



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การลดฟลูออไรด์ในน้ำโดยใช้กระดูกวัวและก้างปลา

Fluoride Reduction in Water Using Cow and Fish Bones

นิรวิทย์ สุทธิ¹, อัญธิกา ประนัดทา², สุรพล ผดุงทน² และ วีรวัฒน์ เหล่านากุล^{1*}Nirawit Sutthi¹, Antika Pranudta², Surapol Padungthon² and Teerawat Laonapakul^{1*}¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ²สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น¹Department of Industrial Engineering, ²Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering,
Khon Kean University

Received: 4 พ.ค. 62

Revised: 15 พ.ค. 62

Accepted: 25 พ.ค. 62

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำบาดาลสูงในบริเวณจังหวัดภาคเหนือ ภาคตะวันตก รวมถึงภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศและจะเป็นอันตรายหากนำน้ำดังกล่าวมาบริโภค ปัจจุบันได้มีการศึกษาวัสดุที่มีความสามารถในการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำได้จากวัสดุหลายชนิดรวมถึงถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวและก้างปลาด้วยวิธีการทางความร้อน การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของกระดูกวัวและก้างปลาถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โครงสร้างจุลภาคของถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จะถูกศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้ถูกนำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและกรดคาร์บอนิกเพื่อศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำด้วยวิธีการแบบที่ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 5 กระดูกวัวและก้างปลาเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่อุณหภูมิ 400 และ 1,000 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวที่ถูกล้างด้วยกรดคาร์บอนิกมีความสามารถในการลดปริมาณฟลูออไรด์สูงสุดที่ 40 % (0.8 มิลลิกรัมฟลูออไรด์/กรัม) โดยใช้ผงไฮดรอกซีอะพาไทต์ 0.5 กรัม

คำสำคัญ : ไฮดรอกซีอะพาไทต์ ถ่านกระดูก วิธีการแบทช์

Abstract

Northern, Northeastern, and Western region of Thailand have high levels of fluoride in groundwater. This effect might harm to the health of consumers. Nowadays, several materials involve bone char and hydroxyapatite were studied for the process of fluoride reduction in water. In this study, animal bones from fish and bovine were used as raw materials for the synthesis of bone char and hydroxyapatite using a thermal decomposition method. The transformation of crystalline phase and microstructure of samples were investigated using X-ray diffractometer (XRD) and scanning electron microscope (SEM). Synthesized bone char and hydroxyapatite washed by deionized water and carbonic acid were then investigated for their ability to reduce fluoride in water by using batch equilibration method with 10 mg/L concentration of fluoride at pH 5. The crystalline phase of cow bone transformed to bone char and hydroxyapatite at 400 and 1,000 degrees Celsius, respectively. The 0.5 gram of hydroxyapatite made from bovine bone washed by carbonic acid could maximum reduced 40% (0.8 mg F⁻/g) of fluoride in water.

Keywords : Hydroxyapatite, Bone char, Batch equilibration method

*ติดต่อ: E-mail: teerla@kku.ac.th

1. บทนำ

“น้ำ” มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตมนุษย์อาศัยน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค เช่น ใช้ดื่ม ประุงอาหารรวมถึงใช้สอยประโยชน์ในด้านอื่นๆ ดังนั้นน้ำที่สะอาดจึงมีความสำคัญต่อร่างกายมนุษย์ ประเทศไทยมีปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำบาดาลสูงในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันตก รวมถึงภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ โดยมีปริมาณฟลูออไรด์อยู่ในช่วง 17 – 5.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และยังมีการนำน้ำบาดาลมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค โดยที่ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำดื่มที่เหมาะสมสำหรับการบริโภคไม่

ควรเกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร [1] หากบริโภคน้ำที่มีปริมาณฟลูออไรด์สูงร่างกายจะได้รับฟลูออไรด์มากเกินไปและก่อให้เกิดผลเสียต่อร่างกาย [2] ในปัจจุบันมีการใช้วัสดุและวิธีการหลายประเภทมาใช้ในการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำรวมถึงการลดฟลูออไรด์ในน้ำด้วยวิธีการดูดซับฟลูออไรด์และการแลกเปลี่ยนประจุ (Adsorption and Ion exchange) [3] ซึ่งเป็นวิธีที่มีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ในการลดฟลูออไรด์ในน้ำด้วยวิธีการดังกล่าวได้มีการนำสารประกอบกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟต ได้แก่ ถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งวัสดุดังกล่าวถูกนำมาทำการทดสอบเพื่อใช้ในการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำ [4, 5] ถ่านกระดูก

เป็นวัสดุที่เป็นเม็ดพูนสีดำได้จากการให้ความร้อนกับกระดูกมีส่วนประกอบหลักคือแคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียมคาร์บอเนต และแอคติเวตเตดคาร์บอน ผ่านกระดูกสามารถดูดซับสิ่งสกปรกต่าง ๆ ได้ เช่น สี กลิ่น รส เป็นต้น ไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นสารประกอบในกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟตเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับโครงสร้างทางเคมีของกระดูกของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง ไฮดรอกซีอะพาไทต์สามารถสังเคราะห์ได้จากวิธีการทางเคมีหลายวิธี [6] รวมถึงการสังเคราะห์จากกระดูกสัตว์ต่าง ๆ [7-9] ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ด้านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวและก้างปลาด้วยวิธีการทางความร้อนซึ่งเป็นกระบวนการที่ง่ายและสามารถสังเคราะห์วัสดุดังกล่าวได้ปริมาณที่มากในการสังเคราะห์แต่ละครั้ง [6] กระดูกวัวและก้างปลาถูกนำมาทำความสะอาดและผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400 ถึง 1,100 องศาเซลเซียสเพื่อทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของกระดูกวัวและก้างปลาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ผงด้านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้บางส่วนถูกนำมาเตรียมผิวให้มีสภาพเป็นประจุบวกเพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำด้วยวิธีการแบทช์ (Batch equilibration method) ที่ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง ที่ค่า pH เท่ากับ 5 และวิเคราะห์ความเข้มข้นฟลูออไรด์ในน้ำด้วยวิธีการวัดเทียบสี โครงสร้างจุลภาคของด้านกระดูกและไฮดรอกซีอะพา

ไทต์ก่อนและหลังการทดสอบจะถูกวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การสังเคราะห์และการตรวจสอบด้านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์

การเตรียมด้านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัว (ส่วนขา) และก้างปลาเริ่มจากการต้มกระดูกวัวและก้างปลาในน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 56 ชั่วโมง เพื่อกำจัดไขมันและโปรตีน จากนั้นนำกระดูกวัวและก้างปลาที่ต้มมาทุบให้เป็นชิ้นขนาด 3-5 เซนติเมตร และนำไปล้างไขมันและโปรตีนที่ตกค้างด้วยกรดอะซิติกระยะเวลา 30 นาที แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำกระดูกวัวและก้างปลาไปผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400, 600, 800, 1,000 และ 1,100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราความร้อนที่ 5 องศาเซลเซียส/นาที หลังจากนั้นนำกระดูกวัวและก้างปลามาบดให้เป็นผงละเอียดด้วยโม่ร่อนแล้วร่อนผ่านตะแกรงลวดขนาด 100 Mesh เพื่อทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของกระดูกวัวและก้างปลาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ด้วยเครื่อง Bruker รุ่น D8 Advance โดยใช้อัตราความเร็วที่ $0.5^\circ 2\theta/\text{นาที}$ มุมยิง $10-80^\circ 2\theta$ โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้จะถูกวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ด้วยเครื่อง LEO รุ่น 1450

2.2 การทดสอบความสามารถในการลดปริมาณฟลูออไรด์ของวัสดุตัวอย่าง

ถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัวและก้างปลาที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนถูกนำมาบดให้ละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 Mesh และล้างด้วยน้ำ DI จนกระทั่งน้ำ DI มีค่า pH คงที่หรือมีค่า pH เท่ากับ 7 แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ถูกล้างด้วยน้ำ DI ถูกนำมาศึกษาประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำด้วยวิธีการแบทช์ (Batch equilibration method) โดยวัสดุทดสอบปริมาณ 0.5 กรัม ถูกผสมกับน้ำสังเคราะห์ที่มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร และมีค่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า pH เท่ากับ 5 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบหมุน ค่า pH ของน้ำสังเคราะห์ถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงค่า pH เริ่มต้นโดยการปรับค่า pH ทุก ๆ 3 ชั่วโมง ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เป็นระยะเวลา รวม 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำน้ำสังเคราะห์ไปวัดความเข้มข้นฟลูออไรด์ด้วยวิธีการวัดเทียบสีด้วยเครื่อง Hach DR 6000 ในการวัดความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่คงเหลือในน้ำสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพในการลดฟลูออไรด์ดังสมการที่ 1 ทำการวัดค่า 3 ครั้ง ในแต่ละตัวอย่าง และรายงานเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

$$\text{Percent removal } F^- = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ Percent removal F^- = เปอร์เซ็นต์การลดฟลูออไรด์ในน้ำ (%)

C_e = ค่าความเข้มข้นหลังผ่านการลดฟลูออไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)

C_0 = ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของฟลูออไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)

3. ผลการทดลอง

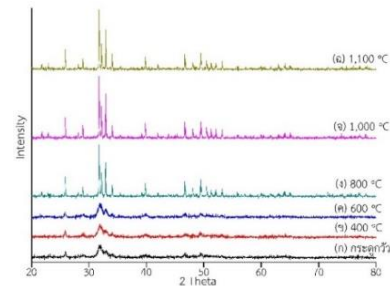
3.1 โครงสร้างผลึกของกระดูกวัวและก้างปลาผ่านกระบวนการทางความร้อนด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer (XRD))

ผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของกระดูกวัวและก้างปลาที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (400-1,100 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 1 และ 2 การให้ความร้อนแก่กระดูกวัวและก้างปลาที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า โครงสร้างผลึกในแต่ละระดับอุณหภูมิเปลี่ยนไปในแนวทางที่คล้ายคลึงกันระหว่างกระดูกวัวและก้างปลา ดังนี้

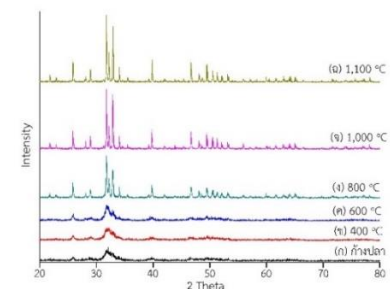
รูปที่ 1ก และ 2ก แสดงผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของกระดูกวัวและก้างปลาก่อนนำไปให้ความร้อน ตำแหน่งการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แสดงบนตำแหน่งหลักอยู่ในช่วง 2θ ที่ 25.9, 31.7-34.1, 39.8, 46.7, 49.5 การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์มีความเข้มข้นของพลังงาน (Intensity) ที่ต่ำและมีฐานกว้างแสดงถึงความเป็นผลึกที่ต่ำของกระดูก ซึ่งของกระดูกก่อนผ่านกระบวนการทางความร้อนมีสีขาวเหลือง

หลังผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 400 และ 600 องศาเซลเซียส กระดูกวัวและก้างปลาเปลี่ยนเป็นสีดำ

ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3ก) เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนอินทรีย์ [10] และเปลี่ยนเป็นสีเทาหลังจากผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3ข) รูปที่ 1 (ข และ ค) และ 2 (ข และ ค) แสดงตำแหน่งการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวอย่างทั้ง 2 ที่อุณหภูมิ 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตำแหน่งการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลงไปจากกระดูกก่อนได้รับความร้อน แต่มีความเข้มข้นของพลังงาน (Intensity) ที่สูงขึ้นเล็กน้อย แสดงถึงการมีความเป็นผลึกมากขึ้น ผลของสีกระดูกและการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์แสดงถึงคุณลักษณะของถ่านกระดูก [10] ผลของตำแหน่งจากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของกระดูกวุ้นและก้างปลาตรงกับโครงสร้างผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ [5] แสดงบนตำแหน่งหลัก 2θ ที่ 25.9, 28.9, 31.7, 32.2, 32.9, 34.1, 39.8, 40.0, 46.7, 48.1, 49.5, 50.5, 51.3, 52.1, 53.2 แสดงดังรูปที่ 1ง และ 2ง และสีของกระดูกเปลี่ยนเป็นสีขาวหลังจากผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3ค) ผลของตำแหน่งการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไฮดรอกซีอะพาไทต์มีความเข้มข้นของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้นหลังจากกระดูกทั้ง 2 ชนิด ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 1,000 และ 1,100 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 1 (จ และ ฉ) และ 2 (จ และ ฉ) แสดงถึงความเข้มข้นของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สูงกว่ากระดูกที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เนื่องจากความเป็นผลึกของไฮดรอกซีอะพาไทต์จะขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ [11] สีของกระดูกหลังการเผา ยังคงเป็นสีขาว (รูปที่ 3ง)



รูปที่ 1 แสดงผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของกระดูกวุ้นที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400°C - 1,100°C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 2 แสดงผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของก้างปลาที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 400°C - 1,100°C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3 สีของผงกระดูกที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ (ก) 400 (ข) 600 (ค) 800 (ง) 1,000 และ 1,100 องศาเซลเซียส

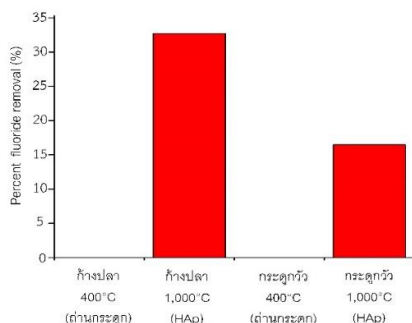
กระดูกวุ้นและก้างปลาที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400 และ 1,000 องศาเซลเซียส ถูกเลือกเพื่อนำไปทดสอบการลดปริมาณฟลูออไรด์

ด้วยวิธีการแบทช์ (Batch equilibration method) เนื่องจากกระดูกวัวและก้างปลาที่ผ่านอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีสีและโครงสร้างผลึกเป็นถ่านกระดูก และที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างผลึกเป็นไฮดรอกซีอะพาไทต์

3.2 การลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำด้วยวิธีการแบทช์ (Batch equilibration method)

1) ผลการทดลองการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำด้วยถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์

เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณฟลูออไรด์ด้วยถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวและก้างปลาที่ล้างด้วยน้ำ DI แสดงในรูปที่ 4 พบว่า ถ่านกระดูกไม่สามารถลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำได้ เนื่องจากในถ่านกระดูกอาจจะมีสารอินทรีย์และสารประกอบอื่น ๆ เหลืออยู่ เนื่องจากค่า pH ของน้ำ DI ที่ล้างถ่านกระดูกยังมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ขณะที่ทำการล้างด้วยน้ำ DI ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากก้างปลามีประสิทธิภาพในการลดฟลูออไรด์ในน้ำได้มากกว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวที่ 32.7% และ 16.5% คิดเป็น 0.65 และ 0.33 มิลลิกรัมฟลูออไรด์/กรัม ตามลำดับ



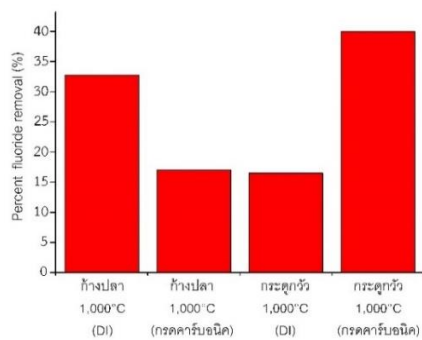
รูปที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณฟลูออไรด์ใน

น้ำของถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวและก้างปลาที่ล้างด้วยน้ำ DI

2) ผลการทดลองการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำของไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวและก้างปลาที่ล้างด้วยน้ำ DI และกรดคาร์บอนิก

ไฮดรอกซีอะพาไทต์บางส่วนที่เตรียมได้ถูกนำมาล้างด้วยกรดคาร์บอนิกระยะเวลา 15 นาที เพื่อเตรียมพื้นผิวของวัสดุให้เป็นประจุบวก แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ถูกล้างด้วยน้ำ DI และกรดคาร์บอนิกถูกนำมาศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำด้วยวิธีการแบทช์ (Batch equilibration method) เปอร์เซ็นต์การลดปริมาณฟลูออไรด์ด้วยไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวและก้างปลาที่ล้างด้วยน้ำ DI และกรดคาร์บอนิกแสดงในรูปที่ 5 ประสิทธิภาพในการลดฟลูออไรด์ในน้ำลดลงเมื่อไฮดรอกซีอะพาไทต์จากก้างปลาถูกล้างด้วยกรดคาร์บอนิก (17%, 0.34 มิลลิกรัมฟลูออไรด์/กรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับก้างปลาที่ล้างด้วยน้ำ DI (32.7%, 0.65 มิลลิกรัมฟลูออไรด์/กรัม) และประสิทธิภาพในการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวถูกล้างด้วยกรดคาร์บอนิก (40%, 0.8 มิลลิกรัมฟลูออไรด์/กรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับก้างปลาที่ล้างด้วยน้ำ DI (16.5%, 0.33 มิลลิกรัมฟลูออไรด์/กรัม) โดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการทดลองของ Srimurali M. และคณะ ได้ศึกษาการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำโดยใช้ดินขาวคาโอลิน (Kaoline), ถ่านเผา (Charfines) และดินเบนโทไนต์ (Bentonite) จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุมีความสามารถในการลด

ฟลูออไรด์ได้ 18.2 %, 38 % และ 46 % ตามลำดับ [12]

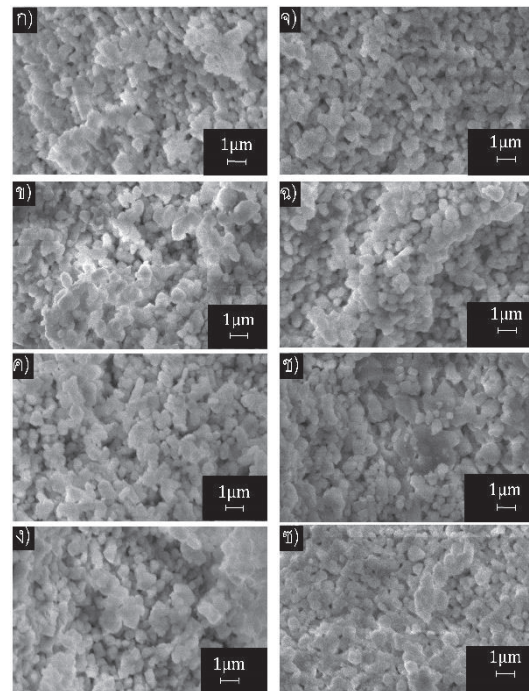


รูปที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำของไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวและก้างปลาที่ล้างด้วยน้ำ DI และกรดคาร์บอนิก

3.3 โครงสร้างจุลภาคของผงไฮดรอกซีอะพาไทต์จากก้างปลาและกระดูกวัวก่อนและหลังการทดสอบการลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำ

จากตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบว่าขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากก้างปลามีขนาดเล็กกว่าที่สังเคราะห์ได้จากกระดูกวัว ไม่พบความแตกต่างของลักษณะอนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ล้างด้วยน้ำ DI และกรดคาร์บอนิก รวมถึงไม่พบความแตกต่างของลักษณะอนุภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์ก่อนและหลังการทดสอบการลดฟลูออไรด์ในน้ำ แสดงดังรูปที่ 6 ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าของไฮดรอกซีอะพาไทต์จากก้างปลาอาจส่งผลให้มีความสามารถในการลดฟลูออไรด์ได้สูงกว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวในสภาพผิวที่ถูกล้างด้วยน้ำ DI เนื่องจากพื้นที่ผิวโดยรวมที่มากกว่าจากขนาดที่เล็กกว่า อย่างไรก็ตามต้องทำการทดสอบและวิจัยเพิ่มเติมว่าเพราะเหตุใดความสามารถในการ

ลดฟลูออไรด์ของไฮดรอกซีอะพาไทต์จากก้างปลาที่ล้างด้วยกรดคาร์บอนิกจึงลดลงและเพิ่มขึ้นในไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวที่ล้างด้วยกรดคาร์บอนิก



รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างจุลภาคของไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวและก้างปลา

- ก) ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากก้างปลาล้างด้วยน้ำ DI ก่อนทดสอบความสามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำ
- ข) ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวล้างด้วยน้ำ DI ก่อนทดสอบความสามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำ
- ค) ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากก้างปลาล้างด้วยกรดคาร์บอนิกก่อนทดสอบความสามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำ
- ง) ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวล้างด้วยกรดคาร์บอนิกก่อนทดสอบความสามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำ
- จ) ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากก้างปลาล้างด้วยน้ำ DI หลังทดสอบความสามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำ

ณ) ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวล้างด้วยน้ำ DI หลังทดสอบความสามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำ

ข) ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากก้างปลาล้างด้วยกรดคาร์บอนิกหลังทดสอบความสามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำ

ค) ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวล้างด้วยกรดคาร์บอนิกหลังทดสอบความสามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำ

4. สรุป

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกของกระดูกวัวและก้างปลาเนื่องจากการให้ความร้อนและความสามารถในการดูดซับฟลูออไรด์ในน้ำที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ค่า pH 5 จากกระดูกวัวและก้างปลาปริมาณ 0.5 กรัมสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กระดูกวัวและก้างปลาเปลี่ยนโครงสร้างผลึกไปเป็นถ่านกระดูกและไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่อุณหภูมิ 400 และ 1,000 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

2. ถ่านกระดูกที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยน้ำ DI ไม่สามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำได้เนื่องจากอาจจะมีสารอินทรีย์และสารประกอบอื่น ๆ เหลืออยู่ในวัสดุหรือในกระบวนการล้างยังไม่เหมาะสมเพียงพอ

3. ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่สังเคราะห์ได้จากก้างปลามีขนาดเล็กกว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัว

4. ไฮดรอกซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวและก้างปลาที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ DI สามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำที่ค่า pH 5 ความเข้มข้นฟลูออไรด์ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ 32.7% (0.65 มิลลิกรัมฟลูออไรด์/กรัม) และ 16.5% (0.33 มิลลิกรัมฟลูออไรด์/กรัม) ตามลำดับ ไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่จากกระดูกวัวและก้างปลาที่ผ่านกระบวนการล้างกรดคาร์บอนิกพบว่าไฮดรอก

ซีอะพาไทต์จากกระดูกวัวสามารถลดฟลูออไรด์ในน้ำที่มีค่า pH 5 ความเข้มข้นฟลูออไรด์ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ 40% (0.8 มิลลิกรัมฟลูออไรด์/กรัม) และไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ได้จากก้างปลาสามารถลดฟลูออไรด์ได้ 17% (0.34 มิลลิกรัมฟลูออไรด์/กรัม) ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] WHO, Chemical fact sheets: fluoride, Guidelines for drinking water quality: incorporation first addendum, third ed. Recommendation. 2006; 1: 375-377.
- [2] Harrison P T C. Fluoride in water: A UK perspective. J. Fluorine Chem. 2005; 126: 1448-1456.
- [3] Bhatnagar A, et al. Fluoride removal from water by adsorption-A review. Chem. Eng. J. 2011; 171: 811-840
- [4] Medellin-Castillo NA, et al. Adsorption capacity of bone char for removing fluoride from water solution. Role of hydroxyapatite content, adsorption mechanism and competing anions. J IND ENG CHEM. 2014; 20: 4014-4021.
- [5] Yu W, et al. Enhanced adsorption of fluoride from aqueous solution onto nanosized hydroxyapatite by low-

- molecular-weight organic acids. Desalination 2011; 276:161-168.
- [6] Laonapakul T. Synthesis of hydroxyapatite from biogenic wastes. KKU ENGINEERING JOURNAL 2015; 42(3):269-275.
- [7] Ozawa M, Suzuki S. Microstructural Development of Natural Hydroxyapatite Originated from Fish-Bone Waste through Heat Treatment. J Am Ceram Soc. 2002; 85(5):1351-1317.
- [8] Huang YC, et al. Hydroxyapatite extracted from fish scale: Effects on MG63 osteoblast-like cells. Ceram Int. 2011; 37:1825-1831.
- [9] Sobczak A, et al. Evaluation of the biomedical properties of hydroxyapatite obtained from bone waste. Pol. J. Chem. Technol. 2009; 11(1):37-43.
- [10] Sangeeta P, et al. Synthesis and characterization of mesoporous bone char obtained by pyrolysis of animal bone, for environmental application. J. Environ. Chem. Eng. 2015; 3:2368-2377.
- [11] Asmawi R, et al. Synthesis and characterization of nanocrystalline hydroxyapatite powder. IISOPYAN. 2013
- [12] Srimurali M, et al. A study on removal of fluorides from drinking water by adsorption onto low-cost materials. Environ Pollut. 1998; 99: 285-289.