การเคลื่อนตัวและการย่อยสลายทางชีววิทยาของเบนซีนในชั้นน้ำใต้ดินอิ่มตัว

นางสาววัสสา คงนคร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3653-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21236008
- 7 ก.พ. 2550

TRANSPORT AND BIODEGRADATION OF BENZENE IN THE SATURATED GROUNDWATER LAYER

Miss Watsa Khongnakorn

A Thesis Submitted in Partail Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Acadamic Year 2003

ISBN 974-17-3653-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเคลื่อนตัวและการย่อยสลายทางชีววิทยาของเบนซีนในชั้นน้ำใต้ดินอิ่มตัว
โดย	นางสาววัสสา คงนคร
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาพันธุ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

วัสสา คงนคร : การเคลื่อนตัวและการย่อยสลายทางชีววิทยาของเบนซีนในชั้นน้ำใต้ดินอิ่มตัว (TRANSPORT AND BIODEGRADATION OF BENZENE IN THE SATURATED GROUNGWATER LAYER) อาจารย์ที่ปรึกษา : อ.ดร.เขมรัฐ โอสถาพันธุ์, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.สุธา ขาวเธียร, 81 หน้า. ISBN 974-17-3653-3

งานวิจัยนี้ศึกษาการเคลื่อนตัวของเบนซีนในชั้นน้ำใต้ดิน รวมถึงความสามารถในการดูดซับของเบนซีนบนผิวดินและความสามารถการย่อยสลายทางชีววิทยาโดยจุลินทรีย์เดิมที่มีในดิน ซึ่งทั้งสองปัจจัยช่วยในการลดความรุนแรงของการแพร่กระจายของเบนซีนในชั้นน้ำใต้ดิน โดยใช้ดินในบริเวณเขตพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การทดลองแบบกะ การทดลองแบบคอลัมน์และการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการเคลื่อนตัวของเบนซีนในชั้นน้ำใต้ดิน

ผลการทดลองแบบกะพบว่า ความสามารถในการดูดซับของเบนซีนบนผิวดินที่สมดุลเป็นไอโซเทอมแบบเชิงเส้น มีค่าคงที่การดูดซับเป็น 0.5444 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ส่งผลให้ค่าคงที่ของการหน่วง (Retardation facter) เป็น 5.43 และปฏิกิริยาการย่อยสลายเป็นแบบลำดับที่หนึ่ง โดยมีอัตราการย่อยสลายอยู่ในช่วง 0.0009 - 0.0092 ต่อวัน สำหรับการทดลองแบบคอลัมน์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของดินด้วยสารละลายโบรไมด์ พบว่า ลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบสมดุลมีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวอยู่ในช่วง 0.0088 - 0.0116 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที และผลจากการจำลองการเคลื่อนตัวของเบนซีนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีความแตกต่างกับผลการทดลองจริงแบบคอลัมน์ ซึ่งน่าจะสามารถอธิบายได้ด้วยการเคลื่อนที่แบบไม่สมดุล ส่วนผลของการย่อยสลายทางชีววิทยามีนัยสำคัญอย่างยิ่งต่อการเคลื่อนตัวของเบนซีน และผลของแบบจำลองการเคลื่อนตัวของเบนซีนที่มีกลไกการย่อยสลายทางชีววิทยากับผลการทดลองจริงแบบคอลัมน์มีความใกล้เคียงกัน

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต.....วัสสา คงนคร.....
สาขาวิชา...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2546.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470532521 : MAJOR Environmental Engineering

KEY WORD: benzene / transport / biodegradation / adsorption

WATSA KHONGNAKORN : TRANSPORT AND BIODEGRADATION OF BENZENE IN THE SATURATED GROUNDWATER LAYER. THESIS ADVISOR : KHEMARATH OSATHAPHAN, Ph.D., THESIS COADVISOR : Asst. PROF. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 81 pp. ISBN 974-17-3653-3.

The objective of this study was to investigate the biotic and abiotic processes that effected benzene transportation in the saturated groundwater layer. The study was performed in the laboratory using synthetic groundwater and soil sample from Maptaput Industrial Estate, Rayong. This study was divided into 3 parts; batch test, column test and computer modeling. The biotic, biodegradation, and the abiotic, adsorption, processes were studied in the batch system. The column experiment was performed to investigate the transport behavior of benzene. The computer program, CXTFIT, with parameters acquired from batch and column experiments was used to simulate the benzene transport behavior.

It was found that benzene adsorption followed the linear adsorption isotherm with its coefficient (K_d) of 0.544 cm^3/g and the ratardation factor of 5.43. The biodegradation rate could be estimated using the first-order biodegradation rate equation with the degradation rate of 0.0009-0.0092 per day. The dispersion coefficient estimated from column experiments was 0.0102 cm^2/s. The computer simulation did not fit the experiment data well. This can be concluded that the transport of benzene was a non-equilibrium transport. It was also found that biodegradation of benzene had significant effect on benzene transportation in saturated groundwater. The simulated transport with biodegradation process fited the data fairly.

Department.... Environmental Engineering... Student's signature.....

Field of study... Environmental Engineering... Advisor' signature.....

Acadamic year..... 2003..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่ให้ความรัก ความเอาใจใส่ และสนับสนุนด้านกำลังกายและกำลังใจมาโดยตลอดจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนร่วมจากโครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำปรึกษา ให้ทุนสนับสนุน แนะนำและช่วยแก้ปัญหางานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ และอาจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมถึงคำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์และครูปฏิบัติการทุกท่าน รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ และมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุนการศึกษาบางส่วนแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ นักวิจัยและเจ้าหน้าที่ทุกท่านของโครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาเอกและโททุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือเสมอมา

ขอขอบคุณข้าราชการ พนักงานและเจ้าหน้าที่ของทุกๆ หน่วยงาน ที่ให้ความช่วยเหลือและอนุเคราะห์ทางด้านข้อมูลและเครื่องมือแก่ผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
บทที่
1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 เบนซีน.....3
2.1.1 การใช้งาน.....4
2.1.2 ความเป็นพิษของเบนซีน.....4
2.2 กลไกการเคลื่อนที่ในชั้นน้ำใต้ดิน.....5
2.2.1 กระบวนการทางชลศาสตร์.....5
2.2.1.1 การพา.....5
2.2.1.2 การแพร่และการกระจายตัว.....6
2.2.2 กระบวนการทางเคมี.....9
2.2.2.1 การดูดซับ.....9
2.2.2.2 กลไกการดูดซับ.....10
2.2.2.3 สมดุลของการดูดซับ.....11
2.2.3 กระบวนการทางชีววิทยา.....15
2.3 แบบจำลองการเคลื่อนที่แบบ 1 มิติ.....16
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 17

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....21

3.1 แผนการวิจัย.....21

3.2 ขั้นตอนการวิจัย.....21

3.3 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....22

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....23

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 29

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน.....29

4.2 ผลการศึกษาหาการทดสอบไอโซเทอมของการดูดซับ.....30

4.3 ผลการศึกษาการทดสอบความสามารถในการปรับสภาพและ
อัตราการย่อยสลายทางชีววิทยา.....31

4.4 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของดิน.....39

4.5 ผลการทดลองแบบคอลัมน์.....42

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....49

5.1 สรุปผลการวิจัย.....49

5.2 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้.....50

5.3 ข้อเสนอแนะ.....50

รายการอ้างอิง.....51

ภาคผนวก.....55

ภาคผนวก ก ผลการศึกษาคุณสมบัติของดิน.....56

ภาคผนวก ข ผลการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับเบนซีนบนผิวดินตัวอย่าง.....58

ภาคผนวก ค ผลการทดสอบความสามารถในการปรับสภาพและอัตราการย่อยสลาย
ทางชีววิทยา.....60

ภาคผนวก ง ผลการทดสอบแบบคอลัมน์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวของดิน.....69

ภาคผนวก จ ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของเบนซีนด้วยโปรแกรม STANDMOD/CXTFIT...75

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....81

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเบนซีน.....3
ตารางที่ 2.2 ความเป็นพิษของเบนซีนในอากาศที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ..... 4
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการย่อยสลายของเบนซีนที่สถานที่ต่างๆ.....16
ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....22
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....22
ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของสารอาหารเลี้ยงเชื้อ.....25
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน.....29
ตารางที่ ก.1 รายงานผลการวิเคราะห์ดิน.....57
ตารางที่ ข.1 ผลการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับเบนซีนบนดิน 3 กรัม เป็นเวลา 60 ชั่วโมง
ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....59
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบความสามารถในการปรับสภาพและอัตราการย่อยสลาย
ทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในดิน ที่เบนซีนความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....61
ตารางที่ ค.2 ค่าของพีเอช อุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายที่วัดได้จากการทดสอบ
ความสามารถในการปรับสภาพและอัตราการย่อยสลายทางชีววิทยา
ของจุลินทรีย์ในดิน ที่เบนซีนความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....62
ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบความสามารถในการปรับสภาพและอัตราการย่อยสลาย
ทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ ในดิน ที่เบนซีนความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร.....63
ตารางที่ ค.4 ค่าของพีเอช อุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายที่วัดได้จากการทดสอบ
ความสามารถในการปรับสภาพและอัตราการย่อยสลายทางชีววิทยาของ
จุลินทรีย์ในดิน ที่เบนซีนความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร.....64
ตารางที่ ค.5 ผลการทดสอบความสามารถในการปรับสภาพและอัตราการย่อยสลายทาง
ชีววิทยาของจุลินทรีย์ ในดิน ที่เบนซีนความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....65
ตารางที่ ค.6 ค่าของพีเอช อุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายที่วัดได้จากการทดสอบ
ความสามารถในการปรับสภาพและอัตราการย่อยสลายทางชีววิทยา
ของจุลินทรีย์ในดิน ที่เบนซีนความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....66
ตารางที่ ค.7 ผลการทดสอบความสามารถในการปรับสภาพและอัตราการย่อยสลาย
ทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ ในดิน ที่เบนซีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร..... 67

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค.8 ค่าของพีเอช อุณหภูมิและค่าออกซิเจนละลายที่วัดได้จากการทดสอบ
ความสามารถในการปรับสภาพและอัตราการย่อยสลายทางชีววิทยา
ของจุลินทรีย์ในดิน ที่เบนซีนความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....68
ตารางที่ ง.1 ผลการเคลื่อนที่ของสารละลายโบรไมด์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
ผ่านคอลัมน์เทฟลอน.....71
ตารางที่ ง.2 ผลที่ได้จากโปรแกรม CFITIM.....72
ตารางที่ จ.1 ตัวอย่างผลที่ได้จากโปรแกรม STANMOD/CXTFIT.....76

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ลักษณะของค่าความชันการไหล.....5

2.2 ลักษณะของการเคลื่อนที่ของ (a) การพาและแพร่การกระจายตัว
(b) การพาตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน 8

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวตามยาว (longitudinal dispersion)
ของสารปนเปื้อนในตัวกลางที่มีรูพรุน 8

2.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ (a, b) การกระจายตัวตามทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน
(c) การพาและการแพร่..... 9

2.5 ตัวอย่างของไอโซเทอมแบบเชิงเส้น 12

2.6 ตัวอย่างของไอโซเทอมแบบเชิงเส้นและฟรุนดิช.....13

2.7 ตัวอย่างของไอโซเทอมแบบแลงเมียร์.....14

2.8 Breakthrough Curve แสดงให้เห็นถึงผลของการกระจายตัวและการดูดติดผิว.....15

3.1 ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว.....27

3.2 ชุดทดลองที่ใช้ในการทดลองแบบคอลัมน์.....28

4.1 ไอโซเทอมแบบเชิงเส้นของการดูดซับของเบนซีนที่ความเข้มข้น 10 20 50 และ
100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....31

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมของเบนซีนที่ความเข้มข้น
10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างๆ 32

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมของเบนซีนที่ความเข้มข้น
20 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างๆ.....33

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมของเบนซีนที่ความเข้มข้น
50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างๆ.....33

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดทดลองและชุดควบคุมของเบนซีนที่ความเข้มข้น
100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาต่างๆ.....34

4.6 การลดลงของความเข้มข้นของเบนซีนจากการย่อยสลายทางชีววิทยาที่ความเข้มข้น
10 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 อัตราการย่อยสลายทางชีววิทยาของเบนซีนที่ความเข้มข้น 10 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....35
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของเบนซีนกับค่าอัตราการย่อยสลายทางชีววิทยาของเบนซีนที่ความเข้มข้น 10 20 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร.....36
4.9 ความสัมพันธ์ของค่าพีเอชและค่าออกซิเจนละลายที่เปลี่ยนไปตามเวลา.....37
4.10 ลักษณะคอลัมน์ที่ทำการทดลอง.....39
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ V/Vo ของสารละลายโบรไมด์ที่ผ่านคอลัมน์ที่ 1.....40
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง C/Co กับ V/Vo ของสารละลายโบรไมด์ที่ผ่านคอลัมน์ที่ 2.....40
4.13 ลักษณะการเคลื่อนตัวของสารละลายโบรไมด์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม.....41
4.14 ความสัมพันธ์ของลักษณะการเคลื่อนตัวของเบนซีนที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ได้จากการทดลองและจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....43
4.15 ความสัมพันธ์ของลักษณะการเคลื่อนตัวของเบนซีนที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ได้จากการทดลองและจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....43
4.16 ความสัมพันธ์ของลักษณะการเคลื่อนตัวของเบนซีนที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีกลไกการย่อยสลายร่วมด้วยที่ได้จากการทดลองและจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....44
4.17 ความสัมพันธ์ของลักษณะการเคลื่อนตัวของเบนซีนที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีกลไกการย่อยสลายร่วมด้วยที่ได้จากการทดลองและจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....45
4.18 ความสัมพันธ์ของลักษณะการเคลื่อนตัวของเบนซีนที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ระหว่างกลไกการดูดซับอย่างเดียวกับกลไกการดูดซับและการย่อยสลายทางชีววิทยา.....48
4.19 ความสัมพันธ์ของลักษณะการเคลื่อนตัวของเบนซีนที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ระหว่างกลไกการดูดซับอย่างเดียวกับกลไกการดูดซับและการย่อยสลายทางชีววิทยา.....48