

ตาข่ายสารประกอบโพลิเมอร์และผงแร่ซีโอไลต์สำหรับ ดักจับแอมโมเนียในแหล่งน้ำ

The Polymer/Zeolite Composite Net for Entrapping Ammonia in Water

ณภัทร สุขแสงพนมรุ่ง^{1*} พิมพ์นิภา ธรรมใจอูต¹ วชิราภรณ์ อ่อนไทย¹
เมษสุวิทย์ พงษ์ประมุล¹ ดวงกมล ตุคะสมิต² รัฐพล รั้งกฤษณ์³

¹โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์

E-mail: aongim@gmail.com

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

³สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ : แอมโมเนียเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ในปัจจุบันมีวิธีการบำบัดแอมโมเนียในน้ำหลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน คือการบำบัดด้วยแร่ซีโอไลต์ (Zeolite: Z) ซึ่งในสภาวะปกติซีโอไลต์ที่ใช้กันทั่วไปอยู่ในรูปผง จึงพบปัญหาการแยกผงซีโอไลต์ออกจากน้ำหลังบำบัดเสร็จงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยและสร้างนวัตกรรม ตาข่ายสารประกอบโพลิเมอร์ที่มีผงแร่ซีโอไลต์เป็นตัวประกอบสำหรับดักจับแอมโมเนียในแหล่งน้ำ โดยตาข่ายสารประกอบโพลิเมอร์นี้ต้องใช้งานง่ายและต้องสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ นอกจากนี้ยังสนใจศึกษาตัวโพลิเมอร์ที่เหมาะสมในการทำเป็นตาข่าย โดยพิจารณาจากเซลลูโลสอะซิเตท (CA) และโพลิอะคลิไนด์ไนไตรล์ (PAN) ดังนั้นเส้นใยคอมโพสิตสองชนิด (CA/Z และ PAN/Z) จึงถูกผลิตด้วยกระบวนการผลิตเส้นใยแบบปั่นเปียก จากการทดลองพบว่า CA/Z มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียมากกว่า PAN/Z และ Z ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของเส้นใย CA/Z ในอัตราส่วน 3:1 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเส้นใย CA/Z ที่อัตราส่วน 4:1 หลังผลการทดลอง ได้จัดทำสร้างตาข่ายดักจับแอมโมเนีย โดยการนำเส้นใยร้อยผ่านแผ่นเฟรมอะลูมิเนียม พบว่าเมื่อนำเส้นใยมาทำเป็นตาข่ายประสิทธิภาพในการดักจับแอมโมเนียจะเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ : ซีโอไลต์ เซลลูโลสอะซิเตท โพลิอะคลิไนด์ไนไตรล์ การดักจับแอมโมเนีย

ABSTRACT : Ammonia is an important problem adversely affecting waste water. Various methods for removal of ammonia from wastewater have been applied. Among these methods, adsorption by zeolite is considered to be the simplest way. Zeolite can reuse by incubating at high temperatures. However, it is difficult to separate zeolite in large scale water treatment. In this research, the polymer/zeolite composite net for entrapping ammonia in water was studied. The objective was to create the ammonia adsorption net which can be easily used and can be reused. Two composite fibers, CA/Z and PAN/Z, were produced by wet spinning method. The results showed that CA/Z was more capable on ammonia adsorption than PAN/Z and pure Z. The quantity of zeolite in the composite fiber (CA/Z 4:1 and 3:1) were also studied. The results showed that different ratios CA/Z were not statistically significant different in ammonia adsorption efficiency. Finally making the adsorption net experiment was studied. The composite fibers were knitted through the square frame and were tested. The results showed that the nets increased the efficiency of the fibers on ammonia adsorption.

KEYWORDS : Zeolite, Cellulose acetate, Polyacrylonitrile, Ammonia entrapping

1. บทนำ

ในปัจจุบัน มลพิษทางน้ำเป็นปัญหาสำคัญลำดับต้นๆของประเทศไทย จากรายงานการดำเนินงานของสำนักจัดการคุณภาพน้ำประจำปี 2555 พบว่าพารามิเตอร์ที่เป็นปัญหาสำคัญตัวหนึ่งในแหล่งน้ำที่อยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมคือแอมโมเนีย [1] ซึ่งการมีปริมาณแอมโมเนียในน้ำมาก ส่งผลต่อระบบไหลเวียนของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำต่ำลงและถึงตายได้ [2]

แอมโมเนียเป็นแก๊สไม่มีสี พบในน้ำในรูปแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) แอมโมเนียทั้งสองรูปสามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ขึ้นกับค่า pH ของน้ำ ปัจจุบันวิธีกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียมีหลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายที่สุดคือการใช้สารดูดซับ (Adsorption)

แอมโมเนีย ซึ่งแร่ซีโอไลต์มีคุณสมบัติดังกล่าว ซีโอไลต์ (Zeolite: Z) เป็นแร่ที่มีโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของหน่วยทรงสี่หน้าของซิลิเกตและอะลูมิเนตมีสมบัติของความเป็นขั้วลบอันเนื่องมาจากการไม่สมดุลของประจุ Al^{3+} และ Si^{4+} ในโครงสร้าง ความเป็นขั้วลบในโครงสร้างซีโอไลต์จะถูกดุลด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะอัลคาไลและ/หรือไอออนอัลคาไลน์เอิร์ธ จึงทำให้ซีโอไลต์มีความเป็นกลางในธรรมชาติ และจากการก่อตัวที่เป็นระเบียบทำให้ภายในโครงสร้างของซีโอไลต์เกิดมีรูพรุนและโพรงที่มีขนาดใหญ่เพียงพอกับการแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดกระบวนการดูดซับและคายโมเลกุลสารอินทรีย์ขนาดเล็กจนถึงขนาด 1 นาโนเมตร ข้อดีอีกอย่างของซีโอไลต์คือสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เมื่ออบที่อุณหภูมิสูง [3]

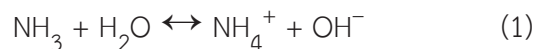
เซลลูโลสอะซิเตท (Cellulose Acetate: CA) เป็นเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากการนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับกรดแอซิดิกเข้มข้น โดยมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เซลลูโลสอะซิเตทใช้ทำเส้นใยเพื่อผลิตเป็นแผ่นพลาสติก ทำแผงสวิทช์ และหุ้มสายไฟฟ้าอีกทั้งมีข้อดีคือมีคุณสมบัติที่ขึ้นรูปง่าย [4-5] โพลีอะคริโลไนไทรล์ (Polyacrylonitrile: PAN) เป็นโพลิเมอร์ที่มีประโยชน์หลายอย่าง ส่วนใหญ่ใช้ในการทำเยื่อหุ้ม (Membrane) เพราะมีคุณสมบัติคือทนต่อตัวทำละลาย แสง ความร้อน และมีชีวิตขนาดเล็ก และสารเคมีได้ดี นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับ Nanofiltration และ Reverse Osmosis [6]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเซลลูโลสอะซิเตทที่มีคุณสมบัติขึ้นรูปง่ายและสามารถสังเคราะห์จากเซลลูโลสซึ่งสกัดได้จากพืชทั่วไปมาผสมกับผงแรซีโอไลต์ เช่นเดียวกับกับโพลีอะคริโลไนไทรล์ที่มีคุณสมบัติขึ้นรูปง่ายและจุดหลอมเหลวสูงมาผสมกับผงแรซีโอไลต์ จากนั้นทำการขึ้นรูปเป็นเส้นใยคอมโพสิตสองแบบ และนำเส้นใยคอมโพสิตทั้งสองมาเปรียบเทียบคุณลักษณะและความสามารถในการดักจับแอมโมเนียในน้ำ จากงานวิจัยของ Fei และคณะ [7] ซึ่งศึกษาสมรรถนะของการดูดซับโลหะหนักโดยใช้สารคอมโพสิตระหว่างซีโอไลต์กับใยเซลลูโลส ผลการทดสอบพบว่าสารคอมโพสิตที่ทดสอบสามารถดูดซับโลหะหนักได้ในเกณฑ์ที่ดีและยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสารอินทรีย์อื่นได้อีกด้วย

2. ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.1 แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่พบในธรรมชาติโดยเฉพาะในแหล่งน้ำจะเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจน ปุ๋ย และเศษอาหาร จนกลายเป็นแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เรียกว่ากระบวนการ Ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแอมโมเนียในแหล่งน้ำ โดยปกติ แอมโมเนียในน้ำ จะหมายถึง แอมโมเนียทั้งหมด (Total Ammonia) คือผลรวมของแอมโมเนียอิสระ และแอมโมเนียมไอออนมีสมดุลเคมี ดังนี้



แอมโมเนียอิสระเป็นรูปที่มีความเป็นพิษมากกว่าแอมโมเนียมไอออน ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ สัตว์น้ำส่วนใหญ่เมื่อสัมผัสกับแอมโมเนียอิสระ 1 ถึง 2 มิลลิกรัม/ลิตร นาน 1 ชั่วโมง จะทำให้สัตว์น้ำตายอย่างเฉียบพลันเนื่องจากระดับแอมโมเนียในกระแสเลือดและเนื้อเยื่อสูงขึ้น ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในเลือดสูงขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาชีวเคมีทำงานผิดปกติ ลดความสามารถในการลำเลียงออกซิเจนและทำให้เสียชีวิต

จากสมการที่ (1) จะพบว่าในสภาวะสมดุลความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนจะเท่ากับ ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) การศึกษาแนวโน้มการลดลงของแอมโมเนียจึงสามารถดูได้จากความเข้มข้น OH^- ที่ลดลง เมื่อทราบค่า pH จะสามารถคำนวณค่าความเข้มข้นของ OH^- ได้ตามสมการ (2) และ (3) โดย

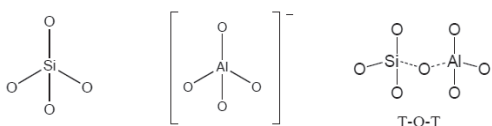
ค่าความเข้มข้นของ OH^- ที่คำนวณได้จะอยู่ในหน่วย mole/liter

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} \quad (2)$$

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] \quad (3)$$

2.2 ซีโอไลต์

สูตรทั่วไปของโครงสร้างซีโอไลต์คือ $\text{M}_{x/n}(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y$ เมื่อ n คือประจุของไอออนบวก M, x+y คือจำนวนหน่วย tetrahedron ต่อหน่วยเซลล์, y/x คืออัตราส่วน Si/Al แปรผันได้จาก 1 ถึง ∞ ประกอบด้วยโครงสร้างหน่วยปฐมภูมิของ tetrahedron (Tetrahedral Structure) ของ TO_4 เมื่อ TO_4 แทน SiO_4 และ/หรือ AlO_4^- เชื่อมกันด้วยอะตอมออกซิเจนเขียนแทนด้วย T-O-T เมื่อหน่วย TO_4 หลายหน่วยจัดเรียงตัวกันซ้ำ จะก่อตัวเป็นผลึกพอลิเมอร์ (Polymeric Crystalline) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างปฐมภูมิ TO_4 (SiO_4 และ AlO_4^-) และ T-O-T [8]

กระบวนการก่อตัวของโครงสร้างจะเริ่มจาก TO_4 ก่อตัวเป็นหน่วยย่อย (Subunit) และขยายโครงสร้างใหญ่ขึ้นเป็นแลตทิซ (Lattice) ที่เป็นหน่วยซ้ำของหน่วยที่เล็กที่สุด หรือเรียกว่าหน่วยเซลล์ (Unit Cell) ได้เป็นผลึกที่สมบูรณ์ที่มีโครงสร้างเป็นสองมิติหรือสามมิติ

2.3 โครงสร้างรูพรุนของซีโอไลต์

ขนาดรูพรุนของซีโอไลต์หาได้จากการพิจารณาโพรงเปิด (Aperture) ที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของโครงสร้าง tetrahedron TO_4 โดยขนาดโพรงเปิดที่เล็กที่สุดที่สารสามารถแพร่ผ่านได้ต้องประกอบด้วย T จำนวน 8 หน่วย (8T) หรือเรียกว่า 8-membered ring (8MR) โดยโครงสร้างซีโอไลต์สามารถจำแนกตามขนาดรูพรุนได้

นอกจากนี้ ยังพบซีโอไลต์บางชนิดที่มีรูพรุนขนาดใหญ่พิเศษ (Ultralarge Pore Zeolites) ตัวอย่างเช่น cloverite (20MR) ขนาดโพรงเปิด 0.60×1.32 นาโนเมตร VPI-5 (18MR) ขนาดโพรงเปิด 1.27 นาโนเมตร AlPO4-8 (14MR) ขนาดโพรงเปิด 0.79×0.87 นาโนเมตร นอกจากความสามารถในการแพร่ของโมเลกุลผ่านรูพรุนของซีโอไลต์จะขึ้นกับขนาดของรูพรุนแล้วยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วย โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของโมเลกุลที่แพร่ผ่านและเปิดปากโพรงของซีโอไลต์ให้ง่ายต่อการแพร่ [9]

2.4 การขึ้นรูปโพลิเมอร์เป็นเส้นใยด้วยวิธีการปั่นเปียก

การขึ้นรูปเส้นใยประดิษฐ์ (Man-made Fibers) สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของโพลิเมอร์ตั้งต้น กระบวนการขึ้นรูปพื้นฐานมี 3 แบบคือ แบบปั่นแห้ง (Dry Spinning) แบบปั่นเปียก (Wet Spinning) และแบบปั่นหลอม (Melt Spinning) สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกวิธีการแบบปั่นเปียก

เริ่มจากการเตรียมสารละลายโพลิเมอร์ แล้วฉีดผ่านหัวฉีด (Spinnerets) ที่จุ่มอยู่ในอ่างของสารละลายตกตะกอน (Coagulation Bath) เส้นใยที่ตกตะกอนออกมาจากสารละลาย จะถูกดึงยืดเพื่อเพิ่มความแข็งแรง แล้วทำให้แห้งโดยการใช้ลมร้อนเป่า ตัวอย่างเส้นใยที่ผลิตโดยวิธีนี้คือ เรยอน

ข้อดีของการผลิตเส้นใยแบบปั่นเปียก

- เหมาะกับโพลิเมอร์ที่ละลายเฉพาะในสารไม่ระเหยหรือตัวทำละลายที่ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน

- ไม่ต้องใช้ความร้อนในกระบวนการผลิต
- ใช้ได้กับเส้นใยชนิดสั้น (Staple Fiber)

และยาว (Filament Fiber)

ข้อเสียของการผลิตเส้นใยแบบปั่นเปียก

- ขั้นตอนซับซ้อน
- ความเร็วในการผลิตเส้นใยต่ำ
- ต้องมีขั้นตอนการแปรสภาพตัวทำละลายใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่
- ต้องกำจัดตัวทำละลายออกจากเส้นใยให้หมด

3. ระเบียบวิธีการวิจัย

การดำเนินการวิจัยสำหรับงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยต้องดำเนินการสร้างหรือผลิตชิ้นงานสำหรับทดสอบพร้อมทั้งหาคูณลักษณะ ดำเนินการทดสอบ หาผลที่ได้มาคำนวณและดำเนินการเปรียบเทียบ และสุดท้ายสร้างออกมาเป็นชิ้นงานหรือนวัตกรรมตาข่ายดักจับแอมโมเนียรายละเอียดดังนี้

3.1 การผลิตเส้นใย CA/Z และ PAN/Z

3.1.1 เตรียมวัตถุดิบหรือสารละลายตั้งต้น (Spinning Dope)

a) เส้นใย CA/Z; ใส่ CA และ Zeolite ลงในสารละลาย Acetone/Water คนสารให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer (ที่อุณหภูมิห้อง) และไล่ฟองอากาศภายในสารละลายออกด้วยเครื่อง Elmasonic P

b) เส้นใย PAN/Z; ใส่ PAN และ Zeolite ลงในสารละลาย DMF คนสารให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer (ที่อุณหภูมิ 50°C) และไล่ฟองอากาศภายในสารละลายออกด้วยเครื่อง Elmasonic P

3.1.2 การสร้างเส้นใยด้วยวิธีการปั่นเปียก

นำสารที่ได้เตรียมไว้ใน 3.1.1 ไปใส่เครื่อง NE-1000 Single Syringe Pump ฉีดสารตั้งต้นหรือ Spinning Dope ผ่านหัวเข็มเบอร์ 18 ความเร็ว 30 mL/hr ออกมาในรูปของเส้นใยของแข็งยาวต่อเนื่องลงไปใน Water Coagulation Bath นำเส้นใยที่ได้ออกมาล้างด้วย Deionized water ซ้ำ 2-3 รอบและสุดท้ายทำการอบที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 วัน

3.2 การศึกษาคุณลักษณะเส้นใยคอมโพสิต

คุณลักษณะและขนาดรูพรุน (Pore Size) ของเส้นใยคอมโพสิตสามารถตรวจสอบได้โดยการทำ Cross-Section Scanning ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ

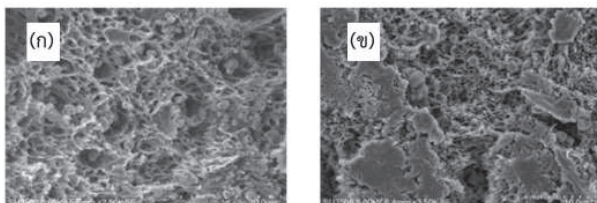
การทดสอบและเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของเส้นใยในการดูดซับแอมโมเนียจะเปรียบเทียบจากเส้นใย CA/Z, PAN/Z และ ผง Z โดยจะมีการแปรผันค่าของ Z ซึ่งจากงาน

วิจัยของ Fei และคณะ [7] พบว่าอัตราส่วนของ Z กับเส้นใยที่เหมาะสมอยู่ที่ 4:1 ดังนั้นคณะผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบโดยเพิ่มค่า Z มากขึ้นในอัตราส่วน 3:1 โดยทุกการทดลองจะดำเนินการทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อยืนยันผล

การตรวจสอบการนำเส้นใยคอมโพสิตที่ผ่านการดูดซับแล้วมาใช้ซ้ำอีกครั้งนั้นเส้นใยที่ใช้แล้วจะถูกนำไปอบความร้อนเพิ่มเติมและจะถูกนำมาตรวจสอบคุณลักษณะและขนาดรูพรุนของเส้นใยคอมโพสิต โดยการทำ Cross-Section Scanning ด้วยเครื่อง SEM อีกครั้ง จากนั้นจะถูกนำไปใช้ในการดูดซับแอมโมเนียและทำการทดสอบเปรียบเทียบต่อไป โดยการนำมาใช้ใหม่จะถูกทดสอบซ้ำกับเส้นใยเดิมจำนวนสองครั้ง (re1 และ re2)

4. ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะของเส้นใย CA/Z และ PA/Z



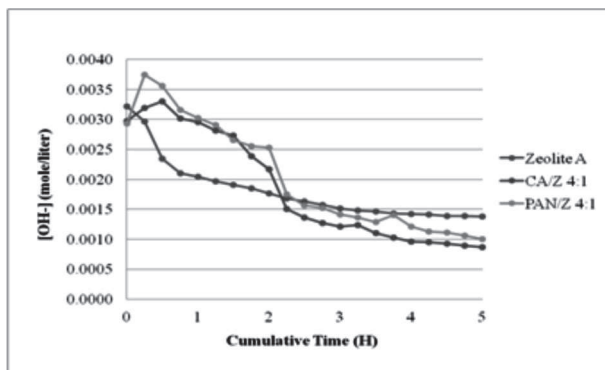
ภาพที่ 2 ลักษณะของเส้นใย CA/Z (ก) และ PAN/Z (ข) เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM

จากการศึกษาคุณลักษณะเส้นใยคอมโพสิตด้วยเครื่อง SEM ภาพที่ 2 แสดงให้เห็นโครงสร้างที่เป็นเนื้อเดียวกันและมีรูพรุนของเส้นใย CA/Z (ก) และ PAN/Z (ข) จาก Cross-Section อนุภาคซีโอไลต์ได้ถูกนำเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของเส้นใย ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของเส้นใย CA/Z คือ 2.08 ไมครอน (SD = 0.9) และขนาดของ

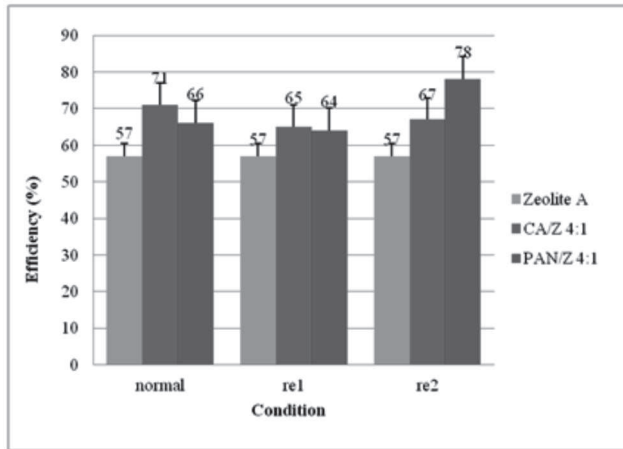
รูพรุนเฉลี่ยของเส้นใย PAN/Z คือ 1.23 ไมครอน (SD = 0.3) ขนาดรูพรุนของเส้นใย CA/Z มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใย PAN/Z ประมาณ 1.7 เท่า ขนาดของรูพรุนที่ใหญ่กว่านี้เองจะช่วยให้การเดินทางของแอมโมเนียไอออนเข้าไปภายในรูพรุนเร็วขึ้น

4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับและการนำมาใช้ใหม่

การดูดซับแอมโมเนียของเส้นใย CA/Z และ PAN/Z นั้นศึกษาจากความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ในเวลาต่างกัน จากภาพที่ 3 การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ชั่วโมงแรก และเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลใน 2 ชั่วโมงต่อมา จากผลการทดสอบพบว่าเส้นใยคอมโพสิตทั้งสองทำการดูดซับแอมโมเนียได้ดีกว่าผง Z



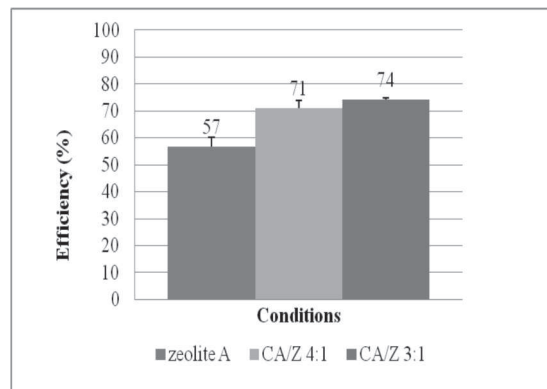
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $[\text{OH}^-]$ และเวลาของ Z, CA/Z 4:1 (w/w) และ PAN/Z 4:1 (w/w)



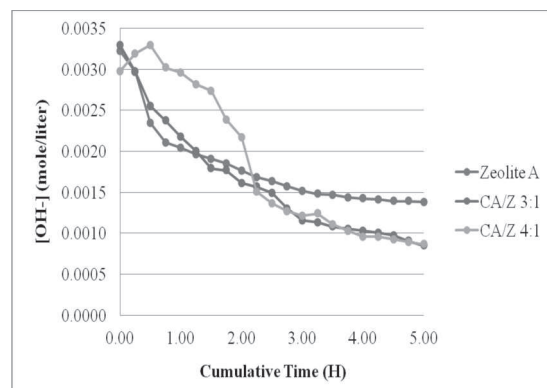
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับของ Z, CA/Z 4:1 และ PAN/Z 4:1 ในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นที่ 0.1 M

ประสิทธิภาพในการกำจัดหรือดูดซับแอมโมเนียในสารละลายของซีโอไลต์ และเส้นใยคอมโพสิตแสดงในภาพที่ 4 จากผลการทดสอบครั้งแรก และการนำมาใช้ซ้ำครั้งที่หนึ่ง (re1) เส้นใย CA/Z มีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุด แต่หลังจากการใช้ซ้ำครั้งที่สอง(re2) พบว่าเส้นใย PAN/Z มีประสิทธิภาพในการกำจัดหรือดูดซับแอมโมเนียสูงสุดที่ประสิทธิภาพ 78%

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงข้อดีของสารประกอบโพลิเมอร์ที่มีผงแร่ซีโอไลต์เป็นตัวประกอบ เมื่อผ่านกระบวนการอบที่อุณหภูมิสูงอีกครั้ง แอมโมเนียจะถูกกำจัดโดยความร้อนส่งผลให้เส้นใย CA/Z และ PAN/Z สามารถนำมาใช้ใหม่ได้อีก อย่างไรก็ตามจากผลการ re2 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียสูงกว่ากรณี re1 อธิบายได้ว่าการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ขนาดและรูปแบบโครงสร้างของรูพรุนมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งสอดคล้องกับ M. Guisnet และ J. Gilson [9]



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพของ Z, CA/Z (3:1), CA/Z (4:1) ในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นที่ 0.1 M

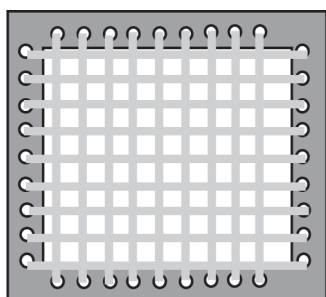


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $[OH^-]$ และเวลาของ Z, CA/Z (3:1) และ CA/Z (4:1) ในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นที่ 0.1 M

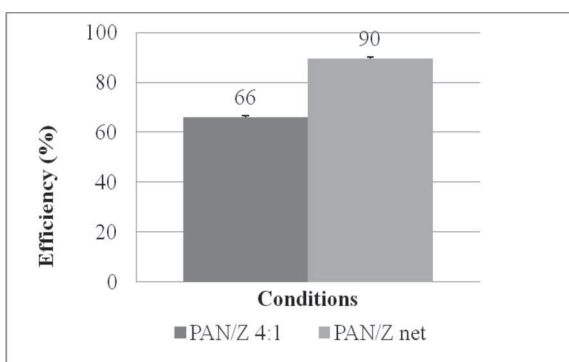
4.3 ผลกระทบของปริมาณของซีโอไลต์ในเส้นใย

ผลกระทบของสัดส่วนเซลลูโลสอะซิเตทกับซีโอไลต์ ในสารละลายแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.1 M แสดงในภาพที่ 5 พบว่าสัดส่วนโดยน้ำหนักของเส้นใย CA/Z ที่สัดส่วน 3:1 (w/w) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเส้นใย CA/Z ที่สัดส่วน 4:1(w/w) ที่ค่าประสิทธิภาพการดูดซับ 74% และ 71% ตามลำดับอย่างไรก็ตามการ

ดูดซับแอมโมเนียของเส้นใย CA/Z (4:1) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จากนั้นประสิทธิภาพมีค่าลดลงค่อนข้างเร็ว ในขณะที่การดูดซับแอมโมเนียของเส้นใย CA/Z (3:1) มีค่าน้อยกว่าในช่วงแรก แต่สุดท้ายการดูดซับค่อนข้างคงที่ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 7 แสดงรูปแบบตาข่ายเส้นใยคอมโพสิต



ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพของเส้นใย PAN/Z (4:1) และตาข่ายในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นที่ 0.1 M

4.4 การศึกษาการดูดซับของตาข่าย

แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 7 x 7 ตารางเซนติเมตร ถูกนำมาตัดขอบในรูปทรงจัตุรัสขนาด 5.5 x 5.5 ตารางเซนติเมตร และทำการขึงด้วยเส้นใยคอมโพสิตตามรูปแบบดังภาพที่ 7 จากผลการทดสอบโดยการขึงด้วยเส้นใย PAN/Z พบว่าตาข่ายที่ร้อยด้วยเส้นใย PAN/Z นี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียโดย

มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่าเส้นใยปกติ ทั้งนี้การถักทอเป็นเส้นตาข่ายนั้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยคอมโพสิตกับสารละลายแอมโมเนีย ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับครั้งแรกของเส้นใย PAN/Z กับกรณีเส้นใย PAN/Z ที่ถูกนำมาถักทอเป็นตาข่าย พบว่าประสิทธิภาพของกรณีถักทอเป็นตาข่ายสูงกว่ากรณีเส้นใยปกติประมาณ 1.36 เท่า

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำผงแร่ซีโอไลต์ มาผสมกับเซลลูโลสอะซิเตทและโพลีอะคลิไนด์ไนไตรล์ในสัดส่วนต่างกัน และสร้างเป็นเส้นใยคอมโพสิตเพื่อหาคุณลักษณะของโครงสร้างของเส้นใยคอมโพสิตทั้งสองแบบ และนำเส้นใยทั้งสองมาเปรียบเทียบคุณลักษณะและความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียในน้ำเทียบกับผงแร่ซีโอไลต์ และท้ายสุดจัดทำเป็นนวัตกรรมตาข่ายดักจับแอมโมเนีย

เส้นใยที่สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ดีที่สุดได้แก่เส้นใยที่มีความกว้างของรูพรุนสูง เพราะขนาดที่ใหญ่ของรูพรุนจะเป็นตัวกักเก็บที่สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ดี โดยจากผลการวิจัยพบว่าการผสมเซลลูโลสอะซิเตทกับซีโอไลต์ เมื่อนำมาทำเป็นเส้นใยคอมโพสิตแล้วจะมีความกว้างของรูพรุนที่สูงอยู่ที่ 2.08 ไมครอน ส่วนการผสมโพลีอะคลิไนด์ไนไตรล์กับซีโอไลต์จะเกิดความกว้างรูพรุนเท่ากับ 1.23 ไมครอน

การศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับแอมโมเนียของเส้นใยคอมโพสิตทั้งสองพบว่าอัตราการดูดซับที่เร็วในช่วงสองชั่วโมงแรก ต่อมาอัตราการดูดซับเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลคือมีการ

ดูดซับที่น้อยลงและค่อนข้างคงที่ การนำเส้นใยคอมโพลีเมอร์ที่ผ่านการใช้แล้วมาผ่านกระบวนการอบที่อุณหภูมิสูงอีกครั้งเพื่อวัตถุประสงค์การนำมาใช้ใหม่พบว่าประสิทธิภาพของการดูดซับแอมโมเนียของเส้นใยใช้แล้วมีรูปแบบการดูดซับที่ไม่แตกต่างกับเส้นใยคอมโพลีเมอร์เริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิรินุช ลอยหา [3]

สำหรับสัดส่วนของเซลลูโลสอะซิเตทกับซีโอไลต์ในอัตรา 3:1(w/w) เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วน 4:1(w/w) พบว่าค่าประสิทธิภาพการดูดซับเป็น 74% และ 71% ตามลำดับ การออกแบบสร้างเป็นตาข่ายเส้นใยคอมโพลีเมอร์สำหรับเส้นใย PAN/Z นั้นพบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีกว่า เพราะว่าตาข่ายจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับทำให้เกิดการดูดซับได้ดีกว่าเส้นใยรูปแบบปกติ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตคือการศึกษาสัดส่วนของเซลลูโลสอะซิเตทกับซีโอไลต์และโพลีเอทิลีนไทรลกับซีโอไลต์ในสัดส่วนอื่นมากขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบของสัดส่วน รวมถึงรูปแบบของการถักทอเป็นตาข่ายที่ส่งผลต่อการดูดซับที่สูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้คำแนะนำ และกรุณาสับสนุนผงแร่ซีโอไลต์ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำกระบวนการขึ้นรูปเส้นใย และสนับสนุนอุปกรณ์วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเส้นใย

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านของโรงเรียนมหิตลวิทยาลัย องค์กร

มหาชน ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา คำแนะนำ และกำลังใจจนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นด้วยดี และสามารถผลักดันให้งานวิจัยนี้เข้าสู่โครงการ Thailand Junior Water Prize (TJWP) 2017 ของ สสวท. ในหัวข้อ “นวัตกรรมการอนุรักษ์น้ำสู่ความยั่งยืน”

บรรณานุกรม

- (1) สำนักจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ, 2556. การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ. รายงานการดำเนินงานสำนักจัดการคุณภาพน้ำ ประจำปี 2555. กรุงเทพฯ.
- (2) Water Quality Association, 2013. Ammonia Fact Sheet (Pamphlet). Lisle, Illinois.
- (3) ศิรินุช ลอยหา, 2556. ซีโอไลต์และเทคโนโลยีซีโอไลต์. วารสารวิทยาศาสตร์ มข., 41: 56-66.
- (4) Global Acetate Manufacturers Association. (n.d.). Cellulose Acetate Polymer (Brochure), New York.
- (5) รัตติกาล ณ ภูเก็ตศิริประภา, 2558. การผลิตใยอะซิเตท (acetate). (Online) <http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2015/10/58-ecofiber-cellulose>.
- (6) In-Chui Kim, Hyung-Gu Yun and Kew-Ho Lee, 2002. Preparation of asymmetric polyacrylonitrile membrane with small pore size by phase inversion and post-treatment process. Journal of Membrane Science, 199: 75-84.
- (7) Ji Fei, Chaolin Li, Bo Tang, Jianhui Xu, Gang Lu, and Peng Liu, 2012. Preparation of cellulose acetate/zeolite composite fiber and its adsorption behavior for heavy metal ions in aqueous solution. Chemical Engineering Journal, 209:325-333.
- (8) จตุพร วิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์, 2547. การเร่งปฏิกิริยา : พื้นฐานและการประยุกต์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- (9) Michel Guisnet and Jean-Pierre Gilson, 2002. Zeolites for Cleaner Technologies, Vol. 3.