RMUTP Research Journal Special Issue
The 5th Rajamangala University of Technology National Conference

การกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำด้วยวิธีค่าความเป็นกรดด่าง และอัลตร้าโซนิค

Dispersion of copper oxide in water by pH value and ultrasonic method

วิเชษฐ์ ละมัย[1*] และ เอกรัตน์ วงษ์แก้ว[2]

[1]นักศึกษา [2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวของอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ เพื่อใช้เป็นสารหล่อเย็นสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอน สำหรับการกระจายตัวของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ ศึกษาด้วยการปรับค่าความเป็นกรดด่าง และวิธีอัลตร้า- โซนิค พบว่าอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมวิธีการตกตะกอนให้ขนาดผลึกในระดับนาโน (< 22 nm) ความเป็นกรดด่างเท่ากับ 13 ทำให้อนุภาคเกิดการกระจายตัวได้ดีที่สุด สำหรับเวลาในการทำอัลตร้าโซนิคที่เหมาะสมต่อการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำที่ดีนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคที่ทำการศึกษากล่าวคือ อนุภาคขนาดเล็กทำให้เวลาในการอัลตร้าโซนิคลดลง เมื่อขนาดของอนุภาคใหญ่ขึ้น เวลาในการอัลตร้าโซนิคเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนเสถียรภาพของการกระจายตัวของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น และพบว่าเสถียรภาพของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำค่าความเป็นกรดด่าง 13 และอัลตร้าโซนิค 15 นาที มีเสถียรภาพในการแขวนลอยดีที่สุด

Abstract

The objective of this research is to study the dispersion of copper oxide particles in water using as a coolant in heat exchangers. Copper oxide particles were prepared by precipitate method. The parameters affected to dispersion of copper oxide were pH of solution and ultrasonic time. The results showed that an average crystalline size of copper oxide was in nano scale (< 22 nm). At pH value of 13, copper oxide was well dispersion in the water. Appropriate ultrasonic time of dispersion is dependent on particle sizes of copper oxide. The small particle sizes of copper oxide led to decreasing of ultrasonic time. On the other hand, an increasing in particles sizes required longer ultrasonic time. Stability of suspension of CuO in the water decreased with an increasing of time. Moreover, it was found that CuO particles were well dispersed in the water at pH value of 13 and ultrasonic time of 15 minutes

คำสำคัญ : นาโนฟลูอิด คอปเปอร์ขนาดอนุภาคนาโน การกระจายตัว เสถียรภาพ

Keywords : Nanofluids, Copper nanoparticles, Dispersion, Stability

[*]*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ su_naja7@hotmail.com โทร. 08 8379 1727*

1. บทนำ

ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนจัดเป็นกระบวนการทางความร้อนที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งถือเป็นหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตของโรงงาน และส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นการจัดการการแลกเปลี่ยนทางความร้อนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพการนำความร้อนสามารถทำได้โดยเติมอนุภาคของแข็งกระจายลงในของเหลวที่เป็นตัวกลาง หรือที่เรียกว่า นาโนฟลูอิด (Nanofluid) เพราะเมื่อเปรียบเทียบการใช้ตัวกลางที่เป็นของเหลวเพียงอย่างเดียวกับการเติมอนุภาคของแข็งลงในของเหลวตัวกลางนั้น ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของระบบสูงขึ้น (Zhu และคณะ, 2005)

โดยวิธีการเตรียมนาโนฟลูอิดมี 2 วิธี คือ วิธีขั้นตอนเดียว (Single step method) และวิธีสองขั้นตอน (Two step method) สำหรับวิธีขั้นตอนเดียวนั้นจะสามารถเตรียมนาโนฟลูอิดได้ในขั้นตอนเดียว ข้อดีคือมีความเสถียรในการคงตัวอยู่ของอนุภาคของแข็งที่กระจายตัวอยู่ในของเหลวที่เป็นตัวกลางสูง แต่ปัญหาคือยากต่อการขยายขนาดสำหรับการประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับวิธีสองขั้นตอนนั้น ขั้นแรกเป็นการเตรียมอนุภาคของแข็งขั้นที่สองจะเป็นการกระจายอนุภาคของแข็งลงในของเหลวตัวกลาง ซึ่งวิธีนี้ในเชิงอุตสาหกรรมง่ายต่อการขยายขนาดการผลิต แต่ข้อเสียคืออนุภาคของแข็งมีพลังงานพื้นผิวสูงทำให้อนุภาคของแข็งที่กระจายตัวในของเหลวตัวกลางเกิดการรวมตัวและตกตะกอนได้ง่าย ดังนั้นจึงจำเป็นต่อการพัฒนาและศึกษาความเสถียรในการคงอยู่ของอนุภาคของแข็งที่กระจายตัวอยู่ในของเหลวที่เป็นตัวกลาง เพื่อให้การแลกเปลี่ยนความร้อนของระบบมีประสิทธิภาพที่ดี (Mohammed และคณะ, 2011)

สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสถียรในการคงอยู่ของอนุภาคของแข็งที่กระจายตัวอยู่ในของเหลวที่เป็นตัวกลาง (Stability of nanofluid) มีอยู่ด้วยกันหลายปัจจัย เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งแขวนลอยในของเหลว ซึ่งพิจารณาจากกฎของ Stoke ดังสมการนี้ (Concha, 2009)

$$V = \frac{2R^2}{9\text{«}}(^{\circ}{}_P - {}^{\circ}{}_L)g$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคมีขนาดเล็กลงและความหนืดของสารตัวกลางมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีค่าน้อยลง นอกจากนี้ความเข้มข้นของอนุภาคของแข็ง หรือแม้แต่การกระจายตัวของอนุภาคของแข็งลงในของเหลวที่เป็นตัวกลาง ยังถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความเสถียรในการคงอยู่ของอนุภาคของแข็งที่กระจายตัวอยู่ในของเหลวที่เป็นตัวกลางด้วยเช่นกัน

ส่วนการรักษาความเสถียรในการคงอยู่ของอนุภาคของแข็งที่กระจายตัวอยู่ในของเหลวที่เป็นตัวกลางมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ วิธีเชิงกล เป็นการใช้อัลตร้าโซนิคช่วยในการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งในของเหลวให้ดียิ่งขึ้น สำหรับวิธีที่สองคือ วิธีเชิงเคมี (Chemical method) โดยการเติมสารลดแรงตึงผิวเพื่อเปลี่ยนพื้นผิวของอนุภาคของแข็งที่ไม่ชอบน้ำให้เป็นอนุภาคของแข็งที่ชอบน้ำสำหรับระบบที่มีตัวกลางเป็นน้ำ เพื่อให้เกิดการแขวนลอยได้ดี เช่น การใช้สารลดแรงตึงผิว Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) ลงในนาโนฟลูอิดของโลหะคอป-เปอร์ในน้ำ (Cu-water) พบว่าเมื่อเติม SDBS ในปริมาณที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดความเสถียรในการคงอยู่ของโลหะคอปเปอร์ในน้ำ และทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของนาโนฟลูอิดเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.7 (Li และคณะ, 2008) การปรับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เป็นอีกหนึ่งวิธีเชิงเคมีที่ช่วยการกระจายตัวของอนุภาคของแข็งดีขึ้น โดยการเพิ่มความหนาแน่นของประจุบนพื้นผิวอนุภาค (Surface charge density) ให้มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งพิจารณาได้จากค่า Zeta potential โดยความเสถียรในการแขวนลอยที่ดีนั้นนั้น ค่า Zeta potential ต้องมีค่าสูงหรือต่ำกว่า $\pm$ 30 มิลลิโวลต์ หรือมีค่าความเป็นกรดด่างที่ห่างจากจุด Isoelectric point มากนั่นเอง (Lee และคณะ, 2006)

สำหรับอนุภาคของแข็งที่นิยมนำมาเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้แก่ โลหะ (เช่น Cu, Ag, Au และ Fe) โลหะออกไซด์ (เช่น CuO, Al_2O_3 และ TiO_2) เมื่อพิจารณาในเชิงของการรวมตัวตะกอนนั้นโลหะออกไซด์พลังงานพื้นผิวจะต่ำกว่าโลหะ ทำให้แนวโน้มในการรวมตัวของตะกอนลดลง เป็นการเพิ่มการกระจายตัวของของแข็งในฟลูอิด ส่งผลต่อเสถียรภาพและค่าการนำความร้อนของนาโนฟลูอิด (Anandam และคณะ, 2012) นอกจากนี้ขนาดผลึกของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าการนำความร้อน โดยขนาดผลึกในระดับนาโนจะทำให้ค่าการนำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น (Saterlie และคณะ, 2011)

ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเตรียมโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยการตกตะกอน เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้อนุภาคของโลหะออกไซด์ในระดับนาโน ทำให้เพิ่มโอกาสในการกระจายตัวได้ดีในน้ำและเพิ่มค่าการนำความร้อนของนาโนฟลูอิดได้ดียิ่งขึ้น โดยพิจารณาความเข้มข้นของสารก่อตะกอนต่อขนาดผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ยังศึกษาการเพิ่มความสามารถในการกระจายตัวของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำด้วยวิธีการปรับค่าความเป็นกรดด่างและอัลตร้าโซนิคควบคู่กันอีกด้วย

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมนาโนฟลูอิด

การเตรียมนาโนฟลูอิดแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ การเตรียมโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการตกตะกอน โดยใช้คอปเปอร์ไนเตรต ($Cu(NO_3)_2 3H_2O$) เป็นสารตั้งต้นและโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เป็นสารก่อตะกอน ทำการอบตะกอนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง และเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ได้เป็นโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ นำไปบดผ่านตะแกรง 100เมช และวิเคราะห์ขนาดผลึกที่ได้ด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer (XRD) ส่วนสุดท้ายคือการนำโลหะออกไซด์ไปกระจายตัวในน้ำตามสัดส่วนคือ ร้อยละ0.15-0.25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

2.2 การศึกษาการกระจายตัวของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ

ส่วนแรกเป็นการศึกษาการตกตะกอน (Sedimentation test) โดยเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดด่างด้วยการปรับค่าความเป็นกรดด่างจากการเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ลงในนาโนฟลูอิดซึ่งปรับค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 1, 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 และเปรียบเทียบเวลาอัลตร้าโซนิคโดยนำนาโนฟลูอิดมาอัลตร้าโซนิคที่เวลาต่างกันคือ 0, 15, 30, 45, 60 และ 120 นาที นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบ ขนาดอนุภาคของโลหะ คอปเปอร์ออกไซด์ ที่กระจายตัวในน้ำ 3 ขนาดคือ 53-63, 90-105 และ 150-180 ไมโครเมตร รวมทั้งศึกษาสัณฐานวิทยาของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ และส่วนสุดท้ายคือการศึกษาเสถียรภาพของนาโนฟลูอิดด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer)

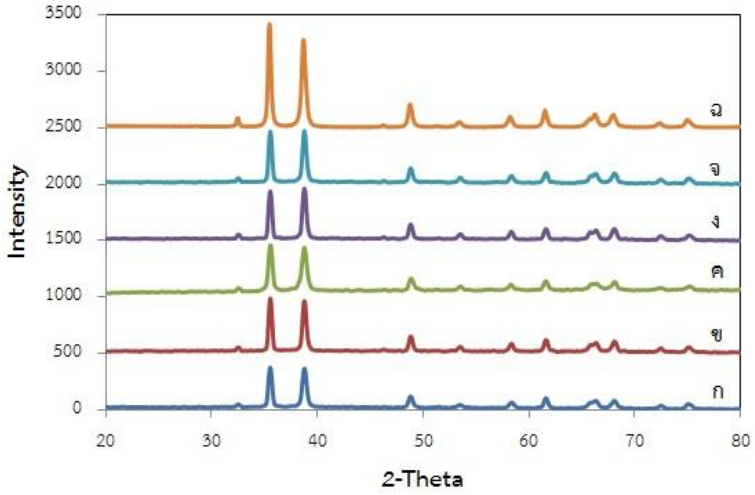
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดลองในส่วนนี้แบ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองเป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ขนาดผลึก

การเตรียมโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการตกตะกอนนั้น ขนาดของผลึกออกไซด์ที่ได้มีขนาดระดับนาโน ซึ่งจะส่งผลต่อค่าการนำความร้อนของระบบนาโนฟลูอิด (Sridhara, 2011) ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรคชั่น แสดงดังรูปที่ 1 โดยแกน X แสดงมุม 2-theta และแกน Y แสดงค่าความเข้มของสัญญาณจาก XRD (Intensity) ที่ตำแหน่งกราฟแสดงเป็นเส้นตั้งฉากที่มุม 2-theta เท่ากับ 35.52, 38.73, 48.84 และ 58.29 ซึ่งตำแหน่งพีคนี้คือ ตำแหน่งของพีคมาตรฐานของสารประกอบคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ที่มีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบ Monoclinic และจากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟเฟรคชั่น สามารถคำนวณหาค่าขนาดผลึกเฉลี่ยตามสมการ Sherrer ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารก่อตะกอนเท่ากับ 0.100 โมลาร์ ขนาดของผลึกออกไซด์มีขนาดเล็กสุดเท่ากับ 18.8 นาโนเมตร เมื่อความเข้มข้นของสารก่อตะกอนเพิ่มขึ้น ส่งผล

ให้ขนาดของผลึกออกไซด์มีขนาดใหญ่ขึ้นอันเนื่องมาจากความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง (วิรัชยา, 2552) ในขณะที่ความเข้มข้นของสารก่อตะกอนลดลงจาก 0.100 โมลาร์ พบว่าขนาดผลึกออกไซด์มีขนาดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีผลมาจากความเข้มข้นของสารก่อตะกอนที่ต่ำกว่าสารตั้งต้นจะทำให้ได้ตะกอนมากจนเกิดการทับถมกันมากขึ้นบริเวณพื้นผิวของตะกอนส่งผลให้ขนาดผลึกมีขนาดใหญ่ เพราะโดยปกติความเข้มข้นของสารก่อตะกอนที่ใช้ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความเข้มข้นของสารตั้งต้น (ศุภชัย, 2546)



รูปที่ 1 ผลของ XRD ที่ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารก่อตะกอนโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ต่อขนาดอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) (ก) 0.025 M (ข) 0.05 M (ค) 0.1 M (ง) 0.15 M (จ) 0.2 M (ฉ) CuO มาตรฐาน

ตารางที่ 1 ขนาดผลึกของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ระดับนาโน ที่ความเข้มข้นของสารก่อตะกอนต่างกัน

ความเข้มข้นของสาร (โมลาร์)		ขนาดผลึก
คอปเปอร์ไนเตรต	โซเดียมคาร์บอเนต	(นาโนเมตร)
0.100	0.025	20.2
0.100	0.050	21.9
0.100	0.100	18.8
0.100	0.150	19.1
0.100	0.200	19.6

3.2 การเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดด่างต่อการกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ

การปรับปรุงการกระจายตัวของสารก่อตะกอนในเชิงเคมีที่นิยมใช้กันมากคือการปรับค่าความเป็นกรดด่างของสาร เพื่อช่วยเพิ่มความหนาแน่นของประจุบริเวณพื้นผิวของอนุภาคทำให้อนุภาคเกิดการผลักกันมากขึ้น และสามารถกระจายตัวหรือแขวนลอยในตัวกลางได้ดีขึ้น จากการทดลองเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดด่างที่ 1, 3, 5, 7, 9, 11 และ 13 โดยปริมาณของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำคือ 0.25 %w/v ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.5 โมลาร์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าเมื่อเวลาที่ทำการทดสอบเพิ่มขึ้นนาโนฟลูอิดที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 13 อนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์สามารถกระจายตัวได้ดีและตกตะกอนช้าที่สุด เนื่องจากการแตกตัวเป็นไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความเสถียรของการแขวนลอย (Doymus, 2007) และที่ความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7 อนุภาคตกตะกอนอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ค่าความเป็นกรดด่าง

เท่ากับ 1 โลหะคอปเปอร์ออกไซด์เกิดการละลาย เนื่องจากมีค่าความเป็นกรดสูงโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ไม่ทนต่อความเป็นกรดด่างที่สภาวะนี้ สมการการละลายของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์เป็นดังสมการต่อไปนี้ (Mark, 2012)

$$CuO_{(S,\,black)} + H_2SO_{4(aq)} \rightarrow CuSO_{4(aq,\,blue)} + H_2O_{(l)}$$

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรดด่างต่อการกระจายตัวของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ

เวลา (นาที)	ความเป็นกรดด่าง (1, 3, 5, 7, 9, 11 และ 13)	เวลา (นาที)	ความเป็นกรดด่าง (1, 3, 5, 7, 9, 11 และ 13)
0		8	
2		10	
4		15	
6		20	

3.3 การเปรียบเทียบเวลาอัลตร้าโซนิคต่อการกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ

ในเชิงกลวิธีการอัลตร้าโซนิคถือเป็นอีกหนึ่งวิธีที่นิยมนำมาปรับปรุงการกระจายตัวของโลหะออกไซด์ ซึ่งใช้แรงสั่นสะเทือนของคลื่นเสียงทำให้อนุภาคเกิดการแตกตัว แต่ทั้งนี้ต้องเป็นเวลาที่เหมาะสมเท่านั้น เพราะถ้าเกินจุดที่เหมาะสม อนุภาคจะเกิดการรวมตัวและตกตะกอนลงอย่างรวดเร็ว (Rehman, 2012) ซึ่งผลการทดลองทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอัลตร้าโซนิคที่เวลาต่างกัน ด้วยปริมาณของคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำคือ 0.15 %w/v ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.5 โมลาร์ ที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 13 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าระบบที่ทำการอัลตร้าโซนิคที่เวลา 45 นาที ให้การกระจายตัวของอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ได้ดีที่สุด เมื่อเวลาอัลตร้าโซนิคเพิ่มขึ้น ความสามารถในการกระจายตัวและแขวนลอยในน้ำของอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ลดลงตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลของเวลาอัลตร้าโซนิคต่อการกระจายตัวของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ

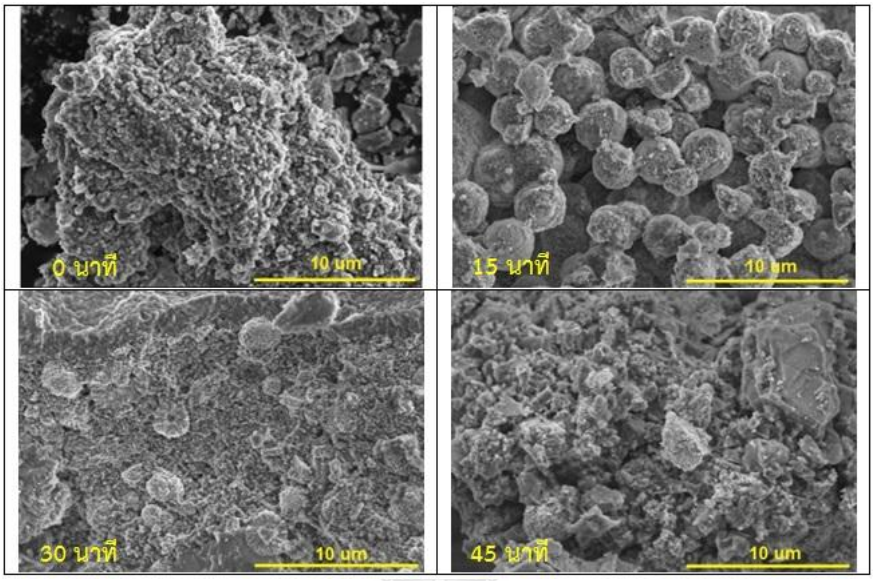
เวลาอัลตร้าโซนิค (นาที)	เวลา (นาที)								
	0	5	10	20	30	45	60	75	90
0									
15									
30									
45									
60									
120									

3.4 การเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของคอปเปอร์ออกไซด์ต่อการกระจายตัวในน้ำ

นอกจากการปรับค่าความเป็นกรดด่างและการอัลตร้าโซนิคเพื่อช่วยการกระจายตัวของอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำแล้ว อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อขนาดอนุภาคของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ก็คือขนาดของอนุภาคที่ใช้ ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการศึกษาขนาดอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ 3 ขนาดคือ 1) 150-180 นาโนเมตร 2) 90-105 นาโนเมตร และ 3) 53-63 ไมโครเมตร โดยปริมาณของคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำคือ 0.15 %w/v ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.5 โมลาร์ ที่ค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 13 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าเวลาอัลตร้าโซนิคเท่ากับ 0 และ 15 นาที ขนาดอนุภาคของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ขนาด 53-63 ไมโครเมตร มีการกระจายตัวได้ดีและตกตะกอนช้าที่สุด เมื่อเวลาอัลตร้าโซนิคเพิ่มขึ้นเป็น 30 นาที ขนาดอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ 90-105 และ 53-63 ไมโครเมตร มีการกระจายตัวและการตกตะกอนใกล้เคียงกัน จนกระทั่งเวลาอัลตร้าโซนิคที่ 45 นาที ขนาดอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ 90-105 ไมโครเมตร มีการกระจายตัวที่ดีและการตกตะกอนที่ช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดอนุภาคอื่น จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าขนาดอนุภาคของโลหะออกไซด์มีผลกับเวลาที่ใช้ในการอัลตร้าโซนิค โดยเวลาอัลตร้าโซนิคที่ช่วยในเรื่องการกระจายตัวของระบบนาโนฟลูอิดนั้นต้องอยู่ในช่วงเวลาที่เหมาะสม เพราะเมื่อเวลาเกินจุดที่เหมาะสมสำหรับขนาดอนุภาคนั้นๆแล้ว อนุภาคจะเกิดการรวมตัวกันง่ายขึ้นและตกตะกอนในที่สุด ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยสัณฐานวิทยาของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ที่แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าที่เวลาอัลตร้าโซนิคที่ 0 นาที อนุภาคของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ เมื่อทำการเพิ่มเวลาอัลตร้าโซนิคเป็น 15 นาที ลักษณะของอนุภาคเป็นทรงกลม ซึ่งพบว่าเวลาอัลตร้าโซนิคที่เวลานี้มีความเหมาะสมต่อการแขวนลอยในน้ำ เพราะเมื่อทำการเพิ่มเวลาเป็น 30 และ 45 นาที พบว่า ลักษณะของอนุภาคเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่เช่นเดิม จึงส่งผลให้ความสามารถในการแขวนลอยในน้ำลดลง

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบขนาดอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ต่อการกระจายตัวในน้ำ

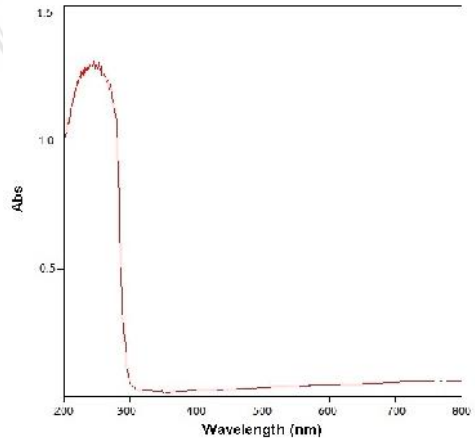
เวลา (นาที)	เวลาอัลตร้าโซนิค (นาที)											
	0			15			30			45		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
0												
5												
10												
20												
30												
45												
60												
75												
90												



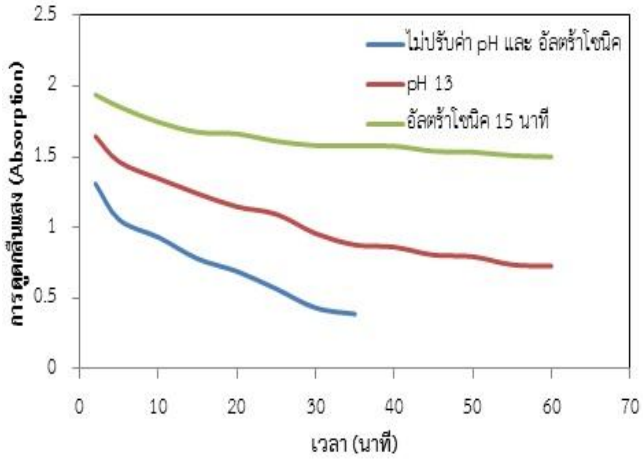
รูปที่ 2 สัณฐานวิทยาของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ที่เวลาอัลตร้าโซนิคต่างๆ (กำลังขยาย 5k)

3.5 เสถียรภาพของการแขวนลอยของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ

การทดลองในส่วนนี้แสดงให้เห็นถึงของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ ที่ความเข้มข้น 0.15%w/v ขนาดอนุภาค 53-63 ไมโครเมตร และทำการปรับปรุงการแขวนลอยด้วยการปรับค่าความเป็นกรดด่างและอัลตร้าโซนิค ซึ่งเสถียรภาพของการแขวนลอยตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสง (Absorption) ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ที่มีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ 200 ถึง 800 นาโนเมตร ผลการทดลองจากรูปที่ 3 พบว่าค่าสูงสุดของการดูดกลืนแสงของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ ปรากฏที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 242 นาโนเมตร เมื่อทำการการเปรียบเทียบด้วยวิธีต่างๆ ดังรูปที่ 4 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น (Hwang Yและคณะ, 2007) โดยที่โลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำที่ทำการปรับด้วยค่าความเป็นกรดด่างที่ 13 และอัลตร้าโซนิคที่ 15 นาที มีเสถียรภาพที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการปรับค่าความเป็นกรดด่างที่ 13 เพียงอย่างเดียวและไม่ทำการปรับค่าความเป็นกรดด่างและอัลตร้าโซนิค ที่ตำแหน่งเวลาเดียวกัน



รูปที่ 3 UV–vis spectrum ของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ



รูปที่ 4 เปรียบเทียบเสถียรภาพของการแขวนลอยของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำ

4. สรุป

จากการศึกษาเรื่องการกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำด้วยวิธีค่าความเป็นกรดด่างและอัลตร้าโซนิคนั้น พบว่าอนุภาคของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีการตกตะกอนมีขนาดในระดับนาโน (ต่ำกว่า 22 นาโนเมตร) เมื่อนำไปกระจายตัวในน้ำแล้วทำการปรับค่าความเป็นกรดด่างและอัลตร้าโซนิค พบว่าค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 13 ช่วยการกระจายตัวของอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ได้ดีที่สุด และเวลาอัลตร้าโซนิคที่เหมาะสมสำหรับระบบนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ที่เลือกใช้ อนุภาคมีขนาดยิ่งเล็กส่งผลให้เวลาอัลตร้าโซนิคลดลง สำหรับเสถียรภาพของโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น และโลหะคอปเปอร์ออกไซด์ในน้ำที่ปรับค่าความเป็นกรดด่างที่ 13 และอัลตร้าโซนิคที่ 15 นาที มีเสถียรภาพในการแขวนลอยสูงที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) มหาวิทยาลัยบูรพา (สัญญาเลขที่ 76/2556)

6. เอกสารอ้างอิง

วิรัชยา กัณหา. 2552. **การศึกษาสภาวะการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาต่อคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดโลหะออกไซด์ผสมสำหรับการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์**.ชลบุรี: วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศุภชัย ใช้เทียมวงศ์. 2546. **เคมีวิเคราะห์**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Anandan D. and Rajan K.S. 2012. **Synthesis and Stability of Cupric Oxide-based Nanofluid: A novel Coolant for Efficient Cooling,** Asian Journal of Scientific Research 5, 218-227.

Concha F. 2009. **Settling Velocities of Particulate Systems**, KONA Powder and Particle Journal 27, 18-37.

Doymus K. 2007. **The Effect of Ionic Electrolytes and pH on the Zeta Potential of Fine Coal Particles,** Turkish Journal of Chemistry 31, 589-597.

Hwang Y, Lee J.K, Lee C.H, Jung Y.M, Cheonga S.I, Lee C.G, Ku B.C, Jang S.P. 2007. **Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids,** Thermochimica Acta 455, 70–74.

Lee D, Kim J.W, Kim B.G. 2006. **A New Parameter to Control Heat Transport in Nanofluids: Surface Charge State of the Particle in Suspension,** the Journal of Physical Chemistry 110, 4323-4328.

Li X.F, Zhu D.S, Wang X.J, Wang N, Gao J.W, Li H. 2008. **Thermal Conductivity Enhancement Dependent pH and Chemical Surfactant for Cu-H_2O Nanofluids,** Thermochimica Acta 469, 98–103.

Mark N. and Jana P. 2012. **Types of Reactions: The Copper cycle.** New York State: Department of Environmental Conservation.

Mohammed H.A, Bhaskaran G, Shuaib N.H, Saidur R. 2011. **Heat transfer and fluid flow characteristics in microchannels heat exchanger using nanofluids: A review,** Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 1502–1512.

Rehman H, Batmunkh M, Jeong H, Chung H. 2012. **Sedimentation Study and Dispersion Behavior of Al_2O_3-H_2O Nanofluids with Dependence of Time,** Advanced Science Letters 6, 96–100.

Saterlie M, Sahin H, Kavlicoglu B, Liu Y, Graeve O. 2011. **Paricle Size Effect in the Thermal Conductuvity Enhancement of copper-based nanofluids**, Nanoscal Research Letters 6, 217.

Sridhara V. and Satapathy L.N. 2011. **Al_2O_3-based Nanofluids: a review,** Nanoscale Research Letters 6, 456.

Zhu D, Li X, Wang N, Wang X, Gao J, Li H. 2009. **Dispersion Behavior and Thermal Conductivity Characteristics of Al_2O_3–H_2O Nanofluids**, Current Applied Physics 9, 131–139.