บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม (ในรูปของโครเมต) ในระบบน้ำใต้ดิน โดยทำการทดลองทั้งแบบกะและคอลัมน์ รวมถึงการประยุกต์นำเอาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มาใช้ เพื่อประมาณการเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม สามารถ สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 สำหรับการทดลองเพื่อหาค่าเวลาสัมผัสที่เหมาะสมของการดูดซับโครเมตในตัวอย่างดิน โดยใช้ตัวอย่างดิน 4 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายโครเมต 15 มิลลิกรัมต่อลิตร และเขย่าด้วยอัตราเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่พีเอช 4 และค่าความแรงไอออน (Ionic Strength) 0.01 โมล และ 1.0 โมล พบว่าที่เวลาประมาณ 120 ชั่วโมงการดูดซับของโครเมตจะเข้าสู่สมดุล

5.1.2 จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm) โดยการทดลองแบบกะ พบว่า การดูดซับของโครเมตในตัวอย่างดินสอดคล้องทั้งไอโซเทอมการดูดซับแบบแลงมัวร์ และไอโซเทอมการดูดซับแบบฟรุนดลิช

5.1.3 จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm) โดยการทดลองแบบกะ พบว่า ผลของค่าพีเอช มีผลต่อการดูดซับของโครเมตในตัวอย่างดิน โดยที่พีเอช 4 มีการดูดซับได้สูงกว่าที่พีเอช 7 และ 10 เพราะความสามารถในการดูดซับโครเมตมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช โดยการดูดซับจะลดลงเมื่อค่าพีเอชมากขึ้น ทั้งที่ความแรงไอออน 0.01 โมล และ1.0 โมล

5.1.4 จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm) โดยการทดลองแบบกะ พบว่า ผลของค่าความแรงไอออน (Ionic Strength) มีผลน้อยมากต่อการดูดซับของโครเมตที่ค่าสภาวะพีเอช 4 และ 10 แต่ที่พีเอช 7 โดยการเพิ่มของความแรงไอออนทำให้โครเมตถูกดูดซับได้น้อยลง

5.1.5 จากการทดลองแบบคอลัมน์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (Dispersion Coefficient) โดยใช้วารละลายโบรไมด์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารตามรอย (Tracer) ใช้สารละลายโบรไมด์ รวมน้ำกลั่น 0.4 ลิตร หรือเทียบเป็นจำนวน 10 Pore Volume และจากการคำนวณ ด้วยโปรแกรม STANDMOD/CFITIM ได้เท่ากับ 9.87 และ 8.90 สำหรับคอลัมน์ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งนำมาเฉลี่ยได้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัว (Dispersion Coefficient) เท่ากับ 9.39 เซนติเมตร^{2}ต่อชั่วโมง

5.1.6 จากการทดลองแบบคอลัมน์ที่พีเอช 4, 7 และ 10 พบว่าในทุกๆ ความเร็วน้ำผ่านรูพรุน ที่พีเอช 4 จะ Break Through ได้ช้าที่สุด เนื่องจากที่พีเอชที่ต่ำกว่าโครเมตมีความสามารถในการดูดซับได้มากกว่าที่พีเอชสูง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองแบบกะ

5.1.7 จากการทดลองแบบคอลัมน์ในพีเอชหนึ่งๆ พบว่า ที่ความเร็วน้ำผ่านรูพรุน 2.5 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จะใช้เวลาในการ Break Through ได้ช้าที่สุดเทียบกับ ความเร็วน้ำผ่านรูพรุน 4.9, 9.9 และ 19.7 เซนติเมตรต่อชั่วโมง และใช้เวลามากน้อยต่างกันตามลำดับ เนื่องมาจากที่ความเร็วน้ำผ่านรูพรุนต่ำๆ โครเมตมีเวลาสัมผัสกับอนุภาคเม็ดดินได้มากกว่า จึงค่อยๆ สะสมความเข้มข้นบริเวณที่ดูดซับได้มากกว่า

5.1.8 จากการพิจารณาการคายตัวของการเคลื่อนตัวของโครเมต พบว่าค่าความสามารถในการคายตัวของโครเมตมีค่ามากที่สุดที่ความเร็วน้ำผ่านรูพรุนที่มีค่าน้อยที่สุดในทุกชุดการทดลอง แต่ประสิทธิภาพการคายตัวของโครเมตจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วน้ำผ่านรูพรุนมากกว่าในทุกชุดพีเอชการทดลอง

5.1.9 จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองข้อมูลในรูปของกราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของโครเมตขาออกกับความเข้มข้นขาเข้า กับปริมาตรของสารละลายโครเมตจำนวนเท่าของ Pore Volume ของโปรแกรม HYDRUS2D พบว่าโปรแกรมสามารถจำลองข้อมูลการเคลื่อนตัวของโครเมตได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจากการทดลองจริงมากที่สุด เฉพาะชุดการทดลองที่ใช้ความเร็วน้ำผ่านรูพรุนต่ำๆ ในทุกชุดการทดลองพีเอช 4, 7 และ10 และโปรแกรมจะจำลองข้อมูลผิดพลาดมากขึ้น ในการทดลองที่ใช้ความเร็วน้ำผ่านรูพรุนที่มากขึ้น เนื่องจากผลของการเคลื่อนตัวของโครเมตในคอลัมน์ทดลอง น่าจะเป็นแบบการเคลื่อนที่แบบไม่สมดุล (Non Equilibrium Transport) ซึ่งสมมติฐานที่ใช้เป็นอยู่ในสภาวะสมดุล

5.2 ความสำคัญทางวิศวกรรมศาสตร์ การนำไปใช้ประโยชน์

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม (ในรูปของโครเมต) ในระบบน้ำใต้ดิน โดยทำการทดลองทั้งแบบกะและคอลัมน์ รวมถึงการประยุกต์นำเอาซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์มาใช้เพื่อประมาณการเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

5.2.1 สามารถประมาณการเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในชั้นน้ำใต้ดินได้ ซึ่งเป็นขั้นหนึ่งในการวางแผนบำบัดฟื้นฟูสภาพแวดล้อม (Remediation and Treatment) โดยสามารถทำได้ในขั้นตอนดังนี้

(1.) เก็บตัวอย่างดินในภาคสนาม เพื่อทดสอบหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ของดิน เช่น ขนาดเฉลี่ย Average Grain Size), ความหนาแน่น (Bulk Density), ค่าความพรุน (Porosity) เป็นต้น

(2.) นำตัวอย่างดินไปทำการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัว (Dispersion Coefficient) โดยการทดลองแบบคอลัมน์ใช้สารละลายโบรไมด์เป็นสารละลายตามรอยไปวิเคราะห์และคำนวณโดยโปรแกรม STANMOD/CFITIM

(3.) นำตัวอย่างดินไปทำการทดลองแบบกะเพื่อหาไอโซเทอมของการดูดซับว่าเป็นการดูดซับแบบใด พร้อมทำการหาค่าพารามิเตอร์ในการดูดซับ

(4.) นำค่าพารามิเตอร์ในการดูดซับที่ได้มาปรับแก้ให้เหมาะสมก่อนป้อนเข้าสู่โปรแกรม HYDRUS2D

(5.) นำค่าความหนาแน่น (Bulk Density), ค่าความพรุน (Porosity),ค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัว (Dispersion Coefficient) และค่าพารามิเตอร์ของการดูดซับที่ปรับแก้แล้ว ป้อนเข้าสู่โปรแกรม HYDRUS2D ให้โปรแกรมทำการคำนวณเพื่อประมาณการการเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม โดยพิจารณาได้ทั้งความเข้มข้นและเวลาหรือในระยะทางที่พิจารณา

5.2.3 สามารถเข้าใจการเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียมในชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาทดลองเปลี่ยนตัวแปรอื่นๆ หรือประยุกต์ใช้กับโลหะ ตัวอื่นต่อไป

5.2.2 สามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดฟื้นฟูสภาพแวดล้อม (Remediation and Treatment) ในเทคนิคในแบบต่างๆ เช่น เทคนิคPermeable Reactive Wall ที่จำเป็นต้องประมาณขอบเขตการ

เคลื่อนตัวของปนเปื้อนเพื่อจัดการตำแหน่งวางโคนกำแพง เพื่อบำบัดได้มีประสิทธิภาพ และคลอบคลุมทั้งหมด หรือ จัดตั้งสถานีสูบน้ำในการบำบัดฟื้นฟูแบบแล้วการบำบัด (Pump and Treat) ที่ต้องเลือกตำแหน่งบริเวณที่ปนเปื้อน (Capture Zone) ให้สามารถสูบน้ำที่ปนเปื้อน ขึ้นมาบำบัดได้อย่างเหมาะสม ให้เหมาะสม

5.3 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม (ในรูปของโครเมต) ในระบบน้ำใต้ดิน โดยทำการทดลองทั้งแบบกะและคอลัมน์ รวมถึงการประยุกต์นำเอาซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์มาใช้เพื่อประมาณการเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

5.3.1 ศึกษาเปรียบเทียบผลการเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์ในความเร็วน้ำผ่านรูพรุนที่หลาก-หลายขึ้นให้คลอบคลุมความเร็วการไหลน้ำใต้ดินตามข้อมูลแผนที่น้ำใต้ดินในพื้นที่นั้นๆ

5.3.2 ศึกษาผลของตัวแปรอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความแรงไอออน หรือชนิดตัวอย่างดิน ที่มีผลต่อการดูดซับและเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม

5.3.3 ศึกษาผลกระทบของสารรบกวนหรือสารเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ ที่มีผลต่อการดูดซับและเคลื่อนตัวของเฮกซะวาเลนท์โครเมียม

5.3.4 ศึกษาการดูดซับ และการเคลื่อนตัวของโลหะเป็นพิษตัวอื่น หรือสารประกอบอินทรีย์คลอรีน (Chlorinated Organic Carbon)

5.3.5 ศึกษาสมการแบบจำลองของการเคลื่อนตัวแบบ Non Equilibrium เพื่อเปรียบเทียบกับการทดลองครั้งนี้ รวมไปถึงการใช้การประยุกต์ใช้โปรแกรมอื่นๆ เพื่อพัฒนาสามารถประยุกต์ใช้ในสภาพจริงได้ใกล้เคียงยิ่งขึ้น ต่อไป

5.3.5 ศึกษาการคายตัวของโครเมตทั้งในการทดลองแบบกะ และแบบคอลัมน์