# สารบาญ


| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| สารบาญตาราง | ฎ |
| สารบาญภาพ | ฑ |
| อักษรย่อ | ธ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ผิวหนัง | 1 |
| 1.1.1 โครงสร้างของผิวหนัง | 1 |
| 1.1.2 ส่วนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับผิวหนัง | 3 |
| 1.1.3 บทบาทและหน้าที่ของผิวหนัง | 5 |
| 1.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแผลไหม้ | 5 |
| 1.2.1 การจำแนกชนิดของแผลไหม้ | 6 |
| 1.2.2 การหายของแผลและการดูแลบาดแผล | 10 |
| 1.3 การปิดแผลไหม้ด้วยวัสดุสังเคราะห์ | 12 |
| บทที่ 2 ไฮโดรเจล | 14 |
| 2.1 คำจำกัดความของไฮโดรเจล | 14 |
| 2.2 ประเภทของไฮโดรเจล | 14 |
| 2.3 การพองตัวในน้ำของไฮโดรเจล | 18 |
| 2.4 การประยุกต์ใช้ไฮโดรเจลในทางการแพทย์ | 20 |
| 2.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 23 |


มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

หน้า


บทที่ 3 วิธีการทดลองและผลการทดลอง 25

3.1 สารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 25

3.1.1 สารเคมี 25

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 26

3.2 การเตรียมตัวริเริ่ม ตัวเชื่อมต่อและมอนอเมอร์ให้บริสุทธิ์ 27

3.2.1 การทำตัวริเริ่มให้บริสุทธิ์ 27

3.2.1.1 การตกผลึกโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 27

3.2.1.2 การตกผลึกเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ 27

3.2.2 การทำมอนอเมอร์ให้บริสุทธิ์ 27

3.2.2.1 การตกผลึกอะคริลาไมด์ 27

3.2.2.2 การกลั่นฮีมา 28

3.2.3 การทำตัวเชื่อมต่อให้บริสุทธิ์ 28

3.2.3.1 การกลั่นเอทธิลีนไกลคอลไดเมทธาคริเลต 28

3.2.3.2 การตกผลึกเอ็น',เอ็น'-เมทธิลีน-บิส-อะคริลาไมด์ 28

3.3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ 30

3.3.1 การออกแบบแม่พิมพ์ 30

3.3.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ 31

3.3.2.1 การสังเคราะห์พอลิอะคริลาไมด์ 31

3.3.2.2 การสังเคราะห์พอลิฮีมา พอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) พอลิอะคริลิคเอสิดและพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) 31

3.4 การหาลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ 33

3.4.1 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ 33

3.4.2 การขยายตัวเมื่ออิ่มตัวด้วยน้ำ 35

3.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ 43

3.4.4 อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี 47

หน้า

3.4.5 การวิเคราะห์ทางความร้อน 74
3.4.5.1 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิงแคลอลิเมตรี 74
3.4.5.2 เทอร์โมกราวิเมตรี 81
3.4.6 การหาปริมาณน้ำสมดุลและปริมาณน้ำคงอยู่สมดุล 89
3.4.6.1 การหาปริมาณน้ำสมดุล 89
3.4.6.2 การหาปริมาณน้ำคงอยู่สมดุล 95
3.4.7 การหาอัตราการผ่านของไอน้ำ 102
3.4.7.1 วิธีอินเวอทเทดคัพ 103
3.4.7.2 วิธีวอเทอร์คัพ 109
3.4.8 การศึกษาสมบัติเชิงกล 115
3.4.8.1 สมบัติเชิงกล 115
3.4.8.2 การทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ 123

บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 131
บรรณานุกรม 144
ประวัติผู้เขียน 152

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

# สารบาญตาราง


| ตาราง | หน้า |
|---|---|
| 1.1 เปรียบเทียบแผลไหม้ที่ระดับดีกรีต่างๆ | 9 |
| 2.1 ตัวอย่างของไฮโดรเจลบางชนิด | 16 |
| 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง | 25 |
| 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง | 26 |
| 3.3 อัตราส่วนของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิฮีมา และพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) | 32 |
| 3.4 อัตราส่วนของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิอะคริลิคเอสิด และพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) | 32 |
| 3.5 ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ของแผ่นฟิล์มพอลิอะคริลาไมด์ พอลิฮีมา และพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่เตรียมได้ | 33 |
| 3.6 ลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ของแผ่นฟิล์มพอลิอะคริลาไมด์ พอลิอะคริลิคเอสิด และพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่เตรียมได้ | 34 |
| 3.7 ขนาดของแผ่นพอลิเมอร์เมื่อแห้งและเมื่ออิ่มตัวด้วยน้ำและค่าการคำนวณเปอร์เซ็นต์การขยายตัวตามพื้นที่และปริมาตร | 36 |
| 3.8 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจน ในพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้กับที่คำนวณทางทฤษฎี | 44 |
| 3.9 ปริมาณของอะคริลาไมด์ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่หาได้จากกราฟมาตรฐาน | 46 |
| 3.10 ปริมาณของอะคริลาไมด์ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่หาได้จากกราฟมาตรฐาน | 46 |
| 3.11 ความถี่และประเภทของการสั่นของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรด | 48 |
| 3.12 ความหมายอินฟราเรดสเปคตรัมของอะคริลาไมด์ | 51 |
| 3.13 ความหมายอินฟราเรดสเปคตรัมของฮีมา | 53 |

ตาราง หน้า

3.14 ความหมายอินฟราเรดสเปคตรัมของอะคริลิคเอสิด 55
3.15 ความหมายอินฟราเรดสเปคตรัมของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ 57
3.16 ความหมายอินฟราเรดสเปคตรัมของเอทธิลีนไกลคอลไดเมทธาคริเลต 59
3.17 ความหมายอินฟราเรดสเปคตรัมของเอ็น',เอ็น'-เมทธิลีน-บิส-อะคริลาไมด์ 61
3.18 ความหมายอินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิอะคริลาไมด์ 62
3.19 ความหมายอินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิฮีมา 65
3.20 ความหมายอินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิอะคริลิคเอสิด 69
3.21 ค่า $T_g$ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณโดยใช้สมการของฟอกซ์ ของพอลิฮีมาและพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณของอะคริลาไมด์ ที่แตกต่างกัน 78
3.22 ค่า $T_g$ ที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณโดยสมการของฟอกซ์ ของพอลิอะคริลิคเอสิดและพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณของอะคริลาไมด์ที่แตกต่างกัน 79
3.23 ช่วงอุณหภูมิที่มีการสูญเสียน้ำหนักและอุณหภูมิที่มีการสูญเสียน้ำหนัก 50% ของพอลิฮีมาและพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) 84
3.24 อุณหภูมิที่มีเริ่มมีการสูญเสียน้ำหนักและอุณหภูมิที่มีการสูญเสียน้ำหนัก 50% ของพอลิอะคริลิคเอสิดและพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) 86
3.25 ค่าปริมาณน้ำสมดุล ที่อุณหภูมิ 35 $\pm$ 1 °C ของแผ่นพอลิเมอร์ต่างๆ ที่สังเคราะห์ได้ 92
3.26 ค่าปริมาณน้ำคงอยู่สมดุล ที่อุณหภูมิ 35 $\pm$ 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % ของแผ่นพอลิเมอร์ต่างๆ ที่สังเคราะห์ได้ 99
3.27 ความชันและอัตราการผ่านของไอน้ำของพอลิอะคริลาไมด์ พอลิฮีมา พอลิอะคริลิคเอสิด พอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) และพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน โดยวิธีอินเวอทเทดคัพ ที่อุณหภูมิ 35 $\pm$ 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 106

ตาราง หน้า

3.28 ความชันและอัตราการผ่านของไอน้ำของพอลิฮีมา พอลิอะคริลิคเอสิด พอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) และพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน โดยวิธีวอเทอร์คัพ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 112

3.29 ลักษณะเฉพาะของเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดที่สัมพันธ์กับสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ 120

3.30 ค่าความเค้น เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสของยังของไฮโดรเจลต่างๆ ที่สังเคราะห์ได้ 126

3.31 สมการความสัมพันธ์ของค่าความเค้น เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสของยังกับปริมาณอะคริลาไมด์ของพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) และพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) 130

4.1 สรุปผลการทดลองจากการศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน 133

4.2 สรุปผลการทดลองจากการศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน 134

4.3 อัตราการระเหยของไอน้ำ ในผิวหนังปกติและบาดแผลที่ระดับดีกรีต่างๆ 142

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

# สารบาญภาพ


| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | โครงสร้างของผิวหนัง | 4 |
| 1.2 | เปรียบเทียบความลึกของแผลไหม้ที่ระดับดีกรีต่างๆ | 8 |
| 1.3 | การประเมินขนาดของแผลไหม้ตามเกณฑ์เก้า | 11 |
| 2.1 | โครงสร้างของไฮโดรเจลประเภทต่างๆ | 17 |
| 2.2 | การเปลี่ยนแปลงของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเกิดการพองตัว | 19 |
| 2.3 | อันตรกิริยา (interaction) ของโมเลกุลของน้ำและไฮโดรเจล | 19 |
| 3.1 | อุปกรณ์การตกผลึกใหม่ตัวริเริ่มและมอนอเมอร์ | 29 |
| 3.2 | อุปกรณ์การกลั่นมอนอเมอร์และตัวเชื่อมต่อ | 29 |
| 3.3 | การประกอบแบบพิมพ์ | 30 |
| 3.4 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ที่มีอยู่ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.42±0.07 มม. กับพื้นที่ที่ขยายตัว | 39 |
| 3.5 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ที่มีอยู่ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.42±0.07 มม. กับปริมาตรที่ขยายตัว | 40 |
| 3.6 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ที่มีอยู่ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.50±0.06 มม. กับพื้นที่ที่ขยายตัว | 41 |
| 3.7 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ที่มีอยู่ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.50±0.06 มม. กับปริมาตรที่ขยายตัว | 42 |
| 3.8 | กราฟมาตรฐานระหว่างเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนกับเปอร์เซ็นต์ของอะคริลาไมด์โดยน้ำหนัก ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) | 45 |
| 3.9 | กราฟมาตรฐานระหว่างเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนกับเปอร์เซ็นต์ของอะคริลาไมด์โดยน้ำหนัก ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) | 45 |
| 3.10 | อินฟราเรดสเปคตรัมของอะคริลาไมด์ที่ตกผลึกใหม่ | 50 |

รูป หน้า


3.11 อินฟราเรดสเปคตรัมของอะคริลาไมด์จากหนังสืออ้างอิง 51
3.12 อินฟราเรดสเปคตรัมของฮีมาที่กลั่นได้ 52
3.13 อินฟราเรดสเปคตรัมของฮีมาจากหนังสืออ้างอิง 52
3.14 อินฟราเรดสเปคตรัมของอะคริลิคเอสิด 54
3.15 อินฟราเรดสเปคตรัมของอะคริลิคเอสิดจากหนังสืออ้างอิง 54
3.16 อินฟราเรดสเปคตรัมของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ที่ตกผลึกใหม่ 56
3.17 อินฟราเรดสเปคตรัมของเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์จากหนังสืออ้างอิง 56
3.18 อินฟราเรดสเปคตรัมของเอทธิลีนไกลคอลไดเมทธาคริเลตที่กลั่นได้ 58
3.19 อินฟราเรดสเปคตรัมของเอทธิลีนไกลคอลไดเมทธาคริเลตจากหนังสืออ้างอิง 58
3.20 อินฟราเรดสเปคตรัมของเอ็น',เอ็น'-เมทธิลีนบิสอะคริลาไมด์ที่ตกผลึกใหม่ 60
3.21 อินฟราเรดสเปคตรัมของเอ็น',เอ็น'-เมทธิลีนบิสอะคริลาไมด์จากหนังสืออ้างอิง 60
3.22 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิอะคริลาไมด์ที่สังเคราะห์ได้ 63
3.23 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิอะคริลาไมด์จากหนังสืออ้างอิง 63
3.24 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิฮีมาที่สังเคราะห์ได้ 64
3.25 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิฮีมาจากหนังสืออ้างอิง 64
3.26 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(ฮีมา-โค-1%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 65
3.27 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(ฮีมา-โค-5%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 66
3.28 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(ฮีมา-โค-10%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 66
3.29 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(ฮีมา-โค-15%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 67
3.30 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(ฮีมา-โค-20%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 67
3.31 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิอะคริลิคเอสิดที่สังเคราะห์ได้ 68
3.32 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิอะคริลิคเอสิดจากหนังสืออ้างอิง 68
3.33 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-25%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 70
3.34 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-30%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 70
3.35 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-35%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 71
3.36 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-40%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 71

รูป หน้า

3.37 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-45%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 72
3.38 อินฟราเรดสเปคตรัมของพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-50%อะคริลาไมด์) ที่สังเคราะห์ได้ 72
3.39 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิฮีมาและพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่มี ปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน 75
3.40 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิอะคริลิคเอสิดและพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน 76
3.41 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิอะคริลาไมด์ที่เตรียมได้ 77
3.42 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) กับค่า $T_g$ ที่หาได้จากการทดลอง 78
3.43 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) กับค่า $T_g$ ที่หาได้จากการทดลอง 80
3.44 TG เทอร์โมแกรมของพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน 82
3.45 TG เทอร์โมแกรมของพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณ อะคริลาไมด์ต่างๆกัน 83
3.46 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) กับอุณหภูมิที่เริ่มสูญเสียน้ำหนัก 85
3.47 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) กับอุณหภูมิที่สูญเสียน้ำหนัก 50% 85
3.48 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอุณหภูมิที่เริ่มสูญเสียน้ำหนัก 87
3.49 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) กับอุณหภูมิที่สูญเสียน้ำหนัก 50% 87
3.50 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับเวลาของพอลิอะคริลาไมด์ ความหนา 0.62±0.01 มม.พอลิฮีมาและพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณ อะคริลาไมด์ต่างๆกัน ความหนา 0.47±0.03 มม. ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C 90

รูป หน้า

3.51 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับเวลาของพอลิอะคริลาไมด์ ความหนา 0.62±0.01 มม. พอลิอะคริลิคเอสิดและพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน ความหนา 0.43±0.03 มม. ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C 91

3.52 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.47±0.03 มม. กับค่าปริมาณน้ำสมดุล ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C 93

3.53 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.50±0.04 มม. กับค่าปริมาณน้ำสมดุล ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C 94

3.54 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำคงอยู่กับเวลาของพอลิฮีมาและพอลิ (ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน ความหนา 0.46±0.03 มม.ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 96

3.55 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำคงอยู่กับเวลาของพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน ความหนา 0.48±0.06 มม. ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 97

3.56 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำคงอยู่กับเวลาของพอลิอะคริลิคเอสิด ความหนา 0.41±0.02 มม. ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 98

3.57 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำคงอยู่กับเวลาของพอลิอะคริลาไมด์ ความหนา 0.65±0.04 มม. ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 98

3.58 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.46±0.03 มม. ค่าปริมาณน้ำคงอยู่สมดุล ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 100

3.59 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.43±0.03 มม. กับปริมาณน้ำคงอยู่สมดุล ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 101

3.60 ถ้วยอะลูมิเนียมที่ใช้ในการหาอัตราการผ่านของไอน้ำ 102

รูป หน้า

3.61 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่หายไปกับเวลาของพอลิอะคริลาไมด์ ความหนา 0.69±0.04 มม. พอลิฮีมาและพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน ความหนา 0.43±0.03 มม. โดยวิธีอินเวอทเทดคัพ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 104

3.62 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่หายไปกับเวลาของพอลิอะคริลาไมด์ ความหนา 0.69±0.04 มม. พอลิอะคริลิดเอสิด และพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน ความหนา 0.47±0.03 มม. โดยวิธีอินเวอทเทดคัพ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 105

3.63 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผ่านของไอน้ำและปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.43±0.02 มม. โดยวิธีอินเวอทเทดคัพ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 107

3.64 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผ่านของไอน้ำและปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.46±0.03 มม. โดยวิธีอินเวอทเทดคัพ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 108

3.65 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่หายไปกับเวลาของพอลิฮีมา และพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน ความหนา 0.46±0.03 มม. โดยวิธีวอเทอร์คัพ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 110

3.66 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่หายไปกับเวลาของพอลิอะคริลิดเอสิด และพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆกัน ความหนา 0.47±0.03 มม. โดยวิธีวอเทอร์คัพ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 111

3.67 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผ่านของไอน้ำและปริมาณอะคริลาไมด์ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.45±0.03 มม.โดยวิธีวอเทอร์คัพ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 113

รูป หน้า

3.68 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการผ่านของไอน้ำและปริมาณอะคริลาไมด์ ในพอลิ (อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.47±0.03 มม.โดยวิธีวอเทอร์คัพ ที่อุณหภูมิ 35 ± 1 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 55 – 60 % 114

3.69 ขั้นตอนการเกิดความเค้นภายในวัสดุจากการดึง 116

3.70 การหาค่าความเครียดเมื่อได้รับแรงดึง 117

3.71 การหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืด 118

3.72 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดจากการทดสอบความทนต่อแรงดึงของ วัสดุทั่วไปและค่าต่างๆที่เกี่ยวข้อง 119

3.73 เส้นโค้งความเค้น(σ)-ความเครียด(ε)ในการทดสอบความทนต่อแรงดึง ของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่างๆ กัน 121

3.74 การหาค่ามอดูลัส จากกราฟความเค้น-ความเครียด 122

3.75 เส้นกราฟความเค้นและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิอะคริลาไมด์ ความหนา 1.73 ± 0.91 มม. พอลิฮีมา พอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆ กัน ความหนา 0.51±0.05 มม. 124

3.76 เส้นกราฟความเค้นและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิอะคริลาไมด์ ความหนา 1.73 ± 0.91 มม. พอลิอะคริลิคเอสิด พอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ที่มีปริมาณอะคริลาไมด์ต่างๆ กัน ความหนา 0.58±0.06 มม. 125

3.77 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและปริมาณอะคริลาไมด์ ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.51±0.05 มม. 127

3.78 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นและปริมาณอะคริลาไมด์ ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.58±0.06 มม. 127

3.79 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และปริมาณอะคริลาไมด์ ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.51±0.05 มม. 128

3.80 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และปริมาณอะคริลาไมด์ ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.58±0.06 มม. 128

รูป หน้า

3.81 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังและปริมาณอะคริลาไมด์ ในพอลิ(ฮีมา-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.51±0.05 มม. 129

3.82 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของยังและปริมาณอะคริลาไมด์ ในพอลิ(อะคริลิคเอสิด-โค-อะคริลาไมด์) ความหนา 0.58±0.06 มม. 129

4.1 โครงสร้างของอะคริลิคเอสิด เมื่อ (ก) รวมตัวกันเป็นก้อน และ (ข) เกิดไดเมอร์ขึ้น 131

4.2 TG เทอร์โมแกรมของพอลิอะคริลาไมด์ จากรายงานของจอห์นและคณะ 136

4.3 TG เทอร์โมแกรมของพอลิอะคริลาไมด์ที่สังเคราะห์ได้ 136

4.4 ค่า EWC EWR และ WVT ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่ออกจากบาดแผล 142

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University