การดูดซับและการนำพาสารหนูในชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น: กรณีศึกษาศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบเทศบาลตำบลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี

นางสาววิชชุดา พลสาย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาโลกศาสตร์ ภาควิชาธรณีวิทยา
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5372328423

SORPTION AND TRANSPORT OF ARSENIC IN SHALLOW AQUIFER: A CASE STUDY OF LAEM CHABANG SANITARY LANDFILL, CHANGWAT CHONBURI

Miss Witchuda Ponsai

2615095501

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Earth Sciences
Department of Geology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

Thesis Title	SORPTION AND TRANSPORT OF ARSENIC IN SHALLOW AQUIFER : A CASE STUDY OF LAEM CHABANG SANITARY LANDFILL, CHANGWAT CHONBURI
By	Miss Witchuda Ponsai
Field of Study	Earth Sciences
Thesis Advisor	Assistant Professor Srilert Chotpantarat, Ph.D.

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

.....Dean of the Faculty of Science

(Professor Supot Hannongbua, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

.....Chairman

(Assistant Professor Sombat Yumuang, Ph.D.)

.....Thesis Advisor

(Assistant Professor Srilert Chotpantarat, Ph.D.)

.....Examiner

(Associate Professor Chakkaphan Sutthirat, Ph.D.)

.....External Examiner

(Aranya Fuangswasdi, Ph.D.)

วิชชุดา พลสาย : การดูดซับและการนำพาสารหนูในชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น: กรณีศึกษาศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบเทศบาลตำบลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี. (SORPTION AND TRANSPORT OF ARSENIC IN SHALLOW AQUIFER: A CASE STUDY OF LAEM CHABANG SANITARY LANDFILL, 99 หน้า.

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถูกดูดซับในดิน และการเคลื่อนตัวของสารหนูในชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น บริเวณพื้นที่ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบเทศบาลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ 1) การออกภาคสนามเพื่อทำการตรวจวัดระดับน้ำใต้ดิน เก็บตัวอย่างดิน และน้ำในสองช่วงเวลา คือ ฤดูฝน และฤดูแล้ง 2) การทดลองแบบคอลัมน์ และ 3) การจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน และการเคลื่อนตัวของสารหนู

ในส่วนที่หนึ่ง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในบ่อน้ำตื้นของชาวบ้าน รอบบริเวณพื้นที่ศึกษาจำนวน 16 บ่อ เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารหนู และพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำอื่นๆ (อาทิ พีเอช การนำไฟฟ้า ศักย์การเกิดออกซิเดชันรีดักชัน แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม คาร์บอเนต คลอไรด์ ซัลเฟต เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และอลูมิเนียม) ปริมาณสารหนูที่สูงพบในฤดูแล้งที่บ่อ WB02 ซึ่งอยู่ในหลุมฝังกลบทางด้านทิศเหนือมีค่า 0.107 มิลลิกรัมต่อลิตร พบปริมาณสารละลายเหล็กและแมงกานีสในบ่อน้ำบาดาลระดับตื้นด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาบางบ่อ มีค่าเกินมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก น้ำในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นประเภทผสม แคลเซียมไบคาร์บอเนต และโซเดียมคลอไรด์ ทำการเก็บตัวอย่างดินรอบหลุมฝังกลบขยะ ที่ลึกลงไปในดิน 0-200 เซนติเมตร และวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี พบว่าดินในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นดินทราย และดินร่วนปนทราย ในส่วนที่สอง วิเคราะห์หาสมบัติการดูดซับของดินทราย และดินร่วนปนทราย ด้วยการทดลองแบบคอลัมน์ภายใต้สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการปรับเทียบด้วยโปรแกรม HYDRUS-1D พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในดินทราย และดินร่วนปนทราย มีค่า 18.68 ตารางเซนติเมตรต่อชั่วโมง และ 13.65 ตารางเซนติเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และค่าการดูดซับของดินทราย และดินร่วนปนทรายอยู่ในช่วง 6-8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อมิลลิกรัม และ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ จากการย่อยตัวอย่างตาม EPA 3051A พบว่าสารหนูที่อยู่ในดินร่วนปนทรายมีปริมาณมากกว่าในดินทราย 6 เท่า ผลจากตรวจวัดระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ ค่าการดูดซับ และพารามิเตอร์ในการเคลื่อนตัว จากส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สอง นำมาใช้ในโปรแกรม GMS-MODFLOW เพื่อจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และการเคลื่อนตัวของสารหนูต่อไปในส่วนสุดท้าย ผลจากการปรับเทียบ และสอบทานพบว่า ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลไหลจากบริเวณพื้นที่ที่เป็นภูเขาสูงสู่พื้นที่ราบสอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศ ในทิศทางจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนสารหนูเคลื่อนตัวจากพื้นที่ศึกษาบริเวณศูนย์กำจัดขยะลงสู่แม่น้ำไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากการไหลของน้ำบาดาลเฉพาะแห่ง

2615095501

ภาควิชา ธรณีวิทยา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา โลกศาสตร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5372328423 : MAJOR EARTH SCIENCES
KEYWORDS: ARSENIC / LANDFILL / SORPTION / HYDRUS-1D / GMS-MODFLOW / CHONBURI

WITCHUDA PONSAI: SORPTION AND TRANSPORT OF ARSENIC IN SHALLOW AQUIFER: A CASE STUDY OF LAEM CHABANG SANITARY LANDFILL, CHANGWAT CHONBURI. ADVISOR: ASST. PROF. SRILERT CHOTPANTARAT, Ph.D., 99 pp.

This study mainly aims to describe sorption and mobility behavior of arsenic (As) in shallow aquifer in Laem Chabang sanitary landfill Changwat Chonburi. The study was divided into 3 parts as follows: 1) Field survey of groundwater level measurement as well as soils and groundwater sampling in rainy and dry seasons, 2) column experiments and 3) groundwater flow and As transport modeling. In first part, the sixteen shallow groundwater samples from domestic wells were collected in the study area and were then analyzed for As concentration and other water quality parameters (i.e., pH, EC, ORP, Ca, Mg, Na, K, HCO_3, Cl, SO_4, Fe, Mn, Zn and Al). A relatively high As concentration was founded in dry season at the monitoring well no. WB02 where located in the north of the landfill, about 0.107 mg/L. Also Fe and Mn were found in some shallow wells where located in the west of the study area, exceeding the drinking water standards of the World Health Organization (WHO). Most shallow groundwater samples mainly are the mixed type, calcium bicarbonate type and sodium chloride type. The soil samples were collected around landfill, at 0-200 cm depth below ground surface and analyzed the physic-chemical properties. It is found that almost soil types are sand and sandy loam. Secondly, the sorption properties of sand and sandy loam, which are the major medias of shallow aquifer, were determined by column tests under saturated condition. By fitting with HYDRUS-1D, the dispersion coefficient of sand and sandy loam are 18.68 and 13.65 cm^2/hr, respectively, as well as sorption of sand and sandy loam ranges from 6-8 cm^3/mg and 20 cm^3/mg, respectively. According to microwave digestion followed EPA 3051A, As amount remained in sandy loam is 6 times higher than that remained in sand. Groundwater levels and such sorption and transport parameters from part 1 and 2 were further applied in mathematical model, so-called GMS-MODFLOW, to simulate groundwater flow and As migration in the real world. In the last past, with calibration and validation procedures, the groundwater movement, derived from the model, which conforms to the topography, flows from the mountainous area in the northeast to the floodplain area in the southwest but As transport migrate from the landfill site to the river, in the north-westward direction due to the local groundwater flow effect.

2615095501

Department: Geology
Field of Study: Earth Sciences
Academic Year: 2013

Student's Signature Witchuda Ponsai
Advisor's Signature Srilert Chotpantarat

ACKNOWLEDGEMENTS

I sincerely thank my Advisor, Assistant Professor Srilert Chotpantarat, Ph.D., Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University for their supports, critically advises and reviews of this thesis.

I would like to thank the Geology Department, Faculty of Science, Chulalongkorn University for providing instruments and devices during my study as well and the Graduate School of Chulalongkorn University provided a partial funding.

Appreciation is also done to thank Miss Boossarasiri Thana and Dr. Parichat Wetchayont for their valuable suggestion and encouragement.

Specially thank to Miss Sutipa Arsirapoj, Miss Porntip jaimun and Mr. Sorasit Thanomponkrang who alway stand by my side and encouragement. I thank to Mr. Jaturon Kornkul, Mr. Weerawut Tiankao, Miss Satika Boonkeawwan and all of my friends for their support throughout my thesis with their valuable suggestions.

Finally, I would like to thank my family for their support and encouragement throughout my study at the university.

Many persons who are not mentioned above but concerned and helpful in this thesis are also deeply appreciated.

CONTENTS

Page

THAI ABSTRACT iv
ENGLISH ABSTRACT v
ACKNOWLEDGEMENTS vi
CONTENTS vii
LIST OF TABLES x
LIST OF FIGURES xi
CHAPTER I INTRODUCTION 1
1.1 Rationale 1
1.2 Objectives 2
1.3 Scope and limitation 2
1.4 Location of the study area 2
1.5 Expected outputs 5
1.6 Components of the thesis 5
CHAPTER II THEORY AND LITERATURE REVIEWS 6
2.1 Theoretical background 6
2.1.1 Groundwater flow 6
2.1.2 Mass transport of solutes 8
2.1.3 Sorption Isotherms 11
2.1.4 Modeling of groundwater 13
2.1.5 Arsenic in groundwater 15
2.1.6 Piper diagram 17
2.2 Previous investigation in contamination of arsenic in groundwater and the related investigation 18
CHAPTER III MATERIALS AND METHODOLOGY 24
3.1 Field investigation 24
3.1.1 Water sample collection 24
3.1.2 Soil sample collection 27

Page

3.2 Laboratory analysis 28
3.2.1 Chemical properties of shallow groundwater 28
3.2.2 Physical and chemical properties of soil 28
3.2.3 Point of zero charge (PZC) 29
3.3 Column experiment and modeling 30
3.3.1 Column experiment 30
3.3.2 Soil microwave digestion 32
3.4 Groundwater flow and arsenic transports modeling 33
3.4.1 Boundary setting 33
3.4.2 Parameter input 33
3.4.3 Calibration and validation 35
3.4.4 MT3D 35
CHAPTER IV RESULTS 37
4.1 Field investigation 37
4.1.1 Field analysis of shallow groundwater samples 37
4.1.2 The direction of groundwater flow 38
4.2 Hydrochemical analysis 40
4.2.1 Hydrochemical properties of shallow groundwater 40
4.2.2 Physico-chemical properties of soils 51
4.3 The column experiments and modeling 57
4.3.1 Dispersion coefficient of soil 57
4.3.2 Arsenic transport 58
4.3.3 The distribution of total As concentration in soils 61
4.4 Groundwater flow and arsenic transport modeling 63
4.4.1 Conceptual model 63
4.4.2 Steady-state calibration 65
4.4.3 Modeling of As transport 69

2615095501

Page

CHAPTER V DISCUSSION 75
5.1 Groundwater type 75
5.2 Arsenic species 77
5.3 Arsenic transports 77
CHAPTER VI CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS 79
6.1 Conclusions 79
6.2 Recommendation 80
APPENDIX 81
Appendix A Field work investigation 82
Appendix B Background of shallow groundwater quality in the study area 83
Appendix C Column experiment: Tracer test 86
Appendix D Column experiment: Arsenic transport 91
Appendix E Cross-section 95
REFERENCES 96
VITA 99

2615095501

LIST OF TABLES

Page

Table 3.1 Conservation of chemical parameters of water samples 25
Table 3.2 The condition of microwave digestion 32
Table 3.3 The percentage of the average annual rainfall as the soil materials 34
Table 3.4 The hydraulic conductivity of soil materials 34
Table 4.1 Location and groundwater levels from shallow groundwater wells 38
Table 4.2 The statistics of groundwater quality in shallow groundwater wells in dry season 41
Table 4.3 The statistics of groundwater quality in shallow groundwater wells in rainy season 41
Table 4.4 The statistics of groundwater quality in shallow groundwater wells in dry season 42
Table 4.5 The statistics of groundwater quality in shallow groundwater wells in rainy season 42
Table 4.6 The percentage of sand, silt and clay in each soil group 51
Table 4.7 Summary of the chemical properties of soil 53
Table 4.8 The chemical composition of soil in the study area by the X-ray fluorescence (XRF) 54
Table 4.9 Physical characteristic of soil in column transport experiments 57
Table 4.10 The soil specific parameters, solute transport and reaction parameters for HYDRUS-1D 58
Table 4.11 Sorption capacity of arsenic transport through saturated soil 62
Table 4.12 Residual analysis of the steady-state condition in the dry season 68
Table 4.13 Residual analysis of the steady-state condition in the rainy season 68

2615095501

LIST OF FIGURES

Page

Figure 1.1 The Location of study area 4
Figure 1.2 The hydrogeology of study area 4
Figure 2.1 Darcy's experiment 7
Figure 2.2 Longitudinal and transverse dispersion viewed at the microscopic scale 10
Figure 2.3 Examples of sorption isotherms 12
Figure 2.4 Step in a protocal for model application 13
Figure 2.5 The Eh-pH diagram for As 16
Figure 2.6 Classification of hydrochemical facies using the Piper plot 17
Figure 3.1 Map showing location of the study area and water sampling stations 26
Figure 3.2 Map showing location of the study area and soil sampling stations 26
Figure 3.3 A flow-through cell 27
Figure 3.4 Field filtering of water samples 27
Figure 3.5 Soil samples collection 27
Figure 3.6 A mechanical shaker used for sieve analysis 29
Figure 3.7 (a) A schematic diagram of the column flow apparatuses for conducting saturated soil experiment and (b) packed soil column apparatus 31
Figure 3.8 Experimental setup 31
Figure 3.9 Model carlibration and validation 36
Figure 3.10 MT3D for arsenic transpotation 36
Figure 4.1 Groundwater level contour map in dry season 39
Figure 4.2 Groundwater level contour map in rainy season 39
Figure 4.3 Well locations of As exceeding over groundwater quality standard in dry season 43
Figure 4.4 Well locations of As exceeding over groundwater quality standard in rainy season 43
Figure 4.5 Well locations of Fe exceeding over groundwater quality standard in dry season 44
Figure 4.6 Well locations of Fe exceeding over groundwater quality standard in rainy season 44

Figure 4.7 Well locations of Mn exceeding over groundwater quality standard in dry season 45
Figure 4.8 Well locations of Mn exceeding over groundwater quality standard in rainy season 45
Figure 4.9 Well locations of Al exceeding over groundwater quality standard in dry season 46
Figure 4.10 Piper diagram of shallow groundwater samples in dry season 48
Figure 4.11 Piper diagram of shallow groundwater samples in rainy season 48
Figure 4.12 The Eh-pH diagram of arsenic speciations in dry season 50
Figure 4.13 The Eh-pH diagram of arsenic speciations in rainy season 50
Figure 4.14 The partical size distribution curve of soil 52
Figure 4.15 The textural triangle 52
Figure 4.16 X-ray diffraction analysis 55
Figure 4.17 Point of zero charge 56
Figure 4.18 Experimental and simulated breakthrough curves (BTCs) of Br 58
Figure 4.19 Experimental breakthrough curves of arsenic versus pore volume (PV) ... 59
Figure 4.20 Experimental and simulated breakthrough curves of arsenic versus time fitted by HYDRUS-1D 60
Figure 4.21 As distribution profile in soil 61
Figure 4.22 Comparison of As distribution in sandy loam and sand 62
Figure 4.23 Map shown shallow groundwater flow in the study area. 63
Figure 4.24 The geological cross-section of study area 64
Figure 4.25 Scattered plot between simulated and observed heads of steady-state condition 66
Figure 4.26 Simulated groundwater head under steady-state condition 67
Figure 4.27 Arsenic movement of 15 years during 2010 - 2025 70
Figure 4.28 Arsenic movement of 25 years during 2010 - 2035 71
Figure 4.29 Arsenic movement of 50 years during 2010 - 2060 72
Figure 4.30 Arsenic movement without the sorption 73
Figure 4.31 Arsenic movement without the sorption 74