

ความสามารถของเถ้าลอยลิกไนต์ต่อ การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยกระบวนการสร้างตะกอน และเปรียบเทียบกับสารส้ม

Capability of Lignite Fly Ash on Municipal Wastewater Treatment by Coagulation Process and Comparing with Alum

กมลชนก กองกุล, นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุกรักษ์*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตบางเขน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Kamonchanok Kongkul, Nipon Tungkananuruk and Kanita Tungkananuruk*

Department of Environmental Science, Faculty of environment, Kasetsart University,

Bangkheng Campus, Ladyao, Chatuchak, Bangkok, 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำเถ้าลอยลิกไนต์ 3 ชนิด คือ ชนิด FA1, FA2 และ FA3 เป็นสารสร้างตะกอนต่อการบำบัดน้ำเสียชุมชน เปรียบเทียบกับสารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ (10.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และสารส้มน้ำทางการค้า (6.6 % w/w Al_2O_3) ทดลองแบบจาร์ทดสอบ โดยศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอน pH ของน้ำเสีย และระยะเวลาในการตกตะกอน ปริมาณสารสร้างตะกอนทั้ง 5 ชนิด ที่เหมาะสมต่อน้ำเสียชุมชน 1 ลิตร คือ 1.5, 1.0 และ 0.5 กรัม สำหรับ FA1, FA2 และ FA3 ตามลำดับ 10.0 และ 2.0 มิลลิลิตร สำหรับสารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ และสารส้มน้ำ ตามลำดับ นอกจากนี้พีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 7 สำหรับ FA1 และสารส้มน้ำ และเท่ากับ 6 สำหรับ FA1, FA2 และสารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ ระยะเวลาในการตกตะกอน 4 วัน สำหรับ FA1 และ FA2 3 วัน สำหรับ FA3 และสารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ และ 2 วัน สำหรับสารส้มน้ำ สารสร้างตะกอนทั้ง 5 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงถึงร้อยละ 99 และเถ้าลอยลิกไนต์ทั้ง 3 ชนิด ให้ประสิทธิภาพที่ดีใกล้เคียงกับสารละลาย $Al_2(SO_4)_3$ และสารส้มน้ำ อย่างไรก็ตาม เถ้าลอยลิกไนต์ชนิด FA3 ให้ประสิทธิภาพดีกว่าชนิด FA1 และ FA2 เนื่องจากมีองค์ประกอบของโลหะออกไซด์สูงจึงสามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในน้ำเสียได้ นอกจากนี้ได้ศึกษากับน้ำเสียชุมชน 20 ลิตร โดยใช้สารสร้างตะกอน 5 ชนิด ที่สภาวะที่เหมาะสม และวิเคราะห์พารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำทั้งก่อนและหลังผ่านการสร้างตะกอน 9 พารามิเตอร์พบว่าเถ้าลอยลิกไนต์ชนิด FA3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดทุกพารามิเตอร์ได้สูง คือ บำบัดความขุ่น บีโอดี ซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ออร์โทฟอสเฟต และน้ำมันและไขมันได้ร้อยละ 99.39, 98.18, 85.71, 81.28, 52.67, 49.35, 76.52, 82.24 และ 76.30 ตามลำดับ

คำสำคัญ : สารสร้างตะกอน; ถ้ำลอยลิกไนต์; น้ำเสียชุมชน

Abstract

This research investigated the use of three types of lignite fly ashes, namely FA1, FA2 and FA3, as coagulant on municipal wastewater treatment, compared with $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ solution (10.0 mg/mL) and commercial liquid alum (6.6 % w/w Al_2O_3). In jar test experiment, dosage of coagulant, pH of wastewater and settling time were carried out. The appropriated dosages of 5 coagulants per 1 L of community wastewater were 1.5, 1.0 and 0.5 g for FA1, FA2 and FA3, respectively and 10.0 and 2.0 mL for $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ solution and liquid alum, respectively. Moreover, pH of wastewater at 7.0 for FA1 and liquid alum, and pH of wastewater at 6 for FA1, FA2 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ solution. Settling time at 4 days for FA1 and FA2, at 3 days for FA3 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ solution and at 2 days for liquid alum. 5 Types of coagulants at these conditions showed the removal efficiency of high turbidity up to 99 % while 3 types of FA gave the good efficiency, comparable to those of ASS and CLA. Nevertheless, FA3 gave a better efficiency than those of FA1 and FA2. This might be related to high content of metal oxide component that could destroy colloidal stability in the wastewater. In addition, the 20 liters of wastewater were tested by using 5 coagulants at suitable condition and analyzed for 9 water quality parameters of wastewater, in conditions of before and after pass through coagulation. The results revealed that FA3 gave the highest treatment for all of parameters; with turbidity removal, BOD, COD, TS, TKN, $\text{NH}_3\text{-N}$, total-P, ortho-P and FOG at 99.39, 98.18, 85.71, 81.28, 52.67, 49.35, 76.52, 82.24 and 76.30 %, respectively.

Keywords: coagulant; lignite fly ash; municipal wastewater

1. คำนำ

ปัจจุบันการขยายตัวของชุมชนและอุตสาหกรรมในชุมชนมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลเกิดขึ้น ทั้งที่เกิดจากกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ทั้งจากอาคารบ้านเรือนและที่พักอาศัยที่ระบายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หากน้ำเสียไม่ได้รับการบำบัด สิ่งสกปรกในน้ำทิ้งเหล่านี้ จะส่งผลต่อแหล่งน้ำโดยตรงและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เป็นแหล่งของเชื้อโรคต่าง ๆ

ชุมชนสัตว์ และพืช อีกทั้งยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพ มลพิษทางน้ำยังมีผลต่อการทำลายทัศนียภาพในเรื่องสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยว ซึ่งมนุษย์จะได้รับผลกระทบที่เป็นอันตรายทั้งทางตรงและทางอ้อม ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมนานัปการ ซึ่งการบำบัดน้ำเสียชุมชนในปัจจุบันมีหลากหลายวิธีทั้งวิธีกายภาพ เคมี และชีวภาพ ยกตัวอย่างระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในปัจจุบัน เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (activated sludge process, AS) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

(constructed wetland) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ (aerated lagoon, AL) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (stabilization pond) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน (oxidation ditch, OD) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (rotating biological contactor, RBC) เป็นต้น แต่ระบบดังกล่าวนี้มีต้นทุนในการก่อสร้างสูง และมีความยุ่งยากในการบำบัด ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียเหล่านี้จะมีเฉพาะในพื้นที่เขตเมือง ในพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลหรือชนบทส่วนใหญ่ยังไม่มียุทธศาสตร์บำบัดน้ำเสีย ทำให้ในพื้นที่ดังกล่าวมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือลงสู่ดินโดยไม่มีการบำบัด ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาวิธีที่ง่ายและสะดวกในการบำบัดน้ำเสีย โดยการใช้ถ้ำลอยลิกไนต์เป็นสารสร้างตะกอน (coagulant) เพื่อบำบัดน้ำเสียสามารถกำจัดอนุภาคคอลลอยด์และสารโมเลกุลขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสียได้ (Malmberg, 2009) ซึ่งวิธีนี้จัดเป็นวิธีที่ง่าย มีประสิทธิภาพ ต้นทุนต่ำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง และยังเป็นการนำกากของเสียอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เนื่องจากถ้ำลอยลิกไนต์ไม่มีพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยถ้ำลอยลิกไนต์ที่มีสมบัติที่มีรูปทรงสูง มีพื้นที่ผิวมาก และถ้ำลอยยังมีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Sheikhhosseini *et al.*, 2013) จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารสร้างตะกอนเพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการตกตะกอนร่วม (coagulation) ได้แก่ ปริมาณสารสร้างตะกอน พีเอชของน้ำเสีย ระยะเวลาการตกตะกอน และความสามารถในการตกตะกอนร่วมของถ้ำลอยลิกไนต์

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมสารสร้างตะกอน

2.1.1 ถ้ำลอยลิกไนต์

ถ้ำลอยที่ใช้ในการศึกษามี 3 ชนิด คือ ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA1 (ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ 70 % และชีวมวล 30 %) ชนิด FA2 (ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ 90 % และชีวมวล 10 %) และชนิด FA3 (ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ 100 %) เตรียมถ้ำลอยลิกไนต์โดยนำถ้ำลอยมาล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อลดความเป็นด่างของถ้ำลอย จากนั้นนำไปตากให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งถ้ำลอยแห้ง

2.1.2 สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต มีความเข้มข้น 10 mg/L

2.1.3 สารส้มน้ำหนักการค้า มีความเข้มข้น Al_2O_3 6.6 % w/w และความถ่วงจำเพาะ 1.26 g/cm³

2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดด้วยวิธีจาร์เทสต์

วางแผนการทดลองเป็นระบบ RBD (randomized complete block design) เนื่องจากมีการเปรียบเทียบการใช้สารสร้างตะกอนในการบำบัดน้ำเสียชุมชน 5 ชนิด คือ ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA1, FA2, FA3, สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต และสารส้ม น้ำ โดยทดลอง 3 ชั่วโมง ที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาณสารสร้างตะกอน พีเอชของน้ำเสีย และระยะเวลาการตกตะกอน ทดลองกับน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย ของชุมชนในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์ 3 ชนิด ที่ศึกษา เริ่มจาก 0.2 ถึง 2.5 กรัม ส่วนสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตและสารส้ม น้ำทางการค้า เริ่มจาก 1.0 ถึง 12.0 มิลลิกรัม ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร พีเอชของน้ำเสียที่ศึกษา คือ 5.0-9.0 และระยะเวลาตกตะกอน 1-5 วัน ทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที 30 นาที

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน 20 ลิตร (pilot scale) โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด

โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสีย ของชุมชนในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ทั้งก่อนและหลังบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีแบบตะกอนเร่ง และวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังจากผ่านการบำบัดด้วยวิธีสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิ (temperature) พีเอช (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) ความขุ่น (turbidity) บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) แอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate) ออร์โธฟอสเฟต (ortho-phosphate) และน้ำมันและไขมัน (FOG) โดยวิเคราะห์ตามวิธีที่กำหนดไว้ใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 2012)

2.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยวิธีแบบตะกอนเร่งกับวิธีการใช้สารสร้างตะกอนแต่ละชนิด

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบทั้งหมด 9 พารามิเตอร์ คือ ความขุ่น บีโอดี ซีโอดี ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ออร์โธฟอสเฟต และน้ำมันและไขมัน โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียรวมของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีองค์ประกอบ คือ บ่อดักขยะ บ่อสูบล้างอากาศ 1,2 ถึงตกตะกอน 1,2 ถึงสัมผัสคลอรีน ถึงเพิ่มความเข้มข้นตะกอน และลานตากตะกอน ซึ่งมีการบวนการบำบัดดังนี้ น้ำเสียจากระบบรวบรวมน้ำเสียจะไหลเข้าสู่บ่อดักขยะเพื่อตกเศษขยะที่ปะปน

มากับน้ำแล้วจึงไหลเข้าบ่อสูบล้างเพื่อสูบน้ำเสียเข้าสู่ถังเติมอากาศ ซึ่งการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเกิดขึ้นในถังนี้โดยจุลินทรีย์ใช้อากาศ ซึ่งมีการเติมอากาศจากเครื่องเป่าอากาศ (air blower) ผ่านหัวกระจายอากาศ (air diffuser) จากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอน เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกลงด้านล่าง ส่วนน้ำใสส่วนด้านบนจะไหลผ่านเวียร์ลงสู่ถังสัมผัสคลอรีน ซึ่งมีการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อนระบายน้ำทิ้งลงสู่คลองบางเขน สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งตกสู่ด้านล่างของถังตกตะกอน จะถูกรวบรวมเข้าสู่บ่อสูบล้างตะกอนโดยตะกอนส่วนใหญ่จะถูกสูบไปยังถังเติมอากาศ (เรียกว่าตะกอนหมุนเวียน หรือ return sludge) เพื่อควบคุมปริมาณจุลินทรีย์ในถังอากาศให้พอเพียงต่อการบำบัดน้ำเสีย ส่วนตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) จะถูกสูบเข้าถังเพิ่มความเข้มข้นตะกอน โดยน้ำใสส่วนบนจะไหลกลับเข้าไปสู่อบ่อบำบัดอีกครั้ง ส่วนตะกอนนำไปตากแห้งที่ลานตากตะกอน เมื่อตะกอนแห้งดีแล้วจึงนำไปใช้เป็น soil conditioner ปริมาณน้ำเสียที่เข้าระบบในระบบบำบัดน้ำเสียมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในปัจจุบัน วันละมีประมาณ 1,300 คิว (ลูกบาศก์เมตร) ในวันธรรมดา และในวันเสาร์-อาทิตย์มีประมาณ 1,000 คิว (ลูกบาศก์เมตร)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

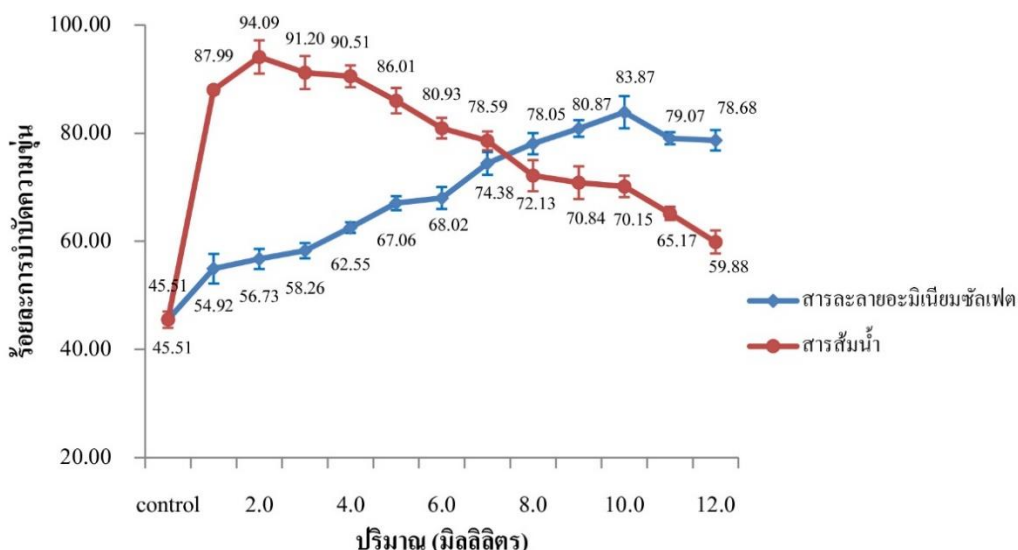
3.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดด้วยวิธีจาร์เทสต์

3.1.1 ผลการศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดที่เหมาะสม

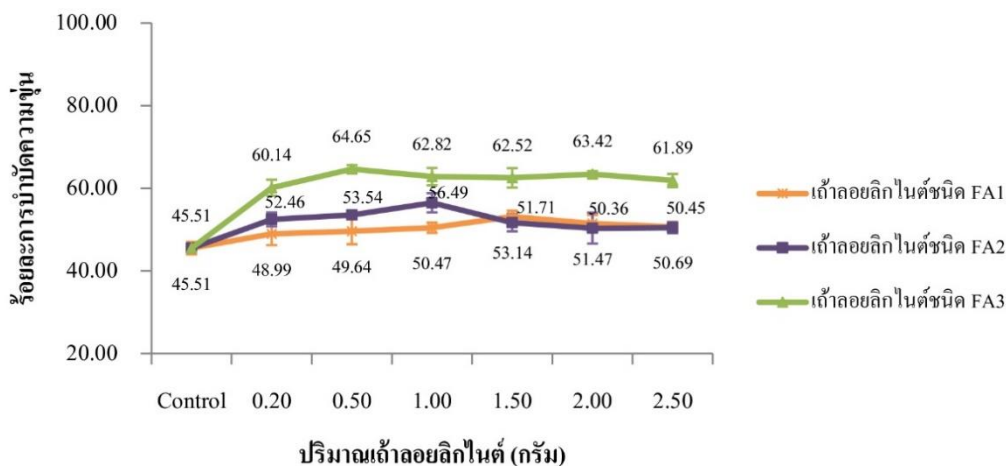
ผลการศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดที่เหมาะสม ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร พบว่าสารส้มสำหรับการบำบัดความขุ่นได้ดีที่สุดที่ปริมาณ 2.0 มิลลิลิตร ร้อยละ 94.09 สารละลาย

อะลูมิเนียมซัลเฟตบำบัดความขุ่นได้ดีที่สุดที่ปริมาณ 10.0 มิลลิตร ร้อยละ 83.87 ส่วนปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA1, FA2 และ FA3 สามารถบำบัดความขุ่นได้ดีที่สุดที่ปริมาณ 1.5, 1.0 และ 0.5

กรัม ตามลำดับ ร้อยละ 53.14, 56.49 และ 64.65 ตามลำดับ และการทดลองควบคุม (control) โดยไม่มีการเติมสารสร้างตะกอนสามารถบำบัดความขุ่นได้ร้อยละ 45.51 (ดังรูปที่ 1 และ 2)



รูปที่ 1 ร้อยละการบำบัดความขุ่นกับปริมาณสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตและสารส้ม (*พีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 7.7 กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที; **ชุด control หมายถึงไม่มีการเติมสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตและสารส้ม)



รูปที่ 2 ร้อยละการบำบัดความขุ่นกับปริมาณถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA1, FA2 และ FA3 (*พีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 7.7 กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที; **ชุด control หมายถึงไม่มีการเติมถ้ำลอยลิกไนต์)

จากรูปที่ 1 และ 2 พบว่าถ้ำลอยชนิด FA3 สามารถบำบัดความขุ่นได้ดีที่สุด รองลงมา คือ ชนิด FA2 และ FA1 ตามลำดับ สามารถอธิบายได้ว่าถ้ำลอยชนิด FA3 ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ 100 % มีซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 40.89 อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 13.33 และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 19.79 ซึ่งผลรวมของออกไซด์ทั้งสามตัวมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 50 และมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงถึงร้อยละ 14.54 องค์ประกอบของสารประกอบออกไซด์เหล่านี้มีสมบัติเป็นสารสร้างตะกอน คือ เกิดเป็นไอออนบวกที่สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในน้ำได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA3 บำบัดความขุ่นของน้ำได้ดีที่สุด และใช้ในปริมาณน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดของสารสร้างตะกอนทั้ง 5 ชนิด จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดของถ้ำลอยลิกไนต์ยังมีค่าต่ำอยู่ อาจเนื่องมาจากสภาวะพีเอชที่ยังไม่เหมาะสมจากรูปที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด เมื่อเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอนจนถึงปริมาณหนึ่งประสิทธิภาพของการบำบัดความขุ่นของน้ำเสียชุมชนจะลดลง อาจเนื่องจากการเพิ่มปริมาณสารสร้างตะกอนที่มากเกินไปปริมาณที่เหมาะสมที่ใช้ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ปริมาณสารสร้างตะกอนที่มากเกินไปจะมีผลทำให้ความขุ่นของน้ำเสียเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดของถ้ำลอยลิกไนต์ยังมีค่าต่ำอยู่ อาจเนื่องมาจากสภาวะพีเอชที่ยังไม่เหมาะสม

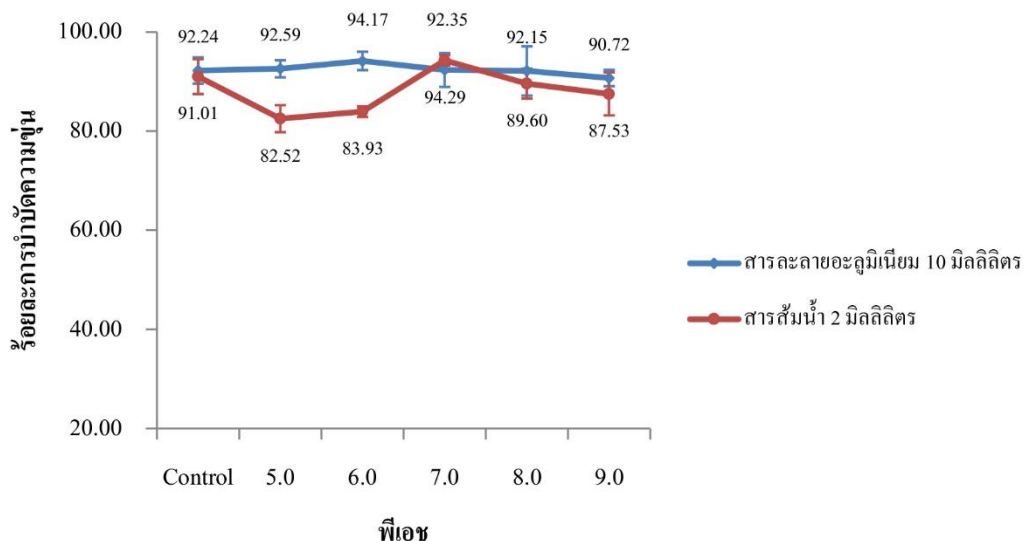
3.1.2 ผลการศึกษาพีเอชของน้ำเสียที่เหมาะสม

ผลการศึกษาพีเอชของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อน้ำเสีย 1 ลิตร โดยนำน้ำเสียชุมชนมาปรับพีเอชเป็น 5.0-9.0 พบว่าการใช้สารส้มน้ำเป็น

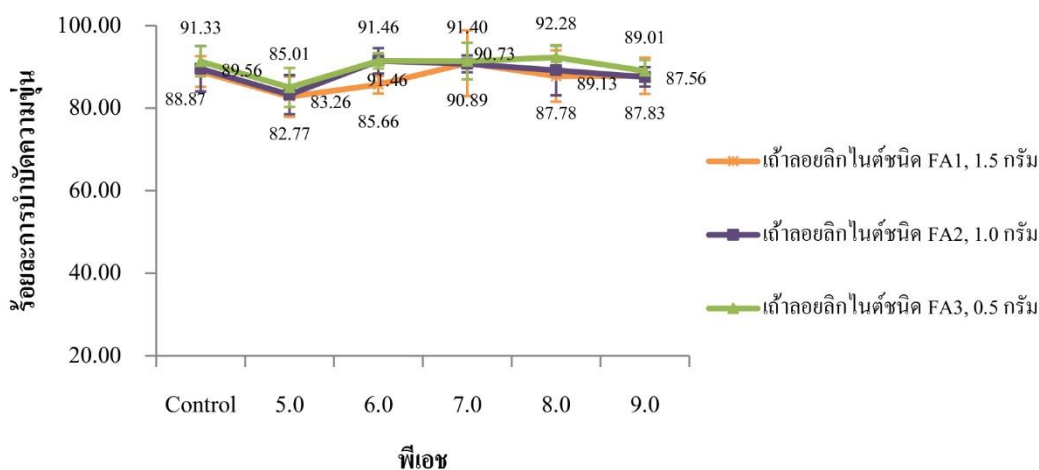
สารสร้างตะกอนสามารถบำบัดความขุ่นได้ดีที่สุดที่พีเอช 7.0 ร้อยละ 94.29 รองลงมาเป็นสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตที่พีเอช 6.0 ร้อยละ 94.17 ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA3 ที่พีเอช 6.0 ร้อยละ 92.28 ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA2 ที่พีเอช 6.0 ร้อยละ 91.46 และถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA1 ที่พีเอช 7.0 ร้อยละ 90.89 (ดังรูปที่ 3 และ 4) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ พิงอร (2554) ที่กล่าวว่า การนำถ้ำลอยมาใช้เป็นสารสร้างตะกอนมีสภาวะเหมาะสมที่พีเอช 6.0-8.0 พีเอชของน้ำเสียมักพบาทอย่างยิ่งในการทำลายเสถียรภาพอนุภาคของคอลลอยด์ในน้ำเสีย ดังนั้นพีเอชของน้ำเสียจึงต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้สารสร้างตะกอนสามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในน้ำเสียให้ได้มากที่สุด และจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นของถ้ำลอยลิกไนต์ได้ใกล้เคียงกับสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตและสารส้มน้ำ

3.1.3 ผลการศึกษาระยะเวลาดกตะกอน

เป็นการศึกษาระยะเวลาในการตกตะกอนอย่างต่อเนื่องจนประสิทธิภาพของการบำบัดความขุ่นคงที่หรือลดลง เวลาที่ศึกษาตั้งแต่ 1-5 วัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดความขุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการตกตะกอนเพิ่มขึ้น เมื่อถึงจุด ๆ หนึ่ง ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นเริ่มคงที่ เนื่องจากสารสร้างตะกอนเริ่มหมดประสิทธิภาพในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ และเมื่อพิจารณาเลือกระยะเวลาการตกตะกอนที่เหมาะสมจากตารางที่ 1 พบว่าสารสร้างตะกอนทั้ง 5 ชนิด มีระยะเวลาการตกตะกอนที่เหมาะสม คือ 3, 2, 4, 4 และ 3 วัน ตามลำดับ โดยร้อยละการบำบัดความขุ่นเท่ากับ 99.82, 99.21, 99.46, 99.73 และ 99.74 ตามลำดับ และการใช้ถ้ำลอยลิกไนต์ทั้งสามชนิดในการบำบัดความขุ่นที่สภาวะที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพดีพอกับสารอะลูมิเนียมซัลเฟตและสารส้มน้ำ



รูปที่ 3 ร้อยละการดูดความชุ่มชื้นด้วยสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตและสารส้มน้ำกับฟီเอช (*กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที; **ชุด control หมายถึงไม่มีการปรับฟီเอชของน้ำเสีย)



รูปที่ 4 ร้อยละการดูดความชุ่มชื้นด้วยถ้ำลอยลิ้นไนต์ชนิด FA1, FA2 และ FA3 กับฟီเอช (*กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที; **ชุด control หมายถึงไม่มีการปรับฟီเอชของน้ำเสีย)

3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชน 20 ลิตร (pilot scale) โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด
น้ำเสียที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสีย

จากบ่อรวบรวมน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ลักษณะทางกายภาพมีสีดำ กลิ่นเหม็น เวลาเทเกิดฟอง และมีตะกอนสีดำ ผลการตรวจวิเคราะห์หาค่าคุณภาพเบื้องต้นพบว่า น้ำ

เสียมีค่าพารามิเตอร์ที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำเสียชุมชนกำหนด (ดังตารางที่ 2) นอกจากนี้ได้ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ออกจากระบบตะกอนเร่งพบว่าค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ยังมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนดเช่นกัน อาจเนื่องมาจากระบบตะกอนเร่งของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ขาดความชำนาญของผู้ดูแลระบบไม่มีการดูแลระบบอย่างต่อเนื่อง และไม่มีการควบคุมปัจจัยต่างๆให้เหมาะสม ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนในถังเติมอากาศ ปริมาณจุลินทรีย์ (MLSS) ในถังเติมอากาศ และค่า F/M ratio เป็นต้น ส่วนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี

สร้างสารตะกอน ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ศึกษาแต่ละครั้งเท่ากับ 20 ลิตร และสภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนที่ได้จากผลการทดลองข้อที่ 3.1.1, 3.1.2 และ 3.1.3 กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ตามวิธีที่กำหนดไว้ใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA and WEF, 2012) ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ร้อยละการบำบัดความขุ่นกับระยะเวลา

ระยะเวลา ตกตะกอน (วัน)	ร้อยละการบำบัดความขุ่น				
	สารละลาย อะลูมิเนียมซัลเฟต	สารส้มน้ำ	เถ้าลอยลิกไนต์ ชนิด FA1	เถ้าลอยลิกไนต์ ชนิด FA2	เถ้าลอยลิกไนต์ ชนิด FA3
1	94.17±1.22	94.29±3.29	90.89±0.44	91.38±0.66	92.28±0.95
2	98.72±0.39	99.21±0.93	94.66±1.47	96.09±0.53	98.64±0.14
3	99.82±2.13	98.63±0.06	98.98±0.52	98.84±1.03	99.74±0.03
4	99.86±0.87	97.70±0.53	99.46±0.76	99.73±0.99	99.79±0.10
5	99.89±1.81	96.75±1.65	99.58±1.58	99.76±0.93	99.82±1.11

*ปริมาณสารสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต 10 มิลลิลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลิตร ที่พีเอช 6; **ปริมาณสารส้มน้ำ 2 มิลลิลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลิตร ที่พีเอช 7; ***ปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ชนิด FA1, FA2 และ FA3 ต่อน้ำเสีย 1 ลิตร คือ 1.5, 1.0 และ 0.5 กรัม ตามลำดับ ที่พีเอช 7, 6 และ 6 ตามลำดับ; ****กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที 3 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที

จากตารางที่ 2 พบว่าการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ชนิด FA3 เป็นสารสร้างตะกอนสามารถบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียชุมชนได้สูง สอดคล้องกับการทดลองของ Yan และคณะ (2012) ที่อธิบายว่าการนำเถ้าลอยมาเคลือบกับสารสร้างตะกอน (coagulant) มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดี เช่นเดียวกับการทดลองของ Xin และ Huili (2009) ที่อธิบายว่าการใช้เถ้า

ลอยในการบำบัดน้ำเสียสามารถบำบัดซีโอไซด์ได้สูง เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์ชนิด FA3 มีองค์ประกอบของสารประกอบออกไซด์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงสามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียรวมตัวกันเป็นฟล็อกและตกตะกอนลงสู่ก้นถัง และประกอบกับเถ้าลอยลิกไนต์ชนิด FA3 มีลักษณะทางกายภาพที่มีรูพรุนเล็ก ๆ เป็นจำนวนมาก และมีพื้นที่ผิวสูง ทำให้สาร

อินทรีย์ยึดเกาะติดผิวของถั่วลลึงก่อนตกตะกอนลงสู่ด้านล่าง ทำให้สามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดี ส่วนค่าความเค็มและค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นนี้อาจเนื่องจากเมื่อบำบัดเสร็จสิ้นแล้วทางผู้วิจัยไม่ได้แยกถั่วลลึงในถังที่ตกตะกอนแล้วออกจากน้ำเสีย ถั่ว

ลลึงในถังมีองค์ประกอบของออกไซด์ของโลหะซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำแล้วให้ออน เช่น กรดอินทรีย์ ต่าง และเกลือ ถ้ามีสารละลายปะปนอยู่ในปริมาณมากก็จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามากขึ้นด้วย

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีสร้างตะกอนด้วยสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดที่สภาวะที่เหมาะสม

พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์							
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกจากระบบตะกอนเร่ง	สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต	สารส้มน้ำ	ถั่วลลึงในถังชนิด FA1	ถั่วลลึงในถังชนิด FA2	ถั่วลลึงในถังชนิด FA3	มาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน
อุณหภูมิ (°C)	31.40±0.00	31.50±0.00	30.70±0.00	30.60±0.00	30.70±0.00	30.80±0.00	30.60±0.00	-
พีเอช	7.65±0.07	7.40±0.00	7.33±0.56	5.20±0.10	7.65±0.07	7.60±0.00	7.50±0.00	5-9
ความเค็ม (ppt)	0.10±0.00	0.20±0.00	0.20±0.00	0.50±0.00	0.20±0.00	0.30±0.00	0.30±0.00	-
ค่าการนำไฟฟ้า (µs/cm ³)	651.00±1.41	462.50±0.71	500.00±2.00	1,013.67±0.58	1,534.00±1.00	1,469.67±0.58	777.00±1.00	-
ความขุ่น (NTU)	49.37±0.12	5.75±0.03	0.13±0.01	0.80±0.06	0.94±0.03	0.42±0.03	0.30±0.01	-
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	3.89±0.07	4.24±0.14	6.21±0.14	5.86±0.35	3.20±0.07	4.58±0.07	5.12±0.14	-
บีโอดี (mg/L)	27.50±0.71	26.25±0.35	2.00±1.41	1.00±0.71	3.00±0.00	1.75±0.35	0.75±0.35	ไม่เกิน 20
ซีโอดี (mg/L)	112.00±1.41	80.50±0.07	48.00±0.00	32.00±4.24	48.00±0.00	32.00±4.24	16.00±0.00	-
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)	710.50±4.95	511.00±2.83	365.00±5.66	406.00±1.41	426.50±3.54	243.50±2.12	133.00±1.41	-
ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/L)	557.50±3.54	448.00±1.41	232.00±8.48	304.00±0.00	318.00±5.66	160.50±0.71	65.50±2.12	-
ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (mg/L)	153.00±1.41	63.00±4.24	133.00±2.83	102.00±1.41	108.50±2.12	83.00±1.41	67.50±3.54	ไม่เกิน 30
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (mg/L)	84.00±1.58	31.92±0.79	62.16±0.79	59.92±0.79	55.44±0.79	49.84±0.79	39.76±0.39	ไม่เกิน 20
แอมโมเนียไนโตรเจน (mg/L)	76.88±0.45	38.86±0.57	53.49±0.34	52.77±1.36	41.51±0.45	40.31±0.57	38.94±0.45	-
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/L)	49.37±0.52	27.02±0.04	8.39±0.55	7.27±1.04	15.46±0.76	13.17±0.47	11.59±0.58	ไม่เกิน 2
ออร์โทฟอสเฟต (mg/L)	23.86±0.48	12.53±1.27	4.24±0.00	4.24±0.00	5.25±0.48	4.24±0.00	4.24±0.00	-
น้ำมันและไขมัน (mg/L)	337.50±10.61	232.50±3.54	251.00±2.82	119.50±6.36	230.00±1.41	122.50±2.12	80.00±7.07	ไม่เกิน 5

3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยวิธีแบบตะกอนเร่งกับวิธีการใช้สารสร้างตะกอนแต่ละชนิด

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยวิธีแบบตะกอนเร่ง กับวิธีการใช้สารสร้างตะกอน โดยใช้พารามิเตอร์วิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งหมด 9 พารามิเตอร์ (ดังตารางที่ 3) พบว่าการใช้ถั่วลลึงในถังชนิด FA3 ที่ได้จากการ

เผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ 100 % เป็นสารสร้างตะกอนสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดีกว่าสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตและสารส้มน้ำ เกือบทุกพารามิเตอร์เช่นเดียวกับการทดลองด้วยวิธีจาร์เรสต์ เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของถั่วลลึงในถังมีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลต่อการบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด

รวมถึงฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำเสียชุมชน สอดคล้องกับการทดลองของ ภาณุพงศ์ (2548) ที่อธิบายว่าการเติมเกลือแมกนีเซียมและแคลเซียมออกไซด์ไปในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรมีผลต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เช่นเดียวกับการทดลองของ ชีระวิทย์ (2547) ที่อธิบายว่าแคลเซียมออกไซด์มีผลต่อการบำบัดออร์โธฟอสเฟต รวมถึงลักษณะทางกายภาพของถ้ำลอยลิกไนต์ที่มีผิวขรุขระ มีรูเล็ก ๆ ที่ผิว มีปริมาณรูพรุนค่อนข้างสูง (สุโขทัย, 2544) จึงสามารถดูดซับหรือเป็นแกนกลางให้สารอินทรีย์มายึดเกาะ รวมตัวกันเกิดเป็นฟลอคและตกตะกอน ทำให้

ให้สารอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่มีอยู่ในน้ำเสียตกตะกอนไปด้วย ทำให้ถ้ำลอยสามารถบำบัดสารอินทรีย์ได้ดี นอกจากนี้การใช้ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA3 เป็นสารสร้างตะกอนสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดีกว่าวิธีแบบตะกอนเร่ง ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนเกือบทุกพารามิเตอร์ อาจเนื่องมาจากระบบที่ไม่ได้ล้างทำความสะอาดอย่างต่อเนื่องนั้น มีเพียงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและแอมโมเนียไนโตรเจนที่ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA3 บำบัดได้น้อยกว่าวิธีแบบตะกอนเร่งเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 3 ร้อยละการบำบัดพารามิเตอร์ต่างๆ ของสารสร้างตะกอนทั้ง 5 ชนิด เปรียบเทียบระบบบำบัดแบบตะกอนเร่ง

สารสร้างตะกอน	ร้อยละการบำบัด								
	ความขุ่น	BOD	COD	TDS	TKN	NH ₃ -N	total-P	ortho-P	FOG
สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต	99.730±0.01	92.73±1.32	57.14±0.03	58.65±1.32	26.00±0.45	31.37±0.24	83.01±0.55	82.24±0.00	25.93±1.82
สารส้มน้ำ	98.39±0.05	96.36±0.61	71.43±0.01	45.81±0.96	28.67±0.63	30.43±0.22	85.28±1.04	82.24±0.00	64.44±4.36
ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA1	98.09±0.03	89.09±0.02	57.14±1.23	43.32±0.43	34.00±0.74	46.01±0.19	68.69±0.76	78.01±0.38	31.85±1.12
ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA2	99.16±0.03	93.64±0.21	71.43±0.09	71.39±0.17	40.67±0.16	47.57±0.35	73.33±0.37	82.24±0.00	63.70±1.12
ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA3	99.39±0.01	98.18±0.19	85.71±0.03	88.32±0.10	52.67±0.12	49.35±0.10	76.52±0.48	82.24±0.00	76.30±5.07
ระบบตะกอนเร่ง	88.35±0.03	4.55±0.31	28.57±0.07	20.14±0.44	62.00±0.34	49.46±0.32	45.27±0.02	47.46±1.02	31.11±2.54

4. สรุป

การนำถ้ำลอยหินลิกไนต์มาใช้เป็นสารสร้างตะกอนต่อการบำบัดน้ำเสียชุมชน เปรียบเทียบกับสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต และสารส้มทางการค้า ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมทั้ง 5 ชนิดต่อน้ำเสียชุมชน 1 ลิตร คือ 1.5, 1.0 และ 0.5 กรัม สำหรับ FA1, FA2 และ FA3 ตามลำดับ 10.0 และ 2.0 มิลลิลิตร สำหรับสารละลาย Al₂(SO₄)₃ และสารส้มน้ำทางการค้า ตามลำดับ พีเอชของน้ำเสียที่

เหมาะสมเท่ากับ 7 สำหรับ FA1 และสารส้มน้ำทางการค้า และเท่ากับ 6 สำหรับ FA1, FA2 และสารละลาย Al₂(SO₄)₃ ระยะเวลาตกตะกอนเท่ากับ 4 วัน สำหรับ FA1 และ FA2, 3 วัน สำหรับ FA3 และสารละลาย Al₂(SO₄)₃ และ 2 วัน สำหรับสารส้มน้ำทางการค้า สารสร้างตะกอนทั้ง 5 ชนิด มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นสูงถึงร้อยละ 99

ถ้ำลอยลิกไนต์ชนิด FA3 ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียชุมชนได้ดีกว่าถ้ำลอยลิกไนต์

ชนิด FA1 และ FA2 ที่ปริมาณและระยะเวลาดกตะกอนที่น้อยกว่า นอกจากนี้การศึกษากับน้ำเสียชุมชน 20 ลิตร ที่สภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด และวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 9 พารามิเตอร์ (ความขุ่น บีโอดี ซีโอดี ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณออร์โธฟอสเฟต และปริมาณน้ำมันและไขมัน) เถาลอยลิ้นตชนิด FA3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดทุกพารามิเตอร์ได้สูง และใกล้เคียงกับการใช้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตและสารส้มน้ำทางการค้า

5. รายการอ้างอิง

พิงอร วิโลวงษ์, 2545, การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากกากของเสียอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ชีระวิทย์ รัตนพันธ์, 2547, การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยใช้เถ้าลอยจากเตาเผาขยะมูลฝอย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ภาณุพงศ์ จิ่งแสงสถิตพร, 2548, การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนโดยวิธีการตกตะกอนเป็นสตรูไวต์ด้วยเกลือแมกนีเซียมในถังปฏิกริยาฟลูอิดไชเบด, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สุโขทัย เตชะวณิช, 2544, การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมตกแต่งผิวโลหะโดยใช้เถ้าลอยและเถ้าหนัก, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

APHA, AWWA and WEF, 2012, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed., American Public Health Association, Washington, DC.

Sheikhhosseini, A., Shirvani, M. and Shariatmaddari, H., 2013, Competitive sorption of nickel, cadmium, zinc and copper on palygorskite and sepiolite silicate clay minerals, *Geoderma* 192: 249-253.

Malmberg, R.H., 2009, Reducing aluminum residuals in finished water, *J. Amer. Wat. Works Assoc.* 77(10): 101-108.

Yan, L., Wang, Y., Ma, H., Hana, Z., Zhanga, Q. and Chen, Y., 2012, Feasibility of fly ash-based composite coagulant for coal washing wastewater treatment, *Hazard. Mater.* 203-204: 221-228.

Xin, C. and Huili, S., 2009, Dyeing and Printing Wastewater Treatment Using Fly-Ash Coated with Chitosan, *Oceanology and Limnology Research Press, China.*