

ผลของอุณหภูมิและความเร็วการกวนในการสังเคราะห์ไนลอน 6,6 เพื่อใช้ในการผลิตเยื่อแผ่น

โดยวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค

Effects of Temperature and Spin Speed on the Synthesis of Nylon 6,6 Used for Membrane

Production *Via* Interfacial Polymerization Method

อดิสร รัชนิพนธ์ (Adisorn Ratchaniphont)* ดร.วัชรวิทย์ ลิ้มสกุล (Dr.Wadcharawadee Limsakul)**

ดร.วิลาสินี ศรีพรหม (Dr.Wilasinee Sriprom)**

บทคัดย่อ

ไนลอน 6,6 ถูกสังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตเยื่อแผ่นโดยวิธีพอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค จากการศึกษาผลของอุณหภูมิ 5 ค่า คือ 10, 20, 26.5, 30 และ 40 °C และความเร็วการกวน 4 ค่า คือ 100, 380, 660 และ 940 rpm ในการสังเคราะห์ไนลอน 6,6 พบว่าเมื่ออุณหภูมิลดลงและความเร็วการกวนเพิ่มขึ้น ผลได้เป็นร้อยละของปฏิกิริยามีค่าเพิ่มขึ้นและพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นเรียบได้ดีขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 10 °C และความเร็วการกวนระดับ 940 rpm ให้ผลได้เป็นร้อยละของปฏิกิริยาสูงที่สุดคือประมาณร้อยละ 90 และสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นที่เรียบได้

ABSTRACT

Nylon 6,6 was synthesized for using in membrane production *via* interfacial polymerization. The effects of five values of temperature at 10, 20, 26.5, 30 and 40 °C, and four levels of spin speed at 100, 380, 660 and 940 rpm on the synthesis of nylon 6,6 were investigated. It was found that both percentage yield and flat sheet membrane-forming ability of the synthesized nylon 6,6 increased when the temperature decreased and the spin speed increased. The most effective polymerization condition was found to be at temperature 10 °C and spin speed 940 rpm resulting in 90% percentage yield and flat sheet membrane was able to be formed.

คำสำคัญ: ไนลอน 6, 6 พอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค เยื่อแผ่น

Key Words: Nylon 6, 6, Interfacial polymerization, Membrane

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

** อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

บทนำ

อะโรมาติกพอลิเอไมด์ เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเด่นเนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดโครงสร้างที่ค่อนข้างหนาแน่นและแข็งแรง ซึ่งเอื้อต่อการเกิดผลึก และมีโครงสร้างอะโรมาติกช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนต่อความร้อนสูง นอกจากนี้อะโรมาติกพอลิเอไมด์ยังมีความสามารถในการละลายในสารละลายอินทรีย์ ทำให้เอื้อต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ การทำเสื่อเกราะกันกระสุน ชุดกันความร้อน ชุดกีฬาฉนวนกันไฟฟ้า และเยื่อแผ่นกรองน้ำ เป็นต้น โดยอะโรมาติกพอลิเอไมด์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ poly(*p*-phenylene-terephthalamide) และ poly(*m*-phenylene isophthalamide) หรือมีชื่อทางการค้าคือ nylon 6,6 เป็นต้น (García *et al.*, 2009)

นอกจาก nylon 6,6 จะมีโครงสร้างที่แข็งแรงแล้วยังมีหมู่เอไมด์ที่มีความเป็นขั้วสูงทำให้มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีจึงมีความเหมาะสมต่อการผลิตเป็นเยื่อแผ่นกรองน้ำ (Shawky, 2009)

วิธีการสังเคราะห์ nylon 6,6 ที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งคือวิธีการพอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค (interfacial polymerization) โดยมอนอเมอร์จะแยกอยู่คนละชั้นในสารละลายและจะทำปฏิกิริยาควบแน่นที่ระหว่างชั้น ขณะที่เกิดปฏิกิริยาควบแน่น พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นของสารละลายจะถูกดึงออกมาอย่างต่อเนื่องซึ่งทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างต่อเนื่อง (อนิคาญ, 2551) พอลิเมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาคเป็นการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีข้อดีคืออุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาไม่สูงทำให้ไม่เกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง ส่งผลให้ผลได้เป็นร้อยละของผลิตภัณฑ์สูงเกือบ 100% และพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์สูง (Huang and Zhang, 2001; Kong *et al.*, 2010; Sadavarte *et al.*, 2010; Shawky, 2009)

งานวิจัยชิ้นนี้จึงทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วการกวนในการสังเคราะห์ไนลอน 6,6 เพื่อใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อแผ่นโดยวิธีพอลิ

เมอไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค โดยใช้สารตั้งต้นสองชนิดคือ *m*-phenylenediamine และ isophthaloyl chloride

วิธีการวิจัย

1) นำสาร *m*-phenylenediamine (99+%) analytical reagent grade (Aldrich) 4.326 กรัม (0.04 โมล) และ Na_2CO_3 8.48 กรัม (0.08 โมล) ผสมกับน้ำ 120 cm^3 ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 cm^3 ความเร็วในการกวนอยู่ที่ระดับ 660 rpm โดยใช้เครื่องกวนสารของ IKA รุ่น C-MAG HS 7 เป็นเวลา 10 นาที 2) นำสาร isophthaloyl chloride (99+%) analytical reagent grade (Fluka) 8.12 กรัม (0.04 โมล) มาละลายใน tetrahydrofuran 150 cm^3 (99+%) analytical reagent grade (Merck) ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 cm^3 ความเร็วในการกวนอยู่ที่ระดับ 660 rpm เป็นเวลา 10 นาที 3) เทสารละลายที่ได้จากข้อ 2) ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 cm^3 ที่เตรียมไว้ในข้อ 1) โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 30 นาที ในขั้นตอนนี้ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตั้งแต่ 0 – 40 °C และความเร็วการกวนตั้งแต่ระดับ 100 – 940 rpm 4) นำสารละลายที่ได้ในข้อ 3) ไปกรองเพื่อแยกพอลิเมอร์ออกและล้างพอลิเมอร์ที่ได้ด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จนพอลิเมอร์แห้งสนิท นำพอลิเมอร์ที่ได้มาชั่งน้ำหนักเพื่อตรวจสอบผลได้เป็นร้อยละของพอลิเมอร์ 5) นำพอลิเมอร์ที่แห้งสนิทมาขึ้นรูปเยื่อแผ่นโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ : N,N-dimethylacetamide (99+%) analytical reagent grade (Merck) : สารเติมแต่งคือ LiCl หรือ CaCl_2 (99+%) analytical reagent grade (Merck) ในอัตราส่วน 75 : 18 : 7 กวนที่อุณหภูมิ 90 °C ความเร็วในการกวนที่ระดับ 660 rpm เป็นเวลา 90 นาที แล้วนำไปขึ้นรูปเยื่อแผ่นในจานเพาะเชื้อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ประมาณ 9 cm โดยใช้สารละลายที่เตรียมได้ข้างต้นปริมาตร 2 cm^3 เทลงให้กระจายทั่วในจานเพาะเชื้ออย่างสม่ำเสมอ นำไปอบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 60 นาที และแช่ในน้ำปราศจากไอออนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องที่ 26.5 °C เนื่องจากที่อุณหภูมิห้องสะดวกต่อการทำการทดลอง สังเคราะห์พอลิเมอร์ โดยศึกษาความเร็วการกวนระหว่างระดับ 100 rpm ถึง 940 rpm และได้ผลการทดลองดังตารางและรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ผลได้เป็นร้อยละและลักษณะเยื่อแผ่นของ nylon 6,6 ที่สังเคราะห์ที่ 26.5 °C โดยใช้ความเร็วการกวนระดับต่างๆ

ความเร็วการกวน (rpm)	ผลได้เป็นร้อยละ	ขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นเรียบ	
		LiCl	CaCl ₂
100	57.53	ไม่ได้	ไม่ได้
380	71.22	ไม่ได้	ไม่ได้
660	84.85	ไม่ได้	ไม่ได้
940	88.26	ได้	ได้

จากตารางที่ 1 ผลได้ของพอลิเมอร์มีค่าสูงสุดที่ความเร็วการกวนระดับ 940 rpm และที่ค่าความเร็วการกวนนี้ได้ผลิตกันที่ที่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นเรียบได้ เมื่อได้ความเร็วการกวนที่เหมาะสมแล้วที่ระดับ 940 rpm ผู้วิจัยจึงทำการทดลองที่ความเร็วนี้และศึกษาอุณหภูมิในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ 2 ค่า คือ 10 °C และ 40 °C ได้ผลดังตารางและรูปที่ 2

ตารางที่ 2 ผลได้เป็นร้อยละและลักษณะเยื่อแผ่นของ nylon 6,6 ที่สังเคราะห์ที่ความเร็วการกวน 940 rpm ณ อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ผลได้เป็นร้อยละ	ขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นเรียบ	
		LiCl	CaCl ₂
10	90.52	ได้	ได้
26.5*	88.26	ได้	ได้
40	87.46	เปราะ	ไม่ได้

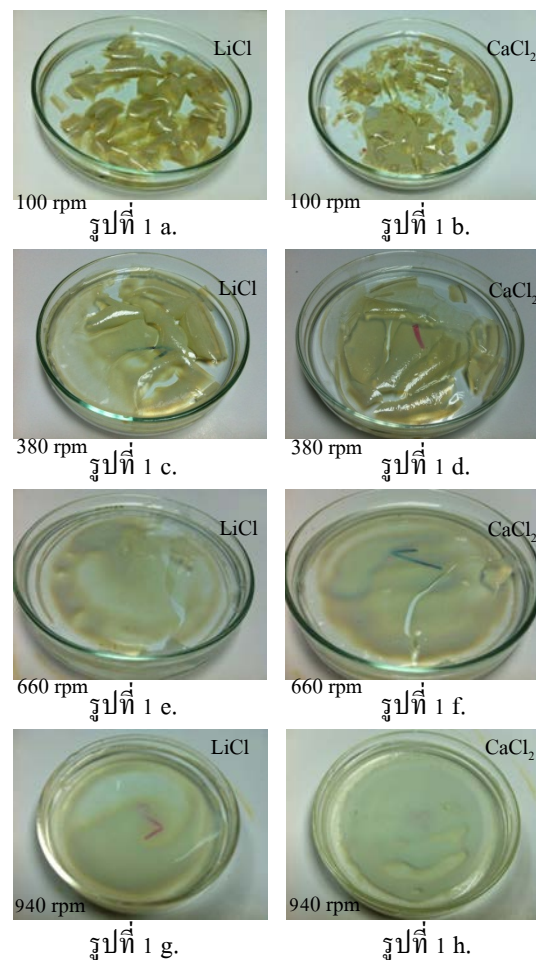
* ใช้ผลจากตารางที่ 1

ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าผลได้ของพอลิเมอร์มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองที่ความเร็ว

การกวน 660 rpm เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยทำการเปลี่ยนอุณหภูมิ 4 ค่า คือ 10 °C, 20 °C, 30 °C และ 40 °C ได้ผลดังตารางและรูปที่ 3

ตารางที่ 3 ผลได้เป็นร้อยละและลักษณะเยื่อแผ่นของ nylon 6,6 ที่สังเคราะห์ที่ความเร็วการกวน 660 rpm ณ อุณหภูมิต่างๆ

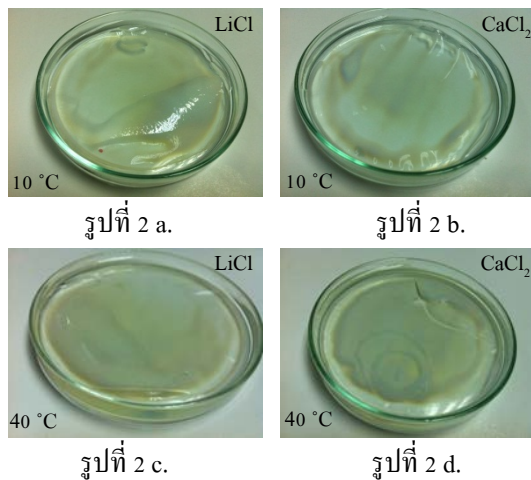
อุณหภูมิ (°C)	ผลได้เป็นร้อยละ	ขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นเรียบ	
		LiCl	CaCl ₂
10	88.58	ได้	ได้
20	86.83	ได้	ได้
30	74.80	ไม่ได้	ไม่ได้
40	63.36	ไม่ได้	ไม่ได้



รูปที่ 1 ลักษณะเยื่อแผ่น nylon 6,6 สังเคราะห์ที่ 26.5 °C โดยใช้ความเร็วการกวนระดับต่างๆ และใช้สารเติมแต่ง LiCl หรือ CaCl₂ ในการทำเยื่อแผ่น

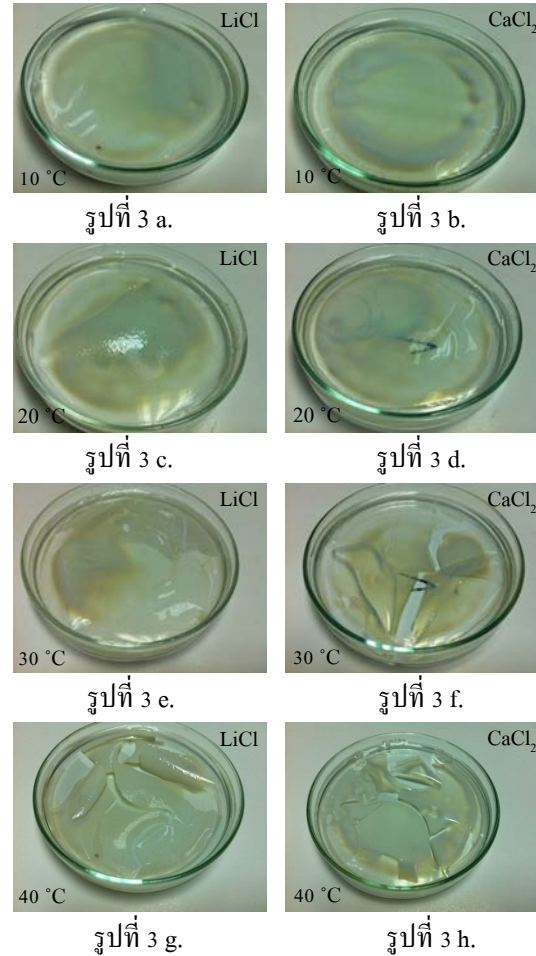
- | | |
|-----------------------|----------------------------------|
| 1a.) LiCl ที่ 100 rpm | 1b.) CaCl_2 ที่ 100 rpm |
| 1c.) LiCl ที่ 380 rpm | 1d.) CaCl_2 ที่ 380 rpm |
| 1e.) LiCl ที่ 660 rpm | 1f.) CaCl_2 ที่ 660 rpm |
| 1g.) LiCl ที่ 940 rpm | 1h.) CaCl_2 ที่ 940 rpm |

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 10 °C ผลได้ของพอลิเมอร์มีค่าสูงสุด และสามารถขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นเรียบได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะเยื่อแผ่น nylon 6,6 สังเคราะห์ที่ความเร็วการกวน 940 rpm ที่อุณหภูมิต่างๆ และใช้สารเติมแต่ง LiCl หรือ CaCl_2 ในการทำเยื่อแผ่น

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| 2a.) LiCl ที่ 10 °C | 2b.) CaCl_2 ที่ 10 °C |
| 2c.) LiCl ที่ 40 °C | 2d.) CaCl_2 ที่ 40 °C |



รูปที่ 3 ลักษณะเยื่อแผ่น nylon 6,6 สังเคราะห์ที่ความเร็วการกวน 660 rpm ที่อุณหภูมิต่างๆ และใช้สารเติมแต่ง LiCl หรือ CaCl_2 ในการทำเยื่อแผ่น

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| 3a.) LiCl ที่ 10 °C | 3b.) CaCl_2 ที่ 10 °C |
| 3c.) LiCl ที่ 20 °C | 3d.) CaCl_2 ที่ 20 °C |
| 3e.) LiCl ที่ 30 °C | 3f.) CaCl_2 ที่ 30 °C |
| 3g.) LiCl ที่ 40 °C | 3h.) CaCl_2 ที่ 40 °C |

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการทดลองเมื่อใช้อุณหภูมิห้องหรือที่ 26.5 °C ในการทำปฏิกิริยาและเปลี่ยนความเร็วการกวนที่ระดับ 100 – 940 rpm พบว่าเมื่อความเร็วการกวนมีค่าเพิ่มขึ้น ผลได้เป็นร้อยละของพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 57.73 เป็น ร้อยละ 88.26 ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาคจะเกิดปฏิกิริยาบริเวณผิวรอยต่อสารละลายของมอนอเมอร์ทั้ง 2 ชนิด

การเพิ่มความเร็วกวนจะทำให้สารละลายทั้งสองชนิดมีพื้นผิวสัมผัสกันมากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น นอกจากนี้ การเพิ่มความเร็วกวนยังช่วยให้พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นมีการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ ไม่จับตัวเป็นก้อน ซึ่งการจับตัวเป็นก้อนจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารละลายและมอนอเมอร์ที่หลุดจากการเกิดปฏิกิริยา เมื่อนำพอลิเมอร์ไปขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นพบว่าเยื่อแผ่นที่ใช้พอลิเมอร์จากการสังเคราะห์โดยใช้ความเร็วกวนสูงที่ 940 rpm นั้น จะสามารถขึ้นรูปได้ง่ายและมีสีขาว ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ S.V. JOSH and A.V. RAO, 1989 และ Shawky, 2009 ซึ่งทำการทดลองสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่ใช้สำหรับทำเยื่อแผ่นกรองน้ำที่ความเร็วกวนสูงพบว่าได้ผลได้และความบริสุทธิ์ของพอลิเมอร์ที่สูง ในขณะที่เยื่อแผ่นที่ใช้พอลิเมอร์จากการสังเคราะห์โดยใช้ความเร็วกวนต่ำตั้งแต่ 100 – 660 rpm จะไม่สามารถขึ้นรูปได้ เนื่องจากเกิดการจับตัวเป็นก้อนของพอลิเมอร์ ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารละลายและมอนอเมอร์ เมื่อขึ้นรูปจึงมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลซึ่งเป็นสีเดียวกับมอนอเมอร์ m-phenylenediamine และแตกเป็นแผ่นเล็กๆ ผลจากการใช้สารเติมแต่งทั้ง 2 ชนิด พบว่าการใช้สารเติมแต่งชนิด LiCl ในการขึ้นรูปเยื่อแผ่นกรองน้ำ ได้เยื่อแผ่นกรองน้ำที่มีความยืดหยุ่นและมีสีค่อนข้างขาวมากกว่าการใช้สารเติมแต่งชนิด CaCl_2 ในการขึ้นรูป

เมื่อกำหนดความเร็วกวนคงที่ที่ 940 rpm พบว่าที่อุณหภูมิ 10 °C และ 40 °C ผลได้ของปฏิกิริยามีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (3.06%) แต่ลักษณะของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จะแตกต่างกัน ซึ่งสังเกตได้จากเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิ 40 °C จะมีลักษณะเป็นรอยแตกและมีสีน้ำตาลเข้มกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่าง m-phenylenediamine และ isophthaloyl chloride เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน โดยมี sodium carbonate เป็นตัวดึง chloride จากปฏิกิริยา เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ไม่ดีเท่าที่อุณหภูมิต่ำ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ

S.V. JOSH and A.V. RAO, 1989 และ Shawky, 2009 ซึ่งทำการทดลองสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่ใช้สำหรับทำเยื่อแผ่นกรองน้ำที่อุณหภูมิต่ำพบว่าได้ผลได้และความบริสุทธิ์ของพอลิเมอร์ที่สูง และพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงจะเกิดการจับกลุ่มก้อนของพอลิเมอร์ทำให้เกิดการปนเปื้อนของมอนอเมอร์และสารละลายได้มากกว่า แต่เนื่องจากความเร็วในการกวนที่มีค่าสูงทำให้การเกิดปฏิกิริยามีผลได้ที่ค่อนข้างสูง และยังพบว่า ที่อุณหภูมิ 40 °C เมื่อขึ้นรูปด้วย LiCl สามารถขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นกรองน้ำได้แต่เยื่อแผ่นกรองน้ำที่ได้มีความยืดหยุ่นที่น้อย ในขณะที่การขึ้นรูปด้วย CaCl_2 ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นกรองน้ำได้

เมื่อกำหนดความเร็วกวนคงที่ที่ 660 rpm เพื่อทดสอบผลของอุณหภูมิให้ชัดเจนยิ่งขึ้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 10 °C เป็น 40 °C ผลได้ของปฏิกิริยามีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจนจากร้อยละ 88.58 เป็น 63.36 และลักษณะของพอลิเมอร์มีความแตกต่างกันมาก โดยที่อุณหภูมิที่ 10 °C และ 20 °C สามารถขึ้นรูปได้และโดยเยื่อแผ่นกรองน้ำที่ใช้ LiCl เป็นสารเติมแต่งมีสีค่อนข้างขาวและมีความยืดหยุ่นที่ดีกว่าเยื่อแผ่นกรองน้ำที่ใช้ CaCl_2 เป็นสารเติมแต่ง ขณะที่อุณหภูมิ 30 °C และ 40 °C พบว่าไม่สามารถขึ้นรูปได้ เยื่อแผ่นกรองน้ำที่ได้เกิดรอยแตกเป็นแผ่นเล็กและมีสีน้ำตาลทั้งจากการใช้ LiCl และ CaCl_2 เป็นสารเติมแต่ง เนื่องจากที่ความเร็วกวน 660 rpm เป็นความเร็วที่ไม่สูงมากนักทำให้ผลของอุณหภูมิต่างกันแตกต่างกันชัดเจน

สามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิและความเร็วกวนมีผลต่อการสังเคราะห์ไนลอน 6,6 เพื่อใช้ในการผลิตเยื่อแผ่นโดยวิธีพอลิเมอร์ไรเซชันแบบระหว่างวัฏภาค โดยความเร็วกวนสูงที่ 940 rpm และอุณหภูมิต่ำ (10 °C) ให้ผลได้เป็นร้อยละของปฏิกิริยาสูงประมาณร้อยละ 90 และสามารถขึ้นรูปเยื่อแผ่นได้ และการใช้สารเติมแต่งชนิด LiCl สามารถขึ้นรูปเยื่อแผ่นกรองน้ำที่มีความยืดหยุ่นและมีสีค่อนข้างขาวมากกว่าการขึ้นรูปเยื่อแผ่นโดยใช้ CaCl_2 เป็นสารเติมแต่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่มอบโอกาสในการทำงานวิจัยและสนับสนุนด้านงบประมาณ

เอกสารอ้างอิง

รัชเวทย์. 2552. พอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์

ดวงกมล, กรุงเทพฯ.

García, J M., García, FC., Serna, F., and de la Peña, J.

L. 2010. High-performance aromatic polyamides. *Progress in Polymer Science* 35 (5): 623-686.

Huang, J., and Zhang, K. 2011. The high flux poly (m-phenylene isophthalamide) nanofiltration membrane for dye purification and desalination. *Desalination* 282: 19-26.

JOSH, SV., and RAO, AV. 1990. Synthesis and

Evaluation of Poly (m-Phenylene Isophthalamide) as a Reverse Osmosis Membrane.

Desalination 78: 355-362.

Kong, C., Kanezashi, M., Yamamoto, T., Shintani, T.,

and Tsuru, T. 2010. Controlled synthesis of high performance polyamide membrane with thin dense layer for water desalination.

Journal of Membrane Science 362 (1-2): 76-80.

Sadavarte, NV., Avadhani, CV., Naik, PV., and

Wadgaonkar, P. P. 2010. Regularly alternating poly(amideimide)s containing pendent pentadecyl chains: Synthesis and characterization. *European Polymer Journal* 46 (6): 1307-1315.

Shawky, HA. 2009. Performance of aromatic

polyamide RO membranes synthesized by interfacial polycondensation process in a water-tetrahydrofuran system. *Journal of Membrane Science* 339(1-2): 209-214.