บทที่ 2
ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยด้านการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินและน้ำบาดาล

Appel และคณะ (2008) ศึกษาดิน 3 ชนิดและทำการวัดค่าการถูกดูดซับของตะกั่ว แคดเมียมและแคลเซียม โดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย 3 ข้อคือหาขอบเขตที่โลหะนั้นๆถูกดูดซับอยู่ อธิบายปฏิกริยาระหว่างโลหะและดิน และเพื่อศึกษาพฤติกรรมของโลหะเมื่อลงสู่ดิน จากงานวิจัยพบว่าตะกั่วจะมีการเปลี่ยนรูปน้อยกว่าแคดเมียมและขัดขวางการดูดซับของแคดเมียม นอกจากนี้ยังพบว่าตะกั่วปรากฏอยู่ในดินมากกว่าแคดเมียมและแคลเซียม ดังนั้นตะกั่วน่าจะเป็นโลหะหนักที่มีโอกาสเคลื่อนตัวสู่น้ำบาดาลได้น้อยกว่าแคดเมียมและแคลเซียม

Chaturvedi และคณะ (2006) ศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับ (kinetic of sorption) ของโลหะหนัก 3 ชนิดคือ ตะกั่ว สังกะสีและแคดเมียม ในดินที่ไม่มีสารอินทรีย์ผสมกับดินที่มีสารอินทรีย์ในอัตราส่วน 1:3 และใช้ 1% hydroxyapatite ซึ่งเป็นสารที่ใช้สำหรับโลหะหนักที่ไม่มีการเคลื่อนที่และมีสมบัติการถูกชะล้าง โดยใช้การทดลองแบบแบตท์ (batch method) และการหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของไอโซเทอมแบบต่างๆ และมีการใช้สารละลาย KNO_3 เข้มข้น 0.05 M เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับของโลหะหนักลดลงตามลำดับดังนี้ ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม แสดงให้เห็นว่าตะกั่วมีความสามารถในการถูกชะล้างน้อยที่สุด

Covelo และคณะ (2007) ศึกษาการถูกดูดซับของโลหะหนัก 5 ชนิดคือ ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม นิกเกิลและสังกะสี ในดิน 11 ชนิดที่มีความเป็นกรดซึ่งเป็นดินที่เก็บจากทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศสเปน โดยใช้การทดลองแบบแบตท์ (batch method) และใช้ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองพบว่าตะกั่วและทองแดงถูกดูดซับได้มากกว่าโลหะหนักชนิดอื่นๆ และยังพบว่าค่าการดูดซับของตะกั่วและทองแดงมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอินทรีย์ในดินอีกด้วย

Dong และคณะ (2009) ศึกษาความสามารถในการเคลื่อนตัวของตะกั่ว แคดเมียมและโครเมียม (VI) ในดินที่มีการเพาะปลูกและมีการปนเปื้อนของโลหะหนักเหล่านี้ลงสู่น้ำบาดาลในบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน โดยการทดลองนี้มีการควบคุมค่า pH เริ่มต้นเท่ากับ 5 และทำการทดลองโดยใช้ไอโซเทอมของ Langmuir และ Freundlich พบว่าข้อมูลการดูดซับของโครเมียม (VI) เป็นไปตามไอโซเทอมเส้นตรงและการดูดซับของโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดนี้เข้าสู่สมดุลภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมงเท่านั้น โดยตะกั่วมีการถูกดูดซับที่ดีที่สุดและโครเมียม (VI) มีการถูกดูดซับได้น้อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการถูกดูดซับของตะกั่วและแคดเมียมเพิ่มขึ้นตามค่า pH ที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย เพราะฉะนั้นโลหะหนักที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่มากที่สุดคือ โครเมียม (VI) แคดเมียมและตะกั่วตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบว่าดินที่ปนเปื้อนโดยน้ำเสียที่มีตะกั่วและแคดเมียมนั้น โลหะหนักทั้งสองชนิดนี้จะเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ช้ามากเพราะมีการถูกดูดซับไว้ในดินสูงและมีความสามารถในการเคลื่อนที่ต่ำ ในขณะที่โครเมียม (VI) สามารถเคลื่อนที่ลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้เร็วและถูกดูดซับไว้ในดินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Hansen และ Maya (1997) ศึกษาการถูกดูดซับของตะกั่วและแคดเมียมในเทะเลสาบ Chapalad โดยการทดลองถูกออกแบบให้ศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ พบว่าตะกั่วสามารถถูกดูดซับได้มากกว่าแคดเมียมและ

ปฏิกริยาของตะกั่วต่อตะกอนพื้นผิวไม่สามารถคืนสภาพเดิมได้เมื่อเปรียบเทียบกับแคดเมียมที่ความเข้มข้นที่เท่ากัน

Keivan และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนตัวของโลหะหนักในกากตะกอนบ่อกุ้ง ในเมือง Selangor ประเทศ Malaysia โดยมีขั้นตอนศึกษา 2 วิธีตามการสกัดตามลำดับ (sequential extraction methods) ดังนี้ 1) วิธี Tessier 5 ขั้นตอน 2) วิธี BCR 3 ขั้นตอน จากการวิเคราะห์ตะกอนในบ่อกุ้งพบว่า Ca, Fe และ Mn มีความเข้มข้นสูงสุดเมื่อเทียบกับ Zn, Cu, Cr, Cd และ Pb และจากการทดลองสกัดตามลำดับ (sequential extraction methods) พบว่า Cd, Mn และ Pb พบมากในรูปแบบของ exchangeable/carbonate แสดงว่ามีการชะล้างได้ง่าย ส่วน Cu และ Zn ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบ oxidizable form ซึ่งผลของการทดลองพบว่าวิธี BCR จะมีความคล้ายคลึงกับวิธี Tessier แต่เมื่อดูเปอร์เซ็นความถูกต้องที่ได้จากการทดลองแล้วพบว่าวิธี BCR จะมีความถูกต้องมากกว่าวิธี Tessier

Li และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในพื้นที่เกษตรที่แห้งแล้ง โดยวัดความเข้มข้นของ Cu, Pb, Cr, Hg และ As ในดินในพื้นที่การเกษตรที่แห้งแล้งและดินในพื้นที่ชลประทาน บริเวณหมู่บ้าน Shajiawuan หมู่บ้าน Gangou และ หมู่บ้าน Sifangwu ในตอนกลางของจังหวัดกานซู ประเทศจีน พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในพื้นที่เกษตรแห้งแล้งมีค่าสูงยกเว้น Hg มีค่าความเข้มข้นต่ำ โดยความเข้มข้นของ Pb มีค่าเกินมาตรฐานประมาณ 72.46% ซึ่งเป็นอันตราย จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีองค์ประกอบหลัก (Principal component analysis, PCA) ในการประเมินข้อมูลดินโดยใช้ varimax rotation กับ Kaiser Normalization พบว่าปัจจัยชลประทาน ปัจจัยทางการเกษตรและกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์จะช่วยสนับสนุนความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางเคมีและปัจจัยหลักของการสะสมของ Cu, Pb, Cr, Hg และ As ในพื้นที่เกษตรที่แห้งแล้ง ซึ่งมีการเกิดที่แตกต่างกันกับพื้นที่เกษตรในเขตพื้นที่ชลประทาน

Nouri และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นและการกระจายตัวของโลหะหนัก (i.e., Cu, Cd, Ni, Zn) ในชั้นน้ำบาดาล ในแถบจังหวัด Shush และจังหวัด Andimeshk บริเวณตอนใต้ของประเทศอิหร่านซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการทำการเกษตรค่อนข้างสูง โดยพื้นที่ศึกษามีขนาดประมาณ 1,100 km^2 อยู่ระหว่างแม่น้ำ Dez และ Karkhe โดยได้ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 4 บริเวณ คือ A, B, C และ D จากนั้นทำการเก็บตัวอย่าง 168 ตัวอย่างจาก 42 บ่อ ในระหว่างเดือน เมษายน พฤษภาคม สิงหาคม และเดือนกันยายน ปี 2004 และนำมาหาค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำตัวอย่างโดยใช้เครื่อง AAS ซึ่งจากการทดลองสรุปได้ว่าความเข้มข้นของ Cu, Zn และ Ni ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (Cu 1.3 มก./ลิตร และ Zn 5 มก./ลิตร) และพบว่า Cd 4.8 เปอร์เซ็นต์จากตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าค่ามาตรฐาน (Cd 0.005 mg/L) จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักบริเวณตอนใต้มีค่ามากกว่าบริเวณตอนเหนือของพื้นที่ศึกษา เนื่องจากทางตอนใต้มีพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่อุตสาหกรรมมากกว่า และทิศทางการไหลของน้ำในพื้นที่ศึกษาโดยปกติจะไหลจากทิศเหนือไปยังทางทิศใต้ของจังหวัด Shush จึงน่าจะเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักและสารปนเปื้อนอื่นอยู่ในปริมาณมาก

Nastha และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินในบริเวณที่มีการทำเหมืองและปล่อยทิ้งไว้ ซึ่งส่วนที่เหลือจากการผลิตแร่เมื่อสะสมตัวในดินเป็นเวลานานๆ ก็จะส่งผลทำให้ดินมีการปนเปื้อนของโลหะหนักในปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งได้ศึกษาความเข้มข้นและการเปลี่ยนแปลงลักษณะของโลหะหนัก (i.e., As,

Cd, Cu, Pb และ Zn) ในตัวอย่างดินจาก Kocani (Macedonia) โดยได้ใช้เครื่อง ICP-AES และจุพลศึกรรมการดูดซับโลหะหนักของดิน ซึ่งผลปรากฏพบ As, Cd, Cu, Pb และ Zn ที่มีปริมาณความเข้มข้นสูง ซึ่งตรวจพบในดินตัวอย่างจากพื้นที่ VII-2 ซึ่งอยู่ใกล้กับเหมือง Zletovo และแม่น้ำ Zletovska ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันตกของ Kocani โดยได้ทำการเก็บน้ำจากด้านตะวันตกของเหมือง Zletovo ซึ่งลักษณะของโลหะหนักที่มีการกระจายตัวในดินมีการกระจายตัวจากมากไปน้อยดังนี้ Pb > As > Cd > Zn > Cu ดังนั้นความสามารถในการเคลื่อนตัวของโลหะหนักจะเพิ่มขึ้นจากมากไปน้อย As > Cu > Pb > Zn > Cd

Rybicka และคณะ (1995) ศึกษาการถูกดูดซับของแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสีและนิกเกิลใน illite, beidellite และ montmorillonite โดยใช้ multichamber device ซึ่งใช้ศึกษาอัตราการถูกดูดซับของโลหะในดินที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อย การทดลองพบว่าตะกั่วและและทองแดงถูกดูดซับไว้ใน illite ในปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 80 ถึง 90 ในขณะที่สังกะสี นิกเกิลและแคดเมียมถูกดูดซับไว้เพียงร้อยละ 40 ถึง 50 เท่านั้น

Santos และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษา speciation ของ Zn, Cd, Pb และ Cu ในน้ำบาดาลจำนวน 10 บ่อ ในชั้นน้ำตะกอนน้ำพา (alluvial aquifers) ของแม่น้ำ Guadiamar ซึ่งได้รับผลกระทบจากการขุดเหมือง Aznalcollar ซึ่งจากการศึกษาทางเคมีพบว่า น้ำในบ่อตัวอย่างมีค่าพีเอชต่ำ และมีค่าการนำไฟฟ้าสูง โดยวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยใช้เครื่องมือ inductively coupled plasma source atomic emission Spectroscopy (ICP-AES) ซึ่งจากการศึกษาปริมาณโลหะหนักและนำมาศึกษา speciation ซึ่งผลที่ได้สะท้อนให้เห็นว่า Pb และ Cu มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้น้อย ซึ่งตรงข้ามกับ Zn และ Cd ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบได้ตลอด

Vega และคณะ (2006) ศึกษาการดูดซับของดินในเหมืองซึ่งมีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ เช่น แคดเมียม โครเมียม ทองแดง นิกเกิล ตะกั่วและสังกะสี พบว่าดินส่วนใหญ่มีตะกั่วปนเปื้อนอยู่มากที่สุดและนิกเกิลปนเปื้อนอยู่ในดินน้อยที่สุด โดยพบว่าการถูกดูดซับของตะกั่วในดินนั้นขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ในดินและดินที่มีปริมาณแร่ gibbsite, goethite และ mica จะมีการดูดซับโครเมียมไว้ในปริมาณมาก

Wong และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักในดินบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ปลูกข้าวบริเวณปากแม่น้ำ Pearl ซึ่งเป็นภูมิภาคที่มีการพัฒนามากที่สุดของประเทศจีน โดยได้ทำการเก็บดิน 3 บริเวณ ดังนี้ คือ บริเวณที่มีการทำการเกษตรในพื้นที่ศึกษา 38 ตัวอย่าง ดินบริเวณที่มีการเพาะปลูกข้าว 16 ตัวอย่าง และดินตามธรรมชาติ 18 ตัวอย่าง จากนั้นได้ทำการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในดินด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma–Atomic Emission Spectrometry (ICP–AES) จากการศึกษาพบว่า ดินในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ปลูกข้าว และดินตามธรรมชาติมีการปนเปื้อนของ Cd และ Pb ซึ่งดินในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมยังพบโลหะหนักมากที่สุดซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่าน่าจะมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลง

2.2 งานวิจัยด้านแบบจำลองน้ำบาดาล

กรมโยธาธิการ (2538) ใช้แบบจำลอง MODFLOW ในการจำลองสภาพน้ำบาดาลในจังหวัดกำแพงเพชร เพื่อหาความเหมาะสมในการเติมน้ำลงในชั้นหินอุ้มน้ำพร้อมทำการทดลองเติมน้ำด้วยสระภาคสนาม สรุปได้ว่าชั้นหินอุ้มน้ำมีความเหมาะสมและน้ำดิบที่มีอยู่ในแกลเซ่ที่ใช้ได้แต่มีตะกอนปะปนเล็กน้อย **พิศาล และ บัญชา (2547)** ประยุกต์ใช้แบบจำลอง MODFLOW เมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม SGDP และ MIKE SHE พบว่ามีความน่าเชื่อถือมากกว่ามีความยืดหยุ่น และสะดวกในการเพิ่มเติมหรือปรับแก้ไขข้อมูลอีกทั้งเป็นโปรแกรมสาธารณะ

ส่วนการศึกษาน้ำบาดาลบริเวณจังหวัดสุโขทัยพบว่าการสูบที่ปลอดภัยจะอยู่ในช่วง 35-40 ลูกบาศก์เมตร/ปี ซึ่งจะไม่ทำให้สมดุลของชั้นน้ำเปลี่ยนแปลงไป แต่ในปัจจุบันมีอัตราการสูบต่างๆ กันในแต่ละปี ตั้งแต่ 35-55 ลูกบาศก์เมตร

ธนัท (2554) จำลองการไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนตัวของโลหะหนักในเชิง 3 มิติในพื้นที่ศึกษานี้จากการใช้โปรแกรม Visual MODFLOW โดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติของชั้นน้ำและระดับน้ำบาดาล พบว่าน้ำบาดาลระดับตื้นมีการไหลจากทิศเหนือ (recharge zone) ไปสู่ทิศใต้ (discharge zone) ภายในชั้นหินอุ้มน้ำของดินทรายและหินทรายและได้มีการนำข้อมูล เช่น สัมประสิทธิ์การซึมผ่านและบริเวณที่มีการเติมน้ำ เป็นต้น มาปรับเทียบค่าเพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น จากแบบจำลองพบว่าโลหะหนักมีการเคลื่อนตัวตามการไหลของชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น

ปัทมา (2553) ได้ทำการศึกษาการดูดซับและจำลองการเคลื่อนตัวของตะกั่วและทองแดงในพื้นที่นี้ โดยมีการนำค่าตัวแปรที่ได้จากการทดลองไปใช้ในแบบจำลอง HYDRUS-1D พบว่าหากค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (K_d) มีค่ามากจะทำให้การเคลื่อนตัวของโลหะหนักช้า และจะพบการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำบาดาลในปริมาณที่น้อย แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับ (K_d) มีค่าน้อย โลหะหนักจะสามารถเคลื่อนตัวได้เร็วและจะพบการปนเปื้อนในน้ำบาดาลในปริมาณที่สูง

สุธาสินี (2553) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของความเป็นกรด-ด่างในน้ำบาดาลในพื้นที่นี้ พบว่าบริเวณที่มีการทำการเกษตรกรรมหนาแน่น ประกอบกับมีการใช้สารเคมีทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ปุ๋ยเคมี จะมีความเป็นกรดสูงกว่าบริเวณรอบข้างที่มีการทำการเกษตรที่น้อยกว่า ซึ่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักมาก จะทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรด (จากการศึกษาพบว่าน้ำมี pH เฉลี่ยเท่ากับ 4.67) และยังสัมพันธ์กับทิศทางการไหลของน้ำและค่าความชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) ซึ่งพบว่าบริเวณตอนกลางของพื้นที่ซึ่งมีค่าความชันทางชลศาสตร์น้อย จะมีความเข้มข้นของโลหะหนักมาก เนื่องจากเกิดการชะล้างของปุ๋ยลงไป ทำให้มีการสะสมตัวของโลหะหนักในปริมาณที่มาก ส่วนบริเวณที่ค่าความชันทางชลศาสตร์มาก จะมีปริมาณความเข้มข้นของโลหะน้อย เนื่องมาจากน้ำที่ไหลไป

Ayenew และคณะ (2008) ทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ที่ตอนกลางของประเทศอียิปต์ พบว่าการไหลของเส้นทางน้ำหลักมีความลึกไม่เกิน 50 เมตรและถูกจำกัดการไหลโดยแนวรอยเลื่อน และรอยแตกในชั้นหิน ชั้นระดับน้ำตื้นยังถูกควบคุมจากสภาพภูมิประเทศและความแตกต่างของชั้นน้ำ ส่งผลให้เกิดสภาพแบบน้ำพุบริเวณตอนเหนือ ตะวันตก ตะวันตกเฉียงเหนือในของพื้นที่ที่สำคัญถ้ายังคงมีการปนเปื้อนของน้ำผิวดินอยู่และหากมีการสูบใช้น้ำบาดาลในปริมาณที่สูงเช่นเดิมจะส่งผลกระทบต่อการปน เปื้อนของชั้นน้ำบาดาลได้ในอนาคต

Reimann และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการเคลื่อนตัวของสารในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำโดยใช้แบบจำลอง HYDRUS-2D และชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำโดยใช้แบบจำลอง MODFLOW ในพื้นที่เกษตรกรรมทางตอนเหนือของประเทศเยอรมัน โดยเน้นศึกษาตรงบริเวณรอยต่อระหว่างชั้น พบว่าการเคลื่อนตัวของสารบริเวณเหนือระดับน้ำบาดาลเป็นแบบ 3 มิติ ทำให้ความเข้มข้นของสารที่จะเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นน้ำบาดาลลดลง เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากแรงคาปิลลารี (Capillary force) ระหว่างน้ำและเม็ดตะกอน ส่งผลให้ค่าอัตราการไหลซึมของน้ำ (Hydraulic conductivity) มีค่าลดลง

Tsou และWhittemore (2001) ศึกษาการเชื่อมโยงระหว่างโปรแกรม GIS กับแบบจำลอง MODFLOW ผลการศึกษาพบว่าโปรแกรม GIS ช่วยในการจัดการวิเคราะห์และแสดงภาพของข้อมูลต่างๆ และสามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ของโมเดลและผลลัพธ์ อีกทั้งสร้างข้อมูลสำหรับช่วยในการตัดสินและหาคำตอบของแบบจำลอง

Van der Grift and Griffioen (2007) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนตัวของโลหะหนักในพื้นที่รับน้ำ 3 แห่งที่ดินเปรี้ยวโลหะหนักจากโรงถลุงแร่สังกะสี ซึ่งอยู่ในเขตการปกครอง Kempen ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยนำข้อมูลจากแบบจำลองการเคลื่อนตัวของแคดเมียมและสังกะสีในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำและแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลมาใช้ควบคู่กัน ซึ่งการไหลของน้ำในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำนั้นส่วนใหญ่เป็นการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ส่วนการเคลื่อนที่ของน้ำในชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำจะเป็นการเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ทำให้เมื่อมีการนำความเข้มข้นของโลหะหนักของชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำตรงบริเวณระดับน้ำบาดาลจากแบบจำลอง HYDRUS-1D ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำกับชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำมาใช้เสมือนเป็นความเข้มข้นที่ชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำได้รับสำหรับใช้ในการจำลองการเกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาลต่อไป โดยการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาลในชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำนั้นใช้แบบจำลอง MODFLOW และ MT3DMS จากการศึกษาพบว่าแคดเมียมและสังกะสีมีการกระจายตัวบริเวณระดับน้ำบาดาลมากกว่าบริเวณเส้นชั้นบนสุด พบว่าแคดเมียมและสังกะสีเคลื่อนตัวลงมาได้ลึกสุดประมาณ 70-100 cm.เท่านั้น โดยปกติแล้วแคดเมียมจะเคลื่อนที่ได้ช้าในชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำเนื่องจากที่ pHเป็นกลางแคดเมียมจะถูกดูดซับได้ดี นอกจากนี้ผู้ศึกษาได้คาดการณ์ความเข้มข้นของแคดเมียมและสังกะสีในช่วงปี ค.ศ. 1950-2050 โดยค่าความเข้มข้นสูงสุดมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามปัจจัยสำคัญคือคุณสมบัติทางเคมีของดิน ดังนั้นแบบจำลองก็สามารถปรับแก้ตัวแปรให้เข้ากับสถานการณ์ของแต่ละพื้นที่รับน้ำได้ จึงเป็นประโยชน์ต่อการคาดการณ์การเคลื่อนตัวและผลกระทบจากการปนเปื้อนของโลหะในชั้นน้ำบาดาลในอนาคตได้