

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณปริมาณสำรองของน้ำมันดิบ

ในแหล่งกักเก็บโดยอาศัยแบบจำลองมอนติ คาร์โล

นาย อนันตศักดิ์ ศึกษาศิลป์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

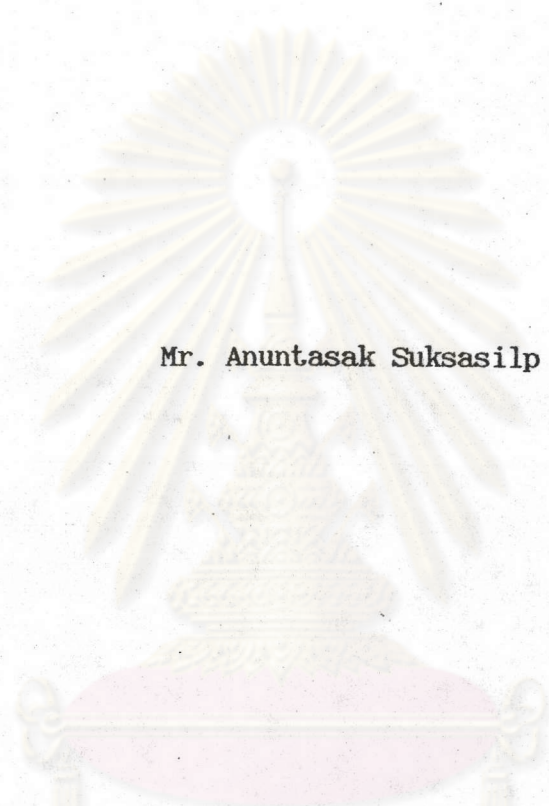
ISBN 974-581-899-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019157

DEVELOPMENT OF A COMPUTER PROGRAM FOR OIL RESERVE

CALCULATION USING MONTE CARLO SIMULATION



Mr. Anuntasak Suksasilp

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Program of Petrochemical Technology

Graduate school

Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-899-2

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



อนันตศักดิ์ ศึกษาศิลป์ : การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณปริมาณสำรอง
ของน้ำมันดิบในแหล่งกักเก็บโดยอาศัยแบบจำลองมอนติ คาร์โล (DEVELOPMENT OF A
COMPUTER PROGRAM FOR OIL RESERVE CALCULATION USING MONTE CARLO
SIMULATION) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.โยธิน ทองเป็นใหญ่, ผศ.สุทธิเดช
พัฒนเศรษฐพงษ์, 253 หน้า. ISBN 974-581-899-2

ความไม่แน่นอนของปริมาณสำรองที่คำนวณโดยวิธีเชิงปริมาตรสามารถหาได้โดยอาศัยแบบ
จำลองมอนติ คาร์โล ความไม่แน่นอนนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการมีความไม่แน่นอนของค่าของตัวแปรต้น
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้สามารถใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณสำรองและความ
ไม่แน่นอนของปริมาณสำรองในแหล่งกักเก็บโดยอาศัยแบบจำลองมอนติ คาร์โล ความสัมพันธ์เชิงสถิติ
ระหว่างตัวแปรต้นสองตัวและความสัมพันธ์แบบสเปเชียลของตัวแปรต้นได้ถูกนำมาพิจารณาในโปรแกรมนี้ด้วย
เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรมในกรณีที่ตัวแปรต้นมีคุณสมบัติเชิงสถิติเหล่านี้ จากการใช้โปรแกรมที่
พัฒนาขึ้นนี้ทำให้พบว่าการกระจายของความน่าจะเป็นของค่าของตัวแปรต้นที่ใช้ในการคำนวณจะต้อง
สอดคล้องกับขนาดของปริมาตรย่อยที่กำหนดในการคำนวณด้วย การกำหนดการกระจายของความน่า
จะเป็นที่ผิดจะทำให้ได้ค่าปริมาณสำรองและความไม่แน่นอนของค่าปริมาณสำรองที่ผิดไป นอกจากนี้ความ
สัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปรต้นสองตัวและความสัมพันธ์แบบสเปเชียลของตัวแปรต้นต่างก็มีผลต่อค่า
ปริมาณสำรองและความไม่แน่นอนของค่าปริมาณสำรองที่คำนวณได้ ในตอนท้ายของการศึกษานี้ได้แสดง
ตัวอย่างของการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ไว้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... สาขาปิโตรเคมี-โพลีเมอร์.....
สาขาวิชา..... เทคโนโลยีปิโตรเคมี.....
ปีการศึกษา..... 2535.....

ลายมือชื่อนิสิต *Amek S.*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *W. Y. P.*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม *Stanley P.*

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C285014 : MAJOR PETROCHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD : MONTE CARLO SIMULATION/OIL RESERVE/RESERVE ESTIMATION

ANUNTASAK SUKSASILP : DEVELOPMENT OF A COMPUTER PROGRAM FOR OIL RESERVE CALCULATION USING MONTE CARLO SIMULATION. THESIS ADVISOR: YOTHIN TONGPENYAI, Ph.D., ASSIST. PROF. SARITHDEJ PATHANASETHPONG, 253 PP. ISBN 974-581-899-2

Uncertainty of oil reserve calculated by volumetric method can be obtained by using Monte Carlo simulation. This uncertainty is due to uncertainty of input variables. The computer program developed in this study can be used to calculate oil reserve and assess its uncertainty. Statistical relationship between two input variables and spatial correlation of an input variable are incorporated in the developed program so that it can be used effectively when the input variables have these statistical properties. Using the developed program, it is realized that probability distributions of input variables used must be corresponding to the size of block utilized in the calculation. Wrong probability distributions of input variables would lead to wrong values of oil reserve and wrong magnitude of its uncertainty. In addition, both statistical relationship between two input variables and spatial correlation of an input variable have effects on the calculated oil reserve, and its uncertainty. Example of application of the developed program is also presented.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา สาขาปิโตรเคมี-โพลีเมอร์
สาขาวิชา เทคโนโลยีปิโตรเคมี
ปีการศึกษา 2535

ลายมือชื่อนิสิต Anusak S.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Y. P.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม Sarithdej P.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my sincere appreciation and gratitude to Dr. Yothin Tongpenyai, my advisor for his valuable advice, criticism and broad views and to my co-advisor, Assist. Prof. Sarithdej Pathanasethpong, for his helpfulness in reading this thesis.

I wish to thank the thesis committee, Prof. Dr. Piyasan Praserttham and Assoc. Prof. Dr. Pattarapan Prasassarakich for their comments, to my family who give me their sympathy and encouragement and to Khun Thara Lekuthai of Mineral Fuels Division, Department of Mineral Resources, for his helpful preparation of field data.

Thanks is also extended to Miss Nopporn Iamopass for her assistance and encouragement during long hours spent for this work.

The financial assistance from Chulalongkorn University and computing time provided by Engineering Computer Center, Chulalongkorn University are gratefully acknowledged.

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (IN THAI).....	iv
ABSTRACT (IN ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENTS.....	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	x
LIST OF FIGURES.....	xii
CHAPTER	
I. INTRODUCTION.....	1
II. LITERATURE REVIEWS.....	5
III. THEORETICAL CONSIDERATION.....	16
- Oil Reserve Estimation by Volumetric Method.....	17
- Monte Carlo Simulation and Oil Reserve Calculation Using Monte Carlo Simulation.....	21
- Improvement of Oil Reserve Estimation by Considering Statistical Relationship Between Two Input Variables....	27
- Improvement of Oil Reserve Estimation by Considering Spatial Correlation of an Input Variable.....	30
1. Spatial Correlation.....	31

2. The Turning Bands Method.....	35
3. Spectral Representation of a Two-Dimensional Process.....	41
IV. DEVELOPMENT OF THE COMPUTER PROGRAM.....	47
- Random Number Generator Development and Statistical Tests of Set of Obtained Random Numbers.....	49
- Development of the Spectral Turning Bands Method Subroutine and Determination of Involving Constants.....	55
- The Computer Program Development for Oil Reserve Calculation Using Monte Carlo Simulation.....	65
- Validation of the Developed Computer Program.....	70
- Description of the Developed Program.....	71
- Determination of Appropriate Number of Simulations for Calculation of Oil Reserve.....	76
V. EFFECTS OF PROPERTIES OF INPUT VARIABLES ON CALCULATED OIL RESERVE.....	112
- Study of Effects of Number of Blocks on Calculated Oil Reserve.....	113
- Study of Effects of Statistical Relationship Between Porosity and Water Saturation on Calculated Oil Reserve.	121
- Study of Effects of Spatial Correlation of Porosity on	

Calculated Oil Reserve.....	134
VI. AN EXAMPLE OF USE OF THE DEVELOPED COMPUTER PROGRAM.....	146
VII. CONCLUSIONS.....	154
REFERENCES.....	156
APPENDIX.....	159
VITAE.....	253



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
4.1 Values of harmonic number and frequency range for generating random variable.....	59
4.2 Parameters for finding appropriate harmonic number and frequency range.....	60
4.3 Number of oil reserve in each Monte Carlo run to determine the appropriate number of simulations.....	77
4.4 Data for determination of appropriate number of simulations.	78
5.1 The number of blocks in each calculation.....	114
5.2 Data for study effects of statistical relationship between porosity and water saturation.....	123
5.3 Conditions of each calculation for studying statistical relationship between porosity and water saturation.....	125
5.4 Mean and standard deviation of resulted oil reserve.....	131
5.5 Correlation length used in each calculation for the calculations at number of blocks = 25.....	135
5.6 Correlation length used in each calculation for the calculations at number of blocks = 625.....	136
6.1 Information of petroleum exploration well.....	147

6.2	The assigned values of involved input variables.....	147
-----	--	-----

Table in appendix

A.1	Kolmogorov-Smirnov critical values, D_{crit}	164
A.2	Result of Komogorov-Simirnov test.....	188
A.3	Result of Chi-Square test.....	189
A.4	Result of Runs up and Runs down.....	190
A.5	Result of Runs above and Runs below the mean.....	191
A.6	Result of length of runs (up and down).....	192
A.7	Result of length of runs (above and below the mean).....	193
A.8	Result of test for Autocorrelation.....	194
A.9	Result of Gap test.....	195
A.10	Result of Poker test.....	197

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 Example of dependency of thickness on area.....	10
3.1 Cumulative distribution function (CDF) and probability density function (PDF) and use of random number as a tool for obtaining a realization.....	24
3.2 Procedure for oil reserve estimation using Monte Carlo simulation.....	26
3.3 Relationship between porosity and water saturation.....	28
3.4 An example of an exponential covariance function model.....	34
3.5 Schematic representation of the two-dimensional field P and the turning bands lines.....	37
3.6 Definition sketch for the two-dimensional case, showing unit circle.....	39
3.7 General form of a line spectrum indicating choices of harmonic number and frequency range.....	45
3.8 Discrete implementation of line process.....	46
4.1 Flowchart of the two-dimensional spectral turning bands method subroutine.....	56
4.2 Covariance functions at harmonic number = 20 compared with	

theoretical curve.....	61
4.3 Covariance functions at harmonic number = 50 compared with theoretical curve.....	62
4.4 Covariance functions at harmonic number = 100 compared with theoretical curve.....	63
4.5 Covariance functions at harmonic number = 150 compared with theoretical curve.....	64
4.6 Transformation from normal distributed variable to desired distribution.....	69
4.7 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 50, without spatial correlation.....	81
4.8 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 100, without spatial correlation.....	82
4.9 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 200, without spatial correlation.....	83
4.10 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 400, without spatial correlation.....	84
4.11 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 600, without spatial correlation.....	85
4.12 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 800, without spatial correlation.....	86

4.13 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 1000, without spatial correlation.....	87
4.14 Mean vs. number of simulations calculated without spatial correlation.....	88
4.15 Standard deviation vs. number of simulations calculated without spatial correlation.....	89
4.16 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 50, with spatial correlation (number of blocks = 5x5).....	91
4.17 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 100, with spatial correlation (number of blocks = 5x5).....	92
4.18 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 200, with spatial correlation (number of blocks = 5x5).....	93
4.19 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 400, with spatial correlation (number of blocks = 5x5).....	94
4.20 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 600, with spatial correlation (number of blocks = 5x5).....	95

4.21 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 800, with spatial correlation (number of blocks = 5x5).....	96
4.22 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 1000, with spatial correlation (number of blocks = 5x5).....	97
4.23 Mean vs. number of simulations calculated with spatial correlation (number of blocks = 5x5).....	98
4.24 Standard deviation vs. number of simulations calculated with spatial correlation (number of blocks = 5x5).....	99
4.25 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 50, with spatial correlation (number of blocks = 25x25).....	101
4.26 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 100, with spatial correlation (number of blocks = 25x25).....	102
4.27 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 200, with spatial correlation (number of blocks = 25x25).....	103
4.28 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 400, with spatial correlation (number of	

blocks = 25x25).....	104
4.29 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 600, with spatial correlation (number of blocks = 25x25).....	105
4.30 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 800, with spatial correlation (number of blocks = 25x25).....	106
4.31 Probability density function of oil reserve at number of simulations = 1000, with spatial correlation (number of blocks = 25x25).....	107
4.32 Mean vs. number of simulations calculated with spatial correlation (number of blocks = 25x25).....	108
4.33 Standard deviation vs. number of simulations calculated with spatial correlation (number of blocks = 25x25).....	109
5.1 Probability density function of oil reserve at several number of blocks.....	115
5.2 Mean of calculated oil reserve vs. number of blocks.....	116
5.3 Standard deviation of calculated oil reserve vs. number of blocks.....	117
5.4 Probability density function of oil reserve for studying effect of statistical relationship between porosity and water	

saturation (number of blocks = 5x5 and std. dev. of random part = 0.05).....	127
5.5 Probability density function of oil reserve for studying effect of statistical relationship between porosity and water saturation (number of blocks = 25x25 and std. dev. of random part = 0.05).....	128
5.6 Probability density function of oil reserve for studying effect of statistical relationship between porosity and water saturation (number of blocks = 5x5 and std. dev. of random part = 0.1).....	129
5.7 Probability density function of oil reserve for studying effect of statistical relationship between porosity and water saturation (number of blocks = 25x25 and std. dev. of random part = 0.1).....	130
5.8 Probability density functions of oil reserve at number of blocks = 5x5 with spatial correlation.....	137
5.9 Mean vs. correlation length at number of blocks = 5x5.....	138
5.10 Standard deviation vs. correlation length at number of blocks = 5x5.....	139
5.11 Probability density function of oil reserve at number of blocks = 25x25 with spatial correlation.....	140

5.12 Mean vs. correlation length at number of blocks = 25x25.....	141
5.13 Standard deviation vs. correlation length at number of blocks = 25x25.....	142
6.1 Probability distribution of porosity of well 6-2-L.....	149
6.2 Probability distribution of water saturation of well 6-2-L..	150
6.3 Probability density function of oil reserve of well 6-2-L...	152
6.4 Cumulative distribution function of oil reserve of well 6-2-L.....	153
Figure in appendix	
A.1 Probability density function for random numbers.....	160
A.2 Failure to reject hypothesis.....	168
A.3 Selecting random values from a uniform distribution.....	180
A.4 Selecting random values from a triangular distribution.....	182
A.5 Probability density function of the normal distribution and Log-normal distribution.....	186
A.6 Polar representation of pair of standard normal variables...	187

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย