บทที่ 5

การสรุปผล อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

1) การเตรียมถ่านไม้ไผ่และถ่านไม้ไผ่ที่ปรับสภาพพื้นผิวทางเคมีด้วยด้วยสารละลายละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)

เศษไม้ไผ่ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถนำมาเตรียมเป็นถ่านไม้ไผ่ได้ ซึ่งมีลักษณะพื้นผิวภาคตัดขวางมีรูพรุนกระจายทั่วทั้งพื้นผิว ส่วนพื้นผิวด้านนอกมีลักษณะเป็นลำปล้องและมีรูพรุนเล็กๆกระจายในแต่ละปล้อง ซึ่งการที่พื้นผิวมีรูพรุนกระจายเป็นจำนวนมากนั้นเป็นลักษณะที่ดีของวัสดุดูดซับซึ่งจะทำให้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับมาก และเมื่อนำถ่านไม้ไผ่มาปรับสภาพพื้นผิวทางเคมีด้วย $KMnO_4$ จะพบว่าพื้นผิวและในรูพรุนของถ่านไผ่ถูกเติมเต็มด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ซึ่งสามารถยืนยันได้ด้วยผลสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุบนพื้นผิวที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค Energy dispersive Spectroscopy (EDS) พบว่าบนพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวนั้นพบธาตุโพแทสเซียม (K) มากกว่าบนพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่ และพบธาตุแมงกานีส (Mn) ด้วย ในขณะที่บนพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่ไม่พบ

2) การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะของถ่าน

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะในสารละลายโลหะผสมที่ประกอบด้วยโลหะ 7 ชนิด คือ แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของ Cd Cr และ Pb อย่างละ 0.10 ppm ส่วนความเข้มข้นเริ่มต้นของ Cu Zn Fe และMn อย่างละ 1.00 ppm ภายใต้เงื่อนไขการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการดูดซับ อุณหภูมิที่ใช้ในการดูดซับ รวมถึงขนาดอนุภาคของถ่าน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับของถ่านไม้ไผ่กับถ่านไม้ไผ่ปรับสภาพด้วย $KMnO_4$ ถ่านกัมมันต์ทางการค้า และถ่านกัมมันต์ทางการค้าปรับสภาพด้วย $KMnO_4$ พบว่าเศษไม้ไผ่สามารถนำมาเพิ่มมูลค่าและลดปัญหาขยะทางการเกษตรได้โดยทำเป็นถ่านไม้ไผ่ซึ่งสามาถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับโลหะในน้ำได้โดยไม่ต้องปรับสภาพพื้นผิวด้วย $KMnO_4$ และต้องทำการคัดขนาดของถ่านให้มีทั้งแบบขนาดใหญ่และขนาดเล็กผสมกัน เนื่องจากถ่านไม้ไผ่ขนาดใหญ่ไม่สามารถการดูดซับ Cd และ Zn แต่ถ่านไม้ไผ่ขนาดเล็กมีประสิทธิภาพในการดูดซับโละได้ทั้ง 7 ชนิด

3) ต้นแบบระบบบำบัดน้ำ

ต้นแบบระบบบำบัดน้ำบาดาลเพื่อการบริโภคที่ใช้วัสดุบำบัดน้ำบาดาลที่เตรียมจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้งเศษไม้ไผ่และเปลือกไข่ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ 1) ปั๊มอัตโนมัติสำหรับปั๊มน้ำจากจุดจ่ายน้ำบาดาลเข้าถังเก็บน้ำ 2) ถังเก็บน้ำก่อนเข้าระบบบำบัดขนาด 2500 ลิตร

พร้อมติดตั้งชั้นกรองอากาศสแตนเลส 3) ปั๊มอัตโนมัติสำหรับดันกรอง 4) ถังกรองรูปทรงกระบอกที่บรรจุถ่านไม้ไผ่ จำนวน 2 ถัง 5) ถังกรองรูปทรงสี่เหลี่ยมที่บรรจุสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากเปลือกไข่ที่ผสมกับถ่านไม้ไผ่ พร้อมติดตั้งระบบแสงไฟจากหลอด Black light 3 หลอด จำนวน 1 ถัง 6) ถังกรองรูปทรงกระบอกที่บรรจุถ่านไม้ไผ่ จำนวน 1 ถัง 7) ถังเก็บน้ำที่ผ่านการบำบัดขนาด 2000 ลิตร พร้อมติดตั้งระบบลูกลอยไฟฟ้าตัดต่อการทำงานเต็ม-แห้ง 8) ปั๊มอัตโนมัติจ่ายเข้าอาคารแปรรูปผัก ผลไม้ และสมุนไพรของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ ต้นแบบระบบบำบัดนี้มีความแตกต่างจากระบบบำบัดทั่วไป คือ 1) มีการออกแบบติดตั้งระบบวาล์วน้ำเข้า/น้ำออก ที่สามารถใช้ได้ทั้งระบบกรอง ระบบการล้างวัสดุดูดซับ และสามารถเปิดเก็บน้ำตัวอย่างสำหรับนำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำได้ 2) มีการออกแบบและสร้างถังกรองรูปทรงสี่เหลี่ยมที่บรรจุสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากเปลือกไข่ที่ผสมกับถ่านไม้ไผ่พร้อมติดตั้งระบบแสงไฟจากหลอด Black light ขึ้นมาใหม่ นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งวาล์วลดแรงดันไว้ที่ชุดของระบบวาล์ว และติดตั้งเกจวัดแรงดันภายในตัวถังที่ตำแหน่งด้านบนของตัวถัง เพื่อใช้ลดแรงดันและอ่านค่าแรงดันในตัวถังกรอง

4) การสังเคราะห์ การหาลักษณะเฉพาะ และการหาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ของสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์เจือถ่านไม้ไผ่ ($Ca(OH)_2$/Charcoal)

สารประกอบ $Ca(OH)_2$/Charcoal สามารถสังเคราะห์จากการเจือสารประกอบ $Ca(OH)_2$ ที่สังเคราะห์จากเปลือกไข่ ด้วยเทคนิคโซโนเคมิคัล และการเผาที่อุณหภูมิสูง จากการศึกษาตัวอย่างผลึก $Ca(OH)_2$ ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกไข่สามารถยืนยันได้ว่าสารประกอบที่ได้เป็น $Ca(OH)_2$ ที่มีโครงสร้างแบบ Hexagonal และพบสารอื่นๆ เจือปนอยู่เล็กน้อย ได้แก่ CaO_2 มีโครงสร้างแบบ Tetragonal และ $CaCO_3$ ที่มีโครงสร้างแบบ Rhombohedral เมื่อนำไปศึกษารูปร่างจะเห็นว่า $Ca(OH)_2$ มีอนุภาคเป็นทรงกลม (Spherical particle) ขนาดประมาณ 30 nm กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของถ่านไม้ไผ่ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular shape) และมีรูพรุ่นบนผิวเป็นบางส่วน ในปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณที่เจือลงไป และจากการศึกษาสมบัติทางแสงพบว่า ถ่านมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 209 nm และเมื่อเจือ $Ca(OH)_2$ ลงไปในถ่าน พบว่าถ่านจะมีค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นสูงขึ้น

จากการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารประกอบ $Ca(OH)_2$ ก่อนการเจือผงถ่านไม้ไผ่ พบว่า สามารถยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้เกือบ 100% เทียบเท่ากับการยับยั้งแบคทีเรียด้วยยา Tetracycline และเมื่อนำ $Ca(OH)_2$ มาเจือในผงถ่านไม้ไผ่ ($Ca(OH)_2$/Charcoal) พบว่าสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดีขึ้นเมื่อเจือ $Ca(OH)_2$ ในปริมาณที่มากขึ้น และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันในแบคทีเรียทั้งสองชนิดที่ทำการศึกษาแต่จะสามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Escherichia coli* ได้ดีกว่า *Staphylococcus aureus* ดังนั้นทางกลุ่มวิจัยจึงได้เลือก 1.2% $Ca(OH)_2$/Charcoal ไปใช้ในระบบบำบัดน้ำบาดาลในขั้นตอนต่อไป

5) การนำสารประกอบ $Ca(OH)_2$/Charcoal ไปใช้ในการบำบัดน้ำ

การวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ในน้ำบาดาลก่อนและหลังการบำบัด โดยการตรวจวิเคราะห์หาค่า MPN (Most Probable Number index) ใช้การทดสอบระบบหลายหลอด (Multiple tubes fermentation technique) แบบระบบ 3 หลอด หรือ 5 หลอด พบว่าน้ำบาดาลก่อนการบำบัดมี

เชื้อจุลินทรีย์จำพวก *Enterobacter* sp. จำนวน 3.2×10^2 CFU/ml และในจำนวนนี้ไม่พบ *Escherichia coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรค ดังนั้นจึงถือว่าคุณภาพของน้ำบาดาลก่อนการบำบัดยังคงอยู่ในมาตรฐานน้ำบริโภคตามเกณฑ์สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 322) และเมื่อนำน้ำบาดาลดังกล่าวไปบำบัดด้วยระบบกรองที่ทางกลุ่มวิจัยออกแบบและติดตั้งขึ้น โดยมีการบรรจุสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์คือ 1.2% $Ca(OH)_2$/Charcoal ลงไปในบ่อบำบัดจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำบาดาลดังกล่าว จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งละ 5 จุด จำนวน 3 ครั้ง (15 ตัวอย่าง) แล้วนำมาวิเคราะห์หาเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธีวิเคราะห์หา MPN ข้างต้น พบว่า ตัวอย่างน้ำทั้ง 15 ตัวอย่าง ให้ผลค่า MPN น้อยกว่า 3 และไม่พบแบคทีเรียโคลิฟอร์มและฟีคัลโคลิฟอร์มในน้ำตัวอย่าง จากผลดังกล่าวเมื่อนำไปเทียบตามเกณฑ์การวิเคราะห์หาเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำดื่ม ด้วยวิธี MPN ของ WHO จึงไม่ต้องนำน้ำตัวอย่างไปตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ในขั้นตอนต่อไป และแสดงให้เห็นว่าน้ำตัวอย่างที่ผ่านระบบบำบัดมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์น้อยมาก และไม่เป็นอันตราย สำหรับการนำไปบริโภค เนื่องจากปริมาณและชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ยังคงเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของ $Ca(OH)_2$/Charcoal ที่เจือ $Ca(OH)_2$ ในปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งอาจจะให้ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ดีขึ้น

2) การนำสารประกอบ $Ca(OH)_2$/Charcoal ไปใช้ในการบำบัดน้ำ ควรนำสารยับยั้งแบคทีเรีย $Ca(OH)_2$/Charcoal ไปทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์กับแหล่งน้ำตัวอย่างที่มีเชื้อจุลินทรีย์เกินมาตรฐาน เพื่อให้สามารถทดสอบได้ว่าระบบบำบัดสามารถใช้งานได้ดีหรือไม่

3) เนื่องจากในถังบำบัดเชื้อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำบาดาลมีการหมุนวนของสารยับยั้งแบคทีเรีย $Ca(OH)_2$/Charcoal อยู่ตลอดเวลาขณะกรอง อาจทำให้สารยับยั้งแบคทีเรียสามารถหลุดหรือตกตะกอนที่ก้นถังและไม่ถูกแสงจากหลอดยูวี ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกรองไม่คงที่ ทำให้ต้องมีการเติมสารยับยั้งแบคทีเรียนี้เป็นระยะๆ หากจะพัฒนาระบบกรองควรหาวิธีที่จะทำให้สารยับยั้งแบคทีเรียนี้ถูกตรึงอยู่กับที่ไม่ให้มีการหมุนวนตามกระแสน้ำ หรือหากการพัฒนาระบบกรองนี้ยังมีความจำเป็นให้วัสดุดูดซับหมุนวน ควรออกแบบแผงกั้นที่วัสดุดูดซับไม่ให้กระทบโดยตรงกับหลอดยูวีและไม่ลอยซึ่งจะทำให้แสงจากหลอดยูวีกระทบสารยับยั้งแบคทีเรียได้ดีขึ้น อีกทั้งจะช่วยยืดระยะเวลาการเสื่อมประสิทธิภาพของสารยับยั้งแบคทีเรียได้อีกด้วย

4) เนื่องจากหลอดยูวีถูกติดตั้งด้านบนของถังบำบัด ทำให้แสงยูวีกระทบกับสารยับยั้งแบคทีเรียได้เพียงแค่ส่วนบนของถังเท่านั้น ดังนั้นการติดตั้งหลอดยูวีควรออกแบบให้แสงสามารถฉายลงบนสารยับยั้งแบคทีเรียได้อย่างเต็มที่