

การสลายน้ำหมึกสีน้ำเงินด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์ของซิลเวอร์คลอไรด์ Degradation of Blue Ink by Silver Chloride Photocatalyst

ชูไฮณี ตูแกบือซี ชูฮัยละห์ ยาลา และฮาซัน ดอปอ
คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์สารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ที่มีรูปร่างแบบ cubic morphology มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 500 นาโนเมตร บนพื้นผิวจะมีหลุมเกิดขึ้นบางจุด เป็นลักษณะของ cubic cage morphology จะส่งผลดีต่อปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์ ทำให้ซิลเวอร์คลอไรด์สามารถสลายสารละลายน้ำหมึกสีน้ำเงินที่มีความเข้มข้น 0.25% ปริมาตร 100 mL ได้ภายในเวลา 6 ชั่วโมงภายใต้แสงยูวี จากการยืนยันคุณลักษณะของสารประกอบด้วยเครื่อง XRD แสดงให้เห็นว่าเกิดการ diffraction pattern ที่ตำแหน่งมุม 2 theta เดียวกันกับสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์เมื่อเปรียบเทียบกับซิลเวอร์คลอไรด์เชิงการค้าและฐานข้อมูลใน JCPDS file เมื่อศึกษาเอกลักษณ์ของหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะในสารประกอบด้วยเครื่อง FT-IR พบการสั่นของพันธะที่สำคัญ คือ $C - Cl$ ในสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ ที่ช่วงเลขคลื่น $700-600\text{ cm}^{-1}$

คำสำคัญ: ซิลเวอร์คลอไรด์ รูปร่างแบบลูกบาศก์ ปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์ น้ำหมึกปากกา

Abstract

The silver chloride with cubic morphology and around 500 nm in diameter was synthesized in this study. Following the synthesis, we found that the porous surface as the cubic cage morphology appeared. As a result, this porous surface also positively affected the photocatalytic reaction. Under UV radiation for 6 hours, 100 mL of 0.25% concentration blue ink solution was found to be degraded by the silver chloride in our experiment. Our study of the silver chloride with XRD also found the identical diffraction pattern with the commercial silver chloride and JCPDS database. In addition, FT-IR characteristic also showed significant $C - Cl$ bonds around wave number $700-600\text{ cm}^{-1}$.

Keywords: silver chloride, cubic morphology, photocatalyst, pen inks

บทนำ

ปัญหาคราบหมึกปากกาบนเสื้อผ้าพบได้บ่อย โดยเฉพาะปากกาหมึกซึมที่สามารถมีโอกาสเปื้อนได้ง่าย และยิ่งหากเป็นเสื้อนักเรียน นักศึกษา ที่มีสีขาวแล้ว จะทำให้เห็นคราบหมึกปากกาได้ชัด บางครั้งไม่สามารถนำมาใส่ได้อีก ทำให้เกิดการสูญเสียทรัพยากร และสิ้นเปลือง ซึ่งสีหมึกปากกาที่ใช้บ่อยที่สุดในวัยเรียนซึ่งทำให้มีโอกาสเกิดคราบปากกาเปื้อนบนเสื้อผ้ามากที่สุดคือสีน้ำเงิน น้ำหมึกปากกาลูกกลิ้งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ สารตัวนำ เป็นสารที่เติมลงในน้ำหมึกเพื่อการละลาย หรือ การพา สีย้อมหรือเม็ดสีรวมไปถึงความคล่องตัวในการไหลของลูกกลิ้ง สารสีเป็นส่วนประกอบที่ใส่กับน้ำหมึก บางครั้งมักจะใช้มากกว่า 1 ชนิด เช่น ในสูตรของน้ำหมึกสีน้ำเงินจะมีองค์ประกอบของ copper phthalocyanine, nitrosin, solvent fast blue และ luxol fast orange เป็นต้น เรซิน เป็นสิ่งที่เพิ่มเข้าไปในน้ำหมึกลูกกลิ้ง เพื่อเติมเต็มและเพื่อปรับในเรื่องความหนืดของน้ำหมึก เป็นต้น (Roux et

al., 1999) หมึกแห้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ ตัวทำละลาย สี และสารเติมแต่ง ส่วนแรก คือ ตัวทำละลาย หรือสารหล่อลื่น โดยทั่วไปจะใช้ไกลคอล (glycol) ไกลคอล อีเทอร์ (glycol ether) หรือ แอโรมาติก แอลกอฮอล์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือผสมกัน สารเคมีเหล่านี้มีจุดเดือดสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส จึงค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิห้อง การระเหยของตัวทำละลายบริเวณปลายปากกาจะทำให้เกิดการปิดกั้นตัวเองโดยปริยาย (self sealing skin) ทำให้ตัวทำละลายไม่ระเหยออกมาอีก และยังป้องกันการเปราะเปื้อนที่ปลายปากกาได้ด้วย กระบวนการนี้ไม่มีผลต่อการไหลของหมึกเมื่อเขียนลงบนกระดาษ ถึงกระนั้นในบางครั้งโครงสร้างแบบนี้ ก็มีผลให้การเขียนในครั้งแรกมีปัญหาได้ ส่วนที่สอง คือ สี จะใช้ในรูปของผงสีที่เลือกให้เหมาะสมกับ ตัวทำละลาย การผสมสีโดยปกติจะต้องใช้เวลา ซึ่งขึ้นอยู่กับความไวต่อแสง น้ำ ความคงทนของสี และ ความสามารถในการผสมเข้ากับตัวทำละลาย ส่วนหลังนี้สำคัญมากเพราะความเข้มข้นของสีที่ใช้นั้นจะสูงถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนักที่ต้องใช้ความเข้มข้นที่สูงเช่นนี้เพราะเฉพาะส่วนฟิล์มบาง ๆ ของหมึกเท่านั้นที่จะติดอยู่บนกระดาษ และจากสีหมึกปกติที่มีหมึกอยู่ประมาณ 20 เท่าของน้ำหนักหมึกในปากกาหมึกซึม ทำให้ต้องใช้ปริมาณของสีสูงมากไปด้วย ส่วนสุดท้าย คือ สารเติมแต่ง ซึ่งถูกคิดค้นขึ้นโดยผู้คิดสูตรเพื่อให้ได้หมึกที่ดีมีคุณสมบัติเฉพาะ ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เป็นความลับ เพราะจะมีผลต่อการผลิตปากการุ่นใหม่ออกมา (Thanasoulas et al., 2003) เมื่อเราใช้ปากกาเขียนบนกระดาษ ครั้งแรกน้ำหมึกจะยังไม่แห้งทันที แต่จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวทำละลายกับความชื้นในอากาศ รวมทั้งองค์ประกอบอื่น ๆ ในน้ำหมึก ทำให้น้ำหมึกที่เขียนลงบนกระดาษมีลักษณะอย่างที่เราเห็น น้ำหมึกจะแห้งสนิทเมื่อตัวทำละลายระเหยหรือซึมลงไปบนกระดาษ

สำหรับส่วนประกอบที่อยู่ในน้ำหมึกนั้น ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งานตามแต่คุณสมบัติ ที่ผู้ผลิตแต่ละรายต้องการ เช่น ความเหนียวหนืด ลักษณะการแห้งตัว สี การไหล การทนความร้อน การทนแสง หรือทนน้ำ เป็นต้น ซึ่งผู้ผลิตแต่ละรายก็จะมีสูตรน้ำหมึกไม่เหมือนกัน (Kher et al., 2006) ในส่วนนี้จะเป็นประโยชน์มากที่จะนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างกันของน้ำหมึก รอยเปื้อนจากสีของหมึกปากกา เป็นรอยเปื้อนที่ขจัดออกจากผ้าได้ยากที่สุด คราบสีบางชนิดอาจขจัดได้โดยการซักหลาย ๆ ครั้ง บางชนิดก็ต้องใช้สารฟอกขาว แต่ก็มีสีบางชนิดเมื่อถูกขจัดออกจากผ้าชนิดหนึ่งก็อาจไปเปื้อนติดผ้าอีกชนิดหนึ่ง ทำให้การขจัดออกทำได้ยากขึ้นการขจัดรอยเปื้อนของสีบนผ้าหรือวัสดุที่มีสี จะต้องคำนึงถึงความคงทนของสีย้อมเดิม (fastness of original color) โดยอาจจะทดสอบสีในบริเวณตะเข็บด้านในด้วย ถ้าสีมีความคงทนเพียงพอก็สามารถขจัดรอยเปื้อนนั้นได้ ดังนี้ ใช้โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ การฟอกขาวด้วยคลอรีน โปตัสเซียมไดโครเมต แล้วตามด้วยสารละลายที่อุ่นของโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ และยังมีเทคนิคในการขจัดคราบหมึกปากกาบนเสื้อผ้า ที่หลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น ขจัดคราบหมึกด้วยแอลกอฮอล์ นมสด นมเปรี้ยว แอซิโตน น้ำยาล้างเล็บ ผงซูลูร สยาสีฟัน เบกกิ้งโซดา เป็นต้น

ซิลเวอร์คอลลอยด์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่สามารถกำจัดสีย้อมผ้าสีน้ำเงินของ Methylene blue ได้ โดยปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์ จากงานวิจัยได้มีการสังเคราะห์อนุภาค AgCl ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 นาโนเมตร โดยใช้สาร ethylene glycol ผสมกับสาร polyvinyl pyrrolidone จากนั้นนำ AgCl ที่ได้ทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์เพื่อทำการสลายสีต่าง ๆ เช่น methyl orange (MO), methyl blue (MB), และ rhodamine B (Rh B) นอกจากนี้ยังแสดงถึงการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดีอีกด้วย เช่น เชื้อ *Escherichia coli*, เชื้อ *Staphylococcus aureus*, และเชื้อ *Bacillus subtilis* เป็นต้น (Dong et al., 2012) จะเห็นได้ว่า AgCl สามารถกำจัดสารละลายสีในกลุ่มสีน้ำเงินได้ จึงคาดว่าน่าจะกำจัดสีน้ำเงินของน้ำหมึกปากกาได้เช่นกัน จึงสนใจศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบซิลเวอร์คอลลอยด์ และนำ AgCl ไปกำจัดสีน้ำเงินจากน้ำหมึกปากกาด้วยปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์ โดยติดตามประสิทธิภาพในการกำจัดสีด้วยการวัดด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis spectrophotometer) และนำไปศึกษาคุณลักษณะด้วยเทคนิค X-ray Powder Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ศึกษารูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์
2. ศึกษาการกำจัดสีน้ำเงินจากน้ำหมึกปากกาด้วยสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์

วิธีการวิจัย

วิธีการสังเคราะห์

เตรียมสารละลาย Zirconium chloride โดยการชั่งสาร Zirconium chloride 15 กรัม ค่อย ๆ ละลายด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 50 mL พร้อมกวนสารละลายตลอดเวลา โดยใช้เครื่องกวนสารละลาย เมื่อสาร Zirconium chloride ละลายหมด จึงเติมสาร Vinyl acetate 15 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย Zirconium chloride นำสารละลายนี้ไปทำการรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

เตรียมสารละลาย Silver nitrate โดยการชั่งสาร Silver nitrate 5 กรัม เตรียมสารละลายกรด Ammonium hydroxide ปริมาตร 240 มิลลิลิตร (โดยการเจือจางในอัตราส่วน 1 : 1) แล้วผสมให้เข้ากัน ทำการรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

นำสารละลาย Silver nitrate ที่ได้ เติมน้ำลงในสารละลาย Zirconium chloride โดยค่อย ๆ หยดอย่างสม่ำเสมอ พร้อมกวนตลอดเวลา จะมีตะกอนสีขาวเกิดขึ้น นำตะกอนที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง และนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้ง

วิธีการศึกษาปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์ของน้ำหมึกสีน้ำเงิน

เมื่อได้ตะกอน silver chloride ที่ได้จากการสังเคราะห์จากข้อข้างต้นแล้ว จะนำมาศึกษาการกำจัดสีน้ำเงินจากน้ำหมึกปากกา โดยมีขั้นตอนดังนี้

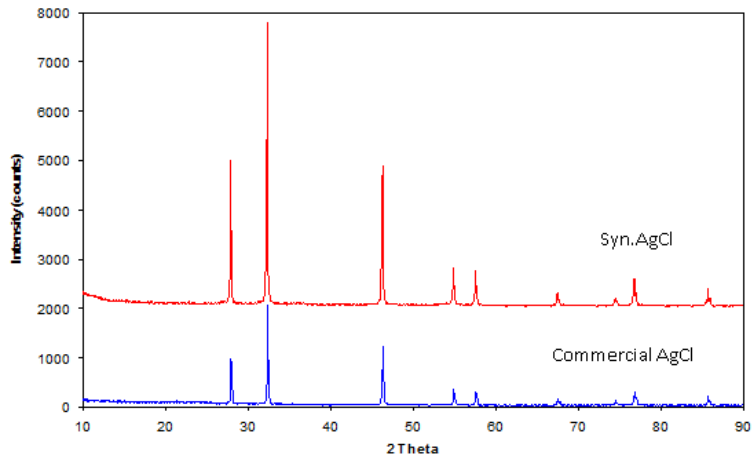
ทำการเตรียมสารละลายของน้ำหมึก 0.25 % โดยการปิเปตน้ำหมึกสีน้ำเงินยี่ห้อ Pilot จากขวดมา ปริมาตร 0.25 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 mL ในขวดวัดปริมาตร และเทใส่ในบีกเกอร์ขนาด 150 mL เพื่อเตรียมทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์ หลังจากนั้นจึงเติมผง silver chloride ปริมาณ 0.1 g ลงไปในบีกเกอร์ของสารละลายที่มีน้ำหมึกสีน้ำเงินเข้มข้น 0.25 % ปริมาตร 100 mL จึงเริ่มทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์โดยการนำบีกเกอร์ของสารละลายน้ำหมึกนี้ใส่ในตู้ทำปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์และทำการกวนสารละลายในที่มืดก่อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่าง adsorption-desorption และจะทำการกวนสารละลายตลอดเวลาการทดลอง เมื่อครบ 1 ชั่วโมงจะทำการเก็บตัวอย่างสารละลายน้ำหมึกมาปริมาตร 3 mL ชั่วโมงถัดไปของการทำปฏิกิริยาจะทำการเปิดไฟจากหลอดกำเนิดแสงยูวี เมื่อครบ 1 ชั่วโมงซึ่งนับเป็นชั่วโมงที่สอง จะทำการเก็บตัวอย่างสารละลายของน้ำหมึกมาอีกเช่นเดิมปริมาตร 3 mL และจะทำเช่นนี้เมื่อครบ 3 ชั่วโมง และชั่วโมงถัด ๆ ไป จนครบ 6 ชั่วโมง หรือจนกว่าสารละลายน้ำหมึกสีน้ำเงินจะใส นั่นคือ สารละลายถูกสลายจนสมบูรณ์ นำสารละลายตัวอย่างที่ได้เก็บมาที่ชั่วโมงต่าง ๆ ไปทำการแยกตะกอนของ silver chloride ออกด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 50 rpm เป็นเวลา 5 นาที จะทำให้ตะกอน silver chloride ที่แขวนลอยในสารละลายตกตะกอนที่ก้นหลอด Centrifuge และดูดสารละลายใสส่วนบนออกใส่ในหลอดทดสอบ เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

คุณลักษณะของสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์

จากการยืนยันคุณลักษณะของสารประกอบด้วยเครื่อง powder X-ray diffraction สารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ที่ได้สังเคราะห์ในงานวิจัยชิ้นนี้ ปรากฏชุดรูปแบบของการ diffraction ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 27.82, 32.24, 46.25, 54.82, 57.45, 67.42, 74.44, 76.72 และ 85.67 ซึ่งตรงกับระนาบของ AgCl ที่มีระบบผลึกแบบ face center cubic (FCC) ดังนี้ (111), (200), (220), (311), (222), (400), (331), (420) ในฐานข้อมูล JCPDS

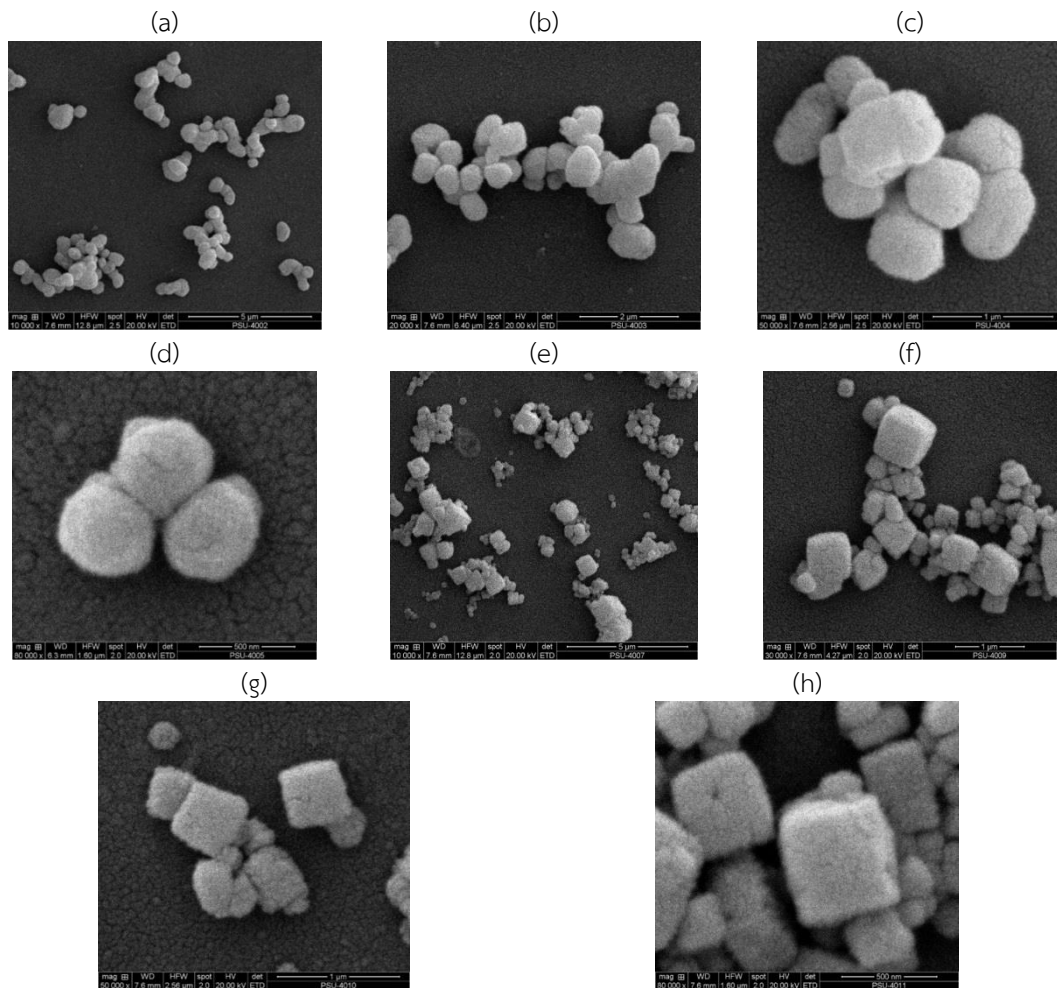
Card file no. 31-1238 (Wang et al., 2009) โดยที่ค่า 2 theta เท่ากับ 85.67 ไม่ค่อยมีรายงานในงานวิจัย โดยทั่วไป เพราะที่ค่ามุม 2 theta สูง ๆ มักจะไม่นำมาพิจารณา แต่เป็นคุณลักษณะของซิลเวอร์คลอไรด์เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบรูปแบบของการ diffraction กับสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์เชิงการค้าแล้วพบว่าเกิดการ diffraction ที่ตำแหน่ง 2 theta เดียวกันทุกประการ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดง XRD pattern ของซิลเวอร์คลอไรด์เชิงการค้า (commercial AgCl) และซิลเวอร์คลอไรด์ที่สังเคราะห์ (syn.AgCl)

สัณฐานวิทยาของสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์

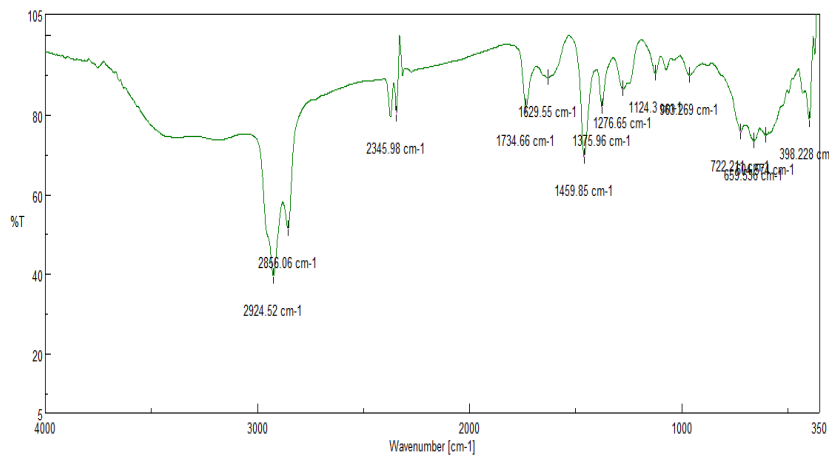
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาหรือลักษณะรูปร่างของสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) ที่กำลังขยายต่าง ๆ จากรูปจะเห็นได้ว่าอนุภาค AgCl ที่ได้จากการสังเคราะห์ในสารละลายที่ไม่มีแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน (irregular shape) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 500 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2 (a)- 2 (d) ส่วนการสังเคราะห์ในสภาวะที่มีสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์อยู่ จะได้อนุภาคที่มีรูปร่างแบบ cubic morphology อย่างชัดเจน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 500 นาโนเมตรเช่นกัน นอกจากนั้นพื้นผิวของ cubic บางอนุภาคผิวจะไม่เรียบ โดยจะมีหลุมเกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2 (e)- 2 (h) ลักษณะรูปร่างที่เกิดขึ้นแบบนี้จะเรียกว่าเป็นรูปร่างแบบ cubic cage คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Tang และคณะ ในปี 2012 คาดว่าเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของแสงยูวีในระบบของสารผสมที่มีสาร ethylene glycol ละลายอยู่ในสารละลาย ลักษณะรูปร่างแบบ cubic cage นี้จะส่งผลให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นจากเดิม และส่งผลดีต่อปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์ (Tang et al., 2013) เนื่องจากภายในอนุภาคมีความกลวงอยู่ จึงทำให้พื้นที่ผิวมีมากกว่าเดิม นอกจากนี้จะเกิดการเลี้ยวเบนของแสงภายในอนุภาคผ่านรูที่เกิดขึ้นขณะที่แสงยูวีตกกระทบขณะเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์



ภาพที่ 2 แสดงสัณฐานวิทยาของ AgCl ที่สังเคราะห์ในระบบที่ไม่ใช้สารละลาย NH_4OH (a)-(d) และสัณฐานวิทยาของ AgCl ที่สังเคราะห์ในระบบที่ใช้สารละลาย NH_4OH (e)-(h)

เอกลักษณ์ของสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์

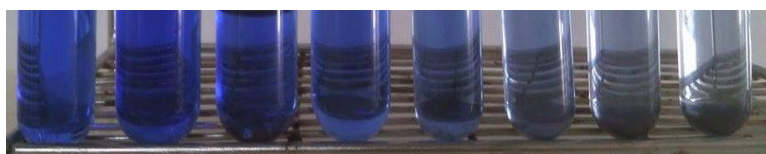
กราฟที่ได้จากการวัดการสั่นของพันธะที่มีอยู่ในอนุภาคของซิลเวอร์คลอไรด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) ในโหมด diffuse method ผลจากสเปกตรัมอินฟราเรดแถบสเปกตรัมที่สำคัญมีดังนี้ พบการยืดของหมู่ฟังก์ชัน O-H ที่ตำแหน่ง 2924 และ 2856 cm^{-1} พบการยืดของหมู่ C=O ที่ตำแหน่ง 1734 cm^{-1} และพบการยืดของพันธะ C-Cl เป็นแถบกว้าง ที่ช่วง $700-600 \text{ cm}^{-1}$ (Baghkheirati et al., 2016) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของซิลเวอร์คลอไรด์ที่ได้จากการสังเคราะห์

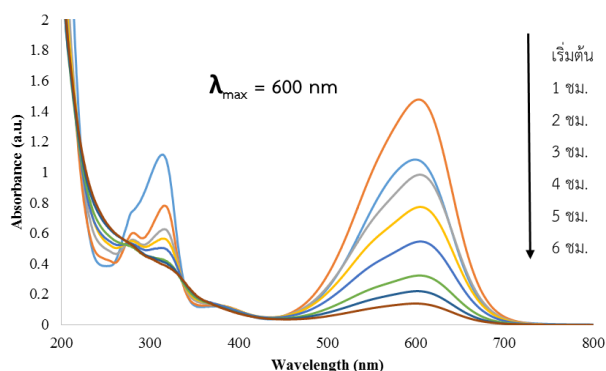
การสลายน้ำหมึกสีน้ำเงินและสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการสลายน้ำหมึกสีน้ำเงินที่ความเข้มข้น 0.25% ปริมาตร 100 mL ด้วยตะลิสต์ซิลเวอร์คลอไรด์ ปริมาณ 0.1 g ภายใต้แสงยูวี ในตู้ทำปฏิกิริยา ทำการคนในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดความสมดุลของการดูดซับบนพื้นผิวของซิลเวอร์คลอไรด์ (adsorption-desorption) จึงทำการเก็บตัวอย่างสารละลายน้ำหมึกมาปริมาตร 3 mL เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพในการดูดซับ หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการกระตุ้นด้วยแสงยูวี จนสีน้ำเงินถูกสลายไปโดยทำการเก็บตัวอย่างสารละลายมาทุก ๆ 1 ชม. ปริมาตร 3 mL จนถึง 7 ชม. จากการทดลองพบว่าสีน้ำเงินจะค่อย ๆ จางลง โดยใช้เวลา 6 ชม. สีน้ำเงินถูกสลายจนได้สารละลายใส ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงน้ำหมึกสีน้ำเงินที่จางลงจากปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิสต์

เมื่อนำสารละลายทั้ง 7 ตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer จากหลักการของการดูดกลืนแสง โดยความสามารถในการดูดกลืนแสงจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย จากการสแกนความยาวคลื่นที่สารละลายดูดกลืนได้ดีที่สุด (λ_{max}) พบว่าสามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยกราฟที่สูงที่สุดจะแสดงถึงสีน้ำเงินจากหมึกปากกาที่มีลักษณะสีที่เข้มและกราฟจะยิ่งลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำเงินจากหมึกปากกาจนใส ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำหมึกสีน้ำเงินที่เวลาต่าง ๆ

สรุปผลการวิจัย

จากการสังเคราะห์สารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ด้วยวิธี modified precipitation method พบว่า สัณฐานวิทยาของสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ที่ได้จะมีรูปร่างแบบลูกบาศก์ (cubic morphology) ส่วนในระบบ การสังเคราะห์ที่ไม่ได้ใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์จะทำให้สารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ที่ได้จะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน (irregular shape) รูปร่างที่เกิดขึ้นคาดว่าเป็นผลจากสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไป ในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท เมื่อนำมาหยดลงในสารละลายของเซอร์โคเนียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นแหล่งของคลอไรด์ และจะมีกรดไฮโดรคลอริกเกิดขึ้นเมื่อละลายน้ำ ดังนั้นการผสมกันระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก จึงเหมือนการสะเทินระหว่างกรดและเบส ส่งผลให้มีแก๊สเกิดขึ้นด้วย จะสังเกตเห็นเป็นควันสีขาว ทั้ง ๆ ที่ขณะผสมกันไม่ได้ให้ความร้อนแต่อย่างใด รูปร่างที่แตกต่างกันนี้ยังคงมีระบบผลึกเหมือนกันอยู่ คือ เป็นระบบผลึกแบบ face center cubic จึงทำให้ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง XRD จะไม่สามารถบอกความแตกต่างของรูปร่างที่เกิดขึ้นได้ แต่จะยืนยันได้ว่าทั้งสองรูปร่างที่แตกต่างกันนี้เป็นสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์เหมือนกัน จากการศึกษาลักษณะของ สารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ด้วยเครื่อง FT-IR โดยทำการวิเคราะห์ในโหมด Diffuse method ปรากฏว่าให้แถบ การสั่นของพันธะที่สำคัญในช่วงเลขคลื่น 722, 697 และ 611 cm^{-1} โดยเป็นการสั่นของพันธะระหว่าง $\text{C} - \text{Cl}$ ในสารประกอบ AgCl ที่ได้จากการสังเคราะห์ เมื่อนำสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ไปใช้ในการกำจัดสีน้ำเงินของน้ำ หมึกปากกา ซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร พบว่าที่ความเข้มข้น 0.25 % สามารถสลายได้ โดยใช้เวลา 6 ชั่วโมง ภายใต้การกระตุ้นด้วยแสงยูวี

เอกสารอ้างอิง

- An, C., Wang, R., Wang, S., and Zhang, X. (2011). Converting AgCl nanocubes to sunlight-driven plasmonic AgCl : Ag nanophotocatalyst with high activity and durability. *Journal of Materials Chemistry*, 21 (31), 11532.
- Baghkheirati, E. K., Mohammad B. Bagherieh-Najjar, M, B., Fadafan, H, K., and Abdolzadeh, A. (2016). *Journal of Experimental Nanoscience*, (11), 512-517.
- Dong, L., Liang, D., and Gong, R. (2012). In situ photoactivated AgCl/Ag nanocomposites with enhanced visible light photocatalytic and antibacterial activity. *European Journal of Inorganic Chemistry*, (19), 3200-3208.

- Kher, A., Mulholland, M., Green, E., and Reedy, B. (2006). Forensic classification of ballpoint pen inks using high performance liquid chromatography and infrared spectroscopy with principal components analysis and linear discriminant analysis. **Vibrational Spectroscopy**, 40, 270–277.
- Roux, C., Novotny, M., Evans, I., and Lennard, C. (1999). A study to investigate the evidential value of blue and black ball-point pen inks in Australia. **Forensic Science International**, 101, 167–176.
- Tang, Y., Jiang, Z., Xing, G., Li, A., Kanhere, P. D., Zhang, Y., ... Chen, Z. (2013). Efficient Ag@AgCl cubic cage photocatalysts profit from ultrafast plasmon-induced electron transfer processes. **Advanced Functional Materials**, 23, 2932-2940.
- Thanasoulas, N.C., Parisi, N.A., and Evmiridis, N.P. (2003). Multivariate chemometrics for the forensic discrimination of blue ball-point pen inks based on their vis spectra, **Forensic Science International**, 138, 75–84.
- Wang, W., Lu, W., and Jiang, L. (2009). AgCl and Ag/AgCl hollow spheres based on self-assemblies of a multi-amine head surfactant. **Journal of Colloid and Interface Science**, 338 (1), 270-275.