

การกำจัดซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี

The paint factory's wastewater: COD removal by chemical precipitation method

อนุภทร สุตบรรพิตย์¹ และ นัทฏวี ชั่งชัย^{1*}

Anuphat Sudbundit¹ and Nuttawee Changchai^{1*}

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากโรงงานผลิตสีมีสารประกอบหลากหลายชนิด และจำเป็นต้องได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสมก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอน (เฟอร์ริกคลอไรด์และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์) ได้แก่ ปริมาณสารสร้างตะกอนและพีเอช รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของสารสร้างตะกอนทั้งสองชนิดเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากถังรวบรวมน้ำเสียของกระบวนการพ่นสี และนำมาศึกษาการกำจัดค่าซีโอดีด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีโดยใช้การทดลองจาร์เทส คุณลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียมีดังนี้ พีเอช 7.01 ± 0.03 ความขุ่น 803.67 ± 8.14 NTU สี 440.80 ± 1.86 SU และซีโอดี $1,120 \pm 13.23$ มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมของเฟอร์ริกคลอไรด์ ได้แก่ ปริมาณเฟอร์ริกคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด คิดเป็น 33.04 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสภาวะที่เหมาะสมของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ได้แก่ ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด คิดเป็น 37.90 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีได้ใกล้เคียงกับเฟอร์ริกคลอไรด์

คำสำคัญ: โรงงานผลิตสี น้ำเสีย เฟอร์ริกคลอไรด์ โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ วิธีตกตะกอนทางเคมี

Abstract

Wastewater from paint factory contains various heterogeneity compounds and needs appropriate treatment before released into environment. The objectives of this research were to evaluate the optimum condition of coagulants (ferric chloride and polyaluminium chloride) i.e. coagulant dosage and pH, and to compare the COD removal efficiencies of the coagulants. Wastewater samples were collected from a tank of spray painting process and it was subjected to study COD removal by using chemical precipitation method through Jar test experiment. The average values of raw wastewater characteristic were pH 7.01 ± 0.03 , turbidity 803.67 ± 8.14 NTU, color 440.80 ± 1.86 SU, and COD $1,120 \pm 13.23$ mg/L. Result of the study found that an optimum condition for ferric chloride was 500 mg/L at pH 5 with 33.04% the highest efficiency in COD removal. In addition, an optimum condition for polyaluminium chloride was 600 mg/L at pH 7 with 37.90% the highest efficiency in COD elimination. Result demonstrated that the effective in COD removal of polyaluminium chloride was very similar to ferric chloride.

Keywords: paint factory, wastewater, ferric chloride, polyaluminium chloride, chemical precipitation

¹ คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

¹ Faculty of Public and Environmental Health, Huachiew Chalermprakiet University

* Corresponding author. E-mail: nuttawee_c@yahoo.com

บทนำ

โรงงานผลิตสีเป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญ น้ำเสียที่เกิดขึ้นนี้มีค่าความสกปรกสูง โดยเฉพาะค่าซีโอดี เนื่องจากกระบวนการผลิตสีใช้สารเคมีหลายประเภทเป็นสารตั้งต้น ตัวอย่างเช่น สี (paint) เป็นสารที่มีส่วนผสมของผงสี (เช่น titanium dioxide, zinc oxide, Iron black, copper phthalocyanine, lead chromate และ chromium oxide เป็นต้น) เรซิน (เช่น vinyl, epoxy, acrylic, limeseed oil เป็นต้น) ตัวทำละลาย (เช่น xylene, toluene, hexane, acetone, methyl isobutyl ketone, buthyl acetate และ methyl alcohol เป็นต้น) สารปรุงแต่ง (เช่น สารเพิ่มการยึดเกาะสี สารทำให้แห้ง สารป้องกันการแข็งตัว สารเพิ่มความหล่อลื่น และสารป้องกันการเกิดฟอง เป็นต้น) และวัตถุอื่นที่เป็นของเหลว (ภักดี สุานัญญา, 2526) ซึ่งสารเหล่านี้เมื่อปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจะทำให้มีค่าความสกปรกสูง โดยทั่วไปมีค่าความสกปรกดังนี้ ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (total suspended solid) 4,735-13,350 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าซีโอดี (chemical oxygen demand) 4,438-25,100 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าบีโอดี (biological oxygen demand) 960-1,968 มิลลิกรัมต่อลิตร (Aboulhassan, Souabi, Yaacoubi, and Baudu, 2014) น้ำเสียเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสม เพื่อลดสิ่งปนเปื้อนให้อยู่ในระดับปลอดภัยต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อม วิธีบำบัดน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีสูงนั้นนิยมใช้วิธีตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation method) เพื่อกำจัดสารแขวนลอยต่างๆ ในน้ำโดยสร้างกลุ่มตะกอนของสารแขวนลอยเหล่านี้ขึ้นด้วยสารเคมี วิธีนี้เป็นที่นิยม

ใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีคือ มีประสิทธิภาพสูง ราคาไม่แพง ใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีบำบัดแบบอื่น สามารถกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆ ในน้ำได้หลายพารามิเตอร์ไม่ว่าจะเป็นสี จุลินทรีย์ สารแขวนลอย และสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Renault, Sancey, Badot, and Crini, 2009; Szygula, Guibal, Palacin, Ruiz, and Sastre, 2009; Altaher, El Qada, and Omar, 2011) อิศวัต แสงมณี, กรกฎ เพ็ชรหัสณะโยธิน, และสุธน เสถียรยานนท์ (2552) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี ซึ่งพบว่าวิธีดังกล่าวสามารถกำจัดสิ่งสกปรกในน้ำเสียได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือบ้านเรือน

วิธีตกตะกอนทางเคมีเกิดขึ้นโดยอาศัยกระบวนการสร้างและรวมตะกอน (coagulation and flocculation process) สารเคมีที่ใช้เรียกว่าสารสร้างตะกอน (coagulants) โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มเกลือของสารอนินทรีย์โลหะ (meal coagulants) เช่น อะลูมิเนียมซัลเฟต (aluminium sulfate) หรืออลัม (alum) เฟอรัสซัลเฟต (ferrous sulfate) และเฟอริกคลอไรด์ (ferric chloride) และกลุ่มที่สองเป็นสารสร้างตะกอนที่เป็นสารประกอบของโพลีเมอร์ (pre-polymerized coagulants) (Aguilar, Saez, Liorens, and Fuentes, 2005) เช่น โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (polyaluminium chloride, PAC) โพลีอะลูมิเนียมซัลเฟต (polyaluminium sulfate, PAS) และโพลีอะลูมิเนียมคลอโรซัลเฟต (polyaluminiumchlorosulfate, PACS) (Aguilar, Saez, Liorens, and Fuentes, 2005; Tzoupanos and Zouboulis, 2008) มีปัจจัยหลายประการเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของกระบวนการสร้างและรวมตะกอน

ตัวอย่างเช่น ชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอนพีเอชอัตราเร็วและเวลาในการกวน และระยะเวลาการตกตะกอน เป็นต้น (Wang, Chen, Ge, and Yu, 2007) สำหรับเพอริคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนกลุ่มเกลือของสารอนินทรีย์โลหะ นิยมใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายน้อยและสามารถนำมาใช้งานได้อย่างสะดวก ทำงานได้ดีในช่วงพีเอชกว้างตั้งแต่ 4-11 และสามารถทำงานได้ดีภายใต้สภาวะเป็นกรด (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2545; Tripathy and De, 2006) ส่วนโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนกลุ่มที่เป็นสารประกอบของโพลีเมอร์พัฒนาขึ้นจากสารสร้างตะกอนกลุ่มอะลูมิเนียม ปัจจุบันนิยมนำมาใช้บำบัดน้ำเสียเช่นกัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงแม้ใช้ปริมาณน้อย ทำงานได้ดีในช่วงพีเอชกว้างตั้งแต่พีเอช 5-8 และมีค่าใช้จ่ายไม่แตกต่างจากการใช้สารสร้างตะกอนกลุ่มเกลือของสารอนินทรีย์โลหะ (Sinha, Yoon, Amy, and Yoon, 2004; Crittenden, Trussell, Hand, Howe, and Tchobanoglous, 2005; Yang, Gao, Yue, and Wang, 2010)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนสองชนิด คือ เพอริคลอไรด์ และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียโรงงานผลิตสี ได้แก่ ปริมาณสารสร้างตะกอนและพีเอชที่เหมาะสม รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียระหว่างสารสร้างตะกอนทั้งสองชนิดอีกด้วย ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นแนวทางการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตสี เพื่อช่วยลดมลพิษต่อแหล่งน้ำและลดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่เกี่ยวข้อง

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้มีรูปแบบเป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) แบบทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experiment) โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตสีแห่งหนึ่งจังหวัดชลบุรี ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในช่วงเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2558

ตัวอย่างน้ำเสีย

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ คือ น้ำเสียที่เก็บจากถังรวบรวมน้ำเสียของกระบวนการผลิต โรงงานผลิตสีแห่งหนึ่ง จังหวัดชลบุรี ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วง (grab sampling) จำนวน 3 ครั้ง จนได้ปริมาตรตามที่ต้องการด้วยขวดเก็บตัวอย่างพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (polyethylene) นำตัวอย่างมายังห้องปฏิบัติการเพื่อดำเนินการวิจัยทันที สำหรับตัวอย่างที่ไม่ได้วิเคราะห์ทันทีจะรักษาสภาพตัวอย่างน้ำโดยเติมกรดซัลฟริกเข้มข้นให้พีเอชน้อยกว่า 2 และแช่เก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส วิเคราะห์คุณลักษณะของตัวอย่างน้ำเสียก่อนเริ่มการทดลองตามพารามิเตอร์ดังนี้ พีเอช ความขุ่นสี และซีโอดี (APHA, AWWA, and WEF, 2012) สำหรับคุณลักษณะน้ำเสียดังแสดงใน (Table 1)

การเตรียมความเข้มข้นของสารสร้างตะกอน

สารสร้างตะกอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เพอริคลอไรด์ (ferric chloride, FeCl_3) และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ (polyaluminium chloride, $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$) (Ajax finchem, Australia) มีวิธีการเตรียมดังนี้ ละลายสารเพอริคลอไรด์หรือโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ จำนวน 10 กรัม ในน้ำกลั่น

และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ได้เป็นสารสร้างตะกอน volume) และสารละลายโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์ (weight/volume) และสารละลายเพอริคคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์ (weight/volume)

Table 1 The characteristics of wastewater from spray painting process.

parameters	min-max	mean $\pm$ S.D.	analytical methods
pH	7.00 - 7.05	7.1 $\pm$ 0.03	electrometric
turbidity (NTU)	798 - 813	803.67 $\pm$ 8.14	nephelometry
color (SU)	440.60 - 442.75	440.80 $\pm$ 1.86	space unit
COD (mg/L)	1,110 - 1,135	1,120 $\pm$ 13.23	closed reflux titrimetric

วิธีการทดลองจาร์เทส

วิธีตกตะกอนทางเคมีเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้น โดยอาศัยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนโดยใช้สารเคมี เกิดขึ้นโดยใช้เครื่องจาร์เทส (jar test apparatus) (Wizard, Germany) ซึ่งประกอบด้วย 6 ใบพัด และปิกเกอร์ ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 6 ใบ สำหรับแต่ละการทดลองเติมน้ำเสีย ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ดังกล่าว และใช้สภาวะการทำจาร์เทส (jar test conditions) ดังนี้ อัตราความเร็วที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที อัตราความเร็วที่ความเร็ว 20 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และระยะเวลาการตกตะกอน 30 นาที (Ebeling et al., 2003)

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอน

1. การศึกษาปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมตวงตัวอย่างน้ำเสีย ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในปิกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารสร้างตะกอน ได้แก่ เพอริคคลอไรด์และโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ชุดทดลองกำหนดปริมาณสารสร้างตะกอนที่

ศึกษา ได้แก่ 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 และ 1,000 มิลลิลิตรต่อลิตร ตามลำดับ ชุดควบคุม คือ ตัวอย่างน้ำเสียที่ไม่เติมสารสร้างตะกอน ปริมาณสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมวิเคราะห์ จากประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีของตัวอย่างน้ำเสีย หลังการทดลองจำนวน 3 ครั้ง

2. การศึกษาพีเอชที่เหมาะสม ตวงตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ในปิกเกอร์ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารสร้างตะกอน ได้แก่ เพอริคคลอไรด์ และโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ตามปริมาณที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด ซึ่งได้จากชุดการทดลองก่อนหน้านี้ ชุดทดลองกำหนดพีเอชที่ศึกษา ได้แก่ 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 และ 11 ชุดควบคุม คือ ตัวอย่างน้ำเสียที่เติมสารสร้างตะกอนตามปริมาณที่เหมาะสมและไม่ปรับพีเอช สำหรับพีเอชที่เหมาะสมวิเคราะห์จากประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียหลังการทดลอง (Figure 1) และ (Figure 2)

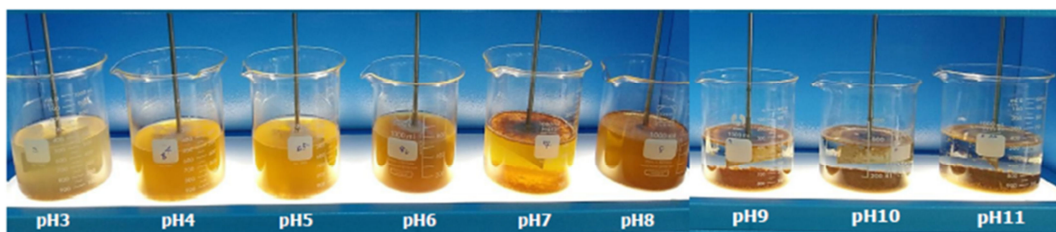


Figure 1 The jar test experiment of ferric chloride.

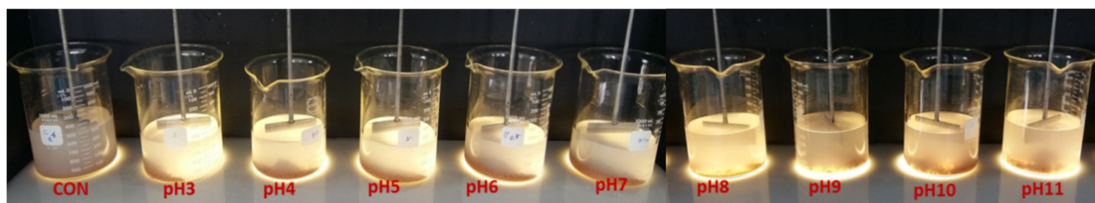


Figure 2 The jar test experiment of polyaluminium chloride.

3. การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของตัวอย่างน้ำเสีย คำนวณจากสูตร $((C_0 - C_t)/C_0) \times 100$ เมื่อ C_0 คือ ค่าซีโอดีในตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดลอง และ C_t คือ ค่าซีโอดีในตัวอย่างน้ำเสียหลังการทดลอง หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการรายงานผลการวิจัยประกอบสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ค่าเปอร์เซ็นต์ (percentage) และสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ การเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยที่เหมาะสม (ปริมาณสารสร้างตะกอนและพีเอช) กับเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียของสารสร้างตะกอน ด้วย one way ANOVA-single factor ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และหาความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีระหว่างสารสองตะกอนสองชนิด ด้วย independent t-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

ผลการศึกษา

สภาวะที่เหมาะสมของเฟอร์ริคคลอไรด์

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ใช้เฟอร์ริคคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอนแสดงดัง (Figure 3) และ (Figure 4) ผลการวิจัยพบว่าปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียโรงงานผลิตสีสูงสุด คิดเป็น 20.54 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ดังกล่าวไปศึกษาพีเอชที่เหมาะสม พบว่าพีเอช 5 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียได้สูงสุด คิดเป็น 33.04 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าซีโอดีของน้ำเสียหลังการทดลอง 750 ± 42.43 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ พบว่าปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์และพีเอชแตกต่างกันมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

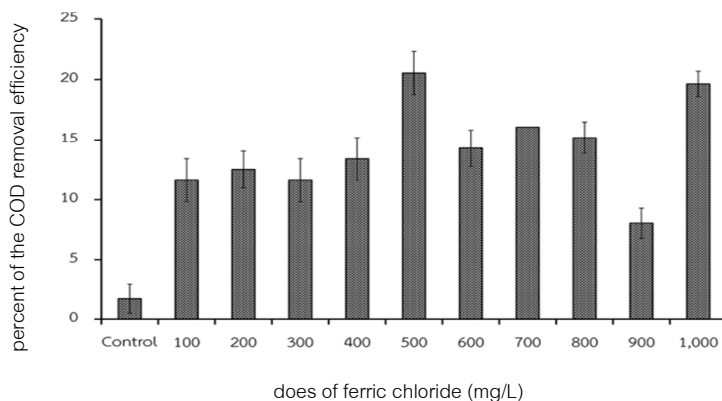


Figure 3 The effect of ferric chloride doses on COD removal efficiency.

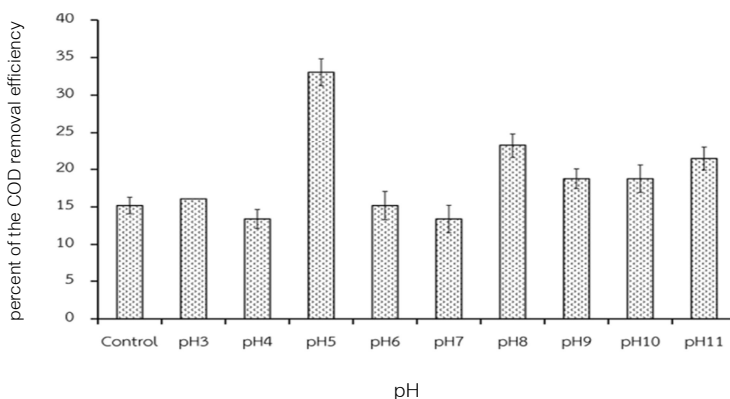


Figure 4 The effect of pH on COD removal efficiency by ferric chloride.

สภาวะที่เหมาะสมของโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ใช้โพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน ดังแสดงใน (Figure 5) และ (Figure 6) ผลการวิจัยพบว่าปริมาณโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียโรงงานผลิตสีสูงสุด คิดเป็น 37.41 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำปริมาณโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ดังกล่าวไปศึกษาพีเอชที่เหมาะสม พบว่า

พีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียได้สูงสุด คิดเป็น 37.90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าซีโอดีของน้ำเสียหลังการทดลอง 701 ± 32.53 มิลลิกรัมต่อลิตร และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติยังพบว่า ปริมาณโพลิอะลูมิเนียมคลอไรด์และพีเอชแตกต่างกันมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียจากกระบวนการพ่นสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

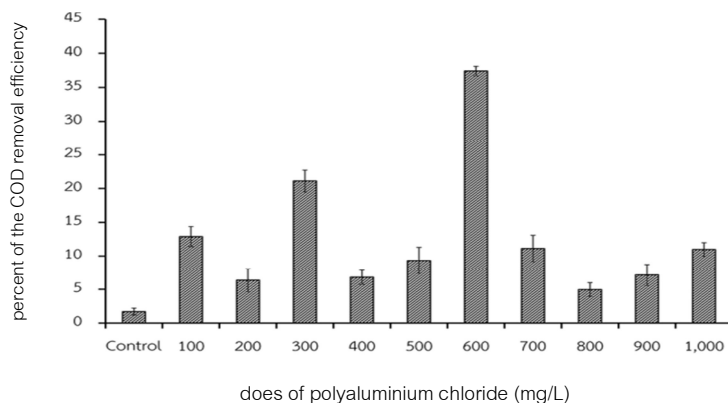


Figure 5 The effect of polyaluminium chloride doses on COD removal efficiency.

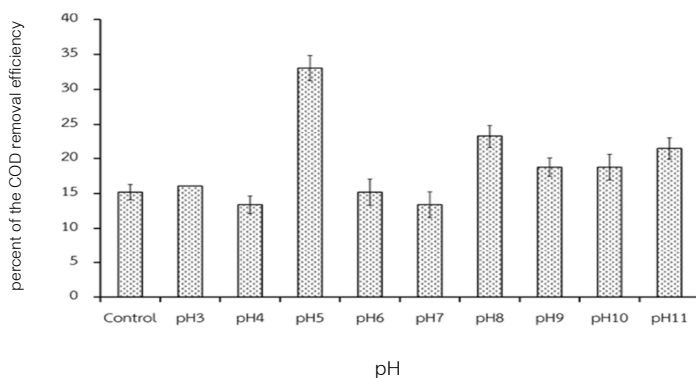


Figure 6 The effect of pH on COD removal efficiency by polyaluminium chloride.

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารสร้างตะกอน

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในตัวอย่างน้ำเสียระหว่างสารสร้างตะกอนทั้งสองชนิด โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิด จาก (Figure 7) โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีได้ 37.90 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับเฟอริกคลอไรด์ที่มีประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีได้ 33.04 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีระหว่างโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์และเฟอริกคลอไรด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

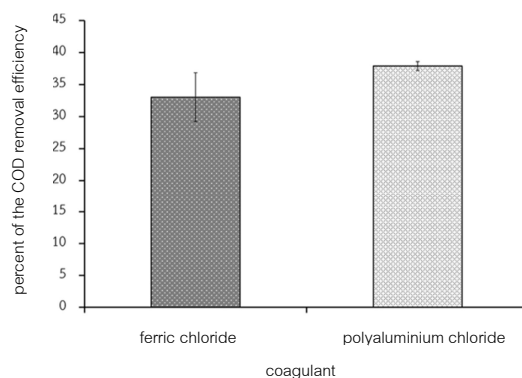


Figure 7 The efficiency of COD removal by ferric chloride and polyaluminium chloride.

อภิปรายผล

การบำบัดน้ำเสียหรือกำจัดสารมลพิษในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นประเด็นที่หน่วยงานทางด้านสิ่งแวดล้อมให้ความสำคัญอย่างมาก และมีงานวิจัยเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่อง น้ำเสียโรงงานผลิตสีมีสารเคมีซึ่งเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตสีปนเปื้อนอยู่มาก ทำให้มีค่าความสกปรกในรูปซีไอดีสูง งานวิจัยนี้ได้สนใจนำวิธีตกตะกอนทางเคมีมาบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเกิดขึ้นโดยกระบวนการสร้างและรวมตะกอนเป็นหลักสำคัญ ทั้งนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมาก ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานกระบวนการสร้างและรวมตะกอน หากชนิดของสารสร้างตะกอนไม่เหมาะสมกับประเภทของสารแขวนลอยในน้ำหรือปริมาณสารสร้างตะกอนไม่เพียงพอหรือมากเกินไปจะทำให้กระบวนการสร้างและรวมตะกอนเกิดขึ้นได้ไม่ดี (มันสิน ตันกุลเทศ, 2545) งานวิจัยนี้สนใจศึกษาสารสร้างตะกอน 2 ชนิด คือ เฟอริกคลอไรด์และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารสร้างตะกอนสองชนิดนี้มีสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของกระบวนการสร้างและรวมตะกอนแตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aboulhassan, Souabi, Yaacoubi, and Baudu (2014) บำบัดน้ำเสียของกระบวนการฟอสฟอไรต์ตกตะกอนทางเคมี โดยใช้เฟอริกคลอไรด์เป็นสารสร้างตะกอน และ anionic polyelectrolyte chemic 5161 เป็นสารช่วยสร้างตะกอน ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการสร้างและรวมตะกอน คือ ปริมาณเฟอริกคลอไรด์ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของ anionic polyelectrolyte chemic

5161 6 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4.5-6 มีประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีไอดี สี และบีไอดี ได้ 92, 97 และ 44.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ Rui, Duad, and Latif (2012) บำบัดน้ำชะขยะจากบ่อกำจัดขยะ เมือง Pasir Gudang, Johor ประเทศมาเลเซีย ปริมาณโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีไอดีของตัวอย่างน้ำเสียได้สูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์

พีเอชเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญของปฏิกิริยาการสร้างและรวมตะกอน ค่าพีเอชที่เหมาะสมขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ ตัวอย่างเช่น คุณลักษณะของน้ำที่ต้องการบำบัด ชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอน เป็นต้น (Altaher, El Qada, and Omar, 2011) สำหรับสารสร้างตะกอนกลุ่มที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบนั้น พีเอชจะมีผลต่อการเปลี่ยนรูปของโลหะหนักเมื่อสารสร้างตะกอนเหล่านี้ละลายน้ำ (Guo et al., 2010) Aziz, Alias, Assari, and Adlan (2007) อธิบายผลของพีเอชต่อกระบวนการสร้างและรวมตะกอนไว้สองประการ ดังนี้ ประการแรกคือพีเอชทำให้เกิดแรงและสร้างเป็นพันธะระหว่างไฮโดรเจนไอออน (H^+) กับสารประกอบโลหะหนัก และประการที่สองคือ พีเอชทำให้เกิดแรงและสร้างเป็นพันธะระหว่างไฮดรอกไซด์ของสารประกอบโลหะหนักไอออนบวกกับสารอินทรีย์ไอออนลบ ดังนั้น เมื่อนำสารสร้างตะกอนกลุ่มที่มีโลหะหนัก เป็นองค์ประกอบไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมี จึงสามารถกำจัดสิ่งสกปรกได้ดั่งนั้นเอง ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดมีพีเอชที่เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยาการสร้าง และรวมตะกอนแตกต่างกัน โดยพีเอชที่เหมาะสมของเฟอริก-

คลอไรด์และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์คือ พีเอช 5 และพีเอช 7 ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากเฟอริกคลอไรด์ทำงานได้ดีในช่วงพีเอชตั้งแต่ 4-11 และภายใต้สภาวะเป็นกรด (มันลิน ตัณกุลเวศม์, 2545; Tripathy and De, 2006) เมื่อเฟอริกคลอไรด์ละลายน้ำจะแตกตัวได้สารประกอบหลักที่มีประจุบวกในรูปของตะกอนเฟอริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) และไปจับกับสารแขวนลอยในน้ำที่มีประจุลบ ทำให้เกิดการรวมตัวของกลุ่มตะกอนเฟอริกคลอไรด์ Johnson and Amirtharajah (1983) อธิบายการแตกตัวของเฟอริกคลอไรด์ในน้ำด้วยกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนเฟอริกไฮดรอกไซด์กับพีเอช สรุปได้ว่าที่พีเอชต่ำ (pH 2-8) เฟอริกคลอไรด์จะแตกตัวกลายเป็นตะกอนเฟอริกไฮดรอกไซด์ได้ดีกว่าที่พีเอชสูง (pH 9-12) ในขณะที่โพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ทำงานได้ดีในช่วงพีเอช 5-8 จะแตกตัวให้สารประกอบของอะลูมิเนียมที่มีประสิทธิภาพในการสร้างตะกอนจำนวนมากที่พีเอช 6.5-7.0 เมื่อสารโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ละลายน้ำจะไฮโดรไลซ์ทันที กลายเป็นอะลูมิเนียมเชิงซ้อนจำนวนมาก ซึ่งรูปที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ $[\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}]^{+7}$ หรือ Al^{+13} การรวมตัวเป็นอะลูมิเนียม รูปแบบนี้ขึ้นอยู่กับระดับการรวมตัวของด่างกับกับสารละลายอะลูมิเนียม ชนิดและความเข้มข้นของด่าง ความเข้มข้นของสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์และอุณหภูมิ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือปริมาณของด่างที่เติมลงไปและระดับของความเป็นกลาง (Sinha, Yoon, Amy, and Yoon, 2004; Crittenden, Trussell, Hand, Howe, and Tchobanoglous, 2005; Yang, Gao, Yue, and Wang, 2010)

วิธีการตกตะกอนทางเคมีด้วยเฟอริกคลอไรด์และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

มีค่าซีโอดีหลังการบำบัดใกล้เคียงกับประกาศของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 45/2541 เรื่อง หลักเกณฑ์ทั่วไปในระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมในนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งได้กำหนดคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อระบายลงสู่ท่อน้ำทิ้งส่วนกลางของการนิคมอุตสาหกรรม ให้มีค่าซีโอดีไม่เกิน 750 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามสาเหตุที่วิธีการตกตะกอนทางเคมีสามารถกำจัดค่าซีโอดีได้ไม่มากนักอาจเนื่องมาจากตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานผลิตสี ในงานวิจัยนี้มีสารปนเปื้อนประเภทเกลืออนินทรีย์ที่เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ประจุบวก ตัวอย่างเช่น zincoxide, chromiumoxide และ copper phthalocyanine ทำให้ขัดขวางปฏิกิริยาการสร้างและรวมตะกอนได้

สรุป

การกำจัดซีโอดีในน้ำเสียโรงงานผลิตสีโดยใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมีนี้ได้สนใจศึกษาสารสร้างตะกอนสองชนิด ได้แก่ เฟอริกคลอไรด์และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารสร้างตะกอนที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งสกปรกในน้ำเสียของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำปฏิกิริยาของกระบวนการสร้างและรวมตะกอน จากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าสารสร้างตะกอนทั้งสองชนิดมีสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดซีโอดีในตัวอย่างน้ำเสียโรงงานผลิตสีแตกต่างกัน โดยสภาวะที่เหมาะสมของเฟอริกคลอไรด์ คือปริมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 มีประสิทธิภาพการกำจัดค่าซีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียได้ดีที่สุด คิดเป็น 33.04 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่

สภาวะที่เหมาะสมของโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ คือ ปริมาณ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7 มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียได้ดีที่สุด คิดเป็น 37.90 เปอร์เซ็นต์ โดยโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์แสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของตัวอย่างน้ำเสียใกล้เคียงกับเฟอริคคลอไรด์วิธีการตกตะกอนทางเคมีนี้เหมาะสมกับการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น โดยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วควรนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติมเพื่อให้มีค่าซีโอดีผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม หากต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพการปฏิบัติของกระบวนการสร้างและรวมตะกอนให้สามารถทำงานได้ดีขึ้น สามารถกำจัดซีโอดีหรือสารมลพิษในน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงการนำเอาสารช่วยสร้างตะกอน (coagulant aid) ที่มีราคาถูกและประสิทธิภาพดีมาใช้ร่วมกับสารสร้างตะกอนหรือศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการสร้างและรวมตะกอนอื่นๆ อาทิเช่น ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำเสีย อัตราเร็วและเวลาในการกวนเร็วและกวนช้า ระยะเวลาการตกตะกอน ระดับความขุ่นของน้ำและเกลืออนินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เป็นต้น

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตสีด้วยวิธีตกตะกอนทางเคมีเป็นวิธีที่สะดวก ใช้สารเคมีน้อยชนิด ค่าใช้จ่ายไม่แพง และใช้ระยะเวลาการบำบัดน้อย ผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นแนวทางนำเฟอริคคลอไรด์และโพลีอะลูมิเนียมคลอไรด์ไปบำบัดน้ำเสียขั้นต้นจากโรงงานผลิตสี หรือน้ำเสียประเภทอื่นๆ ที่มีคุณลักษณะน้ำเสียใกล้เคียงกัน โดยประยุกต์ใช้ปัจจัยที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยาของกระบวนการสร้างและรวมตะกอนด้านปริมาณของสารสร้าง

ตะกอนและพีเอชของสารสร้างตะกอนแต่ละชนิดตามความเหมาะสม

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดีไว้มา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- มันสิน ตันกุลเวช. (2545). *วิศวกรรมการประปา เล่มที่ 1* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภักดี ฐานปัญญา. (2526). *เทคนิคการซ่อมตัวถังและพ่นสีรถยนต์* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์พิทักษ์อักษร.
- อิสวัต แสงมณี, กรกฎ เพ็ชรหัสณะโยธิน, และสุธน เสถียรยานนท์. (2552). สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. *วารสารก้าวหน้าโลกวิทยาศาสตร์*, 9(1), 143-151.
- Aboulhassan, M. A., Souabi, S., Yaacoubi, A., & Baudu, M. (2014). Treatment of paint manufacturing wastewater by combination of chemical and biological process. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3(5), 1747-1758.
- Aguilar, M. I., Saez, J., Liorens, M., & Fuentes, A. (2005). Improvement of coagulation-flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid. *Chemosphere*, 58(1), 47-56.
- Altaher, H., El Qada, E., & Omar, W. (2011). Pretreatment of wastewater streams from petroleum/ petrochemical industries using coagulation. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 1, 245-251.

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20th ed). Baltimore, Maryland: United Book Press.
- Aziz, H. A., Alias, S., Assari, F., & Adlan, M. N. (2007). The use of alum, ferric chloride and ferrous sulphate as coagulants in removing suspended solids, colour and COD from semi-aerobic landfill leachate at controlled pH. *Waste Management & Research*, 25(6), 556-565.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2005). *Water treatment principles and design*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Ebeling, J. M., Philip, L., Sibrell, B., Sarah, R., Ogden, A., & Summerfelt, S. T. (2003). Evaluation of chemical coagulation-flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. *Aquacultural Engineering*, 29(1-2), 23-42.
- Guo, J. S., Abbas, A. A., Chen, Y. P., Liu, Z. P., Fang, F., & Chen, P. (2010). Treatment of landfill leachate using a combined stripping, fenton, SBR, and coagulation process. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1-3), 699-705.
- Johnson, P. N., & Amirtharajah, A. (1983). Ferric chloride and alum as single and dual coagulants. *Journal AWWA*, 75(5), 232-239.
- Renault, F., Sancey, B., Badot, P. M., & Crini, G. (2009). Chitosan for coagulation/flocculation processes: An eco-friendly approach. *European Polymer Journal*, 45(5), 1337-1348.
- Rui, L. M., Duad, Z., & Latif, A. A. A. (2012). Coagulation-Flocculation in leachate treatment by using ferric chloride and alum as coagulant. *International of Engineering Research and Applications*, 2(4), 1929-1934.
- Sinha, S., Yoon, Y., Amy, G., & Yoon, J. (2004). Determining effectiveness of conventional and alternative coagulants through effective characterization schemes. *Chemosphere*, 57(9), 1115-1122.
- Szygula, A., Guibal, E., Palacin, M. A., Ruiz, M., & Sastre, A. M. (2009). Removal of an anionic dye (Acid Blue 92) by coagulation-flocculation using chitosan. *Journal of Environmental Management*, 90(10), 2979-2986.
- Tripathy, T., & De, B. R. (2006). Flocculation: A new way to treat the waste water. *Journal of Physical Sciences*, 10, 93-127.
- Tzoupanou, N. D., & Zouboulis, A. I. (2008). Coagulation-flocculation processes in water/wastewater treatment: The application of new generation of chemical reagents. In *Proceedings of 6th IASMEWSEAS International Conference on Heat Transfer* (pp. 309-317), Greece: Thermal Engineering and Environment.
- Wang, J. P., Chen, Y. Z., Ge, X. W., & Yu, H. Q. (2007). Optimization of coagulation-flocculation process for a paper recycling wastewater treatment using response surface methodology. *Colloids and Surfaces A: Physiochemical and Engineering Aspect*, 302(1-3), 204-210.
- Yang, Z. L., Gao, B. Y., Yue, Q. Y., & Wang, Y. (2010). Effect of pH on the coagulation performance of Al-based coagulants and residual aluminum speciation during the treatment of humic acid – kaolin synthetic water. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1-3), 596-600.