รายงานสรุปผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ศึกษาศักยภาพวัสดุสำหรับเพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์เพื่อบำบัดโลหะหนักปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน

(Feasibility Study of Media for Permeable Reactive Barrier for Treatment of Heavy Metal Contaminated in Groundwater)

คณะนักวิจัย

ผศ.ดร.ผกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์

รศ.ดร.ธนิต เฉลิมยานนท์

7.M44

วิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประเภท งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2553-2554

บทคัดย่อ

เพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์เป็นเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้ในการบำบัดปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพของวัสดุสำหรับสร้างเพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์เพื่อบำบัดน้ำปนเปื้อนสังกะสีและตะกั่ว ศึกษาวัสดุสามชนิด ได้แก่ ผงตะไบเหล็ก ดินลูกรัง และตะกอนจุลินทรีย์ โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุประกอบด้วย พื้นที่ผิว รูพรุน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสังกะสีและตะกั่วเริ่มต้นที่มีอยู่ในวัสดุ พบว่าผงตะไบเหล็กมีพื้นที่ผิวสูงที่สุด รองลงมาคือ ดินลูกรัง และตะกอนจุลินทรีย์ ตามลำดับ ดินลูกรังมีรูพรุนมากกว่าผงตะไบเหล็กและตะกอนจุลินทรีย์ แต่ตะกอนจุลินทรีย์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงที่สุด ผงตะไบเหล็กและดินลูกรังมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ใกล้เคียงกัน ผงตะไบเหล็กประกอบด้วยธาตุเหล็ก คาร์บอน ซิลิคอน และแมงกานีส ดินลูกรังมีธาตุเหล็ก ซิลิคอน และอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบร่วมกับธาตุอื่นๆ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์มีธาตุเหล็ก คาร์บอน และซิลิคอน เป็นองค์ประกอบเช่นกัน โดยมีอะลูมิเนียม และธาตุอื่นๆ เป็นองค์ประกอบเพิ่มเติม โดยวัสดุทั้งสามชนิดไม่มีสังกะสีและตะกั่วปนเปื้อนก่อนการบำบัด

ศึกษาการบำบัดสังกะสีและตะกั่วโดยทำการทดลอง 2 วิธี คือ การทดลองแบบแบทช์และการทดลองแบบสดมภ์ การทดลองแบบแบทช์เพื่อศึกษาเวลาสมดุล ผลของพีเอช และผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนักทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสม นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ด้วยไอโซเทอมของการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ผลเพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสม และใช้แทนค่าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการออกแบบเพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์ พบว่าเวลาสมดุลในการบำบัดสังกะสีด้วยวัสดุทั้งสามชนิดเป็น 15 ชั่วโมง ส่วนการบำบัดตะกั่วด้วยผงตะไบเหล็กและดินลูกรังเข้าสู่สมดุลภายใน 3 ชั่วโมง ส่วนตะกอนจุลินทรีย์เป็น 11 ชั่วโมง ในการทดลองแบบแบทช์เพื่อให้มั่นใจว่าระบบเข้าสู่สมดุลอย่างแท้จริงจะใช้เวลา 24 ชั่วโมง เมื่อพีเอชสูงขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดสังกะสีและตะกั่วสูงขึ้น พีเอชค่าต่ำสุดที่เหมาะสมในการบำบัดสังกะสีและตะกั่วคือ 6 เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดสังกะสีและตะกั่วจะลดลง และจากการศึกษาไอโซเทอม เลือกศึกษาการบำบัดสังกะสีด้วยผงตะไบเหล็ก หรือตะกอนจุลินทรีย์ และศึกษาการบำบัดตะกั่วด้วยผงตะไบเหล็กผสมตะกอนจุลินทรีย์

ผลการศึกษาจากการทดลองแบบแบทช์และแบบสดมภ์ในรูปของพารามิเตอร์ของไอโซเทอมและค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของวัสดุดูดซับถูกใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดโลหะหนักของเพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์ในสนามโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำบาดาล โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW และเลือกนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดเป็นสถานที่สำหรับแบบจำลอง โดยได้ทำการจำลองให้มีการติดตั้งเพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์ในชั้นน้ำบาดาล แบบไม่มีแรงดัน โดยเพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์มีความหนา 0.5 เมตร อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อน 21.5 เมตร กำหนดให้สารปนเปื้อนสังกะสีหรือตะกั่วมีความเข้มข้นคงที่เท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความชันชลศาสตร์ในชั้นน้ำบาดาล มีค่าเท่ากับ 0.02 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนพบว่า น้ำบาดาลที่ไหลผ่านเพอร์มี

เอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์มีค่าความเข้มข้นของสังกะสีลดลงต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นตะกั่วลดต่ำกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามเกณฑ์มาตรฐานความเข้มข้นในน้ำบาดาล แสดงให้เห็นว่าเพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำบาดาลปนเปื้อนได้ดี อย่างไรก็ตามเพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์มีประสิทธิภาพในระยะเวลาที่จำกัด ผลการจำลองพบว่าเพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์แบบ Continuous ที่ใช้ผงตะไบเหล็กและตะกอนจุลินทรีย์สามารถบำบัดสังกะสีเป็นเวลา 2,170 วัน และ 2,248 วัน ตามลำดับ และเพอร์มีเอเบิลรีแอคทีฟแบริเออร์แบบ Continuous ที่ใช้ผงตะไบเหล็กผสมตะกอนจุลินทรีย์สามารถบำบัดตะกั่วเป็นเวลา 6,570 วัน

Abstract

Permeable reactive barrier is a preferred technique using for remediation of heavy metal contamination in groundwater. This research studied the feasibility of media for permeable reactive barrier for treatment of water contaminated with zinc and lead. Three media, iron filing, laterite, and activated sludge were investigated. Physical and chemical properties of the media including surface area, porosity, cation exchange capacity, chemical composition, and initial concentration of zinc and lead in the media were analyzed. Iron filing has greatest surface area followed by laterite and activated sludge, respectively. Laterite possesses higher porosity than iron filing and activated sludge. However, activated sludge has highest cation exchange capacity while iron filing and laterire are similar. Iron filing was composed of iron, carbon, silicon and manganese. Laterite contained iron, silicon and aluminium with some other elements. Activated sludge also comprised of iron, carbon, silicon and aluminium with other elements. All three media were not initially contained zinc and lead before treatment.

Treatment of zinc and lead was carried out by two methods, batch test and column test. Batch test was for study of equilibrium time, effect of pH and effect of initial concentration of heavy metals, both single heavy metal and mixed heavy metals. The results were fitted to Langmuir and Freundlich isotherms. The calculated parameters were analyzed to decide the appropriate media and applied in mathematical model for design of a permeable reactive barrier. The equilibrium time of zinc removal was 15 hours for all media. The equilibrium time for lead removal was 3 hours for iron filing and laterite, but 11 hours for activated sludge. To ensure that the equilibrium was reached the batch test experiments were operated for 24 hours. Higher removal efficiency of zinc and lead was obtained with increasing pH. The lowest optimum pH for treatment of zinc and lead was 6. Removal efficiency of zinc and lead decreased with increment of initial concentration. From isotherm study treatment of zinc by iron filing or activated sludge and treatment of lead by mixed media of iron filing and activated sludge was chosen for further investigation.

Batch and column test results in term of isotherm parameters and hydraulic conductivities of reactive media were used in the field performance study of permeable reactive barriers on treatment of heavy metal by using a mathematical model. Visual MODFLOW software was selected for developing the mathematical model. Map Ta Phut Industrial Estate, Eastern Thailand, was

selected as a site having contaminated groundwater. The permeable reactive barrier of 0.5-m thick was installed in the unconfined aquifer with the distance of 21.5 m downgradient of the site that contaminated with zinc or lead having constant concentration of 100 mg/L. The groundwater flow in the site was induced by the hydraulic gradient of 0.02. Simulation results indicated that the concentration of zinc of treated groundwater was less than 5 mg/L and the concentration of lead of treated groundwater was less than 0.05 mg/L, which met groundwater standard. In additions, the concentration of treated groundwater indicated that the permeable reactive barriers are having good performance on treating contaminated groundwater. However, the permeable reactive barriers were having limit operation times. Simulation results show that the continuous permeable reactive barriers using iron filing and activated sludge could treat zinc for 2,170 and 2,248 days, respectively and the continuous permeable reactive barriers using mixing of iron filing and activated sludge could treat lead for 6,570 days.