บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. จากการศึกษาประสิทธิภาพของไคโตซานบีดส์ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน พบว่าการใช้ไคโตซานบีดส์ภายใต้ระบบการเขย่ามีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ไคโตซานบีดส์ในระบบคอลัมน์ไคโตซาน ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของระบบการเขย่า คือไคโตซานบีดส์ขนาด 0.2 มม. ปริมาณ 10% (w/v) พีเอชของน้ำเสียมีค่าประมาณ 5 โดยสามารถลดค่าบีโอดีได้ 44.52%

2. การใช้ตะกอนเร่งสามารถบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง นั่นคือ สามารถลดค่าบีโอดีของน้ำเสียได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (20 มก./ล.)โดยใช้ระยะเวลาในการศึกษานาน 6 วัน

3. เมื่อนำระบบตะกอนเร่งมาใช้ร่วมกับไคโตซานบีดส์ในระบบการเขย่าเพื่อบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีขึ้น และช่วยลดระยะเวลาในการบำบัดเหลือเพียง 3 วัน

อภิปรายผลการวิจัย

โดยทั่วไปน้ำเสียจากแหล่งชุมชนในประเทศไทยมีลักษณะไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับว่าเป็นน้ำเสียจากอาคารชุด หรือเป็นน้ำเสียที่ผ่านบ่อเกรอะ หรือเป็นน้ำเสียที่มีน้ำใต้ดินและน้ำฝนเข้ามาปะปน (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) ในการศึกษาครั้งนี้เป็นน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ทำการเก็บตัวอย่างจากบริเวณท่อระบายน้ำข้างตลาดสดหนองมน ซึ่งเป็นจุดที่มีการกักเก็บน้ำเสียก่อนที่จะระบายลงสู่ท่อระบายน้ำรวมของเทศบาล น้ำเสียในบริเวณนี้ส่วนใหญ่ได้จากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในตลาดสด เช่น การประกอบอาหาร การล้างอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการประกอบอาชีพ รวมถึงการทำความสะอาดสินค้าและบริเวณที่ประกอบอาชีพ จึงทำให้ลักษณะของน้ำเสียบริเวณนี้ประกอบไปด้วยเศษอาหาร สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่สามารถย่อยสลายได้เป็นส่วนใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต น้ำเสียในบริเวณนี้มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ต่าง ๆ มาก สังเกตได้จากกลิ่นและสีของน้ำเสียที่มีลักษณะค่อนข้างเป็นสีดำคล้ำมีค่าบีโอดีค่อนข้างสูงประมาณ 2,000-4,000 มก./ล. มีค่าพีเอชเป็นกรด (ประมาณ 5)

ในการศึกษานี้ตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บ (จากการวิเคราะห์บีโอดีในเบื้องต้น) มาใช้นำมาเจือจางด้วยน้ำที่ปราศจากอิออนเพื่อให้ได้ค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับค่าบีโอดีของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทั่วไปก่อนเข้าสู่ระบบการบำบัด เนื่องจากน้ำเสียจากแหล่งชุมชนก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดได้เกิดการเจือจางตามธรรมชาติจากแหล่งน้ำต่าง ๆ เช่น น้ำฝนที่ไหลลงสู่ท่อระบายน้ำ น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน หรือน้ำล้างถนน นั่นคือมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วงประมาณ 110.00-440.00 มก./ล. ดังแสดงในบทที่ 2 ตาราง 1 จึงทำให้ตัวอย่างน้ำเสียมีความเจือจางของสิ่งสกปรกน้อยลง สีของน้ำเสียค่อนข้างคล้ำเพียงเล็กน้อยและกลิ่นที่เบาบางลง ในการศึกษานี้ได้ตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ (1) ค่าบีโอดีเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความสกปรกของน้ำเสีย ซึ่งความสกปรกนี้อาจเกิดจากสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเหม็น (2) ปริมาณสารแขวนลอยซึ่งหมายถึงของแข็งแขวนลอยในน้ำอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ และ 3.) ความขุ่นหมายถึงของแข็งแขวนลอยที่กั้นทางเดินของแสงในน้ำ อาจเกิดจากของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดแตกต่างกันมากซึ่งจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้

การบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนโดยทั่วไปนิยมใช้การบำบัดขั้นที่สอง (secondary treatment) นั่นคือการกำจัดสารอินทรีย์ด้วยขบวนการทางชีววิทยา ได้แก่ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) (พิมล เรียนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2525) ซึ่งมีข้อดีคือ (1) สามารถนำตะกอนเร่งที่แยกจากถังตกตะกอนกลับมาใช้ใหม่ในถังเติมอากาศได้ (2) ประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากเป็นการใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสารอินทรีย์ (Cheremisnioff, 1993) ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำตะกอนเร่งเข้ามาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน นอกจากนี้ยังได้นำไคโตซานเข้ามาใช้ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน จากแนวคิดในการนำไคโตซานมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียคือ นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบการบำบัดตะกอนเร่ง และการนำมาใช้ในการบำบัดขั้นที่สองร่วมกับการใช้ตะกอนเร่ง เนื่องจากไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ที่พบได้ตามธรรมชาติ นั่นคือพบว่าเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในเปลือกกุ้ง เปลือกปู และผนังเซลล์ของรา (Aiba, 2001) ไคโตซานเป็นสารที่มีลักษณะพิเศษในการดูดซับสารและจับตัวถูกละลายต่าง ๆ ในสารละลาย สามารถย่อยสลายได้ง่าย มีความปลอดภัยต่อมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อม (ไคโตซาน สารมหัศจรรย์, 2543) นอกจากนี้ ยังเป็นการแก้ปัญหาในการช่วยลดปริมาณเปลือกกุ้งและเปลือกปูที่เป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลแปรรูปให้มีปริมาณที่น้อยลงไม่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากการนำไคโตซานมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า ไคโตซานสามารถใช้เป็นตัวตกตะกอนสารอินทรีย์ โปรตีน และใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543)

การศึกษานี้มุ่งเน้นการนำไคโตซานมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน การนำไคโตซานมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจากแหล่งชุมชนยังมีการศึกษาไม่มากนัก เนื่องจากระบบบำบัดแบบดั้งเดิมที่ใช้ คือ ระบบตะกอนเร่งค่อนข้างมีประสิทธิภาพอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามการศึกษานี้มีความสนใจที่ว่าหากการใช้ไคโตซานน่าจะทำให้คุณภาพน้ำเสียดีขึ้น และสามารถลดระยะเวลาของการบำบัดแบบเดิมลงได้ ทั้งในกรณีของการใช้ไคโตซานเพียงอย่างเดียว และการใช้ไคโตซานร่วมกับระบบตะกอนเร่ง

การศึกษาประสิทธิภาพของไคโตซานในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

ในการศึกษาการใช้ไคโตซานบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน ได้มีการเลือกใช้ไคโตซานในลักษณะที่อยู่ในรูปของเม็ดบีดส์ หรือเรียกว่าไคโตซานบีดส์ เพราะว่าเป็นลักษณะที่มีความสะดวกในการนำไปใช้ และเมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานที่มีลักษณะเป็นผง จะพบว่าในน้ำหนักของไคโตซานบีดส์และผงไคโตซานที่เท่ากันเช่น ที่น้ำหนัก 10 กรัม ไคโตซานบีดส์จะมีปริมาณของไคโตซานบริสุทธิ์มากกว่าผงไคโตซาน นั่นคือในผงไคโตซานจะมีเศษของเปลือกกุ้งปะปนอยู่ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ %DD (degree of deacetylation) ถ้า %DD มาก ผงไคโตซานก็จะมีเศษเปลือกกุ้งปะปนอยู่ในปริมาณที่น้อย เมื่อนำผงไคโตซานขึ้นรูปให้อยู่ในลักษณะของไคโตซานบีดส์ จะต้องผ่านขั้นตอนการละลายในสารละลายกรด ทำให้ส่วนของเศษเปลือกกุ้งไม่สามารถละลายได้จึงเกิดการตกตะกอน ดังนั้นในไคโตซานบีดส์จึงมีส่วนของไคโตซานบริสุทธิ์มากกว่าผงไคโตซาน และจากผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่าไคโตซานบีดส์สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดีกว่าผงไคโตซาน

1. การใช้ไคโตซานบีดส์ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนภายใต้ระบบการเขย่า

ระบบการเขย่าไคโตซานบีดส์ในการศึกษานี้ เปรียบเทียบได้กับระบบการบำบัดน้ำเสียที่มีการกวน นั่นคือ ทำให้น้ำเสียสามารถสัมผัสกับไคโตซานบีดส์ได้โดยตรง โดยทำการเขย่าไคโตซานบีดส์กับน้ำเสียจากแหล่งชุมชนบนเครื่องเขย่าที่มีความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งจากการศึกษาระบบการเขย่าเบื้องต้น พบว่าที่เวลาการเขย่า 15 นาที ไคโตซานบีดส์สามารถดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดี

ในระบบการเขย่า สภาวะที่เหมาะสมในการนำไคโตซานบีดส์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ การใช้ไคโตซานบีดส์ขนาด 0.2 มม. ในปริมาณ 10%(w/v) และน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ไม่มีการปรับค่าพีเอช (ค่าพีเอชประมาณ 5) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ พบว่าค่าบีโอดีลดลง 44.52 % และตรวจไม่พบปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นของน้ำเสียหลังการบำบัดได้ (จากตาราง 4) ค่าพารามิเตอร์

ต่าง ๆ ที่ลดลงนี้ อาจเกิดจากคุณสมบัติของไคโตซานในการสร้างและตกตะกอน (flocculation and coagulation) โดยในส่วนของโครงสร้างของไคโตซานที่มีหมู่อะมิโนจำนวนมาก และสามารถดูดซับกับสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียได้ (ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ, 2543) เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดี ปริมาณสารแขวนลอย และความขุ่นบ่งชี้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้

ขนาดไคโตซานบีดส์ที่เหมาะสมในระบบการเขย่าคือ 0.2 มม. ซึ่งเป็นขนาดไคโตซานบีดส์ที่มีขนาดเล็กที่สุดที่นำมาใช้ในการศึกษา อาจเนื่องมาจากขนาดไคโตซานบีดส์ที่มีขนาดเล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสารอินทรีย์และเศษตะกอนต่าง ๆ ในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนมากกว่าไคโตซานบีดส์ที่มีขนาดใหญ่ (Chiou et al., 2004) จึงทำให้เกิดการดูดซับสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่บริเวณผิวของไคโตซานได้มากขึ้น และสังเกตได้จากบริเวณผิวของไคโตซานบีดส์หลังผ่านการบำบัดจะมีอนุภาคของสารขนาดเล็ก ๆ หรือตะกอนเกาะอยู่ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าไคโตซานสามารถเข้าจับกับอนุภาคของตะกอนในน้ำเสียได้ ทำให้สีของไคโตซานบีดส์มีลักษณะเข้มขึ้นเล็กน้อยจากสีของไคโตซานบีดส์ก่อนผ่านการบำบัด และส่วนของน้ำเสียหลังการบำบัดจะมีลักษณะใสขึ้น

จากการศึกษาผลของพีเอชของน้ำเสียต่อการใช้ไคโตซานบีดส์ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนพบว่า ไคโตซานบีดส์ในระบบเขย่าทำงานได้ดีในสภาวะที่น้ำเสียมีพีเอชประมาณ 5 (น้ำเสียที่ไม่มีการปรับพีเอช) โดยสามารถลดค่าบีโอดีของน้ำเสียได้มากกว่าการบำบัดน้ำเสียที่มีพีเอชเป็นกลาง (พีเอช 7) และด่าง (พีเอช 8) ส่วนปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่น พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ในสภาวะการบำบัดที่พีเอชต่าง ๆ กลไกที่นำมาอธิบายผลดังกล่าวนี้คือ องค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมีประจุลบ เช่น โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ในสภาวะที่น้ำเสียมีสภาพเป็นกรด หมู่อะมิโนในโครงสร้างของไคโตซานเข้ารวมตัวกับไฮโดรเจนอิออน (H^+) ในน้ำเสีย ทำให้ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกสามารถจับกับสารที่มีประจุลบในน้ำเสียได้ ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของโชว (Chiou et al., 2004) อธิบายผลการศึกษาโดยอาศัยกลไกการจับกันระหว่างไคโตซานซึ่งมีคุณสมบัติเด่นของประจุบวกในสภาวะเป็นกรดกับสีย้อมซึ่งมีประจุลบ จะเห็นได้ว่าถึงแม้โมเลกุลของสารต่าง ๆ ที่มีในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานสีย้อมจะแตกต่างกัน แต่กลไกการทำงานของไคโตซานที่เกิดขึ้นในการดูดซับสารต่าง ๆ เหล่านี้ ในสภาวะที่เป็นกรดอาจเป็นไปในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

จากที่ทราบแล้วว่าในสภาพของน้ำเสียที่เป็นกรด ไคโตซานบีดส์สามารถบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนได้ดีกว่าในสภาพที่เป็นกลางและด่าง แต่เมื่อน้ำเสียมีสภาพเป็นกรด ไคโตซานมีแนวโน้มของการละลายมากขึ้น โอกาสที่ไคโตซานหลุดออกอยู่ในน้ำเสียก็มากขึ้น ทำให้บางครั้ง

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด (บีโอดี ปริมาณสารแขวนลอย และความขุ่น) มีค่าสูงขึ้นได้หลังการบำบัดแล้ว ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากคุณสมบัติในการละลายของไคโตซานที่สามารถละลายได้ดีในสารละลายที่เป็นกรด (ภาวดี เมธะคานนท์และคณะ, 2543) ซึ่งได้เกิดแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เช่นรายงานของ โชว และคณะ (Chiou et al., 2003) ที่นำไคโตซานจับตัว (crosslink) กับสารเคมี (epichlorohydrin) ในการดูดซับสีย้อม หรือรายงานของ ไช และคณะ (Shi et al., 2003) ได้ศึกษาการดูดซับโปรตีนด้วยซิลิกาบีดส์ที่เคลือบผิวด้วยผงไคโตซาน

นอกจากไคโตซานจะสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของสารอินทรีย์และสีย้อมแล้ว ยังพบว่าไคโตซานสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของโลหะหนักได้ โดยกลไกในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย เกิดขึ้นที่บริเวณหมู่อะมิโนในโครงสร้างของไคโตซาน นั่นคือ คู่ของอิเลคตรอนเดี่ยวของอะตอมไนโตรเจนที่หมู่อะมิโนสร้างพันธะไอออนกับโลหะ ทำให้ไคโตซานสามารถกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย โดยใช้เป็นตัวตกตะกอนโลหะหนักออกจากน้ำเสีย (สุวบุญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544) ดังเช่นรายงานของวราพร ชลอำไพ (2542) ที่ศึกษาการใช้ไคโตซานในการดักจับตะกั่วในน้ำ พบว่าไคโตซานสามารถลดระดับตะกั่วในน้ำเสียได้ที่ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ พีเอช 6 และ 7 อย่างไรก็ตามในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ทำการศึกษาโลหะหนักดังรายงานที่กล่าวไว้

2. การใช้ไคโตซานบีดส์ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนโดยใช้ระบบคอลัมน์ไคโตซาน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาการใช้ระบบคอลัมน์ที่มีการบรรจุไคโตซานบีดส์ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน เนื่องจากในการใช้ระบบคอลัมน์มีข้อดีคือ (1) สะดวกในการใช้งาน นั่นคือไม่จำเป็นต้องแยกไคโตซานบีดส์ออกจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (2) เป็นการย่นระยะเวลาในการบำบัด และ (3) ใช้พื้นที่ในการบำบัดน้อย การใช้ระบบคอลัมน์เหมาะกับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณของน้ำเสียจำนวนมาก จากข้อดีที่กล่าวในข้างต้นจึงทำให้เกิดความสนใจในการศึกษาระบบคอลัมน์ไคโตซาน โดยกลไกในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนด้วยไคโตซานบีดส์ในระบบคอลัมน์มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับที่กล่าวไว้แล้วในการศึกษาไคโตซานบีดส์ในระบบเขย่า โดยสภาวะที่เหมาะสมในการศึกษาระบบคอลัมน์ไคโตซานบีดส์ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนคือไคโตซานบีดส์ขนาด 0.7 มม. น้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีค่าพีเอชประมาณ 5 (ไม่มีการปรับค่าพีเอช) และใช้อัตราการไหลของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนผ่านคอลัมน์ไคโตซานที่ 1ล./นาที

ขนาดไคโตซานบีดส์ที่เหมาะสมในการศึกษาระบบคอลัมน์ไคโตซานคือ ไคโตซานบีดส์ขนาด 0.7 มม. เป็นไคโตซานบีดส์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในการศึกษา ซึ่งจะแตกต่างจากการบำบัดด้วยไคโตซานบีดส์ในระบบการเขย่า โดยขนาดไคโตซานบีดส์ที่เหมาะสมในการศึกษาคือ

ขนาด 0.2 มม. ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่าไคโตซานบีดส์ที่มีขนาดเล็ก (0.2 มม.) เมื่อบรรจุลงในคอลัมน์ไคโตซานทำให้เกิดการอัดเรียงตัวกันอย่างแน่นหนากว่าไคโตซานบีดส์ขนาดใหญ่ (0.7 มม.) ทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดไคโตซานบีดส์ลดลง เพราะว่าไคโตซานบีดส์ที่ใช้มีลักษณะยังไม่แข็งตัวมากพอ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจาก %degree of acetylation (%DD) ของไคโตซานที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 85 ซึ่งถ้า %DD สูงขึ้น ความเป็นไคโตซานบริสุทธิ์มากขึ้นด้วย (สุวบุญ จิรชาญชัย และคณะ, 2544) จะทำให้ไคโตซานบีดส์มีลักษณะที่แข็งตัวมากขึ้น เมื่อนำมาบรรจุในคอลัมน์ไคโตซานก็จะช่วยลดปัญหาการอัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นเกินไป เป็นการประหยัดปริมาณไคโตซานบีดส์ที่ใช้ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดขึ้นจากเปอร์เซ็นต์ของไคโตซานในการขึ้นรูปเป็นไคโตซานบีดส์ ในงานวิจัยนี้เปอร์เซ็นต์ของไคโตซานที่ใช้คือ 2% ถ้าเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของไคโตซานในการขึ้นรูปไคโตซานบีดส์ อาจทำให้ลักษณะของไคโตซานบีดส์แข็งตัวมากขึ้น ซึ่งผลจากการอัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นของไคโตซานบีดส์ในงานวิจัยนี้ ทำให้โอกาสของไคโตซานบีดส์ที่บริเวณแกนกลางของคอลัมน์สัมผัสกับน้ำเสียมีน้อยลงเช่นกัน เนื่องจากน้ำเสียไม่สามารถไหลผ่านบริเวณแกนกลางของคอลัมน์ได้ จึงสัมผัสได้เพียงบริเวณขอบด้านในของคอลัมน์ไคโตซาน สังเกตได้จากลักษณะของไคโตซานบีดส์หลังจากที่นำน้ำเสียผ่านคอลัมน์ไคโตซาน ไคโตซานบีดส์ที่อยู่บริเวณแกนกลางของคอลัมน์มีลักษณะและสีเหมือนกับไคโตซานบีดส์ก่อนที่น้ำเสียจะผ่านคอลัมน์ไคโตซาน ส่วนไคโตซานบีดส์บริเวณขอบด้านในคอลัมน์มีลักษณะคล้ำและมีอนุภาคเล็กๆ เกาะอยู่ที่ผิวของไคโตซานบีดส์ ประกอบกับระยะเวลาที่ไคโตซานบีดส์สัมผัสกับน้ำเสียในคอลัมน์ไคโตซานมีน้อยกว่าสภาวะการเขย่าจึงทำให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ลดลงเพียงเล็กน้อย

อัตราการไหลของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่เหมาะสมในการศึกษาครั้งนี้คือ อัตราการไหลที่ 1ล./นาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ช้าที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากการปรับอัตราการไหลของคอลัมน์ไคโตซานสามารถปรับได้ช้าที่สุดคือ 1ล./นาที เพราะว่า เมื่อทำการปรับอัตราการไหลที่ช้ากว่า 1ล./นาที จะทำให้ปั๊มพ์ไม่สามารถดึงน้ำให้ผ่านเข้าสู่คอลัมน์ไคโตซานได้ ดังนั้นในการศึกษาการใช้คอลัมน์ควรคำนึงถึงความสามารถในการปรับอัตราการไหลของน้ำให้ช้าที่สุดที่น้ำสามารถผ่านคอลัมน์ได้ และเมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการไหลต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาพบว่า ที่อัตราการไหลที่เร็วขึ้น ความสามารถในการบำบัดของคอลัมน์ไคโตซานจะ ลดน้อยลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียที่เร็วขึ้นระยะเวลาในการที่ไคโตซานบีดส์สัมผัสกับน้ำเสียน้อยลง และอัตราการไหลที่เร็วขึ้นนี้มีผลให้ความแรงของน้ำเสียในการผ่านคอลัมน์เพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้เม็ดไคโตซานบีดส์บางส่วนแตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กปะปนอยู่ในส่วนของน้ำเสียที่ไหลผ่านคอลัมน์ ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น บีโอดี

มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียเร็วขึ้นด้วย จากสาเหตุนี้อาจแก้ไขได้ดังที่กล่าวแล้วในระบบการเขย่าไคโตซานบีดส์

พีเอชของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยคอลัมน์ไคโตซานในงานวิจัยนี้คือ พีเอชประมาณ 5 หรือพีเอชเริ่มต้นที่ไม่มีการปรับพีเอช (มีสภาพเป็นกรด) ซึ่งคล้ายคลึงกับระบบการเขย่า โดยกลไกการทำงานต่าง ๆ ของไคโตซานบีดส์ที่น้ำเสียมีสภาพเป็นกรดังกล่าวแล้วในข้างต้นในส่วนของระบบการเขย่าไคโตซานบีดส์

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบตะกอนเร่ง และการใช้ไคโตซานบีดส์ทั้งในระบบเขย่าและคอลัมน์ พบว่าตัวไคโตซานบีดส์เองมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งดีกว่าตะกอนเร่ง กล่าวคือ เมื่อพิจารณาจากค่าบีโอดี ไคโตซานบีดส์ในระบบเขย่าและระบบคอลัมน์สามารถลดค่าบีโอดีของน้ำเสียได้ 8.67±1.79 และ 8.20±0.26 มก./ล./นาที ตามลำดับ ในขณะที่ระบบตะกอนเร่งสามารถลดค่าบีโอดีของน้ำเสียได้ประมาณ 0.04±0.00 มก./ล./นาที อย่างไรก็ตามระบบที่จำลองขึ้นมาใช้สำหรับไคโตซานบีดส์ โดยเฉพาะระบบคอลัมน์ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว ซึ่งแม้ว่าจะมีการเพิ่มระยะเวลาให้น้ำเสียมีโอกาสสัมผัสกับไคโตซานได้นานขึ้น โดยนำน้ำเสียวนผ่านคอลัมน์ไคโตซานเป็นจำนวน 3 ครั้ง ก็ยังไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบนี้ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ ขนาดคอลัมน์ อัตราการไหลของน้ำเสียผ่านคอลัมน์ คุณสมบัติเฉพาะของไคโตซานที่นำมาขึ้นรูป และเปอร์เซ็นต์ไคโตซานที่ใช้ในการขึ้นรูป จากสาเหตุดังกล่าว จึงมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการศึกษาการใช้คอลัมน์ไคโตซานในการบำบัดเสีย เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบบำบัดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนี้

1. ควรออกแบบขนาดของคอลัมน์ให้เหมาะสมกับการทำงาน นั่นคืออาจทำการออกแบบเพิ่มความสูงและลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอลัมน์ให้เล็กลง เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสให้น้ำเสียสัมผัสกับไคโตซานบีดส์มากขึ้น เมื่อน้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์ไคโตซาน

2. ควรออกแบบการปรับอัตราการไหลของน้ำเสียในการผ่านคอลัมน์ให้มีลักษณะการไหลที่ช้ากว่า 1ล./นาที เพื่อจะได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของไคโตซานบีดส์

3. ควรมีการศึกษาการใช้เปอร์เซ็นต์ของไคโตซานในการขึ้นรูปไคโตซานบีดส์เพื่อให้มีความเหมาะสมและป้องกันการแตกตัวของไคโตซานบีดส์เมื่อน้ำเสียไหลผ่านคอลัมน์

4. ควรทำการปรับใช้ไคโตซานที่มีระดับ %DD เพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มคุณสมบัติเด่นของความเป็นไคโตซาน

การใช้ตะกอนเร่งร่วมกับไคโตซานบีดส์ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน

จากการศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนในสภาวะที่มีการเติมอากาศเป็นเวลา 7 วัน ลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนในวันแรกที่ทำการศึกษาจะมีลักษณะสีดำคล้ำขุ่น มีกลิ่นเหม็น เมื่อทำการบำบัดด้วยตะกอนเร่งโดยวิธีการเติมอากาศเป็นเวลา 7 วัน ในช่วง 3 วันแรกที่ทำการศึกษาน้ำเสียจากแหล่งชุมชนจะเกิดฟอง (foaming) และ scum สีน้ำตาลที่บริเวณผิวหน้าของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากในสภาวะที่มีออกซิเจนจุลินทรีย์ในตะกอนเร่งย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตในน้ำเสีย ทำให้เกิด CO_2 ที่บริเวณผิวหน้าของน้ำเสีย รวมถึงการที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายสารลดแรงตึงผิว (surfactants) เช่น น้ำยาล้างจาน ซึ่งปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย สำหรับ scum นั้นเกิดจากการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำเสียกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นเส้นสาย เช่น แอคติโนมัยซิส (Bitton, 1994) ภายหลังการบำบัดด้วยตะกอนเร่งเป็นเวลา 7 วัน น้ำเสียจากแหล่งชุมชนดังกล่าวนี้มีลักษณะใสขึ้น และไม่มีกลิ่นเหม็น รวมทั้งไม่พบฟอง และ scum สีน้ำตาลที่บริเวณผิวหน้าของน้ำเสีย

ในระหว่างที่ทำการศึกษาค่าบีโอดีของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจากวันแรกที่ทำการศึกษา (day 0) จนถึงวันที่ 6 ที่ทำการศึกษา (day 6) นั่นคือจากค่าบีโอดี 292.00±2.65 มก./ล.ลดลงจนไม่สามารถวิเคราะห์ค่าบีโอดีของน้ำเสียหรือมีค่าน้อยกว่า 20 มก./ล. ที่เป็นเช่นนี้แสดงว่าจุลินทรีย์ในตะกอนเร่งได้มีการใช้ออกซิเจนจากการเติมอากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ลดลง ในช่วง 3 วันแรกของการศึกษาพบว่าค่าบีโอดีของน้ำเสียลดลงอย่างรวดเร็ว นั่นคือลดลงจาก 292.00±2.65 มก./ล. เป็น 86.67±10.50 มก./ล. หลังจากนั้นค่าบีโอดีของน้ำเสียค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนค่าบีโอดีมีค่าต่ำกว่า 20 มก./ล. ในวันที่ 6 (day 6) แสดงว่า ในช่วง 3 แรกในการศึกษาจุลินทรีย์ในตะกอนเร่งได้ใช้ปริมาณออกซิเจนที่มีการเติมลงในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนอย่างเพียงพอในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นค่าบีโอดีของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนก็จะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 6 (day 6) ค่าบีโอดีมีค่าน้อยกว่า 20 มก./ล. และค่าบีโอดีจะมีค่าคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีความใสสะอาดมากขึ้น

ปริมาณสารแขวนลอยของน้ำเสียจากแหล่งชุมชน ในช่วงวันแรกของการศึกษา(day 0) ถึงวันที่ 3 ของการศึกษา (day 3) จะพบว่าปริมาณสารแขวนลอยจะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว นั่นคือลดลงจาก 2.6±0.27 ไมโครกรัม/ล. จนไม่สามารถตรวจพบปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียได้ ซึ่งการลดลงของปริมาณสารแขวนลอยนี้เกิดขึ้นจากการที่จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากแหล่งชุมชนเข้าจับตัว(adsorp) กับสารแขวนลอยและเกิดการรวมตัวในลักษณะที่เรียกว่า coflocculation (Bitton, 1994)

จึงทำให้ปริมาณสารแขวนลอยลดลง หรืออาจเกิดจากการจุลินทรีย์ในตะกอนเร่งทำการย่อยสลายและดูดซึมโดยกระบวนการ assimilation สารอินทรีย์ในน้ำเสียเพื่อใช้ในการเจริญ (Cheremisnioff, 1993)

ความขุ่นของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วง 2 วันแรกของการศึกษา (day 0-day 2) นั่นคือความขุ่นจะลดลงจาก 36.77±0.84 NTU เป็น 3.31±0.35 NTU หลังจากนั้นการลดลงของค่าความขุ่นจะน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารแขวนลอยของน้ำเสีย เนื่องจากว่าความขุ่นของน้ำเสียอาจเกิดจากของแข็งแขวนลอยที่กั้นทางเดินของแสงในน้ำ ซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ นั่นคือเมื่อปริมาณสารแขวนลอยในน้ำเสียลดน้อยลง ส่งผลทำให้ค่าความขุ่นของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนลดน้อยลงด้วย

ค่าพีเอชของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรกที่ทำการศึกษา (day 0-day 2) นั่นคือจากค่าพีเอชของน้ำเสียเริ่มต้นประมาณ 5 เพิ่มขึ้นเป็นค่าพีเอชประมาณ 8 ที่เป็นเช่นนี้แสดงว่าเมื่อมีการเติมอากาศจุลินทรีย์ในตะกอนเร่งได้ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและมีการขับถ่ายของเสียออกมา ของเสียที่ถูกขับออกมาจะทำให้ค่าพีเอชของน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าอยู่ในสภาพเป็นด่าง

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนในงานวิจัยนี้ ใช้ระยะเวลานานถึง 6 วัน จึงทำให้ค่าบีโอดีมีค่าลดลงต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (20 มก./ล.) ดังนั้นจึงได้นำไคโตซานบีดส์ในระบบการเขย่ามาใช้ร่วมกับตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชน โดยทำการย่นระยะเวลาในการบำบัดด้วยตะกอนเร่งให้เหลือเพียง 3 วัน เนื่องจากในการทดสอบการใช้ตะกอนเร่งในเบื้องต้น พบว่าใน 3 วันแรกที่ทำการศึกษาค่าบีโอดีมี ปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นมีการลดลงอย่างรวดเร็ว และในการทำงานของระบบตะกอนเร่งทั่ว ๆ ไปในถังเติมอากาศจะใช้ระยเวลาในการบำบัดประมาณ 3 วัน

การศึกษาการใช้ตะกอนเร่งร่วมกับไคโตซานบีดส์ในระบบการเขย่า โดยทดสอบประสิทธิภาพของตะกอนเร่งในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนเป็นเวลา 3 วัน พบว่าจากวันแรกที่ทำการศึกษา น้ำเสียจากแหล่งชุมชนจะมีลักษณะสีคล้ำขุ่น มีกลิ่นเหม็น เมื่อทำการเติมอากาศแก่น้ำเสียจากแหล่งชุมชนบริเวณผิวหน้าจะเกิดลักษณะของฟอง และ scum สีน้ำตาลในปริมาณมาก อย่างไรก็ตามหลังจากผ่านการบำบัด 3 วัน การเกิดฟอง และ scum ลดน้อยลง กลิ่นเหม็นของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนก็ลดน้อยลงด้วย ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆที่ทำการศึกษา คือ ค่าบีโอดี เนื่องจากใน 3 วันแรกค่าบีโอดีลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐาน (20 มก./ล.) ส่วนปริมาณสารแขวนลอยและความขุ่นไม่ได้ทำการศึกษา เนื่องจากว่าจากการศึกษาในขั้นต้น พบว่าเมื่อบำบัดน้ำ

เสียจากแหล่งชุมชนด้วยตะกอนเร่งเป็นเวลา 3 วัน ปริมาณสารแขวนลอยและค่าความขุ่นจะลดลงอย่างรวดเร็วจนมีปริมาณน้อยมากจนบางครั้งไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

เมื่อนำน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยตะกอนเร่งบำบัดต่อด้วยไคโตซานบีดส์ในระบบการเขย่า โดยทำการวิเคราะห์ค่าบีโอดีของน้ำเสีย พบว่าค่าบีโอดีมีค่าลดลงเท่ากับ 29.00±0.00 มก./ล. จากผลการศึกษาที่ได้นี้จะเห็นว่าเมื่อนำไคโตซานบีดส์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนร่วมกับตะกอนเร่งจะสามารถทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของขันทอง สุนทราภา และนันทชัย ศรีนภาวงศ์ (ขันทอง สุนทราภา และนันทชัย ศรีนภาวงศ์, 2544) ที่ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบโปรยกรองร่วมกับแผ่นเยื่อ (membrane) จากไคโตซาน พบว่า สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของค่าบีโอดี และฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสทั้งหมดได้

ในงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาค่าบีโอดีของน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยตะกอนเร่งร่วมกับไคโตซานบีดส์ในระบบการเขย่า ค่าบีโอดีที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับ 29.00±0.00 มก./ล. เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่ยอมให้ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมคือ 20 มก./ล. (กรมควบคุมมลพิษ, 2537) ค่าบีโอดีของน้ำเสียที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่บำบัดด้วยตะกอนเร่งเพียงอย่างเดียวกับน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่บำบัดด้วยตะกอนเร่งร่วมกับไคโตซานบีดส์ในระบบการเขย่า พบว่าการใช้ตะกอนเร่งร่วมกับไคโตซานจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชมได้ดีกว่า เป็นการช่วยลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนหากต้องบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนเป็นเวลา 6 วัน เพื่อให้ค่าบีโอดีของน้ำเสียมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (20 มก./ล.) และไคโตซานบีดส์ที่ผ่านการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งชุมชนสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ได้ นั่นคือ นำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร เช่นนำไปใช้เป็นปุ๋ย หรือผสมกับอาหารสัตว์