

4. วิจัยและสรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการกำจัดอาชัสนิกโดยการดูดซับด้วยวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ดินแดง คีตาแลง และฮีมาไทต์ ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้

4.1 วิจัยผลการทดลอง

4.1.1 การหาการกระจายขนาดอนุภาคของดินและแร่

จากการหาการกระจายขนาดอนุภาคของดินและแร่จากตาราง 3.1 พบว่า ดินแดงกาญจนบุรี มีขนาดอนุภาค -200 mesh มากที่สุด และขนาด $-120+200$ รองลงมา จากตาราง 3.2 พบว่า ดินแดงคอยสะเก็ดมีขนาดอนุภาค $-120+200$ มากที่สุด รองลงมาคือ ขนาด -200 mesh และ $-80+200$ mesh และจากตารางที่ 3.3 พบว่า คีตาแลงมีขนาดอนุภาค -200 mesh มากที่สุด จากผลการทดลองจะพบว่า ทั้งดินและแร่มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง $-120+200$ mesh ($>80\%$) และ -200 mesh จึงทำการเลือกเอาอนุภาคขนาด $-120+200$ mesh ไปใช้ในการทดลองต่อไป เนื่องจากอนุภาคนี้นี้ถือว่าเป็นตัวแทนของดินและแร่ส่วนใหญ่ ซึ่งการดูดซับอาร์ซีนิกนี้ อนุภาคของตัวดูดซับมีผลต่อการดูดซับ ซึ่ง Singh et al.¹⁷ รายงานว่าขนาดอนุภาคเล็กจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น

4.1.2 จากการวิเคราะห์หาชนิดของดินและแร่ที่ประกอบอยู่โดยใช้ X-ray diffraction spectrometer (XRD)

การวิเคราะห์หาชนิดของดินและแร่ที่ประกอบอยู่ในตัวอย่างดินและแร่โดยวิธี XRD จากตาราง 3.4 และรูป 3.1 มีค่า 2θ และค่า d เปรียบเทียบกับรายงานของ Rozic et al.⁵⁴ และ Powder Diffraction File⁵⁵ พบว่าดินแดงกาญจนบุรี ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย α -Quartz(SiO_2) รองลงมาคือ Montmorillonite [$\text{AlSi}_2\text{O}_6(\text{OH})_2$] นอกจากนี้ยังพบ แร่ Hematite(Fe_2O_3) และ Tohdite ($5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) อยู่เล็กน้อย ในทำนองเดียวกัน จากตาราง 3.5, 3.6 และรูป 3.2, 3.3 พบว่าดินแดงคอยสะเก็ด ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยแร่ Hematite(Fe_2O_3) รองลงมาคือ α -Quartz(SiO_2) และ Tohdite($5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) นอกจากนี้ยังพบ แร่ Montmorillonite [$\text{AlSi}_2\text{O}_6(\text{OH})_2$] และ Kaolinite [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$] อยู่เล็กน้อย จากตาราง 3.7, 3.8 และรูป 3.4, 3.5 พบว่าคีตาแลง ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยแร่ α -Quartz(SiO_2) รองลงมาคือ Hematite(Fe_2O_3) และ Tohdite($5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) นอกจากนี้ยังพบ แร่ Montmorillonite [$\text{AlSi}_2\text{O}_6(\text{OH})_2$] อยู่เล็กน้อย และ จากตาราง 3.9 และรูป 3.6 พบว่า

แร่ฮีมาไทต์ ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยแร่ Hematite(Fe_2O_3) พบแร่ α -Quartz(SiO_2) อยู่เล็กน้อย และจากการวิเคราะห์ด้วย XRD ใช้อุณหภูมิของดินและแร่ที่พบมากที่สุดคือ ขนาด $-120+200$ mesh และ 200 mesh ไปวิเคราะห์ พบว่าทั้ง 2 ขนาดอนุภาคให้ผลสอดคล้องกัน

4.1.3 การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างดินและแร่โดยใช้ X-ray fluorescence spectrometer (XRF)

การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างดินและแร่โดยใช้ XRF จากตาราง 3.10 พบว่า ดินแดงกาญจนบุรีมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญและมีปริมาณมากได้แก่ Fe_2O_3 6.50 % , SiO_2 69.60 % และ Al_2O_3 14.20 % จากตาราง 3.11 และ 3.12 พบว่า ดินแดงคดยสะเก็ด มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ Fe_2O_3 27.80 % , SiO_2 27.70 % และ Al_2O_3 25.30 % จากตาราง 3.13 และ 3.14 พบว่า ศิลาแลง มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ Fe_2O_3 28.80 % , SiO_2 44.20 % และ Al_2O_3 12.70 % และจากตาราง 3.15 พบว่า แร่ฮีมาไทต์ มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ Fe_2O_3 90.80 % , SiO_2 6.30 % และ Al_2O_3 1.18 % โดยมีการรายงานของ Pierce and Moore²³ กล่าวว่า การดูดซับอาร์ซีนิก จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงจะขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่ผิวของแร่ที่ประกอบไปด้วย Fe_2O_3 , Al_2O_3 อยู่จึงเลือกแร่และดินเหล่านี้มาใช้ในการกำจัดอาร์ซีนิก

4.1.4 การศึกษาความเป็นกรด-ด่าง และสถานะสมดุลของดินและแร่ที่ pH ต่าง ๆ

จากการศึกษาความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างดินและแร่ (อัตราส่วน 1:50 wt.:vol.) จาก ตาราง 3.16 และรูป 3.7 พบว่า ดินแดงกาญจนบุรี มี pH เท่ากับ 4.3 ดินแดงคดยสะเก็ดมี pH เท่ากับ 4.4 ศิลาแลงมี pH เท่ากับ 6.3 และฮีมาไทต์มี pH เท่ากับ 6.2 และเมื่อศึกษาสถานะสมดุลของดินและแร่ทั้ง 4 ชนิด จากรูปที่ 3.8 , 3.9 , 3.10 , 3.11 , 3.12 , 3.13 , 3.14 , 3.15 , 3.16 , 3.17 และ 3.18 พบว่า pH 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 , 8 , 9 , 10 , 11 และ 12 ใช้เวลา 84 , 84 , 72 , 154 , 84 , 132 , 485 , 144 , 264 , 252 และ 108 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีและความสามารถในการละลายออกมาของไอออนบวกและไอออนลบที่มีอยู่ในดินและแร่ ณ pH นั้นๆ เนื่องจากในตัวอย่างน้ำธรรมชาติที่มีปัญหาอาร์ซีนิกนั้น พบว่า บางแหล่งมี pH อยู่ในช่วง 2-12 นี้² จึงต้องเลือก pH ในช่วงนี้มาใช้ในการศึกษา

4.1.5 การศึกษาการวิเคราะห์อาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) โดยวิธี Molybdenum- blue

จากการศึกษาวิเคราะห์อาร์ซีนิกในตาราง 3.17 และรูป 3.19 พบว่า วิธีวิเคราะห์อาร์ซีนิก(V) ด้วยวิธี Molybdenum - blue มี % RSD เท่ากับ 0.87 % , Recovery เท่ากับ 98 และขีดจำกัดของการตรวจวัด (Detection limit) เท่ากับ 0.03 mg/l โดยวิธีนี้จะเกิดคอมเพล็กซ์ (Complex) สีน้ำเงินในสถานะเป็นกรด คือ เมื่อทำการเติม Mix reagents ลงไปจะเกิด Molybdoarsenate complex⁴⁸ สีน้ำเงิน

จากการศึกษาวิธีวิเคราะห์อาร์ซีนิก(III) ในตาราง 3.18 และรูป 3.20 พบว่า วิธีวิเคราะห์อาร์ซีนิก(III) ด้วยวิธี Molybdenum - blue มี % RSD เท่ากับ 1.15 % , Recovery เท่ากับ 104 และขีดจำกัดของการตรวจวัด เท่ากับ 0.05 mg/l โดยวิธี Molybdenum - blue จะเกิดคอมเพล็กซ์ (Complex) สีน้ำเงิน ได้อาร์ซีนิกจะต้องอยู่ในรูปอาร์ซีนิก(V) ดังนั้นในวิธีนี้จะต้องมีการเติม 0.05 M KIO_3 ⁴⁹ เพื่อทำการออกซิไดซ์ ให้ อาร์ซีนิก(III) เป็น อาร์ซีนิก(V) จากนั้นจึงเติม Mix reagents ลงไปจะเกิด Molybdoarsenate Complex สีน้ำเงิน

จากวิธีที่ประยุกต์นี้มีขีดจำกัดของการตรวจวัดต่ำที่จะวิเคราะห์อาร์ซีนิกได้ เนื่องจากมาตรฐานน้ำของกระทรวงสาธารณสุขของไทยให้มีปริมาณอาร์ซีนิกอยู่ในน้ำได้ไม่เกิน 0.05 mg/l ซึ่งวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถวิเคราะห์ได้ จึงเลือกนำวิธีนี้ไปใช้วิเคราะห์อาร์ซีนิกต่อไป

4.1.6 การศึกษาวิธีวิเคราะห์ฟอสเฟต โดยวิธี Molybdate - malachite green

จากการศึกษาวิธีวิเคราะห์ฟอสเฟตในตาราง 3.19 และรูป 3.21 พบว่า วิธีวิเคราะห์ฟอสเฟต ด้วยวิธี Molybdate-malachite green มี % RSD เท่ากับ 2.05 % , Recovery เท่ากับ 103 และขีดจำกัดของการตรวจวัด เท่ากับ 0.06 mg/l โดยวิธีนี้จะเกิดคอมเพล็กซ์สีเขียว ในสภาวะเป็นกรด คือ จะเกิดเป็น Phosphomolybdate-malachite green complex⁵¹ โดยที่เลือกวิธีนี้มาวิเคราะห์ฟอสเฟต เนื่องจากอาร์ซีนิกไม่รบกวนในการวิเคราะห์ จึงใช้วิธีนี้ไปวิเคราะห์ฟอสเฟตต่อไป

4.1.7 การวิเคราะห์ซิลิกา โดยวิธี Molybdenum -blue

จากการศึกษาวิธีวิเคราะห์ซิลิกาในตาราง 3.20 และรูป 3.20 พบว่า วิธีวิเคราะห์ซิลิกาด้วยวิธี Mo-blue มี % RSD เท่ากับ 0.60 % , Recovery เท่ากับ 102 และขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.02 mg/l ในสภาวะเป็นกรด Silicateจะทำปฏิกิริยากับ Ammoniummolybdate จะได้คอมเพล็กซ์ สีเหลืองของ Silicamolybdateโดยคอมเพล็กซ์นี้สามารถถูกรีดิวซ์ ได้โดย Sodium sulfite ได้เป็น Complex สีน้ำเงิน คือ Silicamolybdenum blue⁵²

4.1.8 การศึกษาการรบกวนของซิลิกาและฟอสเฟตที่มีผลต่อการวิเคราะห์อาร์ซีนิก ด้วยวิธี Molybdenum-blue

การศึกษาการรบกวนของซิลิกาที่มีผลต่อการวิเคราะห์อาร์ซีนิก ด้วยวิธี Molybdenum-blue เนื่องจากในการวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Molybdenum-blue นั้น เมื่ออาร์ซีนิก(V) ทำปฏิกิริยากับ Ammonium molybdate จะเกิด Complex สีน้ำเงินของ Molybdoarsenate แต่สำหรับซิลิกาเมื่อทำปฏิกิริยากับ Ammonium molybdate จะเกิด Complex สีเหลือง⁵² ของ Silicamolybdate ก่อน โดยจะต้องรีดิวซ์ด้วย Sodium sulfide จึงจะเกิดเป็น Complex สีน้ำเงินของ Silicamolybdenum blue ดังนั้นการวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Molybdenum -blue ซิลิกาจึงไม่รบกวนการวิเคราะห์ดังตาราง 3.21

การศึกษาการรบกวนของฟอสเฟตที่มีผลต่อการวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Molybdenum-blue จากตาราง 3.22 พบว่า ฟอสเฟตมีผลต่อการวิเคราะห์อาร์ซีนิก เนื่องจากฟอสเฟตสามารถทำปฏิกิริยากับ Ammoniummolybdate เกิดเป็น Phosphomolybdenum blue complex⁵² สีน้ำเงิน ซึ่งเมื่อ Ammoniummolybdate ทำปฏิกิริยากับอาร์ซีนิก(V) จะเกิด Complex สีน้ำเงิน ของ Arsenomolybdenum blue complex⁴⁸ สีน้ำเงินเหมือนกันทำให้ฟอสเฟตรบกวนการวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วย Molybdenum-blue

การศึกษาการรบกวนซิลิกาและฟอสเฟตที่มีผลต่อการวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Molybdenum-blue จากตาราง 3.23 พบว่าซิลิกาไม่มีผลต่อการวิเคราะห์อาร์ซีนิก แต่ฟอสเฟตมีผลต่อการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์หาปริมาณอาร์ซีนิกที่ถูกต้อง ดังนั้นในการวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Molybdenum-blue นั้น จะต้องทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตด้วยวิธี Molybdate malachite green ก่อน แล้วทำการสร้างกราฟมาตรฐานฟอสเฟตโดยใช้วิธี Molybdenum-blue จากนั้นก็นำปริมาณของฟอสเฟตที่ได้จากวิธี Molybdate malachite green มาแทนสมการกราฟเส้นตรงของฟอสเฟตที่ได้จากวิธี Molybdenum -blue ก็สามารถหาค่าการดูดกลืนแสงของฟอสเฟตได้ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์อาร์ซีนิกที่มีฟอสเฟตรบกวน ด้วยวิธี Molybdenum-blue ก็จะได้ค่าดูดกลืนแสงรวมของอาร์ซีนิกกับฟอสเฟต นำค่าการดูดกลืนแสงของอาร์ซีนิกรวมกับฟอสเฟตมาหักล้างกับค่าดูดกลืนแสงของฟอสเฟตที่ได้จากการแทนในสมการเส้นตรงด้วยวิธี Molybdenum-blue ก็จะได้ค่าการดูดกลืนแสงของอาร์ซีนิกออกมา

4.1.9 การศึกษาการรบกวนของฟอสเฟตและอาร์ซีนิกที่มีผลต่อการวิเคราะห์ซิลิกา ด้วยวิธี Molybdenum-blue

จากตาราง 3.24 และ 3.25 พบว่า ทั้งฟอสเฟตและอาร์ซีนิกไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ซิลิกา ด้วยวิธี Mo-blue เนื่องจากในวิธีวิเคราะห์ซิลิกานั้นมีการเติม Tartaric acid ลงไป ซึ่ง Tartaric acid นี้จะไปขัดขวางไม่ให้ฟอสเฟตและอาร์ซีนิกไปทำปฏิกิริยากับ Ammonium molybdate จึงไม่เกิด Complex สีน้ำเงิน จึงทำให้การวิเคราะห์ซิลิกาด้วยวิธี Molybdenum-blue นี้ไม่ถูกรบกวนด้วยอาร์ซีนิกและฟอสเฟต

4.1.10 การศึกษาปริมาณของซิลิกา ฟอสเฟต อาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) ที่ถูกชะออกมาที่ pH 2-12

ในการวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Molybdenum-blue Johnson และ Pillson⁴⁸ รายงานว่า ฟอสเฟต และซิลิกามีผลต่อการวิเคราะห์ ดังนั้นในการนำดินและแร่มาใช้เป็นตัวดูดซับจะต้องมีการ

วิเคราะห์หาฟอสเฟต และซิลิกา ที่ถูกชะออกมาที่ pH ต่าง ๆ รวมถึงการวิเคราะห์หาอาร์ซีนิกที่มีอยู่ในดินและแร่ด้วย

จากตาราง 3.26 , 3.27 , 3.28 , 3.29 , 3.30 , 3.31 , 3.32 , 3.33 , 3.34 , 3.35 , 3.36 และรูป 3.23 พบว่า ปริมาณซิลิกาที่ถูกชะออกมาตั้งแต่ pH 2-12 มีปริมาณซิลิกาถูกชะออกมาอยู่ในช่วง ดังนี้ คือ ดินแดงกาญจนบุรี 0.067-0.742 mg/g , ดินแดงคอยสะเก็ด 0.045-0.923 mg/g , ศิลาแลง 0.148-1.264 mg/g และ สีมาไทต์ 0.075-0.501 mg/g ซึ่งพบว่า ปริมาณซิลิกาจะถูกชะออกมาเมื่อ pH เป็นกรดแก่ และค่อย ๆ ถูกชะออกมาน้อยลง เมื่อ pH เป็นกรดอ่อน และจะค่อย ๆ ถูกชะออกมาเพิ่มขึ้นเมื่อ pH เป็นเบส และจะถูกชะออกมาเพิ่มมากขึ้น เมื่อมี pH เป็นเบสแก่ ซึ่งแสดงได้ดังรูป 3.23 ถึงอย่างไรก็ตามถึงปริมาณซิลิกาจะถูกชะออกมาทุก ๆ pH มากน้อยต่างกันไป จากการพัฒนาวิธีพบว่า ซิลิกาไม่มีผลต่อการวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Molybdenum-blue ดังนั้นในการวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Molybdenum-blue ในการทดลองนี้ จึงไม่ต้องคำนึงถึงปริมาณซิลิกาที่ถูกชะออกมา เนื่องจากไม่รบกวนการวิเคราะห์อาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) ด้วยวิธี Molybdenum-blue ที่ได้พัฒนาขึ้น

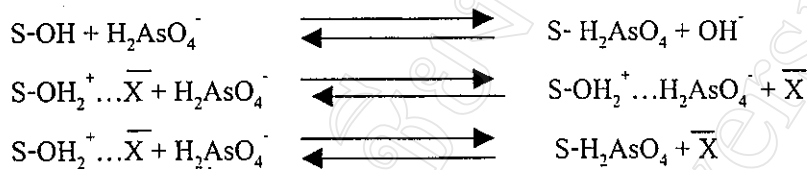
จากตาราง 3.38 , 3.39 , 3.40 , 3.41 , 3.42 , 3.43 , 3.44 , 3.45 , 3.46 , 3.47 , 3.48 , 3.49 และรูป 3.24 พบว่า ปริมาณฟอสเฟตที่ถูกชะออกมาที่ pH ต่าง ๆ คือตั้งแต่ pH 2-12 นั้น มีปริมาณฟอสเฟตถูกชะออกมามากที่สุด คือ ดินแดงกาญจนบุรี < 0.003 mg/g , ดินแดงคอยสะเก็ด อยู่ในช่วง < 0.003-0.014 mg/g , ศิลาแลง อยู่ในช่วง < 0.003-0.049 mg/g , และสีมาไทต์ อยู่ในช่วง < 0.003-0.009 mg/g ซึ่งพบว่าปริมาณของฟอสเฟตจะถูกชะออกมาเมื่อ pH เป็นเบส และจะถูกชะออกมามากขึ้น เมื่อ pH เป็นเบสแก่ ดังแสดงในรูป 3.24 โดยจากวิธีวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Mo-blue นั้น ฟอสเฟตมีผลต่อการวิเคราะห์ ฉะนั้นในช่วง pH ที่เป็นเบสตั้งแต่ pH 8 ขึ้นไป จะพบว่า มีฟอสเฟตถูกชะออกมา ดังนั้นในการวิเคราะห์อาร์ซีนิก จะต้องนำผลของฟอสเฟตมาหักลบออก จึงจะได้ผลการวิเคราะห์อาร์ซีนิกที่ถูกต้อง

จากตาราง 3.50 และ 3.51 จะพบว่าปริมาณของอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) ที่ pH 2-12 นั้น ไม่มีอาร์ซีนิกถูกชะออกมา ดังนั้นในการทดลองนี้ดินและแร่จึงไม่ต้องคำนึงถึงปริมาณอาร์ซีนิกที่มีอยู่ในดินและแร่ที่นำมาใช้ในการดูดซับ เนื่องจากไม่พบว่าปริมาณอาร์ซีนิกถูกชะออกมาที่ pH ต่าง ๆ

4.1.11 การศึกษาการดูดซับอาร์ซีนิก(V) ที่ pH 2-12

จากการศึกษาการดูดซับอาร์ซีนิก(V) ที่ pH ต่าง ๆ ในตาราง 3.52 , 3.53 , 3.54 , 3.55 , 3.56 , 3.57 , 3.58 , 3.59 , 3.60 , 3.61 , 3.62 , 3.63 และรูป 3.25 , 3.26 , 3.27 และ 3.28 พบว่า ดินแดงกาญจนบุรี สามารถดูดซับอาร์ซีนิก(V) ได้ตั้งแต่ 0-95 เปอร์เซ็นต์ โดยในช่วง pH 3-4 สามารถกำจัด

อาร์ซีนิก(V) ได้ดีที่สุด , ดินแดงคอยสะเก็ด สามารถดูดซับอาร์ซีนิก(V) ได้ตั้งแต่ 20-100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ช่วง pH 2-5 สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(V) ได้ดีที่สุด ศิลาแลง สามารถดูดซับอาร์ซีนิก(V) ได้ตั้งแต่ 2-100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ช่วง pH 2-4 สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(V) ได้ดีที่สุด และฮิมาไทต์ สามารถดูดซับอาร์ซีนิก(V) ได้ตั้งแต่ 8-90 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ช่วง pH 2-4 สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(V) ได้ดีที่สุด จากผลการทดลองจะพบว่า อาร์ซีนิก(V) จะถูกดูดซับได้ดีในช่วง pH ที่เป็นกรด ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการการดูดซับอาร์ซีนิก(V) ได้ดังสมการต่อไปนี้ คือ ^{17,18}



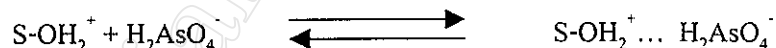
หรือ



โดย $\bar{\text{X}}$ คือ acid anion

S คือ พื้นที่ผิวของแร่หรือดิน

โดยอาร์ซีนิก(V) จะอยู่ในรูปต่าง ๆ โดยที่ pH 2-7 อาร์ซีนิก(V) จะอยู่ในรูป H_2AsO_4^- และที่ pH 8-12 อาร์ซีนิก(V) จะอยู่ในรูป HAsO_4^{2-} ซึ่งจากการทดลองพบว่า อาร์ซีนิก(V) จะดูดซับได้ดีเมื่อ pH อยู่ในช่วง 2-6 ซึ่งแสดงว่าการดูดซับอาร์ซีนิก(V) ของดินและแร่ทั้ง 4 ชนิด มีสมการการดูดซับเป็นตามสมการ

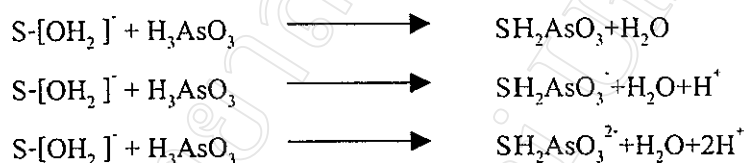


ดังนั้นจะพบว่า แร่และดินทั้ง 4 ชนิด ที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซับเมื่อ pH อยู่ในช่วง 2-6 จะสามารถดูดซับอาร์ซีนิกได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อ pH เริ่มเป็นเบส ความสามารถในการดูดซับเริ่มลดลง โดยที่อาร์ซีนิก(V) จะเริ่มเปลี่ยนไปอยู่ในรูป HAsO_4^{2-} ซึ่งจะทำให้มีการดูดซับลดต่ำลง ยิ่งเป็นเบสแก่จะทำให้ไม่สามารถดูดซับอาร์ซีนิก(V) ได้ เนื่องจากอาร์ซีนิก(V) จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป AsO_4^{3-} ดังนั้นในการกำจัดอาร์ซีนิก(V) โดยใช้ดินและแร่ทั้ง 4 ชนิดนี้ จะต้องใช้ pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดอาร์ซีนิก(V) นั้น มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด ซึ่งจากการทดลองพบว่าดินแดงคอยสะเก็ดสามารถกำจัดอาร์ซีนิก(V) ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ศิลาแลง ดินแดงกาญจนบุรี และฮิมาไทต์ ตามลำดับ

4.1.12 การศึกษาการดูดซับอาร์ซีนิก(III) ที่ pH 2-12

จากการศึกษาการดูดซับอาร์ซีนิก(III) ที่ pH ต่าง ๆ ในตาราง 3.64 , 3.65 , 3.66 , 3.67 , 3.68 , 3.69 , 3.70 , 3.71 , 3.72 , 3.73 , 3.74 , 3.75 และรูป 3.29 , 3.32 พบว่า ดินแดงกาญจนบุรีสามารถดูดซับอาร์ซีนิก(III) ได้ตั้งแต่ 20-48 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ช่วง pH 2-10 สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(III) ได้ตั้งแต่ 55-93 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ช่วง pH 3-10 สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(III) ได้ดีที่สุด ศิลาแลง สามารถดูดซับอาร์ซีนิก(III) ได้ตั้งแต่ 4-81 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ช่วง pH 2-8 สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(III) ได้ดีที่สุด และฮีมาไทต์ สามารถดูดซับอาร์ซีนิก(III) ได้ตั้งแต่ 16-33 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ช่วง pH 2-10 สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(III) ได้ดีที่สุด

จากผลการทดลองการดูดซับอาร์ซีนิก(III) ในช่วง pH ต่าง ๆ พบว่า ช่วง pH ที่ดูดซับอาร์ซีนิก(III) ได้ดีที่สุดนั้น อยู่ในช่วงกว้าง ๆ คือที่ pH 2-10 ซึ่งการดูดซับอาร์ซีนิก(III) เกิดตามสมการต่อไปนี้ คือ^{25,56}



S คือ พื้นที่ผิวของดินและแร่

โดยจะพบว่าอาร์ซีนิกจะถูกดูดซับได้ดีในช่วง pH กว้าง ๆ เนื่องจากอาร์ซีนิก(III) ที่ pH 2-10 อาร์ซีนิก(III) จะอยู่ในรูป H_3AsO_3 แต่เมื่อ pH > 10 อาร์ซีนิก(III) จะอยู่ในรูป H_2AsO_3^- ทั้งนี้ การดูดซับจะมีประสิทธิภาพดีหรือไม่จะขึ้นอยู่กับความแรงของประจุบนพื้นที่ผิวในการที่จะจับอาร์ซีนิก(III) ในรูป H_3AsO_3 โดยจากการทดลองจะพบว่า ดินแดงกาญจนบุรีและฮีมาไทต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับอาร์ซีนิก(III) ก่อนข้างต่ำ ซึ่งจะเห็นว่าสำหรับดินและแร่ ทั้งสองนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการนำมากำจัดอาร์ซีนิก(III) แต่ถ้าจะนำดินและแร่ทั้งสองชนิดนี้ไปใช้อาจทำการเปลี่ยนอาร์ซีนิก(III) ให้เป็น อาร์ซีนิก(V) ได้โดยอาจใช้ H_2O_2 เป็นตัวออกซิไดส์ ก็จะทำให้แร่ทั้งสองนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์ซีนิกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าดินแดงคอบยสะเกิดสามารถกำจัดอาร์ซีนิก(V) ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ศิลาแลง ดินแดงกาญจนบุรีและฮีมาไทต์ตามลำดับ

4.1.13 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการดูดซับอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) ที่เวลาต่าง ๆ

การศึกษาเวลาที่ใช้ในการดูดซับอาร์ซีนิก(V) จากตาราง 3.76 , 3.77 , 3.78 , 3.79 และ รูป 3.33 , 3.34 , 3.35 และ 3.36 พบว่า ดินแดงกาญจนบุรี ดินแดงคอบยสะเกิด ศิลาแลงและ ฮีมาไทต์ ใช้เวลาในการดูดซับอาร์ซีนิก(V) อยู่ในช่วง 12-24 ชั่วโมง จึงเข้าสู่สมดุล ส่วนการศึกษาเวลาที่ใช้ในการดูดซับอาร์ซีนิก(III) จากตาราง 3.80 , 3.81 , 3.82 , 3.83 และรูป 3.37 , 3.38 , 3.39 และ 3.40 พบ

ว่า ดินแดงกาญจนบุรี ดินแดงคอยสะเกิด ศิลาแลงและ ฮีมาไทต์ ใช้เวลาในการดูดซับอาร์ซีนิก(III) อยู่ในช่วง 24-36 ชั่วโมง จึงจะเข้าสู่สมดุล ซึ่งจะเห็นได้ว่าการดูดซับอาร์ซีนิก(V) จะใช้เวลา น้อยกว่าการดูดซับอาร์ซีนิก(III) ซึ่งจากผลการทดลองจึงเลือกใช้เวลาที่ 24 ชั่วโมง นำไปใช้ในการ กำจัดอาร์ซีนิกต่อไป เนื่องจากสามารถนำสถานะนี้ไปใช้ได้กับการดูดซับอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก (III)

4.1.14 การศึกษา Adsorption isotherm ของอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III)

ในการศึกษา Adsorption Isotherm ของอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) โดยเลือกใช้ pH 4 และ pH 7 เนื่องจากที่เลือกใช้ pH 4 เป็นช่วง pH ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับอาร์ซีนิกได้ดีที่สุด แต่ที่เลือกศึกษาที่ pH 7 ด้วย เนื่องจาก pH 7 นี้ เป็นช่วง pH ของน้ำธรรมชาติ ซึ่งอยู่ในช่วง 6.5-8.0

จากการศึกษา Adsorption isotherm ของอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) ที่ pH 4 ในตาราง 3.84 , 3.85 , 3.86 , 3.87 , 3.88 , 3.89 , 3.90 , 3.91 และรูป 3.41 , 3.42 , 3.43 , 3.44 , 3.45 , 3.46 , 3.47 และ 3.48 พบว่า ดินแดงกาญจนบุรี ดินแดงคอยสะเกิด ศิลาแลง และฮีมาไทต์ที่ใช้เป็นตัวดูดซับ เมื่อนำไปพลอตกราฟหาความสัมพันธ์แบบแลงเมียร์(Langmuir) และฟรอยด์ลิค(Freundlich) มีแนวโน้มการดูดซับอาร์ซีนิก(V) เป็นเส้นตรง ทำให้การดูดซับอาร์ซีนิก(V) ที่ pH 4 มีความสัมพันธ์ของการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์^{40,41} และฟรอยด์ลิค^{42,43}

จากการศึกษา Adsorption isotherm อาร์ซีนิก(III) ที่ pH 4 ในตาราง 3.92 , 3.93 , 3.94 , 3.95 , 3.96 , 3.97 , 3.98 , 3.99 และรูป 3.49 , 3.50 , 3.51 , 3.52 , 3.53 , 3.54 , 3.55 และ 3.56 พบว่า ดินแดงกาญจนบุรี ดินแดงคอยสะเกิด ศิลาแลง และฮีมาไทต์ที่ใช้เป็นตัวดูดซับ เมื่อนำไปพลอตกราฟหาความสัมพันธ์แบบแลงเมียร์ และฟรอยด์ลิค มีแนวโน้มการดูดซับอาร์ซีนิก(III) เป็นเส้นตรง ทำให้การดูดซับอาร์ซีนิก(III) ที่ pH 4 มีความสัมพันธ์ของการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์^{40,41} และฟรอยด์ลิค^{42,43}

จากการศึกษา Adsorption isotherm ของอาร์ซีนิก(V) ที่ pH 7 ในตาราง 3.100 , 3.101 , 3.102 , 3.103 , 3.104 , 3.105 , 3.106 , 3.107 และ รูป 3.57 , 3.58 , 3.59 , 3.60 , 3.61 , 3.62 , 3.63 และ 3.64 พบว่า ดินแดงกาญจนบุรี ดินแดงคอยสะเกิด ศิลาแลง และฮีมาไทต์ที่ใช้เป็นตัวดูดซับ เมื่อนำไปพลอตกราฟหาความสัมพันธ์แบบแลงเมียร์ และฟรอยด์ลิค มีแนวโน้มการดูดซับอาร์ซีนิก(V) เป็นเส้นตรงทำให้การดูดซับอาร์ซีนิก(V) ที่ pH 7 มีความสัมพันธ์ของการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์^{40,41} และ ฟรอยด์ลิค^{42,43}

จากการศึกษา Adsorption isotherm ของอาร์ซีนิก(III) ที่ pH 7 ในตาราง 3.108 , 3.109 , 3.110 , 3.111 , 3.112 , 3.113 , 3.114 , 3.115 และ รูป 3.65 , 3.66 , 3.67 , 3.68 , 3.69 , 3.70 , 3.71 และ 3.72 พบว่า ดินแดงกาญจนบุรี ดินแดงคอยสะเกิด ศิลาแลง และฮีมาไทต์ที่ใช้เป็นตัวดูดซับ เมื่อ

นำไปพลอตกราฟหาความสัมพันธ์แบบแลงเมียร์ และฟรอยด์ลิก มีแนวโน้มการดูดซับอาร์ซีนิก(III) เป็นเส้นตรงทำให้การดูดซับอาร์ซีนิก(III) ที่ pH 7 มีความสัมพันธ์ของการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์^{40,41} และฟรอยด์ลิก^{42,43}

จากการทดลอง พบว่า การดูดซับอาร์ซีนิก(V) ที่ pH 4 และ pH 7 ดินและแร่ทั้ง 4 ชนิด ที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซับนั้น มีความสัมพันธ์ของการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์ และฟรอยด์ลิก แต่ ประสิทธิภาพในการดูดซับ พบว่า ที่ pH 4 มีประสิทธิภาพสูงกว่าที่ pH 7 โดยที่ pH 4 สามารถดูดซับ อาร์ซีนิก(V) ได้ดีเรียงจากมากไปหาน้อย คือ ดินแดงคอยสะเก็ด 3065 $\mu\text{g/g}$ ศิลาแลง 2230 $\mu\text{g/g}$ ดินแดงกาญจนบุรี 890 $\mu\text{g/g}$ และฮิมาไทต์ 730 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับโดยที่ pH 7 สามารถดูดซับ อาร์ซีนิก(V) ได้ดีเรียงจากมากไปหาน้อย คือ ดินแดงคอยสะเก็ด 880 $\mu\text{g/g}$ ศิลาแลง 325 $\mu\text{g/g}$ แร่ฮิมาไทต์ 185 $\mu\text{g/g}$ และดินแดงกาญจนบุรี 120 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ ซึ่ง พบว่า อาร์ซีนิก(V) ที่ pH 7 มีประสิทธิภาพลดลง เนื่องจาก อาร์ซีนิก(V) เริ่มเปลี่ยนไปอยู่ในรูป HAsO_4^{2-} ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง ซึ่งเป็นผลให้ เมื่อพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์แบบแลงเมียร์และฟรอยด์ลิก มีความเป็นเส้นตรงลดลงด้วย แต่ก็ยังมีความสัมพันธ์ของการดูดซับอาร์ซีนิก(V) เป็นแบบแลงเมียร์ และฟรอยด์ลิก

จากผลการทดลองพบว่าการดูดซับอาร์ซีนิก(III) ที่ pH 4 และ pH 7 ดินและแร่ทั้ง 4 ชนิดที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์ของการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์และฟรอยด์ลิก โดยที่ pH 4 และ pH 7 มีประสิทธิภาพในการดูดซับอาร์ซีนิก(III) ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยที่ pH 4 สามารถดูดซับอาร์ซีนิก(III) ได้ดีเรียงจากมากไปน้อย คือ ดินแดงคอยสะเก็ด 870 $\mu\text{g/g}$ ศิลาแลง 835 $\mu\text{g/g}$ ดินแดงกาญจนบุรี 370 $\mu\text{g/g}$ และฮิมาไทต์ 305 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับ และที่ pH 7 สามารถดูดซับอาร์ซีนิก(III) ได้ดีเรียงจากมากไปน้อย คือ ดินแดงคอยสะเก็ด 1010 $\mu\text{g/g}$ ศิลาแลง 835 $\mu\text{g/g}$ ดินแดงกาญจนบุรี 375 $\mu\text{g/g}$ และฮิมาไทต์ 265 $\mu\text{g/g}$ ตามลำดับซึ่งจะพบว่าที่ pH 4 และ pH 7 สามารถดูดซับอาร์ซีนิก(III) ได้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากที่เป็นเช่นนี้เพราะอาร์ซีนิก(III) จะอยู่ในรูป H_3AsO_3 อยู่ในช่วงกว้าง ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับใกล้เคียงกัน ซึ่งส่งผลให้มีความสัมพันธ์ของการดูดซับอาร์ซีนิก(III) เป็นแบบแลงเมียร์และฟรอยด์ลิกเหมือนกัน

จากการทดลองพบว่าการดูดซับอาร์ซีนิก(V)และอาร์ซีนิก(III) ที่ pH 4 และ pH7 ดินและแร่ทั้ง 4 ชนิดที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซับอาร์ซีนิกมีความสัมพันธ์ของการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์ และฟรอยด์ลิก โดยที่ความสัมพันธ์ของการดูดซับแบบแลงเมียร์จะเกิดการดูดซับเพียงชั้นเดียวซึ่งจะเป็นการดูดซับทางเคมี ส่วนความสัมพันธ์ของการดูดซับแบบฟรอยด์ลิกจะเกิดการดูดซับหลายชั้นซึ่งจะเป็นการดูดซับทางกายภาพ โดยจากการทดลองพบว่ามีความสัมพันธ์ทั้งแบบแลงเมียร์ และ

พหุองค์การแสดงว่าการดูดซับอาร์ซีนิกของแร่ทั้ง 4 ชนิด เป็นการดูดซับทางกายภาพ เนื่องจากถ้าเป็น การดูดซับทางเคมีจะมีความสัมพันธ์ของการดูดซับแบบแลงเมียร์เพียงอย่างเดียว และพบว่าดินแดง คอยสะเกิดมีประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III)

4.1.15 การประยุกต์ใช้ในการกำจัดอาร์ซีนิกในน้ำตัวอย่าง

จากการศึกษาการดูดซับอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) พบว่า ดินแดงคอยสะเกิด และศิลาแลงมีประสิทธิภาพในการดูดซับอาร์ซีนิกสูงกว่า ดินแดงกาญจนบุรีและสีมาไทต์ เมื่อ พิจารณา พบว่า ส่วนประกอบของแร่และดินนั้นต่างกันที่ปริมาณของ Fe_2O_3 และ Al_2O_3 ซึ่งปริมาณ ของ Fe_2O_3 และ Al_2O_3 มีความสำคัญต่อการดูดซับอาร์ซีนิก²³ ซึ่งเมื่อพิจารณาส่วนประกอบพบว่า ดินแดงกาญจนบุรี มี Fe_2O_3 6.50 % และ Al_2O_3 14.20 % ซึ่งมีปริมาณ Fe_2O_3 น้อยเป็นผลให้การดูด ซับอาร์ซีนิกต่ำกว่าดินแดงคอยสะเกิดและศิลาแลง ซึ่งในดินแดงคอยสะเกิดมี Fe_2O_3 26.80 % และ Al_2O_3 25.00 % ส่วนศิลาแลง Fe_2O_3 26.20 % และ Al_2O_3 12.70 % และสีมาไทต์ Fe_2O_3 90.80 % และ Al_2O_3 1.18 % ซึ่งมีปริมาณ Al_2O_3 น้อย ดังนั้นดินแดงคอยสะเกิดจึงมีประสิทธิภาพในการดูด ซับอาร์ซีนิกสูงสุด และรองลงมา คือ ศิลาแลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแร่หรือดินที่จะนำมาใช้เป็นตัวดูด ซับอาร์ซีนิกจะต้องคำนึงถึงปริมาณ Fe_2O_3 และ Al_2O_3 ให้มีปริมาณที่เหมาะสม โดยปริมาณของ Fe_2O_3 ที่มีอยู่จะต้องอยู่ในรูปของแร่ Hematite และปริมาณของ Al_2O_3 ที่มีอยู่จะต้องอยู่ในรูปของแร่ Tohdite ก็จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์ซีนิกสูงไปด้วยแต่ถ้าในดินและแร่ที่มีปริมาณ Fe_2O_3 และ Al_2O_3 สูงแต่ไม่อยู่ในรูปของแร่ Hematite และ Tohdite ก็จะทำให้ประสิทธิภาพการดูด ซับอาร์ซีนิกลดน้อยลง ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ดินแดงคอยสะเกิดและศิลาแลงมาใช้เป็น ตัวดูดซับ ในการกำจัดอาร์ซีนิกในน้ำตัวอย่าง

จากการทดลองการดูดซับอาร์ซีนิก(V) โดยใช้วิธีผ่านคอลัมน์ ซึ่งใช้ดินแดงคอยสะเกิด และ ศิลาแลงบรรจุลงในคอลัมน์ จากตาราง 3.116 , 3.117 และรูป 3.73 , 3.74 ซึ่งพบว่า เมื่อทำการผ่าน อาร์ซีนิก(V) ลงไปด้วยอัตราการไหล 1 ml/min พบว่า สามารถกำจัดอาร์ซีนิกได้ 397 $\mu g/g$ และ 385 $\mu g/g$ ตามลำดับ เมื่อทำการหาประสิทธิภาพของคอลัมน์ โดยทำการเก็บเป็น fraction และนำแต่ ละ fraction ไปวิเคราะห์ พบว่า คอลัมน์ที่ใช้ดินแดงคอยสะเกิดบรรจุลงในคอลัมน์จะมีประสิทธิภาพ ดีกว่าที่ใช้ดินศิลาแลงบรรจุลงในคอลัมน์ โดยสามารถใช้ได้นานกว่า

จากการศึกษาการกำจัดอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) โดยวิธีการเขย่า จากตาราง 3.120 , 3.121 , 3.122 และ 3.123 ซึ่งการกำจัดอาร์ซีนิกโดยใช้ดินแดงคอยสะเกิดเป็นตัวดูดซับ พบว่า สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(V) ได้ 2 $\mu g/g$ และ 1 $\mu g/g$ ของตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และใช้

ศิลาแลงเป็นตัวดูดซับ พบว่า สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(V) ได้ $1 \mu\text{g/g}$ และ $1 \mu\text{g/g}$ ของตัวอย่างน้ำที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนการกำจัดอาร์ซีนิกโดยใช้ดินแดงคอยสะเกิดเป็นตัวดูดซับ พบว่า สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(III) ได้ $711 \mu\text{g/g}$ และ $672 \mu\text{g/g}$ ของตัวอย่างน้ำที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สำหรับศิลาแลงที่ใช้เป็นตัวดูดซับสามารถกำจัดอาร์ซีนิก(III) ได้ $441 \mu\text{g/g}$ และ $461 \mu\text{g/g}$ ของตัวอย่างน้ำที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการกำจัดอาร์ซีนิก(V) จะพบว่า มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจาก pH ก่อนและหลังเขย่ามีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.8-7.5 ซึ่งอาร์ซีนิก(V) จะอยู่ในรูป HAsO_4^{2-} ซึ่งจะทำให้การดูดซับอาร์ซีนิก(V) นั้นมีประสิทธิภาพต่ำ โดยใช้ pH ตามตัวอย่างน้ำธรรมชาติ ไม่มีการปรับ pH ซึ่งถ้าจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์ซีนิก(V) มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจะต้องทำการปรับ pH ให้อยู่ในช่วง pH 3-4 ก็จะทำให้อาร์ซีนิกอยู่ในรูป H_2AsO_4^- ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้น

ส่วนการกำจัดอาร์ซีนิก(III) พบว่า ดินแดงคอยสะเกิดและศิลาแลงที่ใช้เป็นตัวดูดซับอาร์ซีนิก(III) พบว่า มีประสิทธิภาพสูงกว่าประสิทธิภาพการดูดซับอาร์ซีนิก(V) เนื่องจาก pH ก่อนและหลังเขย่า พบว่า pH อยู่ในช่วง 6.8-7.5 ซึ่งอาร์ซีนิก(III) จะอยู่ในรูป H_3AsO_3 ซึ่งจะมี อาร์ซีนิก(III) รูปนี้จะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูง เมื่อเปรียบเทียบผลของการดูดซับอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) พบว่า การใช้ดินแดงคอยสะเกิดมีประสิทธิภาพดูดซับอาร์ซีนิกสูงกว่าศิลาแลง ที่ใช้เป็นตัวดูดซับ

จากการศึกษาการกำจัดอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) โดยใช้วิธีผ่านคอลัมน์ จากตาราง 3.125, 3.126 และ 3.127 ซึ่งสำหรับดินแดงคอยสะเกิด ที่ใช้เป็นตัวดูดซับ พบว่า สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(V) ได้ $1 \mu\text{g/g}$ และ $1 \mu\text{g/g}$ ของตัวอย่างน้ำที่ 1 และที่ 2 ตามลำดับ และสามารถกำจัดอาร์ซีนิก(III) ได้ $125 \mu\text{g/g}$ และ $122 \mu\text{g/g}$ ของตัวอย่างน้ำที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สำหรับศิลาแลงที่ใช้เป็นตัวดูดซับ พบว่า สามารถกำจัดอาร์ซีนิก(V) ได้ $1 \mu\text{g/g}$ และ $1 \mu\text{g/g}$ ของตัวอย่างน้ำที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และสามารถกำจัดอาร์ซีนิก(III) ได้ $103 \mu\text{g/g}$ และ $85 \mu\text{g/g}$ ของตัวอย่างน้ำที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

จากการทดลองการกำจัดอาร์ซีนิก(V) โดยวิธีเขย่า โดยใช้ดินแดงคอยสะเกิดและศิลาแลง พบปริมาณกำจัด เท่ากับ 53% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ $68 \mu\text{gAs}$ ของตัวอย่างน้ำที่1) 45% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ $45 \mu\text{gAs}$ ของตัวอย่างน้ำที่2) 41% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ $68 \mu\text{gAs}$ ของตัวอย่างน้ำที่1) และ 36 % (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ $45 \mu\text{gAs}$ ของตัวอย่างน้ำที่2) ตามลำดับ

จากการทดลองการกำจัดอาร์ซีนิก(V) โดยวิธีผ่านคอลัมน์ โดยใช้ดินแดงคอยสะเกิดและศิลาแลง พบปริมาณกำจัด เท่ากับ 6% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ $9 \mu\text{gAs}$ ของตัวอย่างน้ำที่1) 9%

(ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 6 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่2) 8% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 9 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่1) และ 6 % (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 6 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่2) ตามลำดับ

จากการทดลองการกำจัดอาร์ซีนิก(III)โดยวิธีเขย่า โดยใช้ดินแดงคอยสะเกิดและศิลาแลง พบปริมาณกำจัด เท่ากับ 70% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 20236 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่1) 67% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 19904 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่2) 44% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 20236 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่1) และ 46 % (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 19904 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่2) ตามลำดับ

จากการทดลองการกำจัดอาร์ซีนิก(III)โดยวิธีผ่านคอลัมน์ โดยใช้ดินแดงคอยสะเกิดและศิลาแลง พบปริมาณกำจัด เท่ากับ 99% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 2530 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่1) 98% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 2488 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่2) 81% (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 2530 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่1) และ 68 % (ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ 2488 μgAs ของตัวอย่างน้ำที่2) ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า ดินแดงคอยสะเกิดมีประสิทธิภาพในการดูดซับอาร์ซีนิกสูงกว่าศิลาแลง เมื่อพิจารณาการกำจัดอาร์ซีนิก(V)และอาร์ซีนิก(III) จากน้ำตัวอย่างด้วยวิธีการเขย่า และผ่านคอลัมน์ พบว่าทั้งสองวิธีสามารถนำไปกำจัดอาร์ซีนิกได้ เมื่อนำทั้งสองวิธีมาเปรียบเทียบพบว่าวิธีการเขย่ามีประสิทธิภาพการดูดซับอาร์ซีนิกสูงกว่าวิธีผ่านคอลัมน์เนื่องจากวิธีการเขย่ามีพื้นที่สัมผัสระหว่างอาร์ซีนิกในสารละลายกับพื้นที่ผิวของดินหรือแร่มากกว่าวิธีการผ่านคอลัมน์ และมีเวลาในการดูดซับอาร์ซีนิกนานกว่าวิธีผ่านคอลัมน์

สำหรับวิธีผ่านคอลัมน์เมื่อนำดินหรือแร่บรรจุลงในคอลัมน์แล้วผ่านน้ำลงไปจะทำให้ดินหรือแร่มีลักษณะคล้ายดินเหนียวทำให้อุ้มน้ำในการทดลองจึงทำการผสมทรายเพื่อเพิ่มช่องว่างให้น้ำสามารถไหลผ่านคอลัมน์ได้ ซึ่งจากผลการทดลองทั้งประสิทธิภาพการดูดซับอาร์ซีนิก และความสะดวก จะพบว่าวิธีการเขย่านั้นดีกว่า และสะดวกกว่า อย่างไรก็ตามในการกำจัดอาร์ซีนิกในตัวอย่างน้ำธรรมชาติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้ง 2 วิธี คือ วิธีการเขย่า และ วิธีการผ่านคอลัมน์ โดยวิธีการเขย่านั้นจะใช้อัตราส่วนระหว่างดินค่อน้ำตัวอย่าง 1:40 (wt.:vol.)คือใช้ดิน 1 กรัมต่อน้ำ40 ml ใส่ในภาชนะที่อาจเป็นโถหรือบ่อซีเมนต์ขนาดใหญ่ ทำการวัดและปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 4-7 ทำการกวนน้ำ เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง จากนั้นแช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ในส่วนของดินจะตกตะกอนไปอยู่ด้านล่าง ส่วนด้านบนจะเป็นส่วนของน้ำที่ถูกกำจัดอาร์ซีนิกสามารถต่อท่อดึงน้ำส่วนบนไปใช้ได้ ส่วนวิธีผ่านคอลัมน์นั้นใช้อัตราส่วนผสมระหว่างดินต่อทรายละเอียด 1:2(wt.:wt.)บรรจุลงในท่อพีวีซีที่ส่วนล่างของท่อปิดด้วยสาลี่เพื่อป้องกันไม่ให้ดินและทรายหลุดออกมา จากนั้นวัดและปรับpH ของน้ำตัวอย่างให้อยู่ในช่วงpH 4-7 จากนั้นผ่านตัวอย่างน้ำลงไปคอลัมน์ โดยน้ำที่ผ่านจากคอลัมน์ก็

จะถูกกำจัดอาร์ซีนิกสามารถนำไปใช้ได้ โดยคอสมันท์ที่เลือกนำมาใช้ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ เพื่อช่วยลดปัญหาอัตราการไหลของน้ำ และทำให้ดินที่บรรจุลงในคอสมันท์มีพื้นที่สัมผัสกับอาร์ซีนิกที่ปนอยู่ในน้ำตัวอย่างได้มากขึ้นด้วยหรืออาจใช้ปั้มน้ำมาช่วยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้เร็วขึ้นก็ได้แต่ไม่ควรให้อัตราการไหลเร็วเกินไปเพราะอัตราการไหลมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับอาร์ซีนิกลดลง อย่างไรก็ตามสำหรับดินหรือแร่ที่นำมาใช้ไม่จำเป็นต้องเป็นดินแดง คอยสะเก็ดอาจมาจากแหล่งอื่นก็ได้แต่ดินหรือแร่ที่นำมาใช้ต้องมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ ปริมาณของ Fe_2O_3 ที่อยู่ในรูปของแร่ Hematite และ ปริมาณของ Al_2O_3 ที่อยู่ในรูปแร่ Tohdite ซึ่งถ้าดินหรือแร่จากแหล่งอื่นมีสมบัติคล้ายกับดินแดงคอยสะเก็ดก็สามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับอาร์ซีนิกได้ ก็จะทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์ซีนิกได้สูงเหมือนกัน

4.2 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของตัวดูดซับ

การวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคของดินและแร่ พบว่า ดินแดงกาญจนบุรีมีขนาดอนุภาค -200 mesh มากที่สุด ดินแดงคอยสะเก็ดมีขนาดอนุภาค -120+200 และ -200 mesh มากที่สุด และศิลาแลงมีขนาดอนุภาค -120+200 และ -200 mesh มากที่สุด

การวิเคราะห์หาชนิดของดินและแร่ที่ประกอบอยู่ในตัวอย่างดินและแร่โดยใช้ XRD พบว่า ดินแดงกาญจนบุรีประกอบไปด้วยแร่ Montmorillonite [$\text{AlSi}_2\text{O}_6(\text{OH})_2$] , Tohdite ($5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) , α -Quartz (SiO_2) และ Hematite (Fe_2O_3) ดินแดงคอยสะเก็ดประกอบด้วยแร่ Montmorillonite [$\text{AlSi}_2\text{O}_6(\text{OH})_2$] , Tohdite ($5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) , α -Quartz (SiO_2) , Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) และ Hematite (Fe_2O_3) ศิลาแลงประกอบไปด้วยแร่ Montmorillonite [$\text{AlSi}_2\text{O}_6(\text{OH})_2$] , Tohdite ($5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) , α -Quartz (SiO_2) และ Hematite (Fe_2O_3) และ สیمانไทต์ประกอบไปด้วยแร่ Hematite (Fe_2O_3) และ α -Quartz (SiO_2)

การวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างดินและแร่โดยใช้ XRF พบว่า ทั้งดินและแร่ทั้ง 4 ชนิดที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซับมีส่วนประกอบที่สำคัญและมีมากได้แก่ Fe_2O_3 , SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งส่วนประกอบที่มีส่วนสำคัญในการดูดซับอาร์ซีนิกจะขึ้นอยู่กับปริมาณของ Fe_2O_3 ที่อยู่ในรูปแร่ Hematite และปริมาณของ Al_2O_3 ที่อยู่ในรูปแร่ Tohdite จึงจะดูดซับอาร์ซีนิกได้ดี แต่ถ้าในดินและแร่ที่มีปริมาณ Fe_2O_3 และ Al_2O_3 สูงแต่ไม่อยู่ในรูปของแร่ Hematite และ Tohdite ก็จะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับอาร์ซีนิกลดลง ดังนั้นจึงได้ใช้ดินแดง ศิลาแลง และسیمานไทต์มาใช้ในการกำจัดอาร์ซีนิก

การศึกษาความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างแร่และดิน พบว่า ดินแดงกาญจนบุรีมี pH เท่ากับ 4.3 ดินแดงคอยสะเก็ดมี pH เท่ากับ 4.4 ศิลาแลงมี pH เท่ากับ 6.3 และฮิมาไทต์มี pH เท่ากับ 6.2

จากการศึกษาสภาวะสมดุลของดินและแร่ที่ pH 2-12 พบว่าใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะสมดุลต่างกันซึ่งในการทดลองจะต้องทำการแช่ให้ pH อยู่ในสภาวะสมดุลของ pH ต่าง ๆ ก่อนที่จะทำการเติมสารละลายหรือตัวอย่างที่มีอาร์ซีนิก เพราะการดูดซับอาร์ซีนิกนั้น ผลของ pH มีผลต่อสปีชีส์ของอาร์ซีนิก และมีผลต่อประจุของพื้นผิวของตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับอาร์ซีนิก

2.การวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Molybdenum-blue

การวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Molybdenum-blue พบว่า ซิลิกาไม่มีผลต่อการวิเคราะห์หาอาร์ซีนิก แต่ฟอสเฟตมีผลต่อการวิเคราะห์ ดังนั้น ในการวิเคราะห์อาร์ซีนิกที่ pH ที่มีฟอสเฟตถูกชะออกมาจะต้องทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟต แล้วนำมาหักลบออกจากค่าที่ได้จากการวิเคราะห์อาร์ซีนิกด้วยวิธี Mo-blue ซึ่งค่าที่ได้ออกมาก็จะเป็นค่าของอาร์ซีนิกที่วิเคราะห์ได้จริง ๆ

การวิเคราะห์การดูดซับอาร์ซีนิก จากการทดลองการดูดซับอาร์ซีนิก(V) ในช่วง pH ต่าง ๆ สำหรับตัวดูดซับที่เป็นดินแดงกาญจนบุรี ดินแดงคอยสะเก็ด ศิลาแลง และฮิมาไทต์ ช่วง pH ที่ดูดซับได้ดีที่สุดคือ สำหรับดินแดงกาญจนบุรี อยู่ในช่วง pH 2-4 ดินแดงคอยสะเก็ด อยู่ในช่วง pH 2-6 ศิลาแลงอยู่ในช่วง pH 2-5 และฮิมาไทต์อยู่ในช่วง pH 2-4 สำหรับการดูดซับอาร์ซีนิก(III) ในช่วง pH ต่าง ๆ สำหรับตัวดูดซับที่เป็นดินแดงกาญจนบุรี ดินแดงคอยสะเก็ด ศิลาแลง และฮิมาไทต์ ช่วง pH ที่ดูดซับได้ดีที่สุดคือนั้นอยู่ในช่วงกว้าง ๆ คือที่ pH 2-10 เนื่องจากอาร์ซีนิก(III) จะอยู่ในรูป H_3AsO_3 ซึ่งการดูดซับจะมีประสิทธิภาพดีหรือไม่จะขึ้นอยู่กับความแรงของประจุบนพื้นที่ผิวในการที่จะจับอาร์ซีนิก(III) ในรูป H_3AsO_3

3. Adsorption isotherm ของอาร์ซีนิก

จากการศึกษา Adsorption isotherm ของอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) ที่ pH 4 และ 7 เมื่อทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์แบบแลงเมียร์และฟรอยด์ลิก มีแนวโน้มการดูดซับอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) เป็นเส้นตรง ทำให้การดูดซับอาร์ซีนิก(V) และอาร์ซีนิก(III) มีความสัมพันธ์เป็นทั้งแบบแลงเมียร์และฟรอยด์ลิก แสดงว่าการดูดซับอาร์ซีนิก(V) และ อาร์ซีนิก(III) ของดินและแร่เป็นการดูดซับทางกายภาพ

4.การนำไปใช้ประโยชน์

สามารถนำวิธีที่ศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดอาร์ซีนิกในตัวอย่างน้ำธรรมชาติได้ การกำจัดอาร์ซีนิกโดยใช้วัสดุธรรมชาติ เป็นตัวดูดซับ พบว่า ปิ่จัยที่มีความสำคัญได้แก่ ชนิดของแร่และปริมาณของแร่ที่ประกอบอยู่ในแร่นั้น ๆ ค่า pH ในขณะการดูดซับ และเวลาที่ใช้ในการดูดซับ รวมถึงปริมาณความเข้มข้นของสารที่จะดูดซับ ซึ่งถ้ามีสภาวะที่เหมาะสมก็ทำให้ประสิทธิภาพใน

การดูดซับอาร์ซีนิกนั้นมีประสิทธิภาพสูงตามไปด้วย จากการทดลองพบว่าสามารถนำวิธีการกำจัดอาร์ซีนิกในน้ำธรรมชาติไปใช้ได้ทั้งสองวิธี คือวิธีเยาะ และวิธีผ่านคอลัมน์ ซึ่งดินแดงคอยสะแก้มีประสิทธิภาพในการกำจัดอาร์ซีนิกสูงสุดจึงเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นตัวดูดซับอาร์ซีนิกต่อไปได้