การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากกาแฟ

A study of absorption capacity of zinc ions onto coffee residue activated carbon

[1*]อภิชาติ จิณแพทย์ และ [2#]เอื้อมพร รัตนสิงห์

[1]ภาควิชาวัสดุศาสตร์ทางการทหาร โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

[2]ภาควิชาเคมี-ฟิสิกส์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

[1*]Apichart Jinnapat and [2#]Auamporn Rattanasing

[1]Department of Military and Aerospace Materials Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

[2] Department of Chemistry-Physics Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

[*]apichart_jin@rtaf.mi.th, [#] auamporn_r@rtaf.mi.th

Received : October 31, 2021

Revised : December 13, 2021

Accepted : December 18, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากกาแฟ โดยการกระตุ้นทางเคมีและการคาร์บอไนซ์ ถ่านกัมมันต์ที่ได้ทำการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพในรูปของค่าการดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน ASTM D4607 - 94(2011) พื้นที่ผิวจำเพาะ BET ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย ตามมาตรฐาน ASTM D6556 - 10 สภาวะที่เหมาะในกระบวนการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากกาแฟ คือโดยใช้การกระตุ้นด้วย H_3PO_4 และเผาที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีสมบัติมีค่าการดูดซับไอโอดีนสูงที่สุดเท่ากับ 587 mg/g พื้นที่ผิวจำเพาะ BET เท่ากับ 1,201 m^2/g ปริมาตรรูพรุนรวมเท่ากับ 0.799 cm^3/g และขนาดรูพรุนเฉลี่ย 2.71 nm นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออน (Zn^{2+}) พบว่า ความเข้มข้นของสังกะสีไอออน เท่ากับ 144 ppm และระยะเวลาการดูดซับที่ 24 ชั่วโมง ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้สามารถดูดซับสังกะสีไอออน ได้เท่ากับ 3.771 mg/g

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์, กากกาแฟ, การดูดซับสังกะสีไอออน

Abstract

This research was focused on the adsorption capacity of zinc ion (Zn^{2+}) from activated carbon derived from coffee residue via chemical activation and carbonization processes. The derived activated carbon was characterized in physical terms of porosity, iodine adsorption capacity (followed by ASTM D4607 - 94(2011)), specific surface area, total pore volume and average pore diameters (followed by ASTM D6556 - 10). The optimum conditions were synthesized of activated carbon from coffee residue as follow: using H_3PO_4 as the activator, the activation temperature of 450 ^{O}C and activation time of 3 hrs. The characteristics of the derived activated carbon produced under optimum conditions were an iodine number of 587 mg/g, specific surface area of 1,201 m^2/g, total

pore volume of 0.799 cm^3/g and average pore diameters of 2.71 nm. In addition, this research was studied the optimum condition for the adsorption of zinc ions by the derived activated carbon. The optimum conditions were composed of the concentration of lead (II) ions at 80.619 ppm and stirring time at 3 hrs.

Keywords: activated carbon, coffee residue, the adsorption of lead (II) ions

1. บทนำ

ตลาดกาแฟมีการขยายตัวอย่างมากในช่วงปี 2554 -2558 ทำให้เกษตรกรทำรายได้ปีละประมาณ 5,500 ล้านบาท [1] นอกจากนี้ในปี 2563 ตลาดกาแฟมีมูลค่า 356.57 พันล้านดอลลาร์ และคาดว่าจะสูงถึง 471.86 พันล้านดอลลาร์ในปี 2570 โดยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 4.1% ซึ่งสอดคล้องกับการบริโภคกาแฟของคนไทยที่มีการบริโภคกาแฟในปี 2563 ประมาณการค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 300 แก้วต่อคนต่อปี และเมื่อเปรียบเทียบกับการบริโภคของประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น (400 แก้วต่อคนต่อปี) หรือฝั่งยุโรป (600 แก้วต่อคนต่อปี) และยังพบว่า พฤติกรรมการดื่มกาแฟของคนไทยเปลี่ยนไปค่อนข้างมาก จากการดื่มเพื่อความสดชื่นสู่การดื่มเพื่อบ่งบอกไลฟ์สไตล์และรสนิยมเฉพาะของตนสะท้อนให้เห็นว่า ความต้องการบริโภคกาแฟมีแนวโน้มเติบโตมากขึ้น [2] และได้มีการนำกากกาแฟที่เหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ เช่น การปรับปรุงคุณภาพของดิน [3] ผลิตภัณฑ์ชุดสปา [4] เชื้อเพลิงอัดแท่ง [5] และถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ เป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเหมือนกับถ่าน แต่มีพื้นที่ผิวสูงกว่าเนื่องจากโครงสร้างที่มีรูพรุนแตกแขนงจำนวนมากและขนาดของรูพรุนเล็กระดับ microporosity ทำให้ความสามารถในการดูดซับสารต่างๆ ได้เพิ่มมากขึ้น จึงนิยมนำถ่านกัมมันต์มาใช้ในการสกัดโลหะ ทำนำให้บริสุทธิ์ และหน้ากากกรอง [6] รวมทั้งนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น การดูดซับสีย้อมผ้า [7] สารมลพิษในน้ำ [8] และโลหะหนัก [9] โดยใน ปี 2562 พบว่า คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินยังคงมีความเสื่อมโทรมส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลางและภาคตะวันออกที่มาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ทำให้การระบายน้ำเสียเกินศักยภาพรองรับของแต่ละแหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน [10] ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียควรพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

กองทัพอากาศมีภารกิจที่หลากหลายนอกเหนือ จากภารกิจหลักในการป้องกันประเทศแล้ว ยังมีภารกิจด้านการสนับสนุนอื่นๆ ในบางกิจกรรมก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ เช่น กองโรงงาน 3 กรมสรรพาวุธ กองทัพอากาศ (กรว.3 สพ.ทอ.) เป็นหน่วยงานที่มีภารกิจในการผลิตสร้างซ่อมดัดแปลงตัว ลูกระเบิด ลูกระเบิดและชิ้นส่วนที่เป็นโลหะของจรวด ย้อมสีปลอก กระสุน และมีน้ำเสียของกิจกรรมที่มีโลหะหนักปนเปื้อน เช่น สังกะสีไอออน เลด (II) ไอออน ปัจจุบันน้ำเสียที่เกิดขึ้นถูกรวบรวมลงในถังพัก และมีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น ดังนั้นควรมีการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำกากกาแฟมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์โดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นใช้เองภายในประเทศ ลดต้นทุนการผลิตถ่านกัมมันต์และสามารถใช้ลดปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและเพิ่มมูลค่าของกากกาแฟอีกด้วย

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์จากสารเคมีที่ใช้จริงของ กรว.3 สพ.ทอ.

2.2 โลหะหนักที่ใช้ในการศึกษาการดูดซับ คือ สังกะสี ในรูปของสังกะสีไอออน (Zn^{2+})

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ การวิเคราะห์พื้นที่ผิวสัมผัสของถ่านกัมมันต์ (BET) และค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ตามมาตรฐาน ASTM D4607 - 94(2011) Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณของสังกะสีไอออน โดยเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ธาตุ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP- OES)

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ถ่านกัมมันต์ (ถ่านกรองประสิทธิภาพสูง) คือ ถ่านที่มีความพรุนสูงมาก ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์หรือการก่อกัมมันต์ โดยการนำวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น เปลือกไม้ไผ่ ถ่านหิน กะลามะพร้าว ซึ่งกระบวนการผลิตมี 2 วิธีคือ การกระตุ้นทางกายภาพ เป็นการกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ โดยการนำไม้หรือวัสดุใกล้เคียงไม้อื่นๆ เช่นกะลามะพร้าวมาผ่านกระบวนการคาร์บอไนซ์ โดยการเผาและอัดแรงดันที่อุณหภูมิสูงๆ และการกระตุ้นด้วยสารเคมี นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ในการใช้ดูดซับสารต่างๆ การกำจัดคลอรีน การดูดสี และการกำจัดโลหะหนัก เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ขนาดและพื้นที่ผิวของการดูดซับ ลักษณะสารดูดซับ ค่าพีเอช อุณหภูมิ และเวลาในการสัมผัส

การก่อกัมมันต์ คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่านมีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและทำให้ผิวมีความว่องไวมากขึ้น สำหรับการก่อกัมมันต์ทางเคมี (chemical activation) เป็นการผลิตถ่านกัมมันต์โดยให้สารกระตุ้นทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งขั้นตอนการกระตุ้นด้วยสารเคมีนั้นมีข้อดีคือ ใช้อุณหภูมิที่ไม่สูงมาก (400-600 ^{O}C) แต่มีข้อเสียคือ มีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการล้างสารเคมี ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ในการกระตุ้น ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) [11] ในกระบวนการการกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริก โดยกรดฟอสฟอริกสามารถแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้างของวัตถุดิบได้อย่างสม่ำเสมอและการใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลนั้นทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดการขยายตัว ส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างหลังจากการให้ความร้อน

ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) เป็นค่าสำคัญที่ใช้บอกถึงประสิทธิภาพในการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ ในหน่วยมิลลิกรัม (ของไอโอดีน) /น้ำหนักถ่าน 1 กรัม นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการดูดซับสารของถ่านกัมมันต์ยังขึ้นอยู่กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดและปริมาตรรูพรุนของถ่านกัมมันต์อีกด้วย

การวิเคราะห์ปริมาณของโลหะหนัก ใช้เครื่องมือ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) คือ การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุต่างๆ ในสารตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ได้ 70 ธาตุ ใช้ประโยชน์ในการทดสอบตัวอย่างด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม วิทยาศาสตร์การแพทย์ เช่น การหาปริมาณธาตุในดิน กาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่เป็นพิษในสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์หาชนิดแร่ธาตุในชั้นดินและหิน การวิเคราะห์หาแคดเมียม ตะกั่ว สังกะสีในอาหารทะเล ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพวิเคราะห์และเชิงปริมาณวิเคราะห์

ธัญญาลักษณ์ เกียรติธนาสกุล [12] ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสด้วยวิธีทางกายภาพเพื่อกำจัดตะกั่ว โดยการนำเปลือกไม้ยูคาลิปตัส มาทำการคาร์บอไนซ์ พบว่าภาวะที่เหมาะสม คือที่อุณหภูมิ 500 ^{O}C เวลา 45 นาที โดยการใช้ไอน้ำเป็นตัวกระตุ้นที่อุณหภูมิ 900 ^{O}C เป็นเวลา 120 นาที ถ่านที่ได้มีค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.37 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการดูดซับไอโอดีน 694 mg/L และพื้นที่ผิวแบบบีอีที (BET) 794 m^2/g การศึกษาความสามารถในการดูดซับตะกั่วที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 10-15 mg/mol พบว่า การดูดซับสูงสุดของถ่านกัมมันต์ที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 4 และการดูดซับเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 30 นาที ตลอดช่วงความเข้มข้นเริ่มต้นของโลหะหนักที่ใช้ในการทดลองที่ 10 - 50 mg/L

อภิปรียา คงสุวรรณ [13] ศึกษาการคืนสภาพทองแดงจากสารละลายผสมของทองแดงและตะกั่ว โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสและกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) มาดูดซับน้ำเสียที่ปนเปื้อนโลหะหนักของทองแดงและตะกั่ว โดยค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการดูดซับคือ พีเอช 5 และอัตราเร็วในการดูดซับสูงสุดในการดูดซับทองแดงและตะกั่วมีค่าเท่ากับ 0.45 และ 0.53 mmol/g ความสามารถในการดูดซับพบว่า ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับตะกั่ว

ได้มากกว่าทองแดง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดซิตริกและอุณหภูมิจะทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วและทองแดงสูงขึ้น

Namane และคณะ [14] ได้สังเคราะห์ถ่านกัมมัตจากกากของเมล็ดกาแฟ โดยใช้ $ZnCl_2$ ผสมกับ H_3PO_4 เป็นตัวกระตุ้น และนำถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาการดูดซับฟีนอล อนุพันธ์ของฟีนอล และสีต่าง ๆ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่มีผู้จำหน่ายพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกากเมล็ดกาแฟมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ทางการค้า

4. การดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟด้วยกระบวนการคาร์บอไนซ์และกระตุ้นทางเคมี และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออนของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 4 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 การเตรียมวัตถุดิบ ประกอบด้วยการเตรียมกากกาแฟและการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ดังนี้

การเตรียมกากกาแฟ โดยการเก็บรวบรวมกากกาแฟจากร้านกาแฟร้านใน จ.พระนครศรีอยุธยา จำนวน 2 กิโลกรัม นำมาหาค่าความชื้น และนำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นกรองและนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 ^{O}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการนำสารเบรนเนอไรต์ (Brenerite) และลอคเคเรเตอร์ (Lokereter) ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์สำหรับการวิจัยนี้ปริมาตร 1 ลิตร โดยการนำสารเบรนเนอไรต์ (Brenerite) 30 cm^3 และสารลอคเคเรเตอร์ (Lokereter) 0.3 cm^3 โดยมีการเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร แล้วบรรจุลงขวดแก้วสีชา

4.2 การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

ชั่งกากกาแฟที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 50 ^{O}Cเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ประมาณ 20 กรัม แล้วเติมกรด H_3PO_4 ความเข้มข้น 6.123 mol/L ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีการกวนและกระตุ้นด้วยเครื่องสั่นความถี่สูงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 ^{O}C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อมานำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ นำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาล้างฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) ด้วยวิธีการสกัดแบบซอกเลต (soxhlet extraction) แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 110 ^{O}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.3 การวิเคราะห์คุณภาพของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ ซึ่งประกอบด้วยการหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ (Iodine Number) ตามมาตราฐาน ASTM D4607–94 (2011) และการหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ BET ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย

4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่สังเคราะห์ได้ ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

4.4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสีไอออน

เตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออน ความเข้มข้น 0.5, 3, 10, 20 และ 50 ppm นำมาวัดค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออนด้วยเครื่อง ICP- OES ที่ความยาวคลื่น 213.8 nm และสร้างกราฟมาตรฐานที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออนกับค่าความเข้มแสง

4.4.2 การศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีไอออนที่เหมาะสมของการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ข้างต้นมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน และนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน พบว่า น้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้นเท่ากับ 75 , 144, 272 , 454 และ 733 ppm ตามลำดับ

2) ตวงน้ำเสียสังเคราะห์ จำนวน 100 cm^3 และเติมถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จำนวน 0.5 g จากนั้นกวนแบบช้าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (อัตราเร็วในการกวนประมาณ 120 รอบต่อนาที)

3) นำมากรอง แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน โดยใช้เครื่อง ICP- OES

4.4.3 การศึกษาระยะเวลาการกวนที่เหมาะสมของการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

1) นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เหมาะสมจากข้อ 6.4.2 จำนวน 100 cm^3

2) เติมถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จำนวน 0.5 g จากนั้นกวนแบบช้าเป็นเวลา 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง

3) นำมากรอง แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน โดยใช้เครื่อง ICP- OES

5. ผลการวิจัย

5.1 การหาค่าความชื้นของกากกาแฟ

นำกากกาแฟที่เก็บรวบรวมได้มาชั่งน้ำหนัก 10 กรัม แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103±2 ^{O}C จนน้ำหนักคงที่ และนำมาคำนวณหาค่าความชื้นของกากกาแฟพบว่า กากกาแฟตัวอย่างที่นำมาอบเพื่อหาปริมาณความชื้นที่อุณหภูมิ 103±2 ^{O}C มีปริมาณความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 10.1717±0.0468 %

5.2 การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ โดยการกระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และใช้ความถี่สูง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลผลิตร้อยละของการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ ที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C

ระยะเวลา	น้ำหนัก	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1 ชั่วโมง	ก่อนเผา (g)	20.0012	20.0015	20.0009
	หลังเผา (g)	14.8915	14.9932	14.7582
	ผลผลิตร้อยละ	74.4530	74.9604	73.7877
	ค่าเฉลี่ย	74.4004±0.5881		
2 ชั่วโมง	ก่อนเผา (g)	20.0013	20.0007	20.0009
	หลังเผา (g)	14.7443	14.6713	14.6139
	ผลผลิตร้อยละ	73.7167	73.3539	73.0662
	ค่าเฉลี่ย	73.3790±0.3260		
3 ชั่วโมง	ก่อนเผา (g)	20.0005	20.0009	20.0010
	หลังเผา (g)	14.6973	14.5934	14.5523
	ผลผลิตร้อยละ	73.4847	72.9637	72.7579
	ค่าเฉลี่ย	73.0687±0.3746		

จากตารางที่ 1 แสดงผลผลิตร้อยละของการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่กระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่า ผลผลิตร้อยละมีค่าเท่ากับ 74.4004±0.5881, 73.3790±0.3260 และ 73.0687±0.3746 ตามลำดับ และถ่านกัมมันต์ที่ได้ที่ระยะเวลาเผา 1 ชั่วโมง มีค่าผลผลิตร้อยละมากที่สุด ดังนั้นระยะเวลาการเผาเพิ่มขึ้น จะได้ปริมาณผลผลิตร้อยละของถ่านกัมมันต์ลดลง

7.3 การวิเคราะห์คุณภาพของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่กระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ตามมาตราฐาน ASTM D4607–94 (2011) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ ที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C

ระยะเวลาเผา (ชั่วโมง)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)
1	376
2	300
3	587

จากตารางที่ 2 แสดงค่าการดูดซับไอโอดีน (Iodine Number) ของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่กระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่า ที่ระยะเวลาเผา 3 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับไอโอดีนมากที่สุด เท่ากับ 587 mg/g และที่ระยะเวลาเผา 1 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับไอโอดีนน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 376 mg/g ดังนั้นระยะเวลาเผาที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C ระยะเวลา 3 ชั่วโมง จึงนำถ่านกัมมันต์นี้มาวิเคราะห์หาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ BET ปริมาตรรูพรุนรวม และขนาดรูพรุนเฉลี่ย พบว่า มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่ได้ เท่ากับ 1201 m^2/g ปริมาตรรูพรุนรวม เท่ากับ 0.79 cm^3/g และค่าขนาดของรูพรุนเฉลี่ย เท่ากับ 2.71 nm จึงได้นำค่าเหล่านี้ไปเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ได้จากสารกระตุ้นต่าง ๆ [15] ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากสารกระตุ้นต่าง ๆ กับถ่านกัมมันต์ ที่เผาที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ชนิดของสารกระตุ้น	พื้นที่ผิวจำเพาะBET (m^2/g)	ปริมาตรรูพรุนรวม (cm^3/g)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (nm)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (mg/g)
$ZnCl_2$	511.55	0.25	2.20	655
H_3PO_4	259.53	0.14	2.19	320
H_2SO_4	44.84	0.02	2.04	180
KOH	28.34	0.02	2.04	124
H_3PO_4 และเผา 450 ^{O}C	1201	0.79	2.71	587

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าการใช้สารกระตุ้นด้วย H_3PO_4, H_2SO_4, KOH และ NaOH แต่มีค่าน้อยกว่าการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ นอกจากนี้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ BET และปริมาตรรูพรุนรวมยังมีค่าสูงอีกด้วย ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารโลหะหนักได้ดี และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยขนาดเล็ก (micropore) คือ มีค่ารัศมีของรูพรุนไม่เกิน 15 nm แสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการกระตุ้นด้วย H_3PO_4 และเผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการดูดซับโมเลกุลได้ดี จึงเหมาะสมในการนำมาใช้ในการดูดซับสังกะสีไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

7.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่สังเคราะห์

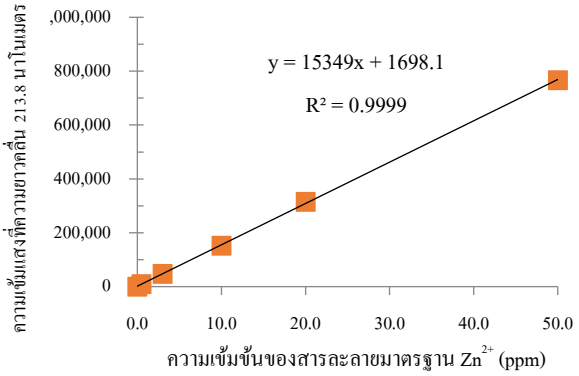
7.4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสีไอออน

นำสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออนความเข้มข้น 0.5, 3, 10, 20 และ 50 ppm นำมาวัดค่าความเข้มแสงที่ความยาวคลื่น 213.8 nm ด้วยเครื่อง ICP- OES ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออน ที่ความยาวคลื่น 213.8 nm

ความเข้มข้นของ Zn^{2+} (ppm)	ความเข้มแสง
0.5	9129.95
3	47921.98
10	152496.95
20	315233.14
50	767076.78

จากตารางที่ 4 แสดงค่าความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออน ที่ 0.5, 3, 10, 20 และ 50 ppm ที่ความยาวคลื่น 213.8 nm เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานและค่าความเข้มแสงได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของสารละลายสังกะสีไอออน

จากรูปที่ 1 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานสังกะสีไอออนที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่มีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์สเปียร์แมนเท่ากับ 0.9999 และพบว่า สมการเชิงเส้นตรงของกราฟคือ y=15349x + 1698.1 เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ (ก่อนการเจือจาง) มาวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเจือจางเท่ากับ 1287 ppm

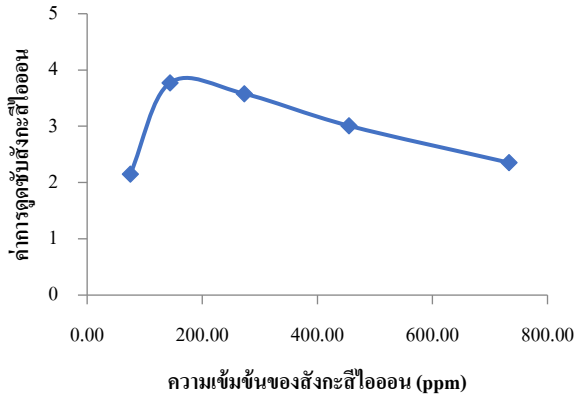
7.4.2 การศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีไอออนที่เหมาะสมของการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมได้ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 75 , 144, 273 , 455 และ 733 ppm ตามลำดับ มาศึกษาการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ โดยการกวนด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมากรองและนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน ด้วยเครื่อง ICP-OES ที่ความยาวคลื่น 213.8 nm ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของการดูดซับ สังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

ความเข้มข้นของสังกะสีไอออน (ppm)	ค่าการดูดซับสังกะสีไอออน (mg/g)
75	2.151
144	3.771
273	3.580
455	3.010
733	2.354

จากตารางที่ 5 แสดงค่าการดูดซับสังกะสี ด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ความเข้มข้นของสังกะสีไอออนเท่ากับ 75, 144, 273, 455 และ 733 ppm และเมื่อนำค่าการดูดซับสังกะสีด้วยถ่านกัมมันต์มาสร้างความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายสังกะสีไอออน ได้กราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่าการดูดซับสังกะสีไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นของ Zn^{2+} ต่างๆ

จากรูปที่ 2 แสดงค่าการดูดซับสังกะสีไอออนของถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นของสังกะสีไอออนที่ 75, 144, 273, 455 และ 733 ppm พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงให้เห็นว่า ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้สามารถดูดซับสังกะสีไอออนสูงสุดที่ความเข้มข้น 144 ppm มีค่าดูดซับสังกะสีไอออน เท่ากับ 3.771 mg/g และนำผลดังกล่าวมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

7.4.3 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของของการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 144 ppm มาศึกษาการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้ระยะเวลาการกวนที่ 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง ด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที แล้วนำมากรองและวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีไอออน ด้วยเครื่อง ICP-OES ที่ความยาวคลื่น 213.8 nm ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของการดูดซับ สังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์

เวลาการกวน (ชั่วโมง)	3	6	12	18	24
ค่าการดูดซับสังกะสีไอออน (mg/g)	2.015	2.126	1.633	2.014	3.771

จากตารางที่ 6 แสดงค่าการดูดซับสังกะสี ด้วยถ่านกัมมันต์ ที่ระยะเวลาการดูดซับ เท่ากับ 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง พบว่า ค่าการดูดซับสังกะสีด้วยถ่านกัมมันต์ที่เวลา 24 ชั่วโมง มีความการดูดซับสูงที่สุด และที่เวลา 12 ชั่วโมง มีความการดูดซับน้อยที่สุด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออนที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ คือ ความเข้มข้นของสังกะสีไอออน เท่ากับ 144 ppm และระยะการดูดซับที่ 24 ชั่วโมง

6. สรุป

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการนำกากกาแฟที่เหลือทิ้งมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียด้วยการนำกากกาแฟมาวิเคราะห์หาค่าความชื้น แล้วนำมากระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และเผาที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C ที่ระยะเวลา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพของถ่านกัมมันต์ด้วยการหาค่าการดูดซับไอโอดีน และค่าพื้นที่ผิว BET จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่มีสมบัติที่ดีที่สุดมาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสังกะสีไอออนในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการศึกษาที่ความเข้มข้นของสังกะสีไอออนเท่ากับ 75, 144, 273, 455 และ 733 ppm และระยะเวลาการกวนที่ 3, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 ค่าความชื้นของกากกาแฟตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.1717%

6.2 การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ พบว่า ที่ระยะการเผา 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ได้ผลผลิตร้อยละของถ่านกัมมันต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 74.4004, 73.3790 และ 73.0687 ตามลำดับ

6.3 การวิเคราะห์คุณภาพถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

6.3.1 การหาค่าไอโอดีนนัมเบอร์ พบว่า การเผา 3 ชั่วโมง ได้ถ่านกัมมันต์ที่ประสิทธิภาพสูงสุด และมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 587 mg/g และมีลักษณะทางกายภาพเป็นสีดำ ดังนั้นการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมคือ การเผาที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และใช้เป็นตัวแทนของการศึกษาการดูดซับสังกะสีไอออนต่อไป

6.3.2 การหาค่าพื้นที่ผิว BET ถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากกากกาแฟที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรด H_3PO_4 และเผาที่อุณหภูมิ 450 ^{O}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ BET เท่ากับ 1,201 m^2/g ปริมาตรรูพรุนรวมเท่ากับ 0.799 cm^3/g และขนาดรูพรุนเฉลี่ย 2.71 nm

6.4 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสังกะสีไอออนด้วยถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่สังเคราะห์

ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่สังเคราะห์สามารถดูดซับสังกะสีไอออนได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 3.580 mg/g ที่สภาวะความเข้มข้นของสังกะสีไอออนที่ 144 ppm และระยะเวลาการดูดซับ 24 ชั่วโมง

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรทำการทดลองต่อยอดโดยการเพิ่มอุณหภูมิการเผาถ่านกัมมันต์ให้สูงขึ้นเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของถ่านกัมมันต์

7.2 ควรทดลองนำถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์ได้ไปทำการทดสอบการดูดซับกับโลหะชนิดอื่นต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. (2561). **ยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560 – 2564**. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพืชสวน.

[2] วริทธิ์นันท์ ชุมประเสริฐ และคณะ. (2563). กาแฟคุณภาพ...ทางออกของเกษตรกรไทย. *แบ่งปันความรู้...สู่ภูมิภาค*. (2): 1-3.

[3] ปัทมา หาญนอก, ภารดี ธรรมาภิชัย และกฤษฎา สารหงส์. (2563) การตรวจสอบเบื้องต้นลักษณะทางกายภาพของข้าวโพดปลูกในดินที่ประกอบด้วยกากกาแฟ. *วารสารผลิตกรรมการเกษตร*. 2(3): 63-72.

[4] อนุชา เสลานอก, ธีระยุทธ์ เพ็งชัย และมาริญา ทรงปัญญา. (2561). การศึกษาแนวทางการนำกากกาแฟมาใช้เป็นวัตถุดิบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุดสปา. *วารสารวิจัยการออกแบบแห่งเอเชีย*. 1(1): 45-53.

[5] นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล และพัชรี ปรีดาสุริยะชัย. (2558). การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*. 7(13): 15-26.

[6] ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก. (2558). ถ่านกัมกัมม์จากไม้ไผ่: ตลาดยังมีความต้องการสูง?. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 23(6): 945-954.

[7] วิรังรอง แสงอรุณเลิศ. (2558). การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยแครงโดยวิธีกระตุ้นทางเคมี. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*. 7(7): 97-110.

[8] ธีรดิตถ์ โพธิตันติมงคล. (2560). ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการกระตุ้นทางเคมีเพื่อประยุกต์ใช้กำจัดสารมลพิษในน้ำ. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 8(1): 196-214.

[9] พัชรี คำธิตา และธนกรกาญจน์ ลิ้มเลิศเจริญวนิช. (2562). การบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยกรดอะซิติกพร้อมกับการดูดซับโลหะหนักด้วยถ่านกัมมันต์จากผักตบชวา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 27(1): 56-67.

[10] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). **รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2563**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: หนึ่งเก้าสองเก้า.

[11] ฉวีวรรณ เพ็งพิทักษ์. (2562). ถ่านกัมมันต์. สาระน่ารู้ กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กุมภาพันธ์.

[12] ธัญญาลักษณ์ เกียรติธนาสกุล. (2552). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากเปลือกไม้ยูคาลิปตัสด้วยวิธีทางกายภาพเพื่อกำจัดตะกั่ว (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

[13] อภิปรียา คงสุวรรณ. (2552). การคืนสภาพทองแดงจากสารละลายผสมของทองแดงและตะกั่ว. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

[14] Namane A., et. al. (2005). Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with $ZnCl_2$ and H_3PO_4. *Journal of Hazardous Materials*, B119: 189–194.

[15] เกศศิริ เหล่าวชิระสุวรรณ. (2552). การเตรียมและศึกษาคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นทางเคมี. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*. 29(2):116-131.