# สารบาญ


| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ฉ |
| สารบาญตาราง | ญ |
| สารบาญภาพ | ฎ |
| อักษรย่อและสัญลักษณ์ | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1ที่มาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา | 3 |
| 1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับ | 3 |
| 1.4 ขอบเขตการวิจัย | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎี และวรรณกรรม | 4 |
| 2.1 กระบวนการเมมเบรน (Membrane Process) | 4 |
| 2.2 กระบวนการแยกสารของเมมเบรน | 4 |
| 2.3 ประเภทคุณสมบัติและวัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน | 5 |
| 2.4 วิธีการผลิตเมมเบรนโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส | 6 |
| 2.5 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรน (Characterization of Membrane) | 8 |
| 2.6 โมดูลเมมเบรน | 10 |
| 2.7 กระบวนการไมโครฟิลเตรชั่น (Microfiltration) | 12 |
| 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน | 15 |
| 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 17 |
| บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย | 23 |
| 3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง | 23 |
| 3.2 ขั้นตอนและวิธีการทำการทดลอง | 24 |
| 3.3 การผสมโพลิเมอร์ ตัวทำละลาย และสารเติมแต่ง | 24 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# สารบาญ(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 3.4 การผลิตเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงใช้วิธีการเปลี่ยนเฟส | 26 |
| 3.5 การทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรนเส้นใยกลวง | 28 |
| 3.6 การนำเมมเบรนไปใช้ในการผลิตน้ำสะอาด | 35 |
| 3.7 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ | 36 |
| บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา | 37 |
| 4.1 การผลิตเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง | 37 |
| 4.2 การวิเคราะห์สัณฐานของเมมเบรน | 40 |
| 4.3 คุณสมบัติของรูพรุนของเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง | 47 |
| 4.4 การผลิตน้ำสะอาดจากเมมเบรน | 55 |
| 4.5 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง | 65 |
| บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ | 67 |
| 5.1 สรุปผลการศึกษา | 67 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 68 |
| เอกสารอ้างอิง | 70 |
| ภาคผนวก | 72 |
| ภาคผนวก ก ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรน | 73 |
| ภาคผนวก ข รายการคำนวณประกอบการทดลอง | 83 |
| ประวัติผู้เขียน | 88 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# สารบาญตาราง


| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรน | 21 |
| 2.2 | เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตน้ำสะอาดของเมมเบรน | 22 |
| 3.1 | อัตราส่วนของโพลิเมอร์ที่ใช้ต่อสารละลายต่อสารเติมแต่ง | 25 |
| 3.3 | พารามิเตอร์ของระบบกรองไมโครฟิลเตรชั่นของน้ำที่เข้าและออกจากระบบ | 36 |
| 4.1 | แสดงขนาดของเมมเบรนเส้นใยกลวง | 37 |
| 4.2 | ผลการวิเคราะห์สัณฐานของเมมเบรน | 42 |
| 4.3 | คุณสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง | 48 |
| 4.4 | ผลทางกายภาพของการกรองน้ำดิบและน้ำที่ผ่านการกรองเมมเบรนเส้นใยกลวงที่ผลิตตามอัตราส่วนการเติมพีวีพี | 56 |
| 4.5 | ผลทางเคมีของการกรองน้ำดิบและน้ำที่ผ่านการกรองเมมเบรนเส้นใยกลวงที่ผลิตตามอัตราส่วนการเติมพีวีพี | 59 |
| 4.6 | ผลทางชีวภาพของการกรองน้ำดิบและน้ำที่ผ่านการกรองเมมเบรนเส้นใยกลวงที่ผลิตตามอัตราส่วนการเติมพีวีพี | 63 |
| 4.7 | รวมค่าใช้จ่ายในการผลิตเมมเบรนแบบเส้นใยกลวง | 66 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# สารบาญภาพ


| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นเมมเบรนแบบ dead end – Filtration | 5 |
| 2.2 | โครงสร้างของ PVDF (Hashim et. al,2010) | 6 |
| 2.3 | การจัดวางอุปกรณ์สำหรับผลิตเมมเบรนโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส | 6 |
| 2.4 | Triangular phase diagram สำหรับอธิบายกลไกการเปลี่ยนเฟสของโพลิเมอร์ | 7 |
| 2.5 | รูปแบบเมมเบรนแบบต่างๆ (Pronsak,2001) | 11 |
| 2.6 | การเกิด Concentration Polarization ( Eykamp and Steen , 1987 ) | 16 |
| 3.1 | ตัวแปรอิสระ ตัวแปรควบคุม และตัวแปรตาม ที่ใช้ในการศึกษานี้ | 24 |
| 3.2 | สารละลายผสมที่ประกอบไปด้วย โพลิเมอร์ ตัวทำละลายและสารเติมแต่ง | 25 |
| 3.3 | ระบบการผลิตเมมเบรนแบบเส้นใยกลวงในห้องปฏิบัติการ | 27 |
| 3.4 | หัวฉีดโพลิเมอร์(spinneret) | 27 |
| 3.5 | ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปโพลิเมอร์ลงในรางตกตะกอน | 27 |
| 3.6 | ขั้นตอนการทำ Bubble Point Test | 29 |
| 3.7 | ขั้นตอนการทดสอบหาค่าฟลักซ์น้ำสะอาด | 33 |
| 3.8 | ขั้นตอนการทดสอบหาความดันสูงสุดที่เมมเบรนรองรับได้ | 34 |
| 3.9 | ขั้นตอนการกรองน้ำดิบจากธรรมชาติ | 35 |
| 4.1 | เมมเบรนเส้นใยกลวงที่ผลิตจากพีวีดีเอฟโดยมีพีวีพีเป็นสารเติมแต่ง | 39 |
| 4.2 | แสดงภาพรวมของเมมเบรน | 41 |
| 4.3 | โครงสร้างแบบตัดขวางของเมมเบรน | 41 |
| 4.4 | โครงสร้างของเมมเบรนเส้นใยกลวงที่เตรียมจากพีวีดีเอฟ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก | 45 |
| 4.5 | แสดงผิวภายนอกของเมมเบรนเส้นใยกลวงที่เตรียมจากพีวีดีเอฟ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก | 45 |
| 4.6 | แสดงผิวภายในของเมมเบรนเส้นใยกลวงที่เตรียมจากพีวีดีเอฟ 20เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก | 46 |
| 4.7 | ความทนทานของเมมเบรนต่อความดัน | 52 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

# สารบาญภาพ(ต่อ)


| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.8 | ผลของความดันต่อค่าฟลักซ์น้ำสะอาดของเมมเบรน | 53 |
| 4.9 | เปรียบเทียบฟลักซ์น้ำสะอาดที่ความดัน 33.06 กิโลปาสคาล | 54 |
| 4.10 | เปรียบเทียบความขุ่นของน้ำก่อนกรองกับน้ำหลังกรองด้วยเมมเบรน | 57 |


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## อักษรย่อและสัญลักษณ์

| | |
|---|---|
| ก./ล. | กรัมต่อลิตร |
| มก./ม.$^3$ | มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร |
| ม.$^3$ | ลูกบาศก์เมตร |
| ฟ.$^3$ | ลูกบาศก์ฟุต |
| ชม.$^{-1}$ | ส่วนชั่วโมง |
| มก./กม. | มิลลิกรัมต่อกิโลเมตร |
| % | ร้อยละ |
| มก./ม.$^3$ | มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร |
| PVDF | Polyvinylidine Fluoride |
| PVP | Polyvinylpyrrolidone |
| DMAc | Dimethyl acetamide |
| LMH | Liter/m$^2$/hr |
| $\varepsilon$ /Lp | Effective porosity |
| Lp | Length of pore |
| $\varepsilon$ | porosity |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved