บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ รวมไปถึงการศึกษาการประยุกต์คอมพิวเตอร์ซอฟท์แวร์ในการประมาณการเคลื่อนที่ของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำใต้ดิน โดยทำการทดลองทั้งแบบแบตช์และคอลัมน์ และสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างดินที่เก็บจากบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด พบว่าตัวอย่างดินที่นำมาทำการวิจัยในครั้งนี้เป็นดินที่มีลักษณะเป็น ตะกอนทราย (Silty Sand) หรือเป็นประเภท SM และ SM-SC เนื่องจากพื้นที่บริเวณนั้นเป็นพื้นที่ชายฝั่งทะเล ดินในบริเวณนั้นจึงประกอบไปด้วยโคลนเลน และทรายละเอียดเป็นส่วนใหญ่

5.1.2 สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ในการดูดซับโครเมต ด้วยตัวอย่างดิน โดยเลือกใช้ปริมาณตัวอย่างดิน 1 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโครเมต 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที ที่พีเอช 4 และ 8 พบว่าที่เวลา 120 ชั่วโมง การดูดซับโครเมตด้วยตัวอย่างดินจะเข้าสู่สมดุล โดยประสิทธิภาพในการดูดซับโครเมตที่พีเอช 4 จะดีกว่าที่พีเอช 8 เนื่องจากความสามารถในการดูดซับโครเมตมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช โดยการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลง

5.1.3 จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm) โดยการทดลองแบบแบตช์ พบว่าการดูดซับโครเมตด้วยตัวอย่างดินสอดคล้องกับไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) โดยเมื่อเปรียบเทียบกันที่ปริมาณดินต่าง ๆ กันจะพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณดินจะทำให้ปริมาณโครเมตที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากมีปริมาณของสารดูดซับเพิ่มมากขึ้น แต่ ความสามารถในการดูดซับโครเมตต่อปริมาณของดินมีแนวโน้มลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่มีปริมาณดินจำนวนมากขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณโครเมตที่มีอยู่ในสารละลาย

5.1.4 ค่าพีเอชในช่วงพีเอชที่ทำการศึกษามีผลกับการดูดซับโครเมตด้วยตัวอย่างดิน โดยที่ค่าพีเอช 4 และ 5 จะมีความสามารถในการดูดซับโครเมตสูงกว่าชุดการทดลองที่พีเอช 6, 7 และ 8 ซึ่งความสามารถในการดูดซับจะสูงที่สุดที่พีเอช 4 และลดลงตามการเพิ่มขึ้นของพีเอชจนกระทั่งต่ำสุดที่พีเอช 8 เพราะความสามารถในการดูดซับโครเมตมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช โดยการดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลง

5.1.5 จากการทดลองแบบคอลัมน์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (Dispersion Coefficient) พบว่าใช้เวลาไปทั้งหมด 40 ชั่วโมง ใช้ปริมาตรสารละลายโบรไมด์รวมน้ำกลั่น 0.4 ลิตร หรือ 12.5 เท่าของ Pore volume และจากการคำนวนโดยโปรแกม STANMOD/CFITIM ได้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวเท่ากับ 8.86×10^{-3} cm^2/s. และ 11.65×10^{-3} cm^2/s. สำหรับคอลัมน์ชุดแรกและชุดที่สองตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวเท่ากับ 10.26×10^{-3} cm^2/s.

5.1.6 จากการทดลองแบบคอลัมน์ที่พีเอช 4, 6 และ 8 เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ซอฟท์แวร์ พบว่าชุดการทดลองที่พีเอช 4 ใช้ปริมาณสารละลายโครเมตรวมน้ำกลั่นทั้งหมด 1.7 ลิตร หรือ 52.5 เท่าของPore volume และใช้เวลาไปทั้งหมด 168 ชั่วโมง และชุดการทดลองที่พีเอช 6 ใช้ปริมาณสารละลายโครเมตรวมน้ำกลั่นทั้งหมด 1.4 ลิตร หรือเท่ากับ 43.7 เท่าของPore volume และใช้เวลาไปทั้งหมด 140 ชั่วโมง ส่วนชุดการทดลองที่พีเอช 8 ใช้ปริมาณสารละลายรวมน้ำกลั่นเท่ากับ 1.2 ลิตร หรือเท่ากับ 37 5 เท่าของPore volume และใช้เวลาไปทั้งหมด 120 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการทดลองจะเห็นว่า ชุดการทดลองที่พีเอช 8 จะใช้เวลาน้อยกว่าที่พีเอช 6 ที่ใช้เวลาน้อยกว่าพีเอช 4 ตามลำดับ ซึ่งเนื่องมาจากความสามารถในการดูดซับที่พีเอชสูงจะน้อยกว่าที่พีเอชต่ำนั่นเอง

5.1.7 จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมาณด้วยโปรแกรม HYDRUS2D กับผลที่ได้จากการทดลองแบบคอลัมน์ ในทุก ๆ ค่าพีเอช จะพบว่าโปรแกรมสามารถประมาณการเคลื่อนที่พีเอช 6 ใกล้เคียงที่สุด รองลงมาคือที่พีเอช 8 ส่วนที่พีเอช 4 ถือว่าการประมาณด้วยโปรแกรมนั้นไม่ประสบผลสำเร็จ เพราะมีความแตกต่างกันมาก เนื่องมาจากการวิจัยในครั้งนี้ใช้สมการแบบจำลองการเคลื่อนที่ที่อยู่บนสมมติฐานที่ว่าการดูดซับจะอยู่ในสภาวะสมดุลตาม Local Equilibrium Assumption แต่ในคอลัมน์น่าจะเกิดการดูดซับแบบไม่สมดุล (Non-equilibrium adsorption process)

5.1.8 ถึงแม้ว่าโปรแกรม HYDRUS2D จะสามารถประมาณการเคลื่อนที่ได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงที่พีเอช 6 และ 8 แต่ก็ไม่ควรนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมไปใช้จริงเพราะเป็นค่าที่ไม่ปลอดภัย เพราะการประมาณความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง จึงทำให้เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมไปใช้จริงโดยไม่มีการตรวจสอบ อาจจะทำให้เกิดความเสียหาย และภัยพิบัติตามมา

5.2 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ และการนำไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษาการเคลื่อนที่รวมไปถึงการศึกษาการนำคอมพิวเตอร์ซอฟท์แวร์มาใช้ในการประมาณการเคลื่อนที่ของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำใต้ดินสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

5.2.1 สามารถประมาณการเคลื่อนที่ของโครเมียมในชั้นน้ำใต้ดินได้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์มากสำหรับการวางแผนการบำบัดและฟื้นฟูสภาพแวดล้อม(Remediation) ซึ่งสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

(1.) ทำการหาค่าคุณสมบัติต่างๆของตัวอย่างดิน เช่น ความหนาแน่น (Bulk Density), ค่าความพรุน (Porosity)

(2.) ทำการทดลองแบบแบตช์ เพื่อหาไอโซเทอมของการดูดซับว่าสอดคล้องกับไอโซเทอมแบบใด และทำการหา พารามิเตอร์ของการดูดซับ (Adsorption Parameter)

(3.) ทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของการดูดซับที่ได้จากขั้นตอนที่ (2.) เพื่อที่เมื่อนำไปป้อนเข้าสู่โปรแกรม HYDRUS2D แล้วจะได้ความใกล้เคียงกับสภาพจริงมากขึ้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 หัวข้อที่ 4.8 ในบทที่ 4

(4.) ทำการทดลองแบบคอลัมน์โดยป้อนสารเทรเซอร์ เช่นสารละลายโบรไมด์ เพื่อหาสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัว (Dispersion Coefficient, D)

(5.) นำค่าความหนาแน่น (Bulk Density), ค่าความพรุน (Porosity) จากขั้นตอนที่ (1.), ค่าพารามิเตอร์ของการดูดซับที่ได้รับการปรับค่าแล้วจากขั้นตอนที่ (3.) และค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัว (Dispersion Coefficient, D) จากขั้นตอนที่ (4.) ป้อนเข้าสู่โปรแกรม HYDRUS2D เพื่อที่จะให้โปรแกรมทำการประมาณการเคลื่อนที่ของโครเมตต่อไป ซึ่งจะทำให้ทราบถึงความเข้มข้น ที่ระยะทางหรือเวลาที่พิจารณา

5.2.2 ช่วยให้เข้าใจกลไกของการเคลื่อนที่ของโครเมตในชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อศึกษาและวิจัยต่อไป

5.2.3 ทำให้ทราบความเป็นไปของโครเมียมในชั้นน้ำใต้ดินเพื่อที่จะออกแบบระบบ Pump and Treat ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ รวมไปถึงการศึกษาการประยุกต์คอมพิวเตอร์ซอฟท์แวร์ ในการประมาณการเคลื่อนที่ของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำใต้ดินควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

5.3.1 ศึกษาและเปรียบเทียบผลการดูดซับ และการเคลื่อนที่ของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในน้ำใต้ดินในช่วงพีเอชอื่น ๆ นอกจากช่วงพีเอช 4 ถึง 8 หรือทดลองที่ความเร็วการไหลของสารมลพิษผ่านชั้นดินอื่น ๆ ในการทดลองแบบคอลัมน์

5.3.2 ศึกษาผลกระทบของโลหะหนัก หรือสารรบกวนตัวอื่น ๆ ที่มีต่อการดูดซับ และการเคลื่อนที่ของโครเมียมในชั้นน้ำใต้ดิน

5.3.3 ศึกษาการเคลื่อนที่ของโลหะหนักชนิดอื่น ๆ เช่น อาเซนิก หรือสารพิษชนิดอื่น เช่น เบนซีน หรือไซนาไนด์ รวมไปถึงศึกษาการประยุกต์คอมพิวเตอร์ซอฟท์แวร์ตัวอื่นในการประมาณการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในชั้นน้ำใต้ดินต่อไป

5.3.4 ศึกษาผลของตัวแปรอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ความแรงไอออน ที่มีต่อการดูดซับ และการเคลื่อนที่ของโครเมียมในน้ำใต้ดิน

5.3.5 ศึกษาสมการแบบจำลองของการเคลื่อนที่แบบ Non-equilibrium ของโครเมียมหรือโลหะหนักชนิดอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับการวิจัยในครั้งนี้รวมไปถึงการพัฒนาเพื่อการนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย