2.5 Artificial Neural Network	16
2.5.1 Inspiration of ANN	16

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
2.5.2 ANN Architecture	17
2.5.3 Transfer Functions	18
2.6 Artificial Intelligence Techniques	18
<b>III METHODOLOGY</b>	<b>26</b>
3.1 Data Preparation	26
3.2 Developing ANNs and Correlations	27
3.3 Statistical Analysis	28
<b>IV RESULTS AND DISCUSSION</b>	<b>29</b>
4.1 Data Available	29
4.2 Developed Correlations	33
4.2.1 Bubble Point Pressure Correlation	33
4.2.2 Bubble Point Oil Formation Volume Factor Correlation	34
4.2.3 Solution Gas Oil Ratio Correlation	35
4.2.2 Undersaturated Oil Viscosity Correlation	36
4.3 Developed Artificial Neural Networks	37
4.3.1 Bubble Point Pressure Neural Network	38
4.3.2 Bubble Point Oil Formation Volume Factor Neural Network	41
4.3.3 Solution Gas Oil Ratio Neural Network	44
4.3.4 Undersaturated Oil Viscosity Neural Network	47
4.3 Testing Results	50
<b>V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS</b>	<b>54</b>
5.1 Conclusions	54
5.2 Recommendation	55
<b>REFERENCES</b>	<b>56</b>

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
<b>APPENDICES</b>	70
<b>Appendix A</b> Published Correlation Used in This Study	70
<b>Appendix B</b> Testing Results	76
<b>CURRICULUM VITAE</b>	84



## LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
4.1 List of all available data sources	29
4.2 Data summary for developing $P_b$ models	30
4.3 Data summary for testing $P_b$ models	30
4.4 Data summary for developing $B_{ob}$ models	31
4.5 Data summary for testing $B_{ob}$ models	31
4.6 Data summary for developing $R_s$ models	32
4.7 Data summary for testing $R_s$ models	32
4.8 Data summary for developing $\mu_o$ models	33
4.9 Data summary for testing $\mu_o$ models	33
4.10 Connection weights and biases for the developed $P_b$ neural network	40
4.11 Connection weights and biases for the developed $B_{ob}$ neural network model	43
4.12 Connection weight and biases for the developed $R_s$ neural network model	46
4.13 Connection weights and biases for the developed $\mu_o$ neural network	49
4.14 Statistical results of $P_b$ using testing data	50
4.15 Statistical results of $B_{ob}$ using testing data	51
4.16 Statistical results of $R_s$ using testing data	51
4.17 Statistical results of $\mu_o$ using testing data	52
A1 Published $P_b$ correlations used in this work	70
A2 Published $B_{ob}$ correlations used in this work	73
A3 Published $R_s$ correlations used in this work	74
A4 Published $\mu_o$ correlations used in this work	75

## LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1	Biological structure of nervous system. 17
2.2	FFNN structure and a single neuron model. 17
3.1	Classification of the selected data. 26
3.2	Neural network toolbox (nntool) embedded in Matlab. 27
3.3	Nonlinear regression tool in Minitab. 28
4.1	Residual plots resulted from developing $P_b$ correlation using nonlinear regression technique. 34
4.2	Residual plots resulted from developed $B_{ob}$ correlation using nonlinear regression technique. 35
4.3	Residual plots resulted from developed $B_{ob}$ correlation using nonlinear regression technique. 36
4.4	Residual plots for the developed $\mu_o$ correlation resulted from nonlinear regression technique. 37
4.5	The architecture of the developed $P_b$ ANN. 38
4.6	Regression plots of the $P_b$ neural network outputs. 39
4.7	Performance plots of the developed $P_b$ ANN. 39
4.8	The architecture of the developed $B_{ob}$ ANN. 41
4.9	Regression plots of the $B_{ob}$ ANN outputs. 42
4.10	Performance plots of the developed $B_{ob}$ ANN. 42
4.11	The architecture of the developed $R_s$ ANN. 44
4.12	Regression plots of the $R_s$ ANN outputs. 45
4.13	Performance plots of the developed $R_s$ ANN. 45
4.14	The architecture of the developed $\mu_o$ ANN. 47
4.15	Regression plots of the $\mu_o$ ANN outputs. 48
4.16	Performance plots of the developed $\mu_o$ ANN. 48

<b>FIGURE</b>		<b>PAGE</b>
B1	Maximum absolute error plots for the $P_b$ testing results.	76
B2	Average absolute error plots for the $P_b$ testing results.	76
B3	Coefficient of determination plots for the $P_b$ testing results.	77
B4	Range of error plots for the $P_b$ testing results.	77
B5	Maximum absolute error plots for the $B_{ob}$ testing results.	78
B6	Average absolute error plots for the $B_{ob}$ testing results.	78
B7	Coefficient of determination plots for the $B_{ob}$ testing results.	79
B8	Range of error plots for the $B_{ob}$ testing results.	79
B9	Maximum absolute error plots for the $R_s$ testing results.	80
B10	Average absolute error plots for the $R_s$ testing results.	80
B11	Coefficient of Determination plots for the $R_s$ testing results.	81
B12	Range of error plots for the $R_s$ testing results.	81
B13	Maximum absolute error plots for the $\mu_0$ testing results.	82
B14	Average absolute error plots for the $\mu_0$ testing results.	82
B15	Coefficient of determination plots for the $\mu_0$ testing results.	83
B16	Range of error plots for the $\mu_0$ testing results.	83