

ชื่อบทความภาษาไทย การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม

ชื่อบทความภาษาอังกฤษ Domestic Wastewater Treatment by Activated Carbon from Tamarind Seed

ชื่อผู้เขียน ภาษาไทย ฤทัยรัตน์ น้อยคนดี
ชื่อผู้เขียน ภาษาอังกฤษ Ruthairat Noikondee

บทคัดย่อ

งานวิจัย เรื่อง การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้ น้ำเสียตัวอย่าง จากคลองสาธารณะ ข้างกำแพงวัดมหาธาตุ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เลือกวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ ทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ สี (color) กลิ่น ค่าความขุ่น (turbidity) ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ค่าความเป็นกรดเป็นเบส (pH) และค่าความต้องการปริมาณก๊าซออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD)

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม พบว่า ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม มีประสิทธิภาพเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย โดยเฉพาะ เรื่อง ค่าความขุ่น ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรดเป็นเบส (pH) และค่าความต้องการปริมาณก๊าซออกซิเจนทางชีวภาพในแหล่งน้ำ (BOD) ผลจากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Least Significant Difference (LSD) ด้วยโปรแกรมทางสถิติ IRRISTAT 4.3 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ค่าเฉลี่ยของดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำทั้ง 4 ตัวนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม สามารถดูดซับสารอินทรีย์ รวมทั้งสิ่งแปลกปลอมในน้ำได้เป็นอย่างดี โดยพิจารณาจากความสามารถในการบำบัดคุณภาพน้ำในเรื่อง ค่าความขุ่น ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรดเป็นเบส (pH) และค่าความต้องการปริมาณก๊าซออกซิเจนทางชีวภาพในแหล่งน้ำ (BOD)

คำสำคัญ : น้ำเสียชุมชน การบำบัดน้ำเสีย การดูดซับ ถ่านกัมมันต์ เมล็ดมะขาม

Abstract

The research of domestic wastewater treatment by activated carbon from tamarind seed study efficiency to treat domestic wastewater in the canal lateral Mahatat Temple wall, analyze six indicators of water that colour, smell, turbidity, electrical conductivity, pH and biological oxygen demand (BOD).

¹บรรทัดที่ 1 ตำแหน่งทางวิชาการ ที่อยู่ของผู้เขียนและคณะ (TH SarabunPSK 12 pt. ปกติ)

บรรทัดที่ 2 ระบุ E-mail ของผู้เขียน (TH SarabunPSK 12 pt. ปกติ)

Furthermore, the study of efficiency of waste water treatment using activated carbon from tamarind seed shows that is able to treat turbidity, electrical conductivity, pH and biological oxygen demand (BOD). Considering the Least Significant Difference (LSD) by using IRRISTAT 4.3 statistically program at probability 95% indicate that the average of 4 indexes has variance at very high significant

In conclusion, the activated carbon from tamarind seed can be perfectly applied to absorb organics waste in wastewater that show in colour, smell, turbidity, electrical conductivity, pH and biological oxygen demand (BOD).

Keywords : domestic wastewater, wastewater treatment, absorption, activated carbon, tamarind seed

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากมนุษย์ต้องใช้น้ำในการอุปโภค การบริโภค การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรม การคมนาคม ตลอดจนเป็นแหล่งรองรับของเสียจากกิจกรรมต่างๆ การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการพัฒนาเศรษฐกิจที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดการขยายตัวของชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น ประชาชนหนึ่งคนต้องการใช้น้ำในปริมาณ 200-400 ลิตรต่อวัน ในจำนวนนี้มีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 แปรสภาพเป็นน้ำเสีย และส่วนใหญ่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมคุณภาพลงจนไม่สามารถนำน้ำนั้นมาใช้ประโยชน์ได้

ปัญหามลพิษทางน้ำจัดว่าเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมากประการหนึ่ง ที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนอย่างชัดเจน ทั้งปัญหาด้านสุขภาพอนามัย ด้านสังคม และด้านเศรษฐกิจ การแก้ไขปัญหามลพิษทางน้ำโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี อาทิ การเติมสารเคมี การใช้เทคโนโลยีเพื่อกำจัดสารพิษที่เจือปนในน้ำ และการเพิ่มก๊าซออกซิเจน ซึ่งวิธีการเหล่านี้ส่วนใหญ่มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นการพัฒนาวิธีการบำบัดคุณภาพน้ำเสียทางชีวภาพ ด้วยการนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียที่ได้ผลดี ไม่มีสารเคมีตกค้างและใช้ต้นทุนต่ำกว่าอีกด้วย

งานวิจัยนี้ ให้ความสนใจในการบำบัดน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม เนื่องจากจังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นจังหวัดที่มีการปลูกมะขามหวานมากเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศ และมะขามหวานยังเป็นพืชประจำจังหวัดเพชรบูรณ์อีกด้วย ผลผลิตที่นิยมบริโภค คือ เนื้อ ส่วนเมล็ดมีเพียงประชาชนบางกลุ่มเท่านั้นที่นิยมบริโภค ทำให้เมล็ดมะขามกลายเป็นเศษเหลือทิ้งไปโดยปริยาย อีกทั้งเมล็ดมะขาม เป็นวัตถุเนื้อแข็ง มีความชื้นต่ำ และมีปริมาณคาร์บอนสูง เหมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อใช้ในการดูดซับสารเจือปนในน้ำ ซึ่งนอกจากเป็นการแก้ไขปัญหारेื่องน้ำเสียแล้ว ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้เศษเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นการใช้ธรรมชาติช่วยแก้ไขปัญหาล้างแวลล้อม และยังเป็นการสร้างองค์ความรู้ เพื่อการเผยแพร่ข้อมูลทางด้านการเกษตร และทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นประโยชน์ อันส่งผลให้เกิดความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาขนาด ที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วน และระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียชุมชนทางด้านกายภาพและเคมี

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมการทดลอง

1.1 การเตรียมเมล็ดมะขาม

การเลือกเมล็ดมะขามเพื่อนำมาทำถ่านกัมมันต์นั้น เลือกใช้เมล็ดมะขามที่หลีกเลี่ยงการนำไปบริโภคหรือใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ดังนั้น เมล็ดมะขามที่ได้มาก อาจมีการปนเปื้อนด้วยเปลือกมะขาม เศษเนื้อมะขาม ดิน หิน หรือแม้กระทั่งอาจมีมอดปนมาด้วย ดังนั้น จึงต้องมีการคัดเลือกเมล็ดมะขามที่มีความสมบูรณ์ สะอาด และไม่ผุ

นำเมล็ดมะขามที่ได้ ไปล้างน้ำทำความสะอาด และคัดเลือกเมล็ดที่ฟ่อ หรือลอยน้ำออก แล้วนำเมล็ดมะขามที่คัดเลือกไปตากแดดให้แห้ง ร่อนด้วยตะแกรงอีกครั้ง เพื่อกำจัดเศษสกปรกที่อาจติดค้างอยู่ที่เมล็ด จากนั้นนำเมล็ดไปอบให้แห้ง เพื่อไล่ความชื้นออก ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อเมล็ดแห้งสนิทแล้ว จึงเข้าเตาเผา โดยทำการเผาที่อุณหภูมิ 650 – 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

นำถ่านจากเมล็ดมะขามไปตรวจสอบคุณสมบัติการเป็นถ่านกัมมันต์ โดยการตรวจสอบไอโอดีนัมเบอร์ และวัดค่าการนำไฟฟ้า พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูง เหมาะสมในการนำไปดูดซับสารมลพิษในน้ำ

2. วิธีการ

2.1 ทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม โดยการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี เปรียบเทียบก่อน/ หลัง การบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม ตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีโดยใช้ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ 6 ชนิด แบ่งเป็น ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำด้านกายภาพ ได้แก่ สี (color) กลิ่น ค่าความขุ่น (turbidity) และค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ส่วนดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำด้านเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นเบส (pH) และค่าความต้องการปริมาณก๊าซออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD)

ตัวอย่างของน้ำเสียที่ใช้ในการทำการวิเคราะห์เป็นน้ำเสียที่ได้มาจาก คลองสาธารณะบริเวณสี่แยกวัดมหาธาตุอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

3. การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลอง

ทำการตรวจวิเคราะห์ตามวิธีการและขั้นตอนที่เตรียมไว้ และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ในการบำบัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี โดยเน้นการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ) ของค่าความขุ่น และค่าบีโอดีในน้ำเสีย ซึ่งคำนวณได้จากค่าความขุ่น และค่าบีโอดีในน้ำเสียก่อนการบำบัด เปรียบเทียบกับค่าความขุ่น และค่าบีโอดีในน้ำเสียหลังจากการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ตามสมการดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)} = \left[\frac{\text{ค่าความชุ่มชื้นก่อนการบำบัด} - \text{ค่าความชุ่มชื้นหลังการบำบัด}}{\text{ค่าความชุ่มชื้นก่อนการบำบัด}} \right] \times 100 \dots \dots \dots \text{สมการที่ (1)}$$

$$\text{ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)} = \left[\frac{\text{ค่าบีโอดีก่อนการบำบัด} - \text{ค่าบีโอดีหลังการบำบัด}}{\text{ค่าบีโอดีก่อนการบำบัด}} \right] \times 100 \dots \dots \dots \text{สมการที่ (2)}$$

4. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) แบบ Factorial in CRD จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IRRISTAT 4.3 โดยใช้หลักในการประเมินที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัย

1. ทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม โดยการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี เปรียบเทียบก่อน/ หลัง การบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์จากเมล็ดมะขาม ในอัตราส่วนและระยะเวลาที่แตกต่างกัน

1.1 กลิ่น และสีของน้ำ

1.1.1 ผลการบำบัดกลิ่น และสีของน้ำเสียจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม ที่มีขนาดน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร สามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในเรื่องสีและกลิ่นได้ โดยพิจารณาจากอัตราส่วน น้ำเสีย ต่อ ถ่านกัมมันต์ตามระยะเวลาที่บำบัดได้ ดังนี้ อัตราส่วน 1 : 1 สามารถบำบัดได้ที่เวลา 150 นาที ซึ่งน้ำเสียที่บำบัดได้มีสีเทาจางๆ เริ่มใส และมีกลิ่นเหม็นอ่อนๆ อัตราส่วน 2 : 1 สามารถบำบัดได้ที่เวลา 60 นาที ซึ่งน้ำเสียที่บำบัดได้ มีสีเทาจางๆ เริ่มใส และมีกลิ่นเริ่มจางลงและ อัตราส่วน 3 : 1 สามารถบำบัดได้ที่เวลา 45 นาที ซึ่งน้ำเสียที่บำบัดได้ใส ไม่มีสี และไม่กลิ่น

1.2.2 ผลการบำบัดกลิ่น และสีของน้ำเสียจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม ที่มีขนาดมากกว่า 250 ไมโครเมตร พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดมากกว่า 250 ไมโครเมตร สามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชนในเรื่องสีและกลิ่นได้ โดยพิจารณาจากอัตราส่วน น้ำเสีย ต่อ ถ่านกัมมันต์ตามระยะเวลาที่บำบัดได้ ดังนี้ อัตราส่วน 1 : 1 สามารถบำบัดได้ที่เวลา 60 นาที ซึ่งน้ำเสียที่บำบัดได้มีสีเทาจางๆ เริ่มใส และมีกลิ่นเริ่มจางอัตราส่วน 2 : 1 สามารถบำบัดได้ที่เวลา 150 นาที ซึ่งน้ำเสียที่บำบัดได้ ใส ไม่มีกลิ่นและ อัตราส่วน 3 : 1 สามารถบำบัดได้ที่เวลา 120 นาที ซึ่งน้ำเสียที่บำบัดได้ใส ไม่มีสี และไม่กลิ่น

1.2 ค่าความชุ่ม

1.2.1 ผลการบำบัดค่าความชุ่มชื้นของน้ำเสียจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม ที่มีขนาดน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความชุ่มชื้นของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดน้อยกว่า 250 ไมโครเมตรโดยใช้อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำเสีย เท่ากับ 1 : 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุด ที่เวลา 150 นาที คือ เท่ากับ 22 เอ็น ที ยู อัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำเสีย เท่ากับ 2 : 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุด ที่เวลา 150 นาที คือ เท่ากับ 19.4 เอ็น ที ยู และอัตราส่วน ถ่านกัมมันต์ ต่อ น้ำเสีย เท่ากับ 3 : 1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุด ที่เวลา 150 นาที คือ เท่ากับ 12 เอ็น ที ยู เมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ค่า

1.4.1 ผลการบำบัดค่าพีเอชของน้ำเสียจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขามที่มีขนาดน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดน้อยกว่า 250

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนในคลองสาธารณะบริเวณสี่แยกวัดมหาธาตุอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเมล็ดมะขาม 2 ขนาด คือ ขนาดน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร และ ขนาดมากกว่า 250 ไมโครเมตร โดยการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีใช้ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ สี (color) กลิ่น ค่าความขุ่น (turbidity) และค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ค่าความเป็นกรดเป็นเบส (pH) และค่าความต้องการปริมาณก๊าซออกซิเจนทางชีวภาพ (BOD) และนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ผล ประสิทธิภาพ และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) แบบ Factorial in CRD จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IRRISTAT 4.3 โดยใช้หลักในการประเมิน ที่ระดับความ เชื่อมั่น 95%

พบว่า ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดน้อยกว่า 250 ไมโครเมตร สามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่มี ขนาดมากกว่า 250 ไมโครเมตร ทั้งนี้ เนื่องจากการบำบัดน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์นั้น เกิดจากปฏิกิริยาการดูดซับ (adsorption) ซึ่งมีหลักการว่าสารใดๆ ที่ต้องการดูดซับ (adsorbate) จะดูดติดกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ (adsorbent) ดังนั้น หากตัวดูดซับ (adsorbent) มีพื้นที่ผิวจำนวนมาก ก็จะมีความสามารถในการดูดซับสารที่ต้องการดูดซับได้มาก เช่นเดียวกัน ดังนั้น ในกรณีนี้ทำการทดลองนี้ เมื่อให้ปริมาตรของตัวดูดซับเท่ากัน ตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กกว่า ก็จะมี พื้นที่ผิวมากกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของการดูดซับมีมากกว่าเช่นกัน

ข้อเสนอแนะ

อนาคตอาจทำการทดลองประยุกต์วิธีการศึกษาครั้งนี้ เพื่อ ทดลองใช้วัสดุเหลือใช้อื่นๆ ในการสร้างตัวดูดซับ (adsorbent) เช่น ผลหมาก เมล็ดลำไย เมล็ดละมุด เศษไม้ เป็นต้น เพื่อเป็นการลดอัตราความสูญเสียของ ทรัพยากรธรรมชาติ เป็นการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งเป็นการพัฒนาหรือต่อยอดองค์ความรู้ ในการประยุกต์ใช้ธรรมชาติบำบัดปัญหาสิ่งแวดล้อม อันเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด เพราะช่วย ประหยัดงบประมาณ ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และผู้ปฏิบัติงาน อันสามารถช่วยให้สิ่งแวดล้อมคงความยั่งยืนต่อไป

บรรณานุกรม

- เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- เกษม จันทรแก้ว. 2547. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 6. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษและสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2544. ศัพท์บัญญัติและนิยามสิ่งแวดล้อมน้ำ. โรงพิมพ์เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- คณิตาตั้งคณานุกรักษ์. 2542. การวิเคราะห์เชิงเคมีไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 1. โครงการตำราคณะวิทยาศาสตร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- ชัยวัฒน์เจนวานิชย์. 2525. พจนานุกรมเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเตียนสโตร, กรุงเทพฯ.
- นิพนธ์ตั้งคณานุกรักษ์และคณิตาตั้งคณานุกรักษ์. 2550. หลักการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์. 2549. เอกสารประกอบการสอน เรื่องหลักการและเทคนิคการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (Principle and Techniques of Water Quality Analysis). วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2550. เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ (DO, BOD, COD & TOC). วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ภาสกร สว่างวุฒิธรรม, ศุภโชค ขายแสน และสมชาย กองทรัพย์เจริญ. 2543. การดูดซับตะกั่วและโครเมียมโดยใช้ ถ่านกัมมันต์และซีเถ้าลอย. ปริญญานินพนธ์ระดับปริญญาตรีภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มันสินตันทุลเวศม์. 2538. วิศวกรรมการประปาเล่ม 1.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- อรรวรรณศิริโชติ, วรรณานินาจิตร, แหลมทองชื่นชม, ดวงพรชวนจิตและกนกรัตน์นาวิการ. 2545. การดูดซับไอออน เหล็กบนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากขานอ้อยเปลือกกล้วยและกะลามะพร้าว. วารสารสงขลานครินทร์ฉบับ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี24(2): 235-242.
- Faust, S.D. and Aly, O.M.1987. **Adsorption Process for Water Treament**. Butterworth publ., Boston.
- Gonzalez, E. and Cid, P. 2003. **Removal of textile dyes from aqueous solutions by adsorption on biodegradable wastes**. Environmental technology. 24(7) : 821-829.
- Industrial Standard. 2004. **Certificate of Analysis**. 2004-01-T-04.
- Maron, S.H. and Prutton, C.F. 1961. **Principles of Physical Chemistry**. 3rd ed. Macmillan, Co. New York.
- Robert W. Peters and Young Ku. 1987. **Removal of sulfides from waters and wastewaters by activated carbon**. Reactive Polymers, Ion Exchangers, Sorbents. 5(1): 93-104.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณท่าน ดร.ปิยรัตน์ มูลศรี ที่ได้คำแนะนำในการผลิตถ่านกัมมันต์ พร้อมทั้งอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิต ขอขอบคุณคุณวรินทร์ ขาดิสภาพ คุณนิภาพร ปาแก้ว คุณสมเพียร พักทอง และคุณแสงจันทร์ สอนสว่าง เจ้าหน้าที่ศูนย์ วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ช่วยเหลือเรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ รวมทั้งสถานที่ทำการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วัลลภ อารีรบ อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำในเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วง ได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือเสมอมา รวมทั้งนักศึกษาที่ช่วยหาวัตถุดิบในการทดลอง ช่วยเผาถ่าน และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่และครอบครัว ที่คอย เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้อย่างเต็มกำลังความสามารถ จนกระทั่งประสบความสำเร็จ