การศึกษาเบื้องต้นของประสิทธิภาพสารกรองสารหนูจากดินขาวสำหรับน้ำเพื่อบริโภค
Preliminary study on efficiency of arsenic filter from kaolin for water for consumption

6

อาภาพร สินธุสาร[1*], นงลักษณ์ บรรยงวิมลณัฐ[1], อังสนา ฉั่วสุวรรณ์[1], เมธี ครองพงษ์[1]
Apaporn Sinthusarn[1*], Nongluk Bunyovimonnat[1], Aungsana Chuasuwan[1], Mathee Krongpong[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นของการนำ “ดินขาว (Kaolin)” ซึ่งเป็นวัตถุดิบธรรมชาติที่มีจำนวนมากในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมาประยุกต์ใช้เป็นสารกรองน้ำสำหรับกำจัดสารหนูทดแทนแอคติเวตเตดอะลูมินาซึ่งมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ดินขาวมีโครงสร้างทางเคมีเป็นอะลูมิโนซิลิเกต ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$; 39.5 : 46.5 : 14) มีคุณสมบัติเป็นสีขาวก่อนเผาและหลังเผา มีความทนไฟสูง ความแกร่งหลังเผาสูง เมื่อผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยความร้อนจะมีคุณสมบัติในการจับไอออนลบในน้ำได้ตามสภาพความเป็นกรด–เบส ของน้ำ ผลการศึกษาประสิทธิภาพของสารกรองจากดินขาวสำหรับดูดซับสารหนูในน้ำที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ พบว่า สารกรองสูตรที่ 1 (ดินขาว 100%) เผาด้วยเตาไฟฟ้าในสภาวะที่ 1 (ที่อุณหภูมิ 200 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 400 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 600 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ) มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุด ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูจะขึ้นกับปริมาณและระดับความสูงของสารกรอง สารกรองที่ผลิตขึ้นสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้โดยการฟื้นฟูสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นอย่างละ 0.1 N. ตามลำดับ แต่สามารถฟื้นฟูสภาพได้ไม่เกิน 3 ครั้ง ตลอดอายุการใช้งานของสารกรองปริมาตร 3.5 ลิตร สามารถผลิตน้ำบริโภคตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค (สารหนูไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ได้จำนวน 400 ลิตร ดังนั้นการศึกษาเบื้องต้นนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิจัยดินขาวเพื่อผลิตเป็นสารกรองสารหนูจากธรรมชาติสำหรับใช้ในเครื่องกรองน้ำเพื่อบริโภคต่อไปได้

Abstract

This research is a preliminary study on “Kaolin”, a natural raw material, which is found in many parts of Thailand, in order to apply as a water filter for arsenic removal in water for consumption instead of activated alumina, which is quite expensive and must be imported from abroad. Chemical structure of Kaolin is aluminosilicate ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$; 39.5: 46.5: 14). Its properties are white before burning and after calcination, high fire resistance. When activated with heat, Kaolin has the ability to capture anions in water based on the pH value of the water. Results of the study on the efficiency of the filter were showed that the filter was suitable for the removal of arsenic in water prepared in the laboratory. The filter formula 1 (100% Kaolin), calcined at condition 1 (at 200 °C for 1 hour, 400 °C for 1 hour, and 600 °C for 3 hours, respectively) was the best condition for arsenic adsorption. The efficiency of arsenic adsorption depends on quantity and height of the adsorbent in the filter. The 3.5 liters of the produced filter can be regenerated with 0.1N. Sodium hydroxide, and 0.1N. Hydrochloric acid, respectively, up to 3 times, and this can produce water for consumption within the criteria of drinking water (arsenic not more than 0.01 mg/l) for 400 liters. Therefore this preliminary study can be a guideline for conducting research on using Kaolin to produce a natural filter for arsenic removal for potable water purifier in the future.

สำคัญ: สารกรองสารหนู ดินขาว น้ำเพื่อบริโภค
Keywords: Arsenic filter, Kaolin, Water for consumption

[1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ
[*] Corresponding author E-mail address : apaporn@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

การแก้ไขปัญหาสารหนูปนเปื้อนในน้ำมีหลายวิธี เช่น วิธีดูดซับร่วมกับการตกตะกอน (Adsorption-Coprecipitation) โดยใช้ปูนขาว สารส้มและเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl3) วิธีการดูดซับด้วยแอคติเวตเตดอลูมินา (Activated alumina) หรือ แอคติเวตเตดคาร์บอน (Activated carbon) วิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) และวิธีการกรองผ่านเยื่อกรองคุณภาพสูง (Reverse Osmosis) ซึ่งปัจจุบันการกรองผ่านเยื่อกรองคุณภาพสูงเป็นที่นิยมใช้ในการนำมาแก้ปัญหาดังกล่าวในหลายประเทศทั่วโลก เนื่องจากสามารถกำจัดสารหนูในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบและการบำรุงรักษาที่สูง [1, 2] นอกจากนี้มีการใช้สารเคมีในการบำบัดสารหนูในน้ำ เช่น การกำจัดสารหนูประเภทอินทรีย์สารโดยใช้สารประกอบเซอโครเนียม (Zr compounds) ช่วยตกตะกอน [3] การใช้สารกรองที่มีส่วนประกอบของเฟอร์รัสคาร์บอเนตช่วยในการกำจัดสารหนู [4] การใช้โคลนสีแดงซึ่งมีเหล็กองค์ประกอบเป็นสารกรองในการกำจัดสารหนู [5] การใช้อนุภาคซีเรียมออกไซด์เป็นตัวบำบัดสารหนูในน้ำ [6] และการใช้เหล็กออกไซด์เคลือบบนอนุภาคคาร์บอนเพื่อกำจัดสารหนูในน้ำ [7]

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นของการนำ “ดินขาว” ซึ่งเป็นวัตถุดิบธรรมชาติที่มีจำนวนมากในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมาประยุกต์ใช้เป็นสารกรองน้ำสำหรับกำจัดสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ ทดแทนแอคติเวตเตดอะลูมินาที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาแพง เนื่องจากดินขาว (Kaolin) เป็นดินที่เกิดจากแร่เกาลินไนต์ (Kaolinite) ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นอะลูมิซิลิเกต ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$; 39.5 : 46.5 : 14) มีคุณสมบัติเป็นสีขาวก่อนเผาและหลังเผา ความทนไฟสูง ความแกร่งหลังเผาสูง มีองค์ประกอบหลักเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 33–39, ซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 36–49 และออกไซด์ของธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย [8] อะลูมิเนียมออกไซด์เมื่อผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยความร้อน (Activated) แล้วจะมีคุณสมบัติในการจับไอออนลบ (anion) ในน้ำได้ตามสภาพความเป็น กรด-เบส ของน้ำ ได้ดังนี้ OH- > PO43- > F- > AsO43- > SO42- > Cl- > NO3- ในช่วงความเป็นกรด-เบส 6-8 [9] จึงทำให้ดินขาวซึ่งมีส่วนประกอบหลักทางเคมีเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์ สามารถนำมาผลิตเป็นสารกรองน้ำเพื่อกำจัดสารหนูปนเปื้อนได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ทดลองนำดินขาวมาผลิตเป็นเม็ดสารกรองและเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยนำสารกรองมาจำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ท่อกรองความสูง 10 เซนติเมตร ไหลผ่านด้วยสารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 100 มิลลิลิตร ปรากฏว่าน้ำที่ผ่านออกมาไม่พบสารหนูปนเปื้อน (วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS) แสดงว่าสารกรองที่ผลิตขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีในการกำจัดสารหนูในน้ำได้

งานวิจัยนี้จึงศึกษาเบื้องต้นเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพของสารกรองจากดินขาวซึ่งได้จากสูตรการผลิตและสภาวะการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ รวมทั้งความสามารถในการปรับปรุงสภาพเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้ได้สารกรองสารหนูที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เป็นสารกรองในเครื่องกรองน้ำสำหรับน้ำบริโภคต่อไป

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุดิบ / ตัวอย่างน้ำ

2.1.1 ดินขาวจังหวัดระนอง บริษัทอินดัสเทรียล มิเนอรัล ดีเวลลอปเมนท์ จำกัด (IMD)

2.2 สารเคมี /สารละลาย/ชุดทดสอบ

2.2.1 สารละลายมาตรฐานสารหนู (H_3AsO_4 ในรูป Arsenate : As(V)) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร บริษัท Merck

2.2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ บริษัท Merck สำหรับเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N

2.2.3 กรดไฮโดรคลอริก บริษัท Merck สำหรับเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 N

2.2.4 ชุดทดสอบสารหนูความเข้มข้น 0, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร บริษัทไฮเออร์ เอ็นท์เตอร์ไพส์ จำกัด

2.3 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ

2.3.1 เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตสารกรอง

1) เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Ma ss Spectrometer (ICP-MS) รุ่น Elan DRC บริษัท Perkin-Elmer
   Internal Standard (mix) : Bi, Ge, In, 6Li, Sc, Tb, Y
   Calibration Curve As : 1, 5, 10, 20, 50, 100, 200 ไมโครกรัมต่อลิตร
   QC : As Standard Solution 50 ไมโครกรัมต่อลิตร
2) เครื่องบดดิน บริษัท Retsch รุ่น 5657 HAAN ประเทศเยอรมัน
3) เครื่องผลิตสารกรอง (ผลิตขึ้นเอง)
4) ตู้อบลมร้อน บริษัท Qallenkamb รุ่น oven BS
5) เตาเผา บริษัท Thermolyne รุ่น Dubuque IOWA ประเทศอเมริกา
6) ตะแกรงร่อนเบอร์ 8 (Mesh No. 8) และเบอร์ 20 (Mesh No. 20)

2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับชุดเครื่องกรองน้ำ

1) คอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร
2) ท่อกรองอะคริลิกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว

2.4 การผลิตสารกรอง

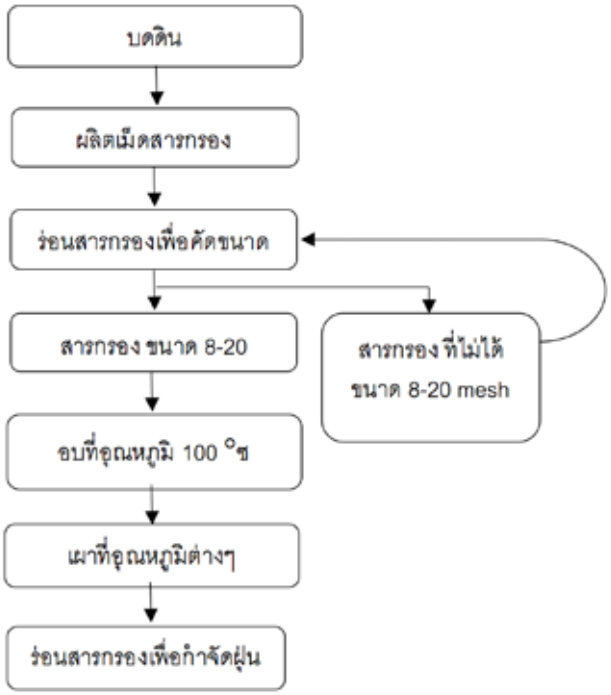
2.4.1 นำวัตถุดิบ (ดินขาวสูตรต่างๆ) ที่ผ่านการบดแล้ว เทลงในถาดหมุนของเครื่องผลิตสารกรอง จากนั้นเปิดสวิทซ์ให้เครื่องหมุน พร้อมฉีดน้ำกลั่นเพื่อให้ดินขาวจับตัวเป็นเม็ดสารกรองขนาดประมาณ 8-20 mesh

2.4.2 นำสารกรองมาร่อนผ่านตะแกรงระหว่างขนาด 8 กับ 20 mesh เพื่อคัดสารกรองให้ได้ขนาด 8-20 mesh

2.4.3 อบไล่ความชื้นสารกรองที่อุณหภูมิ 100° ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.4.4 เผาสารกรอง ที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ (ตารางที่ 1)

2.4.5 ร่อนสารกรองที่ผ่านการเผาในตะแกรงขนาด 20 mesh เพื่อกำจัดฝุ่น



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตสารกรองจากดินขาว

รูปที่ 2 สารกรองที่ผลิตได้

รูปที่ 3 ท่อกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร

2.5 ท่อกรองสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพสารกรอง

นำท่อกรองอะคริลิกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร เชื่อมต่อด้วยข้อต่อและสายยาง พร้อมด้วยวาล์วน้ำสำหรับเปิด-ปิด เพื่อเป็นชุดต้นแบบเครื่องกรองน้ำสำหรับทดสอบประสิทธิภาพสารกรอง ดังรูปที่ 3

2.6 การทดสอบประสิทธิภาพสารกรอง

2.6.1 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองที่อุณหภูมิการเผาต่าง ๆ กัน

นำสารกรองดินขาวเผาด้วยเตาไฟฟ้าที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ กัน ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

ตารางที่ 1 สารกรองดินขาว เผาด้วยเตาไฟฟ้าที่สภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ กัน

สภาวะที่	สภาวะการเผาด้วยเตาไฟฟ้า	
	อุณหภูมิ (° ซ)	เวลา (ชั่วโมง)
1	1) 200 2) 400 3) 600	1 1 3
2	500	3
3	600	3
4	700	3
5	800	3
6	900	3
7	1000	3

2.6.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาวผสมอะลูมิเนียมออกไซด์สูตรต่าง ๆ

นำสารกรองซึ่งผลิตจากการผสมดินขาวที่ผ่านการบดละเอียดผสมกับอะลูมิเนียมออกไซด์ ตามอัตราส่วนที่กำหนด จำนวน 7 สูตร ดังตารางที่ 2 และเผาด้วยเตาไฟฟ้าที่สภาวะที่ 1 โดยเผาที่อุณหภูมิ 200 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 400 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 600 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมงตามลำดับ จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

ตารางที่ 2 สารกรองดินขาวผสมอะลูมิเนียมออกไซด์สูตรต่างๆ

สูตรสารกรองที่ : เผาด้วยเตาไฟฟ้าที่สภาวะที่ 1	อัตราส่วน (ร้อยละ)	
	ดินขาว	อะลูมิเนียมออกไซด์
1	100.0	0
2	97.5	2.5
3	95.0	5.0
4	92.5	7.5
5	90.0	10.0
6	85.0	15.0
7	80.0	20.0

2.6.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาวสูตรที่ 1 ที่ปริมาณ (ระดับความสูง) ของสารกรอง ต่าง ๆ กัน

นำสารกรองดินขาวสูตรที่ 1 เผาด้วยเตาไฟฟ้าสภาวะที่ 1 บรรจุใส่คอลัมน์แก้วที่ระดับความสูงต่างๆ กัน ดังตาราง ที่ 3 จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

ตารางที่ 3 สารกรองดินขาวสูตรที่ 1 เผาด้วยเตาไฟฟ้า สภาวะที่ 1 บรรจุใส่คอลัมน์แก้วเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ที่ ระดับความสูง ต่าง ๆ กัน

ลำดับที่	ความสูงของสารกรอง (เซนติเมตร)	น้ำหนักสารกรอง (กรัม)
1	30	250
2	60	446
3	90	686

2.6.4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองกับท่อกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร

นำสารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 ทดสอบการใช้งานร่วมกับท่อกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

2.6.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองภายหลังการฟื้นฟูสภาพ (regeneration) สารกรอง

นำสารกรองที่ผ่านการใช้งาน (ข้อ 2.7.4) มาศึกษาการฟื้นฟูสภาพโดยแช่สารกรองในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนู

3. ผลและวิจารณ์ (Results and discussion)

3.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองที่อุณหภูมิการเผาต่าง ๆ กัน (ตารางที่ 1)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาว ซึ่งผ่านการเผาด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยนำสารกรองที่เผาอุณหภูมิต่าง ๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในคอลัมน์แก้วเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และให้สารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2 ลิตร ไหลผ่านที่อัตราการไหล 7.0 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรอง ทุกๆ 100 มิลลิลิตร และวิเคราะห์ปริมาณสารหนูที่ผ่านการกรอง ด้วยชุดทดสอบสารหนู โดยบันทึกข้อมูลปริมาณสารหนูที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร (เกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค กำหนดให้สารหนูต้องไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร [9]) แสดงในตารางที่ 4 พบว่า สารกรองดินขาว เผาด้วยสภาวะที่ 1 มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุด ที่ปริมาตร 2.0 ลิตร

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาว เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ปริมาตรสารสะลายมาตรฐานสารหนู ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)						
	สภาวะที่ 1	สภาวะที่ 2	สภาวะที่ 3	สภาวะที่ 4	สภาวะที่ 5	สภาวะที่ 6	สภาวะที่ 7
100	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
200	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
300	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
400	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
500	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2

ตารางที่ 4 (ต่อ)

600	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
700	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
800	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
900	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
1000	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
1100	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
1200	0	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
1300	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2
1400	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2
1500	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.3
1600	0	0.005	0	0.2	0.2	0.2	0.3
1700	0	0.01	0.005	0.2	0.2	0.3	0.3
1800	0.005	0.01	0.01	0.2	0.2	0.3	0.3
1900	0.005	0.01	0.05	0.2	0.2	0.3	0.3
2000	0.01	0.05	0.05	0.2	0.2	0.3	0.3

3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาวผสมอะลูมิเนียมออกไซด์สูตรต่าง ๆ (ตารางที่ 2)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองสูตรต่าง ๆ โดยนำสารกรองสูตรต่าง ๆ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในคอลัมน์แก้วเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และให้สารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.1, 1.0, 5.0, 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไหลผ่านที่อัตราการไหล 7.0 มิลลิลิตรต่อนาที และวิเคราะห์ปริมาณสารหนูที่ผ่านการกรองด้วยเครื่อง ICP-MS พบว่า สารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุด ในทุกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนู แสดงในตารางที่ 5 ซึ่งผลการศึกษาโครงสร้างของสารกรองด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) พบว่า สารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 มีโครงสร้างผลึกเป็น Kaolinite : $Al_4(OH)_8(Si_4O_{10})$, Quartz : SiO_2, Muscovite : $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$ และ Microcline : $K(AlSi_3)O_8$ แต่สารกรองสูตรอื่นๆ ไม่พบโครงสร้างผลึก Kaolinite จึงแสดงว่าสารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 ซึ่งมีโครงสร้างผลึกเป็น Kaolinte มีสามารถในการดูดซับสารหนู ($Al_4(OH)_8(Si_4O_{10})$: As(V)) ได้สูงสุดร้อยละ 98.50 ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูก่อนผ่านสารกรอง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงเลือกสารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 เป็นสารกรองในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองดินขาวผสมอะลูมิเนียมออกไซด์สูตรต่าง ๆ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน สารหนูก่อนผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	**ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร) / (ร้อยละของการดูดซับสารหนูของสารกรอง)**						
	สูตร 1	**สูตร 2**	**สูตร 3**	**สูตร 4**	**สูตร 5**	**สูตร 6**	**สูตร 7**
0.1	0.0015 (98.50)	0.0070 (93.00)	0.028 (72.00)	0.030 (70.00)	0.031 (69.00)	0.030 (70.00)	0.030 (70.00)
1.0	0.020 (98.00)	0.113 (88.70)	0.127 (87.30)	0.113 (84.70)	0.131 (86.90)	0.085 (91.50)	0.115 (88.50)
5.0	0.394 (92.12)	0.478 (90.44)	0.524 (89.52)	0.530 (89.40)	0.483 (90.34)	0.475 (90.50)	0.426 (91.48)
10.0	0.616 (93.84)	1.580 (84.20)	1.410 (85.90)	0.828 (91.72)	1.395 (86.05)	0.876 (91.24)	1.100 (89.00)

3.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองที่ปริมาณ (ระดับความสูง) ต่าง ๆ กัน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองสูตรที่ 1 เผาด้วยสภาวะที่ 1 ที่ ระดับความสูง ต่าง ๆ กันโดยนำสารกรองใส่ในคอลัมน์แก้วเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร โดยกำหนดให้มีระดับความสูง 30, 60, 90 เซนติเมตร (ปริมาตรสารกรอง 0.5, 1.0, 1.5 ลิตร ตามลำดับ) และให้สารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5 ลิตร ไหลผ่านที่อัตราการไหล 250 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรองทุกๆ 1 ลิตร และวิเคราะห์ปริมาณสารหนูที่ผ่านการกรองด้วยชุดทดสอบสารหนู โดยบันทึกข้อมูลปริมาณสารหนูที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงใน

ตารางที่ 6 พบว่า สารกรองที่ระดับความสูง 90 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุด แสดงว่า ระดับความสูงของสารกรองในคอลัมน์มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูในน้ำ

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองที่ระดับความสูงต่างกัน

ปริมาตรสารสะลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ลิตร)	ความเข้มข้นสารหนูหลังผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร) / (ร้อยละของการดูดซับสารหนูของสารกรอง)		
	ความสูงสารกรอง 30 ซม.	ความสูงสารกรอง 60 ซม.	ความสูงสารกรอง 90 ซม.
1	0.1 (80.0)	0.03 (94.0)	0.005 (99.0)
2	0.1 (80.0)	0.03 (94.0)	0.005 (99.0)
3	0.5 (0.00)	0.05 (90.0)	0.01 (98.0)
4	0.5 (0.00)	0.05 (90.0)	0.03 (94.0)
5	0.5 (0.00)	0.05 (90.0)	0.03 (94.0)

3.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองโดยใช้ท่อกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองสูตรที่ 1 สภาวะที่ 1 ปริมาตร 3.5 ลิตร บรรจุลงท่อกรองเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูงสารกรอง 120 เซนติเมตร และทำการทดสอบการใช้งานสารกรอง โดยให้สารสะลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 ลิตร ไหลผ่านท่อสารกรอง ที่อัตราการไหล 800 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรองทุกๆ 10 ลิตร วิเคราะห์ปริมาณสารหนูที่ผ่านการกรองด้วยชุดทดสอบสารหนู โดยบันทึกข้อมูลปริมาณสารหนูที่ระดับความเข้มข้นไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงในตารางที่ 7 พบว่าสารกรองสามารถดูดซับสารหนูในน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคได้ไม่เกิน 40 ลิตร

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองโดยใช้ท่อกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 150 เซนติเมตร

ปริมาตรสารสะลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร) / (ร้อยละของการดูดซับสารหนูของสารกรอง)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย + SD.
10	0 (0)	0 (0)	0 (0)
20	0 (0)	0 (0)	0 (0)
30	0.005 (99)	0 (0)	0.0025 + 0.0035 (99.5)
40	0.01 (98)	0.005 (99)	0.0075 + 0.0035 (98.5)
50	0.1 (80)	0.1 (80)	0.1 (80)

3.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองภายหลังการฟื้นฟูสภาพสารกรอง

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองภายหลังการฟื้นฟูสภาพสารกรอง โดยนำสารกรองที่ผ่านการใช้งาน (ข้อ 3.4) มาศึกษาการฟื้นฟูสภาพโดยแช่สารกรองในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N ปริมาตร 2 ลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นแช่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N ปริมาตร 2 ลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำมาทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูอีกครั้งโดยให้สารละลายมาตรฐานสารหนูความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ไหลผ่านที่อัตราการไหล 800 มิลลิลิตรต่อนาที และทดสอบปริมาณสารหนูในน้ำที่ผ่านการกรองด้วยชุดทดสอบสารหนู โดยทำการฟื้นฟูสภาพสารกรอง ต่อไปอีก 3 ครั้ง รวมทำการฟื้นสภาพทั้งหมด 4 ครั้ง แสดงในตารางที่ 8 พบว่า สารกรองที่ผ่านการใช้แล้วสามารถนำมาฟื้นฟูสภาพได้เพียง 3 ครั้ง เนื่องจากการฟื้นฟูสภาพสารกรองใน

ครั้งที่ 4 สารกรองมีสภาพเป็นเม็ดแตกยุ่ย ไม่เหมาะสมสำหรับการนำกลับมาใช้งานได้อีก ดังนั้นสารกรองที่ผ่านการใช้งานแล้วสามารถฟื้นฟูสภาพได้จำนวน 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งของการฟื้นฟูสภาพสารกรองจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคได้ไม่เกิน 120 ลิตร รวมปริมาตรน้ำที่ได้หลังจากผ่านสารกรองโดยมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคจำนวน 360 ลิตร

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูของสารกรองภายหลังการฟื้นฟูสภาพสารกรอง

ปริมาตรสารสะลายมาตรฐานสารหนู ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ลิตร)	**ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสารหนูหลังผ่านสารกรอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)**			
	ฟื้นฟูสภาพ ครั้งที่ 1	**ฟื้นฟูสภาพ ครั้งที่ 2**	**ฟื้นฟูสภาพ ครั้งที่ 3**	**ฟื้นฟูสภาพ ครั้งที่ 4**
20	0	0	0	ไม่สามารถทดสอบได้ เนื่องจากสภาพสารกรองเป็นเม็ดแตกยุ่ย ไม่เหมาะสำหรับการนำกลับมาใช้
40	0	0	0	
60	0	0	0	
80	0	0	0	
100	0.005	0.005	0.005	
120	0.01	0.01	0.01	
140	0.03	0.03	0.03	

4. สรุป (Conclusion)

การศึกษาเบื้องต้นของประสิทธิภาพสารกรองจากดินขาวสำหรับดูดซับสารหนูในน้ำที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ พบว่า สารกรองสูตรที่ 1 (ดินขาว 100%) เผาด้วยเตาไฟฟ้าสภาวะที่ 1 (เผาที่อุณหภูมิ 200 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 400 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 600 °ซ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตามลำดับ) มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนูได้ดีที่สุด โดยประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูจะขึ้นกับปริมาณ (ระดับความสูง) ของสารกรอง ซึ่งสารกรองที่ผลิตขึ้นสามารถฟื้นฟูสภาพเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ไม่เกิน 3 ครั้งโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นอย่างละ 0.1 N. ตามลำดับ และตลอดอายุการใช้งานของสารกรองปริมาตร 3.5 ลิตร สามารถผลิตน้ำบริโภคตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค (สารหนูไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร) ได้จำนวน 400 ลิตร ทั้งนี้อายุการใช้งานสารกรองอาจขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเป็นสารกรองในเครื่องกรองน้ำที่มีประสิทธิภาพพร้อมใช้งานได้ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ สำนักเทคโนโลยีชุมชนทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ นอกจากนี้ยังให้คำปรึกษาแนะนำและข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] AWWA RESEARCH FOUNDATION. *Adsorbent Treatment Technologies for Arsenic Removal.* 2005, 1-3.

[2] NICOMEL, N.R. Technologies for Arsenic Removal from Water: Current Status and Future Perspectives. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2016, 13(1), 62.

[3] HAMANO, S., *Method for treatment of water containing organic arsenic compounds and agents for precipitation of organic arsenic compounds.* Jpn. Kokai Tokkyo Koho. 2008, 9.

[4] GUO, H., *Preparation of high-performance arsenic-removing composite adsorbent and its application method in arsenic removal from drinking water.* Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu. 2008, 4.

[5] LUAN, Z., et al. *Application of iron modified red mud as arsenic-removing adsorbent.* Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu. 2008, 5.

[6] LE, B.T., et al. Study on preparation of cerium oxide nanoparticle medified diatomaceous earth material and application for arsenic treatment in water. *Tap Chi Phan Tich Hoa, Ly Va Sinh Hoc.* 2011, 14(1), 12-17.

[7] ADDO, N.S., et al. Removal of Trace Arsenic To Meet Drinking Water Standards Using Iron Oxide Coated Multiwall Carbon Nanotubes. *Journal of Chemical & Engineering Data.* 2011, 56(5), 2077-2083.

[8] นวลอนงค์ ศรีพงษ์. การวิจัยและพัฒนาดินขาวเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ.* มกราคม 2535, 40 (128), 21-23.

[9] *Report of the AD HOC working group on the technological assessment of natural mineral water treatments on the evaluation of treatment by aluminium oxide for the removal of fluoride from mineral waters and spring waters.* 30 March 2006.

[10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 257-2549. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค.*