

การทดสอบกระบวนการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนโดยใช้
โปรแกรมมอดไฟล์และผลการทดลองของเครื่องเซนติฟิวจ์

นายอิทธิ ชินรัตน์พิสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1135-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VALIDATION OF CONTAMINANT TRANSPORT PROCESS USING
MODFLOW AND CENTRIFUGE MODEL TEST RESULTS



Mr.Itti Chinratanapisit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Management (Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1135-9

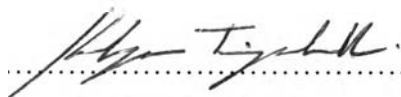
Copyright of Chulalongkorn University

23 ต.ค. 2549

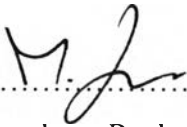
I 22240731


Thesis Title	Validation of Contaminant Transport Process Using MODFLOW and Centrifuge Model Test Results
By	Mr.Itti Chinratanapisit
Field of Study	Environmental Management
Thesis Advisor	Asst.Prof. Sutha Khaodhiar, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Assoc. Prof. K.K. Muralee Muraleetharan, Ph.D.


Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master 's Degree

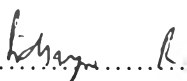
 Dean of the Graduate School
(Assistant Professor M.R. Kalaya Tingsabadh, Ph.D.)

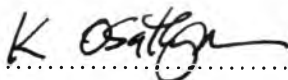
THESIS COMMITTEE

 Chairman
(Manaskorn Rachakornkij, Ph.D.)

 Thesis Advisor
(Assistant Professor Sutha Khaodhiar, Ph.D.)

 Thesis Co-advisor
(Associate Professor K.K. Muralee Muraleetharan, Ph.D.)

 Member
(Pichaya Rachdawong, Ph.D.)

 Member
(Khemarath Osathaphan, Ph.D.)

อิทธิ ชินรัตน์พิสิทธิ์ : การทดสอบกระบวนการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนโดยใช้โปรแกรม
มอดโฟลว์และผลการทดลองของเครื่องเซนตริฟิวจ์ (VALIDATION OF
CONTAMINANT TRANSPORT PROCESS USING MODFLOW AND
CENTRIFUGE MODEL TEST RESULTS) อ.ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุธา ขาวเขียว อาจารย์
ที่ปรึกษาร่วม ASSOC. PROF. K.K. MURALEE MURALEETHARAN, Ph.D.,
จำนวนหน้า 64 หน้า, ISBN 974-53-1135-9

ในปัจจุบันเครื่องเซนตริฟิวจ์เป็นเครื่องมือที่ใช้การจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนใน
ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการจำลองที่สร้างขึ้นมานี้สามารถกำหนดความเครียดที่เกิดขึ้น
คุณสมบัติต่างๆของดิน รวมทั้งค่าการนำพาของน้ำ อุปกรณ์เสริมแรงเหวี่ยงนั้นสามารถจำลองการ
ไหลของสารปนเปื้อนของน้ำใต้ดินโดยอาศัยความเร่ง โดยถ้าความเร่งเพิ่มขึ้นจะสามารถลดมาตรา
ส่วนของแบบจำลองได้ งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการทดสอบกระบวนการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนโดยใช้
โปรแกรมมอดโฟลว์และผลการทดลองของเครื่องเซนตริฟิวจ์ แบบจำลองการไหลของผลต่างอัตรา
ของน้ำใต้ดินที่เป็นที่รู้จักกันดี ได้แก่มอดโฟลว์ ซึ่งได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อการทำนายการไหลของน้ำใต้
ดินทั้งในสภาวะคงที่และไม่คงที่ โดยโปรแกรมนี้สามารถแสดงผลได้ทั้งแบบหนึ่ง,สอง และสามมิติ
กฎมาตราส่วนเป็นสิ่งสำคัญซึ่งใช้ในการทำแบบจำลองของเครื่องเซนตริฟิวจ์ ในการศึกษาขั้นต้น
ได้ทำการพิสูจน์กฎมาตราส่วนโดยใช้โปรแกรมมอดโฟลว์จำลองผลการทดลองของเครื่องเซนตริฟิวจ์
โดยทำการจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนแบบหนึ่งมิติในดินชนิดต่างๆ ซึ่งผลที่ได้สามารถ
รองรับกฎของมาตราส่วนได้อย่างสมเหตุผล โดยผลที่ได้สอดคล้องกับความรู้ทางทฤษฎี จึงได้นำมา
ทำการศึกษาขั้นปลาย โดยการนำโปรแกรมมอดโฟลว์ทำนายการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนที่ไม่มี
การดูดซับซึ่งเกิดจากการรั่วไหลของระบบการทิ้งขยะในชั้นตะกอนเนื้อเดียวกับที่อิมตัว มาเทียบกับผล
การทดลองของเครื่องเซนตริฟิวจ์แบบสองมิติ และผลที่ได้จากการทำนายด้วยโปรแกรมมอดโฟลว์
และผลการทดลองของเครื่องเซนตริฟิวจ์ได้ผลเป็นที่น่ายอมรับ

สาขาวิชาการ การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต.....อิทธิ ชินรัตน์พิสิทธิ์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....S. Cr.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม...K.K.M.....

4589489620 : MAJOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

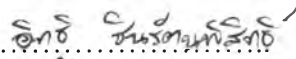
KEY WORD: MODFLOW / MODELING/ CONTAMINANT TRANSPORT

ITTI CHINRATANAPISIT : VALIDATION OF CONTAMINANT TRANSPORT
PROCESS USING MODFLOW AND CENTRIFUGE MODEL TEST RESULTS.
THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D. THESIS CO-
ADVISOR : ASSOC. PROF. K.K. MURALEE MURALEETHARAN, Ph.D., 64 pp.
ISBN 974-53-1135-9

A geotechnical centrifuge is a powerful testing tool for modeling the transport of contaminants in soils. The simulation of identical effective stress states in scaled centrifuge model and equivalent prototype ensures the modeling of soil properties including hydraulic conductivity. Centrifuge modeling is particularly applicable in replicating the physical transport of dense pollutants due to gravitational gradients. The increased acceleration field is essential to correctly study such phenomena in reduced scale models. This thesis presents a validation of the contaminant transport process by using the MODFLOW computer program and the centrifuge model test results. The modular finite-difference groundwater flow model well known as MODFLOW has been developed for simulating confined and unconfined, saturated flow in one, two or three dimensions. The program allows both steady-state and transient simulations. In centrifuge modeling, scaling laws are very important. First, the computer code MODFLOW is used to verify scaling laws for centrifuge tests using the series of one dimensional tests with various soils and reasonable results are obtained. Next, MODFLOW predictions are validated using a two dimensional centrifuge test of a non-sorbing dense pollutant leaking from a landfill into a homogenous saturated silt layer. Again, reasonable comparisons are obtained between the MODFLOW predictions and the centrifuge model test results.

Field of study Environmental Management

Academic year 2004

Student's signature..... 

Advisor' signature..... 

Co-advisor's signature..... 

ACKNOWLEDGEMENTS

First of all, I wish to express my great appreciation to my thesis co-advisor, Assoc. Prof. Dr. K.K. Muralee Muraleetharan (Department of Civil Engineering and Environmental Science, University of Oklahoma), for his time, valuable guidance, support and patience throughout my graduate study. I would like to thank Asst. Prof. Sutha Khaodhiar, Ph.D., my thesis advisor for his guidance and support.

I also thank Dr.Manaskorn Rachakornkij, Dr.Khemarath Osathaphan and Dr.Pichaya Rachdawong members of this thesis committee for thesis interest and their comments to my thesis.

I would like to thank Mrs. Oranuj for her help and patience to support me on MODFLOW program. Sincere thanks are extended to Ampira, Arunya, Ayuth, Jittipong and all Thai students in Norman, Oklahoma, for their continuing friendships and supports. Miss Nuntawan for her kindness by share her computer for me to simulate the program.

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (IN THAI)	iv
ABSTRACT (IN ENGLISH)	v
ACKNOWLEDGEMENTS	vi
CONTENTS	vii
LIST OF TABLES	ix
LIST OF FIGURES	x
CHAPTER I Introduction	
1.1 Introduction.....	1
1.2 Objectives.....	2
1.3 Hypothesis.....	3
1.4 Scope of study.....	3
CHAPTER II Literature Review and Theoretical Background	
2.1 MODFLOW development.....	5
2.1.1 MODFLOW introduction.....	5
2.1.2 MODFLOW preprocessors.....	7
2.1.3 MODFLOW postprocessors.....	8
2.1.4 MODFLOW documentation.....	9
2.2 Geotechnical centrifuge.....	10
2.3 Basic concept of centrifuge scaling laws.....	11
2.4 Physical properties and principles.....	12
2.4.1 Darcy's law.....	12
2.4.2 Porosity and void ratio.....	12
2.4.3 Steady-state flow and transient flow.....	13
2.4.4 Hydrodynamic dispersion.....	13
CHAPTER III Methodology	
3.1 MODFLOW program.....	14
3.1.1 Hardware Requirement.....	14

	PAGE
3.1.2 Visual MODFLOW 3.0 Interface.....	15
3.1.3 Visual MODFLOW project files.....	21
3.2 Validation procedure.....	22
3.2.1 Use the MODFLOW program to prove the scaling laws.....	22
3.2.1.1 Silica Flour test.....	22
3.2.1.2 Clays test.....	24
3.2.1.3 Monterey 0/30 sand test.....	25
3.2.2 Compare with experimental results.....	27
 CHAPTER IV Results and Discussion	
4.1 Use the MODFLOW program to prove the scaling laws.....	28
4.1.1 Silica Flour test.....	28
4.1.2 Clays test.....	36
4.1.3 Monterey 0/30 sand test.....	40
4.2 Comparison with experimental results.....	47
 CHAPTER V Conclusions and recommendations for further study	
5.1 Conclusions.....	53
5.2 Recommendations for further studies.....	54
 REFERENCES.....	 55
 APPENDIX	
BIOGRAPHY	

LIST OF TABLES

	PAGE
Table 1.1: The detailed of the case studies.....	4
Table 2.1: Public domain packages for MODFLOW not in original version of MODFLOW.....	6
Table 3.1: The values of parameters use in Silica Flour test.....	23
Table 3.2: The values of parameters use in Snowcal 50 test.....	24
Table 3.3: The values of parameters use in Monterey 0/30 sand test part 1.....	25
Table 3.4: The values of parameters use in Monterey 0/30 sand test part 2.....	26
Table 3.5: The values of parameters use in experiment test.....	27

LIST OF FIGURES

	PAGE
Figure 1.1: 9-m Radius Centrifuge at the University of California, Davis.....	2
Figure 3.1: Main Menu of Visual MODFLOW 3.0.....	16
Figure 3.2: Screen Layout of Visual MODFLOW.....	18
Figure 4.1: Prototype represented by four Silica Flour models.....	28
Figure 4.2: Solution domain for contaminant movement in Silica Flour test.....	29
Figure 4.3: Concentration of Silica Flour versus time at 25g with no dispersion.....	29
Figure 4.4: Concentration of Silica Flour versus time at 25g with calibrates the dispersion.....	30
Figure 4.5: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of model time for Silica Flour model at 25g.....	30
Figure 4.6: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of model time for Silica Flour model at 33.3g.....	31
Figure 4.7: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of model time for Silica Flour model at 37.5g.....	31
Figure 4.8: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of model time for Silica Flour model at 50g.....	32
Figure 4.9: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of model time for Silica Flour model at 100g.....	32
Figure 4.10: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of model time for Silica Flour models.....	33
Figure 4.11: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of model time for Silica Flour models.....	33
Figure 4.12: Logarithm of time for 50% reduction in concentration ratio at midpath versus logarithm of scale factor for Silica Flour centrifuge models.....	34
Figure 4.13: Logarithm of time for 50% reduction in concentration ratio at midpath versus logarithm of scale factor for Silica Flour centrifuge models.....	34
Figure 4.14: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of prototype for Silica Flour models.....	35

Figure 4.15: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of prototype for Silica Flour models.....	35
Figure 4.16: Solution domain for contaminant movement in Clays test.....	36
Figure 4.17: Ratio of concentration to final concentration (C/C_f) at midpath as function of prototype for Snowcal 50 model at 100g with no adsorption.....	37
Figure 4.18: Ratio of concentration to final concentration (C/C_f) at midpath as function of prototype for Snowcal 50 model at 100g.....	37
Figure 4.19: Ratio of concentration to final concentration (C/C_f) at midpath as function of prototype for Snowcal 50 model at 50g.....	38
Figure 4.20: Ratio of concentration to final concentration (C/C_f) at midpath as function of prototype for Snowcal 50 models.....	38
Figure 4.21: Ratio of concentration to final concentration (C/C_f) at midpath as function of prototype for Snowcal 50 models.....	39
Figure 4.22: Solution domain for contaminant movement in Monterey 0/30 sand test.....	40
Figure 4.23: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of $\bar{v}t$ for Monterey 0/30 sand model test at 25g with $\bar{v} = 0.137$ cm/sec.....	41
Figure 4.24: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of $\bar{v}t$ for Monterey 0/30 sand model test at 25g with $\bar{v} = 0.117$ cm/sec.....	41
Figure 4.25: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of $\bar{v}t$ for Monterey 0/30 sand model test at 25g with $\bar{v} = 0.104$ cm/sec.....	42
Figure 4.26: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of $\bar{v}t$ for Monterey 0/30 sand model test at 25g with varying average interstitial velocities.....	42
Figure 4.27: Ratio of concentration to initial concentration (C/C_0) at midpath as function of $\bar{v}t$ for Monterey 0/30 sand model test at 25g with varying average interstitial velocities.....	43

Figure 4.28: Ratio of concentration (C/C_0) at midpath as function of $\bar{v}t/l$ for Monterey 0/30 sand models test at 1g with sample thickness and $\bar{v} = 0.036$ cm/sec.....	44
Figure 4.29: Ratio of concentration (C/C_0) at midpath as function of $\bar{v}t/l$ for Monterey 0/30 sand models test at 1g with sample thickness and $\bar{v} = 0.02$ cm/sec.....	44
Figure 4.30: Ratio of concentration (C/C_0) at midpath as function of $\bar{v}t/l$ for Monterey 0/30 sand models test at 1g with sample thickness and $\bar{v} = 0.013$ cm/sec.....	45
Figure 4.31: Ratio of concentration (C/C_0) at midpath as function of $\bar{v}t/l$ for Monterey 0/30 sand models test at 1g with varying sample thickness and with varying average interstitial velocities.....	45
Figure 4.32: Ratio of concentration (C/C_0) at midpath as function of $\bar{v}t/l$ for Monterey 0/30 sand models test at 1g with varying sample thickness and with varying average interstitial velocities.....	46
Figure 4.33: Prototype of centrifuge test.....	47
Figure 4.34: Solution domain for contaminant movement in centrifuge model test..	47
Figure 4.35: Predicted result for the movement of the contaminant at R3.....	49
Figure 4.36: Experimental result for the movement of the concentration at R3.....	49
Figure 4.37: Predicted result for the movement of the contaminant at R5.....	50
Figure 4.38: Experimental result for the movement of the concentration at R5.....	50
Figure 4.39: Predicted result for the movement of the contaminant at R6.....	51
Figure 4.40: Experimental result for the movement of the concentration at R6.....	51
Figure 4.41: Predicted result for the movement of the contaminant at R7.....	52
Figure 4.42: Experimental result for the movement of the concentration at R7.....	52